فصل اول
دنیای زنده

درسنامه

این فصل در ابتدای زیست‌شناسی دهم به معرفی علم زیست‌شناسی و شاخه‌های مختلف آن در طول زمان می‌پردازد و در انتها خدمات زیست‌شناسی به انسان و ویژگی‌های یاخته و بافت‌های جانوری را بررسی می‌کنیم. این فصل مخصوصاً در گفتار ۲ و ۳ آن بسیار بسیار با هر فصلی در کتاب‌های دهم، یازدهم و دوازدهم قابلیت ترکیب شدن سؤالات در مفاهیم را دارد.

دوستان عزیز دهمی و کنکوری‌های عزیز، سعی کرده‌ام کتابی که در اختیار شماست را طوری به نگارش دربیاورم که هم به‌طور کامل و جامع به عنوان یک منبع مفهومی برای دانش‌آموزان مقطع دهم مورد استفاده باشد و هم به‌طور کامل برای یک دانش‌آموز کنکوری همهٔ مطالب را پوشش دهد. لطفاً هم به درسنامه توجه ویژه‌ای کنید و هم به فایل‌های تدریسی که به صورت کدهای هوشمند (QR Code) در کتاب برای شما قرار داده‌ام.

موفق باشید

اشکان هاشمی

مقدمه:

پروانه مونارک



مونارک نوعی **پروانه** از گروه **حشرات** می‌باشد که یکی از شگفت‌انگیزترین رفتارهای غریزی جانوری (*مهاجرت*) را به نمایش می‌گذارد. زیست‌شناسان بالاخره به تازگی دریافتند که **جمعیت** این پروانه‌ها به کمک **یاخته‌های عصبی خود**، **جایگاه خورشید در آسمان** و **جهت** مقصد را تشخیص داده و هر سال هزاران کیلومتر را برای رسیدن به **محل مناسب زندگی** از مکزیک تا جنوب کانادا و برعکس مهاجرت می‌کند (*راستی یادتون باشه فقط پروانهٔ بالغ توانایی مهاجرت و تولیدمثل داره!*).

نکته

دقت کنید که **جمعیت** این پروانه‌ها که مجموعه افراد یک گونه آن است این مهاجرت را کامل می‌کنند و یک پروانه ممکن نیست که کل مسیر را بپیماید چرا که عمر کمی دارد و نمی‌تواند در طول عمر خود، چنین مسافت عظیمی را طی کند (*نه اینکه همهٔ پروانه‌ها به سلامت می‌روند و برمی‌گردند*).

نگاهی به آینده

۱) در زیست دوازدهم می‌آموزید که مهاجرت یک رفتار **غریزی** بوده که **یادگیری** نیز در آن نقش دارد. در حقیقت **برخی** جانوران با شروع شرایط سخت محیطی، هر ساله جابه‌جایی‌های **طولانی** و رفت و برگشتی به نام مهاجرت انجام می‌دهند (*فصل ۸ دوازدهم*).

۲) پروانه‌های مونارک حشره‌اند و با کمک چشم **مرکب** خود، نور خورشید را جذب کرده و پس از پردازش در **مغز** به کمک یاخته‌های عصبی ویژه‌ای، جهت مقصد خود را در **روز** تشخیص می‌دهند (*فصل ۲ یازدهم*).

۳) نور خورشید ← اثر بر نورون پروانه مونارک ← تشخیص مسیر حرکت توسط مغز ← پرواز به سوی مقصد

۴) مونارک حشره‌ای از نوع پروانه‌ها می‌باشد. در فصل‌های بعد این کتاب و کتاب یازدهم در مورد حشرات می‌آموزید که لولهٔ گوارش، گردش خون **باز**، همولنف، قلب **پشتی** با منافذ دریچه‌دار، مغز دارای **چند** گره عصبی به همراه یک طناب عصبی **شکمی**، چشم مرکب، لقاح داخلی و توانایی دفع مادهٔ زائد نیتروژن‌دار به نام اوریک اسید به کمک لوله‌های مالپیگی از روده را دارند. تنفس آن‌ها نیز از راه لوله‌های نایدیس و **بدون** کمک دستگاه گردش مواد انجام می‌شود. همهٔ این نکات را به تدریج در فصل‌های جلوتر می‌خوانیم.

تست ۱ در مورد رفتار شگفت‌انگیز پروانهٔ مونارک چند مورد زیر صحیح است؟

الف) هر جانور هر سال از مکزیک تا جنوب کانادا و برعکس را می‌پیماید.

ب) زیست‌شناسان سال‌هاست که معمای این رفتار را پیدا کرده‌اند.

ج) با تشخیص جهت خورشید به سمت آن حرکت می‌کنند.

د) یاخته‌های عصبی جانور در این رفتار نقش مهم دارد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۱ B

فقط مورد (د) صحیح است.

تله‌های تستی الف) جمعیت مهاجرت می‌کند (*چندین نسل زاده می‌شوند و می‌میرند تا این مهاجرت کامل شود*). / ب) راز این معما به تازگی کشف شده است. / ج) این پروانه‌ها به سمت مقصد حرکت می‌کنند و خورشید در انتخاب جهت، آن‌ها را یاری می‌کند. / د) صحیح است.

گفتار ۱ زیست‌شناسی چیست؟

اگر با دقت به سؤالاتی که کتاب درسی در ابتدای این گفتار مثل «چرا باید تنوع زیستی حفظ شود؟ یا «چگونه بیماری‌ها را درمان کنیم؟» و... نگاه کنید، متوجه می‌شوید که در زیست‌شناسی دو نوع پرسش چرایی؟ و چگونگی؟ در مورد رفتارها و اعمال مطرح می‌شود. در حقیقت **زیست‌شناسی یا بیولوژی**، شاخه‌ای از **علوم تجربی** است که به کمک **مشاهده**، به بررسی **علمی جانداران و فرایندهای زیستی** می‌پردازد یا به عبارتی زیست‌شناسی **علم بررسی حیات** است و با بررسی آن می‌توان پاسخ به سؤالاتی در مورد اعمال غذاسازی گیاهان، تنوع زیستی جانداران، زنجیره‌های غذایی، بررسی سرطان‌ها و درمان آن‌ها و جانشینی سوخت **زیستی** مثل **الکل** با سوخت **فسیلی** (مثل مواد نفتی) و یا پیشگیری از بیماری‌های ارثی و درمان آن و هزاران عمل دیگر را به دست آورد. پس به‌طور خلاصه زیست‌شناسان هم به دنبال پی بردن به **رازهای آفرینش** هستند و هم در کنار آن به حل مسائل و مشکلات زندگی انسان امروزی کمک می‌کنند که به موفقیت‌هایی نیز رسیده‌اند.

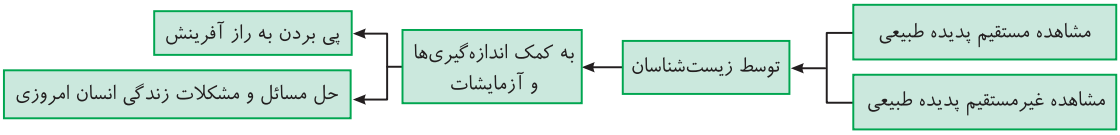
محدودهٔ علم زیست‌شناسی

● علم تجربی

در ابتدای این بحث باید بدانید که زیست‌شناسی شاخه‌ای از علم تجربی است. خب اول بریم ببینیم علم تجربی خودش چیه!؟ در حقیقت علم تجربی مجموعه‌ای شامل زیست‌شناسی، اخترشناسی، زمین‌شناسی، ریاضی، فیزیک و شیمی می‌باشد که اساس آن در هر شاخه، **مشاهده** می‌باشد. دقت کنید که علم تجربی محدودیت‌هایی دارد و نمی‌تواند به **همهٔ** پرسش‌های ما پاسخ دهد و از حل **برخی** مسائل بشری ناتوان است. از طرفی محققین علم تجربی، **نمی‌توانند** در مورد پدیدهٔ **غیرقابل رؤیت و غیرقابل اندازه‌گیری** مثل زشتی یا زیبایی، خوبی و بدی و ارزش‌های هنری یا ادبی یا تصور یک پدیده نظر بدهند. مثلاً یک محقق این علم نمی‌تواند ثابت کند که شیر یا یک مادهٔ غذایی خوشمزه است یا بدمزه!! چون خوشمزگی یک موضوع حسی، ارزشی و شخصی است و در قلمرو علم تجربی نمی‌باشد.

● شاخهٔ زیست‌شناسی

زیست‌شناسی شاخه‌ای از علم تجربی است. پس همهٔ نکاتی که در پاراگراف قبل در مورد علم تجربی گفتیم در مورد زیست‌شناسی نیز صادق است ولی زیست‌شناسی همواره شاخه‌ای است که به **بررسی علمی جانداران و فرایندهای زیستی** می‌پردازد. در حقیقت در این شاخه، محققین فقط ساختارها و فرایندهایی را بررسی می‌کنند که برای ما به‌طور **مستقیم** یا **غیرمستقیم** قابل **مشاهده** و **اندازه‌گیری** باشند.



توجه به دو عبارت مهم کتاب درسی: ۱) امروزه بیماری‌هایی مانند **مرض قند** (دیابت) و **فشار خون بالا**، به دلیل پیدا شدن روش‌های **درمانی و داروهای جدید**، دیگر مرگ‌آور نیستند (مثلاً تصفیه داروهایی همانند انسولین که با مهندسی ژنتیک به دست آمده‌اند (فصل ۷ دوازدهم)).

۲) علم زیست‌شناسی به دلیل محدودیت‌هایی که دارد، مانند سایر شاخه‌های علم تجربی نمی‌تواند به **همهٔ** پرسش‌های بشری پاسخ دهد و از حل برخی مشکلات بشری ناتوان است.

تست ۲ کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«اساس علم تجربی به‌طور ..... در صورتی که ..... باشد به علم زیست‌شناسی کمک می‌کند.»

۱) فقط مستقیم - قابل اندازه‌گیری
۲) مستقیم و غیرمستقیم - قابل اندازه‌گیری
۳) مستقیم و غیرمستقیم - قابل ارزشیابی
۴) مستقیم و غیرمستقیم - قابل مشاهده

پاسخ ۲ (A) **مشاهده**، اساس علوم تجربی است. در بررسی ساختارها و فرایندها، در صورتی که علاوه بر قابل مشاهده بودن، قابل **اندازه‌گیری** نیز باشند، می‌توانند به علم زیست‌شناسی کمک کنند. (ارزشیابی خوبی یا بدی در محدودهٔ علم تجربی و صرف‌نظر از جملهٔ زیست‌شناسی نمی‌باشد.)

تست ۳ **زیست‌شناسی** ..... (قلم‌چی)

۱) می‌تواند به همهٔ پرسش‌های انسان پاسخ دهد.
۲) می‌تواند دربارهٔ زشتی و زیبایی نظر دهد.
۳) می‌تواند ثابت نماید شیر مایعی خوشمزه است.
۴) فقط ساختارها و فرایندهایی را بررسی می‌کند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم قابل مشاهده و اندازه‌گیری هستند.

پاسخ ۴ (A) در زیست‌شناسی فقط ساختارها و فرایندهایی را بررسی می‌کنیم که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم قابل **مشاهده و اندازه‌گیری** هستند ولی زیست‌شناسی به علت محدودیت‌های خود، توانایی پاسخ به همهٔ پرسش‌های انسان (رد گزینهٔ (۱)) و اظهار نظر دربارهٔ خوبی و بدی، زشتی و زیبایی (رد گزینهٔ (۲)) و خوشمزگی (رد گزینهٔ (۳)) یا بدمزگی مواد را ندارد.

زیست‌شناسی نوین

در این قسمت به دنبال این موضوع هستیم که ببینیم، زیست‌شناسیِ امروز، در چه جایگاه علمی قرار دارد و تا چه حدی توانسته است مشکلات دنیای امروز را حل کند و دورنمای آیندهٔ آن به چه صورت است؟ یعنی آیا امیدی بهش هست که این درس **ضریب ۴ کنکور** بسیاری از مشکلات بشر را حل کند یا نه؟!☺ در حقیقت امروزه زیست‌شناسی نوین چه ویژگی‌هایی دارد که آن را به رشته‌ای حقوقی، توانا، پویا و امیدبخش تبدیل کرده است. در ادامه به بررسی ویژگی‌هایی مثل توجه به کل‌نگری، نگرش بین‌رشته‌ای، فناوری‌های نوین و اخلاق زیستی در ترقی دادن به زیست‌شناسی می‌پردازیم.

الف) کل‌نگری

بیشتر زیست‌شناسانِ قرن گذشته، جانداران را به جای اینکه به صورت **کلی** بررسی کنند، بخش‌های **مختلف بدن آن‌ها را** بررسی می‌کردند و **کمتر نقش برهم‌کنش و ارتباط اجزای مختلف بدن** با هم را مورد بررسی قرار می‌دادند. در حالی که همان‌طور که دیدن یک پازل کامل خیلی مفهوم بیشتری از هر قطعهٔ آن مجموعه دارد، در بدن جانداران نیز بررسی کلی، ویژگی‌های بیشتری از بررسی هر جزء به ما می‌دهد. در حال حاضر زیست‌شناسان، جانداران را **نوعی سامانه** می‌دانند که اجزای آن با هم ارتباط دارند. در حقیقت پیکر هر جاندار از اجزای بسیاری تشکیل شده است و هر جزء بخشی از یک سامانهٔ بزرگ می‌باشد که در دید کلی و بررسی کلی برای ما معنی بیشتری پیدا می‌کند. این پیچیدگی‌ها وقتی جالب توجه‌تر می‌شود که ارتباط **جاندار و اجزای** تشکیل دهندهٔ آن را نیز علاوه بر توجه به هر جزء بررسی کنیم.

نتیجه: هر جزئی از پیکر جانداران در نمای بررسی **کلی** جاندار، برای ما مفهوم پیدا می‌کند نه اینکه فقط به بررسی آن جزء بپردازیم.

جمله‌ای در کتاب است که می‌گوید: «همواره کل سامانه چیزی بیشتر از مجموع اجزاء می‌باشد»، این عبارت یعنی مثلاً برای بررسی یک منطقه وقتی اطلاعات شما کامل می‌شود که علاوه بر آشنایی با هر خیابان آن به ارتباط بین خیابان‌ها و مردم آن نیز توجه کنید تا با فرهنگ و کار و ساختار یک محیط آشنا شوید.

ب) نگرش بین‌رشته‌ای

زیست‌شناسان امروزی برای **شناخت بیشتر سامانه‌های زنده** (*به واژهٔ زنده در تست‌ها دقت کنید!*) علاوه بر توجه به شاخهٔ علم زیست‌شناسی، از اطلاعات سایر رشته‌ها مثل فنون رایانه‌ای، فنی و ریاضی، رباتیک، آمار، شیمی و... نیز بسیار استفاده می‌کنند.

نکته

امروزه فناوری‌ها و علوم نوین مختلف، در بالاتر رفتن انتظارات و پیشرفت علم زیست‌شناسی نقش داشته است. مثلاً برای **بررسی ژن‌های جانداران** علاوه بر اطلاعات زیست‌شناختی، از فنون و مفاهیم مهندسی، علوم رایانه، آمار و رشته‌های دیگر نیز استفاده می‌کنند.

ج) فناوری‌های نوین در ترقی علم زیست‌شناسی

الف) فناوری اطلاعاتی و ارتباطی

- دستاورد و تحولات بیست سال اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات، تحول عظیم در زیست‌شناسی ایجاد کرده است.
- این روش به جمع‌آوری، بایگانی و تحلیل داده‌ها و اطلاعات حاصل از پژوهش‌های زیستی می‌پردازد.
- در این روش رایانه‌های پرظرفیت و پرسرعت اطلاعات بسیاری را **ذخیره** می‌کنند (*مثلاً اطلاعات میلیون‌ها ژن را در خود جای می‌دهند*).
- امکان انجام محاسبات را در **کوتاه‌ترین زمان** ممکن فراهم کرده است.
- در شکل مقابل می‌توانید پیشرفت فناوری اطلاعات را در مورد اندازه حافظه ۵ مگابایتی شرکت آی‌بی‌ام در سال ۱۹۵۶ با حافظه ۲ ترابایتی امروزی مقایسه کنید. (*هر ترابایت تقریباً برابر با یک تریلیون بایت می‌باشد.*)





ب) مهندسی ژن (ژنتیک): مدت‌هاست که زیست‌شناسان می‌توانند ژن‌های یک جاندار را در بدن جاندار دیگر وارد کرده و با فعالیت آن ژن در جاندار جدید، صفات و ویژگی جاندار قبلی را در جاندار جدید پدیدار کنند. به این روش مهندسی ژنتیک می‌گویند که نوعی فناوری نوین و تحول در زیست‌شناسی می‌باشد. (*در زیست دوازدهم این مطلب را در قالب یک فصل مجزا می‌آموزید.*)

د) اخلاق زیستی

پیشرفت سریع علم زیست‌شناسی به علت همکاری با پژوهشگران دیگر و به ویژه در **مهندسی ژنتیک** نگرانی‌هایی در جامعه ایجاد کرده است که از موضوع‌های **اخلاق زیستی** می‌باشد. از آن جمله می‌توان به محرمانه بودن اطلاعات ژنی (*ژنتیک*) و نیز اطلاعات پزشکی افراد، حقوق جانوران و همچنین سوء استفاده در تولید سلاح‌های زیستی مانند تولید عوامل بیماری‌زای مقاوم به داروها اشاره کرد.

نکته

دقت داشته باشید که اخلاق زیستی عاملی در ترقی و پیشرفت علم زیست‌شناسی است ولی فناوری نوین به حساب نمی‌آید.

◀ در زیست دوازدهم به‌طور کامل در مورد دستکاری‌های ژنتیک برای مهندسی ژنتیک، مهندسی پروتئین و مهندسی بافت مطلب جالبی را می‌آموزید!

نکته

در حال حاضر و با پیشرفت علم زیست‌شناسی می‌توان سلاح‌های زیستی ساخت که مثلاً نوعی عامل بیماری باشند که به داروهای رایج مقاوم بوده و یا حتی می‌توان فراورده‌های غذایی و دارویی ایجاد کرد که عواقب زیانباری برای افراد ایجاد کند. به همین دلیل در حال حاضر قوانین جهانی لازم‌الاجرایی وجود دارد که برای جلوگیری از سوءاستفاده از علم زیست‌شناسی، همه باید این قوانین را قبول کنند (وگرنه زیست‌شناسان علم ژنتیک می‌توانند از یک یاختهٔ شما یک جاندار مثل شما بسازند).

تست ۴ چند مورد زیر سوءاستفاده‌های قطعی از علم زیست‌شناسی نوین می‌باشد؟

الف) وارد کردن ژن‌های جانداران به یکدیگر
ب) تولید جاندارانی که محصول سایر گونه‌ها را می‌سازند.
ج) تولید سلاح‌های زیستی
د) مقاوم‌سازی عوامل بیماری‌زا به داروهای رایج

۱) ۲ مورد ۲) ۴ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۱ مورد

پاسخ ۱ (A) موارد (ج) و (د) مورد نظر است. از بین موارد مطرح شده، تولید سلاح‌های زیستی و عوامل بیماری‌زایی که به داروهای رایج مقاومت دارند، از جمله سوءاستفاده‌های قابل توجه از علم زیست‌شناسی نوین می‌باشد.

توجه: البته وارد کردن ژن جانداران مختلف و محصولات آن‌ها می‌تواند سبب سوءاستفاده شود ولی سوءاستفاده از این قابلیت‌ها قطعی نیست (پس موارد (الف) و (ب) از موارد مورد نظر این سؤال نمی‌باشند).

تست ۵ کدام مورد زیر دربارهٔ «علم بررسی حیات» نادرست می‌باشد؟

۱) شاخه‌ای از علم تجربی برای بررسی علمی جانداران و فرایندهای زیستی می‌باشد.
۲) در تلاش برای پی بردن به رازهای آفرینش می‌باشد.
۳) فرایندهای قابل مشاهده مستقیم یا غیرمستقیم را ارزشیابی می‌کند.
۴) شاخه‌ای از آن به یافتن ویژگی‌های مشترک گونه‌های مختلف می‌پردازد.

پاسخ ۳ (A) در زیست‌شناسی، ساختارها یا فرایندهایی را بررسی می‌کنیم که برای ما به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم قابل **مشاهده و اندازه‌گیری** باشند ولی این ساختارها و فرایندها، از نظر کیفی ارزشیابی نمی‌شوند. سایر موارد بر طبق متن کتاب درسی، صحیح هستند. (در مورد گزینهٔ (۴) دقت کنید که زیست‌شناسان برای بررسی شباهت‌ها و تکامل گونه‌ها به بررسی این موارد می‌پردازند.)

زیست‌شناسی در خدمت انسان

با پیشرفت علم و دخالت بشر در طبیعت، مسائل و مشکلات روزمره بشری در حال بیشتر و بیشتر شدن می‌باشد. به همین دلیل زیست‌شناسان نیز مانند سایر محققین رشته‌های دیگر در پی کمک به حل این مشکلات هستند. در ادامه ابتدا به صورت تیتروار تعدادی از این مشکلات را بررسی کرده و سپس به آن‌ها جزئی‌تر نگاه خواهیم کرد.

تعریف بوم‌سازگان: مجموعه جمعیت‌های چند گونهٔ مختلف که علاوه بر اینکه با هم در تعامل هستند، با محیط خود نیز در حال تعامل می‌باشند.

انواع نقش زیست‌شناسی در حل برخی مشکلات:
- الف) تأمین **غذای** سالم و کافی
- ب) حفاظت از **بوم‌سازگان‌ها** به همراه ترمیم و بازسازی آن‌ها
- ج) تأمین انرژی‌های تجدید**پذیر**
- د) سلامت و درمان بیماری‌ها

الف) تأمین غذای سالم و کافی

برای بررسی این تیتر به ذکر نکاتی بسنده می‌کنیم تا مطالب کتاب درسی بهتر در ذهن شما نقش ببندد.

نکات

۱) در حال حاضر حدود یک میلیارد نفر در جهان مشکل سوء تغذیه و گرسنگی دارند (البته فعلاً که در این سال‌ها همه کرونا را تجربه کردیم که قوز بالا قوز بدتری است!).

۲) یکی از راه‌های به دست آوردن غذای بیشتر و با مواد مغذی بیشتر، **شناخت بیشتر گیاهان** است، چون غذای انسان به‌طور **مستقیم یا غیرمستقیم** از **گیاهان** به دست می‌آید. (گیاهان انرژی نور خورشید را در مواد آلی ذخیره می‌کنند و این مواد آلی به مصرف گیاه و سایر جانداران می‌رسد و انسان، یا گیاهان را می‌خورد و یا جانورانی را که از گیاهان تغذیه کرده‌اند.)

۳) یکی دیگر از راه‌های افزایش کمیت و کیفیت غذای انسان، شناخت روابط **گیاهان** و **محیط زیست** (چه سودمند و چه زیانمند) است. چون آن‌ها نیز مانند هر موجود زندهٔ دیگری، در محیط پیچیده و با عوامل **زنده** (جانداران محیط مثل باکتری، قارچ، حشرات و...) و غیرزنده (دما، نور، رطوبت و...) محیط در ارتباط هستند که می‌تواند برای این گیاهان مفید یا مضر باشد (دقت کنید که ویروس را یک جاندار زنده به حساب نمی‌آوریم!).

۴) موارد مهم برای تأمین غذا با کمیت و کیفیت بیشتر:
- الف) شناخت **بیشتر** گیاهان
- ب) شناخت روابط گیاهان و محیط زیست
- ج) شناخت عوامل زنده و غیرزنده مرتبط با رشد گیاهان
- د) شناخت بیشتر تعامل‌های **سودمند یا زیانمند** بین عوامل زنده و غیرزنده مرتبط با گیاهان

ب) حفاظت از بوم‌سازگان‌ها، ترمیم و بازسازی آن‌ها

در ابتدا باید بدانید که بوم‌سازگان از جانداران یک اجتماع با گونه‌های مختلف در یک محیط ایجاد شده است. در این بخش می‌خواهیم به بررسی بوم‌سازگان‌های دارای انسان بپردازیم. چون انسان نیز جزئی از دنیای زنده است و بی‌نیاز و جدا از موجودات زندهٔ دیگر، به تنهایی قادر به بقا نمی‌باشد.

● خدمات بوم‌سازگان

منابع و **سودهایی** را که **مجموع** موجودات **زندهٔ هر** بوم‌سازگان از آن استفاده می‌کنند را خدمات بوم‌سازگان می‌نامند. میزان این خدمات به میزان **تولیدکنندگان** آن بستگی دارد.

نکته تولیدکنندگان یک بوم‌سازگان می‌توانند گیاهان، برخی آغازیان (*مثل جلبک‌ها*) و برخی باکتری‌ها باشند ولی قارچ‌ها و جانوران قدرت تولیدکنندگی و ساخت مواد آلی از مواد معدنی ندارند. به‌طور کلی تولیدکنندگی یعنی قدرت تبدیل مواد معدنی به مواد آلی با استفاده از انرژی که این ویژگی در هیچ **جانور** و **قارچی** وجود ندارد.

نکته مهم دقت داشته باشید که به دلیل تغییر شرایط محیطی، هر بوم‌سازگان **همواره** در حال تغییراتی می‌باشد ولی **پایدار کردن بوم‌سازگان‌ها** به‌طوری که حتی با **تغییر شرایط محیط و اقلیم**، تغییر **چندانی** در مقدار **تولیدکنندگی** آن‌ها روی ندهد، سبب ارتقای کیفیت زندگی انسان می‌شود.

● مثالی از یک بوم‌سازگان آسیب‌دیده در ایران

دریاچهٔ ارومیه که بزرگ‌ترین دریاچهٔ داخلی ایران است و چندین سال است که در خطر خشک شدن قرار دارد، یکی از **بوم‌سازگان‌های** کشور است که از محیط غیرزنده و عوامل زنده مرتبط با هم به وجود آمده است. امروزه زیست‌شناسان کشورمان، با استفاده از **اصول علمی بازسازی بوم‌سازگان‌ها**، راهکارهای لازم برای احیای این دریاچه را ارائه کرده‌اند و امید دارند از نابودی این میراث **طبیعی** جلوگیری کنند (*البته امیدواریم!!*).

● جنگل‌زدایی

یکی از مشکلات محیط زیستی امروز ایران و جهان، جنگل‌زدایی است. دلیل **قطع درختان جنگل‌ها**، استفاده از **چوب یا زمین** جنگل می‌باشد که مسئلهٔ محیط زیستی امروز جهان است. با توجه به پژوهش‌های اخیر، مساحت بسیار گسترده‌ای از جنگل‌های ایران و جهان بی‌درخت شده‌اند که عواقب بسیار بدی مانند حالات زیر را به دنبال دارد.

پیامد جنگل‌زدایی:
- تغییر **آب و هوا**
- کاهش تنوع زیستی و احتمال انقراض برخی گونه‌ها
- فرسایش **خاک**
- وقوع **سیل**

تست ۶ **چند مورد از عبارات جملهٔ روبه‌رو را به‌طور صحیح تکمیل نمی‌کند؟ «تنها عامل .....»**

الف) آسیب‌دیدهٔ بوم‌سازگانی ایران، دریاچهٔ ارومیه است.

ب) بالا بردن کمیت و کیفیت غذا، شناخت روابط گیاهان با محیط است.

ج) افزایش محصول گیاهان، شناخت تعامل‌های سودمند و زیانمند با محیط آن‌هاست.

د) تعیین‌کننده هدف جنگل‌زدایی، استفاده از چوب آن‌هاست.

هـ) فرسایش خاک، بی‌درخت شدن جنگل‌ها در ایران و جهان می‌باشد.

۱) ۲ مورد **۲)** ۵ مورد **۳)** ۴ مورد **۴)** ۳ مورد

پاسخ ۲ همهٔ موارد نادرست هستند. (*البته سؤال فقط برای دقت خوب است وگرنه دانش‌آموز دقیق به‌راحتی می‌فهمد که همهٔ عبارات نادرست هستند.*)

نکته‌های تستی الف) دریاچهٔ ارومیه **یکی** از بوم‌سازگان‌های آسیب‌دیدهٔ ایران است (*ای بابا واضحاً فقط دریاچهٔ ارومیه آسیب دیده آخه!*). / ب) **یکی** از راه‌های افزایش کمیت و کیفیت غذای انسان، شناخت روابط گیاهان و محیط زیست است (*راه‌های دیگری مانند شناخت خود گیاه هم وجود دارد*). / ج) شناخت تعامل‌های سودمند و زیانمند محیط و گیاهان به افزایش محصول گیاهان کمک می‌کند ولی این شناخت، تنها عامل افزایش محصول نمی‌باشد. / د) استفاده از چوب **یا زمین** جنگل، اهداف قطع درختان جنگل‌ها می‌باشند. / هـ) **یکی** از عوامل فرسایش خاک قطع درختان جنگل‌ها می‌باشد.

ج) انواع انرژی‌های طبیعت و تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر

۱) **بیشترین** نیازهای انرژی **کنونی** جهان از **منابع فسیلی** مثل نفت، گاز و بنزین تأمین می‌شود که هم باعث افزایش CO_2 جو، آلودگی هوا و در نهایت **گرمایش زمین** می‌شوند و هم **استخراج** آن‌ها به محیط زیست ضرر می‌رساند و از طرفی این منابع تجدید **ناپذیر** نیز هستند. (*درست‌ها دقت کنید که گرمایش زمین آخرین اثر آن‌ها می‌باشد!*)

۲) زیست‌شناسان در حال **بهبود** و **افزایش تولید سوخت‌های زیستی** هستند تا منابع **پایدارتر، مؤثرتر و پاک‌تری** داشته باشند و وابستگی به سوخت‌های فسیلی **کمتر** شود. مثلاً **گازوئیل** زیستی حاصل از **دانه‌های روغنی**، نمونه‌ای از سوخت زیستی می‌باشد.

۳) دقت کنید که هم سوخت‌های فسیلی و هم سوخت‌های زیستی هر دو منشأ **زیستی** دارند. منشأ زیستی سوخت فسیلی از **تجزیهٔ** پیکر جانداران **قدیمی** و در مورد سوخت زیستی از جانداران **امروزی** می‌باشد.

۴) انواع سوخت‌ها
- فسیلی
  - از تجزیه پیکر موجودات **قدیمی** ایجاد شده‌اند.
  - تجدید**ناپذیر** و آلوده‌کننده محیط زیست هستند.
  - **بیشترین** نیاز انرژی کنونی جهان را برطرف می‌کنند.
  - CO_2 هوا و در نهایت گرمایش زمین را **زیاد** می‌کنند.
- زیستی
  - از جانداران **امروزی** ایجاد می‌شوند.
  - تجدید**پذیرند** و آلوده‌کنندهٔ محیط نیستند.
  - منابع **پایدار**، مؤثر و پاک می‌باشند.
  - به عنوان گازوئیل زیستی از دانه‌های روغنی به دست می‌آیند.
  - **الکل نوعی از آن است.**

د) سلامت و درمان بیماری‌ها

پزشکی شخصی

روش تازه‌ای است که پزشکان با **بررسی اطلاعات ژن‌های دنای** (DNA) **هر فرد**، روش‌های **درمانی و دارویی خاص** آن فرد را طراحی می‌کنند همچنین بیماری‌های **ارثی** او و نیز بیماری‌هایی که ممکن است در آینده به آن مبتلا شود را پیدا می‌کنند و از آن‌ها پیشگیری می‌کنند.

نکته
در روش پزشکی شخصی، علاوه بر مشاهدهٔ **حال** بیمار، برای تشخیص و درمان بیماری‌ها، روش درمانی و دارویی هر فرد به صورت **اختصاصی** نیز صورت می‌گیرد.

تست ۷
در مورد پزشکی شخصی چند مورد زیر صحیح است؟
الف) روشی از قدیم تا به امروز برای تشخیص و درمان بیماری‌ها بوده است.
ب) به جای بررسی وضعیت بیماران به اطلاعات دنای فرد توجه می‌کنند.
ج) برای افراد یک خانواده، یک روش درمانی و دارویی خاص را طراحی می‌کنند.
د) روشی در زیست‌شناسی نوین برای سلامت و درمان بیماری‌ها می‌باشد.
۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۱ B
فقط مورد (د) صحیح است.

تله‌های تستی الف) نادرست است. پزشکی شخصی روشی است که **به تازگی** در زیست‌شناسی نوین ارائه شده است. / ب) نادرست است. در این روش علاوه بر بررسی شرح حال بیماران، به اطلاعات دنای هر فرد دقت می‌شود. / ج) نادرست است. در پزشکی شخصی به **هر فرد** خانواده یک طرح درمانی جداگانه می‌دهند. / د) درست است. پزشکی شخصی روشی برای سلامت و درمان بیماری‌ها است که نمونه‌ای از کار زیست‌شناسی در خدمت انسان می‌باشد.

درسنامه

گفتار ۲ گسترهٔ حیات

زیست‌شناسی را علم **بررسی حیات** می‌دانند (*در طرح تست از این جمله استفاده می‌شود!*) ولی برخلاف ساده و کوتاه پنداشتن تعریفی برای حیات، تعریف حیات **بسیار دشوار** و حتی غیرممکن به نظر می‌رسد. از طرفی چون زیست‌شناسی به مطالعهٔ **موجودات زنده** می‌پردازد، معمولاً ناچاریم به جای تعریف حیات، ویژگی‌های حیات و یا **ویژگی‌های جانداران** را بررسی کنیم که یکی از ویژگی‌های جالب آن سطوح سازمان‌یابی آن از یاخته تا زیست‌کره می‌باشد که حداکثر شامل ۱۰ سطح می‌شود.

هفت ویژگی مشترک هم‌زمان در همهٔ جانداران

الف) نظم و ترتیب

هر جانداری، **سطحی** از سازمان‌یابی دارد و **همگی** باید فعالیت‌های **منظم** داشته باشند. (*مثلاً هر یاخته در جانداران پرياخته‌ای، ژن‌های فعال و آنزیم‌های خاصی دارد. حتی در باکتری‌ها در هر زمان برخی ژن‌های خاص آن فعال می‌باشند.*)

ب) هم‌ایستایی (هومئوستازی)

همهٔ جانداران با اینکه محیط **همواره متغیری** دارند باید بتوانند **وضع درونی پیکر** خود را در **حد ثابتی** نگه دارند که به آن هم‌ایستایی یا هومئوستازی می‌گویند. این ویژگی در **همهٔ** تک‌یاختگان و پریاختگان وجود دارد. مثلاً زیادی سدیم بدن باید منجر به دفع سدیم اضافی شود و یا کمبود آن در انسان باید با بالا بردن هورمون **آلدوسترون** (*یازدهم*)، مقدار آن را در خون زیاد کند، یا باز و بسته شدن روزنه گیاهان برای تنظیم آب درون گیاه در محیط‌های مختلف انجام گیرد.

نگاهی به آینده

دقت کنید که باکتری‌ها نیز برحسب مواد غذایی محیط خود، ژن‌های مختلفی را به مقدار مختلف و مورد نیاز روشن یا خاموش می‌کنند که به آن هومئوستازی می‌گویند. مثلاً باکتری‌ها اغلب از **گلوکز** به عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند ولی برخی از آن‌ها ژن‌های تجزیه‌کننده **لاکتوز** و **مالتوز** نیز دارند که در صورت **کمبود** گلوکز با فعال کردن این ژن‌ها، گلوکز مورد نیاز خود را ایجاد می‌کنند (*فصل ۲ دوازدهم*).

ج) رشد و نمو

رشد، افزایش **تعداد** یا **حجم** یاخته‌های جاندار به صورت برگشت**ناپذیر** است ولی نمو به وجود آمدن ویژگی **جدیدی** در جاندار با عبور از مرحله‌ای از زندگی به مرحلهٔ دیگر است که قبلاً وجود نداشته است مثلاً ایجاد **اولین** برگ در یک گیاه نوعی **نمو** است ولی ایجاد برگ‌های جدید دیگر از همان نوع قبلی، نوعی **رشد** به حساب می‌آید.

نکات مهم

۱) رشد یک فرایند **کمی** ولی نمو یک فرایند **کیفی** می‌باشد که ویژگی جدید در جاندار ایجاد می‌شود و شامل افزایش تعداد یا حجم یاخته به صورت برگشت‌ناپذیر است.

۲) در جانوران، رشد در **همهٔ** قسمت‌های زنده بدن صورت می‌گیرد ولی رشد در گیاهان مخصوص برخی بافت‌های زنده و مناطق خاص جاندار می‌باشد.

۳) در سال آینده می‌آموزید که هر جانداری با استفاده از اطلاعات ژنتیکی موجود در ***DNA*** (*رنای*) خود، الگوهای **رشد و نمو** خود را **تنظیم** می‌کند.

د) فرایند جذب انرژی و استفاده از آن

هر جانداری باید قدرتِ **گرفتنِ انرژی** را از محیط داشته باشد. سپس با انجام **تنفس یاخته‌ای** بتواند انرژی مواد **آلی** غذایی را به صورت منبع رایج انرژی یا ***ATP*** ذخیره کرده و برای انجام فعالیت‌های زیستی از آن استفاده کند. همچنین بخشی از انرژی را نیز به صورت **گرما** از دست می‌دهد.

نکته

جانداران تولیدکننده (*مثل گیاهان و...*) از **نور خورشید** یا مواد **معدنی** انرژی می‌گیرند ولی جانداران مصرف‌کننده، از مواد **آلی** به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. البته همگی در نهایت طی تنفس یاخته‌ای خود با تجزیه مواد **آلی**، انرژی زیستی یا ***ATP*** را به دست می‌آورند (***ATP*** *مثل پول نقد یاخته است که برای اغلب فعالیت‌ها در محل‌های مختلف با تجزیه یا خرج کردن آن، مشکلات حل می‌شود!*).

ه) پاسخ به محیط

هر جانداری باید بتواند به محرک‌های **محیطی** پاسخ بدهد. مثلاً ساقهٔ هوایی گیاهان با نورگرایی مثبت (*یازدهم*) به سمت نور خم می‌شود.

نکته

در زیست یازدهم می‌خوانید که برخی گیاهان مانند سیب‌زمینی دارای ساقهٔ زیرزمینی بوده که در انتهای آن‌ها غده شکل می‌گیرد. این ساقه‌ها دارای نورگرایی منفی هستند.

و) تولیدمثل

می‌توان گفت مهم‌ترین تفاوت موجود زندهٔ **بالغ یا نابالغ** توانایی **تولیدمثل** می‌باشد تا بتواند برای حفظ **نسل و گونهٔ** خود، موجوداتی **کم و بیش** شبیه خود ایجاد کند.

نکته

در مورد این ویژگی یعنی تولیدمثل دقت کنید که تا قبل از بلوغ در اغلب جانداران وجود ندارد. (*در تست‌ها به‌عنوان ویژگی در تمام طول عمر جاندار استفاده نشود.*)

نکته

از سال‌های قبل به یاد دارید که در **تولیدمثل غیرجنسی** وجود **یک** والد در آن کافی است که به صورت‌های **دو نیم شدن** یا تقسیم دوتایی باکتری‌ها، **جوانه زدن** در هیدر و مخمر نان، **قطعه‌قطعه شدن** مثل قسمتی از سیب‌زمینی جوانه‌دار یا **هاگ‌زایی** مثل قارچ‌ها می‌باشد. معمولاً در تولیدمثل **جنسی** وجود **دو والد** در آن الزامی است (*در خودلقاحی یا بکرزایی که در برخی گیاهان و جانوران دیده می‌شود و در سال بعد می‌آموزید، وجود یک والد کافی است*).

ز) سازش با محیط

هر جانداری برای **حفظ بقای خود** باید بتواند با محیط **سازش** داشته باشد تا شانس **ماندگاری** آن بیشتر شود. مثلاً خرس قطبی **در محیط برفی و سرد**، دارای موهای **سفید** است یا مثال دیگر، سازش گیاه خودرو (*خرزهره*) برای رشد در محیط متفاوت می‌باشد.

نکته

ویروس‌ها به دلیل اینکه **همهٔ** ویژگی‌های حیات را **با هم** ندارند، واحد زنده به حساب نمی‌آیند. ویروس‌ها برخی ویژگی‌ها مثل نظم و ترتیب و گاهی سازش را دارند ولی خیلی از ویژگی‌ها مثل هومئوستازی و متابولیسم (*سوخت‌وساز*) را ندارند.

ویژگی / جانداران	نوع	هسته و اندامک غشادار	تولیدمثل	منبع اصلی انرژی	تعداد یاخته	هر ۷ ویژگی حیات
گیاهان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	**نور خورشید**	فقط **پر**یاخته‌ای	دارند
جانوران	یوکاریوت	دارند	اغلب جنسی	مواد **آلی**	فقط **پر**یاخته‌ای	دارند
قارچ‌ها	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد **آلی**	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
آغازیان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد **آلی** یا **نور خورشید**	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
باکتری‌ها	پروکاریوت	ندارند	غیرجنسی	مواد آلی یا **معدنی** یا نور خورشید	فقط تک‌یاخته‌ای	دارند

تست ۸ چند مورد جملهٔ مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «..... مربوط به ویژگی ..... در مورد جانداران می‌باشد.»

الف) خمش ساقه به سمت نور - هومئوستازی
ب) گرمازایی - جذب و استفاده از انرژی
ج) موهای سفید خرس قطبی - سازش و ماندگاری در محیط
د) مقابله با محیطِ همواره متغیر - نظم و ترتیب

۱) ۳ مورد ۲) ۴ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۱ مورد

پاسخ ۳ موارد (الف) و (د) به نادرستی تکمیل می‌کنند.

نکته‌های تستی الف) نادرست است. خمش به سمت نور، پاسخ به محرک‌های محیط است (نه هومئوستازی). / ب) درست است. در جانداران، تولید بخشی از انرژی به صورت گرما ویژگی جذب و استفاده از انرژی است. / ج) درست است. موهای سفید خرس قطبی، مصداقی از ویژگی سازش و ماندگاری در محیط می‌باشد. / د) نادرست است. مقابله با محیط متغیر، هم‌ایستایی است (نه نظم و ترتیب).

سطوح مختلف حیات

در این قسمت می‌خواهیم سطوح مختلف حیات و ارتباط جانداران با محیط را بررسی کنیم. دقت کنید که سطوح سازمان‌یابی شدهٔ حیات، ویژگی زیبا و جالبی است که از **یاخته** شروع می‌شود و با رسیدن **به زیست‌کره** یعنی **همهٔ** محیط‌های زیستی کرهٔ زمین شامل اقیانوس‌ها، خشکی، دریاچه‌ها و جانداران آن پایان می‌پذیرد که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته‌ایم:

ترتیب سطوح حیات با شمارهٔ آن‌ها (در یک نگاه!)

۱ یاخته ← ۲ بافت ← ۳ اندام ← ۴ دستگاه ← ۵ جاندار ← ۶ جمعیت ← ۷ اجتماع ← ۸ بوم‌سازگان (اکوسیستم) ← ۹ زیست‌بوم ← ۱۰ زیست کره

یادآوری تکمیلی کوتاه (برای جاندارانی که تولیدمثل جنسی دارند از نظر ارنست مایر): گونه به گروهی از افراد تقریباً شبیه به هم گفته می‌شود که می‌توانند با تولیدمثل افراد شبیه به خود ایجاد کنند که فرزندان آن‌ها قابلیت زنده ماندن و تولیدمثل داشته باشند.

بررسی سطوح مختلف حیات



۱) **یاخته:** یاخته کوچک‌ترین واحدی است که **ویژگی‌های حیات** در آن وجود دارد. در حقیقت هر یاخته که از مولکول‌ها و ساختارهایی تشکیل شده که با هم در تعامل‌اند، **یاخته، پایین‌ترین سطح سازمان‌یابی حیات** است که در هر جانداری وجود دارد.

- یاختهٔ یوکاریوتی برخلاف پروکاریوتی اندامک‌های غشادار و هستهٔ مشخص دارد.
- در تست‌ها بسیار بسیار دقت کنید که لفظ «یاخته**ها**» برای همهٔ جانداران درست نیست و خیلی از این دام آموزشی در طراحی تست‌ها استفاده می‌شود.



۲) **بافت:** در جانداران **پریاخته‌ای**، تعدادی یاخته با یکدیگر همکاری می‌کنند و یک **بافت** را به وجود می‌آورند.

نکته این یاخته‌ها می‌توانند همگی مشابه و یا از چند نوع باشند که در گفتار بعد به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

نکته اغلب جانوران حاوی بافت‌های پوششی، پیوندی، عصبی و ماهیچه‌ای می‌باشند. اغلب گیاهان نیز سامانه‌های بافتی پوششی، زمینه‌ای و آوندی دارند (خزه‌گیان آوند ندارند).

۳) **اندام:** هر اندام از چند **بافت مختلف** تشکیل می‌شود، مانند **استخوان** که در این شکل نشان داده شده است و از بافت پیوندی، پوششی و عصبی تشکیل شده است (البته دست شما نیز یک اندام است که هر بافتی در آن وجود دارد و تشکیل دستگاه حرکتی می‌دهد).



نکته
بافت استخوانی را با استخوان اشتباه نگیرید. در گفتار بعد می‌آموزید که بافت استخوانی نوعی **بافت پیوندی** است ولی استخوان، **اندامی** شامل چند بافت مختلف می‌باشد. (در مورد ماهیچه نیز این ویژگی صادق است. بافت ماهیچه‌ای یک بافت است ولی ماهیچه اندامی است که از بافت ماهیچه‌ای، پیوندی و... تشکیل شده است.)

۴) **دستگاه:** در گیاهان و جانوران، هر چند **اندام**، یک دستگاه را تشکیل داده‌اند. مثلاً دستگاه حرکتی گوزن مقابل از غضروف، ماهیچه‌ها و استخوان‌ها تشکیل شده است. (بافت ماهیچه‌ای، اندام و دستگاه، ویژگی جانوران و گیاهان می‌باشد که البته خزه‌گیان اندام و دستگاه مشخص ندارند.)



حتماً با دستگاه گوارش آشنا هستید که هرکدام از چند اندام مثل دهان، مری، معده و... ایجاد شده است.

۵) **فرد:** جانداری پریاخته‌ای یا فرد (مانند گوزن)، موجود جداگانه‌ای است که از چند **دستگاه** مختلف ایجاد شده است.

۶) **جمعیت:** مجموع جانداران **یک گونه** که در **یک زمان و مکان، با هم زندگی** می‌کنند، **یک جمعیت** را به وجود می‌آورند. (افراد یک جمعیت توانایی تولیدمثل با یکدیگر را دارند.)

۷) **اجتماع:** مجموعهٔ چند جمعیت که حاوی گونه‌های **متعدد** می‌باشند و با هم ارتباط **زیستی** دارند را یک **اجتماع** می‌گویند. (در تعریف اجتماع فقط به موجودات زندهٔ محیط توجه می‌شود و کاری به عوامل محیطی غیرزنده مانند آب و هوا و نور نداریم!)







۸) **بوم‌سازگان:** در هر بوم‌سازگان (اکوسیستم) جمعیت‌های گوناگون با هم **تعامل** دارند و **یک اجتماع** را به وجود می‌آورند. در این سطح برای اولین‌بار به **عوامل غیرزندهٔ** محیطی نیز توجه می‌شود.



نکته
اجتماع، مجموعه جانداران گونه‌های مختلف در حال تعامل است ولی وقتی تعامل آن‌ها را با محیط **غیرزنده** اطراف بررسی کنیم، به آن یک بوم‌سازگان می‌گویند. در بوم‌سازگان همان‌قدر که بررسی جانداران اجتماع آن مهم است، بررسی **محیط زیست** آن‌ها و روابط بین جاندار و محیط نیز مهم است. دقت کنید که هر بوم‌سازگان دارای یک اجتماع و چند جمعیت می‌باشد.

۹) **زیست‌بوم:** از چند بوم‌سازگان تشکیل می‌شود که از نظر اقلیم (آب و هوا) و پراکندگی جانداران مشابه می‌باشند. مثلاً در شکل مقابل یک زیست‌بوم حاوی دو بوم‌سازگان خشکی‌زی مشاهده می‌شود.



نکته
هر زیست‌بوم شامل چندین بوم‌سازگان و در نتیجه چندین اجتماع است که هرکدام در یک منطقه با شرایط اقلیمی و پراکندگی جانداران مشابه قرار دارند.

۱۰) **زیست‌کره:** زیست‌کره، بزرگ‌ترین و آخرین سطح سازمان‌یابی حیات می‌باشد که شامل همهٔ **جانداران**، همهٔ **زیستگاه‌ها** و همهٔ **زیست‌بوم‌های کرهٔ زمین** شامل خشکی‌زی، آبزی و... است.



نکته
بررسی محیط غیرزنده در سطوح بوم‌سازگان، زیست‌بوم و زیست‌کره انجام می‌شود.

یادآوری

۱) طبقه‌بندی جانداران را سال قبل خوانده‌اید و به صورت زیر می‌باشد:

فرمانرو ← شاخه ← رده ← راسته ← تیره ← سرده ← گونه ← نژاد

۲) در طبیعت ۵ فرمانرو پروکاریوت‌ها (باکتری‌ها)، آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران وجود دارد. در این سیستم طبقه‌بندی هرچه از فرمانرو به سمت گونه و نژاد می‌رویم، شباهت جانداران **بیشتر** و تعداد **محدودتر** می‌شود. افراد یک گونه و نژاد توانایی تولیدمثل و ایجاد افراد کم و بیش مشابه را در حالت تولیدمثل جنسی دارند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) زیست‌بوم، مجموعهٔ چندین بوم‌سازگان مختلف نزدیک هم می‌باشد که شرایط محیطی و اقلیم تقریباً یکسانی از نظر آب و هوایی دارند ولی بوم‌سازگان از زیست‌بوم محدودتر می‌باشد. مثلاً جانداران جنگل و خود محیط جنگل یک بوم‌سازگان به حساب می‌آیند که جانداران مختلف آن با هم و با محیط، ارتباط دارند ولی زیست‌بوم، مجموعهٔ بوم‌سازگان‌های مختلف ولی با اقلیم مشابه مثل جنگل و مناطق مرتفع کوهستانی **نزدیک** هم می‌باشد که بین جانداران بوم‌سازگان‌های مختلف آن ارتباط وجود **ندارد**.

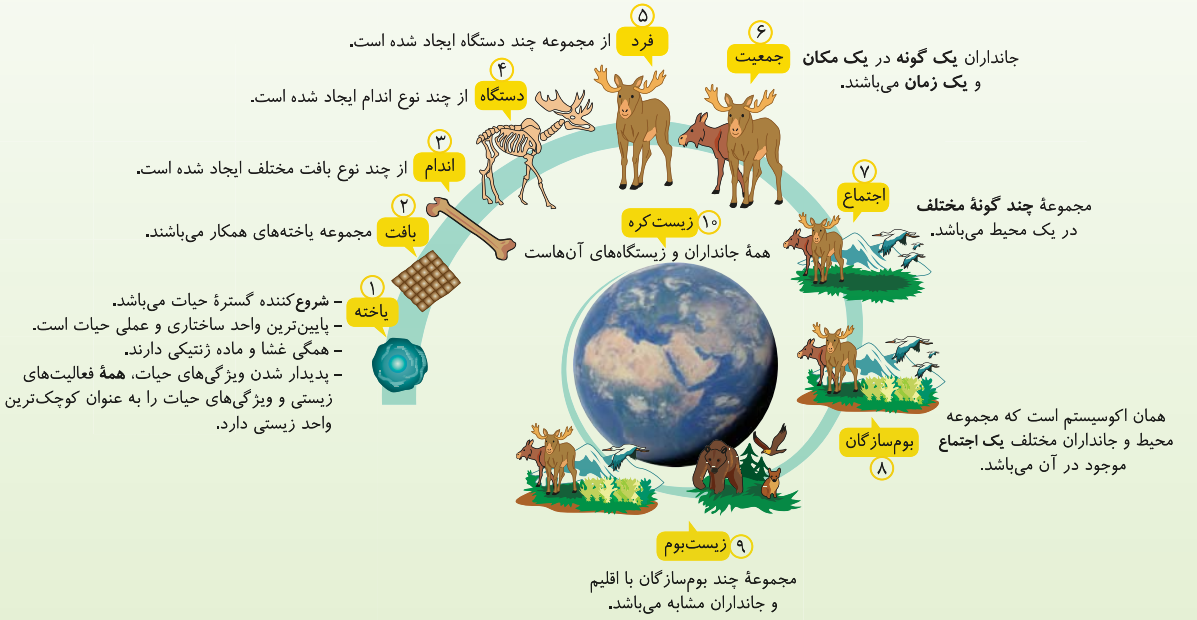
۲) **یاخته** واحد **ساختار** و **عمل** در همهٔ جانداران می‌باشد و در حقیقت **پایین‌ترین** سطح ساختار سازمان‌یابی حیات است که **همهٔ** فعالیت‌های زیستی در آن انجام می‌شود.

۳ همهٔ جانداران **یاخته** دارند که یا تک‌یاخته‌ای (*باکتری‌ها، اغلب آغازیان و برخی قارچ‌ها*) و یا پریاخته‌ای (*برخی آغازیان و قارچ‌ها و همهٔ جانوران و گیاهان*) می‌باشند.

۴ همهٔ یاخته‌ها **غشایی** برای تنظیم مواد عبوری دارند و اطلاعات لازم زندگی آن‌ها در مولکول‌های **DNA** (*دِئوکسی ریبونوکلئیک اسید*) آن‌ها نهفته است.

۵ دقت کنید که **برخی یاخته‌ها**، پس از مدتی می‌توانند به دلیل **سازش و تمایز** تغییراتی کنند، مثلاً هستهٔ خود را از دست بدهند (*مثل گویچهٔ قرمز بالغ یا یاختهٔ آبکش بالغ گیاهان*) یا مثلاً برخی نورون‌ها دارای تقسیم محدود می‌باشند و ماهیچه اسکلتی، پس از تولد دیگر **تقسیم** نمی‌شوند.

۶ **برهم‌کنش اجزاء** در بدن جانداران به اندازه‌ای **پیچیده** است که در **هر سطح جدید** از حیات مثلاً از سطح جمعیت به اجتماع یا از بافت به اندام که می‌رسیم **ویژگی‌های جدیدی** پدیدار می‌شود که با سطح قبلی بسیار متفاوت است (*مثل مقایسه دستگاه گوارش با مری*).



تست ۹ **در سطوح سازمان‌یابی حیات، پایین‌ترین سطحی که ..... در آن شروع می‌شود، در سطح بعدی آن ..... دیده می‌شود.**

۱) تعامل چند دستگاه بدن - یک جاندار
۲) ایجاد اندام‌های مختلف - گروهی از افراد یک گونه
۳) وجود گونه‌های متنوع - تعامل عوامل زنده و غیرزنده
۴) چند بوم‌سازگان - پراکندگی فقط مشابه جانداران

پاسخ ۳ B

پایین‌ترین سطح در سازمان‌یابی حیات که در آن گونه‌های **متنوع** وجود دارد، **اجتماع** است که در سطح بعدی آن یعنی **بوم‌سازگان**، تعامل بین عوامل زنده و غیرزنده را می‌بینیم.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): پایین‌ترین سطح دارای تعامل بین چند دستگاه، جاندار (*فرد*) است که سطح بعدی آن **جمعیت** است. / گزینهٔ (۲): پایین‌ترین سطح دارای اندام‌های مختلف، **دستگاه** است که سطح بعدی آن فرد (*جاندار*) است (*نه جمعیت یا افراد یک گونه*). / گزینهٔ (۴): پایین‌ترین سطح دارای چند بوم‌سازگان، **زیست‌بوم** است که سطح بعدی آن زیست‌کره می‌باشد (*پراکندگی مثبه جانداران در خود بوم‌سازگان و زیست‌بوم دیده می‌شود*).

تست ۱۰ **کدام‌یک از موارد زیر صحیح است؟**

الف) بوم‌سازگان از چند زیست‌بوم تشکیل می‌شود.
ب) زیست‌شناسی علم بررسی حیات است.
ج) خم شدن ساقهٔ گیاهان به سمت نور صرفاً نوعی رشد و نمو است.
د) وجود موهای سفید در خرس قطبی یک نوع سازش با محیط است.

۱) (الف) و (ب)
۲) (الف) و (ج)
۳) (ب) و (ج)
۴) (ب) و (د)

پاسخ ۴ A

موارد (ب) و (د) صحیح هستند.

تله‌های تستی الف) هر زیست‌بوم از چند بوم‌سازگان تشکیل می‌شود که از نظر اقلیم (*آب و هوا*) و پراکندگی جانداران مشابه‌اند. / ب و د) بر طبق متن کتاب درسی صحیح هستند. / ج) خم شدن ساقهٔ گیاهان به سمت نور، نوعی **پاسخ به محیط** در گیاهان می‌باشد.

تست ۱۱ **در بررسی سطوح مختلف حیات، از قسمتی که تعامل جانداران گونه‌های مختلف با همدیگر و با محیط نقش ایفا می‌کند، .....**

۱) جاندار پریاخته‌ای وارد می‌شود.
۲) افراد همگی در یک جمعیت هستند.
۳) زیست‌بوم ایجاد می‌شود.
۴) بوم‌سازگان ایجاد می‌شود.

پاسخ ۴ B

افراد یک گونه که در زمان و مکان خاص زندگی می‌کنند، یک جمعیت را به وجود می‌آورند. جمعیت‌های گوناگون که با هم تعامل دارند، یک اجتماع را به وجود می‌آورند. عوامل زنده (*اجتماع*) و غیرزندهٔ محیط و تأثیرهایی که بر هم می‌گذارند، **بوم‌سازگان** را می‌سازند. در بوم‌سازگان، خدمات به میزان تولیدکنندگان آن بستگی دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): هر بوم‌سازگان یک اجتماع دارد. / گزینه‌های (۲) و (۳): تعامل جمعیت‌های مختلف و در واقع افراد گونه‌های مختلف سبب ایجاد اجتماع و سپس بوم‌سازگان می‌شود. زیست‌بوم از چند بوم‌سازگان تشکیل می‌شود که از نظر اقلیم (*آب و هوا*) و پراکندگی جانداران مشابه‌اند.

مولکول‌های زیستی

در جانداران، مولکول‌هایی وجود دارند که در دنیای **غیرزنده** دیده نمی‌شوند که به آن‌ها **مولکول‌های زیستی** گفته می‌شود. این مولکول‌ها **چهار گروه اصلی** (*به‌واژهٔ اصلی دقت کنید*) به نام کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها دارند ولی انواع فرعی مثل کوآنزیم‌ها (*ویتامین‌ها و سایر کمک‌کننده‌های آنزیم‌ها*) نیز دارند. در الگوی زیر به بررسی چهار نوع مولکول زیستی اصلی می‌پردازیم که سبب تولید یاخته در جانداران می‌شوند.

نکته

مولکول‌های زیستی تشکیل دهندهٔ یاخته‌ها و پیکر جانداران می‌باشند.

● انواع مولکول‌های زیستی اصلی یاخته‌ها

- همگی حداقل از سه نوع عنصر کربن، هیدروژن و اکسیژن به وجود آمده‌اند.

الف) کربوهیدرات‌ها (ساکاریدها)

- **مونوساکاریدها**
  - **ساده‌ترین** کربوهیدرات‌ها می‌باشند.
  - مولکول‌هایی، از سه تا هفت کربن می‌باشند (*البته در کتاب نیست*).
  - مهم‌ترین آن‌ها هگزوزهای شش‌کربنه مثل گلوکز و فروکتوز هستند (*ساختار حلقوی دارند*).
  - گلوکز آن‌ها منشأ اصلی تولید انرژی (*ATP*) در تنفس یاخته‌ای جانداران می‌باشد.
  - نوع پنج‌کربنی یا پنتوز آن‌ها به صورت حلقوی در ساختار نوکلئیک اسیدها نقش دارد (*ریبوز و دئوکسی‌ریبوز*) (*دوازدهم*).
- **دی‌ساکاریدها**
  - از واکنش سنتز آبدهی یا ترکیب دو مونوساکارید ایجاد شده‌اند. (*با تولید آن یک آب آزاد می‌شود.*)
  - انواع:
    - ساکارز ← از ترکیب گلوکز و فروکتوز است که در قند و شکر خوراکی وجود دارد.
    - لاکتوز ← از ترکیب گلوکز و گالاکتوز است که در قند شیر وجود دارد.
    - مالتوز ← از ترکیب دو گلوکز ایجاد شده است (*واحد سازنده یکسان دارد*).


ساکارز

- **پلی‌ساکاریدها**
  - از ترکیب تعداد زیادی **مونو**ساکارید ایجاد شده‌اند که نقش ساختاری یا ذخیره‌ای دارند.
  - انواع:
    - **نشاسته**
      - قند ذخیره‌ای در یاختهٔ گیاهی است (*مثل سیب‌زمینی و غلات*).
      - از اجتماع گلوکزها ایجاد شده است.
      - توسط آنزیم **آمیلاز** هیدرولیز می‌شود (*فصل ۲*).
      - قسمت‌های منشعب و بدون انشعاب دارد (*بیشتر بدانید*).


دانه‌های نشاسته در سیب‌زمینی

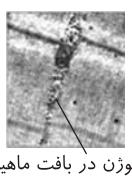

نشاسته

    - **سلولز**
      - قند **ساختاری** موجود در **دیوارهٔ** یاخته‌های گیاهی است.
      - از ترکیب **گلوکزها** ایجاد شده است.
      - در طبیعت نقش مهمی برای صنعت در **کاغذسازی** و تولید انواع **پارچه** دارد.
      - در دیوارهٔ نخستین و پسین یاخته‌های گیاهی موجود است (*فصل ۶*).
      - فقط ساختار رشته‌ای **بدون انشعاب** دارد (*تکخال*).


مولکول‌های سلولز

دیوارهٔ یاخته‌ای در گیاه

    - **گلیکوژن**
      - پلی‌ساکارید ذخیره‌ای ساخته شده در **جانوران و قارچ‌ها** می‌باشد.
      - در یاخته‌های کبد و ماهیچهٔ **جانوران** ذخیره می‌شود.
      - از تعداد زیادی گلوکز ایجاد شده است.
      - در غذاهای گیاهی وجود ندارد.


دانه‌های گلیکوژن در بافت ماهیچه‌ای


گلیکوژن

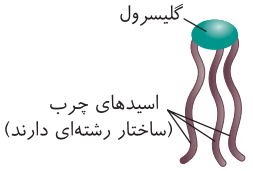
نگاهی به آینده

۱) در ساختار *ATP* انرژی‌زا، قند مونوساکارید ریبوز وجود دارد (*گفتار بعد*).
۲) نشاسته در دهان و رودهٔ باریک انسان به دلیل وجود آمیلاز هیدرولیز می‌شود (*فصل ۲*).
۳) گلیکوژن فقط در رودهٔ باریک انسان تجزیه می‌شود (*فصل ۲*).
۴) سلولز در سیرابی نشخوارکنندگان و رودهٔ بزرگ انسان تجزیه می‌شود (*فصل ۲*).
۵) همهٔ جانداران طی تنفس یاخته‌ای، گلوکز را تجزیه می‌کنند (*فصل ۳*).
۶) باکتری اشرشیاکلای توانایی تجزیه گلوکز، لاکتوز و مالتوز دارد (*فصل ۱ دوازدهم*).

ب) لیپیدها: همانند کربوهیدرات‌ها همگی دارای سه نوع عنصر کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند ولی انواعی از آن‌ها مثل **فسفولیپیدها**، علاوه بر این عناصر، حاوی فسفر نیز می‌باشند. دقت کنید که نسبت این عناصر در لیپیدها با نسبت آن‌ها در کربوهیدرات‌ها **متفاوت** می‌باشد. (*ویژگی مشترک لیپیدها، آب‌گریز بودن آن‌هاست.*)

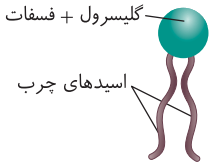
انواع لیپیدها

۱) تری‌گلیسریدها
- هر کدام یک مولکول الکلی به نام **گلیسرول** و سه اسید چرب دارند که روغن و چربی انواعی از آن‌ها می‌باشند.
- در **ذخیرهٔ انرژی** نقش مهمی دارند که انرژی هر گرم آن‌ها حدود دو برابر انرژی هر گرم **کربوهیدرات** است.
- تفاوت تری‌گلیسریدها با هم، در نوع اسید چرب آن‌هاست.



«تری‌گلیسرید»

۲) فسفولیپیدها
- بخش اصلی تشکیل دهندهٔ **غشای** هر یاخته‌ای می‌باشند (*نه دیواره!*).
- حاوی یک گلیسرول، دوتا اسید چرب و یک گروه فسفات‌دار می‌باشند.
- یکی از مواد موجود در صفرا نیز می‌باشند (*فصل ۲*).



«فسفولیپید»

۳) کلسترول
- در ساختار غشای یاختهٔ **جانوری** و انواعی از **هورمون‌ها** وجود دارد (*کلسترول اسید چرب ندارد*).
- در صفرا و ساختار لیپوپروتئین‌های *HDL* و *LDL* که توسط کبد تولید می‌شوند وجود دارد (*فصل ۲*).

ج) پروتئین‌ها
- علاوه بر کربن، هیدروژن و اکسیژن، همگی حاوی نیتروژن نیز می‌باشند.
- از به هم پیوستن واحدهایی به نام **آمینواسید** به وجود آمده‌اند که ۲۰ نوع آن‌ها در ساختار پروتئین‌های جانداران وجود دارند (*دوازدهم*).
- کارهای **متنوع** دارند، مانند:
  - انقباض ماهیچه ← به کمک اکتین و میوزین (*فصل ۳ یازدهم*)
  - انتقال مواد در خون ← به کمک هموگلوبین، آلبومین و... (*فصل‌های ۳ و ۴*)
  - کمک به عبور مواد از غشای یاخته ← مانند عمل پروتئین‌های غشایی (*گفتار بعد*)
  - عملکرد آنزیمی ← به عنوان کاتالیزور زیستی، **سرعت** واکنش‌های شیمیایی را **بالا** می‌برند.
- متنوع‌ترین مولکول‌های زیستی می‌باشند (*فصل ۱ دوازدهم*).
- در دنا دارای رمز می‌باشند که در سال دوازدهم در مورد آن‌ها بیشتر می‌آموزید.


آمینواسید — پروتئین

د) نوکلئیک اسیدها
- همهٔ آن‌ها علاوه بر کربن، هیدروژن و اکسیژن حاوی نیتروژن و فسفر نیز می‌باشند.
- دو نوع دنا (*DNA*) و رنا (*RNA*) دارد.
- از واحدهایی به نام **نوکلئوتید** به وجود آمده‌اند.
- ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی یاخته و جاندار در نوعی به نام **دنا** می‌باشند.


«دنا»

نکته

در تست‌ها دقت کنید که
- هر مولکول زیستی فسفردار ← می‌تواند فسفولیپید یا دنا یا رنا باشد.
- هر مولکول زیستی نیتروژن‌دار ← می‌تواند دنا، رنا یا پروتئین باشد.
- هر مولکول زیستی فاقد نیتروژن ← می‌تواند کربوهیدرات یا لیپید باشد.
- هر گروه مولکول زیستی فاقد فسفر ← می‌تواند کربوهیدرات و پروتئین باشد.

تست ۱۲ **چند مورد عبارت «فقط برخی از گروه‌های اصلی مولکول‌های زیستی که .....» را به درستی تکمیل می‌کند؟**

الف) فاقد فسفر هستند، دارای نیتروژن می‌باشند.

ب) نیتروژن‌دار هستند، از آمینواسید تشکیل شده‌اند.

ج) فاقد نیتروژن هستند، در انرژی‌زایی نقش دارند.

د) در دنیای غیرزنده تولید می‌شوند، فسفردار هستند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۲ گزینه ۲

موارد (الف) و (ب) صحیح می‌باشد (*درست به‌جای «برخی» دقت کنید!*).

تله‌های تستی الف) درست است. هیچ کربوهیدرات و پروتئینی، فسفر ندارد که پروتئین‌ها نیتروژن‌دار هستند. / ب) درست است. پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها نیتروژن‌دار هستند که فقط پروتئین‌ها از آمینواسید به وجود آمده‌اند. / ج) نادرست است. کربوهیدرات‌ها و لیپیدها فاقد نیتروژن هستند ولی در بین آن‌ها ذخیرهٔ انرژی در هر دو دیده می‌شود (*مثل گلیکوژن و تری‌گلیسرید در جانوران*). / د) نادرست است. هیچ مولکول زیستی در دنیای غیرزنده تولید نمی‌شود.

درسنامه

گفتار ۳ یاخته و بافت در بدن انسان

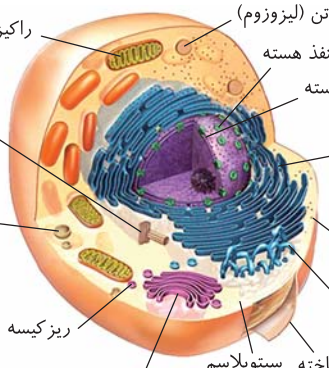
در هر جانداری، یاخته (*سلول*) واحد **ساختار و عملکرد بدن** می‌باشد. در گفتار قبل آموختید که یاخته، سطح **شروع‌کننده گسترهٔ حیات** می‌باشد. برخی جانداران تک‌یاخته‌ای هستند و **همهٔ** ساختار و عمل جاندار در همان یک یاخته خلاصه می‌شود. در جانداران پریاخته‌ای، فضای **بین**‌یاخته‌ای نسبتاً پایداری و مایع‌داری وجود دارد که این فضا به عنوان **محیط زندگی یاخته‌ها** شناخته می‌شود.

نکته

در انسان، یاخته‌ها مواد لازم خود مانند اکسیژن و مواد مغذی را از مایع بین‌یاخته‌ای دریافت می‌کنند و مواد دفعی مثل CO_2 (*کربن دی‌اکسید*)، **اوره** و **لاکتیک** اسید را به این مایع پس می‌دهند تا آن را به کمک **خون** از بدن دفع کنند.

اجزای یاختهٔ جانوری در یک نگاه

- **غشا**
  - مرز بین درون یاخته و بیرون آن می‌باشد.
  - از **دو لایهٔ فسفولیپیدی** به همراه پروتئین و کربوهیدرات ایجاد شده است که در **جانوران** حاوی **کلسترول** نیز می‌باشد.
- **سیتوپلاسم**
  - محل ← فاصلهٔ بین غشای یاخته و هسته را پر کرده است.
  - اجزاء
    - مادهٔ زمینه ← مایعی شامل آب و مواد دیگر است که فرایندهای مختلفی مثل برخی قسمت‌های تنفس یاخته‌ای در آن انجام می‌شود.
    - اندامک‌ها
      - برخی **غشادار** بوده که ویژهٔ یوکاریوت‌ها هستند، مثل راکیزه (*میتوکندری*)، شبکهٔ آندوپلاسمی، کافنده‌تن (*لیزوزوم*) و...
      - انواع کمتری بدون غشا مانند رناتن (*ریبوزوم*) و میانک (*سانتریول*) می‌باشند.
      - واکنش‌های مختلف یاخته را انجام می‌دهند (*در ادامه بررسی می‌کنیم*).
- **هسته**
  - حاوی دو غشای **منفذدار** در یوکاریوت‌ها می‌باشد که مادهٔ ژنتیکی اصلی یاخته (*دنا*) در آن قرار دارد.
  - شکل، اندازه، کار یاخته و فعالیت‌های آن را کنترل می‌کند.
  - ارتباط با سیتوپلاسم را از طریق منافذ غشایی خود انجام می‌دهد.



راکیزه (میتوکندری) ← دو غشا دارد (داخلی چین‌خورده است).
در فرایند تنفس یاخته‌ای به تأمین انرژی می‌پردازد.

میانک (سانتریول) ← یک جفت استوانهٔ عمود بر هم برای تقسیم یاختهٔ جانوری است.

کافنده‌تن (لیزوزوم) ← ساختار **کیسه‌ای** دارد.
حاوی آنزیم‌های هیدرولیزکننده یا تجزیه‌کنندهٔ مواد می‌باشد.

ریزکیسه (وزیکول) ← ساختار **کیسه‌ای** دارد.
در جابه‌جایی مواد نقش دارد.
در درون‌بری و برون‌رانی درشت‌مولکول‌ها نقش دارد.

دستگاه گلژی ← از کیسه‌**هایی** روی هم تشکیل شده است.
مسئول بسته‌بندی مواد و ترشح آن‌ها به خارج یاخته می‌باشند.

به صورت کیسه و لوله در سراسر سیتوپلاسم گسترش دارد.
این نوع رناتن‌دار بوده و مسئول ساخت پروتئین می‌باشد.

رناتن (ریبوزوم) ← غشا ندارد.
مسئول ساخت پروتئین است.

شبکهٔ آندوپلاسمی صاف ← ساختار کیسه و لوله دارد.
این نوع بدون رناتن بوده و مسئول ساخت **لیپید** می‌باشد.

«یاختهٔ جانوری و اندامک‌های آن»

نکته

در طبیعت دو نوع یاخته وجود دارد:
- پروکاریوت‌ها ← فاقد اندامک غشادار و هسته می‌باشند که شامل همهٔ باکتری‌ها می‌شوند.
- یوکاریوت‌ها ← هستهٔ غشادار دارند.
  - قارچ‌ها، جانوران، گیاهان و آغازیان را شامل می‌شود.

اندامک‌ها در کل کتاب‌های زیست‌شناسی (دهم، یازدهم و دوازدهم)

اندامک یا ساختار	مخصوص چه جاندارانی	تعداد غشا	نکات و کار قسمت‌های درون‌یاخته‌ای
رناتن	همهٔ جانداران	ندارد	از پروتئین و *rRNA* (*رنای رناتنی*) به وجود آمده است. محل ساخت رشتهٔ **پلی‌پپتیدی** است. درون راکیزه، دیسه‌ها و پروکاریوت ساختار مخصوص ولی در سیتوپلاسم یوکاریوت در خارج اندامک‌ها نوع دیگری از آن وجود دارد. دو زیرواحد کوچک و بزرگ با سه جایگاه *A*، *P* و *E* دارد (*دوازدهم*). ۲۴ نوع مونومر می‌تواند داشته باشد (*۲۰ نوع آمینواسید و ۴ نوع نوکلئوتید*).
میانک (*سانتریول*)	جانوران	ندارد	از ۹ دسته لولهٔ کوچک پروتئینی ۳ تایی در نزدیک هستهٔ یاختهٔ جانوران به وجود آمده است. هر دو تای آن‌ها به صورت **یک جفت استوانهٔ** عمود بر هم به وجود آمده‌اند که در مرحلهٔ اینترفاز از چرخهٔ یاخته‌ای مضاعف می‌شوند. در سازماندهی رشته‌های دوک تقسیم، مژک و تاژک نقش دارد. ساختار پروتئینی دارد ولی غشا ندارد.
هسته	یوکاریوت‌ها	دو غشای منفذدار دارد	تنظیم فعالیت‌های یاخته را به کمک اطلاعات ژنتیکی خود انجام می‌دهد. همانندسازی دِنا و رونویسی *RNA* همگی در هسته صورت می‌گیرد (*دوازدهم*).
راکیزه (*میتوکندری*)	یوکاریوت هوازی	دو غشا	محل انجام بخش **هوازی** تنفس یاخته‌ای است. غشای خارجی صاف و داخلی چین‌خورده از تیغه‌هایی به سمت **داخل** اندامک دارد که سبب *ATP*سازی می‌شود. دو فضا دارد: ۱- بین دو غشا ۲- فضای محصور شده توسط غشای درونی که **بستره** نام دارد. این اندامک همانند پروکاریوت‌ها، دارای دِنا حلقوی، رناتن مخصوص، تقسیم دوتایی، همانندسازی دِنا، رناسازی و پروتئین‌سازی می‌باشد (*دوازدهم*). کار آن تأمین انرژی (*تبدیل ماده به انرژی*) است.
سبزدیسه (*فصل ۶*)	یوکاریوت فتوسنتزکننده	دو غشای صاف دارد	محل فتوسنتز است. ۳ فضا درون آن است: ۱- بین دو غشای صاف ۲- فضای محصور شده توسط غشای درونی که **بستره** نام دارد و درون آن مانند بسترهٔ راکیزه و پروکاریوت‌ها، همانندسازی دنا، رونویسی رنا و ترجمه پروتئین وجود دارد ۳- فضایی متشکل از ساختارهای غشایی کیسه‌مانند به نام **تیلاکوئید** دارد. سبزدیسه‌ها، تقسیم ساده و ریبوزوم دارند. انرژی نوری را به شیمیایی تبدیل می‌کند. در غشای تیلاکوئیدهای آن، سامانه‌هایی حاوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برای به دام انداختن نور وجود دارد (*دوازدهم*).
شبکهٔ آندوپلاسمی زبر (*رناتن‌دار*)	یوکاریوت	یک غشا	اغلب به سطح خارجی غشای هسته متصل است ولی به صورت شبکه‌ای از لوله و کیسه در سراسر سیتوپلاسم گسترده است. روی آن ریبوزوم برای پروتئین‌سازی وجود دارد. پروتئین‌های تولید شده در آن برای بسته‌بندی به دستگاه گلژی ارسال می‌شوند (*دوازدهم*).
دستگاه گلژی	یوکاریوت	هر کیسه یک غشا دارد (*تعدادی کیسه دارد.*)	از تعدادی کیسهٔ روی هم ایجاد شده است. وظیفهٔ بسته‌بندی و نشانه‌گذاری مولکول‌های تولید شده در شبکهٔ آندوپلاسمی را دارد، تا آن‌ها را به صورت ریزکیسه‌های غشادار به عنوان پروتئین غشایی، واکوئول، کافنده‌تن و یا ریزکیسه برای برون‌رانی تشکیل دهد (*دوازدهم*). **نکته:** پروتئین‌هایی که می‌خواهند از یاخته **برون‌رانی** شوند نیز در دستگاه گلژی بسته‌بندی می‌شوند ولی پروتئین‌هایی که به سمت سبزدیسه‌ها، راکیزه‌ها و هسته می‌روند از سیستم گلژی عبور نمی‌کنند (*دوازدهم*).

اندامک یا ساختار	مخصوص چه جاندارانی	تعداد غشا	نکات و کار قسمت‌های درون‌یاخته‌ای
شبکهٔ آندوپلاسمی صاف	یوکاریوت	یک غشا	غشای آن صاف و بدون رناتن است. ساختار و عمل آن با زبر **متفاوت** است ولی به هم پیوسته‌اند. مهم‌ترین وظیفهٔ آن **لیپیدسازی** است. همانند شبکهٔ آندوپلاسمی زبر به صورت شبکه‌ای از کیسه و لوله تشکیل شده است.
کافنده‌تن (*لیزوزوم*)	یوکاریوت (*مصرف‌کننده*)	یک غشا	به کمک دستگاه گلژی و شبکهٔ آندوپلاسمی ایجاد شده است. آنزیم‌های گوارشی قوی دارد. گوارش درون‌یاخته‌ای و ایجاد واکوئل‌های گوارشی می‌کند. در درشت‌خوارها و سایر بیگانه‌خوارها نقش بسیار مهمی دارد. این اندامک در گوارش درون‌یاخته‌ای برای بیگانه‌خوارها و گوارش درون‌یاخته‌ای مواد غذایی جانداران تک‌یاخته‌ای مثل پارامسی نقش دارد.
واکوئل	یوکاریوت	یک غشا	کیسه‌ای برای ذخیرهٔ مواد دفاعی، دفعی و غذایی است. انواع واکوئل: گوارشی ← در پارامسی و یاخته‌های جذب‌کنندهٔ غذا در لایه داخلی حفرهٔ گوارشی و همچنین در یاخته‌های بیگانه‌خوار نقش هیدرولیز مواد را دارد (*فصل ۲*). دفعی ← حاوی مواد زائد برای دفع از برخی یاخته‌ها مثل پارامسی می‌باشد (*فصل ۲*). انقباضی ← برای دفع و بیرون راندن **آب** اضافی در انواعی مثل پارامسی ساکن آب شیرین می‌باشد (*فصل ۵*). گیاهی ← تنظیم آب یاخته را انجام می‌دهد - حاوی آب، مواد رنگی، اسیدی و پروتئینی می‌باشد (*فصل ۶*).

تست ۱۳ **چند عبارت زیر در مورد اجزای هر یاختهٔ معدهٔ انسان نادرست است؟**

الف) هر اندامک سیتوپلاسمی آن، کار ویژه‌ای دارد.

ب) مادهٔ زمینه سیتوپلاسم آن، از آب و مواد دیگر ایجاد شده است.

ج) بخش کنترل‌کنندهٔ فعالیت‌های آن یک منفذ برای ارتباط با سیتوپلاسم دارد.

د) در سطح خارجی غشای آن، یک نوع کربوهیدرات وجود دارد.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۲ B موارد (ج) و (د) نادرست هستند. رمز پاسخ دادن به این تست، مطالعهٔ دقیق متن کتاب درسی است. هسته که بخش کنترل‌کنندهٔ شکل و کار یاخته است، **منافذی** (*نه یک منفذ*) دارد و سطح خارجی غشای یاخته، **انواعی** (*نه یک نوع*) کربوهیدرات دارد. (*در شکل کتاب انواع مختلف کربوهیدرات‌ها که انشعاب‌دار نیز هستند در سطح خارجی غشا مشخص است.*)

عبارت‌های (الف) و (ب) نیز براساس متن کتاب در بخش سیتوپلاسم، کاملاً درست هستند.

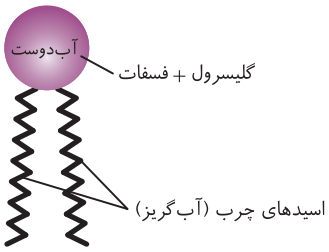
ساختار غشای یاخته و راه‌های انتقال مواد

نکات کلی ساختار غشای یاخته

۱) وظیفهٔ غشا، کنترل عبور مواد به درون یا بیرون یاخته می‌باشد. در حقیقت غشا، مرز بین درون یاخته و بیرون آن است.

۲) غشای پلاسمایی سدی با **تراوایی نسبی** بین محیط بیرون و فضای درون یاخته به وجود می‌آورد که مولکول‌ها و یون‌ها با روش‌های ویژه‌ای می‌توانند از عرض غشا عبور کنند. تراوایی نسبی، یعنی غشا فقط به **برخی** مواد برحسب نیاز اجازهٔ عبور می‌دهد.

۳) بیشترین مولکول‌های تشکیل دهندهٔ غشای یاخته‌ای، **فسفولیپیدها** هستند که دو بخش آب‌دوست (*دارای گروه فسفات*) و آب‌گریز (*دم اسید چربی یا بخش سیدی*) دارند. به همین دلیل، اجتماع فسفولیپیدها در آب، به صورت دولایه‌ای قرار می‌گیرند که دم‌های آب‌گریز هر لایه به سمت همدیگر در وسط غشا و سرهای آب‌دوست در **دو طرف** خارج و سیتوپلاسم با آب در تماس می‌باشند.



۴) در بخش لیپیدی غشای یاخته‌های **جانوری**، مولکول‌های **کلسترول** می‌توانند در **بین** فسفولیپیدهای هر دو لایه وجود داشته باشند.

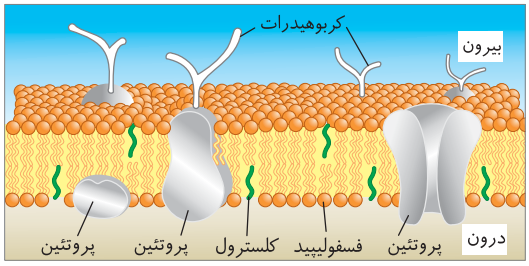
۵) مولکول‌های پروتئینی غشای یاخته‌ها
- یا در یک سطح غشا قرار دارند (*پروتئین‌های سطحی*).
- یا در سراسر عرض غشا وجود دارند (*مانند پمپ‌ها و کانال‌های غشایی*).

۶) به **برخی** از پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای سطح **خارجی** غشا، مولکول‌های **کربوهیدرات** نیز متصل‌اند. (*کربوهیدرات فقط در سطح خارجی غشا وجود دارد.*)

۷) کربوهیدرات‌های غشا همان‌طور که در شکل مشخص است، می‌توانند انشعاب داشته باشند و دقت کنید که فقط به **برخی** از فسفولیپیدها و یا **برخی** پروتئین‌ها در سطح **خارجی** اتصال دارند.

۸) غشا فاقد نوکلئیک اسید می‌باشد.

۹) غشای یاخته دور سیتوپلاسم را فراگرفته است ولی درون یاخته‌های یوکاریوتی، می‌توان اندامک‌هایی حاوی غشا را نیز مشاهده کرد.



« غشای یاخته»

تست ۱۴ **بیشترین تعداد مولکول‌ها در قسمتی از یاخته بازوفیل خونی که مرز درون و بیرون یاخته است، متعلق به مولکول‌هایی است که امکان ندارد** .....

۱) در محل قرارگیری کلسترول نیز وجود داشته باشند.
۲) در اندامک‌های درون‌یاخته‌ای نیز یافت شوند.
۳) فقط از بخش فسفردار خود به کربوهیدرات متصل باشند.
۴) بدون نیاز به پروتئین به انتقال مواد بپردازند.

پاسخ ۱ B **فسفولیپیدها** فراوان‌ترین مولکول‌های غشا هستند. این مولکول‌ها همانند کلسترول در غشا حاضرند و درون اندامک‌های غشادار یاخته نیز یافت می‌شوند. با توجه به شکل کتاب درسی اگر به صورت میکروسکوپی به شکل غشا نگاه کنید، متوجه می‌شوید که در هر لایه غشا، در محل قرارگیری کلسترول، فسفولیپیدی دیگر در آن قسمت وجود ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): غشای اندامک‌ها فسفولیپید دارد. / گزینهٔ (۳): کربوهیدرات غشایی، فقط به سر فسفاتی **برخی** فسفولیپیدهای لایه خارجی غشا متصل است. / گزینهٔ (۴): برخی مواد می‌توانند در اثر انتشار از لابه‌لای فسفولیپیدهای غشا و بدون نیاز به پروتئین رد شوند.

تست ۱۵ **در یک یاخته رودهٔ انسان، بخش اعظم غشا از مولکول‌هایی تشکیل شده است که** ..... (سراسری خارج از کشور - ۹۲)

۱) فاقد کانال‌های دریچه‌دار می‌باشند.
۲) نسبت به مولکول‌های آب بسیار نفوذپذیرند.
۳) حداقل به یک زنجیرهٔ پلی‌ساکاریدی اتصال دارند.
۴) دارای منافذ ویژه‌ای برای عبور درشت‌مولکول‌ها می‌باشند.

پاسخ ۱ A بخش اعظم غشا از مولکول‌های **فسفولیپید** تشکیل می‌شود که در ساختار آن‌ها کانال دریچه‌دار وجود ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): فسفولیپیدها به دلیل داشتن دم آب‌گریز (*نَه‌طَبر*)، نفوذپذیری زیادی نسبت به آب ندارند. / گزینهٔ (۳): **برخی** فسفولیپیدهای غشا با کربوهیدرات‌ها در اتصال هستند. / گزینهٔ (۴): درشت‌مولکول‌ها با روش **درون‌بری** و **برون‌رانی** و با تشکیل ریزکیسه‌ها، به یاخته وارد و یا از آن خارج می‌شوند.

راه‌های انتقال مواد به داخل و خارج یاخته

برای تعیین راه‌های انتقال مواد در یاخته‌ها، **ابتدا** به **نوع مادهٔ** عبوری دقت کنید. اگر مولکول عبوری از نوع مولکول‌های **کوچک** مثل آب، یون، اغلب ویتامین‌ها، مونومرها یا گازهای تنفسی بود، عبور آن بر اساس **تفاوت غلظت** آن ماده بین دو طرف غشا انجام می‌شود ولی عبور مولکول‌های **درشت** مثل بسپارها (*پلیمرها*) روش انتقال متفاوتی دارد و این مولکول‌ها همواره با صرف انرژی (*ATP*) و تشکیل ریزکیسه منتقل می‌شوند (*در ادامه بررسی می‌کنیم*).

الف) اگر مولکول عبوری، مواد کوچک بودند

در عبور مولکول‌های **کوچک** باید به تفاوت تراکم آن مولکول یا همان **شیب غلظت** آن ماده در دو طرف غشای عبوری دقت کنید. دو نوع انتقال را می‌توان برای عبور این مواد در نظر گرفت: ۱- انتشار، ۲- انتقال فعال.

۱) انتشار

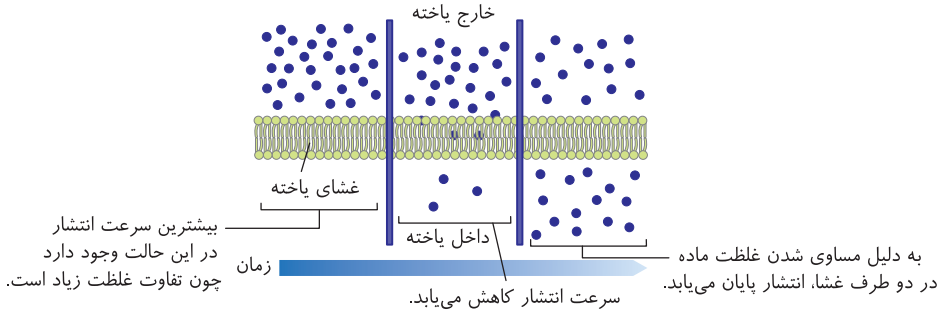
مکانیسمی برای عبور مولکول‌های **کوچک** از جای **پرتراکم به کم‌تراکم** (*غلظت*) در **جهت** شیب غلظت می‌باشد. این روش بر اساس **شیب غلظت** و **بدون** صرف **انرژی زیستی یاخته‌ای** انجام می‌گیرد. در حقیقت یاخته برای انتشار آن ماده، انرژی مصرف نمی‌کند. در انتشار، مولکول‌ها می‌توانند از بین فسفولیپیدها، یا از منافذ پروتئینی مثل کانال‌های غشا، از محل پرتراکم به کم‌تراکم بروند. نتیجهٔ نهایی انتشار هر ماده، **یکسان** شدن غلظت آن در **همهٔ** نقاطی است که آن ماده در دو طرف غشا قرار دارد. دقت کنید که در انتشار **انرژی جنبشی خود مولکول** عبوری نقش دارد ولی انرژی زیستی مثل *ATP* برای عبور آن ماده توسط یاخته مصرف نمی‌شود.

نکته انتشار به دو نوع ساده و تسهیل‌شده تقسیم می‌شود. در هر دو نوع که در ادامه بررسی می‌کنیم، انرژی زیستی در یاخته مصرف نمی‌شود و مواد در جهت شیب غلظت از غشا عبور می‌کنند. (*البته همان‌طور که گفتیم در انواع انتشار، انرژی جنبشی مولکول مورد نظر در عبور آن نقش دارد.*)

انواع انتشار (مشترشدن مواد)

انتشار ساده

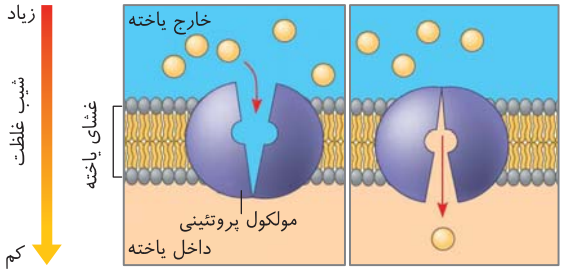
- عبور ماده از هر قسمتی از فضای بین **لیپیدهای** غشا برحسب شیب غلظت می‌باشد.
- موادی مانند آب، گازهای تنفسی، برخی ویتامین‌ها و املاح و مونومرها قدرت انتشار یافتن دارند.
- هرچه تفاوت غلظت دو محیط بیشتر باشد، **سرعت** انتشار بیشتر می‌شود.
- پس از یکسان شدن غلظت ماده در دو محیط، عبور ماده به مقدار **مساوی** در دو جهت همچنان وجود دارد ولی چون تفاوت غلظت وجود ندارد، انتشاری وجود ندارد.
- سرعت انتشار هر ماده به غلظت مادهٔ دیگر بستگی ندارد.
- انتشار تا وقتی معنا دارد که بین دو محیط **تفاوت غلظت** برای ماده عبوری وجود داشته باشد.
- در انتشار انرژی زیستی در یاخته مصرف نمی‌شود ولی انرژی جنبشی مولکول نقش دارد.



«انتشار ساده»

انتشار تسهیل‌شده

- در این روش پروتئین‌های **کانالی** غشا، انتشار ماده را در **جهت شیب غلظت** تسهیل می‌کنند.
- سرعت انتشار تسهیل‌شده، علاوه بر تفاوت تراکم مادهٔ مورد نظر در دو طرف غشا، به **تعداد** مولکول‌های **پروتئینی ناقل** در واحد سطح نیز بستگی دارد.
- با توجه به شکل زیر در هنگام عبور ماده، شکل پروتئین غشایی می‌تواند عوض شود.
- این نوع انتشار نیز تا جایی ادامه می‌یابد که در نهایت غلظت یا تراکم مادهٔ عبوری در دو طرف غشا برابر شود.



«انتشار تسهیل شده»

نگاهی به آینده

۱ در زیست یازدهم، کانال‌های **نشتی** همیشه باز سدیمی یا پتاسیمی و کانال‌های **دریچه‌دار** آن‌ها با قابلیت باز و بسته شدن را برای ایجاد پتانسیل‌های غشایی بررسی خواهیم کرد.

۲ پروتئین مسئول این فعالیت در سراسر عرض غشا وجود دارد. در فصل ۷ می‌خوانیم که بعضی یاخته‌های گیاهی، جانوری و برخی واکوئول‌های گیاهی، پروتئین مخصوص انتشار تسهیل‌شده آب در غشای خود دارند.

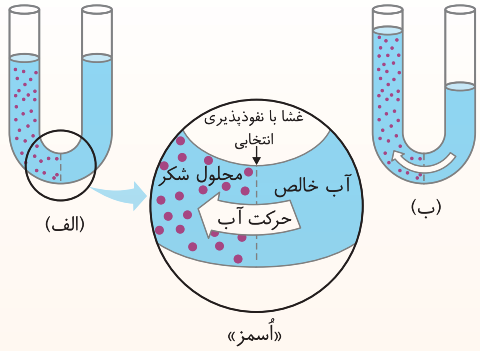
۳ در زیست دوازدهم، دو نوع پروتئین کانالی را بررسی می‌کنیم. یکی برای انتشار تسهیل‌شده پروتون (H^+) در غشای درونی راکیزه (*میتوکندری*) و دیگری در غشای تیلاکوئید سبزدیسه (*کلروپلاست*)!

● اسمز (گذرندگی) = انتشار سادهٔ مولکول آب

- با اینکه غشای یاخته لیپیدهای زیادی با خاصیت آب‌گریزی دارد، اما مولکول‌های آب، **بیشترین** ذراتی هستند که از غشای یاخته‌ها **منتشر** می‌شوند (*به انتشار ساده آب از یک غشا با تراوایی‌پذیری انتخابی، اسمز می‌گویند*). چون مولکول‌های آب می‌توانند هم از فضای بین مولکول‌های لیپیدی و هم از کانال‌های پروتئینی غشای یاخته منتشر شوند.
- اسمز در حقیقت یک فرایند **فیزیکی** است که فقط به انتشار سادهٔ آب از **محیط رقیق‌تر** با فشار اسمزی **کمتر** که **مقدار آب بیشتری دارد** به محیط **غلیظ‌تر** با مقدار آب کمتر اطلاق می‌شود. مثلاً در شکل زیر به عبور آب از سمت دارای آب خالص (*آب مقطر*) به سمت دارای محلول غلیظ شکر و یا سایر مواد محلول، اسمز گفته می‌شود. در این نمونه، **فقط مولکول‌های آب** می‌توانند از غشای نازک مورد نظر عبور کنند و دقت کنید که در قسمت (الف) مقدار آب در سمت راست از چپ بیشتر است (*چون بخشی از حجم محلول سمت چپ به مولکول‌های شکر اختصاص دارد*).

نکته

در شکل روبه‌رو می‌بینیم که **فقط** مولکول‌های آب به آسانی از عرض غشا عبور می‌کنند. مقدار مولکول‌های آب (*الف*) در سمت راست غشای لولهٔ U شکل بیشتر است چون در سمت چپ محلول آب و شکر با سطح یکسان با آب خالص وجود دارد. در نتیجه مولکول‌های آب طبق قانون انتشار تمایل به حرکت به سمت چپ (*به سمت آب کمتر*) دارند. این عمل سبب بالاتر رفتن سطح محلول در سمت چپ در شکل (*ب*) می‌شود. اما این مولکول‌های آب تا کی قرار است به سمت چپ بروند؟ پاسخ مشخص است تا هنگامی انتشار آب به سمت چپ وجود دارد که مقدار **آب** و تراکم آن در دو طرف غشا بدون در نظر گرفتن شکر برابر شود.



● فشار اسمزی

هر محلولی (*آب و مواد حل شده*) تمایلی برای جذب آب دارد. حال هرچه تراکم مادهٔ حل شده در آب بیشتر باشد، این تمایل نیز بیشتر است. به این تمایل فشار اسمزی گفته می‌شود و سبب می‌شود تا غلظت آب در دو طرف غشا برابر شده و عبور آب طی اسمز (*انتشار آب*) متوقف شود.

نکته

فشار آبگیری محلول **غلیظ‌تر** بیشتر بوده و عبور آب به سمت آن سریع‌تر می‌باشد. در نظر بگیرید که محیط اول ۱۰۰ سی‌سی حجم دارد که ٪۲۰ آن مواد محلول می‌باشد و محیط دوم نیز با ۱۰۰ سی‌سی حجم دارای ٪۴۰ مواد محلول در آب باشد. در این صورت فشار اسمزی محلول دوم بیشتر بوده و مولکول‌های **آب** طبق اسمز از طریق غشایی مخصوص عبور آب، از محلول اول به سمت محلول دوم می‌روند. این عمل تا جایی انجام می‌شود که غلظت هر دو محلول با هم برابر و به اندازهٔ ٪۳۰ شود.

نتیجه‌گیری: طی اسمز، مولکول‌های آب از محیطی با آب بیشتر در واحد حجم (*غلظت کمتر مادهٔ محلول*) که فشار اسمزی کمتری دارد به سمت محیطی با آب کمتر که فشار اسمزی بیشتری دارد منتقل می‌شود. این عمل تا جایی ادامه می‌یابد که غلظت آب در دو طرف غشا برابر شود. یعنی فشار اسمزی دو محلول دو طرف غشا با هم برابر و اختلاف آن‌ها صفر شود.

نکته

فشار اسمزی در اثر مواد **حل شده** در آب ایجاد می‌شود، نه هر مادهٔ موجود در آب. مثلاً در خون، یاخته‌های خونی، **نامحلول** در آب پلاسما هستند و در ایجاد فشار اسمزی پلاسما نقشی ندارند. فشار اسمزی پلاسمای خون به دلیل وجود مواد **محلولی** مثل **املاح و پروتئین‌های** آن می‌باشد.

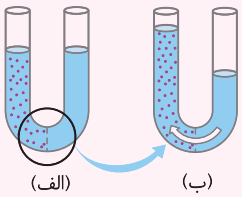
نکته

در انسان، چون غلظت مواد در مایع بین‌یاخته‌ای، تقریباً **مشابه** درون یاخته است، آب زیادی وارد یاخته نمی‌شود و یاخته نمی‌ترکد. به همین دلیل ثابت ماندن حجم و غلظت پلاسما نقش بسیار مهمی در هم‌ایستایی دارد ولی اگر یاخته‌ها در محیط بسیار رقیق‌تر از درون خود قرار بگیرند، در این حالت فشار اسمزی و تمایل یاخته به جذب آب زیاد می‌شود. در این حالت یاختهٔ جانوری که دیوارهٔ محافظ ندارد ممکن است بترکد.

نکته

در یاخته‌های گیاهی، به دلیل وجود **دیوارهٔ یاخته**، اگر یاخته در محیط رقیق باشد، توسط غشا آب زیادی جذب می‌کند و پروتوپلاست یا بخش زندهٔ یاخته بزرگ می‌شود ولی دیوارهٔ یاخته مانع ترکیدن آن می‌شود. در حقیقت یاختهٔ گیاهی تا حدی می‌تواند آبگیری کند که غشای آن به دیوارهٔ یاخته متصل شود. در جانوران به دلیل عدم وجود دیواره، اگر یاخته در محیط بسیار رقیق قرار گیرد، در اثر آبگیری یا تورم زیاد از بین می‌رود و می‌ترکد (*فصل ۶*).

تست ۱۶ **شکل مقابل نشان می‌دهد که امکان ندارد در صورت ..... غلظت دو محیط مجاور که دارای غشای نفوذپذیر هستند، انتشار آب ..... صورت بگیرد.**



۱) اختلاف - به سمت محیط غلیظ‌تر

۲) عدم اختلاف - به هر دو محیط

۳) اختلاف - به سمت محیط رقیق‌تر

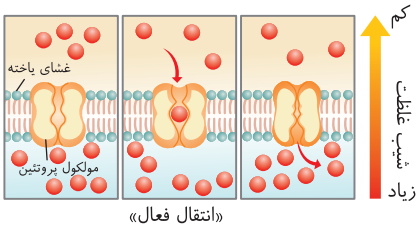
۴) عدم اختلاف - بیشتر به سمت یک محیط

پاسخ ۳ **B**

این شکل، فرایند **اسمز** را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در این فرایند، مولکول‌های **آب** در همهٔ جهات به صورت تصادفی حرکت می‌کنند ولی برآیند حرکت آن‌ها به سمت محیط غلیظ‌تر (*دارای فشار اسمزی بیشتر*) می‌باشد. بنابراین در هنگامی که بین دو محیط اختلاف غلظت وجود ندارد، عبور مولکول‌های آب در هر دو جهت انجام می‌شود ولی برآیند این حرکات صفر است. در صورتی که بین دو محیط اختلاف غلظت وجود داشته باشد، باز هم عبور مولکول‌های آب در هر دو جهت انجام می‌شود ولی برآیند انتشار مولکول‌های آب به سمت محیط رقیق‌تر می‌باشد که حرکت آب در این سمت را اسمز می‌گویند. در واقع در صورت وجود اختلاف غلظت، برآیند حرکت (*انتشار*) مولکول‌های آب از محیط دارای فشار اسمزی کمتر به محیط دارای فشار اسمزی بیشتر است. (*در تست‌ها دقت کنید که انتشار یا انتقال متفاوت است. هر وقت واژهٔ انتشار یا منتشر شدن را دیدید، یعنی مواد در جهت شیب غلظت عبور می‌کنند.*)

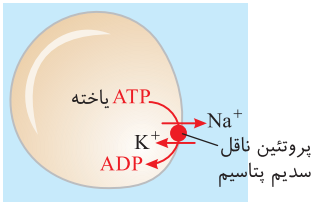
● ۲) انتقال فعال

فرایندی است که طی آن **برخی** از مولکول‌ها و یون‌ها می‌توانند **با** صرف **انرژی زیستی** و **برخلاف شیب غلظت** به درون یا بیرون یاخته منتقل شوند، در این فرایند عبور مواد از مولکول‌های **پروتئینی ناقل** (پمپ) موجود در **غرض غشا** صورت می‌گیرد که انرژی مورد نیاز این واکنش، **در اغلب موارد** از مولکول ATP به دست می‌آید.



«انتقال فعال»

مثال: در سال آینده می‌خوانیم که پمپ سدیم - پتاسیم، یک پروتئین ناقل در غشای هر یاختهٔ زندهٔ انسان است که با صرف انرژی (ATP)، سدیم را به خارج یاخته و پتاسیم را به داخل یاخته می‌آورد. لازم به ذکر می‌باشد که در حالت طبیعی بدن، همواره غلظت (تراکم) سدیم در خارج یاخته و تراکم پتاسیم در داخل یاخته بیشتر می‌باشد.



نکته ترکیبی دهم و دوازدهم

در این فصل، کتاب درسی ذکر کرده که در انتقال فعال، انرژی واکنش **می‌تواند** (نه‌فقط) از ATP تأمین شود. البته در زیست دوازدهم نیز می‌آموزید که در **راکیزه‌ها** (میتوکندری‌ها) و **سبزدیسه‌ها** (کلروپلاست‌ها)، تعدادی پروتئین مخصوص انتقال فعال **یون‌های هیدروژن** (پروتون) وجود دارند که انرژی مورد نیاز خود را **به جای** ATP **از الکترون‌های عبوری خود** به دست می‌آورند (فصل ۵ و ۶ زیست دوازدهم).

بررسی مولکول ATP (بیشتر بدانید واجب برای آینده‌ای بهتر!)

غذایی که می‌خوریم حاوی موادی مانند نشاسته، گلیکوژن و لیپید است که در پیوندهای شیمیایی آن‌ها، انرژی برای مدت طولانی ذخیره می‌شود. یاخته‌های زنده طی تنفس یاخته‌ای، اغلب با تجزیه (اکسایش) **گلوکز**، انرژی پیوندهای شیمیایی آن‌ها را در مولکول ATP ذخیره می‌کنند. یاخته، برای نیاز فوری، باید با شکستن پیوندهای پرانرژی موجود در بین فسفات‌های ATP، انرژی مورد نیاز فعالیت‌های خود را به دست بیاورد.

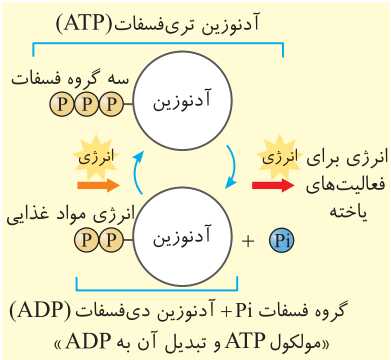
ساختار مولکول ATP (آدنوزین تری‌فسفات)

۱) قند ۵ کربنه پنتوز (از نوع ریبوز)
۲) باز آلی نیتروژن‌دار دوحلقه‌ای آدنین
→ به مجموعهٔ این دو مولکول، **آدنوزین** می‌گویند.

۳) سه گروه فسفات که از یک طرف به قند ریبوز متصلند.

گروه‌های فسفات به انتهای مولکول قند متصل‌اند. با **هیدرولیز** پیوند پرانرژی بین فسفات‌ها، انرژی ذخیره شدهٔ آن‌ها آزاد می‌شود تا یاخته از آن استفاده کند.

در یاخته به‌طور معمول با هیدرولیز ATP (همراه با مصرف آب) و تبدیل آن به مولکول ADP، انرژی به دست می‌آید که از آن در فرایندهای زیستی استفاده می‌شود.



«مولکول ATP و تبدیل آن به ADP»

نکته

ATP، شکل رایج و قابل استفاده انرژی در یاخته‌ها می‌باشد.

نگاهی به آینده

موارد که برای کنکور باید بدانید که با انتقال فعال منتقل می‌شوند

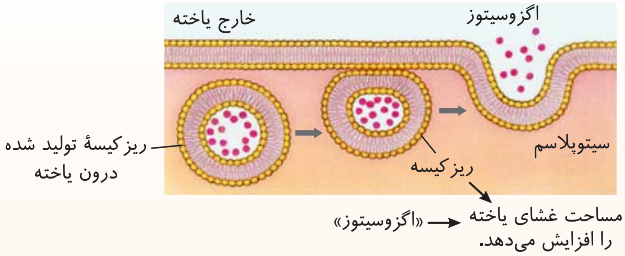
۱) انتقال فعال سدیم به خارج و پتاسیم به داخل یاخته، از طریق پمپ‌های غشایی یاخته‌ای
۲) **اغلب** مکانیسم بازجذب و ترشح در گردیزه‌ها
۳) ورود H^+ به فضای **بین دو غشای** راکیزه و فضای درون **تیلاکوئید** سبزدیسه
۴) ورود پیرووات‌های تنفس یاخته‌ای به **درون** راکیزه‌ها
۵) انتقال یون‌های معدنی از درون پوست ریشهٔ گیاهان به درون آوندهای چوبی (فشار ریشه‌ای)
۶) برگشت یون‌های کلسیم به **شبکهٔ آندوپلاسمی** ماهیچه‌ها پس از **پایان** انقباض ماهیچه‌ای

ب) اگر مولکول عبوری ذرهٔ بزرگ (درشت‌مولکول) باشد (نحوهٔ عبور مولکول‌های درشت از غشا)

به ورود بسپارها (*مولکول‌های زیستی بزرگ*) مانند پروتئین و کربوهیدرات به **برخی** یاخته‌ها، آندوسیتوز (*درون‌بری*) و به خروج آن‌ها اگزوسیتوز (*برون‌رانی*) می‌گویند که هر دو فرایند **با** صرف انرژی و از طریق کیسهٔ **غشایی** صورت می‌گیرد. دقت کنید که در این دو مکانیسم اصلاً انتقال آن‌ها ربطی به تفاوت مقدار و غلظت مادهٔ عبوری در دو طرف غشا ندارد و هریک از دو مکانیسم می‌تواند در جهت یا در خلاف جهت شیب غلظت عمل کند.

نکته

در آندوسیتوز (*درون‌بری*)، غشای یاخته، اطراف مواد بزرگ بیرونی را احاطه کرده و با تولید ریزکیسهٔ غشایی، از مساحت غشا **کم** می‌کند ولی در اگزوسیتوز (*برون‌رانی*) ریزکیسهٔ ساخته شده در یاخته که می‌خواهد مواد خود را خارج کند، ابتدا غشای آن با غشای یاخته یکی می‌شود تا کاهش سطح غشا در آندوسیتوز (*درون‌بری*) جبران شود و سپس ماده خود را با صرف انرژی از *ATP*، خارج می‌کند.

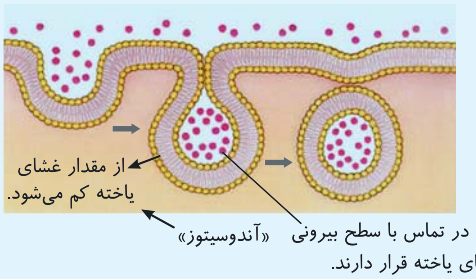


نکته

در درون‌بری مولکول عبوری که درون ریزکیسه قرار می‌گیرد در تماس با سطح خارجی غشای یاخته می‌باشد یعنی با سطحی که کربوهیدرات غشا دارد در تماس می‌باشد (*با اینکه درون ریزکیسه است*).

نگاهی به آینده

خروج آنزیم‌های گوارشی از لولهٔ گوارش یا خروج ناقلین عصبی از انتهای **آکسون** نورون‌ها، نمونه‌ای از **اگزوسیتوز** (*برون‌رانی*) می‌باشد ولی جذب مولکول‌های زیستی درشت مثل پروتئین و ... به صورت آندوسیتوز (*درون‌بری*) رخ می‌دهد.



تست ۱۷ چند مورد عبارت مقابل را به نادرستی کامل می‌کند؟ «در روش عبور مواد از غشای یاخته، اگر .....» (قلم‌چی)

الف) با صرف انرژی باشد، قطعاً هر پروتئین سرتاسر غشایی نقش دارد.

ب) پروتئین‌های غشایی نقش داشته باشند، قطعاً با صرف انرژی همراه است.

ج) بدون صرف انرژی باشد، قطعاً پروتئین‌های غشایی عبوری نقش ندارند.

د) پروتئین‌های غشایی عبوری نقش نداشته باشند، قطعاً بدون صرف انرژی است.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۴ B موارد (الف) و (د) با برون‌رانی و درون‌بری، همچنین موارد (ب) و (ج) با انتشار تسهیل‌شده رد می‌شوند.

روش عبور مواد	نوع روش
با صرف انرژی	انتقال فعال، برون‌رانی و درون‌بری
بدون صرف انرژی	انتشار (*ساده، تسهیل‌شده و اسمز*)
با عبور از منافذ پروتئین‌های غشایی	انتشار تسهیل‌شده و انتقال فعال
بدون عبور از منافذ پروتئین‌های غشایی	انتشار ساده، برون‌رانی و درون‌بری

تست ۱۸ **درون‌بری ..... برون‌رانی، سبب ..... نمی‌شود.**

۱) همانند - افزایش میزان *ADP* **۲)** برخلاف - افزایش سطح غشای یاخته

۳) همانند - ایجاد ریزکیسه توسط غشای یاخته **۴)** برخلاف - ایجاد ریزکیسه درون یاخته

پاسخ ۲ A درون‌بری موجب کاهش غشا شده و برون‌رانی باعث افزایش آن می‌شود.

هر دوی این فرایندها با مصرف *ATP* و تولید *ADP* همراه هستند (رد گزینهٔ (۱)). روش درون‌بری سبب تولید ریزکیسه از غشای یاخته **می‌شود** (رد گزینه‌های (۳) و (۴)).

انواع بافت‌های بدن انسان

انسان و اغلب جانوران دارای **چهار نوع بافت اصلی** به نام پوششی، پیوندی، ماهیچه‌ای و عصبی هستند که ابتدا برای درک بهتر فصل‌های کتاب دهم و یازدهم و بررسی دستگاه‌های بدن جانوران، بهتر است آن‌ها را بررسی کنیم:

چند نکتهٔ مهم

۱ هر بافت از **یاخته‌ها و مواد موجود در فضای بین یاخته‌ها** تشکیل شده است. در بدن انسان، انواع بافت‌ها به نسبت‌های مختلف در اندام‌ها و دستگاه‌های بدن وجود دارند.

۲ در اندام‌ها و دستگاه‌های بدن ما، انواع بافت‌ها به نسبت‌های متفاوت وجود دارد. مثلاً ماهیچه یک اندام است که در ساختار آن بافت پیوندی و ماهیچه‌ای نقش دارد ولی به دلیل رگ خونی و پیام عصبی، بافت‌های پوششی و عصبی نیز در آن دیده می‌شود یا مثلاً استخوان یک اندام است که در آن بافت پیوندی، پوششی و عصبی دیده می‌شود.

۳ مایع بین‌یاخته‌ای و سازمان‌یابی بافت‌های بدن، ویژهٔ جانداران **پریاخته‌ای** است ولی وجود یاخته به عنوان واحد ساختار و عملکرد به همراه هم‌ایستایی یا هومئوستازی در **همهٔ** جانداران وجود دارد.

الف) ویژگی‌های بافت پوششی

این بافت **سطح بدن** (لایهٔ خارجی پوست) و سطح **داخلی** حفره‌ها و مجاری درون بدن (مثل دهان، روده‌ها، رگ‌ها، مجاری تنفسی و...) را می‌پوشاند. یاخته‌های این بافت بسیار به یکدیگر **نزدیک** و فشرده هستند و فضای بین‌یاخته‌ای **اندک** بین آن‌ها وجود دارد (در طرح تست‌ها بسیار کاربردی است). از طرفی اغلب یاخته‌های این بافت طول **عمر کوتاه** ولی سرعت **تقسیم زیادی** دارند. در **زیر** داخلی‌ترین یاخته‌های این بافت، بخشی به نام **غشای پایه** وجود دارد که **فاقد یاخته** و فعالیت **زیستی** یا **متابولیسمی** است (در بررسی تست‌ها خیلی به این نکته توجه کنید). غشای پایه در حقیقت شبکه‌ای از رشته‌های **پروتئینی** به همراه ترکیبات گلیکوپروتئینی (ترکیب کربوهیدرات و پروتئین) می‌باشد که هم **داخلی‌ترین** یاخته‌های **بافت پوششی** را به یکدیگر متصل نگه می‌دارد و هم بافت پوششی را به بافت‌های **زیرین** آن متصل می‌کند (در تست‌ها بسیار دقت کنید که غشای پایه یاخته نیست). یاخته‌های این بافت به شکل‌های مختلف سنگ‌فرشی، مکعبی و استوانه‌ای در **یک یا چند لایه** قرار گرفته‌اند که اگر در یک لایه‌ای (رده) قرار بگیرند، اغلب برای نقل و انتقال مواد (مانند ساختار مویرگ‌ها) بوده و اگر چندلایه‌ای (مرکب) سازمان یافته باشد، بیشتر نقش **محافظت** دارد (مثل سنگ‌فرشی چندلایه‌ای مری یا پوست). البته هر دو نوع بافت پوششی یک یا چند لایه‌ای می‌توانند **قدرت ترشح** مواد داشته باشند و خواهید خواند که **بیشتر** غدد بدن از این بافت ایجاد شده‌اند.

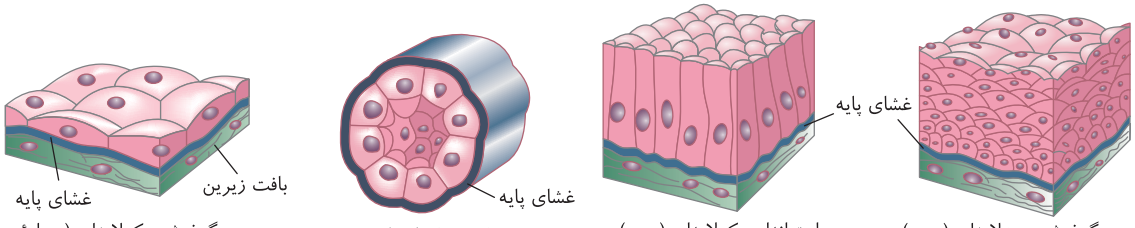
نگاهی به آینده

۱ در زیست یازدهم می‌خوانید که پوست نوعی **اندام** است که لایهٔ بیرونی آن حاوی **چند** لایهٔ پوششی به نام اپیدرم و لایهٔ درونی یا درم آن حاوی بافت پیوندی **متراکم** می‌باشد.

۲ در ساختار غشای پایه، فسفر، لیپید و نوکلئوتید وجود ندارد ولی ($C-H-O$) و N در مولکول‌های آن دیده می‌شود.

انواع بافت پوششی

- **سنگ‌فرشی یک‌لایه**
  - لایه درونی رگ‌ها - یاخته نوع اول کیسه‌های حبابکی شش‌ها (فصل ۳) - سطح **خارجی** کپسول بومن (فصل ۵) - در پیراشامه، برون‌شامه و درون‌شامه قلب وجود دارد (فصل ۴).
  - هستهٔ گرد مرکزی دارند. هر یاخته، کشیده و پهن است.
- **سنگ‌فرشی چندلایه‌ای**
  - مری و لایهٔ خارجی پوست (اپیدرم)
  - یاخته‌های نزدیک‌تر به غشای پایه، گردتر و هستهٔ مرکزی‌تری دارند.
- **مکعبی یک‌لایه**
  - قسمت‌های مختلف بخش لوله‌ای گردیزه
  - هستهٔ مرکزی گرد در هر یاخته وجود دارد.
- **استوانه‌ای یک‌لایه**
  - لایهٔ مخاطی داخل روده، معده و مجاری تنفسی
  - هسته‌ها به غشای پایه نزدیک‌تر از سمت دیگر یاخته هستند.



سنگ‌فرشی چندلایه‌ای (مری) — استوانه‌ای یک‌لایه‌ای (روده) — مکعبی یک‌لایه‌ای بخش لوله‌ای گردیزه (نفرون) — سنگ‌فرشی یک‌لایه‌ای (دیوارهٔ مویرگ)

نگاهی به آینده

بافت پوششی در اغلب موارد که در پوست و مخاط مجاری بدن قرار دارد، سدی دفاعی محکم برای ممانعت از عوامل بیگانه به بدن ایجاد می‌کند. علاوه بر آن در برخی مناطق مثل مجاری تنفسی، **مژک‌دار** نیز می‌باشد که در خروج خلط و سایر عوامل بیگانه نیز نقش مهمی دارد (در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش به صورت سنگ‌فرشی یا استوانه‌ای ولی بدون مژک وجود دارد).

تست‌خیزترین عبارت: بافت پوششی فضای بین‌یاخته‌ای **اندک** دارد (نه اینکه ندارد!) و روی شبکه‌ای (غشای پایه) از رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی قرار دارد.

ب) بافت پیوندی

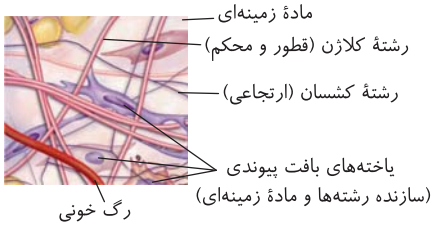
بافت ارتباط و اتصال دهندهٔ سایر بافت‌ها به هم می‌باشد که به نسبت بافت پوششی، **فضای بین‌یاخته‌ای زیادتری** دارد. این بافت فاصلهٔ بین بافت‌ها و یاخته‌های مختلف را پر کرده است. در حقیقت بافت پیوندی، بافت‌های مختلف را به هم پیوند زده است. در نوع سست این بافت، رگ خونی به مقدار زیاد نیز وجود دارد (البته خود خون درون رگ‌ها نیز نوعی بافت پیوندی است).

تست‌خیزترین نکته: بافت پیوندی از **انواع** یاخته‌ها و مادهٔ بین‌یاخته‌ای ایجاد شده است. در مادهٔ بین‌یاخته‌ای آن، رشته‌های **پروتئینی** مانند کلاژن (محکم) و کشسان (ارتجاعی) به همراه **مادهٔ زمینه‌ای** وجود دارد (ولی رشته‌ها جزئی از مادهٔ زمینه‌ای بافت نمی‌باشند). این **رشته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای** را **یاخته‌های** درون هر بافت پیوندی ساخته‌اند. در انواع بافت پیوندی، **مقدار و نوع** رشته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای (مایع، جامد و نیمه‌جامد) متفاوت است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. (در تست‌ها منظور از بافت دارای مادهٔ زمینه‌ای، قطعاً بافت پیوندی است.)

انواع بافت پیوندی

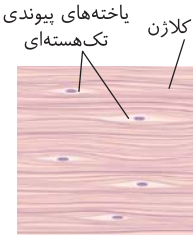
۱) پیوندی سست

- **انواع شکل یاخته‌ها** با فضای بین‌یاخته‌ای فراوان، رشته‌های پروتئینی **متنوع** (کلاژن و کشسان) و مادهٔ زمینه‌ای خاص خود (به‌میزان فراوان) را دارد.
- یاخته‌ها و بافت‌های مختلف را به هم پیوند می‌زند. این بافت، **معمولاً پشتیبانی برای بافت پوششی می‌باشد.**
- مادهٔ **زمینه‌ای** آن شفاف، بی‌رنگ و چسبنده می‌باشد که مخلوطی از انواع مولکول‌های **درشت** مانند **گلیکوپروتئین** دارد.
- این بافت **انعطاف‌پذیر** است و به نسبت بافت پیوندی متراکم مقاومت **کمتری** در برابر کشش دارد.
- در هر چهار لایهٔ بیرونی، ماهیچه‌ای، زیرمخاطی و مخاطی لولهٔ گوارش وجود دارد (فصل ۲).



۲) پیوندی متراکم

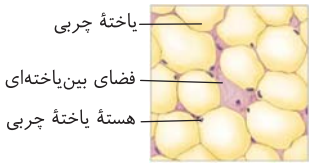
- این بافت نیز حاوی رشته‌های پروتئینی مختلف می‌باشد.
- بافتی محافظت‌کننده با رشته‌های پروتئینی با **تراکم** زیاد می‌باشد که فاصلهٔ زیاد بین یاخته‌ها بیشتر توسط این رشته‌ها پر شده است.
- تعداد یاخته‌ها و مادهٔ **زمینه‌ای** و انعطاف‌پذیری آن از پیوندی سست **کمتر** است.
- مقدار رشته‌های کلاژن و مقاومت آن در برابر کشش از پیوندی سست **بیشتر** است.
- هر یاختهٔ آن دوکی‌شکل با هسته مرکزی کشیده بیضی‌شکل می‌باشد.
- در لایه‌های مختلف قلب (پیراشامه، برون‌شامه و لایهٔ ماهیچه‌ای قلب) وجود دارد (فصل ۴).
- در **زردپی‌ها** برای ارتباط ماهیچهٔ اسکلتی به استخوان وجود دارد.
- در **رباط‌ها** و غشای مفصلی و کپسول رشته‌ای در نواحی مفصلی برای ارتباط دو استخوان وجود دارد (یازدهم).
- در لایهٔ **درونی** پوست (درم) به صورت محکم و به عنوان یک سد دفاعی وجود دارد که در تولید **چرم** به کار می‌رود (یازدهم).



- **نکته:** فضای بین یاخته‌ها در بافت پیوندی سست، اغلب توسط مادهٔ زمینه‌ای پر شده است ولی در بافت پیوندی متراکم، بیشتر توسط رشته‌های کلاژن اشغال شده است.

۳) چربی

- تعداد زیادی یاختهٔ چربی با ذخیرهٔ فراوان چربی دارد.
- بزرگ‌ترین بافت ذخیرهٔ انرژی بدن را تشکیل می‌دهد.
- در اطراف کلیه وجود داشته که هم نقش محافظ دارد و هم در حفظ **موقعیت** کلیه نقش دارد (فصل ۵).
- یاخته‌هایی سرشار از چربی ذخیره‌ای دارند که هستهٔ کوچک آن به کنار رانده شده است.
- همانند کبد محل ذخیرهٔ لیپیدها می‌باشد که در فصل بعد بررسی می‌کنیم.
- فضای بین‌یاخته‌ای متغیر دارد. هنگام نیاز به انرژی با مصرف چربی، یاخته‌های آن کوچک و فضای بین‌یاخته‌ای آن زیاد می‌شود.
- نقش ضربه‌گیری دارد و به عنوان یک عایق حرارتی نیز عمل می‌کند.



۴) خون ← از مادهٔ زمینه‌ای مایع به نام پلاسما و بخش یاخته‌های خونی ایجاد شده است که در فصل ۴ به‌طور کامل آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

۵) غضروف ← بافت پیوندی با رشته‌های کشسان و **انعطاف‌پذیر** و مادهٔ زمینه‌ای نیمه‌جامد می‌باشد که در مجرای نای، نایژه، لالهٔ گوش، نوک بینی، اغلب سطوح مفصلی و... وجود دارد.

۶) استخوان ← سخت‌ترین بافت بدن برای حرکت می‌باشد که فضای بین‌یاخته‌ای با رشته‌های **کلاژن و مادهٔ زمینه‌ای جامد حاوی پروتئین و کلسیم** زیادی دارد (در زیست یازدهم می‌خوانیم).

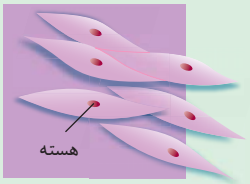
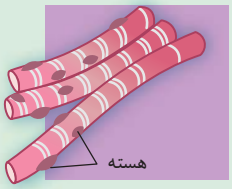
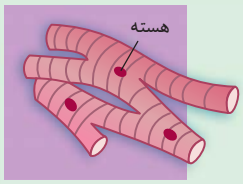
دو نکتهٔ مهم

۱) در تست‌ها دقت کنید که هر یاختهٔ پیکری زندهٔ هسته‌دار بدن، حاوی همهٔ ژن‌های لازم برای فعالیت‌های مختلف می‌باشد ولی در اثر تمایز، هر یاخته یا بافت‌های مختلف حاوی نقش خاص و ژن‌های فعال مخصوص به خود می‌باشند. مثلاً ژن‌های مربوط به تولید کلاژن در هر یاختهٔ زنده هسته‌دار پیکری ما وجود دارد ولی این ژن‌ها فقط در بافت‌های پیوندی فعال هستند و به تولید پروتئین کلاژن مبادرت می‌کنند.

۲) **مادهٔ زمینه‌ای** مخصوص بافت پیوندی می‌باشد که در هر بافت پیوندی توسط **یاخته‌های** آن بافت تولید می‌شود. این ماده ممکن است مایع (*مثل خون*)، جامد (*مثل استخوان*) و یا نیمه‌جامد (*مثل غضروف*) باشد.

ج) بافت ماهیچه‌ای

بیشترین مقدار وزن بدن را تشکیل می‌دهد که به سه صورت زیر می‌باشد:

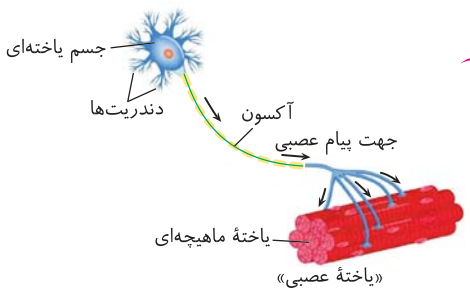
مقایسهٔ انواع ماهیچه‌های بدن (با نکات ترکیبی آینده)		
ماهیچهٔ صاف	ماهیچهٔ مخطط اسکلتی	ماهیچهٔ قلبی
یاختهٔ رشته‌ای دوکی‌شکل دارد.	یاختهٔ رشته‌ای استوانه‌ای‌شکل بدون انشعاب دارد.	یاختهٔ منشعب استوانه‌ای با صفحات ارتباطی بینابینی (*در هم رفته*) می‌باشد.
یاختهٔ غیرمخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.
فاقد واحدهای انقباضی خط‌دار می‌باشد.	واحدهای انقباضی منظم کنار هم دارد.	واحدهای انقباضی منظم کنار هم دارد.
یاختهٔ **تک**هسته‌ای دارد.	یاختهٔ **چند**هسته‌ای دارد.	اغلب یاخته‌های آن تک‌هسته‌ای و برخی دوهسته‌ای هستند.
انقباض **غیر**ارادی دارد.	اغلب انقباض **ارادی** و نیز گاهی اوقات انعکاسی غیرارادی دارد.	انقباض **غیر**ارادی دارد.
انقباض کند و طولانی دارد.	انقباض تند و کوتاه دارد.	انقباض تند و کوتاه در دیوارهٔ دهلیزها و بطن‌ها دارد.
تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** است.	تحت کنترل اعصاب حرکتی **پیکری** می‌باشد.	انقباض **ذاتی** دارد ولی با تأثیر اعصاب حرکتی **خودمختار** هم تحریک می‌شود.
 یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف	 یاخته‌های ماهیچه‌ای اسکلتی	 یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی

نکته مهم

در تست‌ها دقت کنید که یاختهٔ مخطط هم در ماهیچهٔ اسکلتی و هم در ماهیچهٔ قلبی دیده می‌شود ولی هرگاه در سؤالات از لفظ **«ماهیچه مخطط»** استفاده شد، منظور طراح ماهیچهٔ مخطط اسکلتی بوده است (*چون کار قلب به شکل مخطط دیده نمی‌شود*).

د) بافت عصبی

بافتی برای ارتباط پیام بین بافت‌ها و اندام‌ها مخصوصاً ماهیچه‌ها می‌باشد که یاختهٔ عصبی یا **اصلی** آن‌ها را نورون می‌نامند. یاخته‌های عصبی از سه قسمت دندریت یا دارینه (*آورنده پیام*)، جسم یاخته‌ای (*دارنده هسته*) و آکسون یا آسه (*برنده پیام*) ایجاد شده‌اند که با یاخته‌های عصبی دیگر، ماهیچه‌ها و غدد در ارتباط هستند. (*در زیست یازدهم، بافت عصبی را به‌طور کامل بررسی می‌کنیم.*)



نکته

بافت عصبی دارای یاخته‌های عصبی (*نورون*) و یاخته‌های غیرعصبی (*پشتیبان*) می‌باشد.

نکته

با توجه به شکل مقابل جهت هدایت پیام عصبی در یک یاخته از دندریت به جسم یاخته‌ای (*بخش هسته‌دار گرد مرکزی*) و از آنجا به رشته آکسونی تا انتهای آن می‌باشد.

تست ۱۹ **هر یک از چهار نوع بافت اصلی بدن انسان .....**

۱) قطعاً فاقد فضای بین‌یاخته‌ای هستند.
۲) در هریک از دستگاه‌های بدن به نسبت‌های مختلف وجود دارند.
۳) دارای مادهٔ زمینه‌ای هستند که یاخته‌های هر بافت آن‌ها را می‌سازد.
۴) یاخته‌های ترشحی دارند که مواد را به فضای درون اندام‌ها ترشح می‌کنند.

پاسخ ۲ B بافت‌های بدن انسان (*پوششی*، *پیوندی*، *ماهیچه‌ای* و *عصبی*) در اندام‌ها و دستگاه‌های بدن به نسبت‌های مختلف وجود دارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): فضای بین‌یاخته‌ای در **تمامی** بافت‌های بدن وجود دارد ولی میزان آن در بافت‌های مختلف متفاوت است. مثلاً یاخته‌های بافت پوششی، فضای بین‌یاخته‌ای اندکی و یاخته‌های بافت پیوندی، فضای بین‌یاخته‌ای زیادی دارند. / گزینهٔ (۳): فقط بافت پیوندی دارای مادهٔ زمینه‌ای می‌باشد. / گزینهٔ (۴): یاخته‌های بافت پوششی و عصبی می‌توانند غده یا یاخته‌های درون‌ریز را تشکیل دهند و موادی را به فضای درون اندام‌ها ترشح کنند. توجه شود که همهٔ بافت‌ها، یاختهٔ ترشحی ندارند.

تست ۲۰ **بافتی که معمولاً، بافت پوششی را پشتیبانی می‌کند، .....**

۱) در زیر خود غشای پایه دارد.
۲) تعداد یاخته و مقاومت بیشتری از بافت پیوندی زردپی دارد.
۳) برخلاف رباط فاقد کلاژن می‌باشد.
۴) مادهٔ زمینه‌ای چسبنده بی‌رنگ آن فاقد یاخته است ولی برخی مواد آن در غشای پایه نیز وجود دارد.

پاسخ ۴ B بافت پیوندی **سست**، معمولاً بافت پوششی را پشتیبانی می‌کند و مادهٔ زمینه‌ای آن شفاف، بی‌رنگ، چسبنده و مخلوطی از انواع مولکول‌های درشت مانند گلیکوپروتئین است. در ساختار غشای پایه نیز رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی وجود دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بافت پیوندی سست برخلاف پوششی در زیر خود فاقد غشای پایه است. / گزینهٔ (۲): تعداد یاخته‌های بافت پیوندی سست بیشتر از بافت پیوندی متراکم (*زردپی*) است ولی مقاومت آن **کمتر** می‌باشد. / گزینهٔ (۳): بافت پیوندی سست هم کلاژن (*به‌مقدار کمتر*) و هم رشته‌های کشسان دارد.

فصل دوم
گوارش و جذب مواد

درسنامه

مقدمه (گوارش و جذب مواد)

همان‌طور که می‌دانید غذا خوردن، یکی از لذت‌های زندگی است. با غذا خوردن می‌توانیم **مواد و انرژی** لازم برای سالم ماندن، درست عمل کردن و رشد و نمو یاخته‌های بدن را فراهم کنیم. البته این غذای خورده شده باید در گذر از دستگاه گوارش ما به شکلی دربیاید که بتوانیم از آن بهره بگیریم. در این فصل به دنبال بررسی مراحل گوارش و جذب غذا در بدن انسان و برخی جانوران هستیم.

نکته

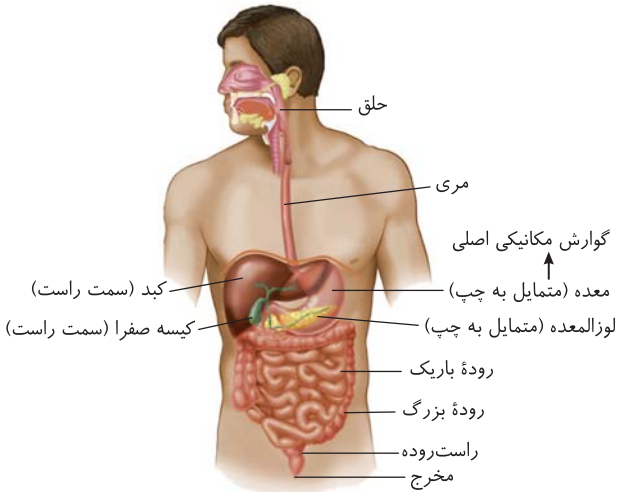
از همین ابتدا دقت کنید که هر چیز مقدار مناسبش خوبه! مثلاً غذای **نامناسب** یا اضافه بر نیاز، مشکلاتی هم ایجاد می‌کند. **اضافه وزن** در حال حاضر یکی از مشکلات امروزی جامعهٔ بشری است که در ایران نیز مشاهده می‌شود.

گفتار ۱ ساختار و عملکرد لولهٔ گوارش انسان

- دستگاه گوارش انسان از دو قسمت **لولهٔ** گوارشی (*از دهان تا مخرج*) و غدد و **اندام‌های** گوارشی مرتبط با آن (*کبد، لوزالمعده، غدد بزاقی و کیسه صفرا*) تشکیل شده است که باید به کمک هم مولکول‌های زیستی مختلفی مثل پروتئین، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و نوکلئیک اسیدها را به مولکول‌های قابل جذب، تبدیل کنند. سپس مواد کوچک غذایی به همراه مواد معدنی (*آب و یون‌ها*) و ویتامین‌ها را جذب کند.
- **دقت:** دوستان عزیزم، همواره در سؤالات و تست‌ها دقت کنید که از شما وظیفه یا کار **لولهٔ گوارش** سؤال شده یا **دستگاه گوارش** یا **اندام‌های مرتبط** با لولهٔ گوارش، چون هرکدام تله‌های تستی و نکات خاص خود را دارند که در ادامه به بررسی جزء به جزء آن‌ها می‌پردازیم.
- با توجه به شکل می‌توانید جهت قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش را به خاطر بسپارید که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

۱) **مناطق مهم واقع در سمت راست بدن:** بیشتر قسمت‌های کبد – کیسه صفرا – دوازدهه – پیلور – آپاندیس – رودهٔ کور – کولون بالارو

۲) **مناطق مهم واقع در سمت چپ بدن:** انتهای مری – بیشتر قسمت‌های معده – کولون پایین‌رو – بیشتر بخش‌های لوزالمعده



«لولهٔ گوارش و اندام‌های مرتبط با آن»

بررسی لولهٔ گوارش

لولهٔ گوارش، لولهٔ **پیوسته‌ای** می‌باشد که به ترتیب از دهان، حلق، مری، معده، رودهٔ باریک، رودهٔ بزرگ، راست‌روده و در انتهای آن مخرج تشکیل شده است. تمام مراحل گوارش مکانیکی و شیمیایی غذاها به صورت **برون‌یاخته‌ای** در این لوله صورت می‌گیرد و سپس مواد مورد نیاز از طریق بافت **پوششی** جذب می‌شود. واضح است که مواد زائد و غیرقابل جذب نیز در انتها از مخرج دفع خواهند شد.

بندارهها

در بخش‌هایی از این لوله، **ماهیچه‌های حلقوی** به نام بندارهها (*اسفنکتر*) وجود دارند. این ماهیچه‌ها، در حالت **انقباض، بسته** می‌باشند و از عبور محتویات لوله به بخش **دیگر** جلوگیری می‌کنند. آن‌ها **فقط** برای عبور مواد باز می‌شوند. در حقیقت بندارهها سبب **تنظیم عبور مواد** می‌شوند.

توجه! در ایـن کتـاب زیـاد با واژهٔ بنداره و دریچه روبه‌رو می‌شـوید. دقت کنید که **بندارهها ماهیچـه** حلقوی از نوع صاف یا مخطط می‌باشـند که قدرت انقباض و استراحت دارند ولی **دریچه‌ها** معمولاً از بافت **پوششی** هستند و یاخته‌های آن توانایی انقباض ندارند.

یادآوری: غده‌های بزاقی، کبد، کیسه صفرا و پانکراس (*لوزالمعده*) با لولهٔ گوارش مرتبط هستند و ترشحات خود را برای گوارش غذا به درون لولهٔ گوارش وارد می‌کنند ولی این غدد جزء لولهٔ گوارش محسـوب نمی‌شـوند. دقت کنید که در ابتدای این گفتار گفتیم که دسـتگاه گوارش شـامل دو قسـمت لولهٔ گوارش و اندام‌ها یا بخش‌های مرتبط با آن می‌باشد که همگی در گوارش غذا نقش دارند (*ولی جذب غذا فقط توسط لولهٔ گوارش صورت می‌گیرد*).

محل بندارههای لولهٔ گوارش که در کتاب شما وجود دارد.

- انتهای مری
  - از جنس ماهیچه **صاف** و به شکل حلقوی است.
  - به‌طور معمول مانع برگشت مواد از **معده** به مری می‌شود.
  - در زیر دیافراگم و کمی متمایل به سمت چپ می‌باشد.
  - در هنگام ورود غذا به معده و استفراغ از حالت **انقباض** درمی‌آید.


بندارهٔ انتهای مری (ماهیچه صاف)

- بین معده و رودهٔ باریک (*بندارهٔ پیلور*)
  - ماهیچه صاف حلقوی‌شکل است.
  - یاخته‌های **تک‌هسته‌ای** دوکی‌شکل دارد.
  - در زیر دیافراگم در سمت راست است.
  - به دوازدهه رودهٔ باریک متصل است.



- دو بندارهٔ انتهایی راسـت‌روده به ترتیب از نوع حلقوی داخلی صاف و خارجی مخطط می‌باشـند که هنگام خروج مدفوع از حالـت انقباض درمی‌آیند و باز می‌شـوند. (*مخرج بخش آخر لولهٔ گوارش اسـت که اطـراف آن بندارهٔ خارجی مخطط و داخلی صاف وجود دارد.*)

نکته
در تست‌ها دقت کنید که در بدن ما، یاختهٔ حلقوی وجود ندارد و این یاخته‌های دوکی یا استوانه‌ای وقتی کنار هم قرار می‌گیرند و براساس شیوهٔ سازمان‌یابی خود، می‌توانند ماهیچه را به صورت‌های مختلف طولی یا حلقوی دربیاورند.

نگاهی به آینده
در زیست یازدهم می‌خوانیم که اعصاب **پیکری** با تحریک ماهیچه‌های مخطط (*اسکلتی*) آن‌ها را به انقباض درمی‌آورند و اعصاب خودمختار نیز سبب تحریک ماهیچه‌هـای **صـاف و قلـبی** می‌شـوند. پس در بندارههای لولهٔ گـوارش، بندارهٔ خارجی مخرج تحت کنتـرل اعصاب **پیکری** بوده ولی سـایر بندارهها تحت کنترل اعصاب **خودمختار** می‌باشند. در حقیقت با ارسال پیام از اعصاب به ماهیچه‌ها، آن‌ها به انقباض درمی‌آیند ولی برای به استراحت درآمدن آن‌ها پیامی از اعصاب به آن‌ها ارسـال نمی‌شـود و فقط ارسـال پیام انقباض را متوقف می‌کنند. پس برای بسته بودن بندارهها نیاز به ارسال پیام از اعصاب به آن‌ها داریم ولی برای باز شدن فقط کافی است که پیامی به آن ارسال نشود.

نکته
توجه داشـته باشـید که رودهٔ کور، بخشـی از رودهٔ بزرگ اسـت ولی راسـت‌روده، بخشـی از آن نیسـت و اندامی جداسـت. باید بدانید که میان رودهٔ بزرگ و راست‌روده، بندارهای وجود ندارد (*در مورد این مطالب، بیشتر در گفتار بعدی خواهید خواند*).

ویژگی بنداره	محل	نوع ماهیچهٔ حلقوی	عصب تحت کنترل
انتهای مری (*کاردیا*)	انتهای مری در اتصال با بالای معده (*متمایل به چپ*)	صاف غیرارادی	خودمختار
پیلور	انتهای معده در اتصال با دوازدهه (*سمت راست*)	صاف غیرارادی	خودمختار
انتهای رودهٔ باریک (*بیشتر بدانید*)	انتهای رودهٔ باریک در اتصال با رودهٔ کور (*سمت راست*)	صاف غیرارادی	خودمختار
داخلی مخرج	انتهای راست‌روده	صاف غیرارادی	خودمختار
خارجی مخرج	انتهایی‌ترین بخش راست‌روده	مخطط ارادی	پیکری

ساختار لولهٔ گوارش

در این قسمت می‌خواهیم از هر بخشی از **لولهٔ گوارش** (*رحمت کنید که صحبت لوله است!*) یک برش عرضی بزنیم و ببینیم از چه بافت‌هایی تشکیل شده‌اند. با مشاهدهٔ قسمت‌های مختلف آن می‌بینیم که دیوارهٔ بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش انسان، **تقریباً** ساختار **مشابهی** دارند. در این لوله، از خارج به داخل به ترتیب چهار لایهٔ بیرونی پیوندی، ماهیچه‌ای، زیرمخاطی و مخاطی وجود دارد که هر لایه از **بافت‌های مختلفی** تشکیل شده است. به‌طور مثال همهٔ این چهار لایه در داشتن بافت **پیوندی سست** مشترک می‌باشند که به ترتیب آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم.

توجه‌مهم! دوستان عزیز دقت کنید که انواع رگ‌های خونی و به ویژه مویرگ خونی در فاصلهٔ بسیار کمی با هر یاختهٔ بدن می‌باشد، پس اینکه در هر قسمتی از بدن وقتی داریم بافت‌شناسی می‌خوانیم و ساختار یک لایه را بررسی می‌کنیم، بگیم که ساختار آن چون مویرگ دارد پس بافت پوششی سنگ‌فرشی دارد، این دیدگاه غلطی است و اصلاً بافت‌شناسی را زیر سؤال می‌برد. می‌توانیم بگوییم مویرگ در آن مشاهده می‌شود ولی سازندهٔ آن ساختار نمی‌باشد.

لایهٔ بیرونی

این لایه، بیشتر از **بافت پیوندی سست**، تشکیل شده است. لایهٔ بیرونی در اندام‌های زیر دیافراگم، **بخشی** از صفاق را تشکیل می‌دهد که اندام‌های شکم را از **خارج** به هم وصل می‌کند. دقت کنید که لایه بیرونی از داخل به لایه ماهیچه‌ای متصل است.



«بخشی از صفاق مربوط به روده‌ها»

نکته صفاق اندام‌های **درون شکم** را از **خارج** به هم متصل می‌کند. این اندام‌ها می‌توانند اندام‌های گوارشی و غیرگوارشی باشند که در زیر دیافراگم و درون شکم واقع شده‌اند. در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که **رگ‌های خونی** متعددی در صفاق وجود دارد.

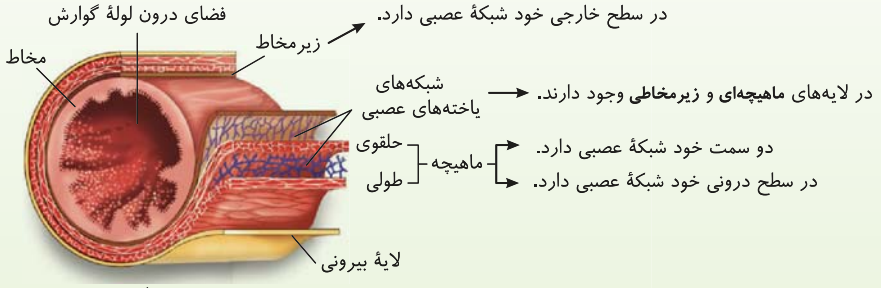
نکته دقت کنید که صفاق مخصوص اندام‌های **درون حفرهٔ شکمی** می‌باشد. مثلاً دهان، حلق و مری که از اندام‌های گوارشی هستند، همه یا **بیشتر** قسمت‌های آن‌ها در بالای دیافراگم واقع بوده و بدون صفاق یا روده‌بند می‌باشند. البته بخش کوچکی از مری و بندارهٔ انتهایی آن در حفرهٔ شکم (*زیر دیافراگم*) قرار گرفته است و دارای صفاق می‌باشد.

لایهٔ ماهیچه‌ای

این لایه که باعث حرکات لولهٔ گوارش و گوارش **مکانیکی** می‌شود، در **دهان، حلق، ابتدای مری و بندارهٔ خارجی مخرج** از نوع ماهیچهٔ **مخطط** ارادی می‌باشد (*این قسمت‌ها از یاخته‌های ماهیچه‌ای رشته‌ای یا استوانه‌ای چندهسته‌ای و خطوط زیاد با انقباض ارادی و براساس کتاب یازدهم، تحت کنترل اعصاب پیکری حرکتی تشکیل شده‌اند*). سایر قسمت‌های لولهٔ گوارش، حاوی ماهیچهٔ صاف با یاخته‌های دوکی تک‌هسته‌ای بدون خط بوده که انقباض آن‌ها به صورت غیرارادی و تحت کنترل اعصاب **خودمختار** می‌باشد.

نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

۱) **اجتماع** یاخته‌های ماهیچه‌ای **صاف** لولهٔ گوارش از اواسط مری تا آخر راست‌روده به شکل حلقوی و طولی سازمان یافته‌اند. همواره لایه ماهیچه طولی در بخش بیرونی و لایه ماهیچه‌ای حلقوی در سطح درونی قرار گرفته است به‌جز در معده که یک لایه ماهیچه‌ای صاف **درونی‌تر** به صورت **مورب** هم دارد. در این لایه‌ها، شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی از مری تا مخرج وجود دارد که بین لایه‌های ماهیچه‌ای همچنین در سطح خارجی زیرمخاط قرار گرفته‌اند. این شبکه در حرکت ماهیچه‌های لولهٔ گوارش، ترشح غدد و خرد کردن غذا نقش دارد.



«ساختار لایه‌های لولهٔ گوارش»

۲) تحریک و انقباض لایهٔ ماهیچه‌ای در لولهٔ گوارش علاوه بر اعصاب پیکری یا خودمختار، توسط شبکهٔ یاخته‌های عصبی به نام شبکهٔ روده‌ای (*از مری تا مخرج*) نیز به‌طور مستقل صورت می‌گیرد که در آخر فصل آن را بررسی می‌کنیم. این شبکه در لایهٔ ماهیچه‌ای و زیرمخاطی همهٔ قسمت‌های لولهٔ گوارش به‌جز دهان و حلق وجود دارد.

۳) حرکات مختلف کرمی‌شکل و قطعه‌قطعه کننده، حاصل عمل ماهیچه‌های لولهٔ گوارش می‌باشند.

۴) در دیوارهٔ **معده**، علاوه بر لایه‌های ماهیچه‌ای حلقوی داخلی و طولی خارجی، یک لایه ماهیچه‌ای مورب نیز در **داخلی‌ترین** سطح وجود دارد. در معده شبکهٔ یاخته‌های عصبی در دو سمت لایه ماهیچه‌ای حلقوی و مورب وجود دارد ولی لایه طولی فقط در سطح داخلی خود این شبکهٔ عصبی را دارد.

لایهٔ زیرمخاطی

این لایه در زیر لایهٔ ماهیچه‌ای و روی لایهٔ مخاطی قرار گرفته است که حاوی بافت پیوندی **سست** و شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی است.

نکته لایهٔ زیرمخاطی، موجب ایجاد **چسبندگی مخاط** لولهٔ گوارش، روی ماهیچه‌های زیرین می‌شود و باعث می‌شود که **مخاط** به راحتی روی لایهٔ ماهیچهٔ لولهٔ گوارش بلغزد و یا چین‌خوردگی پیدا کند. (*این لایه در چین‌های معده و روده نیز وجود دارد که جلوتر با ختار آن‌ها را مطالعه می‌کنیم.*)

نکته همان‌طور که در بخش لایه ماهیچه‌ای گفتیم، در **لولهٔ** گوارش انسان، شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی در **لایهٔ ماهیچه‌ای و زیرمخاطی**، فعالیت‌های لولهٔ گوارش را تنظیم می‌کنند. این شبکه در بخش خارجی لایهٔ زیرمخاط، دو طرف ماهیچه‌های حلقوی صاف و سطح درونی ماهیچه طولی قرار گرفته است. در انتها دقت کنید که تنظیم فعالیت‌های لولهٔ گوارش تحت کنترل **اعصاب و هورمون‌ها** صورت می‌گیرد.

لایهٔ مخاطی (مخاط)

یاخته‌های بافت **پوششی** به هم فشرده، داخلی‌ترین قسمت این لایه را تشکیل می‌دهند که در تماس با مواد غذایی می‌باشند. این یاخته‌های پوششی، هم به صورت غده برای ترشح مواد و هم برای جذب در روده وجود دارند. در مری و دهان این لایه به صورت سنگ‌فرشی چندلایه و در معده و روده به صورت استوانه‌ای ساده قرار گرفته‌اند. در زیر لایهٔ پوششی مخاط لولهٔ گوارش، در زیر غشای پایه، یک لایه پشتیبان از بافت **پیوندی سست** برای پشتیبانی از بافت پوششی وجود دارد که مجموعهٔ این بافت‌های پیوندی و پوششی، مخاط را تشکیل می‌دهند.

ویژگی یاخته‌های بافت پوششی لایهٔ مخاطی لولهٔ گوارش

۱) در مری، به صورت سنگ‌فرشی چندلایه و در معده و روده، استوانه‌ای یک‌لایه می‌باشد.
۲) در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش، کارهای متفاوتی دارند و مواد گوناگونی می‌سازند.
۳) برخی از آن‌ها با ترشح مواد در گوارش غذا نقش دارند. **مثلاً غدد موجود در مخاط و زیرمخاط مواد مختلفی برای کمک به گوارش غذا ترشح می‌کنند.**
۴) برخی توانایی ترشح **هورمون** دارند ← فعالیت‌های دستگاه گوارش را **تنظیم** می‌کنند (*مانند گاسترین و سکرتین*).
۵) برخی یاخته‌ها توانایی جذب مواد گوارش‌یافته دارند. جذب اصلی مخصوص رودهٔ باریک می‌باشد.
۶) در مخاط یا لایهٔ مخاطی لولهٔ گوارش، زیر بخش پوششی، ابتدا یک غشای پایه به صورت شبکهٔ گلیکوپروتئینی و سپس یک لایهٔ بافت پیوندی سست وجود دارد.
۷) در تست‌ها مخاط را با مادهٔ مخاطی اشتباه نگیرید. مخاط یا لایهٔ مخاطی برخلاف مادهٔ مخاطی، حاوی یاخته می‌باشد.

نگاهی به آینده

۱) برخی یاخته‌های مخاط، مادهٔ مخاطی موسین‌دار را در سراسر لولهٔ گوارش ترشح می‌کنند
- موسین از گلیکوپروتئین ایجاد شده است و با جذب آب، مادهٔ مخاطی می‌سازد که در سد **اول** دفاع غیراختصاصی نقش دارد.
- مادهٔ مخاطی دیوارهٔ لولهٔ گوارش را از خراشیدگی با غذا یا آسیب شیمیایی (*براثر اسید و آنزیم*) حفظ می‌کند.
- ذرات غذایی را به هم چسبانده و لغزنده می‌کند.

۲) برخی از یاخته‌های پوششی لولهٔ گوارش با ترشح آنزیم **لیزوزیم** در از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا در دفاع **غیر**اختصاصی نقش دارند.

نگاه کلی

لایه‌های لولهٔ گوارش	نوع بافت‌های آن	ویژگی خاص
لایهٔ بیرونی	پیوندی سست و به همراه سایر بافت‌ها	اندام‌های شکم را توسط صفاق از خارج به هم وصل می‌کند.
لایهٔ ماهیچه‌ای	ماهیچهٔ صاف یا مخطط و پیوندی سست	شبکهٔ یاخته‌ای عصبی دارد - به گوارش مکانیکی کمک می‌کند - در معده یک لایهٔ اضافی داخلی به شکل مورب دارد - سبب حرکات کرمی و قطعه‌قطعه کننده می‌شود. ◀ لایهٔ ماهیچه‌ای صاف به صورت حلقوی داخلی و طولی خارجی دارد. ◀ در دهان، حلق، ابتدای مری و بندارهٔ خارجی مخرج از نوع مخطط است.
لایهٔ زیرمخاطی	پیوندی سست و غدد پوششی دارد.	شبکهٔ یاخته‌ای عصبی دارد - سبب حرکت مخاط روی ماهیچه می‌شود.
لایهٔ مخاطی	پیوندی سست - داخل آن پوششی است - غدد ترشحی دارد	در بافت پوششی خود، یاخته‌های ترشح شیرهٔ گوارشی و هورمون یا جذب‌کنندهٔ غذا دارد.

نکته مهم در هر چهار لایهٔ لولهٔ گوارش، به دلیل وجود بافت پیوندی سست و با توجه به نکاتی که از این بافت در فصل قبل یاد گرفتید، می‌توان گفت فضای بین‌یاخته‌ای **زیاد**، مادهٔ زمینه‌ای شفافِ بی‌رنگ و **چسبنده** با مخلوطی از مواد گلیکوپروتئینی می‌باشد ولی مقاومت **کمی** در مقابل کشش دارد. پس کلاژن و رشته‌های کشسان در هر لایه از لولهٔ گوارش انسان وجود دارد.

نگاهی به آینده

راستی یادتون باشه که چون همهٔ یاخته‌های بدن ما از تقسیم یاختهٔ تخم ایجاد می‌شوند، پس همهٔ آن‌ها در صورت داشتن هسته، ژن‌های ساخت مواد مختلف را در دنای خود دارند. مثلاً ژن یا اطلاعات وراثتی ساخت کلاژن در هر چهار نوع بافت پوششی، پیوندی، ماهیچه‌ای و عصبی وجود دارد ولی این ژن‌ها فقط در بافت پیوندی فعالند و کلاژن می‌سازند.

تست ۱ **چند مورد عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟**

«در دیوارهٔ لولهٔ گوارش انسان، بافت ..... شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی در ساختار لایهٔ .....»

الف) پیوندی غضروفی همانند - بیرونی وجود ندارد.

ب) پیوندی با مادهٔ زمینه‌ای چسبنده برخلاف - ماهیچه‌ای وجود دارد.

ج) دارای مادهٔ زمینه‌ای اندک همانند - زیرمخاطی وجود دارد.

د) دارای یاختهٔ دوکی‌شکل برخلاف - مخاطی وجود ندارد.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست هستند. C

تله‌های تستی الف) درست است. اولاً که بافت غضروفی در هیچ لایه‌ای از لولهٔ گوارش وجود ندارد ثانیاً هم شبکهٔ یاخته‌های عصبی نیز مخصوص لایه‌های ماهیچه‌ای و زیرمخاطی از مری تا مخرج می‌باشند. / ب) نادرست است. شبکهٔ یاخته‌های عصبی در لایه‌های ماهیچه‌ای و زیرمخاطی لولهٔ گوارش دیده می‌شود (*قسمت اول این عبارت هم مادهٔ زمینه‌ای در بافت پیوندی سست را معرفی می‌کند*). / ج) نادرست است. مادهٔ زمینه‌ای **اندک**، ویژهٔ برخی بافت‌های پیوندی مثل متراکم (*رشته‌ای*) است ولی در زیرمخاط، بافت پیوندی سست نیز وجود دارد. / د) نادرست است. در لایهٔ مخاطی، شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی وجود ندارد.

تست ۲ **در هر لایه‌ای از لولهٔ گوارش که شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی وجود دارد، .....** (قلم‌چی)

۱) ماهیچه‌هایی در خرد و نرم شدن غذا دخالت دارند.

۲) نوعی بافت پیوندی که به‌طور معمول بافت پوششی را پشتیبانی می‌کند، حضور دارد.

۳) ترشحات یاخته‌های آن در گوارش شیمیایی غذاها و تنظیم فعالیت دستگاه گوارش نقش دارند.

۴) ترکیبی گلیکوپروتئینی دارد که با جذب آب، در لغزنده کردن تودهٔ غذایی مؤثر است.

پاسخ ۲ منظور **بافت پیوندی سست** است که در هر لایهٔ لولهٔ گوارش وجود دارد. B

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در لایهٔ زیرمخاط، هم شبکهٔ یاخته‌های عصبی دیده می‌شود (*ولی این لایه، ماهیچه ندارد*). / گزینهٔ (۳): ترشحات لولهٔ گوارش از غدد مخاط و زیرمخاط آن حاصل می‌شود که مخاط شبکهٔ عصبی یاخته‌ای ندارد. / گزینهٔ (۴): ترکیب گلیکوپروتئینی از ترشحات مخاط است که این لایه شبکهٔ عصبی ندارد.

حرکات لولهٔ گوارش

حرکات مختلف لولهٔ گوارش در اثر انقباض **ماهیچه‌های** دیوارهٔ لولهٔ گوارش و به صورت **منظم** صورت می‌گیرد. این ماهیچه‌ها به‌جز در دهان، حلق، ابتدای مری و بندارهٔ انتهایی مخرج، مخطط ارادی تحت کنترل قشر مخ و اعصاب پیکری می‌باشند، در سایر مناطق، ماهیچه صاف و تحت کنترل اعصاب خودمختار و شبکهٔ یاخته‌ای عصبی (*روده‌ای*) فعالیت دارند.

انواع حرکات لولهٔ گوارش

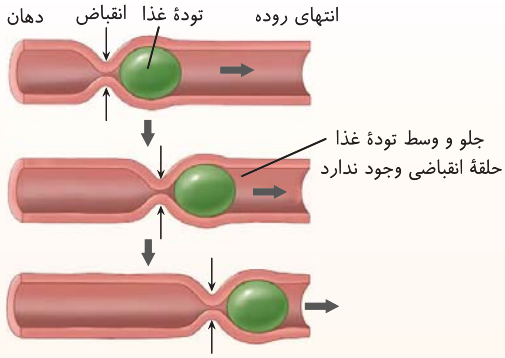
همهٔ حرکات لولهٔ گوارش به صورت **منظم** و به دو صورت انجام می‌شود. نوع اول حرکات کرمی (*روده*) در کل لولهٔ گوارش و نوع دوم، حرکات قطعه‌قطعه کننده بوده که در برخی قسمت‌های لولهٔ گوارش، با عمل ماهیچه‌های دیوارهٔ لولهٔ گوارش انجام می‌شوند. در ادامه این حرکات را بررسی می‌کنیم.

۱) حرکات کرمی‌شکل (دودی یا موجی)

این حرکات غذا را **در طول لولهٔ گوارش** برای **گوارش و جذب** به جلو (*از دهان به سمت مخرج*) می‌رانند. در این حرکات با ورود غذا، **اتساع یا گشاد شدن** لولهٔ گوارش روی می‌دهد که این گشادی سبب تحریک **اعصاب** دیوارهٔ لولهٔ گوارش (*در لایه‌های زیرمخاطی و ماهیچه‌ای*) می‌شود، این تحریک سبب انقباض ماهیچه‌های دیوارهٔ لوله می‌شود و **یک حلقهٔ انقباضی** در **پشت** تودهٔ غذای لولهٔ گوارش ایجاد می‌کند. این حلقه قسمتی از همان حرکات کرمی‌شکل است که به سمت جلو تا انتهای روده حرکت می‌کند. حرکات کرمی علاوه بر جلو بردن غذا، نقش مخلوط‌کنندگی با شیرهٔ گوارشی نیز دارند. مثلاً وقتی تودهٔ غذایی در جلوی خود به یک بندارهٔ بسته مثل پیلور (*انتهای معده*) برخورد کند، در این حالت حرکات کرمی فقط نقش مخلوط‌کنندگی داشته‌اند و غذا را نمی‌توانند جلوتر ببرند.

نکته

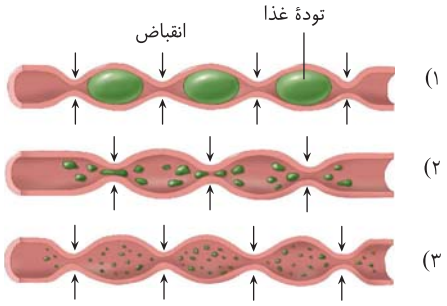
دقت کنید که وجود غذا در **هر بخشی** از لولهٔ گوارش و اتساع یا گشاد شدن آن بخش سبب تحریک یاخته‌های عصبی و انقباض ماهیچه و تنگ شدن لولهٔ گوارش می‌شود و به تدریج این حلقهٔ انقباضی به سمت جلوتر می‌رود و غذا را نیز به جلو می‌راند. در حرکات کرمی، حلقهٔ انقباضی فقط یک عدد و در پشت تودهٔ غذایی ایجاد می‌شود. پس این حلقه نقشی مستقیماً در گوارش مکانیکی و خرد کردن ذرهٔ غذایی ندارد چون در وسط تودهٔ غذایی حلقه‌ای ایجاد نمی‌کند.



«حرکات کرمی»

● ۲) حرکات قطعه‌قطعه کننده

این حرکات فقط در بخش‌هایی از لولهٔ گوارش دیده می‌شوند (*البته این نکته در کتاب درسی نیامده*) که به صورت **انقباض‌های جدا از هم** و یک در میان در پشت، وسط و جلوی تودهٔ غذایی هستند. بخش‌های منقبض شونده بین قطعه‌های شل یا گشاد قرار می‌گیرند و لولهٔ گوارش در آن قسمت به قطعه‌های فاصله‌دار تقسیم می‌شود. این حرکات و انقباض‌ها به تدریج در نقاطی از لوله که قبلاً گشاد (*شل*) بود، صورت می‌گیرد. در اثر این انقباض‌ها، سطح تماس محتویات لوله با **مخاط** افزایش یافته، غذای بیشتری با ترشحات گوارشی مخلوط شده و جذب غذا نیز بیشتر و آسان‌تر می‌شود.



«حرکت‌های قطعه‌قطعه کننده»

نکته

همان‌طور که در شکل ۱ تا ۳ مشاهده می‌کنید، در حرکات قطعه‌قطعه کننده، هر قسمتی که حاوی مواد غذایی است، گشادتر از نواحی اطراف آن می‌باشد. این حرکات سبب تجزیهٔ تودهٔ غذا به چند بخش شده و به ریزتر شدن تودهٔ غذایی نیز کمک می‌کند.

نکته

انقباض مورد نیاز برای حرکات کرمی‌شکل همواره فقط در **پشت** تودهٔ غذایی صورت می‌گیرد ولی انقباضات مورد نیاز برای حرکات قطعه‌قطعه کننده در هر قسمت قبل، وسط و بعد از تودهٔ غذایی رخ می‌دهد ولی هر دو نوع حرکت در مخلوط کردن غذا با شیرهٔ گوارشی نقش دارند.

تست ۳ **کدام عبارت صحیح است؟ «در لولهٔ گوارش انسان از ابتدای مری به سمت مخرج، هر حرکت کرمی‌شکل .....»** (قلم‌چی)

۱) منجر به حرکت رو به جلوی غذا می‌شود.
۲) منجر به گوارش مواد غذایی می‌شود.
۳) توسط ماهیچه‌های با ظاهر غیرخط‌دار صورت می‌گیرد.
۴) پس از اتساع دیوارهٔ لولهٔ گوارش و تحریک اعصاب آن راه‌اندازی می‌شود.

پاسخ ۴ (A) هر حرکت لولهٔ گوارش با اتساع آن بخش و تحریک اعصاب صورت می‌گیرد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در برخورد با بندارهٔ بسته، ادامه جلو رفتن غذا متوقف می‌شود. / گزینهٔ (۲): گوارش در مری صورت نمی‌گیرد. / گزینهٔ (۳): ابتدای مری هنوز ماهیچه مخطط وجود دارد.

تست ۴ **چند مورد به ترتیب از راست به چپ در ارتباط با حرکات «کرمی» و «قطعه‌قطعه کننده» صحیح است؟** (قلم‌چی)

الف) واجد نقش مخلوط‌کنندگی محتویات لولهٔ گوارش
ب) پدید آمدن در نتیجهٔ حرکات منظم ماهیچه‌های دیوارهٔ لولهٔ گوارش
ج) منقبض و شل شدن بخش‌هایی از لولهٔ گوارش به صورت یک در میان

۱) ۲-۳ ۲) ۳-۱ ۳) ۱-۳ ۴) ۲-۱

پاسخ ۱ (B) موارد (الف) و (ب) دربارهٔ هر دو حرکت و مورد (ج) فقط دربارهٔ حرکات قطعه‌قطعه کننده صدق می‌کند.

تله‌های تستی الف) حرکات کرمی نقش مخلوط‌کنندگی نیز دارند. به ویژه وقتی که حرکت رو به جلوی محتویات لوله با برخورد به یک بندارهٔ، متوقف شود؛ مثل وقتی که محتویات معده به پیلور برخورد می‌کنند. در این حالت، حرکات کرمی فقط می‌توانند محتویات لوله را مخلوط کنند. از طرفی تداوم حرکات قطعه‌قطعه کننده در لولهٔ گوارش موجب می‌شود محتویات لوله، ریزتر و بیشتر با شیره‌های گوارشی مخلوط شوند. / ب) انقباض ماهیچه‌های دیوارهٔ لولهٔ گوارش، حرکات منظمی را در آن به وجود می‌آورد. لولهٔ گوارش، دو حرکت کرمی و قطعه‌قطعه کننده دارد (*هر دوی این حرکات، از این انقباضات منظم به‌وجود می‌آیند*). / ج) در حرکات **قطعه‌قطعه کننده**، بخش‌هایی از لوله به صورت یک در میان منقبض و شل می‌شوند.

گوارش غذا

در دستگاه گوارش انسان، دو نوع گوارش برای غذا وجود دارد. یکی گوارش مکانیکی که طی آن با حرکات لولهٔ گوارش، مواد غذایی آسیاب می‌شوند و دیگری گوارش شیمیایی که به کمک **آنزیم‌ها** و سایر مواد شیمیایی رخ داده و در نهایت سبب تبدیل مولکول‌های درشت به واحدهای سازنده می‌شود. در ادامه به بررسی انواع این گوارش‌ها در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش می‌پردازیم.

نکته در **دهان، معده** و **رودهٔ باریک** غذا به کمک حرکت ماهیچه‌ها و عمل آنزیم‌ها، هم گوارش مکانیکی و هم گوارش شیمیایی می‌یابد.
- گوارش مکانیکی ← آسیاب کردن و خرد کردن غذا
- گوارش شیمیایی ← تجزیهٔ مولکول‌های درشت توسط آنزیم‌ها

گوارش مکانیکی دهان

در دهان، هم‌زمان با ورود غذا، به دنبال عمل جویدن، گوارش مکانیکی **آغاز** می‌شود و غذا به ذره‌های بسیار کوچک تبدیل می‌شود. گوارش مکانیکی دهان همراه با عمل زیر صورت می‌گیرد:

۱) به کمک فعالیت **هماهنگ** ماهیچه‌های **اسکلتی** آرواره‌ها و گونه‌ها، لب‌ها، زبان و دندان‌ها صورت می‌گیرد.

۲) گوارش مکانیکی دهان سبب فعالیت بهتر آنزیم‌های گوارشی می‌شود چون سطح تماس آنزیم‌ها با پیش‌ماده‌های کوچک‌تر، آسان‌تر می‌باشد و از طرفی مانع خراشیدگی لولهٔ گوارش بر اثر تماس با غذا شده و عبور ذرات غذایی را در لولهٔ گوارش تسهیل می‌کند.

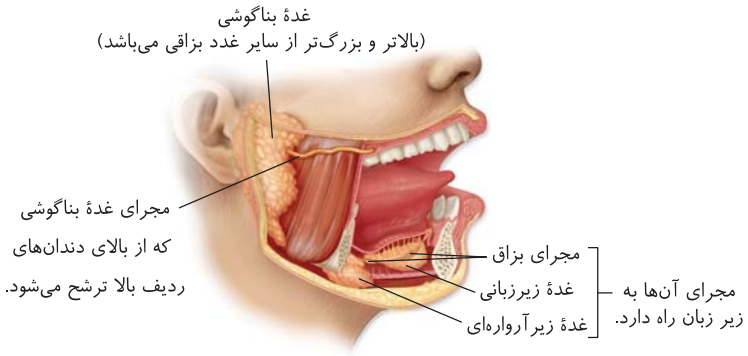
۳) در دهان ضمن گوارش مکانیکی، غذا با بزاق مخلوط شده و به تودهٔ قابل **بلع**، تبدیل می‌شود. در حقیقت گوارش مکانیکی سبب تسهیل بلع و تسهیل گوارش شیمیایی می‌شود.

نکات مهم گوارش شیمیایی دهان توسط بزاق

۱) بزاق محلولی است که از **سه جفت غدهٔ برون‌ریز بزرگ** (*بناگوشی، زیرآرواره‌ای و زیرزبانی*) و **تعدادی** غده‌های بزاقی **کوچک** برون‌ریز با مجاری مشخص به داخل حفرهٔ دهان ترشح می‌شود. (*غدهٔ بناگوشی از بقیهٔ غدد بزاقی بزرگ‌تر می‌باشد و در سطح بالاتری قرار دارد.*)

۲) ترکیب بزاق از آب، یون‌ها، **انواعی** از آنزیم‌های گوارشی، دفاعی و گلیکوپروتئینی به نام **موسین** تشکیل شده است.

۳) غدد بزاقی از نوع **برون‌ریز** هستند و مجرای مشخصی برای خروج فراوردهٔ خود (*بزاق*) به حفرهٔ دهان دارند. این غدد نیز مانند بسیاری از غدد، از بافت **پوششی** تشکیل شده‌اند. دقت کنید که مجرای غدد بناگوشی به سقف دهان **بالای دندان‌های** ردیف بالایی ترشح می‌شود ولی مجرای سایر غدد بزرگ به زیر زبان راه دارند.



- ترکیب بزاق
  - مواد معدنی
    - آب ← بیشتر حجم بزاق را تشکیل می‌دهد.
    - یون‌ها
  - ترکیبات آلی پروتئینی
    - موسین
      - از مخاط **سراسر** لولهٔ گوارش ترشح می‌شود (*فصل ۵ یازدهم*).
      - گلیکوپروتئینی **بدون نقش آنزیمی** می‌باشد که با جذب **آب** فراوان سبب تولید مادهٔ مخاطی می‌شود.
      - تودهٔ غذا را لغزنده کرده و به هم می‌چسباند تا بلع آن را آسان کند و مانع خراشیدگی دیوارهٔ لولهٔ گوارش شود.
      - لولهٔ گوارش را از اثر تخریبی مواد شیمیایی مثل اسید یا آنزیم حفظ می‌کند.
      - مادهٔ مخاطی حاصل از ترکیب موسین با آب می‌تواند در **نخستین** خط دفاعی بدن انسان میکروب‌ها را به دام بیاندازد و مانع پیشروی آن‌ها شود (*فصل ۵ یازدهم*).
    - آنزیم‌های بزاق
      - ۱) آمیلاز بزاق ← آنزیمی است که هیدرولیز برون‌یاخته‌ای **نشاسته** را در دهان انجام می‌دهد **ولی تولید گلوکز نمی‌کند.**
      - ۲) لیزوزیم ← در خط **اول** دفاع غیراختصاصی باعث نابودی باکتری‌های درون دهان می‌شود.

نکته در اثر عمل بزاق، از بین مواد غذایی، **فقط** مقداری از **نشاسته‌ها**، هیدرولیز می‌شوند و به قندهای ساده‌تر تبدیل می‌شوند. در حقیقت اولین مولکول‌های زیستی موجود در غذا که در لولهٔ گوارش انسان تجزیه می‌شوند، نشاسته‌ها می‌باشند ولی دقت کنید که در دهان به مونوساکارید گلوکز تبدیل نمی‌شوند.

نگاهی به آینده

در فصل‌های ۱ و ۵ یازدهم می‌خوانید که ترشح بزاق و اشک که هر دو آنزیم دفاعی لیزوزیم دارند، توسط بخشی از ساقهٔ مغز در بالای بصل‌النخاع به نام **پل مغزی** کنترل می‌شود.

تست ۵ هر آنزیمی که در بزاق وجود دارد ..... (قلم‌چی)

۱) از بافت پوششی غده‌ای ترشح شده است.
۲) به گوارش نشاسته کمک می‌کند.
۳) در از بین بردن باکتری‌های درون دهان نقش دارد.
۴) عبور ذره‌های غذا را از لولهٔ گوارش تسهیل می‌کند.

پاسخ ۱ (A) در بزاق آنزیم‌های **آمیلاز بزاقی** و **لیزوزیم** وجود دارند که هر دو از غده‌های بزاقی ترشح شده‌اند. در غده‌های بزاقی بافت پوششی بزاق را می‌سازد و به بافت پوششی غده‌ای تعلق دارد (*راستی یادتون باشه که بافت پوششی همیشه روی غشای پایه یعنی روی شبکه‌ای از گلیکوپروتئین‌ها قرار گرفته‌ا*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): فقط در مورد آنزیم آمیلاز صحیح است. / گزینهٔ (۳): فقط در مورد لیزوزیم صحیح است. / گزینهٔ (۴): مربوط به مادهٔ مخاطی است.

تست ۶ کدام گزینه، در مورد غدد بزاقی بزرگ انسان، نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) همهٔ پروتئین‌های موجود در مادهٔ ترشحی آن‌ها، قطعاً در گوارش مواد غذایی درون دهان نقش دارند.
۲) همگی در چسباندن ذره‌های غذایی به هم و تبدیل آن‌ها به توده‌ای لغزنده نقش دارند.
۳) می‌توانند ترشحات خود را به کف حفرهٔ دهان یا قسمت بالایی حفرهٔ دهان وارد کنند.
۴) مجرای بزرگ‌ترین غدهٔ بزاقی از مجاورت نوعی ماهیچه، عبور می‌کند.

پاسخ ۱ (B) لیزوزیم، آنزیمی است که در از بین بردن باکتری‌های درون دهان نقش دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): موسین، مترشحه از غدد بزاقی گلیکوپروتئینی است که آب فراوانی جذب و مادهٔ مخاطی ایجاد می‌کند. مادهٔ مخاطی دیوارهٔ لولهٔ گوارش را از خراشیدگی حاصل از تماس غذا یا آسیب شیمیایی (*بر اثر اسید یا آنزیم*) حفظ می‌کند و ذره‌های غذایی را به هم می‌چسباند و آن‌ها را به تودهٔ لغزنده‌ای تبدیل می‌کند. / گزینهٔ (۳): غدد بزاقی زیرآرواره‌ای و زیرزبانی ترشحات خود را به کف دهان و غدد بزاقی بناگوشی ترشحات خود را به قسمت بالایی حفرهٔ دهان وارد می‌کنند. / گزینهٔ (۴): همان‌طور که در شکل کتاب درسی می‌بینید، مجرای غدهٔ بناگوشی (*بزرگ‌ترین غدهٔ بزاقی*) از مجاورت نوعی ماهیچه (*ماهیچهٔ بناگوشی*)، عبور می‌کند.

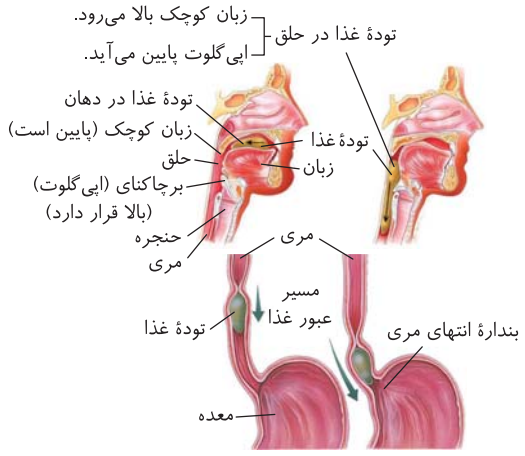
تست ۷ مادهای که ذره‌های غذایی را به هم می‌چسباند و آن‌ها را به توده‌ای لغزنده تبدیل می‌کند، ممکن نیست ..... (قلم‌چی)

۱) لولهٔ گوارش را در برابر آسیب شیمیایی حفظ نماید.
۲) نقش آنزیمی داشته باشد.
۳) حاصل ترکیب پروتئین و کربوهیدرات باشد.
۴) فرایند بلع را تسهیل نماید.

پاسخ ۲ (B) موسین گلیکوپروتئینی (*ترکیبی حاوی پروتئین و کربوهیدرات*) است که آب فراوانی جذب و مادهٔ مخاطی ایجاد می‌کند. مادهٔ مخاطی دیوارهٔ لولهٔ گوارش را از خراشیدگی حاصل از تماس غذا یا آسیب شیمیایی (*بر اثر اسید یا آنزیم*) حفظ می‌کند و ذره‌های غذایی را به هم می‌چسباند و آن‌ها را به تودهٔ لغزنده‌ای تبدیل می‌کند تا بلع آسان شود. **راستی یادتون باشه که موسین نقش آنزیمی ندارد.**

بلع غذا

عملی برای انتقال غذا از دهان تا معده است که شامل دو قسمت می‌باشد. مرحلهٔ اول شامل ورود غذا از دهان به حلق به صورت **ارادی** بوده و مرحلهٔ دوم آن ورود غذا از حلق به مری و معده به صورت **انعکاسی** غیرارادی صورت می‌گیرد. (*طی بلع کامل، انتقال غذا از دهان به معده صورت می‌گیرد.*)



بلع ارادی

برای شروع بلع، ابتدا باید زبان بزرگ بالا برود تا تودهٔ غذا با فشار **زبان**، به عقب دهان و داخل حلق رانده شود. برای این عمل ماهیچه‌های مخطط دهان و زبان فعالیت می‌کنند. در این هنگام تا وقتی غذا در دهان است، راه نای و بینی باز می‌باشد.

بلع غیرارادی

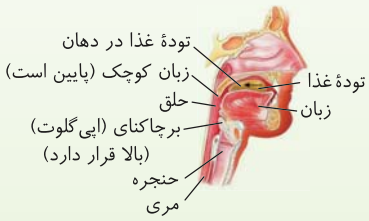
با تحریک گیرنده‌های **مکانیکی** حلق، انعکاس بلع آغاز می‌شود و ادامهٔ بلع، باز هم با ماهیچه‌های مخطط حلق ولی به صورت **غیرارادی** انجام می‌شود. با شروع بخش غیرارادی بلع، درون حلق که گذرگاهی ماهیچه‌ای به صورت یک چهارراه است، زبان کوچک به سمت **بالا** می‌رود تا راه بینی را ببندد. هم‌زمان مرکز **عصبی** بلع در **بصل‌النخاع**، باعث توقف عمل مرکز عصبی **تنفسی** در نزدیک خود در بصل‌النخاع می‌شود (*حلق مانند یک چهارراه می‌باشد که از جلو با دهان، از بالا با بینی و از پایین با مری و نای ارتباط دارد*). علاوه بر این اعمال در حلق دریچهٔ ابتدای نای به نام برچاکنای (اپی‌گلوت) نیز **پایین** می‌آید تا راه نای را ببندد. سپس دیوارهٔ ماهیچه‌ای **مخطط** حلق منقبض شده و **حرکت کرمی حلق** سبب انتقال غذا از حلق به مری می‌شود (*البته مادهٔ مخاطی مترشحه از غدد مخاط مری نقش کمکی و تسهیل برای عبور غذا در مری دارد*). در نهایت با رسیدن حرکت کرمی به انتهای مری و برخورد غذا با بندارهٔ انتهای مری، این ماهیچه به استراحت درآمده و با باز شدن بندارهٔ آن غذا وارد معده شده و بلع کامل می‌شود.

نکاتی مهم در پاسخ به تست‌ها

۱ در زیر دیافراگم در انتهای مری و در محل اتصال مری به معده، بندارهٔ انتهای مری با ماهیچهٔ **صاف** (*حلزونی*) وجود دارد که در حالت عادی منقبض و بسته می‌باشد ولی با **هر** حرکت **کرمی** باز شده و شل می‌شود تا غذا، آب و اندکی هوا از مری به معده برسد.

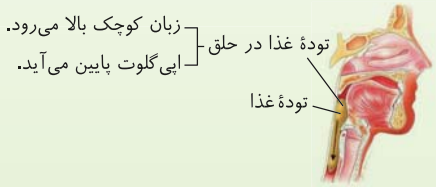
۲ عبور غذا از دهان به حلق و از حلق به مری با انقباض ماهیچه‌های **مخطط** صورت می‌گیرد که اعصاب **پیکری** در بروز آن‌ها مؤثر می‌باشند. این انقباضات در حلق به صورت حرکات **کرمی** انجام می‌شوند تا سبب انتقال غذا شوند. حتماً به یاد دارید که ماهیچه‌های موجود در دهان، حلق و **ابتدای** مری از نوع مخطط هستند که با اعصاب **پیکری** به صورت ارادی یا انعکاس‌های غیرارادی به انقباض درمی‌آیند.

۳ مادهٔ مخاطی مترشحه از غدد مخاط مری، هم تا حدی به حفاظت لایهٔ **داخلی** مری کمک می‌کند و هم حرکت مواد در مری را آسان‌تر می‌گرداند.



۴ با توجه به شکل مقابل، در مرحلهٔ ارادی بلع، که غذا از دهان به حلق می‌رسد، تا هنگامی که غذا در دهان قرار دارد، زبان کوچک **پایین** و اپی‌گلوت **بالا** می‌باشد و راه بینی و نای باز می‌باشند.

۵ در مرحلهٔ غیرارادی و انعکاسی بلع، بعد از اینکه غذا وارد حلق می‌شود، زبان کوچک به سمت **بالا** و اپی‌گلوت **پایین** می‌آید تا به ترتیب راه **بینی** و **نای** را مسدود کنند.



۶ همان‌طور که می‌دانید، فعالیت‌های گوارشی باید با فعالیت‌های بخش‌های دیگر بدن نیز هماهنگ باشند. مثلاً در همین فصل می‌خوانید که در **هنگام بلع** و عبور غذا از حلق، مرکز عصبی **بلع** که در **بصل‌النخاع** می‌باشد، **خود** باعث مهار مرکز عصبی تنفس می‌شود که این مرکز نیز در **بصل‌النخاع** و در **نزدیکی** مرکز بلع وجود دارد. در نتیجه این اعمال انعکاسی با پایین آمدن اپی‌گلوت و بالا رفتن زبان کوچک به ترتیب راه نای و بینی بسته شده و تنفس برای **مدتی کوتاه** متوقف می‌شود تا غذا وارد مری گردد (*پس در انسان مرکزی عصبی در یک اندام می‌تواند فعالیت دیگری از خود را متوقف کند*).

مری

بخشی لوله‌ای که از حلق در ناحیه گلو آغاز می‌شود و تا معده ادامه دارد. در مری، گوارشی روی غذا صورت نمی‌گیرد و مدت زمان حضور غذا در آن بسیار کوتاه است. بیشتر قسمت‌های این لولهٔ گوارشی، در بالای دیافراگم و خارج حفرهٔ شکمی قرار دارند (*غدد مخاطی است*). بخش ابتدایی آن، ماهیچه مخطط دارد ولی در ادامه دارای ماهیچهٔ صاف به شکل طولی و حلقوی می‌شود. این اندام در پشت نای واقع شده است. بندارهٔ انتهایی مری در زیر دیافراگم متمایل به سمت چپ می‌باشد که از ماهیچه صاف است و با هر حرکت کرمی باز شده تا هوا، آب و غذا را وارد معده کند. این لوله، مادهٔ مخاطی کمی دارد و سیستم حفاظتی مخاط آن به اندازه معده و روده قوی نمی‌باشد. غده‌های مخاط آن با ترشح مادهٔ مخاطی در حرکت آسان غذا نقش دارند.

تست ۸ **کدام عبارت زیر از نظر صحیح یا غلط بودن، با سایر عبارات متفاوت است؟** (قلم‌چی)

۱) گلیکوپروتئین موجود در بزاق، با جذب میزان اندکی آب، باعث ایجاد مادهٔ مخاطی می‌شود.
۲) همهٔ ماهیچه‌های اسکلتی مؤثر در فرایند بلع، فقط به صورت ارادی به انقباض درمی‌آیند.
۳) همهٔ مواد آلی موجود در رژیم غذایی انسان، قطعاً برای جذب شدن باید آب‌کافت شوند.
۴) مجرای بزرگ‌ترین غدهٔ بزاقی انسان، در مجاورت دندان‌های بالا در دهان قرار دارد.

پاسخ ۴ C

با توجه به شکل کتاب درسی، مجرای غدهٔ بزاقی بناگوشی، در مجاورت دندان‌های بالا در دهان قرار داد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): نادرست است. موسین گلیکوپروتئینی است که با جذب **آب فراوان**، مادهٔ مخاطی را ایجاد می‌کند. / گزینهٔ (۲): نادرست است. در بخش غیرارادی عمل بلع، در ماهیچه‌های اسکلتی حلق، حرکات کرمی (*انقباض غیرارادی*) ایجاد می‌شود. / گزینهٔ (۳): نادرست است. رژیم غذایی ما شامل انواع گوناگون کربوهیدرات‌هاست. مونوساکاریدها، مواد آلی‌ای هستند که بدون گوارش جذب می‌شوند.

تست ۹ **کدام گزینه عبارت زیر را به درستی کامل می‌کند؟ «به‌طور معمول، ..... مرحلهٔ غیرارادی فرایند بلع، .....»** (قلم‌چی)

۱) قبل از آغاز - دیوارهٔ ماهیچه‌ای حلق منقبض می‌شود.
۲) حین - حنجره همانند برچاکنای به سمت پایین حرکت می‌کند.
۳) حین - زبان و زبان کوچک در بستن نیمی از راه‌های حلق نقش دارند.
۴) بعد از آغاز - با فشار زبان، تودهٔ غذا به عقب دهان و داخل حلق رانده می‌شود.

پاسخ ۳ B

زبان کوچک راه بینی و زبان بزرگ راه دهان را می‌بندد و به این صورت، دو راه از چهارراه حلق بسته می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): **بعد از آغاز** مرحله غیرارادی فرایند بلع، دیوارهٔ ماهیچه‌ای حلق منقبض می‌شود. / گزینهٔ (۲): همان‌طور که در شکل کتاب درسی می‌بینید، در هنگام بلع، حنجره به سمت **بالا** و برچاکنای به سمت پایین حرکت می‌کند و راه نای بسته می‌شود. / گزینهٔ (۴): **قبل از آغاز** مرحله غیرارادی فرایند بلع، با فشار زبان، تودهٔ غذا به عقب دهان و داخل حلق رانده می‌شود.

گوارش در معده

معده اندامی **کیسه‌ای**شکل بین مری و رودهٔ باریک می‌باشد که بیشتر بخش‌های آن در سمت چپ شکم قرار دارد. دیوارهٔ معده حاوی **چین**خوردگی‌هایی **غیردائمی** با تعداد متغیر می‌باشد. این چین‌ها با پر شدن معده از غذا، **باز** شده و تعداد آن‌ها **کم** می‌شود تا غذای بلع شده در آن انبار شود ولی مقدار این چین‌ها با خالی شدن معده در اثر ورود غذا به روده یا استفراغ، زیاد می‌شوند. درون معده، **بیشترین گوارش مکانیکی** بدن، در اثر حرکات و عمل ماهیچه‌های صاف **سه**لایه‌ای آن صورت می‌گیرد. **مقداری نیز گوارش شیمیایی** در اثر مواد موجود در **شیرهٔ معده** انجام می‌شود.

ورود غذا به معده ← کاهش چین‌های معده ↓ ← اتساع معده ↑ ← شروع حرکات و انقباض‌های معده

الف) گوارش مکانیکی معده

پس از **هر بار بلع** با ورود غذا به معده، دیوارهٔ معده، **اندکی** انبساط می‌یابد. این عمل سبب تحریک اعصاب جدار معده و انقباض لایه‌های ماهیچه‌ای طولی، حلقوی و مورب آن می‌شود. با شروع انقباض‌های معده، حرکات آن از بندارهٔ انتهای مری به سمت بندارهٔ **پیلور** (انتهای معده در محل اتصال به رودهٔ باریک) آغاز می‌شوند. این حرکات باعث مخلوط شدن غذا با شیرهٔ معده و گوارش مکانیکی آن می‌گردند که نتیجهٔ آن تشکیل **کیموس** برای ورود به دوازدهه می‌باشد.

نکاتی برای دقت در تست‌ها

۱ در هنگام غذا خوردن، مقدار حجم کیموس معده با شدت انقباضات معده رابطهٔ **مستقیم** دارد. یعنی هرچه حجم کیموس معده بیشتر شود، شدت انقباضات معده نیز بیشتر می‌شود که در این صورت تعداد چین‌های دیوارهٔ معده **کمتر** شده‌اند.

۲ در پایان گوارش معدی، به غذای موجود در معده که به‌طور **کامل** در اثر گوارش **مکانیکی و شیمیایی** با شیرهٔ معده مخلوط شده باشد و حالت خمیری‌شکل گرفته باشد، **کیموس** می‌گویند. (دقت کنید که استفاده از واژهٔ کیموس برای غذای موجود در دهان و مری نادرست است.)



۳ در معده برخلاف سایر قسمت‌های لولهٔ گوارش، که در بخش ماهیچه‌ای صاف خود، علاوه بر لایه‌های ماهیچه‌ای طولی و حلقوی، یک لایه ماهیچهٔ مورب هم در داخلی‌ترین قسمت ماهیچه‌های خود دارد. یاخته‌های لایهٔ ماهیچه‌ای معده در سه جهت خارجی (طولی)، میانی (حلقوی) و داخلی (مورب) قرار گرفته‌اند و باعث افزایش قدرت انقباضی برای گوارش مکانیکی در معده شده است.

۴ دقت کنید که در تست‌ها بندارهٔ انتهای مری را به عنوان بندارهٔ ابتدای معده در نظر نگیرید چون این بنداره مربوط به انتهای مری می‌باشد (نه در ساختار ابتدای معده).

۵ حرکات معده از سمت چپ نزدیک بندارهٔ انتهای مری شروع می‌شود و به سمت راست شکم تا پیلور ادامه می‌یابد.

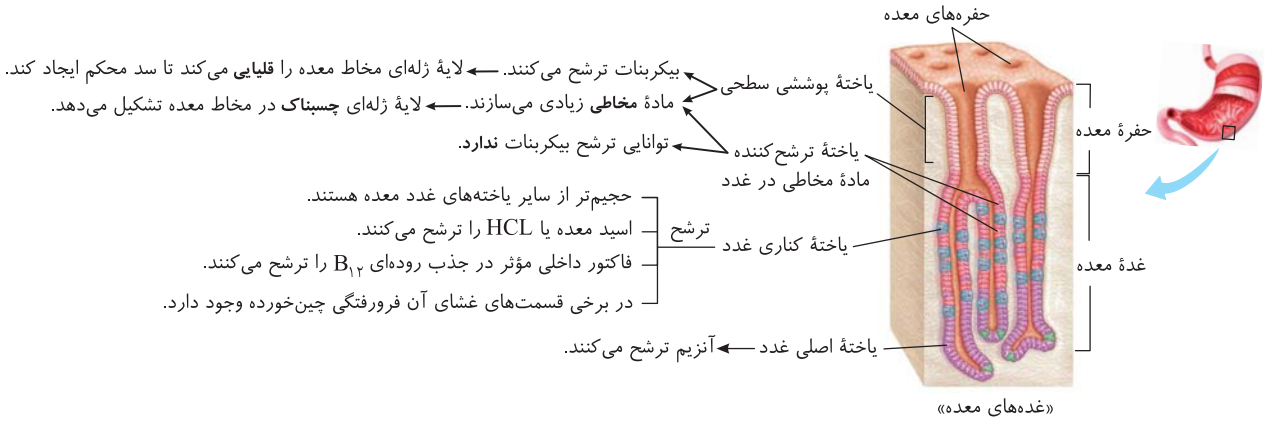
ب) گوارش شیمیایی در معده

● بررسی حفره‌ها و غدد معده (بسیار مهم در طراحی تست‌ها)

همان‌طور که می‌دانید، مخاط معده از یک لایهٔ پوششی **استوانه‌ای** ساده و در زیر آن یک لایهٔ پیوندی **سست** ایجاد شده است و سپس لایه زیرمخاط وجود دارد. در این قسمت می‌خواهیم به بررسی حفرات و غدد معده بپردازیم و لطفاً اصلاً کاری به زیرمخاط نداشته باشید چون همهٔ صحبت‌ها در مورد **مخاط** می‌باشد. در حقیقت یاخته‌های **پوششی** مخاط معده در بافت پیوندی سست **مخاط** آن فرو رفته‌اند و **حفره‌های** متعددی در معده ایجاد کرده‌اند (مثلاً تصور کنید در دیوار اتاق خود تعدادی حفره دارید). لطفاً به اشتباه نگویید که زیر یاخته‌های پوششی، لایهٔ زیرمخاط قرار دارد. زیرمخاط، پس از بافت پیوندی سست مشاهده می‌شود. این حفره‌ها در ادامه به **یک یا چند** مجرا یا غده‌های برون‌ریز معده راه دارند. همان‌طور که در شکل بعد مشاهده می‌کنید، یاخته‌های پوششی سطحی در ادامه به یاخته‌های پوششی غدد معده متصلند. در اینجا باید خیلی دقت کنید چون یاخته‌های سطحی تشکیل دهندهٔ حفرات معده علاوه بر تولید مادهٔ مخاطی توانایی تولید و ترشح **بیکربنات** نیز دارند ولی غدد معده که در حقیقت از یاخته‌های پوششی استوانه‌ای تک‌لایه‌ای با کار **متفاوت** ایجاد شده‌اند، درون بافت پیوندی **مخاط** قرار گرفته‌اند (همچنین در شکل مشاهده می‌کنید که چند غدهٔ معده مجاور هم می‌توانند ترشحات خود را توسط یک یا چند مجرای خود، وارد یک حفرهٔ معده کنند یا اینکه هر غده با یک مجرای مشخص مواد خود را وارد یک حفره کند). در غدد معده یاخته‌های برون‌ریزی برای ترشح اسید، مادهٔ مخاطی و آنزیم وجود دارد. در حقیقت برخی یاخته‌های غدد آن همانند حفرات، **مادهٔ مخاطی** فراوانی به صورت ژله‌ای چسبناک، برخی اسید معدنی HCl و یک عامل آلی و برخی، آنزیم می‌سازند. (البته غدد معده علاوه بر یاخته‌های فوق، دارای مقدار کمی نیز یاخته‌های پراکنده درون‌ریز هورمون‌ساز می‌باشند که هورمون گاسترین را وارد خون می‌کنند. این هورمون بر تولید اسید و آنزیم معده مؤثر می‌باشد.)

مادهٔ مخاطی معده

در دیوارهٔ داخلی معده یک لایه ژله‌ای چسبناک وجود دارد که نقش مهمی در حفظ سلامت جدار داخلی این اندام دارد. این مادهٔ مخاطی که از موسین و آب تشکیل شده است هم توسط یاخته‌های پوششی حفرات معده (*که در بافت پیوندی زیرین مخاط ضرورتی بودند*) و هم از برخی یاخته‌های فوقانی غدد معده ترشح می‌شود. برای اینکه این لایه سد حفاظتی محکم در مقابل اسید (HCl) و آنزیم‌های معده بسازد، نیاز دارد که قلیایی شود. بدین منظور **فقط** یاخته‌های پوششی سازندهٔ **حفرات** معده توانایی ترشح **بیکربنات** دارند تا این محیط را ایجاد کنند.



«غده‌های معده»

● بررسی شیرهٔ معده

همان‌طور که گفتیم (*و البته در QM های تدریس هم که شنیدن آن‌ها از نوار شب واجب‌تره! توضیح می‌دم*) در مخاط معده، یک لایه یاخته‌های پوششی استوانه‌ای ساده **سطحی** وجود دارد که در بافت پیوندی سست زیر خود فرو می‌روند و **حفره‌های متعددی** را به وجود می‌آورند. یاخته‌های **غدد** برون‌ریز معدی ترشحات خود را به عنوان شیرهٔ معده ابتدا به درون لوله‌های مجاری مانند غدهٔ خود می‌ریزند که مجاری این غدد برون‌ریز به حفره‌های معده راه دارند (*معده پرز و ریزپرز ندارد ولی چین‌های غیردائمی دارد*).

نکته مهم

شیرهٔ معده شامل مواد معدنی مثل **بیکربنات** و **اسید** HCl و مواد آلی مثل مادهٔ مخاطی **موسین**‌دار، فاکتور داخلی و آنزیم‌های گوارشی می‌باشد که برخی توسط یاخته‌های پوششی سطحی (*مادهٔ مخاطی و بیکربنات*) و برخی هم توسط غدد معده (*مادهٔ مخاطی، فاکتور داخلی، اسید و آنزیم‌ها*) ترشح می‌شود. (*مادهٔ مخاطی را هر دو می‌سازند.*)

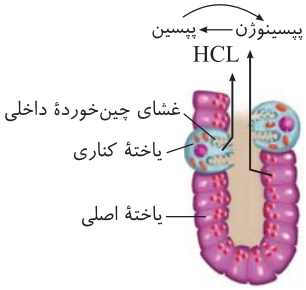
قسمت‌های ترشح‌کنندهٔ شیرهٔ معده

۱) یاخته‌های پوششی سطحی سازندهٔ حفرات معده

- مایع مخاطی دفاعی **زیادی** با چسبندگی **زیاد** می‌باشد و به صورت لایهٔ ژله‌ای چسبناک مخاط معده را می‌پوشاند.
- این یاخته‌ها **بیکربنات** (HCO_3^-) نیز ترشح می‌کنند که در لایهٔ مایع مخاطی ژله‌ای قرار گرفته و این مایع را **قلیایی** می‌کند تا برخلاف مری سد دفاعی حفاظتی **محکمی** در برابر اسید و آنزیم ایجاد کنند.

۲) یاخته‌های غدد معده

- برخی از آن‌ها مانند حفرات، **مایع مخاطی ژله‌ای چسبناک دفاعی** ترشح می‌کنند ولی ترشح بیکربنات ندارند.
- یاخته‌های **اصلی** آن‌ها آنزیم‌های معده را ترشح می‌کنند. به‌طور کلی به **پیش‌ساز** پروتئازهای معده، پپسینوژن که آنزیمی غیرفعال است، گفته می‌شود که پس از ترشح در معده، در اثر عمل HCl (*اسید معده*) به پپسین که پروتئاز فعال است، تبدیل می‌شود. پپسین سبب **هیدرولیز** پروتئین‌ها و تبدیل آن‌ها به **پپتیدهای** کوچک‌تر (*نه آمینواسید!*) و همچنین تولید بیشتر پپسین می‌شود (*در معده، هیدرولیز پروتئین‌های مواد غذایی آغاز می‌شود ولی به آمینواسید تبدیل نمی‌شوند!*).



- **یاخته‌های کناری (حاشیه‌ای)**
  - حجیم‌ترین یاخته‌های غدد معده می‌باشند.
  - اسید معده HCl که مادهٔ **معدنی** است را برای فعال کردن **آنزیم** پپسینوژن ترشح می‌کند.
  - مادهٔ **آلی** به نام عامل (*فاکتور*) داخلی معده ترشح می‌کند که باعث حفظ ویتامین B_{12} در **معده** و کمک به جذب آن در رودهٔ **باریک** می‌شود، این ماده برای جذب روده‌ای B_{12} مؤثر در تولید گویچهٔ **قرمز** خونی در **مغز استخوان** ضروری است.

نکاتی برای بررسی تست‌ها

۱) تکرار می‌کنم که در معده به کمک **شیرهٔ معده** که حاوی آنزیم و اسید می‌باشد مقداری از **پروتئین‌ها به پپتیدهای کوچک‌تر** هیدرولیز می‌شوند ولی دقت کنید که در معده از هیدرولیز مواد غذایی پروتئینی، آمینواسید ایجاد نمی‌شود. *(راستی یادتون باشه که پپسین فقط در محیط اسیدی معده فعاله و وقتی وارد محیط خنثی یا کمی قلیایی روده میشه دیگه بی‌خطر و بی‌اثر میشه!)*

۲) مادهٔ مخاطی معده، به مقدار **زیادی**، هم توسط یاخته‌های پوششی استوانه‌ای تک‌لایه‌ای **سطحی** تشکیل دهندهٔ **حفرات** معده و هم توسط **برخی** یاخته‌های **غدد** ترشحی معده، ترشح می‌شود. این لایه روی مخاط، یعنی داخلی‌ترین لایه معده در مجاورت غذا را می‌پوشاند و دارای خاصیت **ژله‌ای** چسبناک و محکم می‌باشد.

۳) بیکربنات موجود در لایه‌لای مادهٔ مخاطی معده، **فقط** توسط یاخته‌های پوششی **سطحی** که **حفرات** معده را تشکیل می‌دهند، ترشح می‌شود، یعنی یاخته‌های **غدد** معده، قادر به تولید و ترشح بیکربنات نمی‌باشند. این یون سبب قلیایی شدن مادهٔ مخاطی شده تا سد حفاظتی محکمی در مقابل اسید و آنزیم باشد.

۴) یاخته‌های پوششی در لایه‌های معده
- ۱) سطحی‌های حفره‌ساز که در ساختار غدد نیستند ← **همگی** ماده مخاط قلیایی و بیکربنات می‌سازند.
- ۲) عمقی‌ترها که تشکیل غده داده‌اند ← **برخی** از آن‌ها مادهٔ مخاطی می‌سازند.

با توجه به شکل کتاب درسی در غدد معده تعداد یاخته‌های سازندهٔ مادهٔ مخاطی از یاخته‌های کناری و اصلی بیشتر می‌باشد. این یاخته‌ها به حفرات معده **نزدیک**‌ترند.

۵) چون ویتامین B_{12} یکی از مواد مهمی است که برای ساختن گویچهٔ قرمز در **مغز استخوان** لازم است، لذا اگر به هر دلیلی، یاخته‌های **حاشیه‌ای** *(کناری)* معده، آسیب ببینند و تخریب شوند، فرد علاوه بر کمبود HCl و اشکال در تجزیهٔ **پروتئین‌ها** به دلیل ناتوانی در فعال کردن پپسینوژن‌ها، دچار **کم‌خونی** وخیم و خطرناکی نیز می‌شود. چون ویتامین B_{12} در رودهٔ باریک آن‌ها جذب نمی‌شود و کمبود ویتامین B_{12} سبب کم‌کاری مغز استخوان در تولید گویچهٔ قرمز خونی می‌شود. *(افرادی که معدهٔ آن‌ها را برمی‌دارند نیز به همین دلیل دچار زندگی پرخطری می‌شوند. در سال بعد می‌خوانید که در این افراد امکان تبدیل مغز زرد استخوان به مغز قرمز گویچه‌ساز وجود دارد.)*

۶) در غدد معده، اندازه یاخته‌های کناری که اسید می‌سازند از یاخته‌های اصلی آنزیم‌ساز **بزرگ‌تر** است. این یاخته‌ها همانند یاخته‌های حفرات معده هم مادهٔ آلی و هم مادهٔ معدنی می‌سازند.

۷) در معده علاوه بر غدد برون‌ریز که دارای مجرای مشخصی برای خروج فراوردهٔ خود یعنی مایع مخاطی، اسید، آنزیم و فاکتور داخلی می‌باشند، یاخته‌های پراکنده **درون‌ریزی** نیز برای ترشح هورمون **گاسترین** وجود دارند که این هورمون را پس از تولید وارد **خون** می‌کنند. گاسترین جزء شیرهٔ معده **نیست** و وارد فضای درونی معده نمی‌شود ولی در ادامهٔ این فصل می‌خوانیم که یاخته‌های هدف آن یاخته‌های **اصلی و کناری** غدد معده می‌باشند که سبب تحریک تولید اسید و آنزیم پپسینوژن شیرهٔ معده می‌شود.

۸) با توجه به شکل کتاب درسی می‌بینیم که تبدیل پپسینوژن‌های غیرفعال به پپسین‌های فعال هم در اثر HCl و هم در اثر عمل خود **پپسین** صورت می‌گیرد. عملی که پپسین انجام می‌دهد با عمل HCl یکسان است ولی پپسین نوعی آنزیم است و با کم کردن انرژی فعال‌سازی واکنش به عنوان کاتالیزور زیستی به عمل خود می‌پردازد.

۹) تکرار می‌کنم که اشکال در یاختهٔ کناری معده با نقشی که HCl در ایجاد پپسین دارد، در تجزیه پروتئین‌ها نیز اشکال ایجاد می‌کند.

۱۰) از دهان تا انتهای معده، آنزیم‌های گوارشی **آمیلاز** دهان روی شروع هیدرولیز **نشاسته‌ها** و در معده پروتئاز پپسین روی پروتئین‌ها اثر کرده‌اند و شروع هیدرولیز آن‌ها را انجام می‌دهند ولی **نوکلئیک‌اسیدها** تا ابتدای روده تحت تأثیر گوارش شیمیایی قرار نمی‌گیرند. البته دقت کنید که تا پایان گوارش معدی، هیچ مونومر یا واحد سازنده‌ای مثل گلوکز، آمینواسید، نوکلئوتید و... از تجزیهٔ مواد غذایی ایجاد نشده است.

۱۱) بر طبق متن کتاب ویژهٔ کنکور ۱۴۰۱، در معده مقداری نیز آنزیم لیپاز از یاخته‌های اصلی غدد ترشح می‌شود و مقدار کمی از گوارش لیپیدها را آغاز می‌کند ولی از کتاب دهم ویژهٔ کنکور ۱۴۰۲ این نکته حذف شده است. ۱۴۰۱

تست ۱۰ کدام گزینه عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«در نوعی اندام گوارشی بدن انسان، یاخته‌های لایهٔ ماهیچه‌ای دیوارهٔ آن در سه جهت مختلف قرار گرفته‌اند. همهٔ مولکول‌های زیستی نیتروژن‌دار که گوارش شیمیایی آن‌ها در این اندام آغاز می‌شود، قطعاً .....»

۱) واجد حداقل سه نوع عنصر در ساختار خود هستند.

۲) تحت تأثیر آنزیم‌های فعال این اندام قرار می‌گیرند.

۳) بیشترین مادهٔ موجود در غشای یاخته می‌باشند.

۴) در ساختار عامل اتصال‌دهندهٔ یاخته‌های پوششی به یکدیگر مشاهده می‌شوند.

پاسخ ۳ گزینه ۳

با توجه به متن کتاب درسی، گوارش شیمیایی پروتئین‌ها به عنوان مادهٔ نیتروژن‌دار در معده آغاز می‌شود.

در ساختار غشای یاخته فسفولیپید بیشترین ماده است *(نه پروتئین)* سایر موارد دربارهٔ پروتئین صحیح است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱) در مورد تمام مواد آلی اصلی، گزینهٔ (۲) در مورد هر ماده و آنزیم تجزیه‌کنندهٔ آن و گزینهٔ (۴) هم در مورد مواد سازندهٔ غشای پایه صحیح است.

تست ۱۱ **یاخته‌های پوششی سطحی مخاط معده ..... یاخته‌های غده‌های معده، در ..... نقش دارند.** (قلم‌چی)

۱) همانند بسیاری از - تولید مادهٔ مخاطی فراوان
۲) همانند برخی از - تولید کلریدریک اسید
۳) برخلاف - قلیایی کردن لایهٔ ژله‌ای حفاظتی
۴) برخلاف - جذب ویتامین B_{12}

پاسخ ۳ B

یاخته‌های پوششی سطحی مخاط معده با ترشح بیکربنات باعث قلیایی شدن لایهٔ ژله‌ای حفاظتی آن می‌شوند. این ویژگی در سایر یاخته‌ها مشاهده نمی‌شود.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): از بین یاخته‌های غدد معده، فقط یک نوع از آن‌ها می‌توانند مادهٔ مخاطی ترشح کنند. / گزینهٔ (۲): یاخته‌های پوششی سطحی، نمی‌توانند کلریدریک اسید ترشح کنند. / گزینهٔ (۴): این یاخته‌ها، توانایی اثرگذاری بر جذب ویتامین B_{12} را ندارند.

تست ۱۲ **چند مورد عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «یاخته‌ای در غدد معده که کم‌کاری آن سبب ..... می‌شود، امکان ندارد که .....»**

الف) عدم قلیایی شدن مادهٔ مخاطی - به تولید پروتئازهای غیرفعال بپردازد.
ب) کاهش فعال شدن پپسینوژن - به تولید لایهٔ ژله‌ای چسبناک بپردازد.
ج) کاهش سد حفاظتی در مقابل اثر اسید و آنزیم - به تولید بیکربنات بپردازد.
د) افزایش تخریب ویتامین B_{12} - در تجزیهٔ مناسب پروتئین‌های غذا نقش داشته باشد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ C

موارد (ب) و (ج) صحیح است.

نکته‌های تستی الف) نادرست است. اساساً هیچ‌یک از یاخته‌های **غدهٔ معده** بیکربنات ترشح نمی‌کنند و در قلیایی شدن مادهٔ مخاطی نقشی ندارند (*توجه به صورت سؤال*). / ب) درست است. یاخته‌های **کناری** با ترشح اسید در فعال شدن پپسینوژن نقش دارند که این یاخته‌ها مادهٔ مخاطی تولید نمی‌کنند و در تولید لایهٔ ژله‌ای چسبناک نقشی ندارند. / ج) درست است. یاخته‌های ترشح‌کنندهٔ مادهٔ مخاطی غدد معده، بیکربنات تولید نمی‌کنند (*طبق متن کتاب درسی که تنها مرجع ما به حساب می‌آید، بیکربنات با قلیایی کردن مادهٔ مخاطی، آن را به صورت سد محکم در مقابل اسید و آنزیم درمی‌آورد*). / د) نادرست است. منظور یاخته‌های کناری است که در تجزیهٔ پروتئین‌های غذا به واسطهٔ ترشح اسید معده و تأثیر در سیستم فعال‌سازی پروتئاز معده نقش دارند.

ریفلاکس (برگشت اسید معده به مری)

در صورتی که ماهیچهٔ **حلقوی بندارهٔ انتهای مری** به اندازهٔ **کافی** منقبض و بسته نباشد، فرد ممکن است دچار برگشت **شیرهٔ معده** به مری شود که مخصوصاً ورود **اسید** آن از معده به مری اگر تکرار شود، **به تدریج** در اثر عمل شیرهٔ معده، به **مخاط مری** آسیب می‌رساند که می‌تواند خطرناک باشد. چون این مخاط به اندازهٔ مخاط معده ضخیم و محافظ نیست. به این برگشت شیرهٔ معده به مری، **ریفلاکس** می‌گویند.

نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

۱ اسفنکتر انتهای مری، عملکرد حفاظتی مهمی برای **مخاط** مری و عدم برگشت محتویات معده به مری دارد. دقت کنید که در ریفلاکس، این بنداره کاملاً باز نمی‌باشد و استراحت ندارد. به متن کتاب دقت کنید که گفته «**انقباض آن به اندازهٔ کافی نیست**».

۲ **سیستم حفاظتی دفاعی دیوارهٔ داخل مری به اندازهٔ معده و رودهٔ باریک زیاد نمی‌باشد**، به همین دلیل ریفلاکس و اسید می‌تواند سبب آسیب آن شود. (*باز هم دقت کنید که جدار داخلی مری نیز سیستم حفاظتی و مادهٔ مخاطی دارد ولی نه به اندازهٔ معده و روده!*)

۳ سیگار کشیدن، مصرف نوشابه‌های الکلی، رژیم غذایی نامناسب و استفادهٔ بیش از حد از غذاهای آماده به همراه تنش و استرس و اضطراب از علت‌های ریفلاکس یا برگشت اسید معده می‌باشد. (*لطفاً ریفلاکس را با استفراغ که کل کیموس معده به مری برمی‌گردد و بندارهٔ انتهای مری به استراحت درمی‌آید، اشتباه نگیرید!*)

۴ در فصل ۳ همین کتاب، نکات عطسه و سرفه را خواهید خواند. فعلاً به جدول زیر دقت کنید:

مکانیسم	زبان بزرگ	زبان کوچک	اپی‌گلوت (برچاکنای)	راه انتقال
بلع	**بالا** می‌رود	**بالا** می‌رود	**پایین** می‌آید	از دهان به **معده**
عطسه	**پایین** می‌آید	**پایین** می‌آید	**بالا** می‌باشد	هوای پرفشار از شش به دهان و بینی برای خروج می‌رود.
سرفه	**پایین** می‌آید	**بالا** می‌رود	**بالا** می‌باشد	هوای پرفشار از شش به دهان می‌رود.

تست ۱۳ **کدام عبارت در ارتباط با دستگاه گوارش انسان صحیح است؟**

۱) سیگار کشیدن برخلاف تنش و اضطراب، سبب شل شدن بندارهٔ انتهای مری می‌شود.
۲) مری برخلاف معده و دوازدهه، دیواره‌ای فاقد حفاظت در مقابل اسید و آنزیم دارد.
۳) نوعی مادهٔ معدنی درون کیموس، در ریفلاکس سبب آسیب تدریجی به بخش سنگ‌فرشی مری می‌شود.
۴) ریفلاکس در اثر کاهش تعداد حرکات کرمی مری صورت می‌گیرد.

پاسخ ۳ B

منظور اسید معده یا HCl است که به لایهٔ سنگ‌فرشی درون مخاط مری آسیب می‌رساند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): سیگار کشیدن **همانند** تنش و اضطراب موجب شل شدن بندارهٔ انتهای مری می‌شود. / گزینهٔ (۲): دیوارهٔ مری هم حفاظت دارد ولی میزان و قدرت حفاظت آن **کمتر** از لایهٔ محافظ معده است. / گزینهٔ (۴): ریفلاکس در اثر شل شدن بندارهٔ انتهای مری صورت می‌گیرد و ربطی به تعداد حرکات کرمی مری ندارد.

گوارش در رودهٔ باریک

کیموس معده که طی گوارش مقدماتی در **معده** تشکیل می‌شود، **به تدریج** از دریچهٔ پیلور وارد **دوازدهه** در ابتدای رودهٔ باریک (*در سمت راست حفرهٔ شکم*) می‌شود، درون رودهٔ باریک و به ویژه در دوازدهه (*ابتدای رودهٔ باریک*) با حرکت‌های **متنوع** رودهٔ باریک، هم مراحل **پایانی** گوارش **مکانیکی** صورت گرفته و هم با مخلوط کردن کیموس با شیرهٔ روده، گوارش شیمیایی آن را آسان‌تر و نهایی می‌کند. در حقیقت حرکات روده، سبب پیش بردن کیموس در روده و گستراندن آن در سراسر **مخاط** رودهٔ می‌شود تا تحت تأثیر **صفرا**، شیرهٔ **روده** و شیرهٔ **لوزالمعده**، گوارش **شیمیایی** نهایی کیموس انجام شود. البته دقت کنید که محل پایان گوارش **مکانیکی** غذا نیز در رودهٔ باریک می‌باشد.

توجه! لازم به ذکر است که رودهٔ باریک آخرین محلی است که آنزیم‌های گوارشی انسان روی غذا اثر گذاشته و گوارش شیمیایی انجام می‌دهند ولی چون انسان، جانوری همه‌چیزخوار است، نیاز به آنزیم **سلولاز** برای تجزیه سلولزهای غذا دارد. انسان مانند اغلب جانوران قادر به تولید این آنزیم نمی‌باشد ولی در رودهٔ بزرگ ما، میکروب‌هایی زندگی می‌کنند که با ترشح سلولاز، سبب تجزیه سلولز غذا به گلوکز می‌شوند. البته با اینکه خارج از کتاب درسی است ولی جالب است بدانید که این گلوکزها در رودهٔ بزرگ جذب بدن انسان نمی‌شوند بلکه منبع انرژی همان باکتری (*اشرشیاکلی*) می‌باشد ولی به جای این لطف ما، آن‌ها نیز برای ما ویتامین B و K می‌سازند و به بدن انسان می‌رسانند.

نکته **گوارش نهایی مواد در لولهٔ گوارش تحت تأثیر عوامل مکانیکی** (*حرکات رودهٔ باریک*) **و عوامل شیمیایی** (*شیرهٔ رودهٔ باریک*) **می‌باشد که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم:**

الف) حرکت‌های رودهٔ باریک (کمک به گوارش مکانیکی)

قبلاً خواندیم که حرکت **کرمی‌شکل** و حرکت **قطعه‌قطعه کننده** در لولهٔ گوارش برای کمک به گوارش غذا وجود دارد. این حرکات، علاوه بر گوارش مکانیکی و جلو بردن کیموس در طول روده، باعث افزایش تماس کیموس با شیره‌های لولهٔ گوارش و یاخته‌های پوششی **مخاط** روده شده و **کیموس را در سراسر مخاط روده** گسترش می‌دهد.

نکته مهم حرکات قطعه‌قطعه کنندهٔ رودهٔ باریک در گوارش مکانیکی نهایی غذا نقش **مستقیم** داشته و همان‌طور که ابتدای این گفتار دیدید غذا (*کیموس*) را ریز و ریزتر می‌کند. این حرکات در گوارش شیمیایی نقش **کمکی** دارند چون سبب افزایش سطح تماس کیموس با شیرهٔ روده می‌شوند. لازم به یادآوری است که حرکات **کرمی** علاوه بر جلو بردن با برخورد دادن غذا به بندارهٔ بسته سبب مخلوط کردن کیموس با شیرهٔ گوارشی می‌شوند ولی حرکات قطعه‌قطعه کننده در مسیر حرکت و انقباض به‌طور **مستقیم** سبب ریزتر کردن ذرات غذایی با ایجاد حلقه‌های انقباضی در وسط کیموس می‌شوند.

ب) عوامل مؤثر در گوارش شیمیایی کیموس موجود در رودهٔ باریک

۱) شیرهٔ رودهٔ باریک

در لایهٔ داخلی مخاط رودهٔ باریک یاخته‌های پوششی **استوانه‌ای ساده** با فعالیت‌های **ترشحی** وجود دارند که علاوه بر ترشح مادهٔ مخاطی موسین‌دار، آب و یون‌های مختلف **از جمله بیکربنات** نیز ترشح می‌کنند. گروهی از این یاخته‌های پوششی، قدرت **ساخت** و ترشح آنزیم‌های گوارشی برای تجزیهٔ نهایی موادی مثل پروتئین نیز دارند.

توجه! در ادامه می‌خوانیم که آنزیم‌های خارج شده از یاخته‌های پوششی رودهٔ باریک، گوارش **نهایی** قندها و پروتئین‌ها برای تولید مونوساکاریدها و آمینواسیدها را بر عهده دارند. (*البته کتاب شما در مورد تجزیه قندهای آن صریحاً اعلام نظر نکرده است.*)

تست ۱۴ چند مورد جملهٔ زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«یاخته‌های پوششی مخاط رودهٔ باریک، ..... می‌توانند ..... ترشح کنند.»

الف) برخلاف یاخته‌های غدد بزاقی و همانند یاخته‌های پوششی مخاط معده - آب

ب) همانند یاخته‌های کناری غدد معده و برخلاف یاخته‌های غدد بزاقی - آنزیم‌های گوارشی

ج) همانند یاخته‌های پوششی سطحی مخاط معده و برخلاف یاخته‌های غدد بزاقی - یون‌هایی را

د) برخلاف گروهی از یاخته‌های غدد معده و همانند یاخته‌های غدد مخاط مری - مادهٔ مخاطی

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۱ گزینهٔ C

فقط مورد (د) صحیح است.

تله‌های تستی الف) غدد بزاقی **نیز** آب ترشح می‌کنند. / ب) غده‌های بزاقی **نیز** آنزیم گوارشی (*آنزیم آمیلاز*) ترشح می‌کنند. / ج) غدد بزاقی **نیز** یون‌هایی را ترشح می‌کنند. / د) در معده گروهی از یاخته‌های غدد معده، مادهٔ مخاطی ترشح می‌کنند. بنابراین، گروهی از آن‌ها این کار را انجام نمی‌دهند. غده‌های مخاط مری، مادهٔ مخاطی ترشح می‌کنند تا حرکت غذا آسان‌تر شود.

● ۲) صفرا

صفرا ماده‌ای **قلیایی، دفعی و ترشحی** می‌باشد که **فاقد آنزیم** بوده (*به شدت مهم در بررسی تست‌ها*) و توسط یاخته‌های **کبد** (*جگر*) ساخته می‌شود. این ماده از **نمک‌های صفراوی**، **بیکربنات**، **کلسترول** و **فسفولیپید** تشکیل شده است. این مواد که به‌طور کلی **صفرا** نامیده می‌شوند، پس از تولید در کبد، از راه مجاری متعددی ابتدا همگی وارد **یک مجرای مشترک** شده و سپس به کیسه‌ای در **زیر** کبد به نام کیسهٔ صفرا وارد شده و **ذخیره** می‌شوند.

کار اصلی صفرا

کمی پس از ورود کیموس معده به دوازدهه، صفرا نیز وارد دوازدهه شده که کار **اصلی** آن **کمک به گوارش چربی‌ها** برای عمل آنزیم **لیپاز** لوزالمعده و ورود چربی‌ها به محیط داخلی بدن (*لنف*) می‌باشد. در ادامهٔ همین گفتار در مورد این عمل بیشتر صحبت می‌کنیم.

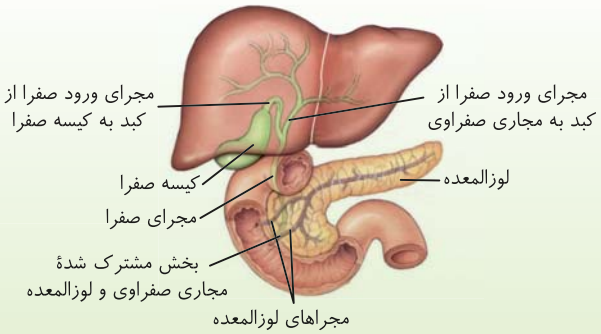
کارهای کمکی صفرا

بیکربنات صفرا در خنثی کردن کیموس **اسیدی** معده نقش دارد و از طرفی دفع مواد اضافی بدن مثل **کلسترول** اضافی نیز با صفرا صورت می‌گیرد.

نکتهٔ مهم برای بادقت‌ها

۱) با توجه به شکل مقابل می‌بینید که صفرای ساخته شده در کبد توسط مجاری صفراوی آن با هم یکی شده و به کیسهٔ صفرا می‌رود. سپس کیسه صفرا از طریق مجرای خود که از **پشت** دوازدهه پایین آمده است با یکی از مجراهای **لوزالمعده** مشترک شده و با هم به دوازدهه در ابتدای رودهٔ باریک وارد می‌شوند.

۲) با توجه به شکل روبه‌رو، لوزالمعده و دوازدهه کاملاً در شکم، در سطحی پایین‌تر از کیسه صفرا و کبد واقع شده‌اند.



سنگ کیسه صفرا

در برخی مواقع اگر در بدن ترکیبات صفرا زیاد شوند، ممکن است این **ترکیبات اضافی** در **کیسه صفرا** رسوب کرده و سنگ‌هایی را در مجرای **خروج** صفرا ایجاد کنند که سبب درد می‌شوند.


«سنگ کیسه صفرا»

نکته
رژیم غذایی پرچرب و دارای کلسترول بالا در ایجاد سنگ کیسه صفرا نقش دارد.

تست ۱۵ چند مورد از عبارت‌های زیر نادرست می‌باشند؟

الف) صفرا یک مادهٔ قلیایی حاوی مواد معدنی و آلی است.
ب) مواد موجود در صفرا عمل آب‌کافت نوعی آنزیم را در دوازدهه تسهیل می‌کند.
ج) صفرا در گوارش و ورود چربی‌ها به محیط داخلی نقش ایفا می‌کند.
د) در هنگام ایجاد سنگ کیسه صفرا، تولید مواد صفراوی توسط کبد زیاد می‌شود.

۱) ۳ مورد ۲) ۴ مورد ۳) ۱ مورد ۴) ۲ مورد

پاسخ ۳ (B) فقط عبارت (د) نادرست است.

نکته‌های تستی الف) درست است. صفرا به خاطر داشتن بیکربنات ماهیت قلیایی و معدنی پیدا می‌کند و در عین حال به خاطر داشتن کلسترول و فسفولیپید مواد آلی را نیز در ساختار خود دارد. / ب) درست است. مواد موجود در صفرا به کمک حرکات روده منجر به تبدیل چربی به قطعات کوچک می‌شوند که این قطعات کوچک می‌توانند تحت تأثیر آنزیم **لیپاز** لوزالمعده قرار گیرند (*این مکانیسم به عملکرد هیدرولیز این آنزیم کمک می‌کند.*) / ج) درست است. صفرا به گوارش چربی‌ها توسط لیپاز لوزالمعده کمک می‌کند و سبب تسهیل در جذب آن‌ها می‌شود. / د) نادرست است. در هنگام ایجاد سنگ میزان **تولید** محتویات صفرا توسط کبد تغییری نمی‌کند بلکه این محصولات به دلیل انسداد مجرای خروجی آن‌ها در کیسه صفرا **انباشته** می‌شوند.

● ۳) شیرهٔ لوزالمعده (پانکراس)

لوزالمعده غده‌ای پایین‌تر از **معده** می‌باشد که هم بخش **درون‌ریز** هورمون‌ساز دارد (*انسولین و گلوکاگون دو هورمون معروف آن هستند*)، که مواد خود را به **خون** می‌ریزند و هم دارای بخش غده‌ای برون‌ریز می‌باشد که انواع مواد از قبیل **آنزیم‌ها** و **بیکربنات** را از راه **مجاری مشخص** به **دوازدهه** وارد می‌کنند.

نکات مهم در تست‌ها

۱) لوزالمعده دارای آنزیم‌هایی برای هیدرولیز هر چهار نوع مادهٔ آلی اصلی یعنی مواد قندی، لیپیدی، پروتئینی و نوکلئیک‌اسیدی می‌باشد که همگی در رودهٔ باریک به فعالیت می‌پردازند.

۲) لوزالمعده آنزیم‌های لازم برای گوارش شیمیایی انواع مواد و تبدیل **اغلب** پلیمرها (*بسپارها*) به مونومرها (*تک‌پاره‌ها یا واحد سازنده*) را دارد.

۳) **پروتئازهای** لوزالمعده **قوی و متنوع** هستند ولی در لوزالمعده **غیرفعال**‌اند تا آنزیم‌ها و جدار خود این اندام را تجزیه نکنند ولی پس از ورود به دوازدهه، در محیط آنجا **فعال** شده تا باعث تجزیهٔ پروتئین‌های درون رودهٔ باریک و پپتیدهای کوچک‌تر وارد شده توسط کیموس معده شوند تا آن‌ها را با هیدرولیز نهایی به **آمینواسید** تبدیل کنند تا آمادهٔ جذب شوند. (*در ادامه به بررسی تجزیه پروتئین‌ها می‌پردازیم.*)

۴) لیپازها، نوکلئازها و کربوهیدرازهای لوزالمعده که به ترتیب گوارش شیمیایی چربی‌ها، نوکلئیک اسیدها و کربوهیدرات‌ها را بر عهده دارند، به صورت **فعال** از لوزالمعده به دوازدهه ترشح می‌شوند و در رودهٔ باریک شروع به **فعالیت** می‌کنند.

۵) **بیکربنات** مترشحه از لوزالمعده، باعث **خنثی** شدن اثر اسید معده در رودهٔ باریک می‌شود تا کیموس اسیدی معده، دیوارهٔ رودهٔ باریک را تخریب نکند و آنزیم‌ها نیز در این محیطِ خنثی شده، به حداکثر فعالیت خود بپردازند.

۶) در گفتار بعد می‌خوانید که لوزالمعده تحت تأثیر هورمون **سکرتین** خون، مقدار **زیادی** بیکربنات به داخل **دوازدهه** ترشح می‌کند. بیکربنات‌ها اثر اسیدی کیموس معده را خنثی کرده تا دیوارهٔ دوازدهه از اثر **اسید** معده حفظ شده و محیط مناسبی برای فعالیت آنزیم‌های **لوزالمعده** فراهم شود (*پس نوعی هورمون مترشحه از لولهٔ گوارش روی غدد گوارشی تأثیر دارد*).

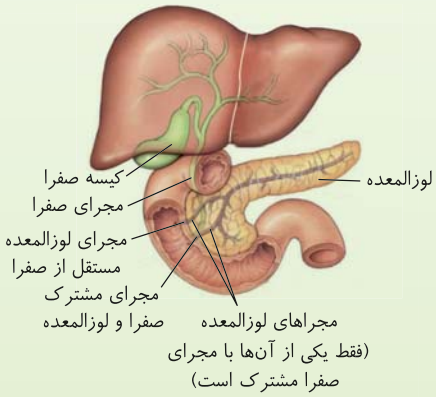
۷) در لولهٔ گوارش، **بیکربنات** در ترشحات صفرا، شیرهٔ لوزالمعده و ترشحات یاخته‌های پوششی **سطحی** حفرات معده و یاخته پوششی مخاط رودهٔ باریک وجود دارد. (*غدد معده برخلاف حفرات معده به تولید بیکربنات نمی‌پردازند چون غدد معده اسیدساز و نمی‌خواد اثر خودشو خنثی کنه!*)

۸) لیپازهای لوزالمعده قوی‌ترین آنزیم‌های مؤثر بر تجزیهٔ لیپید هستند که توسط لوزالمعده تولید و در رودهٔ باریک فعالیت می‌کنند تا اسید چرب، گلیسرول و... ایجاد کنند.

۹) لوزالمعده، نوکلئاز نیز دارد که سبب تبدیل نوکلئیک اسیدها (*دنا و رنا*) به نوکلئوتید می‌شود.

۱۰) با توجه به شکل مقابل، کیسه صفرا و بخش **برون**‌ریز لوزالمعده از راه مجاری، مواد خود را به **دوازدهه** در ابتدای رودهٔ باریک می‌ریزند تا به گوارش نهایی کیموس کمک کنند. دقت کنید که مجرای خارج شده از کیسهٔ صفرا در **انتها** با یکی از مجاری لوزالمعده **مشترک** شده و هر دو شیرهٔ خود را تواماً وارد دوازدهه در ابتدای رودهٔ باریک می‌کنند ولی لوزالمعده علاوه بر این مجرای خاص، مجرای مستقل دیگری نیز دارد که بدون مشترک شدن با مجرای صفرا، وارد دوازدهه شود.

۱۱) آنزیم‌های درون رودهٔ باریک سه منشأ می‌توانند داشته باشند: ۱- از یاخته‌های **پوششی** روده، ۲- از بخش برون‌ریز **لوزالمعده** و ۳- آنزیم‌هایی که همراه کیموس از **معده** وارد رودهٔ باریک شده‌اند.



تست ۱۶ **هر آنزیم گوارشی لوزالمعده که ابتدا در ..... فعال می‌شود، قطعاً در ..... نقش دارد.**

۱) دوازدهه - هیدرولیز چربی‌ها
۲) محل تولید خود - هیدرولیز لیپاز
۳) دوازدهه - خنثی کردن اسید معده
۴) محل تولید خود - هیدرولیز مواد غذایی دوازدهه

پاسخ ۴ (A)

پروتئازهای پانکراس در دوازدهه و باقی آنزیم‌های آن در همان پانکراس **فعال** می‌شوند ولی تمام آنزیم‌های این اندام در هیدرولیز مواد غذایی دوازدهه نقش دارند و در روده به فعالیت می‌پردازند (*محل فعال شدن آن‌ها با محل فعالیت آن‌ها متفاوت است «بجز پروتئاز»*) (درستی گزینهٔ ۴).

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۳): نادرست است. پروتئازها در تجزیهٔ پلی‌پپتیدها مؤثرند و در هیدرولیز چربی‌ها یا خنثی کردن اسید کیموس نقش ندارند. / گزینهٔ (۲): نادرست است. آنزیم‌های مختلفی درون خود لوزالمعده فعال می‌شوند (*مانند آمیلاز و لیپاز*) اما لیپاز، خود، یک **پروتئین** است و باید توسط آنزیم‌های فعال شده در دوازدهه (*پروتئازها*) هیدرولیز گردد.

تست ۱۷ **هر آنزیم گوارشی ترشح شده توسط ..... ، قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) لوزالمعده - درون رودهٔ باریک فعال می‌شود.
۲) کبد - مستقیماً به بخش ابتدایی رودهٔ باریک وارد می‌شود.
۳) کیسهٔ صفرا - توانایی هیدرولیز نوعی مولکول زیستی را دارد.
۴) معده - توسط یاخته‌های اصلی غده‌های دیوارهٔ آن ساخته می‌شود.

پاسخ ۴ (B)

یاخته‌های اصلی غده‌های معده، همهٔ آنزیم‌های معده را ترشح می‌کنند.

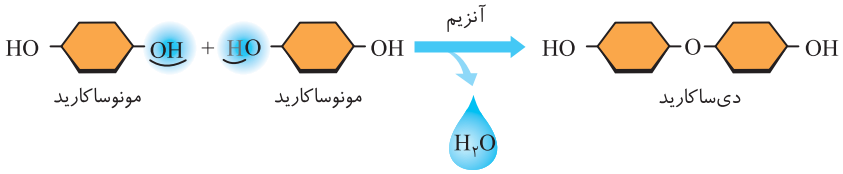
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): تنها پروتئازهای لوزالمعده درون رودهٔ باریک فعال می‌شوند. / گزینه‌های (۲) و (۳): کبد، صفرا را می‌سازد **صفرا آنزیم ندارد** و از راه مجاری صفراوی کبد به یک مجرای مشترک وارد و در کیسهٔ صفرا ذخیره می‌شود. صفرا به دوازدهه می‌ریزد و به گوارش چربی‌ها کمک می‌کند.

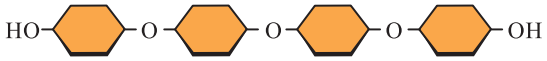
توضیح دو عبارت مهم

قبل از شروع بحث در مورد گوارش شیمیایی غذاها، بهتر است دو واژهٔ **سنتز آبدهی** و **هیدرولیز** (*آب‌کافت*) را بررسی کنیم:

● الف) سنتز آبدهی

در فرایندهای زیستی، تک‌پاره‌ها (*مونومرها*) می‌توانند در واکنش‌هایی به نام سنتز آبدهی، همراه با تولید آب و به کمک آنزیم، به دی‌مر (*مثلاً دی‌ساکارید*) یا پلی‌مر (*پلی‌مرهای پلی‌ساکاریدی*) تبدیل شوند. در طی این واکنش‌ها مثلاً در کربوهیدرات‌ها، بین هر دو مونوساکاریدِ به هم متصل شده، **یک اتم اکسیژن** وجود دارد که برای تشکیل این پیوند، یک مولکول **آب** نیز تولید می‌شود. در حقیقت از ترکیب OH (*هیدروکسیل*) یک مونوساکارید با H مونوساکارید مجاور یک مولکول آب سنتز می‌شود تا یک پیوند اشتراکی توسط یک اتم اکسیژن برقرار شود.





بخشی از مولکول پلی‌ساکارید

نکته

در سیستم‌های زیستی واکنش‌های **ترکیب مواد** همانند واکنش‌های سنتز آبدهی از نوع **انرژی‌خواه** می‌باشد. این واکنش‌ها به‌طور ویژه‌ای در یاخته‌های **کبد** و **ماهیچه** سبب تشکیل **گلیکوژن** ذخیره‌ای از گلوکزهای اضافی می‌شود. این واکنش‌ها، غالباً با مصرف *ATP* همراه هستند.

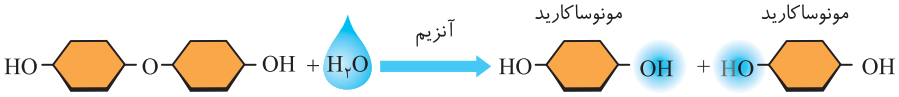
نگاهی به آینده

در سال دوازدهم با فرایندهای همانندسازی، رونویسی و ترجمه آشنا می‌شوید که تقریباً در همهٔ یاخته‌های بدن انجام می‌شوند. هر سه این واکنش‌ها از نوع سنتز آبدهی هستند.

● ب) آب‌کافت (هیدرولیز)

آب‌کافت یا هیدرولیز، واکنشی **انرژی‌زا** است که به کمک **آنزیم‌های گوارشی** (*هیدرولازها*) صورت می‌گیرد. در این واکنش با **مصرف آب**، پیوند اشتراکی بین واحدهای سازنده (*مونومرها*) شکسته شده و آن‌ها را در نهایت از هم جدا می‌کنند. طی هیدرولیز نهایی، پروتئین‌ها به آمینواسیدها و پلی‌ساکاریدها به مونوساکاریدها تبدیل می‌شوند.

شکل زیر نمونه‌ای از هیدرولیز یک دی‌ساکارید به دو مونوساکارید را با مصرف آب نشان می‌دهد.



نکته

در سیستم‌های زیستی، واکنش‌های تفکیک (*هیدرولیز*) یا تجزیه ماده آلی واکنش‌های **انرژی‌زا** می‌باشند که در حقیقت انرژی پیوند بین اتم‌ها یا مولکول‌ها آزاد می‌شود.

گوارش شیمیایی انواع مواد غذایی در لولهٔ گوارش

الف) گوارش کربوهیدرات‌ها

با توجه به اینکه در رژیم غذایی انسان **انواع مختلف کربوهیدرات** وجود دارد، ولی **فقط** مونوساکاریدها قدرت جذب و ورود به یاخته‌های پوششی روده و خون را دارند. کربوهیدرات‌های بزرگ‌تر باید گوارش یابند و به مونوساکارید تبدیل شوند. در ادامه، گوارش آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

● ۱) لاکتوز (قند شیر) ← (برای مطالعهٔ بهتر)

دیساکاریدی است که درون **رودهٔ باریک** و به کمک آنزیم‌های تولید و ترشح شده از یاخته‌های **رودهٔ باریک** (*لاکتاز*) به گلوکز و گالاکتوز مونوساکاریدی هیدرولیز شده تا بتوانند برای جذب وارد یاخته‌های رودهٔ باریک شوند.

● ۲) ساکارز (قند نیشکر)

در فصل ۱ با این قند آشنا شدید که از ترکیب دو مونوساکارید شش‌کربنی به نام گلوکز و فروکتوز ایجاد شده است.

این **دی**ساکارید نیز در **رودهٔ باریک** و توسط آنزیم‌های ترشح شده از یاخته‌های خود رودهٔ باریک (*ساکاراز*) به دو مولکول گلوکز و فروکتوز آب‌کافت (*هیدرولیز*) شده تا جذب یاخته‌های رودهٔ باریک شوند.

● ۳) مالتوز (قند جو) ← (برای مطالعهٔ بهتر)

قند موجود در جوانهٔ **جو و گندم** می‌باشد که با هیدرولیز توسط آنزیم مالتاز یاخته‌های **رودهٔ باریک**، درون رودهٔ باریک با هیدرولیز به دو مولکول گلوکز تبدیل می‌شود.

◀ در کتاب درسی شما فقط می‌تواند از تجزیه ساکارز از شما سؤال کند که در فصل ۱ توضیح داده است.

توجه! در تست‌ها، توجه کنید که خود ماده، مورد بحث است یا آنزیم آن. مثلاً ساکارز و ساکاراز را یکی، فرض نکنید.

● ۴) پلی‌ساکاریدها

الف) نشاسته و گلیکوژن

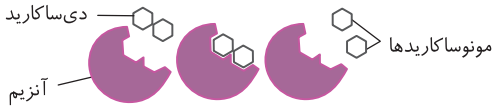
این پلیمرها از تعداد زیادی **گلوکز** به وجود آمده‌اند. نشاسته‌ها توسط آمیلازهای **بزاق و لوزالمعده** ابتدا به دی‌ساکارید **مالتوز** و مولکول‌های درشت‌تری با تعدادی گلوکز تبدیل می‌شوند، سپس آنزیم مالتاز رودهٔ باریک (*برای فهم بهتر کتاب*)، مالتوزها را طی هیدرولیز نهایی و با مصرف آب به گلوکز تبدیل کرده تا جذب یاخته پوششی پرز رودهٔ باریک شوند. اما بر روی گلیکوژن که فقط در غذاهای جانوری وجود دارد، برخلاف نشاسته‌ای که در غذاهای گیاهی است، تا روده، آنزیمی اثر نمی‌کند و در رودهٔ باریک به‌طور کامل گوارش می‌یابد.

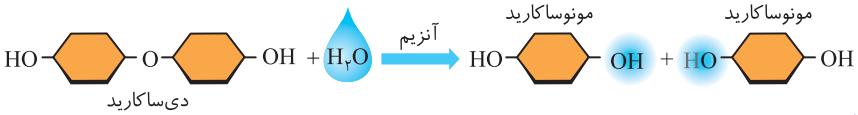
ب) سلولز

در غذاهای **گیاهی** وجود دارد ولی انسان و اغلب **جانوران** آنزیم هیدرولیزکننده (*سلولاز*) آن را **نمی‌سازند**. در رودهٔ بزرگ، **باکتری‌هایی** با قدرت ساخت سلولاز وجود دارد که بخشی سلولز غذای انسان را به گلوکز تبدیل می‌کند.

نکته مهم

گوارش کربوهیدرات‌ها از **دهان** آغاز شده و تا روده ادامه دارد. چون بزاق حاوی آنزیم آمیلاز برای هیدرولیز **نشاسته** بوده ولی در نهایت این آنزیم‌های موجود در رودهٔ باریک هستند که سبب ایجاد مونوساکارید می‌شوند. (*قند نشاسته اولین مولکول زیستی غذایی است که در لولهٔ گوارش انسان تجزیه می‌شود.*)





نگاهی به آینده

۱ گلیکوژن موجود در فضای درون رودهٔ باریک توسط **کربوهیدراز برون‌یاخته‌ای** تجزیه می‌شود و گلوکز حاصل از آن مقداری برای تنفس یاخته‌ای به مصرف یاخته‌ها می‌رسد و مقدار اضافی حاصل از آن می‌تواند دوباره در **کبد و ماهیچه** به صورت گلیکوژن ذخیره شود. در موقع لزوم، **کربوهیدراز درون‌یاخته‌ای** دوباره گلیکوژن‌های ذخیره‌ای را تجزیه یا هیدرولیز می‌کند تا از گلوکز آن‌ها برای تولید ATP استفاده شود (*البته حتماً از فصل قبل یادتونه که قارچ‌ها نیز همانند جانوران توانایی ذخیرهٔ قند به صورت گلیکوژن را دارند*).

۲ گلیکوژن یک پلی‌ساکارید در غذای **جانوری** می‌باشد، پس تجزیهٔ گلیکوژن در بدن انسان و سایر جانوران همه‌چیزخوار یا گوشت‌خوار هم به صورت **برون‌یاخته‌ای** در **رودهٔ باریک** و هم به صورت **درون‌یاخته‌ای** در **کبد و ماهیچه‌ها** صورت می‌گیرد. در جانوران گیاه‌خوار، تجزیهٔ گلیکوژن فقط به صورت **درون**‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد چون غذای گیاهی فاقد گلیکوژن می‌باشد (*تکرار می‌کنم که در جانوران گوشت‌خوار نیز تجزیهٔ گلیکوژن هم به صورت برون‌یاختهای و هم درون‌یاختهای صورت می‌گیرد*).

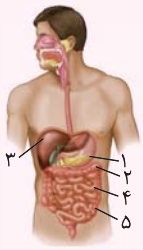
◀ تجزیه درون‌یاخته‌ای گلیکوژن ویژهٔ جانوران و قارچ‌هاست (*آن‌قدر تکرار می‌کنم تا یا ملکه ذهن شما شود و یا به من رأی بدهید!*☺).

نکته مهم

تجزیهٔ سلولز و نشاسته در جانوران گیاه‌خوار یا همه‌چیزخوار فقط به صورت **برون**‌یاخته‌ای در لولهٔ گوارش صورت می‌گیرد، چون این دو پلی‌ساکارید در غذاهای **جانوری** وجود ندارند.

تست ۱۸ (قلم‌چی)

با توجه به شکل مقابل، کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟



«یاخته‌های سازندهٔ بخش ..... یاخته‌های سازندهٔ بخش ..... می‌توانند .....»

۱) ۴، برخلاف - ۱ - در بخش مخاطی به شکل‌های متفاوتی سازمان یابند.

۲) ۳، همانند - ۱ - با تولید نوعی ماده سبب تغییر pH فضای درونی لولهٔ گوارش شوند.

۳) ۴، برخلاف - ۲ - برای انجام فعالیت‌های زیستی خود از شکل رایج انرژی در یاخته استفاده کنند.

۴) ۳، همانند - ۲ - با تولید نوعی آنزیم گوارشی سبب تجزیهٔ هر یک از پلی‌ساکاریدهای مهم در طبیعت شوند.

پاسخ ۲ C

کبد با تولید صفرا (*حاوی بیکربنات*) و معده با تولید کلریدریک اسید سبب تغییر pH فضای درونی لولهٔ گوارش می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): سازمان‌یابی یاخته‌ها به شکل‌های مختلف، در معده و روده صورت می‌گیرد و یاخته‌های مختلف مخاطی، مسئولیت‌های ویژه‌ای دارند. / گزینهٔ (۳): تمام یاخته‌های زندهٔ بدن برای انجام دادن فعالیت‌های زیستی خود، از ATP استفاده می‌کنند. / گزینهٔ (۴): یاخته‌های سازندهٔ رودهٔ بزرگ، نمی‌توانند آنزیم گوارشی ترشح کنند. همچنین در لولهٔ گوارش ما، تجزیهٔ سلولز انجام نمی‌شود.

ب) گوارش پروتئین‌ها

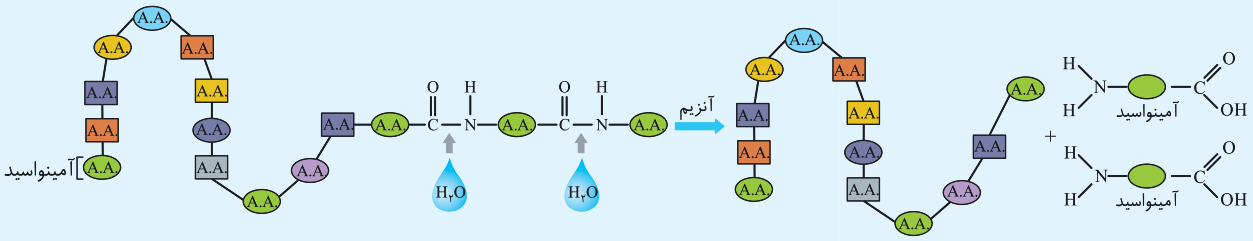
پروتئین‌ها علاوه بر مواد غذایی، در آنزیم‌ها، ترشحات خود لولهٔ گوارش و یاخته‌های مردهٔ کنده شده دیوارهٔ لولهٔ گوارش وجود دارند. گوارش پروتئین‌ها توسط **پپسین‌ها از معده آغاز شده** و تا رودهٔ **باریک** ادامه دارد تا به مونومر (*آمینواسید*) تبدیل شوند.

نکته

آنزیم پپسین، در محیط **اسیدی** معده ($pH=۲$) گوارش پروتئین‌ها را آغاز کرده ولی نمی‌تواند آن‌ها را به آمینواسید تبدیل کند بلکه آن‌ها را به مولکول‌ها یا **پپتیدهای** کوچک‌تر با چند آمینواسید تبدیل می‌کند. سپس پروتئازهای **لوزالمعده** که وارد دوازدهه و فعال شده‌اند به همراه آنزیم‌های یاخته‌های مخاط **رودهٔ باریک**، سبب هیدرولیز نهایی و ایجاد آمینواسید می‌شوند. این آمینواسیدها ضمن فرایند جذب از رودهٔ باریک در نهایت وارد **خون** می‌شوند. (*پپسین در محیط روده قادر به فعالیت نمی‌باشد.*)

نگاهی به آینده

با توجه به شکل زیر مشاهده می‌کنید که بین آمینواسیدهای مجاور هم در یک پروتئین، پیوندهای اشتراکی به نام پپتیدی ($-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH-$) وجود دارد. این پیوندها در رناتن‌ها و با تولید آب ایجاد می‌شوند ولی هیدرولیز آن‌ها در معده و رودهٔ انسان با مصرف آب انجام می‌شود.



ج) گوارش تری‌گلیسریدها

همان‌طور که می‌دانید لیپیدها همگی **آب‌گریز** هستند (*یعنی در آب حل نمی‌شوند*) و شامل انواعی مثل فسفولیپیدها، کلسترول و چربی‌ها می‌باشند. **فراوان‌ترین** لیپیدهای غذا، همان **تری‌گلیسریدها** می‌باشند. دقت کنید که حرکات رودهٔ باریک و صفرا نمی‌توانند چربی‌ها را **هیدرولیز** کنند بلکه فقط به مولکول بزرگ چربی می‌چسبند و آن‌ها را به قطره‌های بسیار ریز تبدیل می‌کنند تا **لیپاز** لوزالمعده آن‌ها را هیدرولیز کند. در حقیقت **بیشتر** گوارش چربی‌ها توسط آنزیم **لیپاز لوزالمعده** و در **دوازدهه** صورت می‌گیرد.

نکته

برای کنکور ۱۴۰۱، دقت کنید که در معده نیز مقداری لیپاز ترشح می‌شود و در حقیقت شروع تجزیهٔ لیپیدها در لولهٔ گوارش از معده آغاز می‌شود ولی بیشترین تجزیهٔ لیپیدها در رودهٔ باریک و توسط لیپاز لوزالمعده و نقش کمکی صفرا و حرکات روده انجام می‌پذیرد. (*نکته یک سال مصرف*)

نگاهی به آینده

۱) موسین گلیکوپروتئینی در سراسر لولهٔ گوارش است که نقش آنزیمی ندارد. از طرفی مواد درون صفرا هم آنزیم ندارد. در سال دوازدهم می‌خوانید که آنزیم‌ها کاتالیزور زیستی با جایگاه فعال هستند که در واکنش‌های انجام‌شدنی جاندار، سبب کاهش انرژی فعال‌سازی و افزایش سرعت واکنش می‌شوند که مواد صفرا و موسین فاقد این نقش‌ها می‌باشند.

۲) در گفتار بعد می‌خوانید که شبکهٔ یاخته‌ای عصبی از مری تا مخرج وجود دارد و سبب تحرک و ترشح لولهٔ گوارش (*نه هر بخش دستگاه گوارش*) می‌شود. پس دهان و حلق اصلاً این شبکه‌های عصبی را ندارند و تمام ترشحات مانند بزاق و غیره آن‌ها تحت کنترل اعصاب خودمختار می‌باشد ولی حرکات آن‌ها چون ماهیچهٔ مخطط دارند تحت کنترل اعصاب پیکری می‌باشد.

۳) در تست‌ها و سؤالات توجه کنید که واژه کیموس و تشکیل آن از **معده** به بعد معنی دارد. یعنی اصلاً در دهان، حلق و مری حق استفاده از واژهٔ کیموس را نداریم (*مگر اینکه در اثر استفراغ بالا آورده باشیم!*).

۴) ویتامین B_{12} یا از غذاهای جانوری که می‌خوریم و یا توسط باکتری‌های رودهٔ بزرگ ما ساخته می‌شود ولی دقت کنید که فقط ویتامین‌های B_{12} غذایی که خورده‌ایم برای جذب توسط فاکتور داخلی معده می‌شود چون این عوامل در رودهٔ باریک جذب می‌شوند. در حالی که فاکتور داخلی در رودهٔ بزرگ برای ویتامین B_{12} حاصل از باکتری‌ها کاربردی ندارد (*فصل ۴*).

۵) ویتامین B_{12} به همراه آهن و فولیک اسید برای ساخت گویچهٔ قرمز مورد نیاز است (*در فصل ۴ به‌طور مفصل می‌خوانید!*).

تست ۱۹ کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«در دستگاه گوارش انسان، طویل‌ترین اندام لولهٔ گوارش، برخلاف اندام ..... دارای توانایی ..... است.»

۱) کیسه‌ای‌شکل لولهٔ گوارش - تولید آنزیم‌هایی برای گوارش پروتئین‌ها
۲) سازندهٔ آنزیم‌های پروتئاز قوی و متنوع - گوارش مکانیکی کیموس
۳) آغازگر گوارش شیمیایی کربوهیدرات‌ها - ساخت آنزیم آمیلاز
۴) سازندهٔ ترکیبات گوارشی فاقد آنزیم - ترشح بیکربنات

پاسخ ۲ B

رودهٔ باریک (*طویل‌ترین اندام لولهٔ گوارش*) به علت داشتن حرکات، دارای توانایی گوارش مکانیکی کیموس است، اما لوزالمعده، فقط در گوارش شیمیایی مواد غذایی نقش دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): یاخته‌های اصلی معده، آنزیم‌های پروتئاز را همانند یاخته‌های پوششی رودهٔ باریک می‌سازند و ترشح می‌کنند. / گزینهٔ (۳): آنزیم آمیلاز توسط غدد بزاقی دهان ساخته می‌شود. به همین دلیل است که در دهان، آغاز گوارش شیمیایی کربوهیدرات‌ها را داریم. / گزینهٔ (۴): صفرا (*مجموعه ترکیبات بدون آنزیم*) و شیرهٔ روده، هر دو دارای بیکربنات هستند.

تست ۲۰ **در هر بخش از لولهٔ گوارش انسان که ..... قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) محل انبار غذای بلعیده شده است - اختلال در انقباض بندارهٔ ابتدایی آن، سبب آسیب به مخاط بخش قبلی می‌شود.

۲) یاخته‌های پوششی تک لایهٔ مخاط آن در ترشح موسین و بیکربنات نقش دارند - انواع بافت‌ها مشاهده می‌شود.

۳) سه لایهٔ ماهیچه‌ای حضور دارد - با ایجاد هر حرکت کرمی، بندارهٔ انتهایی آن باز می‌گردد.

۴) بنداره وجود دارد - گوارش شیمیایی پروتئین‌ها در مجرای آن انجام می‌شود.

پاسخ ۲ C

درون معده و رودهٔ باریک، یاخته‌های پوششی استوانه‌ای تک‌لایه مخاط در ترشح موسین و بیکربنات نقش دارند. در دیوارهٔ معده و روده انواعی از بافت‌ها وجود دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): محل انبار غذای بلعیده شده، معده است. اگر انقباض بندارهٔ **انتهای مری** (*نه ابتدای معده*) کافی نباشد، فرد دچار برگشت اسید می‌شود. / گزینهٔ (۳): یاخته‌های لایهٔ ماهیچه‌ای دیوارهٔ معده در سه جهت طولی، حلقوی و مورب قرار گرفته‌اند. گوارش غذا در معده در اثر شیرهٔ معده و حرکات آن انجام می‌شود. / گزینهٔ (۴): برای مری که بنداره دارد، صادق نیست.

تست ۲۱ **کدام گزینه دربارهٔ «هر آنزیم آغازگر گوارش کربوهیدرات‌های موجود در مواد غذایی» در یک انسان سالم، صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) تولید آن همواره توسط گروهی از یاخته‌های موجود در اندام‌های مرتبط با لولهٔ گوارش صورت می‌گیرد.

۲) توسط اندامی تولید می‌شود که به موازات بخش ابتدایی رودهٔ باریک قرار دارد.

۳) در تجزیهٔ کامل فراوان‌ترین لیپیدهای رژیم غذایی نقش دارد.

۴) به صورت فعال به محیطی با pH اسیدی آزاد می‌شود.

پاسخ ۱ B

با توجه به اطلاعات کتاب درسی، آنزیم آمیلاز بزاق آغازگر گوارش کربوهیدرات‌ها از نوع نشاسته (*گیاهی*) است که توسط غدد بزاقی ترشح می‌شوند. این غده‌ها، به عنوان اندام‌های مرتبط با لولهٔ گوارش شناخته می‌شوند.

می‌دانید که غده‌های بزاقی، نه در نزدیکی رودهٔ باریک قرار دارند (رد گزینهٔ (۲))، نه نقشی در تجزیهٔ لیپیدها دارند (رد گزینهٔ (۳)) و نه به معده (*محیط اسیدی*) آزاد می‌شوند (رد گزینهٔ (۴)).

درسنامه

گفتار ۲ جذب مواد و تنظیم فعالیت دستگاه گوارش

جذب مواد در لولهٔ گوارش

در این گفتار می‌خواهیم به جذب مواد غذایی و مکانیسم‌های آن بپردازیم. ابتدا باید با واژه‌ای به نام «محیط داخلی بدن» آشنا شوید که مجموعهٔ فضای بین‌یاخته‌ای، خون و لنف است ولی یادتان باشد که **یاخته** قسمتی از محیط داخلی نمی‌باشد ولی در بخش خون یا لنف تعدادی یاخته دیده می‌شود.

واحدهای سازندهٔ مواد مغذی پس از گوارش یافتن و تبدیل شدن به مواد قابل جذب (*مونوساکارید، اسید چرب، آمینواسید و...*) ابتدا باید از فضای درون لولهٔ گوارش وارد **یاخته‌های** بافت **پوششی** دیواره لولهٔ گوارش شده و پس از آن وارد محیط داخلی بدن (*خون، لنف و آب میان‌بافتی*) بشوند. به ورود مواد غذایی به **محیط داخلی بدن** که پس از یاخته‌های پوششی لولهٔ گوارش **آغاز** می‌شود، **جذب** می‌گویند تا پس از آن به سایر یاخته‌های بافت‌های دیگر برسند. دقت کنید که اولین بخشی از محیط داخلی که مواد جذب شده به آن وارد می‌شود، فضای بین‌یاخته‌ای است و سپس برحسب نوع ماده در ادامه وارد خون یا لنف می‌شود.

نکته

در دهان و معدهٔ انسان، مقدار **اندکی** جذب وجود دارد ولی جذب اصلی مواد غذایی در **رودهٔ باریک** صورت می‌گیرد.

جذب مواد در رودهٔ باریک

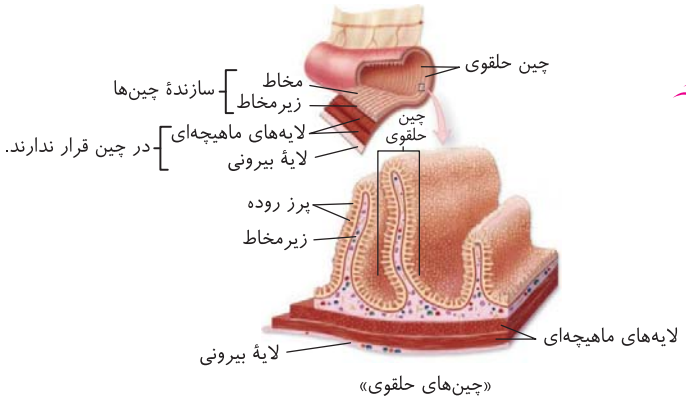
مواد غذایی پس از گوارش **برون‌یاخته‌ای** (*برون*) نهایی که در فضای درون رودهٔ باریک انجام شده است، مولکول‌های کوچک گوناگونی از قبیل مونوساکارید، آمینواسید، نوکلئوتید، اسید چرب، گلیسرول و... ایجاد می‌کنند که برای جذب یا ورود به محیط داخلی بدن، باید ابتدا از غشای یاخته‌های **پوششی استوانه‌ای ساده** دیوارهٔ روده عبور کنند و سپس ابتدا با ورود به **آب میان‌بافتی**، وارد محیط داخلی شوند. این مولکول‌ها در ادامه می‌توانند وارد خون یا لنف نیز بشوند.

بررسی چین‌ها، پرزها و ریزپرزهای رودهٔ باریک

● الف) چین‌های رودهٔ باریک

برآمدگی‌های **حلقوی** دائمی در سطح **درونی** رودهٔ باریک می‌باشند. این چین‌ها که برخلاف چین‌های معده مقدارشان با مقدار غذای درون روده تغییر نمی‌کند، به دنبال یکدیگر قرار گرفته‌اند و سطح جذب مواد در این قسمت را افزایش می‌دهند.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید به‌جز لایه **بیرونی** و لایه‌های **ماهیچه‌ای** طولی و حلقوی، سایر بخش‌های رودهٔ باریک از اجزای درون چین‌های این بخش می‌باشند.



«چین‌های حلقوی»

نکته

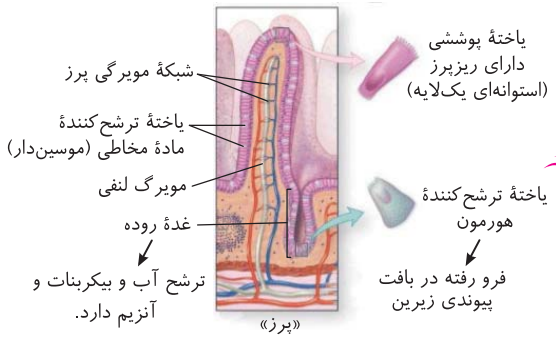
در حقیقت، هر چین‌خوردگی حلقوی‌شکل رودهٔ باریک شامل لایه‌های **مخاطی** و **زیرمخاطی** با همهٔ موارد درون آن می‌باشد. در چین روده، بافت پوششی استوانه‌ای تک‌لایه‌ای پرزها و غشای آن‌ها (*ریزپرزها*)، غشای پایه، بافت پیوندی سست، رگ‌های خونی، لنفی، شبکهٔ یاخته‌ای عصبی زیرمخاط، یاختهٔ ترشح‌کنندهٔ هورمون (*سکرتین*) و غده‌های روده وجود دارد.

نکته

لایه‌های ماهیچه‌ای حلقوی، طولی و لایهٔ پیوندی بیرونی به ترتیب به خارج چین‌های رودهٔ باریک متصلند. یادتون باشه که در چین‌های معده، هر چهار لایه لولهٔ گوارش وجود داشت ولی چین‌های رودهٔ باریک فقط حاوی دو لایه داخلی یعنی مخاط و زیرمخاط هستند.

● ب) پرز رودهٔ باریک

در سطح درونی روی هر چین‌خوردگی رودهٔ باریک، برآمدگی‌های انگشتانه‌ای **فراوانی** به نام **پرز** وجود دارد. هر پرز از مخاط روده شامل یاخته‌های پوششی استوانه‌ای یک‌لایه و بافت پیوندی سست می‌باشد که در محور آن‌ها، مویرگ خونی و لنفی تشکیل شده است. یعنی پرز فقط **لایه مخاطی** رودهٔ باریک به همراه رگ‌ها را دارد.



«پرز»

نکته

در سطح تحتانی پرزهای برآمده، غدد روده‌ای مشاهده می‌شود که در بافت پیوندی سست مخاط فرو رفته‌اند. این غدد، در گفتار قبل دیدید که در رودهٔ باریک توانایی ترشح آب، بیکربنات، موسین، آنزیم گوارشی و لیزوزیم دارند. از طرفی یاخته‌های پراکنده هورمون سکرتین‌ساز نیز در غدد نزدیک پیلور در دوازدهه وجود دارد که در ادامهٔ همین گفتار بررسی می‌شوند.

- بررسی اجزای پرز رودهٔ باریک
  - **الف)** یاخته‌های پوششی ریزپرزدار
    - ۱) استوانه‌ای ریزپرزدار و جذب‌کنندهٔ مواد غذایی
    - ۲) یاختهٔ ترشح‌کنندهٔ مادهٔ مخاطی **موسین‌دار**
    - ۳) غدد روده‌ای ← مواد ترشحی مثل آب، **بیکربنات** و آنزیم‌ها را وارد مجرای خود و لولهٔ گوارش می‌کنند. غده‌ها در بافت پیوندی سست زیرین مخاط نفوذ کرده‌اند. (*در شکل کتاب مشاهده می‌شود.*)
    - ۴) برخی توانایی ترشح هورمون سکرتین دارند.
  - **ب)** بافت پیوندی سست
    - زیر **غشای پایه** قرار گرفته در سطح تحتانی یاخته‌های پوششی می‌باشد.
    - غدد روده به صورت فرو رفته عمقی در آن جای گرفته است.
  - **ج)** رگ لنفی **بسته** در مرکز هر پرز و رگ‌های خونی باز در محور آن قرار دارد.

● ج) ریزپرز رودهٔ باریک

در سمت **درونی** فضای رودهٔ باریک، **غشای** یاخته‌های **پوششی** پرزها، چین‌خوردگی‌های **میکروسکوپی** زیادی وجود دارد که به آن‌ها **ریزپرز** گفته می‌شود. مجموعهٔ چین‌ها، پرزها و ریزپرزها، سبب می‌شود که سطح درونی رودهٔ باریک که با **کیموس** در تماس است، بسیار گسترده شده و چندین برابر افزایش یابد تا عمل جذب به راحتی صورت گیرد.

نکته

ریزپرزها در حقیقت چین‌های **میکروسکوپی** می‌باشند که از فسفولیپید، پروتئین و کربوهیدرات‌های غشایی یاخته‌های **پوششی** رودهٔ باریک ایجاد شده‌اند ولی آن‌ها را با چین‌های حلقوی ماکروسکوپی روده اشتباه نگیرید! (*در چین میکروسکوپی فقط غشای یاخته وجود دارد.*)

جمع‌بندی: در دیوارهٔ داخلی رودهٔ باریک، **چین‌های حلقوی** (از مخاط و زیرمخاط)، وجود دارند که **روی** این چین‌ها، مجموعه‌ای از انواع **بافت‌ها** به صورت **پرزهای روده** (مخاط)، به **فراوانی** وجود دارند. **غشای** هر یاختهٔ پوششی **پرز روده** به سمت فضای روده که مواد غذایی گوارش یافته وجود دارند، چین‌خوردگی‌های زیاد **میکروسکوپی** به نام **ریزپرز** دارند. مجموعهٔ **چین‌ها، پرزها و ریزپرزها**، سطح درونی رودهٔ باریک را که در تماس با کیموس می‌باشد تا **چندین برابر** زیاد می‌کنند.

نکته

چین رودهٔ باریک ← برآمدگی‌های ماکروسکوپی حلقوی در سطح داخلی رودهٔ باریک بوده که شامل لایه‌های **مخاطی** و **زیرمخاطی** می‌باشند.
پرز رودهٔ باریک ← مجموعه یاخته‌های پوششی به همراه بافت پیوندی، رگ‌های خونی و لنفی مخاط روده در **روی** چین‌ها می‌باشند.
ریزپرز رودهٔ باریک ← مجموعه چین‌خوردگی‌های میکروسکوپی غشای **هر** یاخته پوششی پرز رودهٔ باریک می‌باشد.

یک پاراگراف خیلی مهم: در فصل قبل آموختید که مواد مختلف به روش‌های انتشار، انتقال فعال، درون‌بری و برون‌رانی از یاخته‌های پوششی جذب‌کننده عبور می‌کنند. درون پرز روده، هم مویرگ خونی و هم مویرگ لنفی وجود دارد. مولکول‌های سادهٔ حاصل از مواد قندی، پروتئینی، نوکلئیک اسیدها و مواد معدنی وارد مویرگ خونی پرز روده شده و سپس از راه کبد به جریان خون عمومی وارد می‌شوند. در هر پرز روده، مویرگ لنفی ته‌بسته‌ای نیز وجود دارد که حاوی مایعی به نام لنف از آب و ترکیبات دیگر می‌باشد. مولکول‌های حاصل از تجزیهٔ لیپیدها وارد این رگ‌ها شده که در نهایت به دو سیاهرگ زیرترقوه‌ای چپ و راست و بزرگ‌سیاهرگ خونی **زیرین** وارد می‌شوند (فصل ۴). مولکول‌های لیپیدی وارد شده به خون، از راه قلب به **کبد** یا **بافت چربی** منتقل و در آن‌ها **ذخیره** می‌شوند. در **کبد** از این لیپیدها مولکول‌های **لیپوپروتئینی** (HDL و LDL) تولید می‌شود که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

نکته

مواد جذب شده از روده:
- اگر به رگ لنفی وارد شوند ← در نهایت به بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** می‌رسند ← وارد دهلیز **راست** می‌شوند.
- اگر به رگ خونی وارد شوند ← ابتدا به **کبد** می‌رسند ← از راه بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** ← وارد دهلیز **راست** می‌شوند.

نکته

مواد چربی (سیدی) رودهٔ باریک و سایر مواد جذب شده از خون یا لنف در نهایت دوباره در دهلیز **راست** قلب به هم می‌رسند.

تست ۲۲ اولین یاخته‌هایی از لولهٔ گوارش که مواد غذایی پس از عبور از آن‌ها وارد محیط داخلی می‌شوند، همگی چند ویژگی زیر را دارند؟

الف) شکل استوانه‌ای و یک‌لایه دارند.
ب) چین‌های حلقوی و ریزپرز دارند.
ج) در بافتی با فضای بین‌یاخته‌ای اندک قرار گرفته‌اند.
د) مجاور ماهیچه‌های مخطط یا صاف قرار گرفته‌اند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۱ B

فقط مورد (ج) صحیح است.
این یاخته‌ها، یاخته‌های پوششی در اندام‌هایی هستند که در آن‌ها جذب صورت می‌گیرد (جذب به صورت اندک در دهان و معده و به صورت اصلی در رودهٔ باریک صورت می‌گیرد).

تله‌های تستی الف) نادرست است. جذب در دهان نیز صورت می‌گیرد. دهان دارای بافت پوششی استوانه‌ای نمی‌باشد. / ب) نادرست است. دهان همانند معده، چین حلقوی و ریزپرز ندارد. / ج) درست است. یاخته‌های بافت پوششی، فضای بین‌یاخته‌ای اندکی دارند. / د) نادرست است. این یاخته‌های پوششی، در لایهٔ مخاطی وجود دارند و مجاور لایهٔ ماهیچه‌ای (یعنی زیر لایهٔ زیرمخاط) قرار ندارند.

تست ۲۳ چند مورد از عبارات زیر، دربارهٔ «بخشی از لولهٔ گوارش انسان که چین‌خوردگی‌های غیردائمی دارد»، نادرست است؟ (قلم‌چی)

الف) به دنبال شل شدن نوعی بنداره، غذا وارد آن می‌گردد.
ب) در محیط قلیایی آن، آنزیم‌های گوارشی فعال می‌شوند.
ج) هر آنزیم یافت شده در آن، در آب‌کافت مواد غذایی نقش دارد.
د) بیش از یک نوع یاخته در ساختار غدد آن، آنزیم گوارشی ترشح می‌کنند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۲ C

موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست‌اند. منظور سؤال، **معده** است.

تله‌های تستی الف) با شل شدن بندارهٔ انتهای مری، غذا وارد معده می‌شود. / ب) پپسینوژن بر اثر کلریدریک اسید (محیط اسیدی) به پپسین تبدیل می‌شود. / ج) برای آنزیم لیزوزیم که همراه غذا وارد معده می‌شود، صحیح نیست (همچنین آنزیم‌های درون یاخته‌ای یاخته‌های معده، به آبکافت مواد غذایی نمی‌پردازند). / د) فقط یاخته‌های اصلی معده آنزیم‌های آن (پروتئازها) را می‌سازند و ترشح می‌کنند.

تست ۲۴ کدام گزینه در رابطه با «ساختار یک چین حلقوی رودهٔ باریک انسان» نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) واجد لایه‌ای است که کارهای متفاوتی مثل ترشح را انجام می‌دهد.
۲) هیچ‌یک از لایه‌های ماهیچه‌ای طولی و حلقوی در آن شرکت ندارد.
۳) ریزپرزهای فراوانی دارد که درون آن‌ها انواعی مویرگ حضور دارد.
۴) مولکول‌های گوناگونی می‌توانند از غشای یاخته‌های پوششی آن بگذرند.

پاسخ ۳ B

غشای یاخته‌های پوششی رودهٔ باریک نیز در سمت فضای روده، چین‌خورده است. به این چین‌های میکروسکوپی که از فسفولیپید تشکیل شده‌اند، ریزپرز می‌گویند. در ساختار هر **پرز**، مویرگ‌های خونی و لنفی وجود دارد (نه ریزپرز).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): لایهٔ مخاط، یاخته‌هایی دارد که در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش، کارهای متفاوتی مثل جذب و ترشح را انجام می‌دهند. / گزینهٔ (۲): چین حلقوی شامل لایه‌های مخاط و زیرمخاط است. بنابراین لایهٔ ماهیچه‌ای در آن شرکت ندارد. / گزینهٔ (۴): پس از گوارش در فضای رودهٔ باریک، مولکول‌های گوناگونی وجود دارند که باید از غشای یاخته‌های پوششی دیوارهٔ روده بگذرند و به این یاخته‌ها و پس از آن به محیط داخلی وارد شوند.

بیماری سلیاک

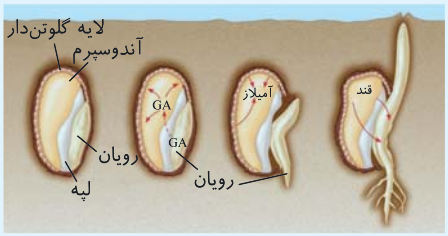
پروتئین موجود در واکوئول گندم و جو (*غلات*) که **گلوتن** نام دارد در برخی افراد حساس، سبب **تخریب یاخته‌های روده و غشای آن‌ها** یعنی ریزپرزها و حتی تخریب پرزهای رودهٔ باریک می‌شود که به آن بیماری **سلیاک** گفته می‌شود. در این بیماری به دلیل تخریب پرزهای رودهٔ باریک، سطح جذب مواد غذایی گوارش‌یافته **بسیار کاهش** می‌یابد و **بسیاری** از مواد غذایی با اینکه گوارش یافته‌اند، دیگر جذب نمی‌شوند. در این افراد اختلالات **رشد** و مشکلات جدی سلامت ایجاد می‌شود که تشخیص قطعی آن‌ها با آزمایش‌های پزشکی است (*دقت کنید که در این بیماری جذب غذا کم می‌شود ولی متوقف نمی‌شود*). این بیماری با عدم مصرف گلوتن مهار می‌شود اما درمان نمی‌گردد.

نگاهی به آینده

نکات گلوتن

۱) گلوتن پروتئینی است که در **واکوئول‌های** موجود در بذر گندم و جو (*غلات*) **ذخیره** می‌شود. هنگام **رویش** بذر برای رشد و نمو رویان، گیاه از آن استفاده می‌شود (*فصل ۶*).

۲) در زیست یازدهم می‌خوانیم که در هنگام **رویش** دانه نهاندانگان، **خارجی‌ترین** لایه اندوخته دانه (*آندوسپرم*) حاوی گلوتن می‌باشد. رویان یا جنین موجود در دانه غلات، مقدار زیادی هورمون گیاهی **جیبرلین** می‌سازد. این هورمون روی لایهٔ گلوتن‌دار اندوخته دانه اثر می‌کند تا این لایه **آنزیم‌های** گوارشی ترشح کند. این آنزیم‌ها با تجزیهٔ مواد غذایی مثل نشاسته، مواد مورد نیاز رویش **رویان** را تأمین می‌کنند (*یادت باشه وقتی کنکوری شدی، این قسمت می‌تونه سؤالات ترکیبی زیادی داشته باشه!*).



«جیبرلین‌ها در تجزیهٔ ذخایر رویان غلات نقش دارند.»
GA : جیبرلیک‌اسید

تست ۲۵ در لولهٔ گوارش انسان، هر نوع بافت پوششی اندامی که به فرایند جذب مواد می‌پردازد، دارای یاخته‌هایی است که قطعاً ..... (قلم‌چی)

۱) ظاهری کاملاً یکسان دارند.
۲) در بیماری سلیاک تخریب می‌شوند.
۳) فقط برخی از مواد می‌توانند از غشای آن‌ها عبور کنند.
۴) گروهی از اندامک‌های آن‌ها در سیتوپلاسم کار ویژه‌ای دارند.

پاسخ ۳ B

در دهان و معده، جذب اندک است و جذب اصلی در رودهٔ باریک انجام می‌شود. غشای یاخته، نفوذپذیری انتخابی یا تراوایی نسبی دارد؛ یعنی فقط برخی از مواد می‌توانند از آن عبور کند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): نمی‌توان گفت دو یاختهٔ بافت پوششی، کاملاً شبیه یکدیگرند. / گزینهٔ (۲): بیماری سلیاک، فقط بر جذب در روده مؤثر است. / گزینهٔ (۴): همهٔ اندامک‌های سیتوپلاسمی، کار ویژه‌ای دارند (*نه فقط گروهی از آن‌ها*).

انواع لیپوپروتئین‌های خون

نکته

در کبد دو نوع لیپوپروتئین (*نوعی مولکول حاصل از ترکیب پیرهای پروتئین و لیپید*) به صورت HDL و LDL تولید می‌شود. کار لیپوپروتئین‌های خون، انتقال **لیپیدها** از **خون به بافت** می‌باشد. این لیپوپروتئین‌ها به دو صورت **کم**‌چگال (LDL) و **پر**چگال (HDL) در **کبد** ساخته می‌شوند. تقسیم‌بندی آن‌ها برحسب نسبت پروتئین به **کلسترول** آن‌ها است که به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

الف) لیپوپروتئین کم‌چگال (LDL)

در این گروه، مقدار پروتئین از کلسترول، **کمتر** است و کم‌چگال یا LDL نامیده می‌شوند. **کلسترول** فراوان این نوع لیپوپروتئین (LDL) می‌تواند به بافت پوششی **دیوارهٔ سرخرگ‌ها** بچسبد و **به تدریج** مسیر عبور خون را تنگ یا مسدود کند، زیادی LDL سبب **افزایش** فشار خون، بیماری‌های عروقی و سکتهٔ قلبی می‌شود.

نکته

مصرف چربی‌های اشباع (*چربی‌های جانوری پرهیدروژن‌دار*)، چاقی و کم‌تحرکی را موجب می‌شود و مصرف بیش از حد کلسترول، میزان لیپوپروتئین‌های کم‌چگال (LDL) را افزایش می‌دهد و شانس ابتلا به انسداد کیسه صفرا و انسداد عروق خونی را زیاد می‌کند که بسیار خطرناک می‌باشد.

ب) لیپوپروتئین پرچگال (HDL)

در این گروه برخلاف نوع LDL، مقدار پروتئین از کلسترول **بیشتر** است. لیپوپروتئین‌های HDL نیز همانند LDL در **کبد** تولید می‌شوند ولی این گروه در خون سبب جذب کلسترول رسوب کرده در دیوارهٔ **سرخرگ‌ها** می‌شوند. در حقیقت HDL برخلاف LDL در جهت پاک کردن دیوارهٔ رگ‌ها از کلسترول و ممانعت از تنگی رگ‌ها عمل می‌کند. بالا بودن **نسبت** HDL به LDL، احتمال رسوب کلسترول در دیوارهٔ سرخرگ‌ها را **کاهش** می‌دهد که به سود بدن است. (*به HDL کلسترول خوب بدن می‌گویند.*)

نتیجه: *HDL* و *LDL* هر دو در کبد و از ترکیب **لیپید** به همراه **پروتئین‌های** کبدی ساخته می‌شوند که وظیفهٔ حمل **انواع لیپیدها** را از خون به بافت‌ها دارند. ***LDL*** در جریان انتقال لیپیدها، کلسترول آن‌ها را در دیوارهٔ سرخرگ جای می‌دهد ولی ***HDL*** سبب جمع کردن کلسترول‌های دیوارهٔ رگ خونی و انتقال آن‌ها به بافت‌ها می‌شود.

تست ۲۶ **چند مورد دربارهٔ «مولکول‌های متشکل از لیپید و پروتئین که در جریان خون انسان مشاهده می‌شوند»، به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

الف) همگی احتمال ابتلا به بیماری‌هایی مانند دیابت نوع ۲ را افزایش می‌دهند.

ب) نوعی مولکول موجود در آن‌ها می‌تواند در ساخت انواعی از هورمون‌ها شرکت کند.

ج) می‌توانند توسط اندام ذخیره‌کنندهٔ موادی مانند گلیکوژن تولید شوند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** صفر مورد

پاسخ ۲ B موارد (ب) و (ج) صحیح هستند.

تله‌های تستی الف) نادرست است. چاقی، میزان لیپوپروتئین‌های **کم‌چگال** را افزایش می‌دهد. چاقی، سلامت فرد را به خطر می‌اندازد و احتمال ابتلا به بیماری‌هایی مانند دیابت نوع ۲، انواعی از سرطان، تنگ شدن سرخرگ‌ها، سکتهٔ قلبی و مغزی را افزایش می‌دهد (*اما لیپوپروتئین پرچگال، این اثرات منفی را ندارد*). / ب) درست است. کلسترول، در ساخت انواعی از هورمون‌ها شرکت می‌کند. / ج) درست است. در کبد، مولکول‌های لیپوپروتئین (*ترکیب لیپید و پروتئین*) ساخته می‌شود. موادی مانند گلیکوژن، آهن و برخی ویتامین‌ها نیز در کبد ذخیره می‌شوند.

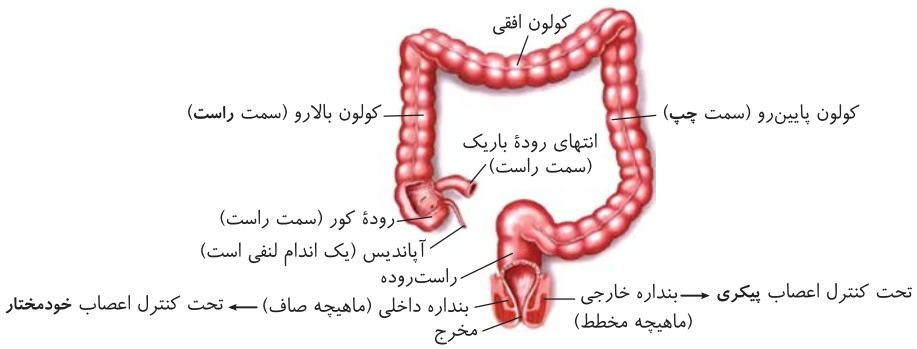
رودهٔ بزرگ

رودهٔ باریک در انتهای خود و در سمت **راست** شکم، توسط بندارهٔ‌ای به رودهٔ بزرگ متصل می‌شود. قسمت ابتدایی رودهٔ بزرگ که در سمت راست شکم قرار دارد را **رودهٔ کور** می‌نامند. در **انتهای** رودهٔ کور، زائده‌ای به عنوان یک اندام لنفی به نام آپاندیس (*در پایین و سمت راست شکم*) وجود دارد (*فصل ۴*). بعد از رودهٔ کور، به ترتیب کولون **بالارو** (*سمت راست*)، کولون افقی و کولون **پایین‌رو** (*سمت چپ*) وجود دارد. کولون پایین‌رو بخش انتهای رودهٔ بزرگ می‌باشد و بعد از آن بخشی به نام **راست‌روده** آغاز می‌شود. دقت کنید که راست‌روده را بر طبق متن کتاب درسی نباید قسمتی از رودهٔ بزرگ در نظر بگیرید. ابتدای راست‌روده در محل اتصال به کولون پایین‌رو فاقد بندراه می‌باشد ولی در انتهای راست‌روده دو بندارهٔ حلقوی وجود دارد که بندارهٔ **داخلی** از ماهیچهٔ **صاف** با عمل **غیرارادی** و بندارهٔ **خارجی** از ماهیچهٔ **مخطط** با عمل **ارادی** تشکیل شده است.

نگاهی به آینده انقباض بندارهٔ داخلی **صاف** به کمک شبکهٔ یاخته‌ای عصبی و اعصاب **خودمختار** و بندارهٔ خارجی **مخطط** با تحریک اعصاب **پیکری** صورت می‌گیرد.

نکته رودهٔ بزرگ، **پرز** و غدد ترشح‌کنندهٔ **آنزیم گوارشی** ندارد ولی یاخته‌های **پوششی** مخاط آن، **مادهٔ مخاطی بدون آنزیم گوارشی** ترشح می‌کنند. دقت کنید که درون هر یاختهٔ بدن، آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای ساخته می‌شوند ولی در روده آنزیم‌های **گوارشی ترشحی** نمی‌شوند. (*دلیل تأکید کتاب بر عدم ترشح آنزیم گوارشی این است که در سراسر لولهٔ گوارش آنزیم دفاعی لیزوزیم در مادهٔ مخاطی ترشح می‌شود. پس، رودهٔ بزرگ، آنزیم‌های درون‌یاختهای دارد، آنزیم ترشحی دفاعی (لیزوزیم) دارد. آنزیم ترشحی گوارشی ندارد.*)

یادآوری: مادهٔ مخاطی مترشحه از غدد روده همانند مادهٔ مخاطی سایر بخش‌های لولهٔ گوارش، حاوی آنزیم دفاعی **لیزوزیم** برای دفاع **غیراختصاصی** بدن بر ضد میکروب‌ها می‌باشد. از طرفی مادهٔ مخاطی حاوی موسین می‌باشد که گلیکوپروتئینی بدون نقش آنزیمی می‌باشد.



«بخش‌های انتهایی لولهٔ گوارش»

دفع

در انتهای لولهٔ گوارش، مواد جذب نشده و یا گوارش نیافته و یاخته‌های **مرده** به همراه اضافی شیره‌های گوارشی، وارد رودهٔ بزرگ می‌شوند. در رودهٔ بزرگ مقداری از **آب و یون‌های** آن‌ها جذب شده و مدفوعی به صورت جامد می‌سازند (البته مقداری مواد آلی مثل ویتامین B و K نیز که محصول باکتری‌ها هستند نیز در رودهٔ بزرگ جذب بدن می‌شوند).

دقت کنید که حرکات رودهٔ بزرگ **به آهستگی** (آهسته‌تر از رودهٔ باریک) صورت می‌گیرد در نتیجه **به تدریج** با جذب بیشتر آب، مدفوع جامدتر شده و کم‌کم وارد **راست‌روده** می‌شود. ورود مدفوع **به راست‌روده**، ابتدا سبب ایجاد حالت دفع می‌شود و سرانجام به صورت **ارادی** و تحت کنترل قشر مخ با باز کردن بندارهٔ خارجی مخرج دفع انجام می‌شود. (برای دفع مدفوع باید بندارهای داخلی و خارجی انتهای راست‌روده از حالت انقباض خارج شوند.)

تست ۲۷ در دستگاه گوارش انسان، بخش ..... رودهٔ بزرگ ..... (قلم‌چی)

۱) انتهایی - آنزیم گوارشی ترشح می‌کند.

۲) ابتدایی - در سمت راست بدن تا زیر کبد، بالا می‌رود.

۳) انتهایی - ممکن نیست دارای یاخته‌های چندهسته‌ای باشد.

۴) ابتدایی - به زائده‌ای ختم می‌شود که هیچ راه ارتباطی با فضای درون رودهٔ بزرگ ندارد.

پاسخ ۳ B

ابتدای رودهٔ بزرگ، رودهٔ کور نام دارد که به آپاندیس ختم می‌شود. ادامهٔ رودهٔ بزرگ از کولون بالارو، کولون افقی و کولون پایین‌رو، تشکیل شده است. رودهٔ بزرگ، پرز ندارد و یاخته‌های پوششی مخاط آن، مادهٔ مخاطی ترشح می‌کنند، ولی آنزیم گوارشی ترشح نمی‌کنند.

دقت کنید طبق متن کتاب درسی، بعد از رودهٔ بزرگ، راست‌روده قرار دارد. در انتهای **راست‌روده**، بندارهای داخلی (ماهیچهٔ صاف) و خارجی (ماهیچهٔ مخطط با یاخته‌های چندهسته‌ای) قرار دارند (یعنی در انتهای رودهٔ بزرگ، یاخته‌های ماهیچه‌ای، همچنان صاف هستند).

در مورد گزینهٔ (۴)، آپاندیس از یک طرف به لولهٔ گوارش راه دارد.

تست ۲۸ کدام گزینه برای تکمیل عبارت زیر نامناسب است؟ (قلم‌چی)

«**بخشی از لولهٔ گوارش انسان که گوارش شیمیایی پروتئین‌ها در آن** ..... **می‌شود، بلافاصله** ..... **از بخشی قرار دارد که** .....»

۱) کامل - بعد - تخریب گروهی از یاخته‌های آن می‌تواند سبب نوعی کم‌خونی گردد.

۲) آغاز - قبل - در آن پروتئین‌ها به واحدهای سازندهٔ خود، آب‌کافت می‌شوند.

۳) کامل - قبل - فاقد توانایی جذب آب و یون‌ها است.

۴) آغاز - بعد - آنزیم گوارشی ترشح نمی‌کند.

پاسخ ۳ C

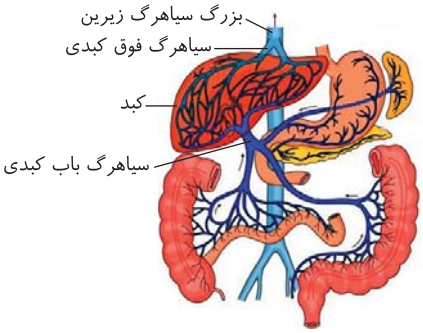
منظور رودهٔ باریک است که قبل از **رودهٔ بزرگ** با توانایی جذب آب و یون قرار دارد.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): گوارش شیمیایی پروتئین‌ها در رودهٔ باریک کامل می‌شود و بلافاصله قبل از آن معده قرار دارد که یاخته‌های کناری غده‌های آن، عامل (فاکتور) داخلی ترشح می‌کنند که برای ورود ویتامین B_{12} به یاخته‌های رودهٔ باریک ضروری است. اگر این یاخته‌ها تخریب شوند یا معده برداشته شود، علاوه بر ساخته نشدن کلریدریک اسید، فرد به کم‌خونی خطرناکی دچار می‌شود. / گزینه‌های (۲) و (۴): گوارش شیمیایی پروتئین‌ها در معده آغاز می‌شود که بلافاصله بعد از **مری** قرار دارد. مری مادهٔ مخاطی ترشح می‌کند و آنزیم گوارشی ترشح نمی‌کند. بعد از معده نیز **رودهٔ باریک** قرار دارد. در رودهٔ باریک، در نتیجهٔ فعالیت پروتئازهای لوزالمعده و آنزیم‌های رودهٔ باریک، پروتئین‌ها به آمینواسیدها، تجزیه می‌شوند.

گردش خون دستگاه گوارش

در همهٔ اندام‌های بدن به‌جز طحال و بخش **پایینی** لولهٔ گوارش (از معده تا راست‌روده)، **خون** هر اندام از طریق سیاهرگ‌های کوچک‌تر **مستقیماً** به بزرگ‌سیاهرگ‌های زیرین یا زبرین رسیده و از آنجا مستقیماً به قلب وارد می‌شود. این عمل در بخش‌های زیر دیافراگم لولهٔ گوارش استثنا می‌باشد که در ادامه به دلیل آن می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که پس از خوردن غذا، با فعالیت اعصاب **پاراسمپاتیکی**، میزان جریان خون دستگاه گوارش **افزایش** می‌یابد تا نیاز این دستگاه برای گوارش و فعالیت بیشتر تأمین شود (یعنی رگ‌های آن گشاد می‌شوند). این حالت سبب افزایش جذب مواد به ویژه از روده و کمی از سایر قسمت‌ها می‌شود. خون خارج شده از بخش‌های دستگاه گوارش که در **زیر** دیافراگم قرار دارند مثل **معده، لوزالمعده، روده‌ها و اندام لنفی طحال** ابتدا توسط سیاهرگ‌های مجزایی با هم یکی شده و وارد رگی به نام **سیاهرگ باب کبدی** می‌شود. این سیاهرگ از **زیر**، وارد کبد شده و درون آن به شبکه‌های **مویرگی** زیادی منشعب می‌شود. مواد جذب شده قندی مثل گلوکز، در کبد می‌توانند در صورت لزوم به **گلیکوژن ذخیره‌ای** تبدیل شوند یا آمینواسیدهای آن سبب ایجاد **پروتئین‌های** متنوع شوند. موادی مانند **آهن** و برخی **ویتامین‌ها** نیز در کبد **ذخیره** می‌شوند. پس از مدتی که از خوردن غذا و گوارش آن گذشت، جریان خون دستگاه گوارش، عادی می‌شود و به حالت اولیه کاهش می‌یابد.



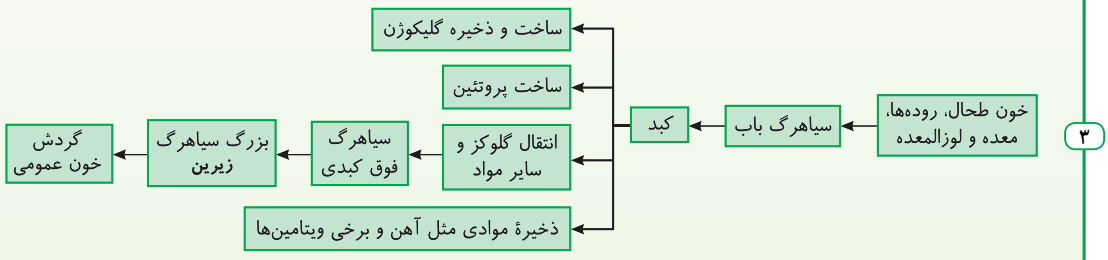
«سیاهرگ باب و فوق کبدی»

نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

۱) در بین اندام‌هایی که به سیاهرگ باب خون خود را وارد می‌کنند، طحال یک اندام لنفی است (*فصل ۴*) که جزء دستگاه گوارش نمی‌باشد.

۲) با توجه به شکل قبل می‌توان گفت:
- الف) اول دقت کنید که سیاهرگ باب فقط یک عدد است که از سیاهرگ خروجی از برخی اندام‌ها ایجاد می‌شود.
- ب) خون خروجی از طحال با شاخه‌ای از خون سیاهرگی معده یکی شده و وارد سیاهرگ باب می‌شود.
- ج) خون بخشی از معده با لوزالمعده یکی شده و سپس وارد سیاهرگ باب می‌شوند.
- د) خون کولون پایین‌رو، راست‌روده، طحال، لوزالمعده و معده مشترکاً وارد سیاهرگ باب می‌شوند.
- ه) خون بخش انتهایی رودهٔ باریک، رودهٔ کور و کولون بالارو پس از یکی شدن وارد سیاهرگ باب می‌شوند.

۳)



۴) دقت کنید که مسیر **چربی‌های** جذب شده از روده و پس از طی مسیر لنفی به سمت انتقال به خون می‌رسد ولی این چربی‌ها برای ورود به کبد باید از راه **سرخرگ کبدی** که از انشعابات **آئورت** با خون روشن می‌باشد وارد کبد شوند. این خون نیازهای اکسیژنی کبد را هم مرتفع می‌سازد. دقت کنید که گلوکز و آمینواسید جذب شده از روده، ابتدا از راه سیاهرگ باب به کبد می‌رود.

۵) **سیاهرگ فوق** کبدی، مواد مورد نیاز بدن را از شبکهٔ مویرگی کبد گرفته و از بالای کبد خارج می‌شود. این سیاهرگ ابتدا به بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** می‌رود و سپس به قلب می‌رسد تا به همه جای بدن غذارسانی شود (*در واقع جگر، نمی‌تواند همهٔ مواد را جذب کند و به اندازهٔ تخریبهٔ اندام‌ها، مواد مغذی در خون می‌مانند*). در حقیقت در بین اندام‌های موجود در **دستگاه گوارش** که در زیر دیافراگم قرار گرفته‌اند، فقط **کبد** می‌تواند خون خود را **مستقیماً** از راه بزرگ‌سیاهرگ زیرین به قلب برساند (*خون کبد به سیاهرگ باب وارد نمی‌شود!*).

۶) سیاهرگ باب کبدی، تنها سیاهرگی در کتاب درسی شما می‌باشد که در انتهای خود و درون کبد انشعابات مویرگی دارد و سپس انتهای این مویرگ‌ها از طریق **دو** سیاهرگ در بالای کبد به هم رسیده و به صورت سیاهرگ فوق کبدی به بزرگ‌سیاهرگ زیرین می‌رسد. (*شبکهٔ مویرگی بعد از سیاهرگ باب، فاقد بخش سرخرگی و خون روشن می‌باشد.*)

۷) اندام‌های گوارشی بالای دیافراگم مثل **دهان**، **حلق** و **مری**، خون خود را وارد سیاهرگ باب نمی‌کنند و مستقیماً مواد خون را از راه بزرگ‌سیاهرگ‌ها وارد قلب می‌کنند.

۸) در کبد **دو** شبکهٔ مویرگی وجود دارد یکی شبکه‌ای که از سرخرگ کبدی حاصل شده است که با خون **روشن** خود به تبادل **گاز تنفسی** و مواد غذایی برای کبد می‌پردازد (*این خون می‌تواند مقدار زیادی لیپید هم به کبد وارد کند چون پس از گوارش، این مواد به لنف رفته‌اند و هنوز از جگر گذر نکرده‌اند*) و دیگری شبکه‌ای که از سیاهرگ باب کبدی حاصل شده است. این شبکهٔ مویرگی فاقد بخش سرخرگی می‌باشد و خون **تیره** ولی پر از مواد غذایی جذب شده از لولهٔ گوارش را وارد کبد می‌کند.

تست ۲۹ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «سیاهرگ باب ..... سیاهرگ فوق کبدی، .....»**

۱) برخلاف - فاقد گلیکوژن و مواد لیپیدی می‌باشد.
۲) همانند - در انتهای خود به شبکهٔ مویرگی ختم می‌شود.
۳) برخلاف - فاقد *HDL* تازه تولید شده می‌باشد.
۴) همانند - مستقیماً از چند اندام مجزا محتویات خود را دریافت می‌کند.

پاسخ ۳ *HDL* و *LDL* در کبد تولید می‌شوند و ابتدا به رگ خروجی کبد یعنی سیاهرگ فوق کبدی می‌روند ولی در سیاهرگ باب برخلاف سیاهرگ فوق کبدی، این لیپوپروتئین‌های **تازه تولیده شده** وجود ندارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): گلیکوژن در کبد تولید و ذخیره می‌شود و در سیاهرگ باب و فوق کبدی وجود ندارد (*یادتون باشه پلی‌ساکاریدها به صورت آزاد در خون وجود ندارند*). / گزینهٔ (۲): سیاهرگ باب به شبکهٔ مویرگی ختم می‌شود اما سیاهرگ فوق کبدی در انتهای خود به بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** می‌ریزد. / گزینهٔ (۴): سیاهرگ فوق کبدی برخلاف سیاهرگ باب، محتویات خود را **فقط از کبد** دریافت می‌کند.

تست ۳۰ **جایگاه ساخت گلیکوژن و نیز ذخیرهٔ آهن و برخی ویتامین‌ها در انسان ممکن نیست .....** (قلم‌چی)

۱) از طریق سیاهرگ فوق کبدی، لیپوپروتئین‌ها را جذب و ذخیره کند.
۲) با ساختن ترکیباتی در دفع کلسترول اضافی نقش داشته باشد.
۳) در هنگام افزایش جریان خون دستگاه گوارش، توانایی ساخت پروتئین داشته باشد.
۴) در گوارش و ورود چربی‌ها به محیط داخلی تأثیرگذار باشد.

پاسخ ۱ جایگاه ساخت گلیکوژن و نیز ذخیرهٔ آهن و برخی ویتامین‌ها، **کبد** است. در کبد از لیپیدها (*که از لنف به خون منتقل می‌شوند*) و پروتئین‌های منتقل شده (*از راه سیاهرگ باب*) به کبد، لیپوپروتئین ساخته می‌شود. دقت داشته باشید که سیاهرگ فوق کبدی از کبد **خارج** می‌شود.

تله‌های تستی گزینه‌های (۲) و (۴): کبد با ساختن **صفرا**، در دفع کلسترول اضافی و گوارش و جذب چربی‌ها نقش دارد. / گزینهٔ (۳): در کبد از مواد جذب شده در لولهٔ گوارش، گلیکوژن و پروتئین ساخته می‌شود. ضمناً پس از خوردن غذا، میزان جریان خون دستگاه گوارش افزایش می‌یابد تا نیاز آن برای فعالیت بیشتر تأمین شود و مواد مغذی جذب شده و به کبد منتقل شوند.

تنظیم فرایندهای گوارشی

فعالیت دستگاه گوارش نیز مانند سایر بخش‌های بدن، توسط دستگاه‌های **عصبی و هورمونی** تنظیم می‌شود. فعالیت‌های این دستگاه در دو مرحلهٔ خاموشی نسبی و **فعالیت شدید** طبقه‌بندی می‌شود. فاصلهٔ بین خوردن وعده‌های غذایی را **مرحلهٔ خاموشی نسبی** و مرحلهٔ بعد از خوردن غذا را که خون‌رسانی به این دستگاه زیاد می‌شود، **مرحلهٔ فعالیت شدید** می‌گویند. در مرحلهٔ خاموشی نسبی، فعالیت‌های این دستگاه کاهش می‌یابد ولی پس از خوردن غذا و اتساع لولهٔ گوارش، همراه با فعال شدن شبکهٔ یاختهٔ عصبی و اعصاب خودمختار **پاراسمپاتیک** و کمی نیز اعصاب پیکری، فعالیت این دستگاه تشدید می‌شود.

نکته

به‌طور کلی دستگاه گوارش باید با ترشح **به موقع** و به **اندازهٔ** شیرهٔ گوارشی (*برای گوارش شیمیایی*) و حرکات به موقع لولهٔ گوارشی (*برای گوارش مکانیکی و مخلوط کردن غذا با شیرهٔ گوارشی*)، به ورود غذا پاسخ مناسبی بدهد. همهٔ این اعمال به کمک عوامل عصبی و هورمونی مختلفی تنظیم می‌شود. یعنی حرکات لولهٔ گوارش در طول لوله باید **با سرعت مناسب** انجام شود تا فعالیت دستگاه گوارش با فعالیت بخش‌های دیگر بدن از جمله **گردش خون** هماهنگ شود. در ادامه به بررسی نقش اعصاب و هورمون‌ها بر دستگاه گوارش می‌پردازیم.

الف) تنظیم عصبی دستگاه گوارش

در دستگاه گوارش، تنظیم عصبی، اغلب به کمک اعصاب حرکتی خودمختار و شبکهٔ یاخته‌های عصبی صورت می‌گیرد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. البته فعالیت‌های عصبی ماهیچه‌های مخطط دهان، حلق، ابتدای مری و بندارهٔ انتهایی مخرج توسط اعصاب حرکتی **پیکری** انجام می‌شود. (*در مورد اعصاب پیکری در زیست یازدهم مفصل می‌خوانیم.*)

نکته مهم

فعالیت غدد ترشحی **برون‌ریز** دهان و حلق، فقط تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** صورت می‌گیرد. یعنی دقت کنید که فعالیت ماهیچه‌های دهان، حلق و ابتدای مری با اعصاب **پیکری** ولی فعالیت غدد بزاقی و سایر غدد ترشحی آن‌ها با اعصاب **خودمختار** تنظیم می‌شود.

نگاهی به آینده

در زیست یازدهم می‌خوانیم که:

- اجزای دستگاه عصبی محیطی
  - حسی ← پیام را از اندام‌های دارای گیرنده حس به دستگاه عصبی **مرکزی** (*مغز و نخاع*) می‌آورد.
  - حرکتی ← پیام را از دستگاه عصبی مرکزی (*مغز و نخاع*) به **غدد** و **ماهیچه‌ها** می‌برد.
- اعصاب حرکتی محیطی
  - اعصاب خودمختار
    - فعالیت **غیرارادی** یا ناخودآگاه دارند.
    - به ماهیچهٔ صاف، قلبی و **غدد** پیام می‌دهند.
    - شامل دو نوع سمپاتیک (*هم‌حس*) و پاراسمپاتیک (*پادهم‌حس*) می‌باشد.
  - اعصاب پیکری (*غیرخودمختار*)
    - به‌جز **انعکاس‌ها** در سایر موارد به صورت ارادی عمل می‌کنند.
    - با ماهیچه **اسکلتی** سیناپس یا ارتباط برقرار می‌کنند.
    - بیشتر از **قشر** مخ پیام فعالیت را صادر می‌کنند.

نکته مهم

دو نوع **دستگاه عصبی خودمختار** (*ناخودآگاه*) و **شبکهٔ یاخته‌های عصبی**، فعالیت ماهیچه‌های **صاف** و **غدد** دستگاه گوارش را کنترل و تنظیم می‌کنند. البته باز هم تأکید و یادآوری می‌کنم که فعالیت‌های ماهیچه‌های دهان، حلق، ابتدای مری و بندارهٔ خارجی مخرج که مخطط هستند، توسط اعصاب پیکری تنظیم می‌شوند.

A) دستگاه عصبی خودمختار

این دستگاه، فعالیت **حرکتی** دارد و به صورت **غیرارادی** یا **ناخودآگاه** عمل می‌کند که شامل دو نوع اعصاب **پاراسمپاتیک** (*پادهم‌حس*) و **سمپاتیک** (*هم‌حس*) است که به غدد یا ماهیچه پیام می‌دهد. **به‌طور معمول**، اعصاب **پاراسمپاتیک** فعالیت دستگاه گوارش را **افزایش** داده و ترشح و حرکت آن را زیاد می‌کنند.

مثال: فکر کردن به غذا یا دیدن غذا یا احساس بوی غذا می‌تواند ترشح بزاق را در بدن زیاد کند، در این حالت، اعصاب خودمختار، پیام عصبی حرکتی را از پل مغزی به غده‌های بزاقی دهان می‌رسانند و بزاق به صورت انعکاسی و غیرارادی ترشح می‌شود. (در سال دوازدهم می‌آموزید که ترشح بزاق در اثر دیدن غذا یا حس بوی آن، نوعی رفتار غریزی می‌باشد که می‌تواند به صورت یادگیری شرطی شدن کلاسیک و با محرک‌های دیگری نیز ایجاد شود (*فصل ۸ زیست دوازدهم، رفتارشناسی*)).

دیدن غذا / بوی غذا / فکر کردن به غذا ← تحریک اعصاب پاراسمپاتیک مغزی ← افزایش ترشح بزاق به صورت غیرارادی

نکته

همان‌طور که می‌دانید، فعالیت‌های گوارشی باید با فعالیت‌های بخش‌های دیگر بدن نیز هماهنگ باشند. مثلاً در **هنگام بلع** و عبور غذا از حلق، مرکز عصبی **بلع** که در **بصل‌النخاع** می‌باشد، **خود**، باعث مهار مرکز عصبی **تنفس** می‌شود که این مرکز نیز در **بصل‌النخاع** و در **نزدیکی** مرکز بلع وجود دارد. در نتیجه این اعمال انعکاسی با پایین آمدن **اپی‌گلوت** و بالا رفتن **زبان کوچک** به ترتیب راه **نای** و **بینی** بسته شده و تنفس برای **مدتی کوتاه** متوقف می‌شود تا غذا وارد **مری** گردد.

تست ۳۱ چند مورد دربارهٔ «بخش‌هایی از دستگاه گوارش انسان که خون آن مستقیم به قلب بازنمی‌گردد»، صحیح است؟ (قلم‌چی)

الف) فعالیت آن‌ها می‌تواند توسط دستگاه‌های عصبی و هورمونی تنظیم شود.

ب) توانایی ساخت مولکول‌هایی را دارند که در دنیای غیرزنده دیده نمی‌شوند.

ج) فعالیت‌های گوارشی آن‌ها با فعالیت‌های بخش‌های دیگر بدن باید هماهنگ شود.

د) مواد مغذی برای رسیدن به یاخته‌های بدن باید از یاخته‌های همهٔ این اندام‌ها عبور کنند و وارد محیط داخلی شوند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ (C)

موارد (الف)، (ب) و (ج) صحیح هستند. مطابق شکل کتاب درسی، بخش‌هایی از دستگاه گوارشی که خون آن‌ها ابتدا به کبد و سپس به قلب می‌رود شامل معده، لوزالمعده، رودهٔ باریک، رودهٔ بزرگ و راست‌روده است.

تله‌های تستی الف و ج) فعالیت بخش‌های دیگر بدن از جمله گردش خون نیز باید با فعالیت دستگاه گوارش هماهنگ باشد. فعالیت دستگاه گوارش را مانند بخش‌های دیگر بدن، دستگاه‌های عصبی و هورمونی تنظیم می‌کنند. / ب) در جانداران مولکول‌های زیستی وجود دارند که در دنیای غیرزنده دیده نمی‌شوند. (*این مولکول‌های زیستی توسط یاخته‌های مختلف، مثلاً به شکل آنزیم‌ها ایجاد می‌شوند*). / د) مواد مغذی برای رسیدن به یاخته‌های بدن باید از یاخته‌های بافت پوششی لولهٔ گوارش عبور کنند و وارد محیط داخلی شوند. ورود مواد به محیط داخلی بدن، جذب نام دارد. خون، لنف و مایع بین‌یاخته‌ای محیط داخلی را تشکیل می‌دهند. در دهان و معده، جذب اندک است و جذب اصلی در **رودهٔ باریک** انجام می‌شود و از طرفی در لوزالمعده، هیچ جذبی رخ نمی‌دهد.

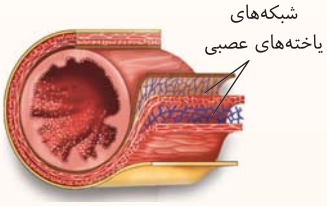
● B) شبکهٔ یاخته‌ای عصبی

در دیوارهٔ لولهٔ گوارش از **مری تا مخرج**، شبکه‌های یاخته‌های عصبی در لایه‌های **ماهیچه‌ای و زیرمخاطی** وجود دارند که در کل، به **شبکه‌های یاخته‌های عصبی** معروف می‌باشند. تحریک این اعصاب، سبب حرکت لایه‌های **ماهیچه‌ای** و ترشح مواد از غدد موجود در **لایه‌های** لولهٔ گوارش می‌شود.

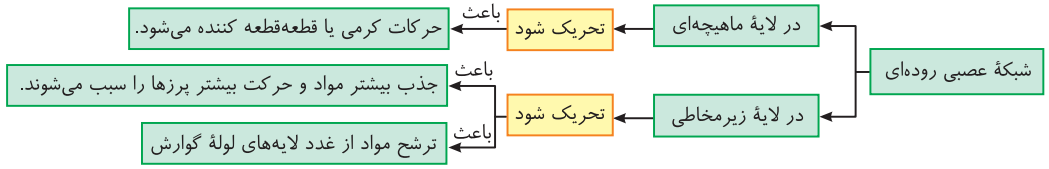
نکته این شبکهٔ عصبی که با توجه به متن کتاب درسی به عنوان شبکهٔ عصبی روده‌ای نیز معروف است، می‌تواند **مستقل** از دستگاه عصبی **خودمختار** فعالیت کند ولی اعصاب خودمختار هم‌حس (*سمپاتیک*) و پاد هم‌حس (*پاراسمپاتیک*) با شبکهٔ عصبی روده‌ای در ارتباط بوده و بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد.

نکته شبکهٔ یاخته‌های عصبی مخصوص **دیوارهٔ لولهٔ گوارش** بوده ولی در ترشح غدد گوارشی مستقل مثل غدد بزاقی، لوزالمعده و کبدی، فقط اعصاب خودمختار حرکتی مؤثر می‌باشند.

نکته به‌طور مثال از اعمال **شبکهٔ یاخته‌های عصبی** در لولهٔ گوارش می‌توان به حرکت‌های کرمی یا قطعه‌قطعه شونده در معده یا **روده** نام برد که با تحریک شدن توسط **شبکهٔ یاخته‌های عصبی** در لایهٔ ماهیچه‌ای سبب ایجاد این حرکت‌ها و جلو بردن مواد غذایی یا کمک به هضم آن‌ها می‌شوند. با توجه به شکل مقابل این یاخته‌ها فقط در لایه‌های خارج لایه زیرمخاطی و لایه‌های ماهیچه‌های صاف تا بخش داخلی ماهیچه طولی لولهٔ گوارش واقع شده‌اند. این یاخته‌های شبکه‌ای در **ترشح مواد** از غدد موجود در دیوارهٔ لولهٔ گوارش از مری تا مخرج نیز مؤثرند ولی روی غدد گوارشی **بزاقی، کبدی و لوزالمعده** نقشی **ندارند** (*پس ترشح غدد برون‌ریز موجود در مخاط و زیرمخاط مری، معده و روده توسط این شبکه تحریک می‌شوند*).



نکته تحریک انواع غدد گوارشی
- غده‌های متمرکز بزاقی، کبدی و لوزالمعده ← تحت کنترل اعصاب **خودمختار** تحریک می‌شوند.
- غده‌های لایه‌های مخاطی و زیرمخاطی لولهٔ گوارش ← تحت کنترل **شبکهٔ یاخته‌های عصبی** تحریک می‌شوند.



تست ۳۲ **ممکن نیست** ..... (قلم‌چی)

۱) تنظیم ترشح بزاق با اعصاب پاد هم‌حس صورت پذیرد.

۲) شبکهٔ عصبی روده‌ای در دهان به صورت شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی داشته باشد.

۳) فعالیت مرکز تنفس در بصل‌النخاع توسط مرکز بلع مهار شود.

۴) دستگاه هورمونی همانند دستگاه عصبی در تنظیم فعالیت دستگاه گوارش نقش داشته باشد.

پاسخ ۲ (B)

شبکهٔ یاخته‌ای عصبی در دهان وجود ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): تنظیم ترشح بزاق توسط خودمختار (*هم‌حس و پادهم‌حس*) انجام می‌شود. / گزینهٔ (۳): در هنگام بلع و عبور غذا از حلق، مرکز بلع در بصل‌النخاع، فعالیت مرکز تنفسی را که در نزدیکی آن قرار دارد مهار می‌کند. / گزینهٔ (۴): تنظیم فعالیت‌های دستگاه گوارش توسط دستگاه عصبی و هورمونی انجام می‌شود.

تست ۳۳ **با رسیدن غذا به بخشی ویژهٔ لولهٔ گوارش انسان، عمل بلع به شکل غیرارادی ادامه پیدا می‌کند. کدام گزینه دربارهٔ «خارجی‌ترین لایهٔ دارای شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی» در این بخش، صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) بخشی از پردهٔ اتصال دهندهٔ اندام‌های درون شکم است.
۲) واجد ماهیچه‌هایی با سه نوع جهت‌گیری متفاوت است.
۳) بیش از یک نوع بافت در ساختار این لایه مشاهده می‌شود.
۴) عامل چین خوردن داخلی‌ترین لایهٔ لولهٔ گوارش بر روی لایهٔ ماهیچه‌ای است.

پاسخ ۳ **A**

منظور سؤال، لایهٔ ماهیچه‌ای در مری است.
در لایهٔ ماهیچه‌ای و زیرمخاط، شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی وجود دارد.
در هر لایهٔ لولهٔ گوارش، بیش از یک نوع بافت مشاهده می‌شود. از طرفی وجود ماهیچه‌هایی با سه نوع جهت‌گیری متفاوت در معده است. همچنین این جهت‌گیری‌ها فقط برای ماهیچه‌های صاف مصداق دارد ولی در ابتدای مری، ماهیچه‌ها، اسکلتی هستند. لایه‌ای که باعث چین خوردن مخاط، روی لایهٔ ماهیچه‌ای می‌شود، زیرمخاط است.

ب) تنظیم هورمونی توسط یاخته‌های دستگاه گوارش

در سال یازدهم به‌طور مفصل می‌خوانید که هورمون‌ها توسط دو نوع یاخته‌های درون‌ریز پراکنده و متمرکز (*غدد درون‌ریز*) به عنوان پیک دوربرد به خون ترشح می‌شوند. در این فصل باید بدانید که در بخش‌های مختلف **معده و روده**، **یاخته‌های پراکنده** درون‌ریز تولیدکنندهٔ هورمون و در **لوزالمعده**، بخش **غده‌ای متمرکز** درون‌ریز تولیدکنندهٔ هورمون وجود دارد که محصولات خود یعنی هورمون‌ها را ابتدا به **خون** می‌ریزند **تا همراه با دستگاه عصبی**، فعالیت‌های دستگاه گوارش را تنظیم کنند (البته در کبد نیز به‌عنوان یک اندام گوارشی، *یاخته‌های پراکنده‌ای برای تولید هورمون اریتروپویتین* وجود دارد (*فصل ۴*)).

معده، روده و کبد ← یاختهٔ درون‌ریز پراکنده هورمون‌ساز
لوزالمعده ← غدهٔ درون‌ریز متمرکز هورمون‌ساز
یاختهٔ درون‌ریز پراکنده هورمون‌ساز / غدهٔ درون‌ریز متمرکز هورمون‌ساز ← هورمون ← خون ← بافت هدف

هورمون‌های مهم مترشحه از دستگاه گوارش انسان

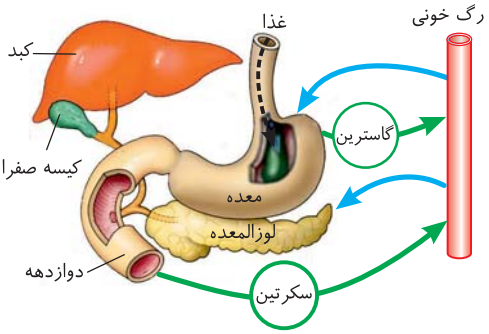
۱) سکرتین: در یاخته‌های **پوششی** هورمون‌ساز **دوازدهه** ساخته می‌شود. این هورمون پس از ورود به خون، با اثر بر بخش **برون‌ریز** پانکراس (*لوزالمعده*)، موجب **افزایش** ترشح **بیکربنات** از **لوزالمعده به دوازدهه** می‌شود.
نکته: در حقیقت بیکربنات حاصل از عمل سکرتین سبب خنثی شدن دوازدهه و فعالیت مناسب آنزیم‌های گوارشی آن می‌شود.

۲) گاسترین: در برخی یاخته‌های غدد **معده** تولید شده و پس از ورود به خون باعث **افزایش** ترشح اسید معده و آنزیم پپسینوژن می‌شود. (*روی یاخته‌های کناری و اصلی معده اثر می‌گذارد.*)
نکته: سکرتین **روده** را قلیایی‌تر و گاسترین **معده** را اسیدی‌تر می‌کند. (*هر دو در تنظیم محیط مناسب برای فعالیت آنزیم‌ها مؤثرند.*)
نکته: هم گاسترین و هم سکرتین با اثر بر تولید آنزیم یا محیط مناسب فعالیت آن‌ها در تجزیه پروتئین‌های غذا مؤثرند.
نکته: معده، هم اندام تولیدکننده و هم اندام هدف هورمون **گاسترین** می‌باشد.

۳) انسولین: از بخش درون‌ریز غدهٔ لوزالمعده (*جزایر لانگرهانس*) به خون ترشح شده و با افزایش نفوذپذیری یاخته‌های زنده بدن به گلوکز، مقدار گلوکز خون (*قند خون*) را کاهش می‌دهد (*زیست یازدهم*).

۴) گلوکاگون: از یاخته‌های نوع دیگر از بخش درون‌ریز غدهٔ لوزالمعده (*جزایر لانگرهانس*) به خون ترشح شده و با تجزیهٔ گلیکوژن ذخیره‌ای **کبد** به گلوکز، سبب بالا رفتن قند خون و **افزایش** قند در دسترس یاخته‌های بدن می‌شود (*زیست یازدهم*).

۵) اریتروپویتین: از **کبد** (*غدهٔ گوارشی*) و **کلیه‌ها** به خون وارد شده و تولید گویچهٔ قرمز در **مغز استخوان** را زیاد می‌کند (*فصل ۴*).



ورود غذا به معده ← تحریک ترشح گاسترین ← گاسترین ← خون ← یاختهٔ اصلی معده ← آنزیم ← مادهٔ آلی
یاختهٔ کناری معده ← HCL (اسید معده) ← مادهٔ معدنی
ورود غذا به دوازدهه ← تحریک ترشح سکرتین ← سکرتین ← خون ← بخش برون‌ریز لوزالمعده ← ترشح HCO_3^- به دوازدهه

نکته گاسترین، سکرتین، انسولین و گلوکاگون، پس از ورود به خون از راه سیاهرگ باب وارد کبد می‌شوند و سپس از راه سیاهرگ فوق کبدی به گردش عمومی وارد می‌شوند.

نکته تکرار می‌کنم که هورمون‌ها به فضای معده یا روده وارد نمی‌شوند بلکه به خون می‌ریزند و مثلاً گاسترین برای اثرگذاری بر یاخته‌هایی که نزدیک یاختهٔ ترشح‌کننده هستند، کل بدن را دور می‌زند و سپس کارش را انجام می‌دهد.

تست ۳۴ **هورمون ..... از ..... ترشح شده و سبب ..... می‌شود.** (قلم‌چی)

۱) گاسترین - لوزالمعده - افزایش ترشح بیکربنات

۲) سکرتین - دوازدهه - ورود کیموس به رودهٔ باریک

۳) گاسترین - معده - افزایش ترشح اسید

۴) سکرتین - کبد - افزایش ترشح پپسینوژن

پاسخ ۳ A

گاسترین از بعضی یاخته‌های دیوارهٔ معده که در مجاورت پیلور قرار دارند، ترشح و باعث افزایش ترشح اسید معده و پپسینوژن می‌شود.

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۴) به علت نادرست بودن محل ترشح و گزینهٔ (۲) به علت بی‌ربط بودن نقش ذکر شده به نقش اصلی هورمون، رد می‌شوند.

تست ۳۵ **چند مورد عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟«در انسان ..... ترشح شده از تأثیر هورمون ..... سبب ..... می‌شود.»**

الف) مادهٔ معدنی - گاسترین - فعال شدن برخی آنزیم‌ها

ب) مادهٔ آلی - گاسترین - تجزیهٔ پروتئین‌ها

ج) مادهٔ معدنی - سکرتین - کاهش pH دوازدهه

د) مادهٔ آلی - سکرتین - افزایش pH کیموس ورودی به دوازدهه

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ C

موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. HCl که سبب فعال شدن پپسینوژن‌ها و تبدیل آن‌ها به پپسین می‌شود در اثر عمل گاسترین ترشح می‌شود. / ب) نادرست است. مادهٔ آلی ترشح شده تحت تأثیر هورمون گاسترین یعنی **پپسینوژن**، پیش‌ساز و فرم غیرفعال آنزیم است و پروتئین‌ها را تجزیه نمی‌کند. / ج) نادرست است. بیکربنات، سبب قلیایی شدن و افزایش pH دوازدهه می‌شود. / د) نادرست است. تحت تأثیر سکرتین، ترشح **بیکربنات** افزایش می‌یابد (بیکربنات ماده‌ای معدنی است).

وزن مناسب

وزن مناسب معیاری است که به **ژن**، نوع غذا، تحرک، بیماری‌های مختلف، تراکم **استخوان**، بافت ماهیچه و چربی (بافت پیوندی) و... بستگی دارد. برای تعیین وزن مناسب از رابطه‌ای به نام **شاخص تودهٔ بدنی** استفاده می‌کنند که از رابطهٔ **جرم** (kg) تقسیم بر **مربع** قد (m^2) به دست می‌آید.

$$\text{شاخص تودهٔ بدنی} = BMI = \frac{\text{جرم } (kg)}{\text{مربع قد } (m^2)}$$

نکته شاخص تودهٔ بدنی را برای تعیین وزن مناسب در افراد بالای ۲۰ سال حساب می‌کنند که اگر این شاخص کمتر از ۱۹ باشد، نشان دهندهٔ **کمبود وزن** و بیش از **۳۰** نشان دهندهٔ چاقی است. شاخص بین ۱۹ تا ۲۵ وزن مناسب و بین ۲۵ تا ۳۰ به معنی اضافه وزن می‌باشد. تعیین وزن مناسب بر اساس رابطهٔ شاخص تودهٔ بدنی برای افراد در سنین مختلف، **متفاوت** می‌باشد. مثلاً در سن رشد (زیر ۲۰ سال) بر اساس **سن و جنس** این شاخص متفاوت است. تودهٔ بدنی هر فرد را با افراد **هم‌سن** و **هم‌جنس** آن مقایسه می‌کنند.

اضافه وزن (چاقی)

- در جوامع امروزی
  - علت افزایش وزن (چاقی)
    - استفاده از غذاهای پرانرژی (چرب و شیرین)
    - عوامل روانی مثل خوردن غذا برای رهایی از تنش
    - شیوهٔ زندگی کم‌تحرک یا بدون تحرک
    - عوامل ژنی
  - نتیجهٔ افزایش وزن (چاقی) ← بالا رفتن احتمال
    - دیابت **نوع ۲** (غیروابسته به انسولین معمولاً در سن بالای ۴۰ سالگی)
    - انواعی از سرطان‌ها (اختلال در تنظیم تقسیم یاخته)
    - تنگ شدن سرخرگ‌ها با افزایش LDL در خون
    - سکتهٔ مغزی و قلبی

نکاتی در بررسی تست‌ها

۱) ذخیرهٔ بیش از اندازهٔ چربی در کبد، موجب بیماری **کبد چرب** می‌شود. این بیماری سبب اختلال در فعالیت عادی کبدی می‌شود. (*نوشیدن زیاد مشروبات الکلی سبب ایجاد کبد چرب می‌شود.*)

۲) ذخیرهٔ زیاد چربی در بدن
- در کبد ← بیماری کبد چرب می‌دهد.
- در بافت چربی ← افزایش وزن می‌دهد.

کاهش وزن (لاغری)

۱) افرادی که کمتر از نیاز خود غذا می‌خورند، لاغر می‌شوند.

۲) تبلیغات و فشار اجتماعی در تمایل افراد به کاهش وزن بیش از حد، نقش مهم و کاذبی دارد.

۳) کاهش دریافت مواد مغذی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند. مثلاً کاهش دریافت **کلسیم** باعث کاهش استحکام استخوان‌ها و ضعف ماهیچهٔ قلبی (*و حتی ایست قلبی*) می‌شود. همچنین **کم‌خونی** در اثر کاهش ویتامین B_{12} و **آهن** نیز ممکن است رخ بدهد.

نکتهٔ اجتماعی: فقط افراد متخصص می‌توانند دربارهٔ مناسب بودن وزن فرد، قضاوت کنند (*به حرکات اجزاء فضولی در مورد وزن خود ندهید!*).

تست ۳۶ کدام عبارت نادرست است؟

۱) برای تعیین وزن مناسب افراد، به دانستن اندازهٔ قد آن‌ها نیازمندیم.

۲) شاخص تودهٔ بدنی افراد در سنین مختلف متفاوت است.

۳) شاخص تودهٔ بدنی افراد را همواره باید با افراد هم‌سن و هم‌جنس مقایسه کرد.

۴) وزن هر فرد به میزان بافتی از او که عایق حرارتی است نیز بستگی دارد.

پاسخ ۳ (A) از آنجا که افراد کمتر از بیست سال در سن رشد قرار دارند، برای بررسی مناسب بودن وزن این افراد (*نه همهٔ افراد!*) شاخص تودهٔ بدنی آن‌ها را با افراد هم‌سن و هم‌جنس مقایسه می‌کنند (*سایر موارد بر طبق متن کتاب درسی صحیح هستند*). گزینهٔ (۴) ویژگی بافت چربی می‌باشد که در تعیین وزن افراد مؤثر است.

درسنامه

گفتار ۳ تنوع گوارش در جانداران

- جانداران
  - تولیدکننده ← گیاهان، برخی آغازیان، برخی باکتری‌ها ← مواد آلی مورد نیاز خود را از مواد معدنی می‌سازند.
  - مصرف‌کننده
    - قارچ و باکتری‌ها ← گوارش **برون**یاخته‌ای دارند و مواد تجزیه شده را جذب می‌کنند.
    - جانوران و برخی آغازیان ← گوارش متنوعی دارند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

ساده‌ترین نوع گرفتن مواد غذایی در جاندارانی دیده می‌شود که مواد مغذی را از **سطح یاخته** یا **سطح** بدن مثل **پوست** به‌طور مستقیم از محیط، با **انتشار** و بدون صرف انرژی به دست می‌آورند. این گروه یا مواد مغذی را از آب دریا به دست می‌آورند و یا به صورت **انگل** هستند و مواد مغذی را از دستگاه گوارش یا مایعات بدن جانور میزبان به دست می‌آورند، در نتیجه **فاقد گوارش مکانیکی و شیمیایی** هستند و ماده قابل جذب را از سطح یاخته یا بدن جذب می‌کنند. مثلاً **کرم کدو** که **فاقد دهان و دستگاه گوارش** است، مواد مغذی را از سطح بدن (*پوست*) و به صورت تک‌پار یا مونومر از مواد گوارش یافتهٔ میزبان به دست می‌آورد.


«کرم کدو»

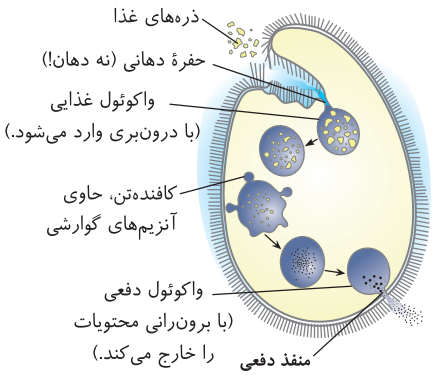
گوارش کاملاً درون‌یاخته‌ای (واکوئول گوارشی)

بسیاری از **آغازیان تک‌یاخته‌ای مثل پارامسی‌ها** و گروهی از **جانوران پریاخته‌ای مثل اسفنج** این نوع گوارش را دارند. در این جانداران، گوارش **مکانیکی** در جاندار صورت نمی‌گیرد ولی گوارش شیمیایی به‌طور کامل از ابتدا تا انتها در **درون یاخته** انجام می‌شود.

مثلاً در برخی آغازیان تک‌یاخته‌ای مثل پارامسی، **منفذی** به نام **حفرهٔ دهانی** و **منفذی** دیگر به نام **منفذ دفعی** دارند. این جانداران از همهٔ قسمت‌های خود **نمی‌توانند** مواد مورد نیاز را جذب کنند.

● گوارش در پارامسی

در جانداران تک‌یاخته‌ای آغازی همانند پارامسی، مواد غذایی که توسط عوامل محیطی، کوچک و قابل جذب شده‌اند از راه **حفرهٔ دهانی** (*نه دهان*) و به کمک **حرکت مژک‌ها**، از محیط وارد این یاخته می‌شوند. در **انتهای** حفرهٔ دهانی، با آندوسیتوز، کیسه‌ای غشایی به نام واکوئول غذایی ایجاد می‌شود. **واکوئول غذایی فاقد آنزیم می‌باشد** ولی قدرت این را دارد که در سیتوپلاسم یاخته **متحرک** باشد. این واکوئول‌ها سپس به اندامک‌هایی پر از آنزیم گوارشی، به نام لیزوزوم (*کافنده‌تن*) می‌چسبند که **به مجموعهٔ واکوئول غذایی و لیزوزوم‌ها** (*کافنده‌تن‌ها*)، **یک واکوئول گوارشی می‌گویند** که پر از آنزیم‌های گوارشی لیزوزومی است. درون واکوئول گوارشی، برخی مواد با گوارش شیمیایی هیدرولیز شده و قابل جذب و مصرف یاخته می‌شوند. این مواد واکوئول گوارشی را ترک می‌کنند و برخی از مواد نیز به صورت گوارش‌نیافته در واکوئول باقی می‌مانند. سپس کافنده‌تن‌ها (*لیزوزوم‌ها*) از قسمتی از واکوئول حاوی مواد دفعی جدا می‌شوند که در این حالت به باقی‌ماندهٔ آن، **واکوئول دفعی** می‌گویند. در نهایت، **محتویات** این واکوئول دفعی به عنوان مواد زائد و دفعی از **منفذ دفعی** یاخته خارج می‌شوند.



«گوارش درون‌یاخته‌ای در پارامسی از آغازیان»

نکات مهم با نگاه به آینده

۱ دقت کنید که پارامسی دهان ندارد بلکه **حفرهٔ دهانی** دارد که به سمت داخل یاخته فرو رفته است که در آن فرورفتگی نیز مژک وجود دارد.

۲ به این نوع گوارش، گوارش درون‌یاخته‌ای می‌گویند که فقط دارای گوارش **شیمیایی** می‌باشد. دقت کنید که فقط واکوئول گوارشی آن‌ها حاوی آنزیم تجزیه مواد غذایی می‌باشد ولی هر سه نوع واکوئول توضیح داده شدهٔ این جاندار در سیتوپلاسم حرکت می‌کند.

۳ دقت کنید که لیزوزوم (*کافنده‌تن*) در هر جانوری وجود دارد ولی گوارش درون‌یاخته‌ای مواد غذایی در هر جانوری وجود ندارد، مثلاً انسان نیز کافنده‌تن دارد و در درشت‌خوارها و سایر یاخته‌های بیگانه‌خوار دفاعی و یا برخی یاخته‌های ذخیره‌کنندهٔ مواد غذایی در کبد یا ماهیچه، گوارش درون‌یاخته‌ای برای مواد جذب‌کردهٔ خود دارد ولی گوارش **غذای** انسان **فقط** به صورت **برون**یاخته‌ای صورت می‌گیرد.

۴ در فصل ۵ می‌خوانیم که پارامسی علاوه بر این سه نوع واکوئول که برای گوارش از آن‌ها استفاده می‌کند، نوعی واکوئول نیز برای تنظیم اسمزی آب و مواد دفعی دارد که به **واکوئول انقباضی** معروف است.

تست ۳۷ چند مورد عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «پارامسی ..... کرم کدو .....»

الف) همانند - مواد مغذی را از سطح بین‌یاخته‌ای خود جذب می‌کند. ب) برخلاف - گوارش درون‌یاخته‌ای دارد.

ج) همانند - دارای دهان نمی‌باشد. د) برخلاف - منفذ دهانی و دفعی مجاور هم دارد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ B

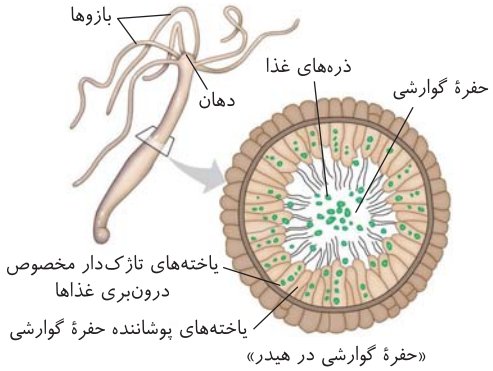
موارد (ب) و (ج) درست هستند.

تله‌های تستی الف) نادرست است. پارامسی **تک‌یاخته‌ای** است و فضای بین‌یاخته‌ای ندارد. / ب) درست است. پارامسی گوارش درون‌یاخته‌ای دارد ولی کرم کدو گوارش ندارد. / ج) درست است. پارامسی حفرهٔ دهانی دارد (*ولی دهان ندارد*). کرم کدو هم که نیازی به دهان ندارد چون دستگاه گوارش ندارد. / د) نادرست است. در پارامسی، منفذ دهانی و منفذ دفعی متفاوت است و در دو سمت یاخته قرار دارد.

جانداران دارای گوارش برون‌یاخته‌ای

در **خارج یاخته بیشتر** جانوران، مکانی برای عمل مناسب آنزیم‌های گوارشی وجود دارد که ویژهٔ گوارش برون‌یاخته‌ای می‌باشد. این مکانیسم گوارشی به دو دستهٔ حفرهٔ گوارشی و لولهٔ گوارشی تقسیم می‌شود:

● الف) حفره (کیسه) گوارشی = «گوارش ابتدا برون‌یاخته‌ای و سپس درون‌یاخته‌ای»



این نوع گوارش مثلاً در هیدر دیده می‌شود. این بی‌مهره، حاوی **یک کیسه** یا **حفرهٔ منشعب** گوارشی می‌باشد. این حفره **یک سوراخ** مشترک ورودی و خروجی مواد دارد (*دهان و مقعد خروجی آن‌ها یکی است*). ابتدا **بازوهای** اطراف دهان (*سبب ازبین بردن صید شده*) مواد غذایی را از سوراخ ورودی به عنوان دهان وارد می‌کنند. با حرکت حفره یا کیسهٔ گوارشی و به کمک **تاژک‌های** یاخته‌های درونی کیسه، گوارش (*هضم*) **مکانیکی** درون کیسه و انشعابات آن آغاز می‌شود. دیوارهٔ داخلی کیسهٔ گوارشی آن‌ها **دو نوع یاخته** استوانه‌ای‌شکل دارد.

گروهی از یاخته‌ها **آنزیم‌های گوارشی** را به درون کیسهٔ گوارشی به صورت **برون‌رانی** (*اگزوسیتوز*) ترشح می‌کنند، این آنزیم‌ها، گوارش **شیمیایی** را درون کیسهٔ گوارشی (*خارج یاخته‌ها*) **شروع** می‌کنند ولی قدرت این آنزیم‌ها، آن‌قدر نیست که تک‌پار (*مونومر*) بسازند، پس **ادامهٔ** گوارش باید **درون یاخته‌ها** صورت گیرد.

گروه دیگری از یاخته‌های سطح داخلی حفرهٔ گوارشی، مسئول جذب مواد مغذی با مکانیسم **درون‌بری** هستند (*در شکل مواد مغذی سبز رنگ در داده شده است*). گوارش شیمیایی اولیه مواد غذایی در فضای درون حفرهٔ گوارشی صورت گرفته است. از اینجا به بعد، **درون یاخته**، ابتدا واکوئل‌های غذایی به وجود می‌آید و سپس با اتصال لیزوزوم (*گوارش‌دهنده‌ترین*)ها به آن، واکوئل گوارشی تشکیل می‌شود. گوارش شیمیایی، درون‌یاخته‌ای در **واکوئل گوارشی** ادامه می‌گیرد و در آنجا مونومر ساخته می‌شود تا به مصرف جاندار برسد. مواد زائد و دفعی توسط واکوئل‌های دفعی به کمک برون‌رانی، به حفرهٔ گوارشی و انشعابات آن وارد شده تا به همراه مواد غیرقابل جذب و گوارش نشده به عنوان مواد دفعی از **همان سوراخ** ورودی، ولی این‌بار به عنوان سوراخ خروجی خارج شوند.

نکات مهم با نگاه به آینده



۱) بد نیست یاد بگیرید که در اطراف دهان هیدر، بازوهایی با نیش‌های سمی وجود دارد که مواد غذایی کوچک را به صورت مرده از راه سوراخ دهانی وارد حفرهٔ گوارشی خود می‌کند.

۲) اگر شکل حفرهٔ گوارشی هیدر را به دقت بررسی کنید، مشاهده می‌کنید که یاخته‌های درونی حفرهٔ گوارشی، دو نوع تاژک‌دار و بدون تاژک دارند. اغلب یاخته‌هایی که عمل **ذره‌خواری** یا درون‌بری مواد غذایی را انجام می‌دهند، حاوی **دو عدد تاژک** می‌باشند.

۳) در جانوران دارای حفره یا کیسهٔ گوارشی، به دلیل داشتن منفذ مشترک ورودی و خروجی مواد، جریان مواد درون حفرهٔ گوارشی آن‌ها به صورت **دوطرفه** می‌باشد. گوارش **مکانیکی** آن‌ها درون حفره ولی گوارش **شیمیایی** آن‌ها هم به صورت برون‌یاخته‌ای در حفره و هم درون یاخته‌های داخلی کیسهٔ گوارشی صورت می‌گیرد.

۴) در فصل ۴ می‌خوانیم که کرم پهن آزادزی **پلاناریا** نیز حفرهٔ گوارشی انشعاب‌داری در **تمام نواحی** بدن دارد که سبب گوارش مواد جذب شده می‌شود.

۵) در جانورانی که حفرهٔ گوارشی دارند، حرکات بدن به گردش مواد در این حفره نیز کمک می‌کند (*فصل ۴*).

۶) در مورد هیدر در فصل‌های بعد و سال یازدهم می‌خوانید که ساده‌ترین تنفس از سطح بدن و ساده‌ترین سیستم عصبی بدن را به صورت شبکه‌ای عصبی بدون مغز و گره عصبی دارد. این جانور یاخته‌های ماهیچه‌ای برای حرکت کند خود در محیط دارد.

تست ۳۸ در دیوارهٔ داخلی حفرهٔ گوارشی هیدر، هر یاخته‌ای که در گوارش شیمیایی ..... نقش دارد، فاقد ..... می‌باشد.

۱) درون‌یاخته‌ای - تاژک
۲) برون‌یاخته‌ای - آنزیم درونی
۳) برون‌یاخته‌ای - قرارگیری در بازوی جانور
۴) درون‌یاخته‌ای - بیش از یک زائده

پاسخ ۳ A

در دیوارهٔ داخلی حفرهٔ گوارشی هیدر یاخته‌های بدون تاژک که آنزیم ترشح می‌کنند، در گوارش برون‌یاخته‌ای نقش دارند. این یاخته‌ها تاژک ندارند و در دهان یا بازوهای جانور نیز قرار ندارند.

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۴): یاخته‌های درون‌بری کننده حفرهٔ گوارشی **دو زائده** به نام تاژک دارند. / گزینهٔ (۲): درون همهٔ یاخته‌های زنده، آنزیم وجود دارد.

● **ب) لولهٔ گوارش = گوارش کاملاً برون‌یاخته‌ای دارند.**

این مدل در **تکامل یافته‌ترین جانوران** صورت می‌گیرد که **دهان و مخرج جدا از هم دارند.** جهت جریان مواد غذایی در آن‌ها **یک‌طرفه** و از دهان به سوی مخرج می‌باشد. **معمولاً در این گروه، غذای گوارش یافته و مواد دفعی با هم مخلوط نمی‌شوند.** در این جانوران، دستگاه گوارش به صورت کامل شکل گرفته است.

نکته در این گروه، کلیهٔ مراحل گوارش شیمیایی مواد غذایی در **خارج یاخته** و در لولهٔ گوارش صورت می‌گیرد. پس از گوارش، مونومرها (*واحد سازندهٔ درشت‌مولکول‌ها*) و مواد کوچک مثل آب و یون‌ها توسط یاخته‌ها جذب می‌شوند.

نکته مهم **رفع ابهام:** هر **جانوری**، صرف نظر از اینکه گوشت‌خوار، گیاه‌خوار یا همه‌چیزخوار باشد و یا هر نوع سیستم گوارشی داشته باشد، می‌تواند گلوکز اضافی را در یاخته‌های **ماهیچه‌ای و کبدی** (*در صورت وجود*) خود به صورت **گلیکوژن** ذخیره کند و در موقع نیاز با گوارش **درون‌یاخته‌ای** و هیدرولیز گلیکوژن، دوباره گلوکز آزاد کرده و با مکانیسم تنفس یاخته‌ای، تولید انرژی کند ولی این گوارش گلیکوژن جزء گوارش درون‌یاخته‌ای **مواد غذایی** به حساب نمی‌آید.

بررسی لولهٔ گوارش در ملخ

ملخ حشره‌ای **گیاه‌خوار** با ۶ پای بندبند می‌باشد که پاهای **عقبی** از بقیه درازترند. این جانور چون مواد گیاهی می‌خورد، پس آنزیم تجزیه‌کنندهٔ نشاسته (*آمیلاز*) را به صورت **برون‌یاخته‌ای** و آنزیم تجزیه‌کنندهٔ گلیکوژن **ذخیره‌ای** را به صورت **درون‌یاخته‌ای** دارد (*جانورگیاه‌خوار فاقد آنزیم تجزیه‌کنندهٔ گلیکوژن به صورت برون‌یاخته‌ای مرده‌خوار!*). در اطراف دهان ملخ، **آرواره‌هایی** وجود دارد که **شروع** گوارش **مکانیکی** را انجام می‌دهند و غذای خرد کرده را وارد **دهان** می‌کنند. در زیر **مری** و **چینه‌دان** آن‌ها، غدد بزاقی متعدد وجود دارد که همگی از یک مجرا ترشحات خود را وارد حفرهٔ دهانی می‌کنند. پس از دهان، غذایی که گوارش روی آن **آغاز** شده است، وارد **مری** می‌شود. در **انتهای مری** بخش **حجیمی** به نام **چینه‌دان** وجود دارد که غذا هم در آنجا **ذخیره و نرم** می‌شود. (*در چینه‌دان گوارش مکانیکی و خرد شدن غذا صورت نمی‌گیرد.*) در ملخ، پس از چینه‌دان، غذا وارد بخش **کوچکی** به نام **پیش‌معده** می‌شود. دیوارهٔ داخلی پیش‌معده **دندانه‌دار** بوده و باعث افزایش و پایان گوارش **مکانیکی** شده و به خرد شدن بیشتر غذاها کمک می‌کند. **معده و کیسه‌های اطراف معده**، آنزیم‌های گوارش شیمیایی را وارد **پیش‌معده** می‌کنند. در اثر حرکات مکانیکی پیش‌معده و عمل گوارش شیمیایی آنزیم‌های درون آن، ذرات غذایی آمادهٔ جذب شده و در نهایت وارد **معده** می‌شوند. مواد غذایی به صورت مونومر (*تک‌پر*) و قابل جذب در **معده** جذب می‌شوند. در **ملخ** برخلاف سایر جانوران دارای لولهٔ گوارش، **جذب غذا در معده** صورت می‌گیرد. مواد گوارش‌نیافته به همراه آب و یون‌ها از راه معده و اوریک‌اسید و کمی املاح از راه لوله‌های دفعی مالپیگی (*فصل ۵*) وارد روده و سپس راست‌روده می‌شوند. با جذب آب و یون‌های آن در **راست‌روده**، سرانجام مدفوع به صورت ترکیبی از مواد زائد غذایی و مواد زائد نیتروژن‌دار (*اوریک‌اسید*) از مخرج که قسمت انتهایی لولهٔ گوارش است، خارج می‌شود.

چند نکتهٔ مهم

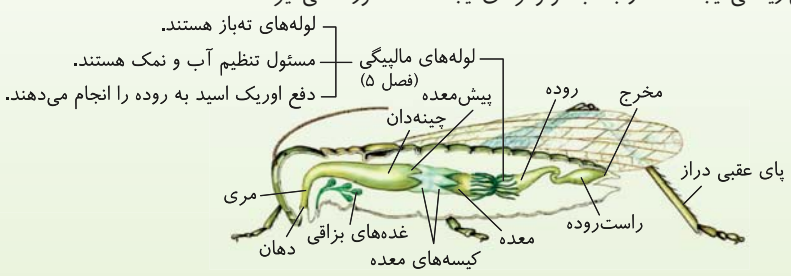
۱) در ملخ، **شروع** گوارش مکانیکی توسط **آرواره‌های دهانی** بوده ولی گوارش مکانیکی در **پیش‌معده** پایان می‌پذیرد.

۲) ملخ فاقد **سنگدان** است و چینه‌دان آن بین مری و پیش‌معده قرار دارد. دقت کنید که آرواره‌های ملخ در اطراف دهان وجود دارند که نقش اصلی در **شروع** گوارش مکانیکی دارند.

۳) معده و کیسه‌های معده، آنزیم‌های خود را به بخش **قبل** از خود یعنی به پیش‌معده وارد می‌کنند تا در پیش‌معده علاوه بر گوارش **مکانیکی**، گوارش **شیمیایی** غذا نیز انجام شود.

۴) در ملخ برخلاف انسان، در معده، واحد سازندهٔ مواد آلی زیستی ایجاد شده و جذب مونومرهای ایجاد شده صورت می‌گیرد.

۵) ملخ
- آغاز گوارش مکانیکی ← **آرواره دهانی**
- پایان گوارش مکانیکی ← **پیش‌معده**
- محل جذب غذا ← **معده**
- محل جذب آب و یون‌ها ← **راست‌روده**



«لولهٔ گوارش ملخ»

۶) در فصل‌های جلوتر و سال آینده می‌آموزید که ملخ مانند سایر **حشرات** گردش خون **باز** دارد و **فاقد** مویرگ خونی می‌باشد. به همین دلیل مواد جذب شده از **معده** ملخ ابتدا در حفرات داخلی بدن وارد **همولنف** به عنوان مایع ترکیبی از خون، لنف و مایع بین‌یاخته‌ای می‌شود. این جانوران تنفس نایدیسی، چشم مرکب، لقاح داخلی، طناب عصبی شکمی با چند گره مجزا، قلب پشتی با منافذ دریچه‌دار و سامانهٔ تنظیم اسمزی با لوله‌های مالپیگی دارند.

تست ۳۹ **چند مورد عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «قسمتی از لولهٔ گوارش ملخ که بین ..... و ..... قرار دارد، وظیفهٔ ..... را بر عهده دارد.»**

الف) چینه‌دان - سنگدان - پایان گوارش مکانیکی
ب) کیسه‌های معده - روده - جذب غذا
ج) راست‌روده - معده - ذخیره و نرم کردن غذا
د) مری - پیش‌معده - ادامهٔ گوارش مکانیکی

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ C

فقط مورد (ب) درست و بقیه موارد نادرست هستند.

نکته‌های تستی الف) نادرست است. لولهٔ گوارش در ملخ سنگدان ندارد. / ب) درست است. معدهٔ ملخ، بین روده و کیسه‌های معده قرار دارد و عمل جذب غذا را انجام می‌دهد. / ج) نادرست است. ذخیره و نرم کردن، غذا بر عهدهٔ **چینه‌دان** است که بین مری و پیش‌معده قرار دارد (*اندام اشاره شده در این مورد، روده است*). / د) نادرست است. چینه‌دان که بین مری و پیش‌معده قرار دارد به گوارش مکانیکی نمی‌پردازد بلکه فقط غذای ذخیره کرده را نرم‌تر می‌کند تا آمادهٔ گوارش نهایی شود.

تست ۴۰ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «بخش دندانه‌دار کوچک در لولهٔ گوارش ملخ از سمت دهان به قسمتی متصل است که .....»**

۱) حجیم‌ترین بخش لولهٔ گوارش می‌باشد.
۲) جذب غذا را شروع می‌کند.
۳) گوارش مکانیکی را به پایان می‌رساند.
۴) آنزیم‌های خود را به آن وارد می‌کند.

پاسخ ۱ A

منظور سؤال **پیش‌معدهٔ** ملخ است که از سمت دهان به چینه‌دان متصل است. با توجه به شکل لولهٔ گوارش ملخ، چینه‌دان درازترین و حجیم‌ترین بخش لولهٔ گوارش است.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۲): چینه‌دان وظیفهٔ ذخیره و نرم کردن غذا را دارد (*نه جذب غذا*). جذب غذا توسط معده انجام می‌شود که در آن سوی پیش‌معده قرار دارد (*نه در سمت دهان*). / گزینهٔ (۳): گوارش مکانیکی در چینه‌دان وجود ندارد و در پیش‌معده این گوارش به پایان می‌رسد. / گزینهٔ (۴): آنزیم‌های پیش‌معده به چینه‌دان وارد نمی‌شوند.

لولهٔ گوارش پرندهٔ دانه‌خوار

نکات

۱) دهان ← مری ← چینه‌دان بزرگ به سمت شکم ← معدهٔ لوله‌ای باریک ← سنگدان (بالای کبد) ← رودهٔ باریک ← رودهٔ بزرگ ← مخرج

۲) در پرندهٔ دانه‌خوار، برخلاف سایر جانوران معده کیسه‌ای‌شکل نمی‌باشد و به صورت لوله‌ای باریک بین چینه‌دان و سنگدان قرار دارد.

۳) کبد در گنجشک، در زیر **معده** و **سنگدان** واقع شده است که ترشحات خود را از مجرای مشخصی وارد بخش ابتدایی **رودهٔ باریک** می‌کند. رودهٔ باریک پیچ‌خوردگی زیادی دارد ولی رودهٔ بزرگ پیچ‌خوردگی ندارد و طول کوتاهی تا مخرج دارد.

۴) چینه‌دان و سنگدان جانوران، قدرت **جذب غذا** ندارند ولی هر دو در گوارش نقش دارند. سنگدان بیشتر در گوارش مکانیکی و چینه‌دان در ذخیره کردن غذا نقش دارد.

۵) سنگدان و کبد مواد خود را مستقیماً وارد رودهٔ باریک جانور می‌کنند ولی دقت کنید که کبد برخلاف سنگدان قسمتی از لولهٔ گوارش جانور نمی‌باشد.

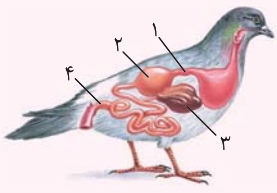


«لولهٔ گوارش پرندهٔ دانه‌خوار»

۶) در پرندگان، سنگدان بخش **عقبی** یا انتهایی حجیم **معده** می‌باشد که حاوی ساختاری **ماهیچه‌ای** است. این اندام سنگریزه‌هایی که پرنده می‌بلعد را در خود نگه می‌دارد که با عمل ماهیچه‌ها و اثر این سنگریزه‌ها، آسیاب کردن غذا را در گوارش **مکانیکی** تسهیل می‌کند.

۷) در فصل‌های جلوتر می‌آموزید که پرندگان ویژگی منحصر به فردی برای تنفس به صورت کیسه‌های هوادار اطراف شش‌ها و در مناطق مختلف بدن دارند که O_2 ذخیره می‌کنند تا انرژی زیاد حرکت آن‌ها تأمین شود.

تست ۴۱ **با توجه به شکل مقابل، کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟**
«بخش ..... معادل بخشی از دستگاه گوارش انسان است که .....»



۱) (۴) - قسمت انتهایی آن راست‌روده است.
۲) (۳) - یاخته‌های آن توانایی تولید آنزیم‌هایی را دارند.
۳) (۲) - تخریب گروهی از یاخته‌های آن باعث ایجاد نوعی کم‌خونی می‌شود.
۴) (۱) - باز شدن بندارهٔ ابتدای آن، سبب خروج تدریجی کیموس از آن می‌شود.

پاسخ ۲ C

بخش‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب «معده، سنگدان، کبد و رودهٔ بزرگ» می‌باشند. یاخته‌های کبد توانایی ساخت آنزیم را دارند برای مثال، اندامک کافندتن (*لیزوزوم*) کیسه‌ای است که انواعی از آنزیم‌ها برای تجزیه مواد دارد.
دقت کنید صفرای ساخته شده در کبد، فاقد آنزیم می‌باشد.

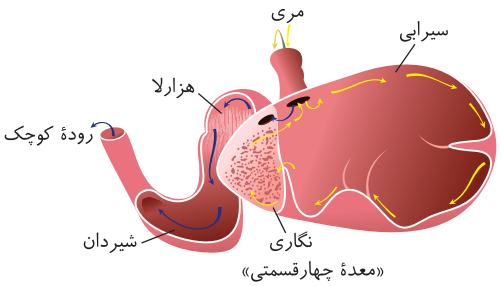
نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): بعد از رودهٔ بزرگ، راست‌روده قرار دارد. / گزینهٔ (۳): انسان سنگدان ندارد. اگر یاخته‌های کناری معدهٔ انسان تخریب شوند یا معده برداشته شود، علاوه بر ساخته نشدن کلریدریک‌اسید، فرد به کم‌خونی خطرناکی دچار می‌شود. / گزینهٔ (۴): با باز شدن بندارهٔ **پیلور** در **انتهای** معده، کیموس وارد دوازدهه می‌شود.

لولهٔ گوارش در پستانداران گیاه‌خوار

● پستانداران نشخوارکننده (گاو و گوسفند)

این گروه، **معدهٔ چهارقسمتی** دارند. معدهٔ آن‌ها دارای یک **کیسهٔ بزرگ** به نام **سیرابی** و در ادامه یک قسمت **کوچک‌تر** به نام **نگاری** است. معدهٔ آن‌ها بعد از نگاری، حاوی **یک اتاقک لایه‌لایه‌ای** به نام **هزارلا** و معدهٔ واقعی به نام **شیردان** می‌باشد که به رودهٔ باریک متصل می‌شود.

این پستانداران به **سرعت** غذا می‌خورند و غذا را ابتدا به صورت **نیمه جویده** از دهان و مری به سرعت بلعیده و وارد **سیرابی** در عقب بدن جانور می‌کنند. درون سیرابی **میکروب‌های فراوان** وجود دارد که آنزیم **سلولاز** ترشح کرده و گوارش میکروبی آن مقدار زیادی از سلولزها را هیدرولیز می‌کند. در سیرابی، سلولز مواد غذایی توسط عمل میکروب‌ها گوارش یافته، سپس توده‌های غذایی از سیرابی به **نگاری** رفته که در این بخش کوچک نیز کمی گوارش شیمیایی سلولز ادامه می‌یابد (*که البته در کتاب ذکر نشده است*). سپس جانور در فرصت مناسب و در مکانی امن، با مکانیسم نشخوار کردن دوباره مواد نیمه گوارش یافته در نگاری را وارد سیرابی کرده و از راه مری به دهان برمی‌گرداند. در این حالت، جانور غذا را **به‌طور کامل می‌جود.**



«معدهٔ چهارقسمتی»

پس از جویدن کامل، بلع دوم صورت گرفته و دوباره غذا از راه دهان و مری به **سیرابی** برمی‌گردد. این بار در سیرابی حالت مایع بیشتری (*گوارش مکانیکی بیشتر*) پیدا می‌کند و دوباره از مسیر کوتاه‌تری نسبت به مسیر اولیه (*فشرده‌تر و کم‌رنگ‌تر شکل مقابل*) وارد نگاری می‌شود. پس از این عمل مواد سریعاً به بخش **اتاقک لایه‌لایه هزارلا** می‌رود و تا حدودی **آبگیری** می‌شود تا سرانجام وارد **شیردان** (*معدهٔ واقعی*) شود. در آنجا **آنزیم‌های** گوارشی قوی که توسط **خود** جانور ترشح می‌شوند، وارد عمل شده و گوارش شیمیایی را برای تجزیه سایر مواد غذایی مثل سایر قندها، پروتئین‌ها و... ادامه می‌دهند. غذای گوارش یافته از شیردان وارد رودهٔ باریک شده و پس از گوارش **نهایی** در آنجا **جذب** می‌شود. پس از جذب آب مورد نیاز در رودهٔ بزرگ، مواد زائد دفعی به صورت مدفوع از مخرج خارج می‌شوند.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) دو بخش اول معده (*سیرابی و نگاری*) در بلع **اول و دوم** نقش دارند ولی دو بخش دیگر (*هزارلا و شیردان*) فقط در بلع **دوم** و **پس** از نشخوار نقش دارند.

۲) در نشخوارکنندگان، وجود میکروب برای گوارش **سلولز** ضروری است و در معده، گوارش میکروبی قبل از گوارش آنزیمی جانور صورت می‌گیرد.

۳) غذا ← دهان ← جویدن اولیه ← بلع اول ← مری ← سیرابی ← نگاری ← سیرابی ← مری ← دهان جویدن دوم

غذا ← دهان ← جویدن اولیه ← بلع اول ← مری ← سیرابی ← نگاری ← سیرابی ← مری ← بلع دوم ← مری ← سیرابی ← نگاری ← هزارلا ← شیردان ← رودهٔ باریک ← رودهٔ بزرگ ← مخرج

۴) در این جانوران غذا دوبار از دهان و نگاری می‌گذرد. (*اگر خیلی بخواهیم ریز بینی کنیم، از سیرابی سه‌بار رد می‌شود چون برای نشخوار باید از نگاری به سیرابی برگردد (طبق شکل کتاب)*).

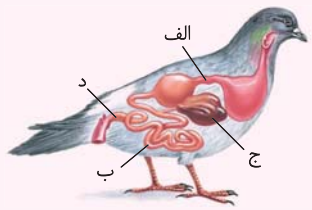
۵) در این جانوران، غذا سه‌بار از مری عبور می‌کند، یک‌بار قبل از نشخوار و دوبار بعد از شروع نشخوار و پس از جویدن ثانویه!

۶) با توجه به شکل لولهٔ گوارش نشخوارکنندگان مسیر غذا در معدهٔ آن‌ها به صورت‌های زیر است:
- قبل از نشخوار پس از بلع اول، غذا کل محیط سیرابی را طی می‌کند تا به نگاری برسد.
- قبل از نشخوار پس از بلع اول، غذای وارد شده به نگاری از پایین به سمت بالا حرکت می‌کند تا دوباره وارد سیرابی و مری شود.
- مری فقط به‌طور مستقیم به سیرابی راه دارد.
- پس از نشخوار، غذای وارد شده به سیرابی محیط این اندام را طی نمی‌کند و از مسیر کوتاهی وارد نگاری و سپس سریع وارد هزارلا می‌شود.
- در هزارلا، مواد وارد شده مسیری از بالا به سمت پایین پیدا می‌کنند و طی این مسیر آب آن‌ها جذب می‌شود.
- مسیر غذا در گوارش آنزیمی خود جانور در شیردان از پایین به سمت بالا می‌باشد تا به رودهٔ باریک وارد شود.

۷) **اغلب** جانوران، آنزیم تجزیه‌کنندهٔ سلولز را **نمی‌سازند** ولی جانوران همه‌چیزخوار (*انسان*) و گیاه‌خوار (*ملخ، گاو و گوسفند*) برای بقا نیاز به میکروب‌هایی دارند که برای آن‌ها **سلولاز** را تأمین کنند.

۸) چون نشخوارکنندگان متان زیادی آزاد می‌کنند در گرم شدن کرهٔ زمین نقش دارند (*این متان توسط آنزیم‌ها، حین تجزیهٔ سلولز ایجاد می‌شود*).

تست ۴۲ **با توجه به شکل مقابل، کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟**



«بخش ..... معادل بخشی از دستگاه گوارش .....»

۱) (ج) - انسان است که خون خود را وارد سیاهرگ باب می‌کند.

۲) (الف) - ملخ است که قدرت ترشح آنزیم و جذب غذا دارد.

۳) (ب) - گوسفند است که شروع فعالیت آنزیم‌های گوارشی جانور می‌باشد.

۴) (د) - انسان است که پرز و یاخته‌های دارای قدرت ترشح مادهٔ پروتئین‌دار مؤثر در فعالیت گوارشی ندارد.

پاسخ ۲ C

(الف) معده، (ب) رودهٔ باریک، (ج) کبد و (د) رودهٔ بزرگ را نشان می‌دهد. بخش (الف)، معده است که در ملخ توانایی ترشح آنزیم به درون پیش‌معده دارد و خود آن مسئول جذب غذا می‌باشد (درستی گزینهٔ (۲)).

تله‌های تستی گزینـهٔ (۱): کبد در انسـان، خون سـیاهرگ بـاب را دریافت می‌کند (*نه اینکه خون خود را به این سـیاهرگ برگرداند*). / گزینهٔ (۳): گوسـفند نشـخوارکننده اسـت و شروع فعالیت آنزیم‌های گوارشی جانور در شـیردان یا بخش آخر معدهٔ آن می‌باشد. / گزینهٔ (۴): رودهٔ بزرگ پرز ندارد ولی یاخته‌های آن توانایی ترشح موسین مادهٔ مخاطی به عنوان یک گلیکوپروتئین مؤثر در فعالیت گوارشی دارند.

تست ۴۳ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «هر بخشی از لولهٔ گوارش ..... که به ..... مستقیماً موادی را وارد می‌کند، قطعاً .....»**

۱) ملخ - پیش‌معده - در زیر غدد بزاقی قرار دارد.

۲) پرندهٔ دانه‌خوار - رودهٔ باریک - در فرایند آسیاب کردن غذا نقش دارد.

۳) گاو - اناقک لایه‌لایه - به رودهٔ باریک نیز راه دارد.

۴) انسان - رودهٔ کور - یاخته‌هایی با توانایی ترشح سکرتین در طول خود دارد.

پاسخ ۲ B

منظور سـؤال را سـریع اشـتباه هم کبد و هم سـنگدان در نظر نگیرید! بلکه در مورد بخش‌های **لولهٔ گوارش** سؤال کرده که شما بارها در دام آن افتاده‌اید! همان‌طور که الان فهمیدید، کبد بخشـی از لولهٔ گوارش نیسـت و خب غذا وارد آن نمی‌شـود تا هضم مکانیکی کند. منظور گزینهٔ (۲) سنگدان با قدرت گوارش مکانیکی است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): غدد بزاقی در ملخ زیر لولهٔ گوارش و بخش ابتدای آن (*مری و چینه‌دان*) هسـتند پس در زیر غدهٔ بزاقی هیچ بخشـی از لولهٔ گوارش ملخ قرار ندارد (*توضیح کوتاه‌تر گزینهٔ (۱): لولهٔ گوارش در ملخ روی غده‌های بزاقی است نه زیر آن*). / گزینهٔ (۳): نگاری منظور عبارت است که مستقیماً موادی را به روده وارد نمی‌کند. / گزینهٔ (۴): در رودهٔ باریک فقط بخش ابتدایی آن یا **دوازدهه**، سـکرتین ترشـح می‌کند. در حالی که بخش انتهایی رودهٔ باریک مستقیماً به رودهٔ کور متصل است.

تست ۴۴ **کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟** (قلم‌چی)

«..... از نظر عملکردی، معادل بخشی از دستگاه گوارش انسان است که .....»

۱) هزارلای گاو - در انتهای آن دو بندارهٔ داخلی و خارجی وجود دارند.

۲) رودهٔ گاو - غذای بلع شده در آن انبار می‌شود و واجد چین‌خوردگی است.

۳) کیسه‌های معده در ملخ - ذخیرهٔ بیش از اندازهٔ چربی در آن موجب بیماری می‌شود.

۴) معدهٔ ملخ - ابتدا و انتهای آن، در سمتی از بدن است که کیسهٔ صفرا نیز در همان سمت واقع شده است.

پاسخ ۴ C

معدهٔ ملخ همانند رودهٔ باریک انسـان، جایگاه جذب و ترشـح آنزیم‌های گوارشی است. دوازدهه (*بخش ابتدایی رودهٔ باریک*) همانند بخش انتهای آنکه به روده بزرگ ختم می‌شود، در سمت راست بدن قرار گرفته است. کیسهٔ صفرا نیز در سمت راست بدن واقع شده است.

تله‌های تستی گزینـهٔ (۱): دقـت کنید، هزارلای گاو، از نظر عملکردی همانند رودهٔ بزرگ انسـان در جذب آب نقش دارد (*این دو اندام، مواد دیگر را به ندرت جذب می‌کنند اما مثلاً رودهٔ باریک، مواد دیگری را هم جذب می‌کند پس شـباهت این دو، به‌هم، بیشـتر از دیگران اسـت*). در انتهای راسـت‌روده، بنداره‌های داخلی و خارجی قرار دارند، با توجه به متن کتاب درسـی راسـت‌روده بعد از رودهٔ بزرگ قرار دارد و جزء آن نیسـت. / گزینهٔ (۲): شبیه‌ترین اندام به رودهٔ گاو در انسـان، روده اسـت که به جذب می‌پردازد. این اندام برخلاف معده، غذای بلع شـده را انبار نمی‌کند. / گزینهٔ (۳): کیسـه‌های معده ترشح آنزیم دارند اما کبد انسان که چربی‌ها را ذخیره می‌کند، صفرای بدون آنزیم را تولید می‌کند. (*تأیید شیوه‌ترین اندام انسان به کیسه‌های معدهٔ ملخ، نوزالمعده باشد.*)

فصل سوم
تبادلات گازی

درسنامه

گفتار ۱ سازوکار دستگاه تنفس در انسان

تاریخچه و اصول کلی تنفس یاخته‌ای

مقدمه:

نفس کشیدن یا همان تنفس یاخته‌ای در همهٔ جانداران زنده وجود دارد و فرایندی است که با آن انرژی به دست می‌آورند. دقت کنید که در **بسیاری** از **جانوران** این فرایند، ویژگی آشکار و قابل مشاهده می‌باشد و در ذهن بسیاری از ما، نفس کشیدن به معنی «زنده بودن» می‌باشد. پس بریم ببینیم هر نفسی، فرو می‌رود چه تاریخچه‌ای و داستانی دارد!

تاریخچه

ارسطو به عنوان فیلسوفی که افلاطون نام‌دار به وی لقب «علم» داده بود، نمی‌دانست که هوا مخلوطی از **چند نوع گاز** است و ترکیب شیمیایی هوای **دمی و بازدمی** را **یکسان** می‌دانست. او معتقد بود که نفس کشیدن برای **خنک شدن قلب** انجام می‌شود. محققین بعدی پس از اینکه ترکیبات هوای **دمی و بازدمی** را مقایسه و بررسی کردند، متوجه شدند که نسبت مقدار **اکسیژن به کربن دی‌اکسید** در هوای **دمی** بیشتر است ولی این نسبت در هوای بازدمی کاهش یافته است. در حقیقت نسبت CO_2 در هوای بازدمی از دمی بیشتر می‌باشد. بنابراین مطلبی عنوان کردند که «اهمیت تنفس فراتر از چیزی است که ارسطو بیان کرده بود».

نکته **اهمیت** فرایند **تنفس** زمانی روشن‌تر شد که انسان توانست ارتباط بین **دستگاه تنفس و دستگاه گردش خون** را پیدا کند.

نکته اهمیت فرایند تنفس از آنچه که ارسطو می‌پنداشت فراتر است. درک این اهمیت، زمانی ممکن شد که پس از ارسطو، آدمی توانست ارتباط دستگاه تنفس و دستگاه گردش خون را بیابد.

تست ۱ **ارسطو، در ارتباط با نفس کشیدن، نظریه‌ای را ارائه داد. کدام گزینه در ارتباط با این نظریه به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) وی معتقد بود هوا خود مخلوطی از چند نوع گاز است.

۲) امروزه مشخص شده است نفس کشیدن باعث خنک شدن قلب می‌شود.

۳) این نظریه بیان می‌کرد هوای دمی و بازدمی از نظر ترکیب شیمیایی یکسان‌اند.

۴) وی با توجه به ارتباط دستگاه گردش خون و تنفس، توانست اهمیت تنفس را بیان نماید.

پاسخ ۳ ارسطو، معتقد بود که نفس کشیدن باعث خنک شدن قلب می‌شود. او نمی‌دانست که هوا خود مخلوطی از چند نوع گاز است. بنابراین هوای دمی و بازدمی را از نظر ترکیب شیمیایی یکسان می‌دانست.

انواع خون از نظر میزان گازهای تنفسی

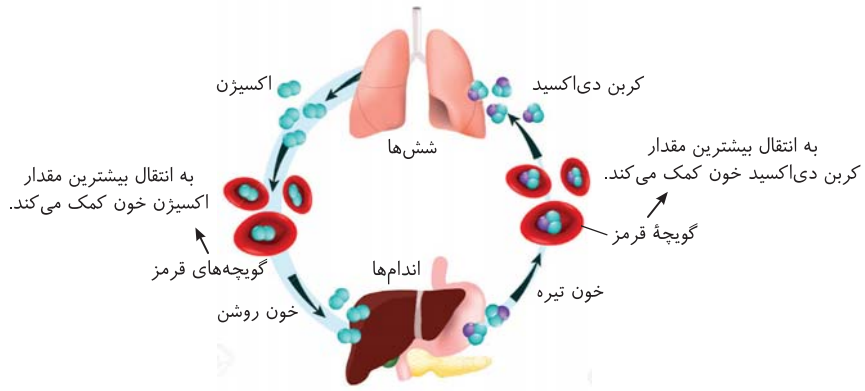
خون تیره

با اینکه در فصل بعد به‌طور کامل به بحث دربارهٔ خون و گردش آن در بدن می پردازیم ولی فعلاً بدانید که خون تیره، خونی است که نسبت اکسیژن به کربن دی‌اکسید **کمی** دارد. در حقیقت دستگاه گردش خون انسان وظیفه دارد این خون تیره را از اندام‌ها به سوی قلب ببرد و سپس از قلب به سوی شش‌ها برده تا تهویه یا تبادل **گازها** را انجام دهد. این خون پس از تولید در اندام‌ها، ابتدا توسط دو بزرگ‌سیاهرگ **زیرین و زبرین** به دهلیز راست و سپس به بطن راست وارد می‌شود. در نهایت چون تا وقتی که O_2 آن مناسب نشود به درد یاخته نمی‌خورد، باید برای تهویه گازها از راه **سرخرگ‌های ششی** به سمت شش‌ها برود.

خون روشن

خونی است که در شش‌ها اکسیژن هوا را گرفته و مقدار کربن دی‌اکسید **کمی** دارد. این خون از **دستگاه تنفس ابتدا توسط سیاهرگ‌های ششی** (۴عدد) **به دهلیز چپ و سپس به بطن چپ قلب** رفته تا در نهایت توسط **دستگاه گردش خون** به اندام‌ها و یاخته‌ها برسد.

دقت کنید که **همواره** یاخته‌ها اکسیژن مورد نیاز را از خون **روشن** در اختیار می‌گیرند، تا **تنفس واقعی درون‌یاخته‌ای** را برای تولید ATP انجام دهند (حتی دهلیز و بطن راست قلب هم که درون حفرهٔ خود، خون تیره دارند، برای تبادل گاز تنفسی از خون روشن، O_2 می‌گیرند).



توجه! دقت کنید که خون تیره و روشن، **فقط** بر مبنای **نسبت مقدار** O_2 و CO_2 می‌باشد و اصلاً ربطی به مقدار **مواد غذایی** مثل گلوکز و آمینواسید و... **ندارد**. پس **این دیدگاه که خون تیره برخلاف خون روشن، خونی با غذای کم می‌باشد**، کاملاً نادرست است. مثلاً خونی که از روده‌ها و سایر بخش‌های گوارشی از طریق **سیاهرگ باب** به **کبد** وارد می‌شود، سرشار از مواد غذایی (*قند، آمینواسید و...*) می‌باشد ولی این رگ حاوی نسبت CO_2 به O_2 بالایی بوده و خون **تیره** دارد.

نگاهی به آینده

در بدن انسان، سیاهرگ‌های **ششی** و سیاهرگ **بند ناف** در مادر باردار، تنها سیاهرگ‌های دارای خون **روشن** می‌باشند که برای کنکور، دانستن آن‌ها لازم می‌باشد.

تنفس یاخته‌ای چیه؟!

خیلی‌ها تنفس را فقط دم و بازدم و تکان خوردن قفسهٔ سینه می‌دانند ولی دقت کنید که تنفس اصلی درون یاخته‌ها برای تولید انرژی زیستی (ATP) انجام می‌شود. در حقیقت الان باید بفهمید اصلاً واسه چی تو فصل قبل گوارش انجام دادیم و غذا خوردیم و اصلاً چرا مونوساکارید ایجاد کردیم؟!

پاسخ ساده است. در بدن جانوران **مواد غذایی** مثل **گلوکز** انرژی بسیار زیادی در پیوندهای خود ذخیره دارند. این انرژی باید در یاخته‌ها با فرایندی به نام تنفس یاخته‌ای و با تجزیهٔ گلوکز آزاد شود که البته در کتاب دوازدهم به‌طور کامل آن را یاد می‌گیرید. الان فقط لازمه بدونید که: چون انرژی فرایندهای یاخته‌ای، به‌طور معمول **مستقیماً از رایج‌ترین منبع یعنی** ATP تأمین می‌شود. بنابراین گلوکز باید وارد یاختهٔ زنده شده و طی واکنش‌هایی به نام تنفس یاخته‌ای، ضمن تجزیه شدن، انرژی پیوندهای آن به صورت **نهفته در مولکول** ATP ذخیره شود. (*در حقیقت ATP سوخت یا پول نقدی است که در تنفس یاخته‌ای تولید می‌شود و تقریباً در هر واکنش انرژی‌خواه یاخته‌ای با مصرف آن زندگی ادامه می‌یابد*).

نگاهی به آینده

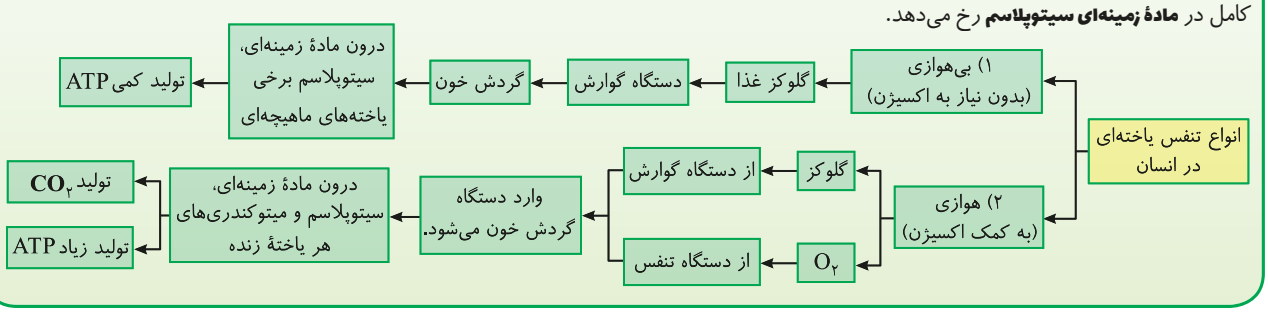
در زیست دوازدهم می‌خوانید که در واکنش تنفس یاخته‌ای، یاخته از **تجزیهٔ** گلوکز، ATP به دست می‌آورد. اگر یاخته، تجزیهٔ گلوکز را با استفاده از اکسیژن انجام دهد، **مقدار بسیار بیشتری** ATP به دست می‌آورد که به آن تنفس **هوازی** می‌گویند که خلاصهٔ واکنش آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{گلوکز}} + 6O_2 + ADP + \text{فسفات} \rightarrow \text{مقدار زیادی } ATP + 6CO_2 + 6H_2O$$

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) البته در نوعی تنفس یاخته‌ای به نام **بی‌هوازی** نیز که در **برخی** یاخته‌ها (*مثل ماهیچه‌های مخطط هنگام ورزش*) رخ می‌دهد، مقدار **کمی** ATP از تجزیهٔ گلوکز به دست می‌آید (*و بعدش هم کلی بدن درد می‌گیریم!*).

۲) در زیست دوازدهم می‌آموزید که بخشی از تنفس یاخته‌ای **هوازی** یوکاریوت‌ها، در سیتوپلاسم و بخشی در راکیزه‌ها صورت می‌گیرد ولی تنفس **بی‌هوازی** به‌طور کامل در **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** رخ می‌دهد.



۳ **جمع‌بندی:** به قول سعدی «هر نفسی که فرو می‌رود، مُمِّد (نه‌مَنَّد) حیات است» ولی از نظر زیست‌شناسی هر نفسی که فرو می‌رود، مقداری ATP تولید می‌شود تا مُمِّد حیات شود.

۴ در تنفس هوازی، برای تجزیهٔ گلوکز، **اکسیژن** باید **مصرف** شود و **کربن دی‌اکسید** باید **تولید** و از بدن خارج شود. **یکی** از علل زیان‌بار بودن **افزایش** CO_2 خون **تمایل زیاد** این گاز برای ترکیب شدن با **آب** و تولید **کربنیک‌اسید** است. این فرایند سبب **کاهش** pH و اسیدی شدن خون می‌شود. تغییر pH نیز سبب **تغییر ساختار پروتئین‌ها** از جمله آنزیم‌های بدن شده، در نتیجه با امکان اختلال در کار **آن‌ها**، کار یاخته‌ها و اندام‌ها مختل می‌شود (البته در بدن نیز مکانیسم‌هایی برای مقابله با این شرایط وجود دارد).

۵ با توجه به فرمول واکنش تنفس هوازی در این فرایند مواد آلی گلوکز و ADP به همراه مواد معدنی O_2 و گروه فسفات مصرف می‌شوند. از طرفی در مواد تولیدی نیز هم مادهٔ آلی یعنی ATP و هم معدنی یعنی آب و CO_2 ایجاد می‌شوند.

۶ در بدن **افزایش** CO_2 خطرناک‌تر از **کاهش** O_2 می‌باشد.

۷ **بسیاری** از فرایندهای یاخته‌ای را **پروتئین‌ها** انجام می‌دهند. پس از بین رفتن آن‌ها اختلال گسترده‌ای در کار یاخته‌ها و بافت‌ها ایجاد می‌کند.

۸ **یاخته‌های** زندهٔ بدن، گازهای تنفسی را **فقط** با **خون** مبادله می‌کنند ولی **در شش‌ها**، این گازهای تنفسی بین **خون و هوا** نیز مبادله می‌شوند.

۹ از فصل اول به یاد دارید که واژهٔ سیتوپلاسم به کل محتوای درون یاختهٔ زنده به‌جز **هسته** اطلاق می‌شود که توسط **غشای** یاخته احاطه شده است. در حقیقت سیتوپلاسم به مجموعه مادهٔ زمینه‌ای مایع آن، اندامک‌های مختلف غشادار و اجزای بدون غشایی مثل ریبوزوم و... گفته می‌شود.

۱۰ هوای **بازدمی** که کربن دی‌اکسید بیشتری دارد، آب آهک **بی‌رنگ** را **شیری‌رنگ** و برم تیمول بلو **رقیق آبی** را **زردرنگ** می‌کند. این دو محلول، معرف **کربن دی‌اکسید** هستند.

بخش‌های مختلف دستگاه تنفس انسان از نظر عملکرد

از نظر عملکرد، در دستگاه تنفس انسان دو بخش اصلی به نام **هادی** و **مبادله‌ای** وجود دارد.

الف) بخش هادی

بخش هادی از **بینی تا نایژک‌های انتهایی** می‌باشد که فقط از مجاری تنفسی تشکیل شده است. این بخش وظیفهٔ هدایت هوا به **درون و بیرون** دستگاه تنفس را به صورت دوطرفه بر عهده دارد. علاوه بر این، با زوائد **مو**مانند و **مژکی** به همراه **لایهٔ مخاطی** خود، ناخالصی‌های هوا مثل میکروب‌های بیماری‌زا و ذرات گرد و غبار را پاکسازی می‌کند، همچنین هوای **ورودی** را با شبکهٔ **مویرگی** خود **گرم و مرطوب** می‌کند تا برای مبادلهٔ گازها با خون در شش‌ها آماده شود.

دقت کنید که در بخش هادی، مبادلهٔ گاز تنفسی بین هوا و خون صورت نمی‌گیرد بلکه این بخش هوا را آمادهٔ تبادل با خون در بخش مبادله‌ای در حبابک‌های تنفسی می‌کند.

- وظیفهٔ بخش هادی تنفسی
  - انتقال هوا به درون و بیرون دستگاه تنفسی
  - پاکسازی هوای ورودی از میکروب‌ها و ذرات گرد و غبار ← توسط موها، مژک‌ها و لایه مخاطی مجاری
  - گرم و مرطوب کردن هوای ورودی ← توسط مویرگ‌ها و لایهٔ مخاطی
  - **نتیجه:** آماده کردن هوای ورودی برای مبادلهٔ گازها با خون در بخش مبادله‌ای

بررسی قسمت‌های مختلف بخش هادی تنفسی

- بخش هادی تنفسی، به ترتیب از بینی، گلو (حلق)، حنجره، نای، نایژه‌ها، نایژک‌ها و نایژک‌های **انتهایی** تشکیل شده است.

A) بینی

قسمت **ابتدای** بینی، حاوی **پوست نازک** همراه با **موهای ظریف** (نه‌مژک) می‌باشد که موهای آن مانعی در برابر ورود ناخالصی‌های هوا ایجاد می‌کند. این پوست نازک فاقد **مژک و ترشحات مخاطی** می‌باشد.

- در بینی با پایان یافتن پوست، **مخاط مژک‌دار** آغاز می‌شود. این مخاط تا آخرین نایژک‌ها و انشعابات آن در مجاری هادی و حتی مجاری بخش مبادله‌ای وجود دارد.
- **مخاط** مژک‌دار تنفسی، دارای یاخته‌های **پوششی** مژک‌دار **فراوان** با قدرت ترشح مادهٔ مخاطی **دفاعی** ضد میکروبی می‌باشد. مخاط مجاری تنفسی، **یک** ردیف یاخته‌های پوششی مژک‌دار بوده که روی **غشای پایه** قرار گرفته‌اند. این یاخته‌های پوششی قدرت ترشح مادهٔ مخاطی به درون مجرای تنفسی دارند. ترشحات مخاطی ضخامت یکسانی ندارند و هم ناخالصی‌های هوا را ضمن عبور هوای ورودی **پر** O_2 به دام می‌اندازند و هم آنزیمی به نام **لیزوزیم** برای مقابله با عوامل میکروبی بیماری‌زا دارند. علاوه بر آن، حرکت ضربانی **دائمی** مژک‌های تنفسی سبب انتقال این ترشحات مخاطی و مواد به دام افتاده در آن‌ها به سوی **حلق** می‌شود.

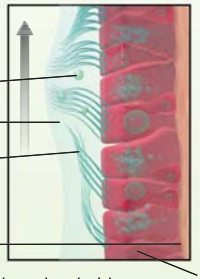
چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) مژک‌های بخش هادی تنفسی با حرکات **ضربانی** خود، ترشحات مخاطی و ناخالصی‌های به دام افتاده در آن را به سوی **حلق** می‌رانند. مواد رانده شده به حلق یا به صورت **ارادی** از بدن **خارج** می‌شوند و یا از طریق انعکاس **بلع** به دستگاه **گوارش** رفته و توسط **شیرهٔ معده**، ناخالصی‌های آن نابود می‌شود.

۲) ترشحات مخاطی مجاری تنفسی، علاوه بر میکروب‌کشی و پالایش هوای ورودی، سبب **مرطوب** کردن هوای **ورودی** شده تا در نهایت باعث آسان شدن تبادل گازهای تنفسی در **شش‌ها** شوند. چون گازهای تنفسی **تنها** در صورتی می‌توانند بین شش‌ها و خون مبادله شوند که به صورت **محلول** در آب باشند.

۳) بینی شبکه‌ای **وسیع** از **رگ‌ها با دیوارهٔ نازک** دارد که هوا را **گرم** می‌کند. این شبکه به سطح **درونی** بینی بسیار نزدیک است، بنابراین بسیار آسیب‌پذیر بوده و بیشتر از سایر نقاط تنفسی در معرض **خونریزی** می‌باشد.





- در سد اول دفاع **غیراختصاصی** نقش دارند.
- ناخالصی هوا را به دام می‌اندازند.
- آنزیم دفاعی لیزوزیم دارند.
- هوای ورودی را مرطوب می‌کنند.
- ضخامت متفاوت دارند.

۴) خلاصه عمل بینی
- قسمت دارای پوست نازک ← موهایی برای جلوگیری از ورود ناخالصی‌های هوا دارد.
- مخاط مژک‌دار بدون پوست
  - ترشحات مخاطی دارد
    - ناخالصی هوا را به دام می‌اندازد.
    - هوای ورودی را مرطوب می‌کند.
    - آنزیم دفاعی ضدمیکروبی به نام **لیزوزیم** دارد.
  - مژک‌ها ← با حرکات ضربانی، ترشحات مخاطی و مواد درون آن‌ها را به سوی حلق می‌رانند.
- رگ‌های نزدیک سطح درونی آن ← هوای ورودی را گرم می‌کند.

B) حلق (گلو)

حلق در حقیقت یک گذرگاه با **ماهیچهٔ مخطط** (اسکلتی) است. این قسمت چهارراهی است که به دهان، بینی، گوش **میانی**، مری و نای راه دارد. این گذرگاه می‌تواند از راه دهان و بینی **هوا** بگیرد.

در حقیقت هوا با عبور از **بینی، دهان یا هر دو** وارد حلق (گلو) می‌شود که قسمت مشترک دستگاه تنفس و **گوارش** می‌باشد. در فصل قبل آموختید که حلق محل شروع بخش غیرارادی بلع و حرکات کرمی در لولهٔ گوارش است. در انتهای حلق **یک دوراهی** وجود دارد که در **جلو** مژک‌دار است و به **حنجره و نای** برای عبور هوا و **در پشت** به **مری** برای عبور غذا راه دارد. راه حنجره و نای با پایین آمدن دریچهٔ **برچاکنای** (اپی‌گلوت) بسته می‌شود. حلق از **بالا** به بینی راه دارد. به‌جز در هنگام بلع، زبان کوچک پایین است تا هوا به آسانی از بینی وارد حلق شود (*زبان کوچک در هنگام بلع به‌طور انعکاسی و با برخورد غذا بالا رفته تا راه بینی بسته و غذا وارد بینی نشود*).

C) حنجره

حنجره بخش غضروفی و قرار گرفته در ابتدای نای می‌باشد. این بخش دیوارهٔ غضروفی دارد و علاوه بر آن دارای یک دریچه یا درپوش به نام برچاکنای (اپی‌گلوت) و پرده‌های صوتی می‌باشد. دیوارهٔ غضروفی حنجره مجرای هوا را در ابتدای نای همواره باز نگه می‌دارد و از طرفی به دلیل داشتن درپوش اپی‌گلوت (برچاکنای)، مانع ورود غذا به مجاری تنفسی می‌شود. دقت داشته باشید که حنجره بخشی از نای نمی‌باشد بلکه در ابتدای نای و به عنوان بخشی مجزا طبقه‌بندی می‌شود.



«حلق و حنجره»

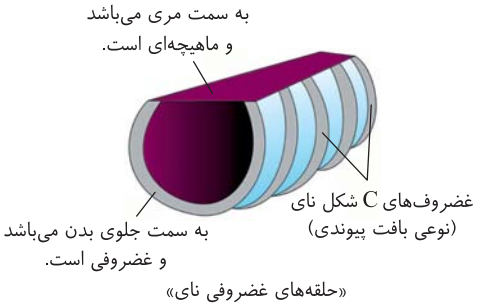
نکته
در هنگام بلع و استفراغ، برچاکنای به پایین می‌رود ولی در هنگام سرفه، عطسه و تنفس برای انتقال هوا، برچاکنای به سمت بالا می‌رود.

کارهای حنجره
- در تنفس دو کار مهم دارد
  - دیوارهٔ غضروفی آن مجرای عبور هوا را باز نگه می‌دارد.
  - درپوش برچاکنای آن مانع ورود غذا به نای می‌شود.
- در گفتار ← پرده‌های صوتی قابل ارتجاع موجود در حنجره، با هوای **بازدمی** مرتعش شده و تولید صدا می‌کنند.

D) نای

نای مجرایی است که دیوارهٔ آن دارای حلقه‌های **غضروفی** به شکل **نعل اسب** یا حرف C می‌باشد. این حلقه‌ها باعث باز نگه داشتن **همیشگی** کل مجرای نای می‌شوند.

- دهانهٔ باز غضروف (دهانهٔ حرف C) به سمت **پشت** یعنی مقابل **مری** قرار دارد. **نبودن غضروف** در قسمت پشتی سبب می‌شود که حرکات **کرمی** مری و حرکت لقمه‌های **بزرگ** غذا در مری آسان شود.
- دقت کنید که غضروف در حنجره، نای و نایژه‌ها وجود دارد ولی نوع C شکل یا نعل اسبی آن فقط در **نای** قرار گرفته است که سبب باز نگه داشتن دائمی آن می‌شود.



«حلقه‌های غضروفی نای»

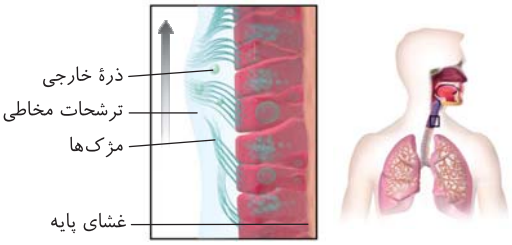
ساختار بافتی دیوارهٔ نای

نای همانند لولهٔ **گوارش** از **داخل به خارج** دارای چهار بخش می‌باشد:

۱) لایهٔ مخاطی نای

حاوی **یک** لایه از یاخته‌های **استوانه‌ای مژک‌دار** می‌باشد که مژک‌های فراوان با حرکات ضربانی به سوی بالا یعنی حلق دارند. این لایه حاوی ترشحات مخاطی با ضخامت متفاوت بوده و در زیر آن غشای پایه قرار دارد.

(لایهٔ مخاطی نای = لایهٔ پوششی مژک‌دار + ترشحات مخاطی)



«در مخاط نای یاخته‌های استوانه‌ای مژک‌دار قرار دارند.»

۲) زیرمخاط

دارای **رگ‌های خونی، اعصاب** و **غدد ترشحی** می‌باشد که در تماس با مخاط نای می‌باشند. غدد ترشحی این لایه به کمک یاخته‌های پوششی مخاط، لایهٔ مخاطیِ دفاعی را ترشح می‌کنند که در شکل مشخص می‌باشد.

۳) لایهٔ غضروفی ماهیچه‌ای

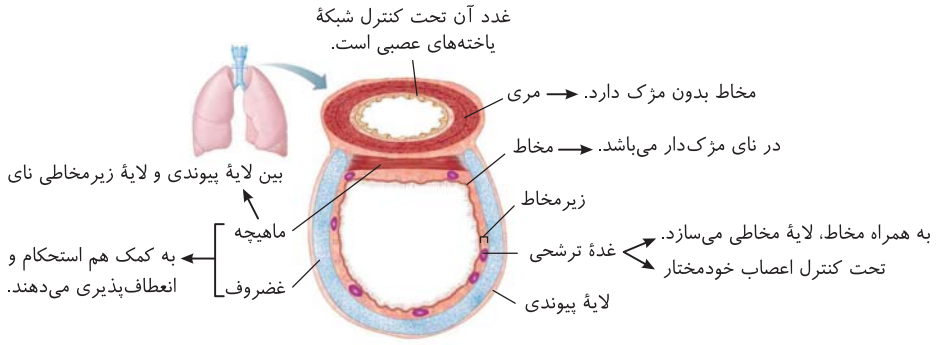
این لایه سبب **استحکام و انعطاف‌پذیری** نای می‌شود و غضروف‌های C شکل نعل اسبی آن مجرای نای را دائماً باز نگه می‌دارند.

نکته مهم

لایهٔ غضروفی ماهیچه‌ای، در حقیقت همان غضروف‌های C شکل نای می‌باشد که بین دو لایهٔ **زیرمخاطی** و **پیوندی** قرار گرفته است. این لایه در بخش پشتی خود که با مری اتصال دارد، فاقد **غضروف** بوده ولی دارای **ماهیچهٔ صاف** می‌باشد. بخش ماهیچه‌ای این لایه بین زیرمخاط نای و لایه پیوندی سطح بیرونی و مری قرار دارد (لایهٔ ماهیچه‌ای نای از طرفین به غضروف، از جلو به زیرمخاط نای و از پشت به لایهٔ پیوندی خارج مری متصل است).

۴) لایهٔ پیوندی خارجی

لایهٔ خارجی نای می‌باشد که دقت کنید بخشی از صفاق نمی‌باشد (چون در حفرهٔ شکمی قرار ندارد). ادامهٔ این لایه به لایهٔ پیوندی خارجی مری متصل بوده و در ادامهٔ هم می‌باشند.



«ساختار بافتی دیوارهٔ نای»

تست ۲ چند مورد عبارت روبه‌رو را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در ساختار دیوارهٔ نای، .....» (قلم‌چی)

الف) یاخته‌هایی با فضای بین‌یاخته‌ای اندک، مانع بسته شدن مجرای عبور هوا می‌شوند.

ب) همانند ساختار وسط مری، در دومین لایه از بیرون، ماهیچهٔ صاف مشاهده می‌شود.

ج) شبکه‌ای از رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی یافت می‌شود.

د) ممکن نیست یاخته‌های دو نوع بافت متعلق به یک نوع بافت اصلی در تماس مستقیم با یکدیگر باشند.

و) لایهٔ ماهیچه‌ای مری و لایهٔ ماهیچه‌ای نای توسط لایهٔ پیوندی از هم جدا می‌شوند.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ (C) موارد (ب)، (ج) و (و) عبارت را به درستی تکمیل می‌کنند و در شکل مشخص هستند.

تله‌های تستی الف) دیوارهٔ نای، حلقه‌های غضروفی (*متعلق به بافت پیوندی*) شبیه به نعل اسب یا حرف C دارد که مجرای نای را همیشه باز نگه می‌دارد. / د) در ساختار دیوارهٔ نای لایهٔ پیوندی در تماس مستقیم با غضروف که هر دو متعلق به بافت پیوندی هستند، قرار دارد.

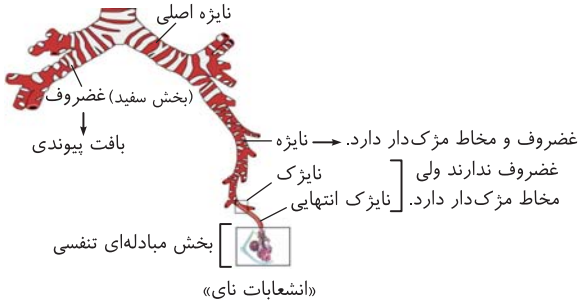
E) نایژه‌ها

در وسط قفسهٔ سینه، نای انسان در انتهای خود به دو شاخه به نام نایژه‌های اصلی تقسیم می‌شود. نایژه‌ها نیز مثل نای غضروف و مژک دارند ولی غضروف آن‌ها به صورت C شکل نمی‌باشد. هر نایژهٔ اصلی به **یک شش** وارد می‌شود (*در حقیقت نایژه بخشی از شش می‌باشد*). به تدریج با انشعاب یافتن نایژه‌ها، قطر آن‌ها باریک‌تر و غضروف آن‌ها نیز **کمتر** می‌شود. دقت کنید تا جایی که **غضروف** در سطح داخلی مجرای تنفسی وجود دارد، هنوز انشعابات **نایژه‌ای** باریک به حساب می‌آیند ولی اولین انشعابات کوچکی در مجاری تنفسی که فاقد غضروف می‌شوند را **نایژک** می‌گویند.

نکته نای برخلاف نایژه و نایژک بخشی از شش نمی‌باشد. پس شش غضروف دارد ولی C شکل نمی‌باشد.

F) نایژک‌ها

نایژک‌ها انشعابات انتهایی از نایژه‌های فرعی باریک هستند که لایهٔ مخاطی **مژک‌دار** دارند ولی **غضروف ندارند**، به همین دلیل تنگ و گشاد می‌شوند. این ویژگی تنگ و گشاد شدن **نایژک‌ها**، سبب کنترل مقداری از هوای **ورودی و خروجی در دستگاه تنفس** می‌شود. این نایژک‌ها به تدریج در بخش هادی انشعاباتی باریک‌تر شده و آخرین انشعابات آن‌ها در بخش هادی را نایژک‌های **انتهایی** می‌نامند.



نکته دقت کنید که نایژک‌های انتهایی حاوی مخاط **مژک‌دار** می‌باشند و آخرین انشعابات **نایژکی** در بخش **هادی** هستند ولی در ادامه متوجه می‌شوید که باز هم در ادامه این نایژک‌های انتهایی نیز منشعب می‌شوند و در بخش مبادله‌ای به نایژک مبادله‌ای تبدیل می‌شوند.

نکته با توجه به شکل مقابل، غضروف‌ها در نایژه‌های اصلی به صورت حلقهٔ کامل هستند ولی در نایژه‌های باریک‌تر به صورت قطعات جداجدا قرار گرفته‌اند.

نکته نهایی: در بخش هادی تنفس، مخاط مژک‌دار از قسمت **بدون پوست** بینی تا نایژک‌های **انتهایی** وجود دارد ولی منظور از مجاری **غضروف‌دار**، همان حنجره، نای و نایژه‌های اصلی و فرعی می‌باشد.

تست ۳ **چند مورد، دربارهٔ «همهٔ یاخته‌های زندهٔ بخش هادی دستگاه تنفس انسان سالم»، صحیح است؟** (قلم‌چی)

الف) گازهای تنفسی را با مایع اطراف خود مبادله می‌کنند.
ب) تنها در اثر مصرف گلوکز می‌توانند مولکول *ATP* تولید کنند.
ج) فاقد توانایی تولید مولکول‌هایی هستند که در دنیای غیرزنده دیده نمی‌شوند.
د) در صورت افزایش بیش از حد کربن دی‌اکسید خون، بسیاری از فرایندهای یاخته‌ای آن‌ها ممکن است مختل شود.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ (C) موارد (الف) و (د) صحیح‌اند.

تله‌های تستی الف) درست است. هر یاختهٔ زنده باید با محیط اطراف خود به تبادل O_2 و CO_2 بپردازد. / ب) نادرست است. مهم‌ترین منبع تأمین انرژی از گلوکز است. / ج) نادرست است. در مورد آب و CO_2 این عبارت رد می‌شود که در تنفس یاخته‌ای نیز مانند دنیای غیرزنده تولید می‌شود. / د) درست است. این مورد باعث ایجاد *pH* اسیدی و تخریب ساختار پروتئین‌ها می‌شود.

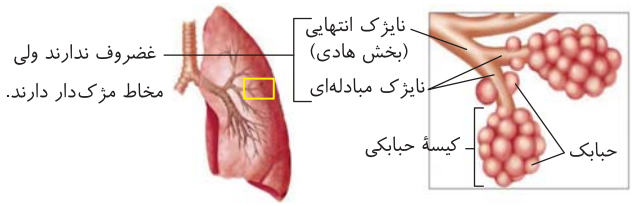
تست ۴ **در رابطه با بخش هادی دستگاه تنفس انسان سالم، می‌توان گفت بینی همانند .....** (قلم‌چی)

۱) نایژه‌ها - مژک‌هایی برای زنش به سمت حلق دارد، اما فاقد مو است.
۲) نای - در ابتدای ساختار خود پوست نازکی دارد، اما یاختهٔ مژک‌دار ندارد.
۳) نایژک‌ها - دارای ترشحات مخاطی است، اما عامل سطح فعال ترشح نمی‌کند.
۴) نای - به گرم و مرطوب کردن هوای ورودی کمک می‌کند، اما ترشحات ضدمیکروبی ندارد.

پاسخ ۳ (A) بینی (*بعد از اتمام پوست نازک ابتدای*) همانند نایژک‌ها، دارای ترشحات مخاطی است، اما عامل سطح فعال ترشح نمی‌کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): ابتدای بینی مو دارد. / گزینهٔ (۲): نای، پوست ندارد. / گزینهٔ (۴): نای هوا را مرطوب می‌کند ولی گرم نمی‌کند. از طرفی بینی مخاط مژک‌دار با ترشحات ضدمیکروبی دارد.

ب) بخش مبادله‌ای (تهویه‌کننده) دستگاه تنفس



«بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس»

ایـن بخش از دسـتگاه تنفس، **پس از نایژک انتهایی، آغاز** می‌شـود که شـامل نایژک‌های مبادله‌ای، حبابک‌های مجزا و کیسـه‌های حبابکی می‌باشد. در حقیقـت با ایجاد حبابک‌ها روی نایژک‌ها، بخش مبادله‌ای دسـتگاه تنفس انسان آغاز می‌شود. در این بخش مجاری باریکی به نام **نایژک‌های مبادله‌ای** قرار دارند که از انشـعابات انتهایی **نایژک‌های انتهایی** هسـتند. نایژک‌های مبادلـه‌ای همچنین آخرین بخش دارای **مخاط مژک‌دار** می‌باشـند یعنی این مخاط در طـول نایژک مبادله‌ای پایان می‌یابـد. روی هر نایژک مبادله‌ای **تعدادی حبابک** (کیـهٔ هوایی) مجزا وجود دارد. در حالی که در **انتهای** هر نایژک مبادله‌ای، **اجتماع این حبابک‌ها** به صورت یک خوشهٔ انگور درمی‌آید. به هر **خوشهٔ انگور** که در انتهای **یک نایژک مبادله‌ای** قرار دارد، یک **کیسـهٔ حبابکی** می‌گویند. روی هر **حبابک**، **شـبکهٔ وسـیعی از مویرگ‌های خونی** برای تبادل گازهای تنفسـی وجود دارد. دقت داشته باشید که حبابک‌ها فاقد غضروف، مخاط مژک‌دار و مادهٔ مخاطی می‌باشند.

نکته

- نایژک‌ها
  - نایژک انتهایی
    - آخرین بخش **هادی** دستگاه تنفس بوده و فاقد حبابک می‌باشد.
    - غضروف ندارد ولی دارای مخاط مژک‌دار است.
  - نایژک مبادله‌ای
    - اولین بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس بوده که دارای حبابک می‌باشد.
    - غضروف ندارد ولی دارای مخاط مژک‌داری است که در طول آن‌ها به اتمام می‌رسد.

- نایژک انتهایی **برخلاف** نایژک مبادله‌ای، **حبابک** ندارد.
- نایژک انتهایی **همانند** نایژک مبادله‌ای، **غضروف** ندارد ولی **مژک** دارد.

تست ۵ کدام گزینه عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«**هر بخش از مجاری تنفسی انسان سالم که بعد از حلق قرار دارد و حلقهٔ غضروفی ..... در آن دیده می‌شود، قطعاً .....**»

۱) کامل - در بخش هادی دستگاه تنفس قرار دارد و فاقد حبابک است.

۲) C شکل - دارای مخاط مژک‌دار است و توانایی تنگ و گشاد شدن را ندارد.

۳) C شکل - واجد غدد ترشحی در دیوارهٔ خود است و در بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس قرار ندارد.

۴) قطعه‌قطعه - جزء بخش‌های عملکردی دستگاه تنفس است و محل به پایان رسیدن مخاط مژک‌دار است.

پاسخ ۴ با توجه به شکل کتاب درسی، بعد از نایژهٔ اصلی، غضروف‌ها به صورت قطعه‌قطعه هستند ولی مخاط مژک‌دار تا نایژک مبادله‌ای ادامه دارد.

نکته‌های تستی گزینـهٔ (۱): نایـژهٔ اصلـی حلقهٔ غضروفی کامل دارد و در بخش هادی دسـتگاه تنفس قرار دارد و حبابک نـدارد. / گزینه‌های (۲) و (۳): نای حلقهٔ غضروفی C شـکل دارد و توانایی تنگ و گشـاد شـدن ندارد. نای، واجد غدد ترشـحی در لایهٔ زیرمخاط خود است و در بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس قرار ندارد.

سدهای دفاعی در سیستم تنفسی

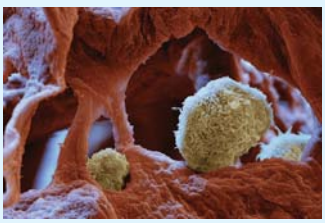
اولین خط دفاعی در دسـتگاه تنفسـی، پوسـت و موهای ابتدای بینی سـپس **مژک‌ها و لایهٔ مخاطی** موجود در بخش **هادی** تنفسـی می‌باشد. مخاط مژک‌دار تا نایژک **مبادله‌ای** ادامه دارد. پس از نایژک مبادله‌ای، در بخش‌های دیگر قسمت **مبادله‌ای** دستگاه تنفس از جمله حبابک‌ها دیگر مخاط مژک‌دار وجود **ندارد.** در کیسه‌های حبابکی یاخته‌های درشـت‌خوار (ماکروفاژ) وجود دارد که **آخرین خط دفاعی** دسـتگاه تنفس می‌باشند. این یاخته‌های بزرگ می‌توانند در کیسه‌های حبابکی مانند سایر بخش‌های بدن، باکتری‌ها و ذرات گرد و غبار و ناخالصی‌های موجود در هوا را **که از مخاط مژک‌دار گریخته‌اند** با **بیگانه‌خواری** و **توانایی تحرک** خود نابود کرده و ببلعند.

دقت کنید که درشت‌خوارها جزء یاخته‌های حبابک‌ها به شمار نمی‌آیند.

نگاهی به آینده

۱) ماکروفاژها یا همان درشت‌خوارها، علاوه بر کیسه‌های حبابکی شش‌ها در سایر نقاط بدن نیز وجود دارند و نقش بیگانه‌خواری دارند. در سال بعد می‌خوانید که این یاخته‌ها در سد **دوم و سوم** دفاعی بدن انسان نقش داشته و به صورت **غیراختصاصی** میکروب‌ها را از بین می‌برند.

۲) در زیسـت یازدهـم می‌آموزید که یاخته‌هـای بیگانه‌خوار متنوعی در بدن وجود دارند که درشـت‌خوارها یکی از انواع آن‌ها می‌باشـند. منشأ درشـت‌خوارها از نوعی یاختهٔ سفید خونی به نام **مونوسیت‌ها** می‌باشد. مونوسیت‌ها پس از خروج از رگ خونی (دیاپدز) افزایش حجم یافته‌اند و به درشت‌خوار (ماکروفاژ) و یا نوعی دیگر به نام یاختهٔ بیگانه‌خوار دارینه‌ای تمایز یافته‌اند (شایان توجه است که درشت‌خوارها یاختهٔ خونی نیستند!!).


«یاخته‌های درشت‌خوار در حبابک‌ها»

- سدهای دفاعی دستگاه تنفس انسان
  - بخش هادی
    - پوست و مو ← فقط در ابتدای بینی
    - ترشحات مخاطی ← از بینی تا نایژک انتهایی
    - مژک‌ها ← از بینی تا نایژک انتهایی
    - در لایه‌های آن بیگانه‌خوارها نیز وجود دارند.
  - بخش مبادله‌ای
    - ترشحات مخاطی ← در نایژک مبادله‌ای
    - مژک‌ها ← در نایژک مبادله‌ای
    - یاختهٔ درشت‌خوار در حبابک‌ها

یاخته‌های موجود در دیوارهٔ حبابک‌های تنفسی

به‌طور کلی وظیفهٔ حبابک‌های تنفسی، تبادل گازهای تنفسی O_2 و CO_2 بین خون و هوا می‌باشد. در این حبابک‌ها سه نوع یاخته یافت می‌شود ولی فقط دو نوع اول مربوط به دیوارهٔ حبابک‌ها می‌باشد (*نوع سوم درشت‌خوارها هستند که خودشون رو اونجا جا می‌دن!*).

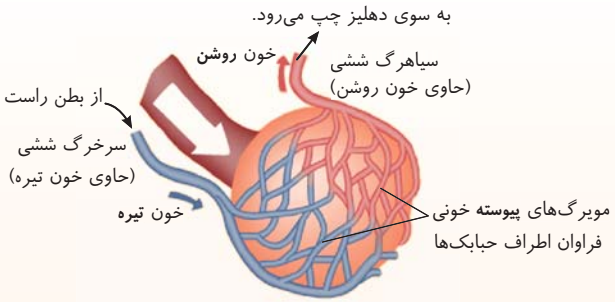
۱) نوع اول (یاخته‌های سنگ‌فرشی مربوط به دیوارهٔ حبابکی)

این یاخته‌ها در هر حبابک به مقدار **فراوان** وجود دارند. در دیوارهٔ حبابک‌ها سبب تشکیل بافت پوششی **سنگ‌فرشی** تک‌لایه‌ای **غیر**مژک‌دار با هستهٔ گرد مرکزی شده‌اند که در تبادل گازهای تنفسی با خون نقش دارند. علاوه بر این یاخته‌های سنگ‌فرشی، در اطراف حبابک‌ها نیز بافت پوششی سنگ‌فرشی تک‌لایه‌ای دیگری در مویرگ خونی به مقدار **فراوان** و به صورت تار عنکبوت پوشیده شده است. این دو لایهٔ بافت سنگ‌فرشی ساده (*دیوارهٔ حبابک و مویرگ‌ها*)، در جاهای متعددی **یک غشای پایه مشترک** دارند که به همین علت، مسافت انتشار گازهای تنفسی در این مکان‌ها به **حداقل** ممکن می‌رسد.

نکته
اکسیژن و کربن دی‌اکسید برای مبادله بین هوا و خون باید از **سه قسمت** عبور کنند که عبارت‌اند از ضخامت **یاخته‌های** سنگ‌فرشی حبابک، **غشای پایه** بین آن‌ها که در بخش‌های زیادی مشترک می‌باشد و ضخامت یاختهٔ **سنگ‌فرشی** مویرگ خونی!!

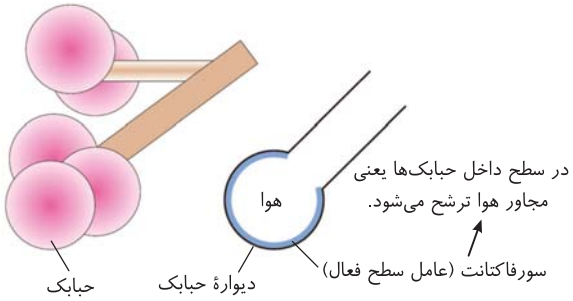
تهجه! در اینجا دقت کنید که غشای پایه بین دو لایه بافت پوششی می‌باشد.

نکته
همان‌طور که در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید، خون تیره سرخرگ ششی، از قلب به شش‌ها آمده تا در مویرگ‌های اطراف حبابک تنفسی با تبادل گازهای تنفسی به صورت خون روشن درآمده و وارد سیاهرگ ششی شود و از آنجا دوباره به قلب برگردد.



۲) نوع دوم (یاخته‌های سورفاکتانت‌ساز (عامل سطح فعال‌ساز) مربوط به دیوارهٔ حبابکی)

طبیعی است که با ورود هوا به کیسه‌های حبابکی شش‌ها، حجم این حبابک‌ها باید زیاد شود، ولی چون **لایهٔ نازکی از آب** در سطح درونی (*مجاور هوا*) این حبابک‌ها وجود دارد، این لایهٔ نازکِ آبِ درون آن‌ها، در مقابل ورود هوا و انبساط حبابک‌ها، مقاومت کرده و با نیروی کشش سطحی آب وارد عمل می‌شوند. برای برطرف شدن این مشکل، در حبابک‌ها، **یاخته‌هایی با تعداد بسیار کمتر از نوع اول** به نام یاخته‌های سورفاکتانت‌ساز (*عامل سطح فعال‌ساز*) با ظاهر کاملاً **متفاوت** وجود دارد که با ترشح این ماده به **داخل** حبابک، نیروی کشش سطحی آب را **کاهش** می‌دهند در نتیجه باز شدن کیسه‌ها و عمل تنفس آسان می‌شود.



نکته
عامل سطح فعال (*سورفاکتانت*) از **اواخر دوران جنینی** ساخته و ترشح می‌شود، به همین دلیل **برخی** از **نوزادان** که زود هنگام متولد می‌شوند عامل سطح فعال (*سورفاکتانت*) به مقدار کافی ندارند و به زحمت نفس می‌کشند.

نکته
گازهای تنفسی ورودی در عبور از لایهٔ نازک آب درون حبابک‌ها و ترشحات مخاطی قبل از آن‌ها، به صورت **محلول در آب** درآمده و به آسانی و با انتشار **ساده** از دو لایه یاختهٔ **سنگ‌فرشی** ساده عبور کرده و وارد خون می‌شوند.

تست ۶ **هر بخش از دستگاه تنفس انسان که ..... ، قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) واجد مخاط مژک‌دار است - به بخش هادی تعلق دارد.

۲) دارای حلقه‌های غضروفی C شکل است - در بیرونی‌ترین لایهٔ خود، غدد ترشحی دارد.

۳) ترشح عامل سطح فعال را بر عهده دارد - با حضور اجزای کوچکی به نام حبابک مشخص می‌شود.

۴) فاقد بافت پوششی مژک‌دار است - در سطح مجاور هوا، توسط لایهٔ ضخیمی از آب پوشیده شده است.

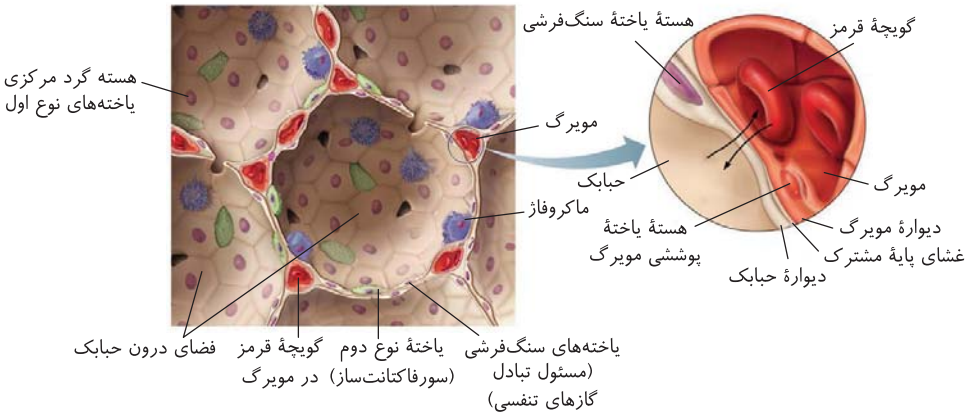
پاسخ ۳ B

ترشح عامل سطح فعال بر عهدهٔ حبابک‌ها است که به بخش **مبادله‌ای** تعلق دارند. بخش مبادله‌ای با حضور اجزای کوچکی به نام حبابک مشخص می‌شود.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): مخاط مژک‌دار در طول نایژک مبادله‌ای به پایان می‌رسد (بنابراین، نایژک‌های مبادله‌ای به بخش مبادله‌ای تعلق دارند و دارای مخاط مژک‌دار هستند). / گزینهٔ (۲): دیوارهٔ نای، حلقه‌های غضروفی C شکل دارد که مجرای نای را همیشه باز نگه می‌دارند. دقت کنید که غدد ترشحی در لایهٔ زیرمخاط نای مشاهده می‌شود. / گزینهٔ (۴): لایهٔ **نازکی** از آب، سطحی از حبابک را که در تماس با هواست پوشانده است.

● **۳) یاخته‌های درشت‌خوار که جزء یاخته‌های دیوارهٔ حبابکی طبقه‌بندی نمی‌شوند ولی در لابه‌لای یاخته‌های آن وجود دارد.**

یاخته‌های درشت‌خوار جزء یاخته‌های دیوارهٔ حبابکی نمی‌باشند ولی در عمل **دفاعی درون** حبابک‌ها نقش دارند. این یاخته‌ها در سد دوم و سوم دفاعی و در دفاع غیراختصاصی فعالیت می‌کنند که منشأ آن‌ها از **مونوسیت‌های خون** می‌باشد که از رگ خونی خارج و به بافت آمده و تغییر شکل داده‌اند. این یاخته‌ها در سطح **درونی** حبابک‌ها وجود دارند تا ذرات و باکتری‌های موجود در هوای ورودی را از بین ببرند. (اندازهٔ درشت‌خوارها از دو نوع یاخته‌های دیوارهٔ حبابکی بزرگ‌تر می‌باشد و قابلیت حرکت به همراه بیگانه‌خواری دارند.)



نگاهی به آینده

یاخته‌های بیگانه‌خوار انواع مختلفی مثل درشت‌خوارها، نوتروفیل‌ها، یاخته‌های دارینه‌ای و ماستوسیت‌ها می‌باشند که در هر منطقه‌ای از بدن می‌توانند وجود داشته باشند. این یاخته‌ها در درون مجاری تنفسی برخلاف بخش مبادله‌ای تقریباً وجود ندارند.

تست ۷ **کدام عبارت به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) یاخته‌های استوانه‌ای مژک‌دار در کیسه‌های حبابکی، مادهٔ مخاطی ترشح می‌کنند.

۲) حبابک‌های موجود در کیسه‌های حبابکی با نایژک‌های انتهایی ارتباط مستقیم دارند.

۳) یاخته‌هایی که در خط دفاع دستگاه تنفسی نقش دارند، همواره در بخش مبادله‌ای قرار دارند.

۴) عامل سطح فعال توسط قسمتی از بخش مبادله‌ای ساخته می‌شود که دارای یاخته‌های نوع دوم می‌باشد.

پاسخ ۴ A

عامل سطح فعال از بعضی یاخته‌های حبابک‌ها ترشح می‌شود. با توجه به شکل کتاب درسی، دیوارهٔ حبابک‌ها می‌توانند یاخته‌های نوع اول تبادلی و دوم سورفاکتانت‌ساز داشته باشند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): مخاط مژک‌دار در طول نایژک مبادله‌ای به پایان می‌رسد. بنابراین کیسه‌های حبابکی، سازوکار دیگری مانند درشت‌خوارها به جای مخاط مژک‌دار برای مقابله با ناخالصی‌های هوا دارند. / گزینهٔ (۲): نایژکی که روی آن حبابک وجود دارد، نایژک **مبادله‌ای** می‌نامند (نایژک‌های مبادله‌ای در ادامهٔ نایژک‌های انتهایی هستند). / گزینهٔ (۳): یاخته‌های مژک‌دار موجود در بخش هادی نیز در مقابله با ناخالصی‌های هوا نقش دارند.

تست ۸ **کدام عبارت صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) هر یاختهٔ موجود در حبابک‌ها از نوع سنگ‌فرشی و به صورت یک‌لایه‌ای است.

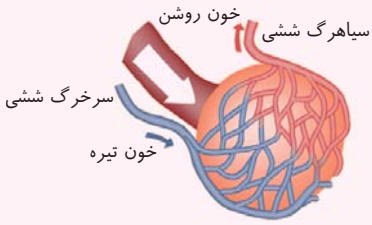
۲) یاخته‌های نوع دوم حبابک در جاهای متعددی از یک غشای پایهٔ مشترک با مویرگ بهره می‌برند.

۳) افزایش حجم کیسه‌های حبابکی، حاصل ترشح ترکیبی توسط بسیاری از یاخته‌های حبابکی است.

۴) در یک کیسهٔ حبابکی، انشعابات مویرگی بیش از تعداد حبابک‌هاست.

پاسخ ۴ B

با توجه به شکل کتاب درسی، در اطراف هر حبابک مویرگ‌های خونی فراوان دیده می‌شود.



تله‌های تستی گزینهٔ (۱): یاختهٔ نوع دوم آن‌ها سنگ‌فرشی نیست. / گزینهٔ (۲): یاختهٔ نوع اول با مویرگ غشای پایه مشترک دارد. / گزینهٔ (۳): منظور عامل سطح فعال است که توسط تعداد کمی از یاخته‌ها به نام نوع دوم ترشح می‌شود تا کیسه‌های حبابکی را باز کند.

تست ۹ **در ارتباط با بخشی از دستگاه تنفس انسان که در آن مسافت انتشار گازها به حداقل رسیده است، می‌توان گفت که .....**

۱) گازهای تنفسی همواره با عبور از دو غشای پایه مبادله می‌شوند.
۲) برخی از یاخته‌های دیوارهٔ آن، عامل سطح فعال را ترشح می‌کنند.
۳) با داشتن ترشحات مخاطی در به دام انداختن میکروب‌ها نقش دارد.
۴) درشت‌خوارهای متعلق به دیوارهٔ آن، در بیگانه‌خواری میکروب‌ها نقش دارند.

پاسخ ۲ B

سؤال در مورد حبابک‌های تنفسی می‌باشد که برخی از یاخته‌های حبابک‌های عامل سطح فعال را ترشح می‌کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در جاهای متعدد، بافت پوششی حبابک و مویرگ هر دو غشای پایهٔ مشترک دارند. / گزینهٔ (۳): یاخته‌های حبابک‌ها، مادهٔ مخاطی ترشح نمی‌کنند. / گزینهٔ (۴): درشت‌خوارها را جزء یاخته‌های دیوارهٔ حبابک، طبقه‌بندی نمی‌کنند.

حمل گازهای تنفسی در خون

کار دستگاه تنفسی، انتقال گازهای تنفسی و تبادل آن‌ها با خون می‌باشد. با عمل **دم**، اکسیژن زیادی توسط هوای دمی وارد حبابک‌های ششی می‌شود تا از آنجا به **خون** منتشر شوند. از طرفی پس از **تنفس یاخته‌ای** مقدار زیادی کربن دی‌اکسید تولیدی در یاخته‌ها، وارد خون می‌شود. در حقیقت **کار دستگاه تنفس با همکاری دستگاه گردش خون کامل می‌شود.** در این قسمت می‌خواهیم بررسی کنیم که این گازهای تنفسی در خون به چه صورت منتقل می‌شوند و چگونه اکسیژن از شش‌ها و از طریق جریان خون به یاخته‌ها می‌رسد و کربن دی‌اکسید از طریق جریان خون از یاخته‌ها به شش‌ها منتقل و با عمل **بازدم** از دستگاه تنفس و از بدن خارج می‌شود.

نکته

سرخرگ ششی خارج شده از بطن راست قلب، خون **تیره** با CO_2 زیاد دارد در حالی که سیاهرگ**های** ششی خون روشن با مقدار زیادی O_2 دارند که پس از تبادل در شش‌ها، سیاهرگ‌های ششی خون را به سوی دهلیز چپ قلب می‌برند.

انتقال اکسیژن در خون

وقتی هوای ورودی به انتهای دستگاه تنفس می‌رسد، در حبابک‌های تنفسی، گازهای اکسیژن با عبور از لایهٔ نازک آب درون حبابک به صورت محلول درآمده و **همهٔ** اکسیژن قابل انتشار به صورت **محلول** از **کیسه‌های حبابکی به خون** وارد می‌شوند. در خون فرد سالم و در **دمای عادی** بدن، مقدار بسیار اندکی (حدود ۳٪) از اکسیژن ورودی، به صورت **محلول در پلاسما** (خونابه) باقی می‌ماند و مقدار بسیار زیادی از آن توسط **گویچه‌های قرمز** و **هموگلوبین** درونِ خون منتقل می‌شوند تا به مجاورت بافت‌های مختلف بدن برسند (تبادلات گازی بین یاخته‌های سنگ‌فرشی دیوارهٔ حبابک‌ها و مویرگ خونی صورت می‌گیرد). سپس اجتماع این مویرگ‌ها، خون روشن پر O_2 را توسط چهار سیاهرگ ششی به سمت دهلیز چپ قلب هدایت می‌کنند.

نکته

غلظت اکسیژن خونی که از قلب، توسط سرخرگ ششی به شش‌ها می‌رود، کمتر از غلظت اکسیژن در هوای ورودی به حبابک‌ها می‌باشد. به همین دلیل طبق قانون انتشار، اکسیژن از حبابک‌ها به خون شش‌ها وارد شده و با هموگلوبین ترکیب می‌شود.

● نقش گویچه‌های قرمز خون در انتقال O_2

گویچه‌های **قرمز** که **بیشترین** یاخته‌های **خونی** هستند، سرشار از **پروتئین هموگلوبین** می‌باشند (نه اینکه هر گویچهٔ قرمز فقط یک هموگلوبین داشته باشد!). در زیست دوازدهم می‌خوانید که هر هموگلوبین از **چهار** رشتهٔ پلی‌پپتیدی تشکیل شده است که هر رشته به **یک** گروه **غیرپروتئینی** به نام **هم** (دارهٔ آهن‌دار) متصل است. **هر** گروه هم، **یک اتم آهن** دارد که می‌تواند برحسب **غلظت اکسیژنی** که **اطراف** هموگلوبین است، به **یک مولکول اکسیژن** متصل شود و سپس در بافت به آسانی از آن جدا شود. (مثلاً در شش‌ها که غلظت اکسیژن در هوای دمی زیاد است، غلظت اکسیژن در خونِ مویرگ‌های شش نیز زیاد شده و اکسیژن به هموگلوبین می‌پیوندد. در بافت‌ها به دلیل تنفس یاخته‌ای و مصرف اکسیژن مورد نیاز آن، غلظت اکسیژن در مجاورت یاخته‌ها کم می‌شود. در این حالت، اکسیژن از هموگلوبین جدا شده و با انتشار به سمت یاخته می‌رود.)

در هنگام دم:

Hb = هموگلوبین

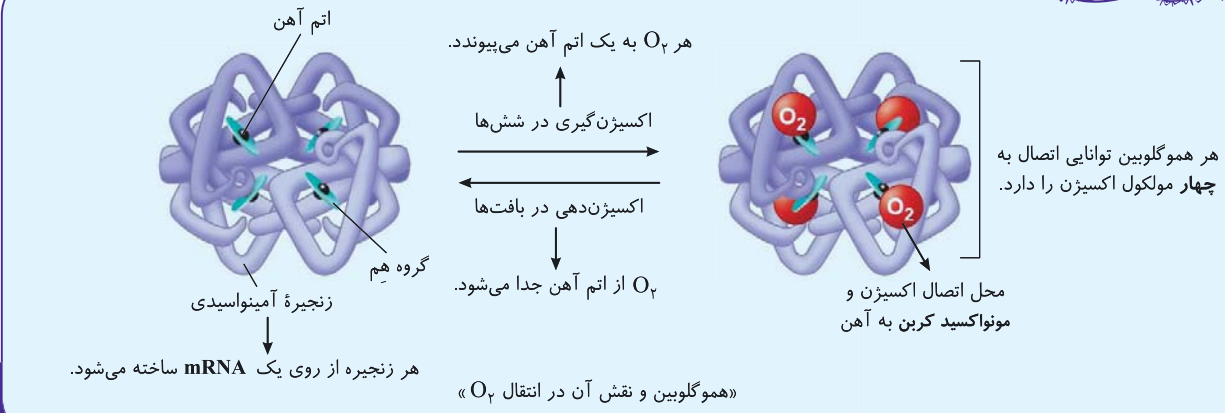
$Hb + O_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور } \textbf{شش‌ها}} HbO_2$

$HbO_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور } \textbf{بافت}} Hb + O_2$ (وارد بافت می‌شود.)

نکته

بیشترین مقدار انتقال O_2 در خون به کمک هموگلوبین درون گویچه‌های قرمز (خون‌بصر) صورت می‌گیرد.

نگاهی به آینده



«همو‌گلوبین و نقش آن در انتقال O_2»

انتقال کربن دی‌اکسید در خون

کربن دی‌اکسید، مولکولی است که در اثر **تنفس درون‌یاخته‌ای** هوازی و برخی انواع بی‌هوازی ایجاد می‌شود. این مولکول پس از خروج از یاخته، با **انتشار** ابتدا وارد فضای **بین‌یاخته‌ای** و سپس خون می‌شود. کربن دی‌اکسیدِ محلولِ عبور کرده از دیواره، از طریق **سه** مکانیسم زیر در **خون** منتقل می‌شود تا در نهایت برای خروج از بدن به **شش‌ها** برسد:

۱) مقدار اندکی (*در حدود ۷٪*) از کربن دی‌اکسیدهای خون، به صورت **محلول** در خوناب (*پلاسما*) منتقل می‌شود.

۲) مقداری از کربن دی‌اکسیدهای خون، به صورت **ترکیب با همو‌گلوبین** منتقل می‌شود. دقت کنید که پیوستن یا جدا شدن کربن دی‌اکسید با همو‌گلوبین **همانند** اکسیژن، به آسانی صورت می‌گیرد ولی **تابع غلظت** CO_2 خون است. البته باید توجه کنید که به دلیل تنفس یاخته‌ای، مقدار CO_2 در خون مجاور بافت، زیاد می‌باشد. این CO_2ها، سپس باید در مجاور **بافت** به همو‌گلوبین‌های آزاد متصل شوند ولی در مجاورت شش و در هنگام **بازدم** مقدار زیادی از آن‌ها برای خروج از بدن از همو‌گلوبین جدا می‌شوند.

$$\begin{cases} Hb + CO_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور بافت}} HbCO_2 \\ HbCO_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور شش‌ها}} Hb + CO_2 \downarrow \text{بازدم} \end{cases}$$

۳) بیشترین مقدار کربن دی‌اکسید وارد شده به خون، به صورت **یون بیکربنات** در پلاسما منتقل می‌شود. بدین صورت که در گویچه‌های قرمز، **آنزیمی** به نام **کربنیک انیدراز** وجود دارد که مقدار اصلی CO_2های محلولِ وارد شده به خون را گرفته و در گویچهٔ قرمز با **آب** ترکیب می‌کند، حاصل این عمل تولید **کربنیک‌اسید** می‌باشد. این اسید ناپایدار، در **همان گویچهٔ قرمز**، به **سرعت** تجزیه شده و به یون **هیدروژن** و بیکربنات تبدیل می‌شود که سرنوشت یون بیکربنات را در نکات زیر می‌خوانیم.

$$CO_2 + H_2O \text{ (بیشتر)} \xrightarrow{\text{تولید در گویچهٔ قرمز}} \text{کربنیک اسید} \xrightarrow[\text{به سرعت}]{\text{تجزیه در گویچهٔ قرمز}} H^+ \text{یون} + (HCO_3^-) \text{ یون بیکربنات}$$

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ **یون بیکربنات** حاصل از تجزیهٔ کربنیک‌اسید، از گویچهٔ قرمز **خارج** و به **خوناب** (*پلاسما*) وارد می‌شود و در ادامه نیز طی گردش خون به صورت بیکربنات محلول به شش‌ها می‌رسد، در آنجا CO_2 از بیکربنات جدا و از طریق بازدم از دستگاه تنفس به هوا منتشر می‌شود.

$$HCO_3^- \text{ (یون بیکربنات)} \xrightarrow{\text{خروج از گویچهٔ قرمز}} \text{وارد پلاسما می‌شود} \rightarrow (HCO_3^-)\text{(محلول)} \xrightarrow{\text{مجاور شش}} \begin{cases} CO_2 \rightarrow \text{بازدم} \\ H_2O \end{cases}$$

۲ در فصل بعد می‌خوانید که به نسبت حجم گویچه‌های قرمز خون هماتوکریت یا خون‌بهر می‌گویند. پس در حقیقت طی این عمل، یون بیکربنات در بخش **هماتوکریت** خون (*درون گویچهٔ قرمز*) تولید شده و به بخش خوناب یا پلاسما منتقل می‌شود.

۳ گویچه‌های قرمز در انتقال **مقدار زیادی از** CO_2 **خون** نقش دارند که این نقش را هم به کمک همو‌گلوبین و هم مقدار زیادی به کمک آنزیم کربنیک انیدراز خود انجام می‌دهند. (*دقت کنید که بیکربنات خون به کمک خوناب منتقل می‌شود ولی تولید آن در گویچهٔ قرمز صورت می‌گیرد.*)

۴ مهم‌ترین عامل در اشباع همو‌گلوبین با اکسیژن یا کربن دی‌اکسید، غلظت و تراکم این دو ماده در **خون** می‌باشد.

۵ در ابتدای فصل گفتیم که زیادی CO_2 خون بسیار خطرناک است چون با تولید زیاد کربنیک اسید، می‌تواند pH خون را اسیدی کرده و پروتئین‌های بدن را غیرفعال کند.

انتقال کربن مونواکسید در خون

کربن مونواکسید گازی **بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌طعم** است که به آن **قاتل خاموش** می‌گویند. این گاز در دود حاصل از **سوخت ناقص** سوخت‌های **فسیلی** مثل نفت و گاز پدید می‌آید. این مولکول، میل ترکیبی **بسیار زیاد** و **پایداری در همان محل اتصال اکسیژن** به **هموگلوبین** دارد. به همین دلیل در هوای آلوده یا محل‌های دارای این گاز، احتمال **گازگرفتگی** و ترکیب هموگلوبین با کربن مونواکسید زیاد است، در نتیجه، ظرفیت حمل اکسیژن در خون بسیار کم می‌شود و حتی در حالت شدید موجب مرگ می‌گردد.

نکته جایگاه اتصال اکسیژن و کربن مونواکسید در مولکول هموگلوبین یکسان و مشابه می‌باشد ولی جایگاه اتصال کربن دی‌اکسید در محل متفاوتی از هموگلوبین می‌باشد.

نگاهی به آینده

در زیست دوازدهم می‌خوانیم که کربن مونواکسید در خون، هم می‌تواند با اتصال به **هموگلوبین** مانع انتقال O_2 کافی به بافت‌ها شود و هم در انتهای واکنش‌های تنفس **هوازی** سبب توقف واکنش انتقال الکترون‌ها به اکسیژن برای جلوگیری از تولید ATP بیشتر شود.

تست ۱۰ **آنزیم کربنیک انیدراز واکنش ..... را سرعت می‌بخشد، که این واکنش به مقدار زیادی در تنفسی از انسان رخ می‌دهد که .....** (Hb = هموگلوبین)

۱) $H_2O+CO_2 \rightarrow H_2CO_3$ - ATP زیادی تولید می‌شود.

۲) $H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$ - گلوکز به‌طور کامل تجزیه می‌شود.

۳) $H_2O+CO_2 \rightarrow H_2CO_3$ - اکسیژن مصرف نمی‌شود.

۴) $H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$ - نوعی اسید سبب تحریک گیرندهٔ درد می‌شود.

پاسخ ۱ A آنزیم کربنیک انیدراز واکنش $CO_2+H_2O \rightarrow H_2CO_3$ را سرعت می‌بخشد. CO_2 لازم برای انجام این واکنش در تنفس **هوازی** انسان تولید می‌شود که ATP زیادی تولید می‌کند و O_2 مصرف می‌شود.

نکته‌های تستی گزینه‌های (۲) و (۴): کربنیک انیدراز کربنیک اسید را تجزیه نمی‌کند. / گزینهٔ (۳): در تنفس هوازی اکسیژن مصرف می‌شود.

تست ۱۱ **چند مورد از عبارت‌های زیر نادرست می‌باشند؟**

الف) هموگلوبین سیاهرگ‌هایی که از شش‌ها بازمی‌گردند، بیشترین مقدار اکسیژن را دارا هستند.

ب) انتقال بیشترین مقدار CO_2 خون، وابسته به یاخته‌های فاقد هسته می‌باشد.

ج) مقدار اندکی O_2 از شش‌ها به صورت محلول وارد خون می‌شوند.

۱) ۳ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۱ مورد ۴) صفر مورد

پاسخ ۳ B فقط عبارت (ج) نادرست است.

نکته‌های تستی الف) درست است. سیاهرگ شش بیشترین O_2 بدن را دارد (چون تازه در حبابک‌ها تعویض و تبادل گاز تنفسی با خون رخ داده است). / ب) درست است. بیشترین مقدار انتقال CO_2 در خون به کمک گویچه‌های قرمز می‌باشد که فاقد هسته هستند. قسمت اعظم این عمل به صورت یون بیکربنات توسط آنزیم کربنیک انیدراز و مقداری نیز با پروتئین انتقالی هموگلوبین می‌باشد. / ج) نادرست است. امیدوارم دوباره به تله نیفتاده باشی! همهٔ O_2 ورودی از شش به خون به صورت محلول می‌باشد ولی مقدار اندکی از آن در خون به صورت محلول باقی می‌ماند (دانش‌آموزان عزیز، رمز موفقیت تکرار، تکرار و تکرار است. به همین دلیل برخی اوقات یک نکته را به صورت‌های مختلف در چند تست بیان می‌کنم!).

درسنامه

گفتار ۲ تهویهٔ ششی (دم و بازدم)

نکته تهویهٔ ششی عملی است که طی آن در بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس، O_2 و CO_2 بین خون و هوا مبادله می‌شوند. این عمل در طی دو فرایند **دم و بازدم** صورت می‌گیرد. ابتدا در این بخش برای فهم مطلب تهویه ششی در دم و بازدم به مطالعهٔ ساختار شش می‌پردازیم و سپس به نکات دم و بازدم برمی‌گردیم.

ساختار و عمل شش‌ها

- درون قفسهٔ سینه و روی پردهٔ **ماهیچه‌ای مخطط دیافراگم** (میان‌بند)، دو عدد شش قرار گرفته‌اند که به دلیل وجود قلب در سمت چپ قفسهٔ سینه، **شش چپ** مقداری از شش سمت راست **کوچک‌تر** است. شش چپ دارای دو قسمت (لوب) و شش راست دارای سه لوب می‌باشند.
- شش‌ها از **مجاری منشعب شونده** (نایژه‌ها - نایژک‌ها)، **کیسه‌های حبابکی** (مجموعهٔ حبابک‌ها) و **رگ‌ها** به وجود آمده‌اند که از **بیرون** توسط یک بافت **پیوندی** احاطه شده‌اند. **بیشتر** حجم شش‌ها را **کیسه‌های حبابکی** خوشه انگوری شکل به خود اختصاص داده‌اند که ساختاری **اسفنج‌گونه** به شش‌ها می‌دهند. البته **مویرگ‌های** خونی **فراوان**، همچون **تار عنکبوت** اطراف هر حبابک و کیسه‌های حبابکی را احاطه کرده‌اند که در تبادل گازهای تنفسی نقش دارند.
- شش‌ها
  - ظاهر اسفنج‌مانند درون آن‌ها ← به دلیل **کیسه‌های حبابکی** خوشه انگوری آن است.
  - ظاهر تار عنکبوتی اطراف آن‌ها ← به دلیل اجتماع **مویرگ‌های خونی** اطراف کیسه‌های حبابکی می‌باشد.

نکته مهم اغلب دانش‌آموزان، شش‌ها را معادل بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس می‌دانند که این باور غلط است. در حقیقت شش‌ها هم دارای قسمتی از بخش هادی یعنی نایژه‌های اصلی و باریک و نایژک‌های اولیه و انتهایی می‌باشند و هم کل بخش مبادله‌ای شامل نایژک مبادله‌ای و حبابک‌ها را دربر گرفته‌اند.

تست ۱۲ کدام گزینه در ارتباط با «بخشی از شش‌ها که بیشتر حجم آن را به خود اختصاص داده‌اند»، به درستی بیان شده است؟ (قلم‌چی)

۱) در انتهای خود به ساختاری شبیه به خوشهٔ انگور ختم می‌شود که از اجتماع حبابک‌ها پدید آمده است.
۲) به دستگاه تنفس امکان می‌دهد تا بتواند مقدار هوای ورودی یا خروجی را تنظیم کند.
۳) عمدتاً مجموعه‌ای از نایژه‌ها، نایژک‌ها، کیسه‌های حبابکی و رگ‌ها است.
۴) لایهٔ نازکی از آب، سطحی از آن‌ها را که در تماس با هواست، می‌پوشاند.

پاسخ ۴ (B) بیشتر حجم شش‌ها را **کیسه‌های حبابکی** به خود اختصاص داده‌اند که لایهٔ نازکی از آب، سطحی از حبابک‌ها را که در تماس با هوا است، می‌پوشاند.

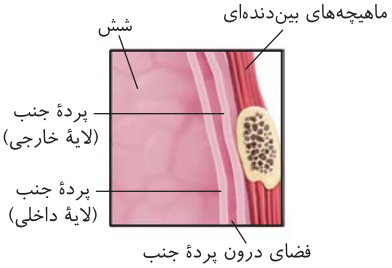
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در انتهای نایژک مبادله‌ای این ویژگی وجود دارد. / گزینهٔ (۲): این ویژگی مربوط **به نایژک‌ها** است که به علت نداشتن غضروف می‌توانند تنگ و گشاد شوند. / گزینهٔ (۳): این ویژگی مربوط به کل **شش‌ها** است.

پردهٔ جنب

اطراف هر شش **پرده‌ای دولایه پیوندی** به نام پردهٔ جنب فراگرفته است. این پرده شش‌ها را به **قفسهٔ سینه** متصل می‌کند. لایهٔ داخلی آن به سطح خارجی شش یا همان لایه پیوندی اطراف شش و لایهٔ خارجی‌اش به سطح **داخلی** قفسهٔ سینه و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای متصل شده است. فضای **اندکی** بین دو لایهٔ جنب وجود دارد، که با **مایع جنب** پر شده است.

ویژگی مایع جنب

مایع جنب از خارج به شش‌ها فشار می‌آورد که هوای شش‌ها را خاکی کند ولی هیچ وقت زورش به هوای جو که درون مجاری شش‌هاست نمی‌رسد. در حقیقت همواره فشار آن از فشار هوای جو که به درون شش‌ها آمده است، **کمتر** می‌باشد، به همین علت در **بازدم** عمیق نیز که با بیشترین فشار، هوای درون شش‌ها خارج می‌شود، باز هم شش‌ها نیمه‌باز می‌مانند و خالی از هوا نمی‌شوند. فقط در صورتی که قفسهٔ سینه سوراخ شود، فشار هوای ورودی از سوراخ به قفسهٔ سینه به همراه فشار مایع جنب که حالا زورشون به فشار هوای درون شش‌ها می‌رسه و سبب جمع شدن شش‌ها می‌شوند.



توجه! با توجه به شکل مقابل، لایه خارجی پردهٔ جنب از خارج به استخوان یا ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای قفسهٔ سینه متصل می‌باشد.

نکته

در حالت عادی بدن ← فشار هوای جو > فشار مایع جنب ← هیچ‌گاه شش‌ها خالی از هوا نمی‌شوند.

با ایجاد سوراخ در قفسهٔ سینه و مکیده شدن هوا به آن ← فشار مایع جنب + فشار هوای مکش شده > فشار جو ← شش‌ها خالی از هوا شده و جمع می‌شوند.

تست ۱۳ چند مورد در ارتباط با «بخشی از شش‌ها که بیشتر حجم آن را به خود اختصاص داده‌اند»، به درستی بیان شده است؟

الف) در رو یا انتهای هر نایژک شش قرار گرفته است.

ب) اطراف کیسه‌های حبابکی را مانند تار عنکبوت احاطه کرده است.

ج) از دو نوع مجاری با مخاط مژک‌دار تشکیل شده است.

د) فراوان‌ترین یاخته‌های آن هم‌شکل با یاختهٔ پوششی درون مری می‌باشد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۱ فقط مورد (د) صحیح است. کیسه‌های حبابکی بیشترین بخش شش را به خود اختصاص داده‌اند که یاخته‌های سنگ‌فرشی همانند بافت پوششی مری دارند (درستی د).

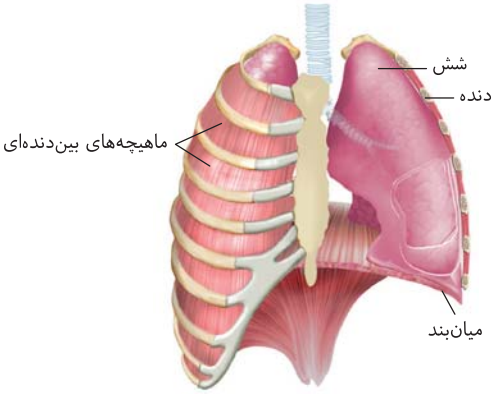
تله‌های تستی الف) در روی نایژک‌های **مبادله‌ای** کیسه‌های حبابکی وجود ندارد بلکه حبابک‌های مجزا وجود دارد (*از طرفی این حبابک‌ها هم روی و هم انتهای نایژک‌های مبادله‌ای قرار دارند (نه هر نایژکی!)*). / ب) منظور سؤال خود کیسه‌های حبابکی است (*گرگ‌های خونی حالت تار عنکبوت دارند.*) / ج) کیسه‌های حبابکی فاقد مجاری تنفسی می‌باشند.

نکته: در شش، دو نوع مجاری تنفسی نایژه و نایژک وجود دارد که هر دو مخاط مژک‌دار دارند.

ویژگی شش‌ها

● ۱) پیروی از حرکات قفسهٔ سینه

شش‌ها و کیسه‌های حبابکی آن همواره تابع حرکات قفسهٔ سینه هستند. به‌طور مثال کیسه‌های حبابکی شش‌ها در هنگام **دم** با **انبساط** قفسهٔ سینه، منبسط می‌شوند و **فشار هوای** درون آن‌ها **کاهش** می‌یابد سپس هوا با پمپ فشار **منفی** و طبق قانون انتشار از بیرون به درون شش‌ها کشیده می‌شود و با کوچک شدن قفسهٔ سینه و فشار به شش‌ها، آن‌ها نیز کوچک شده و با افزایش فشار هوای درون آن‌ها، **مقدار زیادی** از هوای خود (*نه همهٔ هوا!!*) را با بازدم خارج می‌کنند. البته شش‌ها نیز تا حدی می‌توانند منبسط و باز شوند و شرایط پذیرش هوای آن‌ها تا حد معینی می‌باشد.



«شش‌ها و قفسهٔ سینه»

نکته

هرچه **دم عمیق‌تر** باشد، نشان دهندهٔ **فشار منفی** بیشتر شش‌ها برای گرفتن هوا بوده است و هرچه **بازدم** عمیق‌تر باشد، نشان دهندهٔ **فشار مثبت** بیشتر شش‌ها برای خروج هوا بوده است. دقت کنید که در فرد سالم، حتی در حالت بازدم عمیق و شدید نیز شش‌ها خالی از هوا نمی‌شوند بلکه به صورت نیمه‌باز درمی‌آیند که دلیل آن کمتر بودن فشار مایع جنب از هوای درون شش‌هاست که به آن هوای مانده در حبابک‌ها، پس از یک بازدم عمیق، هوای باقی‌مانده گفته می‌شود.

بزرگ شدن حجم قفسهٔ سینه در دم (انبساط) ← بزرگ شدن و انبساط شش‌ها ← ایجاد فشار منفی در شش‌ها ← ورود هوا از جو به درون شش‌ها

کوچک شدن حجم قفسهٔ سینه با بازدم ← فشار به شش‌ها و کوچک شدن حجم آن‌ها ← ایجاد فشار مثبت هوا در شش‌ها ← خروج هوا از شش‌ها به جو

● ۲) خاصیت کشسانی شش‌ها

این ویژگی سبب **مقاومت شش** در برابر کشیده شدن و باز شدن زیاد **شش‌ها در هنگام انتهای دم** می‌شود. شش‌ها به دلیل خاصیت ارتجاعی یا کشسانی خود تمایل دارند به **حالت اولیه** برگردند. ویژگی کشسانی، در خروج هوا از شش‌ها از طریق بازدم نقش مهمی دارد. لازم به ذکر است که خاصیت کشسانی شش‌ها در بازدم با **استراحت یا رفع انقباض** ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای و دیافراگم، آغاز می‌شود و بدون ارسال پیام عصبی، به شش‌ها صورت می‌گیرد.

نکته

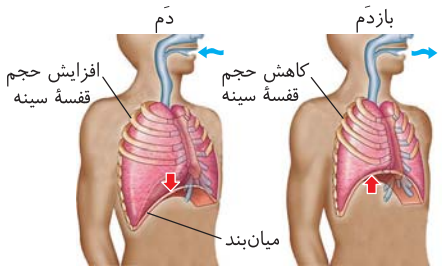
خاصیت پیروی شش‌ها از حرکات قفسهٔ سینه، همراه با انقباض ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای در **دم** نقش مهمی دارد ولی خاصیت **کشسانی شش‌ها** در مورد **بازدم** نقش مهمی دارد.

مکانیسم دم و بازدم

در ابتدای این گفتار ذکر کردیم که تهویه ششی شامل دو فرایند دم و بازدم است که در اینجا به درک علت ایجاد این فرایندها می‌پردازیم! به‌طور کلی دم و بازدم در اثر انقباض و یا استراحت ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌های داخلی و خارجی به همراه ماهیچه‌های گردنی و شکمی صورت می‌گیرد.

● بررسی دیافراگم (میان‌بند)

دیافراگم، پرده‌ای از جنس **ماهیچه** مخطط است که در پستانداران به‌طور کامل فضای **قفسهٔ سینه** را از **شکم** جدا می‌کند. این پردهٔ ماهیچه‌ای، در حالت **بازدم** به صورت **گنبدی**‌شکل و در **استراحت** می‌باشد و در حالت **دم** و طی فرمان اعصاب پیکری به **انقباض** در آمده **مسطح** می‌شود تا حجم قفسهٔ سینه را در جهت **قائم** (عمودی) زیاد کند. در **تنفس آرام و عادی**، **دیافراگم عامل** اصلی **حرکات شش‌ها و عمل تنفس می‌باشد** (دقت کنید که در این حالت، دیافراگم عامل اصلی می‌باشد نه تنها عامل!!).



«افزایش و کاهش حجم قفسهٔ سینه در دم و بازدم عادی»

● بررسی ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای

ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای به دو صورت خارجی و داخلی دیده می‌شود. در هنگام دم، انقباض انواع ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** سبب افزایش حجم قفسهٔ سینه در جهت افقی می‌شود ولی انقباض ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **داخلی** در بازدم **عمیق** سبب کوچک شدن و کاهش حجم قفسهٔ سینه می‌شود.

نکته هوا همواره طبق قانون **انتشار** از محلی با **فشار زیاد به سمت فشار کم** می‌رود. یعنی در دم به درون شش‌ها رفته و در بازدم به خارج از شش‌ها می‌رود.

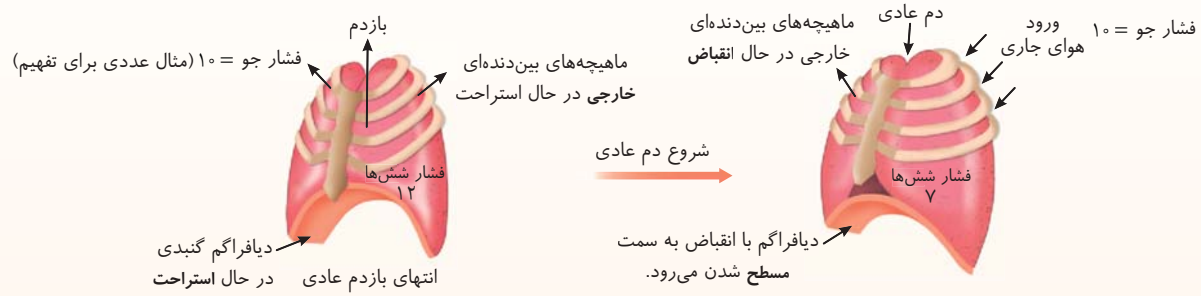
نکته دقت کنید که هرچه حجم قفسهٔ سینه و به تبعیت از آن حجم شش‌ها زیاد شود، فشار هوای درون شش‌ها **کم** شده و ورود هوا به آن **زیادتر** می‌شود. از طرفی هرچه حجم قفسهٔ سینه کمتر شود، فشار هوای درون شش‌ها **بیشتر** و خروج هوا از دستگاه تنفس **افزایش** می‌یابد.

نکته به ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** و **داخلی**، به ترتیب ماهیچه‌های بالا برنده و پایین آورنده قفسهٔ سینه نیز اطلاق می‌شود.

مکانیسم دم عادی

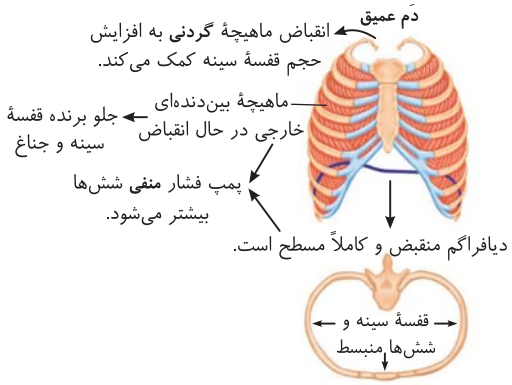
دم عادی فرایندی **فعال** و با صرف انرژی است که **انقباض دو نوع ماهیچه دیافراگم** و بین‌دنده‌ای **خارجی** در آن نقش دارد. در این رویداد **دیافراگم منقبض شده** و از حالت **گنبدی** به صورت **مسطح** درمی‌آید تا حجم قفسهٔ سینه در جهت **قائم** زیاد شود. در همین حالت ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** نیز **منقبض** می‌شوند تا دنده‌ها به سمت **جلو و بالا** و جناغ به **جلو** بروند تا حجم قفسهٔ سینه در جهت **افقی** زیاد شود. در این صورت و با افزایش حجم قفسهٔ سینه و پیروی شش‌ها از حرکات **قفسهٔ سینه**، فشار هوای درون شش‌ها به تدریج **کم** شده و هوا از بیرون (جو) وارد شش‌ها می‌شود. (در دم عادی، فقط هوای جاری وارد شش‌ها می‌شود که در ادامه در مورد حجم‌های مختلف تنفسی مطالب زیادی می‌آموزید.)

نکته در شکل‌های زیر مشاهده می‌کنید که با عمل دم عادی و افزایش حجم قفسهٔ سینه، فشار هوای درون شش‌ها از جو کمتر شده (فشار منفی) تا هوا به درون شش‌ها مکیده شود (عددهای قرار داده شده در کنار شکل‌ها فرضی بوده و فقط به اختلاف فشارها بین عدد بیرون شش (جو) و درون شش دقت کنید).



مکانیسم دم عمیق

در این رویداد **فعال**، علاوه بر عمل انقباضی ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌های خارجی، **انقباض ماهیچه‌های ناحیهٔ گردنی** نیز نقش کمکی دارد و به افزایش **بیشتر** حجم قفسهٔ سینه و **کاهش** بیشتر فشار هوای شش‌ها کمک می‌کند تا شش‌ها بتوانند، حجم بیشتری از هوا را در خود جای بدهند.

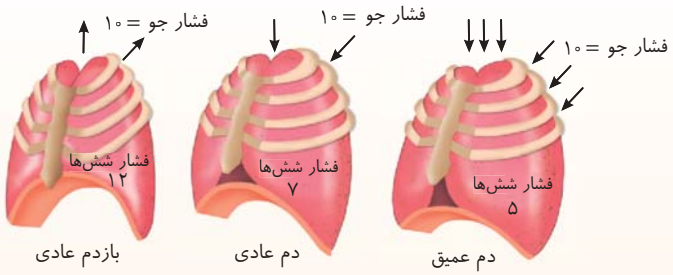


نکته

در ادامه می‌خوانید که در دم عمیق علاوه بر هوای جاری، هوای **ذخیرهٔ دمی** نیز به شش‌ها وارد می‌شود.

نکته مهم

هرچه دم عمیق‌تر باشد، فشار هوای درون شش‌ها کمتر شده و در حقیقت اختلاف فشار آن با فشار هوای جو که در این شکل‌ها با عدد ۱۰ نمایش داده‌ایم، بیشتر می‌شود. در این حالت قدرت هواگیری شش‌ها بیشتر می‌شود.



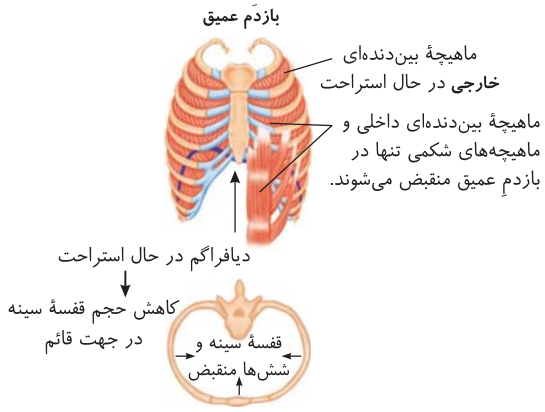
مکانیسم بازدم عادی

بازدم عادی، رویدادی **غیرفعال** و بدون صرف انرژی است که در آن انقباض ماهیچه‌ای رخ نمی‌دهد بلکه با **به استراحت درآمدن** و گنبدی شدن دیافراگم و استراحت ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** و همچنین ویژگی **کشسانی شش‌ها**، حجم قفسهٔ سینه و به دنبال **آن حجم شش‌ها کاهش** می‌یابد. همهٔ این عوامل سبب **افزایش فشار هوای درون شش‌ها شده تا مقداری از هوای آن به بیرون رانده شود.** (در این حالت فقط هوای جاری خارج می‌شود ولی هوای ذخیرهٔ بازدمی و هوای باقی‌مانده در شش‌ها باقی می‌مانند که در ادامه این هواها را بررسی خواهیم کرد.)

شکل بازدم عادی و رابطهٔ عددی آن با فشار هوای بیرونی جو را در شکل نکتهٔ قبل مشاهده می‌کنید.

مکانیسم بازدم عمیق

رویدادی **فعال** است که در اثر **انقباض** هم‌زمان ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **داخلی** و ماهیچه‌های **شکمی**، قفسهٔ سینه به سمت پایین آمده و به پیروی از آن، شش‌ها نیز کوچک می‌شوند. در انتهای بازدم عمیق، **فقط هوای باقی‌مانده در حبابک‌های شش‌ها باقی می‌ماند.** (در بازدم عمیق علاوه بر هوای جاری، هوای ذخیره بازدمی نیز از شش‌ها خارج می‌شود.)



نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

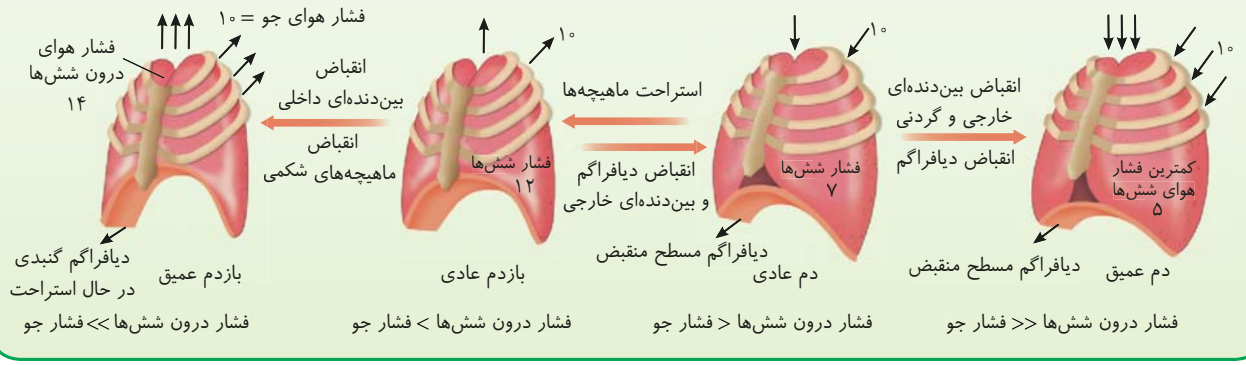
۱) فقط در بازدم عمیق ماهیچه‌های دو طرف دیافراگم یعنی بین‌دنده‌ای داخلی و شکمی به انقباض درمی‌آیند.

۲) در **دم** عمیق، شش‌ها کمترین فشار هوا و در **بازدم** عمیق بیشترین فشار هوا را دارند.

۳) در **دم** عادی و عمیق، **شش‌ها** نسبت به هوای بیرون بدن، دچار **فشار منفی** می‌شوند ولی در **بازدم عادی و عمیق**، شش‌ها با **فشار مثبت** هوای خود را بیرون می‌رانند.

۴) برای ایجاد فشار **منفی** در شش‌ها، هنگام **دم عمیق**، انقباض ماهیچه‌های دیافراگم، بین‌دنده‌ای **خارجی** و **گردنی** مؤثرند ولی برای ایجاد فشار **مثبت** در شش‌ها، هنگام **بازدم عمیق**، انقباض ماهیچه‌های **بین‌دنده‌ای داخلی و شکمی** مؤثرند.

۵) دقت کنید که در تمام حالات مقایسه‌ای گفته شده در مورد دم عادی و عمیق تا بازدم عادی و عمیق، اختلاف فشار **هوای** درون شش‌ها و جو مهم می‌باشد. در تمام این مراحل **فشار مایع جنب** از فشار هوای جو **کمتر** است و به همین دلیل در حالت بازدم عمیق نیز که شش‌ها با فشار زیاد هوای خود را خارج می‌کنند، در نهایت فشار هوای باقی‌مانده در **شش‌ها** و هوای مرده موجود در **مجاری تنفسی** بیشتر از فشار مایع جنب بوده و هیچ‌گاه در یک فرد طبیعی شش‌ها خالی از هوا نمی‌شوند.



تست ۱۴ **هنگامی که فشار هوای درون شش‌های انسان به منفی‌ترین حالت خود رسیده است، .....** (قلم‌چی)

۱) ماهیچهٔ دیافراگم برخلاف ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای خارجی در حال انقباض است.

۲) ماهیچه‌های مؤثر در فرایند تنفسی موجود در زیر پردهٔ دیافراگم، انرژی زیستی بیشتری مصرف می‌کنند.

۳) ماهیچه‌ای که در تنفس آرام و طبیعی نقش دارد، مسطح بوده و جناغ به عقب رانده می‌شود.

۴) فشار وارد بر اندام‌هایی که توسط پردهٔ صفاق به هم متصل شده‌اند، افزایش می‌یابد.

پاسخ ۴ B

در حالت **دم عمیق** فشار هوای درون شش‌ها به منفی‌ترین حالت خود می‌رسد. در این حالت پردهٔ دیافراگم مسطح شده و با پایین آمدن خود و کاهش حجم شکم، بر احشاء شکمی فشار وارد می‌کند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): در دم هر دو ماهیچهٔ فوق در حال انقباض هستند. / گزینهٔ (۲): انقباض ماهیچه‌های شکمی مؤثر بر تنفس در زیر دیافراگم مربوط به بازدم عمیق است (نه دم عمیق). / گزینهٔ (۳): در هنگام دم، جناغ به جلو می‌رود.

تست ۱۵ **کدام گزینه عبارت مقابل را به نادرستی کامل می‌کند؟ «هر ماهیچه‌ای که .....»** (قلم‌چی)

۱) در تنفس آرام و طبیعی، مهم‌ترین نقش را دارد، به هنگام دم به حالت مسطح است.

۲) در بازدم عمیق نقش دارد، در بالای پردهٔ دیافراگم واقع شده است.

۳) تنها در دم عمیق به افزایش حجم قفسهٔ سینه کمک می‌کند، در بالای دنده‌ها قرار دارد.

۴) در فرایند غیرفعال در تنفس آرام و طبیعی دخالت دارد، موجب کاهش حجم شش‌ها می‌شود.

پاسخ ۲ A

در بازدم عمیق ماهیچه‌های شکمی نیز نقش دارند که در زیر دیافراگم قرار دارند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): در مورد دیافراگم صحیح است. / گزینهٔ (۳): در مورد ماهیچه‌های گردنی صحیح است. / گزینهٔ (۴): در مورد استراحت دیافراگم در بازدم عادی صحیح است.

تست ۱۶ **چند مورد از موارد زیر، در هر دو فرایند «دم و بازدم عادی» در انسان سالم، مشاهده می‌شود؟** (قلم‌چی)

الف) تغییر حجم قفسهٔ سینه

ب) تنظیم میزان جریان هوا توسط نایژه‌ها

ج) کمتر بودن فشار مایع جنب از فشار جو

د) جابه‌جا شدن دنده‌ها توسط انقباض ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ C

موارد (الف) و (ج) صحیح‌اند.

نکته‌های تستی الف) درست است. در دَم، حجم قفسهٔ سینه افزایش و در بازدم، حجم قفسهٔ سینه کاهش می‌یابد. / ب) نادرست است. به علت نداشتن غضروف، **نایژک‌ها** می‌توانند تنگ و گشاد شوند. این ویژگی نایژک‌ها به دستگاه تنفس امکان می‌دهد تا بتواند مقدار هوای ورودی یا خروجی را تنظیم کند (نه تبادل گازها). / ج) درست است. فشار مایع جنب همواره در فرد سالم از فشار جَو کمتر است که باعث می‌شود شش‌ها در حالت بازدم کاملاً جمع نشوند. / د) نادرست است. در فرایند دم، ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی، دنده‌ها را به سمت بالا و جلو جابه‌جا می‌کنند.

با به استراحت درآمدن ماهیچهٔ میان‌بند و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی و بر اثر ویژگی کشسانی شش‌ها، حجم قفسهٔ سینه و در نتیجه، حجم شش‌ها کاهش می‌یابد و هوای درون آن‌ها به بیرون رانده می‌شود.

مقایسهٔ دستگاه تنفس گوسفند با انسان

۱) برخلاف انسان در انتهای نای آن‌ها، **قبل** از دو نایژهٔ اصلی، یک انشعاب سوم مشاهده می‌شود که به سمت شش **راست** می‌رود.

۲) همانند انسان غضروف‌های **نایژه** برخلاف نای، C مانند نیستند ولی این غضروف‌ها در ابتدا به صورت **حلقهٔ کامل** و بعد به صورت **قطعه‌قطعه** و پراکنده می‌باشند.

۳) همانند انسان، لبهٔ مدخل نایژه‌ها به دلیل وجود **غضروف**، زبر می‌باشد ولی لبهٔ مدخل سرخرگ‌ها صاف و به دلیل دیوارهٔ محکم‌تر نسبت به سیاهرگ‌ها، حتی در نبود خون نیز **باز** می‌ماند.

۴) همانند انسان قرار دادن تکه‌ای از شش در ظرف پر از آب، سبب شناور شدن آن روی سطح آب می‌شود.

تست ۱۷ **در گوسفند، بخشی از مجاری تنفسی که دارای حلقه‌های غضروفی کامل در ساختار خود می‌باشد، معادل قسمتی از مجاری تنفسی انسان سالم و بالغ است که .....** (قلم‌چی)

۱) در حالت طبیعی، در طی یک دم و بازدم می‌تواند در تماس با حجم هوایی قرار بگیرد که هیچ‌گاه از شش‌ها خارج نمی‌شود.

۲) فاقد مخاط مژک‌دار است و در انتهای خود به ساختاری شبیه به خوشهٔ انگور ختم می‌شود.

۳) هیچ‌یک از یاخته‌های آن توانایی ترشح عامل کاهندهٔ نیروی کشش سطحی را ندارند.

۴) این مجاری به‌طور کامل درون قفسهٔ سینهٔ انسان و خارج از شش‌ها قرار دارند.

پاسخ ۳ B

مطابق فعالیت «تشریح شش گوسفند» در کتاب درسی، بریدن **نایژهٔ** اصلی به سادگی نای نیست و این به علت ساختار غضروف‌های نایژه است که در ابتدا به صورت حلقهٔ کامل و بعد به صورت قطعه‌قطعه است. در این محل هیچ‌یک از یاخته‌ها توانایی ترشح عامل سطح فعال (سورفاکتانت) را ندارند.

حجم‌های تنفسی

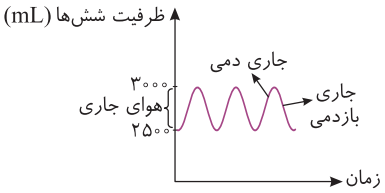
دستگاه اسپیرومتر (دم‌سنج) می‌تواند مقدار هوایی را که به **شش‌ها** وارد یا از آن خارج می‌شود اندازه‌گیری کند و آن را به صورت **نمودار اسپیروگرام** (دم‌نگار) نشان دهد. تحلیل دم‌نگاره‌ها (اسپیروگرام‌ها) در تشخیص صحیح بیماری‌های **ششی** کاربرد فراوان دارد.

نکته مقدار هوایی که به **شش‌ها** وارد یا از آن خارج می‌شود به چگونگی **دم و بازدم عادی یا عمیق و سرعت تنفس** بستگی دارد که در فرد عادی و سالم، شامل هواهای جاری، ذخیرهٔ دمی و ذخیرهٔ بازدمی می‌باشد.

نکته ظرفیت شش‌های افراد مختلف، مساوی **نمی‌باشد** ولی به‌طور معمول دو شش مجموعاً قدرت ذخیره حداکثر ۶۰۰۰ میلی‌لیتر هوا در خود دارند.

حجم جاری

مقدار هوایی که در یک **دم عادی** به شش‌ها وارد شده و یا در یک **بازدم عادی** از شش‌ها خارج می‌شود را هوای جاری می‌گویند که حدوداً ۵۰۰cc می‌باشد. در حقیقت یک هوای جاری دمی (۵۰۰cc) و یک هوای جاری بازدمی (۵۰۰cc) داریم که در دم و بازدم عادی وارد و خارج می‌شود.



نکته در دم برای **ورود** هوای جاری دمی، انقباض دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌های **خارجی** نیاز است ولی در بازدم عادی برای خروج حجم جاری بازدمی، فقط **خاصیت کشسانی** شش‌ها لازم است و نیازی به انقباض ماهیچه نیست.

هوای مرده

حدود **۱۵۰cc** از هوای ورودی (جاری) به دستگاه تنفس در هنگام دم، در **مجاری تنفسی** (بخش هادی) می‌ماند و به بخش مبادله‌ای درون شش‌ها نمی‌رسد. **مقدار این هوا به قطر مجاری تنفسی بستگی دارد.** در یک فرد سالم و با هر نوع دم و بازدمی مقدار آن در **هر تنفس** ثابت است. در هر دم یا بازدم عادی یا عمیق مقدار هوای مرده حدود ۱۵۰ cc می‌باشد که تقریباً $\frac{۱}{۳}$ حجم هوای جاری معمولی است. این هوا، زیر مجموعه هوای جاری می‌باشد و در دم‌نگاره (اسپیروگرام)، محل جداگانه‌ای ندارد.

نکته مهم عزیزان دقت داشته باشید که هوای مرده در بخش هادی تنفس، همواره وجود دارد و در آن قسمت نیز تهویه نمی‌شود. در حقیقت این هوا هم در خارج از شش در مجاری بینی، حلق، حنجره و نای وجود دارد و هم بخشی از آن درون شش در نایژه‌ها و نایژک‌ها تا نایژک انتهایی وجود دارد. این هوا در نایژک مبادله‌ای و کیسه‌های حبابکی وجود ندارد.

حجم تنفسی در دقیقه

حاصل‌ضرب **حجم هوای جاری** در **تعداد تنفس** در **دقیقه** می‌باشد. در حقیقت حجم تنفسی، مقدار هوایی است که توسط دم **عادی** در هر دقیقه به **دستگاه تنفس** می‌رسد.

نکته مهم دقت کنید که هرچه **حجم تنفسی** در دقیقه بیشتر شود، **دلیل بر بهتر بودن تنفس یک فرد نیست** چون اگر تعداد تنفس در دقیقه خیلی زیاد شود، قفسهٔ سینه و شش‌ها فرصت کافی برای افزایش حجم یا انبساط کامل ندارند و به دنبال آن، حجم جاری **کاهش** می‌یابد. این عوامل باعث **افزایش** نسبت مقدار حجم هوای **مرده** به کل هوای ورودی در **دقیقه** می‌شود در نتیجه مقدار **هوای مبادله‌ای** که به حبابک شش‌ها می‌رسد، کم شده و باعث **نرسیدن** اکسیژن کافی به بافت‌ها، کمبود ATP و به دنبال آن خستگی می‌شود. پس مهم این است که **حجم هوای مبادله شده** در دقیقه بالاتر رود نه اینکه مقدار حجم تنفسی در دقیقه بالاتر باشد.

در ادامه، در جدول مشاهده می‌کنید که حجم هوای **مبادله شده** شش‌ها در دقیقه، برای تنفس یک فرد عادی با یک فرد دچار بیماریِ افزایش تعداد تنفس (تاکی پنه) و یک فرد ورزشکار که هوای جاری و تعداد تنفس را بالا برده است، چه تفاوتی می‌کند. ابتدا چند تعریف را یاد بگیرید:

تعداد تنفس در دقیقه × حجم جاری = حجم **تنفسی** در دقیقه

تعداد تنفس در دقیقه × حجم هوای مرده (۱۵۰) = حجم هوای **مرده** در دقیقه

حجم هوای مرده در دقیقه – حجم تنفسی در دقیقه = حجم هوای **مبادله‌ای** در حبابک شش‌ها

نکته مهم **حجم هوای مرده در هر تنفس ثابت است** ولی مقدار آن در **دقیقه** بستگی به **تعداد تنفس** دارد و متغیر است. در حقیقت عمق تنفس بیشتر یا همان نفس عمیق، سبب افزایش حجم هوای مرده در هر نفس نمی‌شود چون در این حالت قطر مجاری تنفسی تغییر چندانی نمی‌کند. مثلاً اگر فردی نفس کوتاه بکشد و فقط ۲۰۰cc هوا وارد کند، قطعاً ۱۵۰cc آن هوای مرده است و فقط ۵۰cc آن برای تبادل به کیسه‌های حبابکی می‌رسد که برای بدن کافی نیست. حال اگر در حالت عادی ۵۰۰cc هوا وارد کند، باز هم ۱۵۰cc آن مرده بوده و ۳۵۰cc آن تهویه می‌شود و اگر ۱۰۰۰cc هوای جاری باشد، باز هم ۱۵۰cc آن مرده و ۸۵۰cc برای تهویه وارد کیسه‌های حبابکی می‌شود.

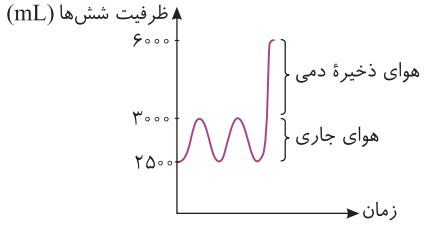
● **جدولی برای درک بهتر تهویه ششی**

وضعیت تنفس	حجم هوای مبادله‌ای	حجم هوای مرده در دقیقه	حجم تنفسی در دقیقه	حجم هوای مرده	تعداد تنفس در دقیقه	حجم جاری	فرد
مناسب	۴۲۰۰	۱۸۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰	۱۲	۵۰۰	عادی
نامناسب	۲۰۰۰ «نصف فرد عادی»	۶۰۰۰	۸۰۰۰	۱۵۰	۴۰	۲۰۰	مبتلا به بیماری افزایش تعداد تنفس
عالی	۱۷۰۰۰ «حدود چهار برابر فرد عادی»	۳۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰	۲۰	۱۰۰۰	ورزشکار

با توجه به جدول بالا مشاهده می‌کنید که بهترین راه برای تنفس بهینه، افزایش **عمق** تنفس یا همان افزایش مقدار هوای **جاری** می‌باشد (*نه افزایش تعداد تنفس*!). از طرفی مشاهده می‌کنید که حجم **تنفسی** در دقیقه در افراد مختلف، متفاوت می‌باشد.

حجم ذخیرهٔ دمی

مقدار هوایی حدود ۳ لیتر است که می‌توانیم در هنگام دم **عمیق** به کمک **انقباض ماهیچه‌های گردنی** به همراه انقباض دیافراگم و ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای خارجی، وارد شش‌ها کنیم. یعنی هوایی می‌باشد که پس از یک دم معمولی و ورود حجم جاری به شش‌ها می‌توانیم با یک دم عمیق به شش‌ها وارد کنیم تا تبادل گازهای تنفسی برای بدن افزایش یابد. بدیهی است که در هنگام ورود هوای ذخیرهٔ دمی به شش‌ها، فشار درون شش‌ها به **کمترین** مقدار خود رسیده است.



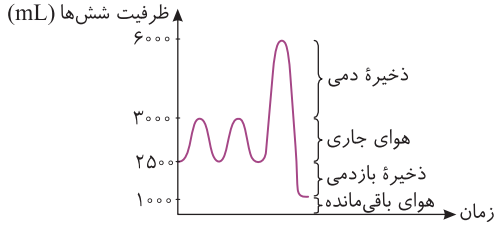
حجم ذخیرهٔ بازدمی

مقدار حجم هوایی است که **پس از بازدم عادی** و خروج هوای جاری، می‌توانیم با انقباض ماهیچه‌های **شکمی** و بین‌دنده‌ای **داخلی** به صورت فعال از شش‌ها خارج کنیم که حجم آن حدود ۱۵۰۰ سی‌سی می‌باشد. با خروج این هوا، دیافراگم در **گنبدی‌ترین** حالت و قفسهٔ سینه در **کمترین** حجم خود قرار دارد.

نکته برای خروج هوای ذخیرهٔ بازدمی، باید فشار هوای درون شش‌ها به **حداکثر** حالت خود برسد.

حجم باقی‌مانده

مقدار هوایی حدود ۱۰۰۰ سی‌سی می‌باشد که **همواره در حبابک شش‌ها و نایژه مبادله‌ای باقی می‌ماند و حتی با بازدم عمیق هم خارج نمی‌شود**. اهمیت این هوا بسیار زیاد است چون باعث **باز بودن همیشگی حبابک‌های** هوا شده و سبب می‌شود که شش‌ها، حتی در فاصلهٔ بین دو **تنفس** نیز قادر به تبادل گازها باشند. این حجم با دم‌نگاره ثبت نمی‌شود و در حقیقت فاصلهٔ محور زمان تا انتهای بازدم عمیق می‌باشد.



نکته علت وجود هوای باقی‌مانده در شش‌ها، کمتر بودن همیشگی فشار **مایع جنب** نسبت به فشار هوای جو در درون شش‌ها می‌باشد.

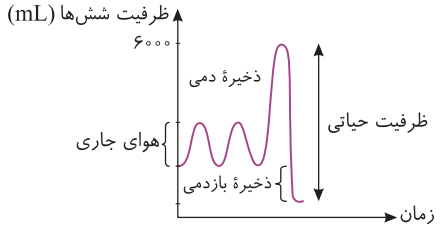
نکته در دستگاه تنفس، نای، نایژه‌ها و حبابک‌ها در حالت طبیعی همیشه باز هستند. فقط نایژک‌ها توانایی باز و بسته شدن دارند.

ظرفیت‌های تنفسی

مجموع دو یا چند حجم تنفسی متفاوت می‌باشد که در بالا هرکدام را جداگانه بررسی کردیم. از این ظرفیت‌ها می‌توان به ظرفیت حیاتی، ظرفیت تام شش‌ها و ظرفیت دستگاه تنفس اشاره کرد.

● **ظرفیت حیاتی**

مقدار هوایی که پس از یک **دم عمیق** می‌توانیم **طی یک بازدم عمیق از شش‌ها** خارج کنیم را ظرفیت حیاتی می‌نامند. این هوا مجموع حجم هوای جاری، ذخیرهٔ دمی و ذخیرهٔ بازدمی می‌باشد و حدود ۵ لیتر حجم دارد ولی هوای **باقی‌مانده** جزء آن به حساب نمی‌آید. (*در حقیقت ظرفیت حیاتی، طی یک بازدم عمیق ثبت می‌شود که این بازدم پس از یک دم عمیق انجام شده باشد.*)



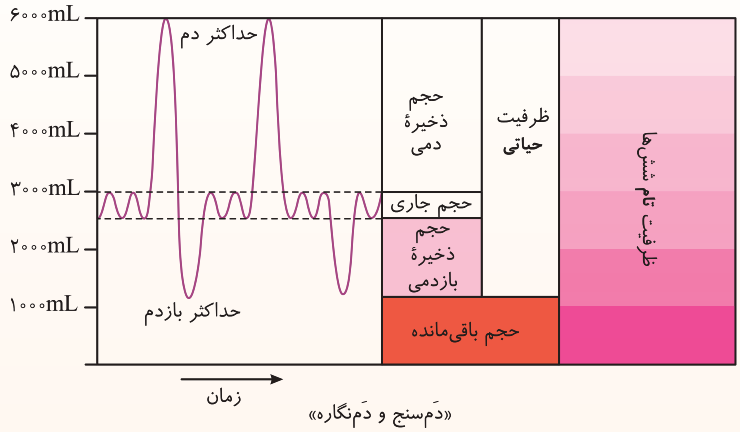
ظرفیت تام (ظرفیت کل شش‌ها)

کل حجم هوایی است که هر دو شش می‌توانند درون خود جای دهند و حدود ۶ لیتر می‌باشد. این حجم، مجموعهٔ **ظرفیت حیاتی و حجم هوای باقی‌مانده** می‌باشد.

نکته همواره در مجاری هادی تنفسی مقدار کمی هوا به نام هوای مرده قرار دارد که بخشی از هوای جاری است و محل جداگانه‌ای در دم‌نگاره ندارد.

نکته حجم هواهای تنفسی در فرد سالم به **سن** و **جنسیت** او بستگی دارد. دقت کنید که ظرفیت شش‌ها در افراد مختلف، متفاوت است.





ظرفیت کل دستگاه تنفس

لازم بـه یـادآوری اسـت که هواهایی که بحث کردیم همگی در بخش مبادله‌ای شـش‌ها وارد یا خارج می‌شـوند ولی در حقیقت همـواره مقداری هوا حدود ۱۵۰ میلی‌لیتر در مجاری هادی تنفسـی از بینی تا **نایژک انتهایی** می‌ماند که به آن هوای مرده گفته می‌شـود. به مجموعهٔ ظرفیت تام شـش‌ها و حجم هوای مرده در مجاری تنفسی، ظرفیت کل **دستگاه تنفس** گفته می‌شود.

خلاصه نکات دم و بازدم

مراحل تنفسی	دم عادی	دم عمیق	بازدم عادی	بازدم عمیق
انقباض دیافراگم	دارد	دارد	ندارد	ندارد
حالت دیافراگم	مسطح	مسطح‌ترین	گنبدی	گنبدی‌ترین
ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی	انقباض	انقباض	استراحت	استراحت
ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای داخلی	استراحت	استراحت	استراحت	**انقباض**
ماهیچه‌های گردنی	استراحت	**انقباض**	استراحت	استراحت
ماهیچه‌های شکمی	استراحت	استراحت	استراحت	**انقباض**
جهت حرکت قفسهٔ سینه	جلو و بالا	جلو و بالا	پایین	پایین
فشار درون شش‌ها	کاهش	کاهش زیاد	افزایش	افزایش زیاد
هواهای وارد یا خارج شده از شش‌ها در انتهای مرحله	فقط جاری	جاری + ذخیرهٔ دمی	جاری	جاری + ذخیرهٔ بازدمی
هوای موجود در بخش مبادله‌ای شش‌ها	جاری + ذخیرهٔ بازدمی + باقی‌مانده	جاری + باقی‌مانده + ذخیرهٔ دمی و بازدمی	باقی‌مانده + ذخیرهٔ بازدمی	فقط باقی‌مانده

تست ۱۸ در انسان حجمی از هوای تنفسی که امکان تبادل گازها را در فواصل بین دو تنفس فراهم می‌کند، ..... (قلم‌چی)

۱) ممکن نیست سبب بازماندن دائمی حبابک‌ها شود.
۲) به بخش مبادله‌ای دستگاه تنفسی وارد نمی‌شود.
۳) جزئی از ظرفیت حیاتی محسوب نمی‌شود.
۴) در طی بازدم عمیق از شش‌ها خارج می‌شود.

پاسخ ۳ حجم **باقی‌مانده** مقداری از هوا اسـت که در بخش مبادله‌ای شـش‌ها باقی می‌ماند و در حالت طبیعی نمی‌توان آن را خارج کرد. حجم باقی‌مانده سـبب بازماندن همیشگی حبابک‌ها می‌شود و تبادل گازها را در فاصلهٔ بین دو تنفس ممکن می‌سازد و جزء ظرفیت حیاتی محسوب نمی‌شود.

تست ۱۹ **هر فرایند تنفسی فعالی که انقباض ماهیچه‌هایی غیر از قفسهٔ سینه نیز در آن‌ها مؤثر است، .....**

۱) همراه با مسطح شدن دیافراگم می‌باشد.
۲) سبب مثبت شدن فشار درون شش‌ها می‌شود.
۳) علاوه بر هوای جاری، نوعی هوای ذخیره نیز در شش جابه‌جا می‌شود.
۴) سبب ورود ظرفیت حیاتی به درون شش‌ها می‌شود.

پاسخ ۳ B در بین فرایندهای دم و بازدم، فقط **بازدم عادی** یک فرایند **غیرفعال** می‌باشد که تنها با خاصیت کشسانی شش‌ها و رفع انقباض ماهیچه‌ها صورت می‌گیرد. منظور این سؤال دم عمیق و بازدم عمیق می‌باشد که انقباض ماهیچه‌های خارج قفسهٔ سینه از جمله گردنی و شکمی در آن‌ها مؤثر است.

◀ گزینهٔ (۳) صحیح است چون در دم یا بازدم عمیق، علاوه بر هوای جاری یکی از دو هوای ذخیرهٔ دمی یا بازدمی نیز به شش وارد یا خارج شده است.

◀ گزینهٔ (۱) در بازدم عمیق رد می‌شود، گزینهٔ (۲) در دم با فشار منفی شش‌ها رد می‌شود و گزینهٔ (۴) در بازدم عمیق رد می‌شود.

اعمال دیگر تنفس و تنظیم تنفس

تکلم

وقتی در اثر **بازدم**، هوای خروجی در **ابتدای نای به حنجره** می‌رسد، به دلیل برخورد هوا با **پرده‌های صوتی** و خاصیت ارتجاعی یا کشسانی آن‌ها **صدا** ایجاد می‌شود. البته **شکل‌دهی به صدا** و واژه‌سازی به وسیلهٔ بخش‌هایی از **لب‌ها و دهان** (*زبان و دندان‌ها*) صورت می‌گیرد.

نکته پرده‌های صوتی حاصل چین‌خوردگی **مخاط حنجره** به سمت **داخل** می‌باشند که **بیشتر** از جنس بافت **پوششی** هستند.

نکته لازم به یادآوری است که بنداره همواره از ماهیچهٔ حلقوی و با قدرت انقباض ایجاد شده است ولی کلمهٔ **دریچه** معمولاً برای بافت پوششی چین‌خورده به کار می‌رود که قدرت انقباض ندارد (*مثل پردهٔ صوتی، دریچه‌های قلبی، انتهای میزنای و لانه کبوتری سیاهرگ‌ها*!).

نکته به‌طور معمول، تکلم در هنگام بازدم صورت می‌گیرد، پس باید راه نای **باز** باشد. یعنی اپی‌گلوت (*برچاکنای*) به سمت **بالا** می‌آید تا راه حنجره **باز** شود. پس در هنگام ارتعاش تارهای صوتی، دیافراگم در حال استراحت بوده و گنبدی‌شکل است و ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای خارجی نیز در حالت استراحت می‌باشد (*چون در شرایط بازدم هستیم*).

سرفه و عطسه

عملی **دفاعی** است که با تحریک مجاری **فوقانی** تنفسی آغاز می‌شود. ذرات خارجی یا گازهای مضر یا نامطلوب می‌توانند باعث تحریک این مجاری شده و موجب خروج هوا به صورت **سرفه** (*با فشار از راه دهان*) یا به صورت **عطسه** (*از راه بینی و دهان*) شوند.

نکته در هنگام عطسه، زبان کوچک به **پایین** آمده تا راه بینی باز شود ولی در هنگام سرفه، زبان کوچک **بالا** می‌رود تا راه بینی را ببندد در حالی که **در هر دو مکانیسم برای خروج هوا از نای، برچاکنای** (*اپی‌گلوت*) **بالا می‌رود تا راه نای باز شود.**

نکته در افرادی که مصرف دخانیات دارند، به علت از بین رفتن **یاخته‌های مژک‌دار مخاط مجاری** تنفسی، **سرفه** راه **مؤثرتری** برای بیرون راندن مواد خارجی است و این افراد سرفه‌های مکرر دارند.

انعکاس	زبان کوچک	راه بینی	برچاکنای	راه حنجره و نای
بلع	بالا می‌رود	بسته	پایین می‌آید	بسته
استفراغ	بالا می‌رود	بسته	پایین می‌آید	بسته
عطسه	پایین می‌آید	باز	بالا می‌رود	باز
سرفه	بالا می‌رود	بسته	بالا می‌رود	باز

تست ۲۰ **عطسه ..... سرفه .....** (قلم‌چی)

۱) برخلاف - هوا را از راه دهان خارج نمی‌کند.
۲) همانند - مؤثرترین راه برای بیرون راندن مواد خارجی در افراد سیگاری است.
۳) برخلاف - می‌تواند از مجرایی هوا را خارج کند که توسط زبان کوچک بسته می‌شود.
۴) همانند - در اثر تحریک بخش مبادله‌ای مجاری تنفسی توسط عامل خارجی صورت می‌گیرد.

پاسخ ۳ A سرفه از راه دهان و عطسه از راه دهان و **بینی** هوا را خارج می‌کنند (*میر بینی توسط زبان کوچک بسته می‌شود*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): هر دو می‌توانند هوا را از دهان خارج کنند. / گزینهٔ (۲): سرفه مؤثرترین راه است. / گزینهٔ (۴): تحریکات در اثر مجاری هادی رخ می‌دهد نه مبادله‌ای!

تنظیم تنفس

در ابتدا یاد بگیرید که ماهیچه‌های بدن ما فقط وقتی می‌خواهند به انقباض دربیایند، نیازمند دریافت پیام عصبی از اعصاب حرکتی هستند ولی استراحت آن‌ها نیـاز بـه ارسـال پیام عصبی مهاری ندارد. همان‌طور که بررسـی کردیم، در تنفس، عمل بـازدم عادی به صورت **غیرفعال** یعنی **بـدون** نیاز به پیام عصبی حرکتی و انقباض ماهیچه‌ای انجام می‌شـود. در حقیقت بازدم عادی با **اسـتراحت** ماهیچهٔ دیافراگم و بین‌دنده‌ای خارجی به همراه خاصیت کشسـانی شـش‌ها صورت می‌گیرد، اما برای عمل دم و **شروع انقباض** دیافراگم (میان‌بند) و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی، به اعصاب **حرکتی** و فرمان عصبی آن‌ها نیازمندیم.

نکـته

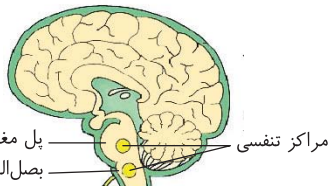
اعصاب حرکتی پیام را از مراکز عصبی مثل مغز به سمت ماهیچه‌ها و غدد می‌برند و اعصاب حسی پیام را از اندام‌های گیرنده حس به مراکز عصبی می‌آورند.

تنظیم تنفس در اثر عوامل **عصبی** و عوامل **شیمیایی** صورت می‌گیرد.

تنظیم عصبی تنفس

تنفس دارای **دو مرکز عصبی** در **ساقهٔ مغز** می‌باشد. مرکز پایین‌تر در **بصل‌النخاع و مرکز بالاتر در پل مغزی** قرار دارد. برای تنظیم تنفس، مرکز اصلی، **بصل‌النخاع** می‌باشـد که با ارسـال پیام حرکتی به ماهیچه‌های تنفسـی ارتباط مستقیم دارد. بخش بالاتر در پل مغزی، پیام مهارکننـدهٔ دم خـود را به بصل‌النخاع ارسـال می‌کند تا بصل‌النخاع دیگـر پیام تحریکی به ماهیچه‌های دمی نفرستد. در ادامه به بررسی فعالیت‌های این دو مرکز می‌پردازیم.

در زیست یازدهم می‌خوانیم که ساقهٔ مغز به ترتیب از بالا به پایین متشکل از سه بخش مغز میانی، پل مغز و بصل‌النخاع می‌باشد.



«مراکز عصبی تنفس»

● الف) پیام حرکتی برای شروع دم

برای شروع دم، مرکز تنفسی **بصل‌النخاع** با صدور فرمان **حرکتی**، دستور شروع انقباض دیافراگم و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی را صادر می‌کند و سپس عمل دم و ورود هوا به شش‌ها انجام می‌شود.

نکـته

ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌ها از نوع ماهیچهٔ مخطط اسـکلتی می‌باشـند که همواره با اعصاب **پیکری** به انقباض درمی‌آیند. این ویژگی هم به صورت ارادی تحت کنترل **قشر مخ** و هم به صورت انعکاسی غیرارادی تحت فرمان **بصل‌النخاع** به انقباض درمی‌آیند.

● ب) توقف عمل دم

این عمل با مکانیسم زیر صورت می‌گیرد:

مرکز تنفس در **پل مغزی**، فرمان عصبی مهارکننده برای **تنظیم مدت زمان دم** به بصل‌النخاع می‌دهد. پل مغز این پیام را با اثر بر **مرکز تنفس در بصل‌النخاع** صادر می‌کند و سبب ممانعت از ادامهٔ فعالیت اعصاب حرکتی بصل‌النخاع می‌شود تا دم **خاتمه** پیدا کند. در حقیقت عدم ارسال پیام از بصل‌النخاع، سبب شروع غیرفعال بازدم می‌شود.

نکـته

از مطلب بالا در مورد توقف عمل دم، متوجه می‌شویم که توقف دمی که بعد از دم **عادی** و شروع بازدم رخ می‌دهد، تحت کنترل اثر مهاری پل مغز روی بصل‌النخاع می‌باشد (در حقیقت پل مغز بعد از هر دم، از بالا می‌زنه تو سر بصل‌النخاع که بس کن! و پیام ارسال نکن! با این کار خودبه‌خود عمل بازدم عادی شروع می‌شه!).

یادآوری: راسـتی یادتونه تو هنگام بلع هم با ورود غذا به حلق، خود بصل‌النخاع یک مرکز عصبی بلع داشـت که وقتی فعال می‌شـد، می‌رفت مرکز عصبی تنفس تو بصل‌النخاع رو متوقف می‌کرد؟ (پـس این مرکز تنفـس تو بصل‌النخاع خیلی تو سری خوره! هم پل مغز از بالا تو سرش می‌زنه و هم مرکز عصبی بلع خودش!)

تنظیم شیمیایی تنفس

افزایش کربن دی‌اکسـید خون **عامل بسـیار مهم** و **کاهش** اکسـیژن عامل **کم‌اهمیت‌تری** برای تنظیم تنفس می‌باشد. در هر صورت زیادی CO_2 خون و کاهش O_2، از عوامل شیمیایی می‌باشند که با افزایش آهنگ تنفس سعی در تنظیم این عمل دارند.

خلاصه تنظیم عصبی تنفس

ارسال پیام حرکتی از مرکز تنفس در بصل‌النخاع ← انقباض ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای خارجی ← شروع عمل دم

ارسال پیام از مرکز تنفس در پل مغزی پس از دم عادی (تنظیم مدت زمان دم) ← روی مرکز تنفس در بصل‌النخاع اثر می‌کند. ← سبب خاتمه دادن به عمل دم می‌شود.

تست ۲۱ کدام گزینه عبارت مقابل را به‌طور مناسب تکمیل می‌کند؟ «**مرکز تنفسی در پل مغزی** ..... **مرکز تنفسی در بصل‌النخاع**، .....»

۱) همانند - مدت زمان دم را تنظیم می‌کند.
۲) برخلاف - با ورود غذا به حلق فعال می‌شود.
۳) همانند - دستور حرکتی شروع دم را به دیافراگم می‌دهد.
۴) برخلاف - مقدمات شروع بازدم را فراهم می‌کند.

پاسخ ۴

نکته: پل مغزی عمل خود را برای خاتمهٔ دم یا همان تنظیم مدت دم را با اثر بر بصل‌النخاع انجام می‌دهد و مستقیماً به ماهیچهٔ تنفسی پیام نمی‌دهد.

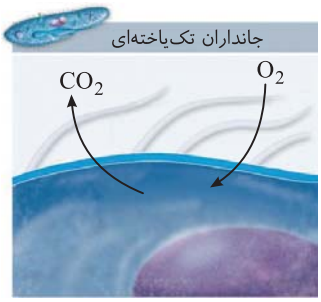
- اعمال مرکز عصبی تنفسی
  - بصل‌النخاع ← پیام حرکتی تحریکی ← شروع انقباض ماهیچه‌های دمی ← شروع دم
  - پل مغزی ← اثر مهاری بر بصل‌النخاع
    - پایان دم و شروع بازدم غیرفعال
    - تنظیم مدت زمان دم را انجام می‌دهد.
  - در هنگام بلع ← مرکز بلع در بصل‌النخاع، فعالیت مرکز تنفس در بصل‌النخاع را متوقف می‌کند.
  - زیادی CO_2 و کمبود O_2 ← افزایش فعالیت بصل‌النخاع ← افزایش تنفس

درسنامه

گفتار ۳ انواع تبادلات گازی در جانداران

همهٔ جانداران از پروکاریوت گرفته تا پیچیده‌ترین یوکاریوت‌ها، برای تأمین انرژی زیستی به تنفس وابسته‌اند. در این قسمت به بررسی روش‌ها و سامانه‌های تنفسی در جانوران مختلف می‌پردازیم.

تک‌یاخته‌ای‌ها مثل باکتری‌ها، **برخی** قارچ‌ها و **برخی** آغازیان (*پارامسی و اوگلنا*) و جانوران ساده‌ای که **همهٔ یاخته‌های** آن‌ها با محیط تبادلات گازی دارند (*مثل هیدر آب شیرین و اسفنج‌ها*)، **ساختارهای تنفسی ویژه‌ای** در بدن **ندارند**. این جانداران O_2 و CO_2 را از طریق انتشار و مستقیماً با محیط اطراف مبادله می‌کنند.



«تنفس از طریق انتشار در تک‌یاخته‌ای‌ها مثل پارامسی»

نکته هیدر، بی‌مهره کیسه‌تن از گروه **مرجانیان** می‌باشد که کیسهٔ گوارشی با یک منفذ دهانی و مخرجی **مشترک** دارد. این جانور توسط یاخته‌های مختلف خود به تبادل گاز تنفسی با محیط می‌پردازد و از طریق یاخته‌های لایهٔ **داخلی** حفرهٔ گوارشی خود به گوارش غذا می‌پردازد.

- چهار روش اصلی **ویژه تنفس** برای جانوران پیچیده‌تر
  - ۱) تنفس نایدیسی
  - ۲) تنفس پوستی
  - ۳) تنفس آبششی
  - ۴) تنفس ششی

  این ساختارهای ویژهٔ تنفسی، سبب ارتباط یاخته‌ها با محیط می‌شوند.

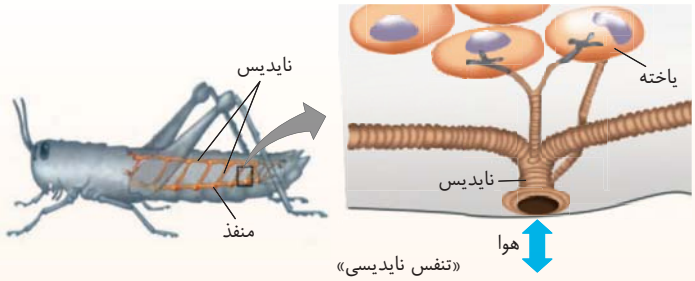
تنفس نایدیسی

در تنفس نایدیسی، **منافذی** در سطح بدن برخی جانوران مثل **حشرات** وجود دارد که نایدیس‌ها (*با ابتدای بن*) و در ادامه لوله‌های منشعب تنفسی به آن‌ها راه دارند. در حقیقت نایدیس‌ها لوله‌های **منشعب** و **مرتبط** به هم هستند. منافذ ورودی نایدیس‌ها در **سطح** بدن قرار دارند. نایدیس‌ها هرچه از منافذ سطحی خود **دور** می‌شوند به انشعابات کوچک‌تری تبدیل می‌شوند، **انشعابات انتهایی آن‌ها در نزدیکی همهٔ یاخته‌های بدن قرار دارند و بن‌بست می‌باشند.** این انشعابات انتهایی حاوی مایعی برای مرطوب کردن و **محلول کردن** گازهای تنفسی می‌باشند. نایدیس‌های **انتهایی** تبادلات گازی را از طریق **انتشار** انجام داده، یعنی O_2 را به **فضای بین‌یاخته‌ای** وارد کرده و CO_2 را از این فضا می‌گیرند تا از بدن خارج کنند. به دلیل فاصلهٔ کم انتهای انشعابات نایدیس‌ها و یاخته‌ها، گازهای تنفسی مستقیماً از این فضا و از طریق نایدیس‌ها و **بدون نیاز به دستگاه گردش مواد** مبادله می‌شوند. در سامانهٔ گردش مواد آن‌ها، همولنفِ این جانوران که معادل خون، لنف و آب میان‌بافتی است، **فقط مسئول غذارسانی** به اندام‌ها و بافت‌ها می‌باشد و در انتقال **گازهای تنفسی** نقشی ندارد.

این ساختار، ساده‌ترین **سیستم تنفسی** می‌باشد و در **حشرات** دیده می‌شود. لازم به ذکر است که در بدن جانوران دارای این سیستم تنفسی، **خون تیره و روشن مفهومی ندارد** چون **گازهای تنفسی اصلاً وارد مایع خون** (*همولنف*) **نمی‌شوند.** در حقیقت دستگاه **گردش مواد** این جانوران، نقشی در انتقال گازهای تنفسی ندارد و فقط مواد غذایی را منتقل می‌کنند.

نکته نایدیس‌های اصلی، در سطح بدن، منافذ متعددی دارند، ولی از زیر توسط لوله‌های ارتباطی باریک‌تر به سایر نایدیس‌ها راه دارند.

نکته ساده‌ترین **تنفس** ویژهٔ **تک‌یاخته‌ای‌ها**، یا پریاخته‌هایی مثل هیدر به صورت **انتشار ساده** و بدون سامانهٔ تنفسی ویژه می‌باشد، ولی ساده‌ترین **سامانه یا سیستم تنفسی** جانوران، سیستم **نایدیسی** حشرات می‌باشد.



«تنفس نایدیسی»

تنفس پوستی

این نوع تنفس در بی‌مهرگانی مثل **کرم خاکی** و مهره‌دارانی مثل **دوزیستان** بالغ دیده می‌شود. در تنفس پوستی، **سطح پوست نیز مرطوب** می‌باشد تا گازهای تنفسی در آن به صورت محلول درآیند و به راحتی وارد بدن شوند. در **کرم خاکی** و دوزیستان دارای تنفس پوستی، یک شبکهٔ مویرگی **زیرپوستی** با **مویرگ‌های** فراوان وجود دارد.

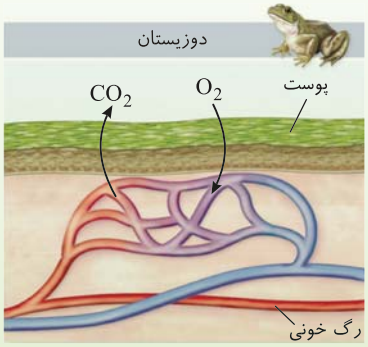
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) کرم خاکی، بی‌مهره‌ای با قلب پشتی و ساده‌ترین گردش خون **بسته** در بین جانوران می‌باشد. در این جانور، خون و لنف جدا است و تبادل گازهای تنفسی آن در مویرگ‌های **پوستی** صورت می‌گیرد. رگ‌های خارج شده از پوست جانور که حاوی خون روشن شده‌اند، به سوی اندام‌های مختلف بدن می‌روند.

۲) در **مهره‌داران**، تنفس پوستی مربوط به **دوزیستان** می‌باشد، مثلاً **در قورباغه‌ها، شبکهٔ مویرگی وسیع در زیر پوست وجود دارد** که تبادلات گازی را انجام داده است. **مادهٔ مخاطی روی** پوست نیز به مرطوب کردن پوست و محلول کردن گاز تنفسی و افزایش کارایی تنفسی کمک می‌کند.

۳) در بین مهره‌داران، فقط پوست دوزیستان همواره حاوی مادهٔ مرطوب می‌باشد، ولی در سایر مهره‌داران خشکی‌زی، پوست فاقد لایهٔ سطحی مرطوب می‌باشد. لایهٔ مرطوب مخاطی در لولهٔ گوارش و تنفس مهره‌داران خشکی‌زی نیز دیده می‌شود.

۴) سطح تنفسی هر جانوری، یعنی محلی که گازهای تنفسی مبادله می‌شوند باید **همواره** مرطوب باشد. سطح تنفسی برحسب نوع تنفس می‌تواند در انشعابات **انتهایی** نایدیس‌ها در حشرات، پوست در کرم خاکی، شش در پرندگان، خزندگان، پستانداران و... یا رشته‌های آبششی در ماهی‌ها و نوزاد دوزیست باشد.



«تنفس پوستی»

تست ۲۲ کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌نماید؟ «سطوح تنفسی هیچ جانوری نمی‌تواند .....» (قلم‌چی)

۱) مایع موکوزی (مخاطی) ترشح کند.
۲) دفع‌کنندهٔ مادهٔ زائد نیتروژن‌دار باشد.
۳) در خلاف شیب تراکم، گازهای تنفسی را تبادل کند.
۴) با یاخته‌های پیکری در تماس مستقیم باشد.

پاسخ ۳ گازهای تنفسی همواره با انتشار و در جهت شیب غلظت منتقل می‌شوند.

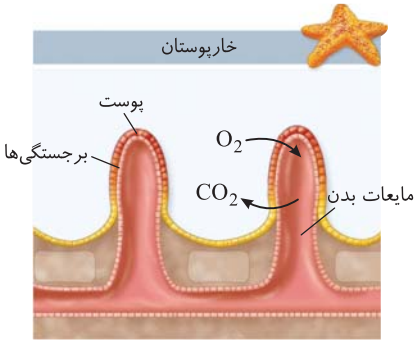
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در مورد تنفس پوستی نادرست است. / گزینهٔ (۲): در مورد کرم‌ها نادرست است. / گزینهٔ (۴): در مورد تنفس نایدیسی نادرست است.

تنفس آبششی (ویژهٔ تنفس در برخی جانوران آبزی)

سامانهٔ تنفسی آبششی به صورت سطحی در برخی جانوران آبزی وجود دارد که از نوع ساده پراکنده تا پیچیده متمرکز تقسیم‌بندی می‌شود.

آبشش‌ها ویژهٔ برخی جانوران بی‌مهره آبزی (*مثل ستارهٔ دریایی و سخت‌پوستان*) و برخی مهره‌داران آبزی مثل ماهی‌ها و **نوزاد** دوزیستان می‌باشد.

ساده‌ترین آبشش‌ها در **خارتنانی** مثل **ستارهٔ دریایی** دیده می‌شود که آبشش‌های آن‌ها **برخلاف** سایر جانوران آبشش‌دار، در نواحی **خاصی** محدود **نمی‌شوند** بلکه به صورت **برجستگی‌های کوچک** و **پراکندهٔ پوستی** در **کل بدن** وجود دارند. این آبشش‌ها با انتشار ساده، O_2 و CO_2 را مبادله می‌کنند ولی فاقد کمان و رشته‌های آبششی می‌باشند. در برجستگی پوستی این جانوران، پوست در سطح **خارجی** آبشش‌ها قرار دارد که مستقیماً توسط یاخته‌های خود با مایعات بدن به تبادل O_2 و CO_2 می‌پردازند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید این برجستگی‌ها از قاعده خود به کانالی متصلند که مایعات بدن در این برجستگی‌ها و کانال‌ها به هم راه دارد.



«ساده‌ترین آبشش در ستارهٔ دریایی»

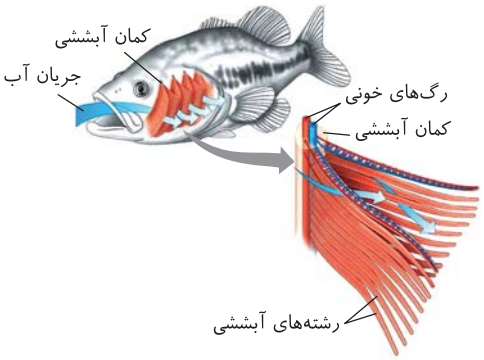
نکته

در ستارهٔ دریایی، مایعات بدن سطح **درونی** برجستگی‌های آبششی پراکنده و کانال مشترک زیر آن‌ها را در بدن پر کرده‌اند. در سایر بی‌مهرگان آبشش‌دار، مثل سخت‌پوستان، آبشش‌ها به نواحی خاصی اغلب در دو طرف سر جای گرفته‌اند.

انواع تنفس در مهره‌داران

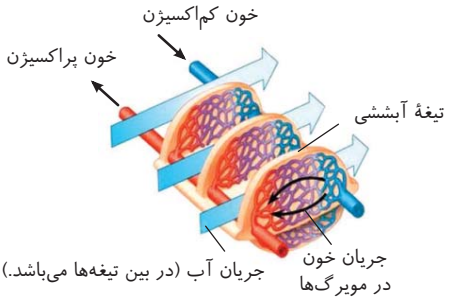
الف) آبششی

آبشش‌ها در اغلب جانوران آبشش‌دار، در **نواحی خاصی از بدن** محدود می‌شوند که اغلب در **اطراف سر** جانور قرار دارند. تکامل یافته‌ترین آن‌ها در مهره‌دارانی مثل ماهی‌ها و نوزاد دوزیست است که این آبشش‌ها حاوی کمان دارای رگ‌های خونی اصلی و رشته‌های آبششی (*تقریباً هم‌اندازه*) حاوی تیغه‌هایی با رگ‌های خونی منشعب فراوان برای تبادل گازهای تنفسی می‌باشند.



نکته

در مهره‌داران هر آبشش حاوی کمان‌های آبششی برای محافظت و محل رگ‌های اصلی می‌باشد و به سمت خارج کمان آبششی، تعداد زیادی رشته‌های آبششی دارد. این رشته‌ها حاوی تیغه‌هایی برای عبور آب و مویرگ‌های خونی فراوان بین دو سرخرگ ورودی و خروجی به آبشش‌ها می‌باشد. آب ورودی از دهان، از لابه‌لای رشته‌های آبششی و دو طرف تیغه‌های آن عبور می‌کند. در طرفین هر تیغه مویرگ‌های فراوانی وجود دارد که در آنجا به تبادل گازهای تنفسی با آب می‌پردازند.



همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید، یک رشتهٔ آبششی سرخرگ ورودی با خون تیره کم‌اکسیژن دارد که انشعابات مویرگی آن در اطراف تیغه‌ها وارد می‌شود. در طرفین تیغه‌ها جریان آب و جریان حرکت خون درون مویرگ‌ها دقیقاً مخالف هم می‌باشد و بدین صورت امکان تبادل گازهای تنفسی بین خون و آب فراهم می‌شود. این مویرگ‌ها فاقد بخش سیاهرگی می‌باشند و خون روشن پر O_2 را وارد رگی می‌کنند تا توسط یک سرخرگ از رشتهٔ آبششی خارج شود و به همهٔ اندام‌های دیگر بدن برسد. در تست‌ها دقت کنید که تبادل یا تهویهٔ گازها درون تیغه‌ها رخ نمی‌دهد بلکه در دو طرف تیغه‌ها انجام می‌شود.

خلاصه: در سیستم آبششی، خون **تیره** سرخرگ **شکمی** ورودی از کمان، به سمت رشته‌های آبششی رفته و پس از تبادل گازهای تنفسی در مویرگ‌های اطراف تیغه‌ها، خون روشن از طریق سرخرگ **پشتی** خروجی آن خارج می‌شود تا به همهٔ اندام‌های بدن برسد.

در سیستم آبششی، سرخرگ شکمی، ورودی خون تیره سرشار از کربن دی‌اکسید دارد که از قلب به سمت آبشش‌ها آمده است ولی خون سرخرگ خروجی آن سرشار از اکسیژن بوده و از سرخرگ پشتی به سمت **همهٔ اندام‌های بدن** می‌رود (*فصل ۴ به‌طور کامل بررسی می‌شود*).

ب) تنفس ششی

حلزون‌ها که از بی‌مهرگان هستند به همراه مهره‌داران خشکی‌زی از **شش** به عنوان سیستم تنفسی استفاده می‌کنند.

سازوکار تهویه‌ای در مهره‌داران شش‌دار

در مهره‌داران شش‌دار سازوکارهایی دارند که سبب ایجاد یک جریان **پیوسته** از هوای **تازه** در مجاورت **سطح تنفسی** آن‌ها می‌شود که به سازوکار تهویه‌ای معروف می‌باشد. این جمله به این معنا می‌باشد که در سیستم ششی، هوا در ابتدا برخلاف آبشش‌ها در آب محلول نمی‌باشد. هوا تا رسیدن به سطح تبادلی شش‌ها، ابتدا به صورت گاز تنفسی وجود داشته است ولی در اثر عمل لایه‌های مخاطی و در مجاورت حبابک‌ها و کیسه‌های حبابکی، سپس به صورت محلول درآمده و وارد خون می‌شود.

انواع سازوکار تهویه‌ای مهره‌داران شش‌دار

الف) سازوکار تهویه‌ای شش‌ها همراه با پمپ فشار مثبت

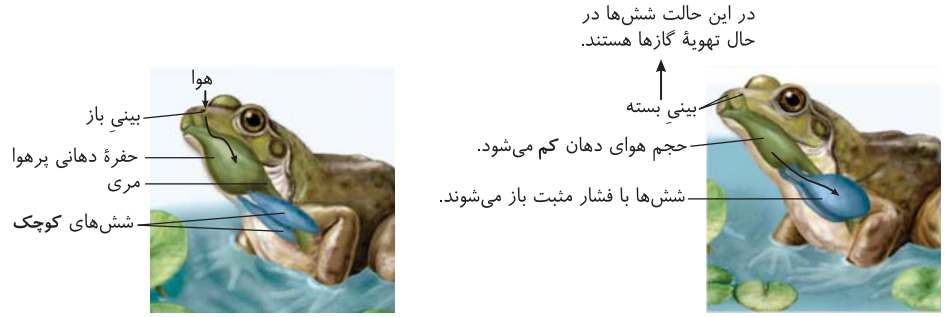
این سیستم ورود هوا در **دوزیستان بالغ** دیده می‌شود که هوا را با فشار به درون شش‌ها هدایت می‌کنند. مثلاً قورباغه‌ها در حالتی که بینی آن‌ها باز و شش‌های آن‌ها **کوچک** شده است، هوای زیادی را به **دهان و حلق** خود وارد می‌کنند و سپس بینی بسته شده و با حرکتی مثل قورت دادن هوای دهان و حلق را با فشار، وارد شش‌ها می‌کنند تا شش‌ها باز شوند. (*یعنی به‌قول قدیمی‌ها با زور چیزی شش‌ها را وادار به باز شدن می‌کنند.*)

نکته
در این نوع تنفس، شش‌ها در اثر فشار هوا باز می‌شوند، نه اینکه ابتدا فشار هوا منفی شود و آماده باز شدن و ورود هوا شوند. در این حالت هوا با فشار وارد شش‌ها می‌شود تا به تبادل گازهای تنفسی بپردازد.

خلاصه فشار مثبت

شروع دم در دوزیستان ← بینی باز می‌شود ← هوا در دهان جمع می‌شود ← حلق و دهان حجیم می‌شوند ← با بسته شدن بینی در ادامه دم ← قورت دادن هوا به شش ← شش‌ها با فشار هوا باز می‌شوند

با توجه به دو شکل زیر، متوجه می‌شوید هنگامی که حفرهٔ دهانی پرهوا می‌شود، بینی باز بوده و شش‌ها کوچک می‌باشد ولی با بسته شدن بینی، فشار هوای زیاد حاصل از دهان، سبب باز شدن شش‌ها و حجیم شدن آن‌ها می‌شود تا گازهای تنفسی به تبادل بپردازند. در حقیقت تبادل گازهای تنفسی آن‌ها در هنگام بینی **بسته** و شش بزرگ شده صورت می‌گیرد.



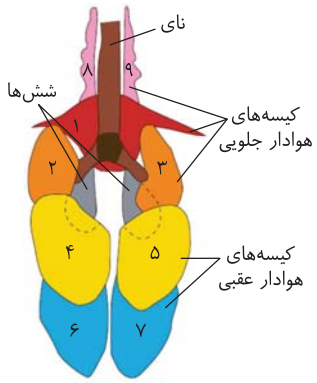
«پمپ فشار مثبت در قورباغه»

● ب) همراه با مکش فشار منفی

این نوع تهویه و ورود هوا، در پستانداران مثل انسان دیده می‌شود. همان‌طور که در گفتار دوم آموختید، در این جانوران برای ورود هوا به شش‌ها، ابتدا شش‌ها بزرگ شده و فشار هوای درون آن‌ها **کاهش** می‌یابد. **این فشار منفی سبب مکش و ورود هوا به شش‌ها می‌شود** که مکانیسم آن را در فرایند **دم** در انسان بررسی کردیم.

تنفس در پرندگان

به دلیل توانایی پرواز، پرندگان نسبت به سایر مهره‌داران **انرژی بیشتری** مصرف می‌کنند و به اکسیژن بیشتری برای تولید ATP نیاز دارند. به همین دلیل در پرندگان **علاوه بر دو عدد شش** ساختارهایی به نام **کیسه‌های هوادار انعطاف‌پذیر** در **مناطق خاصی از بدن** وجود دارد که مقدار هوای **ذخیره‌ای** را زیاد کرده تا کارایی تنفس آن‌ها را **نسبت به پستانداران** افزایش دهد. این ساختارها همان‌طور که در شکل مقابل مشاهده می‌کنید، به صورت کیسه‌های هوادار جلویی (۵ عدد) و کیسه‌های هوادار بزرگ‌تر عقبی (۴ عدد) در سراسر بدن پخش شده‌اند.



«۹ کیسهٔ هوادار در پرندگان»
(یک کیسه بین دو شش مشترک می‌باشد.)

نکته
همان‌طور که در شکل سیستم تنفسی پرنده مشاهده می‌کنید، ۹ کیسهٔ هوادار در بدن پرنده وجود دارد که ۵ کیسهٔ هوادار در جلو و ۴ کیسهٔ هوادار با اندازهٔ بزرگ‌تر در عقب قرار دارد. باریک‌ترین کیسه‌ها در اطراف **نای** جانور قرار دارد. دقت کنید که یکی از کیسه‌های هوادار جلویی، در وسط بدن با هر دو شش در ارتباط می‌باشد.

توجه! دقت کنید که کیسه‌های هوادار محل تهویهٔ گاز تنفسی نیستند و فقط وظیفهٔ ذخیرهٔ هوا (اکسیژن) را بر عهده دارند. در این جانوران نیز، تهویه یا تبادل گاز تنفسی در کیسه‌های حبابکی شش‌ها صورت می‌گیرد (در حقیقت کیسه‌های هوادار بیرون شش و کیسه‌های حبابکی آن‌ها درون شش هستند که فقط کیسه‌های حبابکی محل تهویهٔ هوا هستند).

تست ۲۳ **هر جانوری که تنفس پوستی دارد، امکان ندارد که .....**
۱) در مرحله‌ای از زندگی تیغهٔ آبششی داشته باشد.
۲) در بدن خود فاقد ستون مهره‌ها باشد.
۳) مایع روی بدن آن به کارایی تنفسی آن کمک کند.
۴) کیسه‌های هواداری در اطراف شش داشته باشد.

پاسخ B
کرم‌ها مانند کرم خاکی و مهره‌داران شش‌داری مثل دوزیستان بالغ دارای تنفس پوستی می‌باشند ولی کیسه‌های هوادار اطراف شش ویژهٔ پرندگان است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در مورد دوزیست نوزاد که دارای آبشش است، رد می‌شود. / گزینهٔ (۲): کرم خاکی بی‌مهره است و ستون مهره ندارد. / گزینهٔ (۳): هر سطح تنفسی باید مرطوب باشد پس تنفس پوستی نیازمند پوستی مرطوب است تا گازهای تنفسی به صورت محلول از آن عبور کنند.

تست ۲۴ **کدام گزینه، عبارت مقابل را به‌طور نامناسب کامل می‌کند؟ «در مهره‌داری که تبادل گاز تنفسی در ..... انجام می‌شود، قطعاً .....»**

۱) مویرگ‌های پوستی - هم‌زمان با شش‌های پرهوا، راه بینی آن‌ها بسته می‌باشد.

۲) تیغه‌ها و رشته‌های آبششی - جریان پیوسته هوا در سطح تنفسی دیده نمی‌شود.

۳) کیسه‌های هوادار خارج شش - کارایی تنفسی بیشتری از انسان دیده می‌شود.

۴) سازوکار تهویه‌ای فشار مثبت - مویرگ‌های آبششی وجود ندارد.

پاسخ ۳ **B**

توجه شود که در کیسه‌های هوادار پرندگان، تبادل گاز تنفسی انجام نمی‌شود بلکه این کیسه‌ها فقط به ذخیرهٔ هوا می‌پردازند تا گازها در حبابک‌های تنفسی مبادله شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در دوزیستان بالغ علاوه بر تنفس پوستی، تنفس ششی نیز وجود دارد. در هنگامی که شش‌های دوزیستان پر از هوا می‌شود راه بینی آن‌ها بسته است. / گزینهٔ (۲): قسمت اول در مورد آبشش‌داران ولی قسمت دوم ویژهٔ مهره‌داران شش‌دار است. / گزینهٔ (۴): در دوزیستان بالغ، آبشش وجود ندارد و تنفس ششی در آن‌ها مشاهده می‌شود که سازوکار تهویه‌ای فشار مثبت دارند.

فصل چهارم
گردش مواد در بدن

درسنامه

گفتار ۱ قلب، ساختار و چرخهٔ ضربان آن

مقدمه:

این فصل که یکی از کاربردی‌ترین فصل‌های فیزیولوژی بدن می‌باشد به بررسی گردش مواد در بدن انسان و برخی جانوران می‌پردازد. فصلی بسیار زیبا و جذاب که امیدوارم هم از درسنامه لذت ببرید و هم از تست‌ها و پاسخ‌ها و QR Codeهای تدریس آن!

دستگاه گردش مواد انسان از **قلب**، **رگ‌ها** و **خون** تشکیل شده است. در این درسنامه به‌طور کامل به ساختار و فعالیت‌های قلب و عوامل مرتبط با آن می‌پردازیم.

در این گفتار به بررسی قلب و چرخهٔ ضربانی آن پرداخته می‌شود. در صفحهٔ اول کتاب در این فصل اشاره به پیوند قلب در ایران روی فردی ۵۹ ساله شده است که سه‌بار سکته کرده و میزان خون خروجی از قلب وی در دقیقه که برون‌ده نام دارد، به ۱۰ درصد یک فرد طبیعی رسیده بوده است و اینکه با امکانات امروزی مثل رگ‌نگاری (آنژیوگرافی) می‌توان رگ‌های اکسیژن و غذا دهنده به قلب (کرونر) را بررسی کرد.

ساختار قلب انسان

قلب انسان مانند قلب سایر پستانداران، همهٔ پرندگان و همهٔ خزندگان، **چهار حفره‌ای** است که دو دهلیز کوچک در **بالا** و دو بطن بزرگ‌تر در **پایین** قرار دارد.

حفرات قلب در **همهٔ** پستانداران و پرندگان پس از تولد **کاملاً از هم جدا** بوده و دیواره‌های جداکننده دارند به‌طوری که خون درون آن‌ها با هم مخلوط نمی‌شوند.

درون حفرات سمت **راست** قلب (دهلیز و بطن راست) خون **تیره** و در حفرات سمت **چپ** (دهلیز و بطن چپ) خون **روشن** پراکسیژن نگهداری و منتقل می‌شود.

وظایف قلب

وظایف اصلی قلب:

۱) انتقال CO_2های حاصل از تنفس یاخته‌ای همهٔ اندام‌ها به سمت شش‌ها (از راه دو سرخرگ شش با خون تیره)

۲) گرفتن خون پر O_2 از چهار سیاهرگ ششی دستگاه تنفس و خون پر از **مواد غذایی** از بزرگ‌سیاهرگ‌های زیرین و پر از **لنف** از بزرگ‌سیاهرگ زبرین بدن (بزرگ‌سیاهرگ‌ها مطمئن‌ترین رگ‌های بدن می‌باشند).

۳) انتقال مواد دفعی نیتروژن‌دار و همچنین H^+، HCO_3^-، برخی داروها و حشره‌کش‌ها به دستگاه **دفع ادرار**

۴) انتقال **غذا** به همهٔ اندام‌های بدن (از طریق سرخرگ آئورت و انشعابات آن)

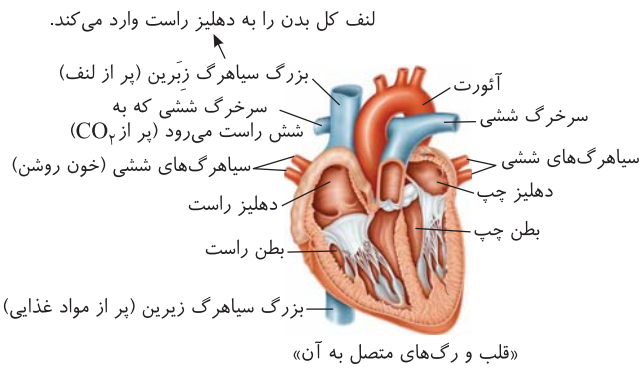
۵) انتقال هورمون‌ها از بخش **درون‌ریز** تولیدکننده به اندام‌های هدف

حفرات قلب و رگ‌های متصل به آن‌ها

در این قسمت به بررسی دهلیزها، بطن‌ها، رگ‌ها و دریچه‌های متصل به آن‌ها می‌پردازیم ولی در ادامه همهٔ موارد را جزء‌به‌جزء بررسی می‌کنیم!

۱) دهلیز راست

این حفره از طریق بزرگ‌سیاهرگ **زیرین**، خون **تیره** سر و گردن و دست‌ها (مناطق بالای قلب) را به همراه **کل لنف بدن** و از طریق بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** خون تیره و پر **غذای** قسمت‌های **زیر قلب** را گرفته و آن‌ها را از طریق دریچه‌ای (سه‌لختی) به بطن راست منتقل می‌کند.



«قلب و رگ‌های متصل به آن»

نکته یک سیاهرگ کرونر (اکلیلی) نیز خون حاصل از **تغذیهٔ ماهیچهٔ قلب** را به **دهلیز راست** وارد می‌کند که در ادامه آن را بررسی می‌کنیم. در حقیقت سه سیاهرگ به دهلیز راست وارد می‌شود.

نکته بزرگ‌سیاهرگ زبرین و زیرین قطورترین رگ‌های بدن هستند که از پشت قلب خون خود را وارد دهلیز راست می‌کنند.

● ۲) دهلیز چپ

خون **روشن** تصفیه شدهٔ **پر اکسیژن** را از **چهار** سیاهرگ ششی گرفته و سپس از طریق دریچهٔ **دولختی** به بطن **چپ** می‌رساند.

● ۳) بطن راست

خون **تیرهٔ** پر CO_2 را توسط **یک سرخرگ خروجی اصلی** (*به‌عنوان جلوترین رگ اصلی*) خارج کرده و سپس با **دو انشعاب** اصلی به نام سرخرگ‌های ششی به هر **شش** برای تبادل گازهای تنفسی می‌رساند. (*سرخرگ خارج شده از بطن راست به هر شش یک انشعاب به نام سرخرگ ششی برای تبادل گازهای تنفسی و تبادل گاز تنفسی می‌رساند. دقت کنید که انشعاب سرخرگ شش که به سمت شش بزرگ‌تر یعنی شش راست می‌رود، از زیر قوس سرخرگ آئورت رد می‌شود.*)

● ۴) بطن چپ

این حفره قطورترین دیواره و ماهیچه را در بین حفرات قلب دارد و انقباض آن مهم‌ترین نقش در جریان خون بدن را ایفا می‌کند. این حفره خون **روشن** را توسط سرخرگ **آئورت** به همه جای بدن می‌رساند. سرخرگ آئورت پس از خروج از بطن چپ، ابتدا قوس می‌زند و از **بالای** آن **سه انشعاب اصلی** برای خون‌رسانی به سر و گردن و دست‌ها خارج می‌شود، ادامهٔ قوس به سمت پایین رفته، تا خون را به اندام‌های زیر قلب برساند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) از ابتدای سرخرگ **آئورت**، دو سرخرگ **ویژهٔ اکلیلی** (*کرونری*) برای **تغذیهٔ** بافت ماهیچه‌ای قلب منشعب می‌شوند.

۲) رگ‌های متصل به قلب:
- ورودی‌ها = سیاهرگ‌ها
  - با خون تیره ← دو بزرگ‌سیاهرگ زیرین و زبرین و یک سیاهرگ اکلیلی ← به دهلیز راست می‌رود.
  - با خون روشن ← چهار سیاهرگ ششی ← به دهلیز چپ می‌رود.
- خروجی‌ها = سرخرگ‌ها
  - با خون تیره ← دو سرخرگ ششی ← از بطن راست یک رگ خارج شده و دو انشعاب می‌شود.
  - با خون روشن ← سرخرگ آئورت ← از بطن چپ خارج می‌شود.

۳) قوس سرخرگ آئورت و سرخرگ‌های خارج شده از آن برای خون‌رسانی به مغز و گردن، حاوی گیرنده‌های **شیمیایی** حساس به **کاهش** O_2 خون می‌باشند که تحریک آن‌ها با اثر بر **بصل‌النخاع** سبب **افزایش** آهنگ تنفسی می‌شود.

۴) سطح داخلی بطن‌ها ناهموارتر از دهلیزها است و تارها و رشته‌های ارتجاعی و ماهیچه‌ای دارد.

۵) در حفرات سمت **راست و چپ** قلب، خون **پرغذا** وجود دارد ولی تفاوت آن‌ها در تیره (*سمت راست*) یا روشن (*سمت چپ*) بودن، به دلیل **مقدار گازهای تنفسی** آن‌هاست. همان‌طور که در فصل قبل آموختید، مقدار O_2 در خون روشن از خون تیره بیشتر است (*برخلاف CO_2*). دقت داشته باشید که در هر رگ بدن مقدار O_2 از CO_2 بیشتر است ولی نسبت O_2 به CO_2 در خون روشن از خون تیره بیشتر می‌باشد.

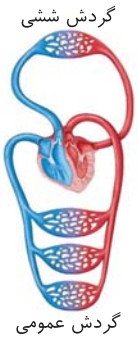
۶) ضخامت دیوارهٔ **بطن چپ** از سایر بخش‌های قلب بیشتر است. این ضخامت زیاد در قدرت انقباضی قلب و ورود خون به سرخرگ آئورت برای رسیدن به همهٔ قسمت‌های بدن، **نقش اصلی** را ایفا می‌کند ولی حجم حفرهٔ درونی هر دو بطن با هم برابر است. یعنی مقدار خونی که در دو بطن قرار می‌گیرد، حجم تقریباً یکسانی دارد.

انواع گردش خون انسان

گردش خون انسان و بسیاری از انواع مهره‌داران از نوع مضاعف می‌باشد. یعنی خون دوبار و در دو مسیر از درون قلب عبور می‌کند که در ادامه به بررسی این دو مسیر می‌پردازیم.

● الف) گردش خون عمومی (بزرگ)

این گردش خون، مسئول انتقال خون روشن پراکسیژن به **همهٔ** قسمت‌های بدن است. در این گردش، **خون روشن پر** O_2 **و پرغذا** از بطن **چپ** و به وسیلهٔ سرخرگ قطور و محکم آئورت و با باز شدن دریچهٔ ابتدای آن (*سینی آئورتی*) خارج شده و به همه جای بدن می‌رسد. پس از **تبادل گازهای تنفسی و مواد غذایی در بافت‌ها** و جذب غذا در لولهٔ گوارش، **خون‌های تیرهٔ پرغذا** از بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** و **خون تیرهٔ دست‌ها و اندام‌های بالای قلب به همراه لنف کل بدن** از بزرگ‌سیاهرگ **زبرین** به دهلیز **راست** وارد می‌شود. (*در ادامه در مورد خون و لنف و مسیرهای بیشتر می‌آموزید!*)



«گردش خون عمومی و ششی»

نکته دو سرخرگ اکلیلی در گردش خون عمومی، خون روشن را از ابتدای **آئورت** خارج می‌کند تا به یاخته‌های قلبی برساند و در نهایت پس از تبادل مواد، **یک** سیاهرگ اکلیلی، خون تیره را به دهلیز **راست** وارد می‌کند.

نکته لازم به یادآوری است که در حد فاصل سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها، شبکه‌های مویرگی برای تبادل مواد مورد نیاز بافت‌ها وجود دارند.

گردش عمومی بدن

بطن چپ ← خون روشن ← سرخرگ آئورت ← همه جای بدن ← خون تیره ← بزرگ‌سیاهرگ‌ها ← دهلیز راست

● ب) گردش خون ششی (کوچک)

در این گردش، **خون از قفسهٔ سینه خارج نمی‌شود**. این گردش خون، مسئول تبادل گازهای تنفسی در شش‌ها می‌باشد. در این گردش، خون تیرهٔ پر CO_2 در بطن **راست** با عبور از دریچه‌ای در ابتدای سرخرگ ششی (*سِرخ شُش*) از قلب خارج می‌شود. این سرخرگ، سپس به صورت **دو انشعاب** اصلی سرخرگی به شش‌ها می‌روند و پس از تبادل گازهای تنفسی بین مویرگ‌ها و حبابک‌های تنفسی، خون‌ها روشن و پر O_2 شده، از راه چهار سیاهرگ ششی به دهلیز **چپ** برمی‌گردند.

نکته
انشعابی از سرخرگ ششی که از **زیر قوس آئورت** و **پشت** بزرگ‌سیاهرگ **زبرین** عبور می‌کند به **شش راست** می‌رسد. دقت کنید که با توجه به شکل کتاب قطر سرخرگ‌های ششی از آئورت کوچک‌تر بوده و سرخرگ خروجی از بطن راست در سطح جلوتری نسبت به آئورت قرار دارد.

گردش ششی خون

بطن راست ← خون تیره ← دو سرخرگ ششی ← ششها ← خون روشن ← چهار سیاهرگ ششی ← دهلیز چپ

انواع گردش خون	هدف	مبدأ خون	مقصد خون	رگ خروجی	رگ ورودی	دریچهٔ خروجی خون
عمومی (*بزرگ*)	رساندن O_2 و غذا به اندام‌ها	بطن **چپ**	دهلیز **راست**	سرخرگ **آئورت**	بزرگ‌سیاهرگ‌ها و سیاهرگ **اکلیلی**	سینی **آئورتی**
ششی (*کوچک*)	تبادل گاز تنفسی در شش‌ها و غذارسانی به شش‌ها	بطن **راست**	دهلیز **چپ**	سرخرگ **ششی**	۴ سیاهرگ ششی	سینی **ششی**

تست ۱ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «خونی که نیازهای تنفسی و غذایی قلب را برطرف ..... ، به‌طور قطع .....»**

۱) می‌کند - توسط سیاهرگ ششی و بزرگ‌سیاهرگ زیرین وارد قلب می‌شود.

۲) نمی‌کند - به هر دهلیز از طریق ۴ رگ اصلی وارد می‌شود.

۳) می‌کند - توسط انشعابات حاصل از رگ خروجی بطن چپ به قلب می‌رسد.

۴) نمی‌کند - حاوی مقدار مناسبی اندوختهٔ غذایی و O_2 نمی‌باشد.

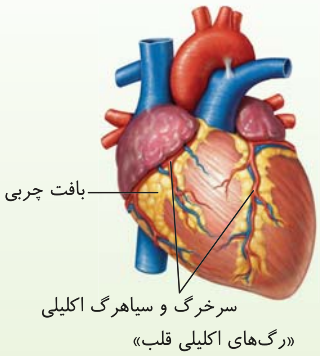
پاسخ ۳ B خونی که توسط چهار سیاهرگ ششی به دهلیز چپ (*خون روشن*) و توسط دو بزرگ‌سیاهرگ و یک سیاهرگ اکلیلی به دهلیز راست (*خون تیره*) وارد می‌شود، نمی‌تواند نیازهای غذایی و تنفسی قلب را برطرف کند. پس ماهیچهٔ قلب با رگ‌های ویژه‌ای به نام **دو سرخرگ اکلیلی** که از ابتدای **آئورت** منشأ می‌گیرند، به تأمین غذا و گاز تنفسی خود می‌پردازد (*گزینهٔ (۴) فقط درمورد خون دهلیز راست صحیح است اما خون دهلیز چپ، هم اکسیژن کافی و هم اندوختهٔ غذایی کافی را دارد*).

تأمین اکسیژن و مواد مغذی قلب

با اینکه درون همهٔ حفرات قلب، **خون پرغذا** ذخیره شده و همواره نیز این خون وجود دارد ولی یاخته‌های دیوارهٔ قلب نمی‌توانند نیازهای **غذایی** و **تنفسی** خود را با این خون **برطرف** کنند. به همین دلیل از **ابتدای** بخش صعودی سرخرگ **آئورت**، دو سرخرگ ویژه به نام **اکلیلی** (*کرونری*) خارج می‌شود که مسئول تغذیه و تبادل گازهای تنفسی برای **ماهیچهٔ قلب** هستند. این سرخرگ‌ها، پس از تبدیل شدن به مویرگ و تغذیه و تبادل گازها و غذا در یاخته‌های قلبی، همه با هم به صورت **یک سیاهرگ اکلیلی** درمی‌آیند و خون تبادل شده را که غذای **کم** و CO_2 **زیادی** دارد وارد **دهلیز راست** می‌کنند تا در ادامه وارد گردش **ششی** بدن شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

با توجه به شکل روبه‌رو:



۱) رگ‌های اکلیلی در حد فاصل دهلیزها و بطن‌ها قابل رؤیت هستند.

۲) **بسته شدن یا سخت شدن** دیوارهٔ رگ‌های **اکلیلی** که به آن **تصلب شرایین** گوییم فقط در مورد **سرخرگ‌های اکلیلی** کاربرد دارد. این موضوع ممکن است باعث **کاهش** یا **عدم** خون‌رسانی به **بخشی** از **ماهیچهٔ قلب** شود. در پی آن **کمبود** O_2 در یاخته‌ها و عدم تولید انرژی با **تنفس یاخته‌ای** سبب مرگ یاخته‌ها و ایجاد **سکته** یا **حملهٔ قلبی** می‌شود.

۳) رگ‌های مربوط به گردش اکلیلی همانند گردش خون ششی از قفسهٔ سینه خارج نمی‌شوند ولی دقت کنید که رگ‌های اکلیلی مربوط به گردش خون عمومی هستند و کوتاه‌ترین مسیر گردش را طی می‌کنند.

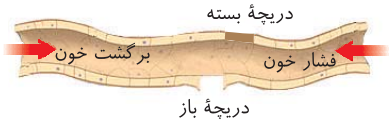
۴) در فصل دوم آموختید که عواملی مثل کلسترول بالا، زیاد بودن لیپوپروتئین **کم**چگال یا *LDL* خون، کم‌تحرکی، وزن زیاد و... می‌توانند سبب بسته شدن **سرخرگ**‌های اکلیلی قلب به دلیل ایجاد لخته یا سخت شدن دیوارهٔ آن شوند که به **تصلب شرایین** معروف می‌باشد. در این حالت سکتهٔ قلبی ایجاد می‌شود.

۵) سرخرگ‌های اکلیلی اولین انشعابات آئورتی هستند که انشعابات مویرگی آن‌ها در کل ماهیچهٔ قلب پخش می‌شوند. با توجه به شکل، این رگ‌ها به همراه سیاهرگ‌های کوچک، در روی سطح قلب در بین بافت چربی واقع شده‌اند.

۶) سیاهرگ اکلیلی تنها سیاهرگ اندام‌های بدن است که پس از انجام غذارسانی و O_2 رسانی به اندامی، خون آن در نهایت وارد بزرگ‌سیاهرگ‌ها نمی‌شود.

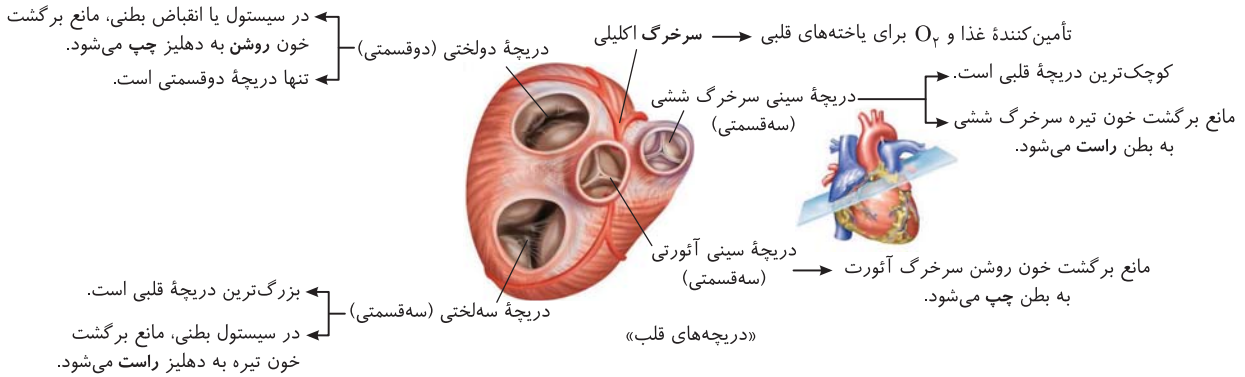
دریچه‌های قلبی

در دستگاه **گردش مواد** هر دریچه‌ای باعث **یک‌طرفه شدن** جریان خون یا لنف و عدم برگشت آن‌ها به بخش قبلی می‌شود. دریچه‌های قلبی از جنس بافت **پوششی چین‌خورده** می‌باشند که بافت **پیوندی** متراکم موجود در لایهٔ ماهیچه‌ای قلب به **استحکام** آن‌ها کمک می‌کند. در حقیقت دریچه‌های قلبی فقط از بافت **پوششی** تشکیل شده‌اند که البته بافت پیوندی به آن‌ها استحکام داده است. در ساختار دریچه‌ها برخلاف بندارهها، **بافت ماهیچه‌ای و یاخته‌ای با قدرت انقباض وجود ندارد**. به دلیل فقدان بافت ماهیچه‌ای در دریچه‌های دستگاه گردش مواد، **باز** و بسته شدن آن‌ها فقط به دلیل **ساختار خاص آن‌ها** و **تفاوت فشار خون** در دو طرف آن‌ها صورت می‌گیرد. یعنی فشار زیاد خون به قسمت قبل از دریچه‌ها، سبب **باز** شدن آن‌ها شده ولی فشار زیاد از قسمت جلوی دریچه‌ها که سعی در برگشت خون می‌کند سبب **بسته** شدن آن‌ها می‌شود. مثلاً باز شدن دریچه‌های سینی ابتدای سرخرگ‌های خروجی از بطن‌ها، با **انقباض** بطن‌ها صورت می‌گیرد ولی انقباض دیوارهٔ سرخرگ‌های بعد از این دریچه‌ها، سبب **بسته** شدن دریچه‌ها با خون برگشتی می‌شود.



تهجه! برحسب تیتر کتاب درسی در مورد «دریچه‌های قلبی» باید در تست‌ها هر چهار دریچهٔ دهلیزی بطنی و سینی را از انواع دریچه‌های قلبی در نظر بگیریم.

- دریچه‌های قلب
  - دریچه‌های دهلیزی - بطنی
    - دولختی
      - بین دهلیز و بطن **چپ** قرار دارد.
      - از **دو** قطعه آویخته شده است.
      - از **برگشت** خون **روشن** به **دهلیزچپ** (*در هنگام انقباض ۰/۳ ثانیای بطن‌ها*) جلوگیری می‌کند.
    - سه‌لختی
      - بین دهلیز و بطن *راست* قرار دارد.
      - از **سه** قطعه آویخته شده است و بزرگ‌ترین دریچهٔ قلبی است.
      - از **برگشت** خون **تیره** به دهلیز **راست** (*در هنگام انقباض ۰/۳ ثانیای بطن‌ها*) جلوگیری می‌کند.
  - دریچه‌های ابتدای سرخرگی (*سینی سهقمتی*)
    - سینی آئورتی
      - در بطن **چپ** و **ابتدای** سرخرگ **آئورتی** قرار دارد (*سهقمتی است*).
      - از برگشت خون **روشن** به بطن **چپ** (*در هنگام استراحت بطن‌ها* ۰/۵ ثانیا) جلوگیری می‌کند.
    - سینی ششی
      - در بطن **راست** و **ابتدای** سرخرگ اصلی **ششی** خروجی از آن بطن قرار دارد (*سهقمتی است*).
      - کوچک‌ترین دریچهٔ قلبی است.
      - از برگشت خون **تیره** به بطن **راست** (*در هنگام استراحت بطن‌ها* ۰/۵ ثانیا) جلوگیری می‌کند.



«دریچه‌های قلب»

دریچه‌های درون قلبی	محل	جنس	سبب ورود خون... می‌شود.	مانع از برگشت خون... می‌شود.
دولختی	بین دهلیز و بطن **چپ**	پوششی با پیوندی استحکامی	روشن به بطن **چپ**	روشن به دهلیز **چپ**
سه‌لختی	بین دهلیز و بطن **راست**	پوششی با پیوندی استحکامی	تیره به بطن **راست**	تیره به دهلیز **راست**
سینی آئورتی	ابتدای سرخرگ **آئورت**	پوششی با پیوندی استحکامی	روشن به **آئورت**	روشن به بطن **چپ**
سینی ششی	ابتدای سرخرگ **ششی**	پوششی با پیوندی استحکامی	تیره به سرخرگ **ششی**	تیره به بطن **راست**

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ فاصلهٔ دریچهٔ سینی آئورتی به دریچه‌های دهلیزی بطنی کمتر از دریچهٔ سینی ششی به آن‌ها است.
۲ مقایسهٔ ابعاد دریچه‌های قلبی: سینی ششی > سینی آئورتی > دولختی > سه‌لختی
۳ چون دیوارهٔ بطن چپ از همه قطورتر است، نیروی وارده به دریچهٔ دولختی برای بسته شدن از سایر دریچه‌ها بیشتر است.
۴
- فشار خون بیشتر دهلیزها از بطن‌ها ← باز شدن دریچه‌های دهلیزی بطنی
- فشار خون بیشتر بطن‌ها از دهلیزها ← بسته شدن دریچه‌های دهلیزی بطنی
- فشار خون بیشتر بطن‌ها از سرخرگ‌ها ← باز شدن دریچه‌های سینی
- فشار خون بیشتر سرخرگ‌ها از بطن‌ها ← بسته شدن دریچه‌های سینی

تست ۲ کلسیم شبکهٔ آندوپلاسمی در فعالیت ..... نقش ندارد. (سراسری - ۸۸)

۱) پیلور ۲) بندارهٔ انتهای مری ۳) دریچهٔ دولختی ۴) بندارهٔ داخلی میزراه

پاسخ ۳ دریچهٔ دولختی بین دهلیز چپ و بطن چپ قلب ساختار ماهیچه‌ای ندارد که در انقباض آن کلسیم مصرف شود. (البته دقت کنید که این چون سؤال کنکور بوده، من در کتاب قرار دادم وگرنه به نظر من انقباض ماهیچهٔ قلب که به کلسیم محتاج است در فعالیت این دریچه به‌طور غیرمستقیم مؤثر است.)
پیلور و بندارهٔ انتهای مری و بندارهٔ داخلی میزراه ماهیچه‌ای هستند.

صداهای قلبی

در حالت **طبیعی** می‌توان دو صدا از یک قلب سالم، از سمت چپ قفسهٔ سینه با چسباندن گوش خود به قفسهٔ سینه یا با استفاده از گوشی پزشکی شنید. این صداها مربوط به **بسته شدن دریچه‌ها** بوده که **نوع صدا و نظم** آن‌ها برای پزشک بسیار پرمعنی است چون از سالم بودن قلب آگاه می‌شوند.

صداهای طبیعی قلب انسان:
- صدای اول: صدایی شبیه (پووم) به صورت **قوی، گنگ و طولانی‌تر** از صدای دیگر می‌باشد که در **ابتدای انقباض بطن‌ها** و در اثر بسته شدن دریچه‌های **دولختی** و **سه‌لختی** (دهلیزی - بطنی‌ها) شنیده می‌شود.
- صدای دوم: صدایی به صورت (تاک) ولی از صدای اول **کوتاه‌تر و واضح‌تر** می‌باشد. این صدا در **ابتدای استراحت عمومی** یعنی در اثر به **استراحت درآمدن بطن‌ها** و بسته شدن دریچه‌های **سینی سرخرگی** که مانع برگشت خون به بطن‌ها می‌شوند، شنیده می‌شود.

نکته در برخی بیماری‌ها به ویژه در **اختلال ساختار دریچه‌ها**، **بزرگ شدن قلب** یا **نقایص مادرزادی** مثل **کامل بسته نشدن** دیواره بین حفره‌های دهلیزها **یا** بطن‌ها، ممکن است صداهای غیرعادی نیز توسط متخصص و با گوش دادن دقیق به صداهای قلبی شنیده شود.

صداهای قلبی	نوع صدا	علت ایجاد	محل شنیدن در چرخه قلب	نزدیک به کدام موج	پس از شنیدن آن...
اول	پووم	بسته شدن دریچه‌های **دهلیزی - بطنی**	ابتدای **انقباض** بطن‌ها	آخر QRS	خون از بطن‌ها وارد **سرخرگ‌ها** می‌شود.
دوم	تاک	بسته شدن دریچه‌های **سرخرگی سینی**	ابتدای استراحت عمومی (ابتدای استراحت بطن‌ها)	T	خون از دهلیزها وارد **بطن‌ها** می‌شود.

تست ۳ در قلب فرد سالم و بالغ، ..... (قلم‌چی)

۱) سیاهرگ اکلیلی، خون خود را به دهلیزها می‌ریزد.
۲) دریچهٔ دولختی، پس از شنیده شدن صدای اول، بسته می‌شود.
۳) دریچهٔ سینی آئورتی، از بازگشت خون به بطن راست جلوگیری می‌کند.
۴) سرخرگ آئورت، به دنبال شنیده شدن صدای دوم، خونی دریافت نمی‌کند.

پاسخ ۴ صدای دوم قلب در اثر بسته شدن دریچه‌های سینی ایجاد می‌شود که به دنبال این صدا، خون دیگر از بطن بیرون نمی‌رود و وارد آئورت نمی‌شود.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): خون سیاهرگ اکلیلی فقط به **دهلیز راست** (نه دهلیزها) وارد می‌شود. / گزینهٔ (۲): صدای اوّل (پووم)، به بسته شدن دریچه‌های دولختی و سه‌لختی هنگام شروع انقباض بطن‌ها مربوط است پس این دریچه‌ها پیش از شنیده شدن صدای اول، اقدام به بسته شدن می‌کنند. / گزینهٔ (۳): دریچهٔ سینی آئورت از بازگشت خون به بطن **چپ** جلوگیری می‌کند (نه راست).

تست ۴ در زمانی که با گوشی صدای دوم قلب انسانی سالم شنیده می‌شود، بلافاصله ..... (سراسری خارج از کشور - ۹۰)

۱) دریچه‌های سینی بسته می‌شوند.
۲) مقدار خون بطن‌ها افزایش می‌یابد.
۳) دریچه‌های دهلیزی - بطنی بسته می‌شوند.
۴) دهلیزها شروع به انقباض می‌نمایند.

پاسخ ۲ صدای دوم قلب در ابتدای استراحت عمومی (بعد از انقباض بطن‌ها) در اثر بسته شدن دریچه‌های سینی شنیده می‌شود که **پس از آن** بلافاصله با باز شدن دریچه‌های دهلیزی - بطنی، خون در مرحلهٔ استراحت عمومی وارد بطن‌ها می‌شود.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): بسته شدن دریچه‌های سینی، عامل ایجاد این صدا هستند. پس این اتفاق قبلاً افتاده است. / گزینهٔ (۳): بسته شدن دریچه‌های دهلیزی - بطنی، با فاصلهٔ زیادی (حدود نیم ثانیه بعد) رخ خواهد داد. / گزینهٔ (۴): انقباض دهلیزها، پس از پایان این مرحله‌ها ۰/۴ ثانیه طول می‌کشد، صورت می‌گیرد.

نکتهٔ فعالیت کتاب از تشریح قلب گوسفند

در قلب گوسفند نیز مانند قلب انسان:
- ۱) بطن **چپ** دیوارهٔ **قطورتری** دارد تا با قدرت انقباضی خود، خون را به **همهٔ** اندام‌های بدن برساند.
- ۲) در **بالای** قلب سرخرگ‌ها با دیوارهٔ **قطورتر** و سیاهرگ‌های نازک قابل مشاهده هستند.
- ۳) **دو** سرخرگ اکلیلی از ابتدای آئورت در **بالای** دریچهٔ سینی منشأ می‌گیرند.
- ۴) به دهلیز چپ، **چهار** سیاهرگ ششی با خون روشن و به دهلیز راست، **سه** سیاهرگ، (*بزرگ زیرین، بزرگ زبرین و سیاهرگ اکلیلی*) با خون تیره وارد می‌شود.

تشریح قلب:
- برای مشاهدهٔ شکل ظاهری آن ← سطوح مختلف قلب - رگ‌ها در بالای قلب - بطن چپ قطورتر و مقایسهٔ سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها قابل رؤیت است.
- برای مشاهدهٔ بخش درونی آن:
  - وارد کردن سوند از دهانهٔ سرخرگ ششی به بطن راست ← دریچهٔ سینی ششی، سه‌لختی، برآمدگی‌های ماهیچه‌ای و ارتجاعی را می‌توان دید.
  - وارد کردن سوند از دهانهٔ سرخرگ آئورت به بطن چپ ← دریچهٔ سینی آئورتی، دولختی، برآمدگی‌های ماهیچه‌ای و ارتجاعی را مشاهده کرد.
  - اگر سوند را پس از عبور از دریچه‌های دهلیزی بطنی وارد دهلیزها کنیم ← دیوارهٔ داخلی دهلیزها و سیاهرگ‌ها مشاهده می‌شود.

تست ۵ کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در قلب فرد سالم و بالغ، .....»

۱) هر سیاهرگ اکلیلی، خون خود را به حفرات بالایی قلب می‌ریزد.
۲) دریچه‌های سینی پس از شنیده شدن صدای واضح قلب، بسته می‌شوند.
۳) دریچهٔ سینی ششی، از بازگشت خون روشن به بطن چپ جلوگیری می‌کند.
۴) سرخرگ ششی، به دنبال شنیده شدن صدای کوتاه قلب، خونی دریافت نمی‌کند.

پاسخ ۴ B
صدای کوتاه قلب، پس از اتمام انقباض بطن‌ها و در پی تلاش خون سرخرگ‌ها برای بازگشت به بطن‌ها ایجاد می‌شود که بطن‌ها پس از آن در حالت استراحت هستند و به سرخرگ‌ها خون وارد نمی‌کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در بدن یک فرد سالم، بیش از یک سیاهرگ اکلیلی وجود ندارد و این سیاهرگ فقط به یک حفرهٔ قلب می‌ریزد (*مواظب جمع بستن‌ها باشید*). / گزینهٔ (۲): بسته شدن دریچه‌های سینی صدای دوم را ایجاد می‌کنند (*تا در بسته نشه که صدا نمی‌ده!*). / گزینهٔ (۳): دریچهٔ سینی ششی از بازگشت خون **تیره** به بطن **راست** جلوگیری می‌کند.

ساختار لایه‌ها و بافت‌های موجود در قلب

قلب اندامی **ماهیچه‌ای** است که از دیواره‌ای سه‌لایه‌ای تشکیل شده است. این لایه‌ها از درون به بیرون به نام درون‌شامه، ماهیچهٔ قلب و برون‌شامه می‌باشند.

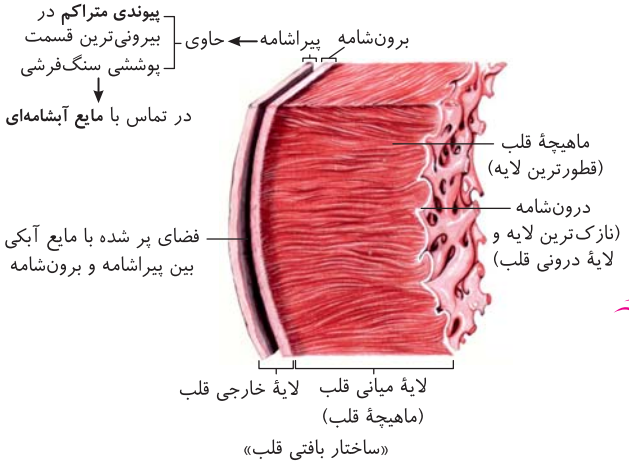
لایهٔ داخلی حفره‌های قلبی

در **سطح درونی دهلیزها و بطن‌ها** (*حفرات قلبی*)، یک لایهٔ **نازکی** از بافت **پوششی** به نام درون‌شامه **وجود** دارد. درون‌شامه در تشکیل **دریچه‌های قلبی** شرکت دارد و با خون درون قلب نیز در تماس است. این لایه در ادامه، درون رگ‌های خونی متصل به قلب نیز وارد می‌شود. زیر درون‌شامه، غشای پایه و یک لایهٔ پیوندی وجود دارد. در حقیقت لایهٔ پیوندی سبب چسباندن درون‌شامه با بافت پوششی به لایهٔ میانی یا ماهیچه‌ای قلب می‌شود ولی آن را جزئی از ساختار درون‌شامه به حساب نمی‌آوریم.

نکته درون‌شامه از داخل به بافت پیوندی خون تماس دارد و از خارج پس از غشای پایه به بافت پیوندی دیگری متصل است که آن را به ماهیچهٔ قلب وصل کرده است (*درون‌شامه بین دو بافت پیوندی قرار دارد*).

لایهٔ اصلی یا میانی قلب

ضخیم‌ترین لایهٔ دیوارهٔ قلبی، **ماهیچهٔ قلب** می‌باشد که **بیشتر** از یاخته‌های بافت **ماهیچهٔ** قلبی یک یا **برخی** دو هسته‌ای تشکیل شده است. بین یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی یعنی در فضای بین‌یاخته‌ای آن‌ها، مقداری **بافت پیوندی متراکم** وجود دارد. در فضای بین یاخته‌های پیوندی این لایه، رشته‌های **کلاژن ضخیم** وجود دارد که **بسیاری** از یاخته‌های **ماهیچه‌ای** این لایه نیز به این رشته‌های کلاژنی متصل هستند. بافت پیوندی **متراکم** موجود در لایهٔ ماهیچه‌ای قلب به **استحکام دریچه‌های** قلبی نیز کمک می‌کند (*نه اینکه جزئی از ساختار دریچهٔ قلب باشند*).



«ساختار بافتی قلب»

نکته در بین یاخته‌های لایهٔ ماهیچه‌ای قلب علاوه بر بافت پیوندی، **رشته‌های عصبی** که از دستگاه **خودمختار** هستند نیز پخش شده‌اند. این اعصاب حرکتی کار قلب را به کمک تارهای سمپاتیکی (*هم‌حس*) **تند** و با عمل تارهای پاراسمپاتیکی (*پادهم‌حس*)، **کند** می‌کنند.

لایهٔ بیرونی قلب

خارجی‌ترین لایهٔ قلب برون‌شـامه نام دارد که از دو نوع بافت پوششـی سنگ‌فرشـی و پیوندی متراکم (رشتهای) به وجود آمده است. این لایه به سمت **بیرون** به صورت یک لایهٔ دیگر به **روی خود** برمی‌گردد و خارجی‌ترین بخش به نام **پیراشامه** را می‌سازد. پیراشامه در حقیقت همان برون‌شامه است که از پیرامون کل قلب را دربرگرفته است. این لایه نیز همانند برون‌شامه از بافت‌های سنگ‌فرشی و پیوندی متراکم تشکیل شده است. بین برون‌شامه و پیراشامه، فضایی پر از **مایع** وجود دارد. این **مایع**، هم سبب **محافظت** از قلب می‌شود و هم به حرکت **روان** این اندام کمک می‌کند.

ویژگی‌ها / لایه‌های قلب	جنس بافتی	کار	نکات دیگر
پیراشامه	پیوندی **متراکم** + پوششی **سنگ‌فرشی**	خارجی‌ترین لایهٔ دور قلب است که به **داخل** قفسهٔ سینه متصل بوده و از تاخوردگی خارجی برون‌شامه ایجاد شده است.	از خارج به **قفسهٔ سینه** و از داخل به فضای پر **مایع** متصل است.
برونشامه	پیوندی **متراکم** + پوششی **سنگ‌فرشی**	لایهٔ بیرونی قلب بوده که از داخل به لایهٔ ماهیچه‌ای متصل است.	از خارج با فضای پر **مایع** و از داخل به **ماهیچهٔ** قلب متصل است.
ماهیچهٔ قلب	اغلب ماهیچه‌ای + پیوندی	ضخیم‌ترین قسمت قلب	علاوه بر ماهیچه، بافت پیوندی متراکم کلاژن‌دار و رشته‌های عصبی خودمختار دارد.
درونشامه	لایهٔ نازک پوششی سنگ‌فرشی ساده	در تماس با خون و تشکیل دهندهٔ سطح رویی دریچه‌ها	از خارج به بافت پیوندی متصل است و از داخل در سطح درونی حفره‌های قلبی بوده و در تماس با خون می‌باشد.

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) فقط درون‌شامه قلب، فاقد بافت پیوندی می‌باشد.
۲) ترتیب قطر لایه‌های قلبی: درون‌شامه < برون‌شامه < ماهیچه‌ای
۳) فقط در ماهیچهٔ قلب یاختهٔ دوهسته‌ای می‌تواند وجود داشته باشد.

تست ۶ **بافت پیوندی موجود در لایهٔ ماهیچهٔ قلب، به نسبت بافت پیوندی موجود در هر لایه دوازدهه، ..... دارد.**

۱) کلاژن و یاخته کمتر ولی انعطاف‌پذیری بیشتری
۲) کلاژن و مقاومت بیشتر ولی انعطاف‌پذیری و مادهٔ زمینه‌ای کمتری
۳) فضای بین‌یاخته‌ای زیاد، همراه با مادهٔ زمینه‌ای اندک پرانعطاف
۴) انعطاف و تعداد یاخته کمتر ولی مادهٔ زمینه‌ای و مقاومت بیشتری

پاسخ ۲ (A)

بافت پیوندی موجود در قلب، پیوندی متراکم می‌باشد ولی نوعی از بافت پیوندی که در تمام لایه‌های لولهٔ گوارش یافت می‌شود، سست می‌باشد. بافت پیوندی از نوع متراکم، کلاژن و مقاومت در مقابل کشش بیشتری از بافت پیوندی سست دارد ولی تعداد یاخته‌ها، مادهٔ زمینه‌ای و انعطاف آن از بافت پیوندی سست کمتر است همچنین هر دو به نسبت بافت پوششی فضای بین‌یاخته‌ای بیشتری دارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بافت پیوندی تراکم کلاژن بیشـتری دارد. / گزینهٔ (۳): فضای بین‌یاخته‌ای هر دو بافت زیاد اسـت اما مادهٔ زمینه‌ای بافت متراکم، کم‌انعطاف‌تر اسـت. / گزینهٔ (۴): مادهٔ زمینه‌ای بافت پیوندی متراکم از بافت پیوندی سسـت کمتر اسـت چراکه بیشتر فضای بین‌یاخته‌ای این بافت از رشته‌های کلاژن پر شده است.

تست ۷ **نوعی مایع، ضمن محافظت از قلب انسان، به حرکت روان آن کمک می‌کند. کدام گزینه دربارهٔ «هر لایهٔ دارای تماس با این مایع» صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) به ضخیم‌ترین لایهٔ دیوارهٔ قلب متصل است.
۲) در استحکام دریچه‌های قلبی نقش دارد.
۳) واجد بافتی با فضای بین‌یاخته‌ای اندکی است.
۴) فاقد شبکه‌ای از رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی است.

پاسخ ۳ (B)

بیرونی‌ترین لایهٔ دیوارهٔ قلب برون‌شـامه اسـت. این لایه روی خود برمی‌گردد و پیراشـامه را به وجود می‌آورد. برون‌شـامه و پیراشـامه از بافت پوششی سنگ‌فرشی و بافت پیوندی متراکم تشکیل شده‌اند.

بین **برون‌شـامه و پیراشـامه** فضایی وجود دارد که با مایع پر شـده اسـت. این مایع ضمن محافظت از قلب، به حرکت روان آن کمک می‌کند و این مایع در تماس با همان دو لایه می‌باشـد. بنابراین در هر دو لایهٔ در تماس با این مایع، بافت پوششـی سنگ‌فرشـی وجود دارد. یاخته‌های این بافت، بسـیار نزدیک به یکدیگرند و بین آن‌ها فضای بین‌یاخته‌ای اندکی وجود دارد.

از بین این دو لایه، فقط برون‌شامه به ماهیچهٔ قلب (ضخیم‌ترین لایه) متصل می‌باشد (نادرستی گزینهٔ (۱)) و نقش داشتن در استحکام دریچه‌های قلبی، مربوط به لایهٔ ماهیچهٔ قلب است و نه هیچ‌یک از دو لایهٔ مدنظر سؤال (نادرستی گزینهٔ (۲)). در زیر یاخته‌های این بافت، غشای پایه وجود دارد که شبکه‌ای از رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی است (نادرستی گزینهٔ (۴)).

ساختار بافت و یاختهٔ ماهیچهٔ قلبی

همان‌طور که قبلاً نیز بررسی کردیم در بدن انسان، سه نوع بافت ماهیچه‌ای وجود دارد: ماهیچهٔ اسکلتی (*مخطط*)، ماهیچهٔ صاف (*غیرارادی*) و ماهیچهٔ قلبی. یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی، **ترکیبی** از ویژگی‌های هر دو نوع ماهیچهٔ **صاف و اسکلتی** را دارند. یاختهٔ ماهیچهٔ قلبی همانند یاخته‌های ماهیچهٔ اسکلتی، **ظاهری مخطط** همراه **واحدهای انقباضی منظم کنار هم** دارند، انقباض **مجموع** این واحدهای انقباضی باعث انقباض ماهیچهٔ قلبی می‌شود. از طرفی یاخته‌های ماهیچهٔ قلبی همانند یاخته‌های ماهیچهٔ صاف، به صورت **غیرارادی** منقبض می‌شوند.

نکته

دقت کنید که یاختهٔ مخطط هم در ماهیچهٔ اسکلتی و هم در ماهیچهٔ قلبی وجود دارد ولی لفظ ماهیچهٔ مخطط منظور ماهیچهٔ اسکلتی می‌باشد.

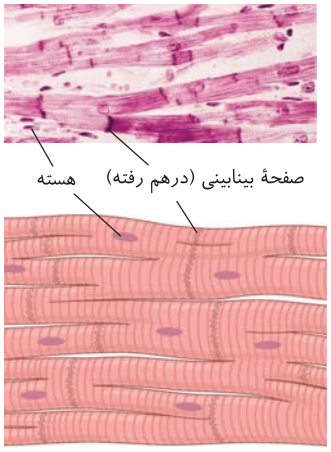
نکته

هر یاختهٔ ماهیچه
- اسکلتی ← **چندهسته‌ای استوانه‌ای**شکل می‌باشد - انقباض آن‌ها فقط تحت کنترل اعصاب حرکتی **پیکری** می‌باشد.
- صاف ← **تک‌هسته‌ای دوکی** می‌باشد - انقباض آن‌ها تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** می‌باشد (*البته در لولهٔ گوارش شبکهٔ یاخته‌های عصبی هم مؤثر است*).
- قلبی ← **بیشتر** یک و **برخی** دوهسته‌ای استوانه‌ای **منشعب** با صفحات بینابینی (*درهم رفته*) می‌باشند - انقباض آن‌ها هم به صورت ذاتی (*خودبه‌خودی*) و هم تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** می‌باشد.

ویژگی منحصر به فرد یاختهٔ ماهیچه‌ای قلبی

یاخته‌های ماهیچه‌ای قلب یک ویژگی منحصر به فرد دارند و آن داشتن **صفحات بینابینی** (*درهم رفته*) است که باعث ارتباط **سریع** پیام انقباضی یا **استراحتی** بین یاخته‌های قلبی می‌شود. این صفحات سبب می‌شوند که قلب به صورت یک **تودهٔ یاخته‌ای واحد** عمل کرده و دو دهلیز با هم و هم‌زمان منقبض شوند و دو بطن نیز با هم و **هم‌زمان** به انقباض یا استراحت دربیایند.

در حقیقت صفحات بینابینی نقش انتقال پیام بین یاخته‌های دو **دهلیز** به هم و یا یاخته‌های دو **بطن** به همدیگر را دارند.



«ساختار ماهیچهٔ قلب و ارتباط‌های یاخته‌ای آن»

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) در محل اتصال **دهلیزها به بطن‌ها**، یک بافت **پیوندی عایق** وجود دارد که باعث می‌شود ماهیچهٔ دهلیزها نتوانند از هر قسمتی سبب تحریک ماهیچهٔ بطن‌ها شوند و از طرفی وجود این بافت عایق سبب می‌شود که دو دهلیز و دو بطن به‌طور هم‌زمان منقبض نشوند. دقت کنید که ارتباط انتقال پیام بین دهلیزها و بطن‌ها **فقط** از نوعی **بافت ماهیچه‌ای** به نام **شبکهٔ هادی قلب یا گرهی قلب** امکان‌پذیر می‌باشد که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم.

۲) انتقال پیام انقباضی
- بین دو **یاختهٔ** مجاور ماهیچهٔ قلب ← از طریق صفحات ارتباطی بین‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد.
- بین دو **حفرهٔ** دهلیزی با بطنی ← توسط بافت گرهی ماهیچه‌ای صورت می‌گیرد.

۳) برای انقباض هر یاختهٔ ماهیچه‌ای، *ATP* و یون کلسیم مورد نیاز است.

۴) هسته‌های یاخته‌های ماهیچهٔ قلبی به صورت کشیده در طول یاخته قرار دارند ولی صفحات ارتباطی به صورت عمودی در عرض یاخته‌ها قرار گرفته‌اند.

تست ۸ اگر یک تار ماهیچه‌ای دهلیز چپ را با محرک الکتریکی تحریک کنیم، ..... به انقباض درمی‌آیند. (قلم‌چی)

۱) فقط تارهای ماهیچه‌ای دهلیز چپ
۲) تمام تارهای ماهیچه‌ای ماهیچهٔ قلب
۳) فقط تارهای ماهیچه‌ای سمت چپ قلب
۴) تمامی تارهای ماهیچه‌ای دهلیزها

پاسخ ۴ با انقباض یک تار ماهیچه‌ای دهلیز، تمام تارهای ماهیچه‌ای دهلیزها (*چپ و راست*) به انقباض درمی‌آیند، زیرا بین این یاخته‌های ماهیچه‌ای، صفحات بینابینی وجود دارد و وظیفهٔ این صفحات، انتشار پیام انقباض به سایر یاخته‌های ماهیچه‌ای قلب است. از آنجا که بین دهلیزها و بطن‌ها بافت عایق وجود دارد انقباضات آن‌ها جدا از هم صورت می‌گیرد.

شبکهٔ هادی قلب

در قسمت قبل اشاره کردیم که به لایهٔ میانی و ضخیم قلب، **لایهٔ ماهیچه‌ای** گفته می‌شود. ماهیچه‌های قلب شامل دو نوع یاختهٔ ماهیچه‌ای قلبی با ساختار یاخته‌ای یک یا دو هسته‌ای می‌باشد. یکی از انواع آن‌ها که فراوانی **کمتری** دارد، سبب تشکیل شبکهٔ **هادی** قلب می‌شود که پیام **الکتریکی** قلب را به‌طور خودبه‌خودی تولید و به یاخته‌های دیگر ماهیچه‌ای قلبی منتقل می‌کند.

در حقیقت در بین یاخته‌های ماهیچهٔ قلب انسان، فقط برخی از آن‌ها ویژگی **شروع تحریک به صورت خودبه‌خودی** (*ذاتی*) بدون نیاز به تحریک عصبی دارند. این یاخته‌های ماهیچه‌ای به صورت شبکه‌ای از **رشته‌ها و گره‌ها** در بین یاخته‌های **دیگر ماهیچهٔ قلبی** پراکنده هستند. به مجموع این یاخته‌های ماهیچه‌ای با تعداد کم، **شبکهٔ هادی قلب** یا بافت **گرهی** قلب، گفته می‌شود.

نکته شبکهٔ هادی قلب، **بدون نیاز به عصب**، شروع‌کنندهٔ **ذاتی ضربان** قلب بوده و جریان **الکتریکی** را به **سرعت** در سراسر قلب منتشر می‌کنند ولی **همانند** اغلب یاخته‌های دیگر ماهیچه‌ای، از جنس بافت **ماهیچه‌ای** قلبی هستند. دقت کنید که فعالیت این شبکه توسط دستگاه **خودمختار** سمپاتیک (هم‌حس) و پاراسمپاتیک (پادهم‌حس) **به ترتیب** زیاد یا کم می‌شود. یاخته‌های این قسمت به صورت مخطط با صفحات ارتباطی بوده که اغلب تک‌هسته‌ای و برخی دوهسته‌ای هستند.

نکته **اغلب** یاخته‌های ماهیچه‌ای موجود در لایهٔ ماهیچه‌ای قلب، فاقد قدرت تولید ضربان قلب بوده و جزء بافت هادی قلب به حساب نمی‌آیند. در حقیقت بافت هادی یا گرهی قلب مقدار کمی از یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی را شامل می‌شود.

نکته یاخته‌های شبکهٔ هادی قلب با دیگر یاخته‌های ماهیچهٔ قلب، ارتباط **دارند** و آن‌ها را برای **انقباض** تحریک کرده و یا به استراحت درمی‌آورند. یاخته‌های این شبکه نیز اغلب به صورت تک‌هسته‌ای و در برخی موارد دوهسته‌ای می‌باشند. در ادامه می‌خوانید که یک **گره** از این شبکه، بدون نیاز به عصب تحریک‌کننده، سبب شروع ضربان قلب می‌شود تا به کمک گره دیگر و سایر دسته تارهای تخصصی ماهیچه‌ای هم‌نوع خود، جریان الکتریکی را به **سرعت** در **سراسر** قلب، منتشر کنند.

اجزاء و عمل شبکهٔ هادی قلب

این شبکه شامل **دو گره** و دسته‌هایی از **تارهای تخصص یافتهٔ ماهیچه‌ای** برای ایجاد و هدایت **سریع** جریان الکتریکی در همهٔ حفرات قلبی می‌باشد تا در نهایت لایهٔ ماهیچه‌ای دهلیزها با هم و بطن‌ها نیز با هم منقبض شوند. (دقت کنید که هیچ‌گاه هم‌زمان هر چهار حفرهٔ قلب به انقباض درنمی‌آیند.)

نکته در قلب همواره ابتدا توسط **شبکهٔ گرهی**، پیام الکتریکی ایجاد می‌شود و سپس توسط سایر یاخته‌های ماهیچه‌ای، انقباض مکانیکی ایجاد می‌شود.

● ۱) گره اول و بزرگ (گره ضربان‌ساز = پیشاهنگ)

این گره، گره پیشاهنگ، ضربان‌ساز یا سینوسی دهلیزی نام دارد که در **دیوارهٔ پشتی دهلیز راست** و **زیر** منفذ بزرگ‌سیاهرگ **زبرین** (بالایی) قرار گرفته است. این گره شروع‌کنندهٔ پیام‌های الکتریکی قلبی به صورت **خودکار** می‌باشد و برای **شروع** تحریک خود **نیازی به جریان عصبی** ندارد. البته عمل آن تحت کنترل اعصاب سمپاتیک زیاد می‌شود. گره پیشاهنگ، جریان الکتریکی را به **سرعت** و به کمک صفحات ارتباطی سایر یاخته‌های ماهیچه‌ای و **دسته تارهای شبکهٔ هادی** در دو **دهلیز** پخش می‌کند تا دو دهلیز **با هم انقباض مکانیکی** پیدا کنند و خون جمع شده **در دیوارهٔ خود** را در مرحلهٔ انقباض دهلیزها که **۰/۱** ثانیه می‌باشد، وارد بطن‌ها کنند.

نکته طبق شکل کتاب درسی، از گره سینوسی دهلیزی، **چهار** دسته یا رشتهٔ گرهی خارج می‌شود که **سه** تای آن‌ها مسئول انتقال پیام به گره دهلیزی بطنی از طریق مسیرهای بین‌گرهی بوده ولی رشتهٔ دیگر سبب انتقال پیام الکتریکی از دهلیز راست به سوی دهلیز چپ می‌شود (دسته‌تاری که فقط به گره ضربان‌ساز متصل است تا نزدیکی بافت پیوندی عایق بین دهلیز چپ و بطن چپ انشعاب می‌یابد).

● ۲) گره دوم کوچک‌تر

این گره، **گره دهلیزی - بطنی** نام دارد که **همانند** گره اول در **دیوارهٔ پشتی دهلیز راست** (متمایل به دهلیز راست) و در **عقب** دریچهٔ **سه‌لختی** (بزرگ‌ترین دریچهٔ قلب) قرار گرفته است. ارتباط بین دو گره هادی قلب، از طریق **مسیرهای تارهای هادی بین‌گرهی** (سه‌مسیر) در دهلیز **راست** برقرار می‌شود (این مسیرها، دسته‌های از تارهای ماهیچه‌ای گرهی خاص هستند که با سرعت، جریان الکتریکی ایجاد شده در گره اول (پیشاهنگ) را به گره دوم منتقل می‌کنند).

نکته گره دوم (دهلیزی - بطنی) **تولیدکنندهٔ** پیام الکتریکی **نمی‌باشد** بلکه فقط پیام الکتریکی گره اول را از **دهلیزها** گرفته و به **بطن‌ها** منتقل می‌کند.

نکته به گرهٔ دوم چهار دسته تار از بافت هادی متصل است، سه‌تا از این دسته‌ها بین دو گره در دهلیز راست بوده و یکی دسته تارهایی است که فقط به گرهٔ دوم متصل‌اند و پیام را از این گره به دیوارهٔ بین دو بطن هدایت می‌کنند.

● ۳) دسته تارهای (رشته‌های) هادی بطنی

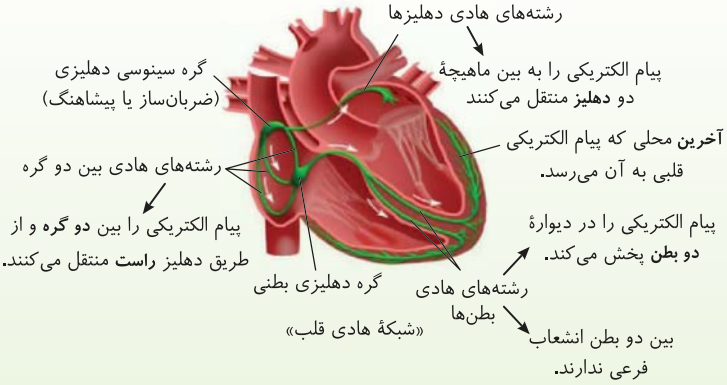
این تارها ابتدا به صورت یک دسته بوده که از گره دهلیزی بطنی به سمت پایین آمده و در **دیوارهٔ بین دو بطن** قرار می‌گیرند و پیام الکتریکی را به **دیوارهٔ بین دو بطن** منتقل می‌کنند، سپس در بین دو بطن، به **دو شاخهٔ** اصلی چپ و راست تبدیل می‌شوند که به سمت **پایین** و **کل بطن**‌ها ادامه می‌یابد. پس از آن هر دسته تار، در اطراف هر بطن دور زده و به سمت **بالا** پیام الکتریکی را منتقل می‌کنند تا به نزدیکی **لایهٔ عایق** بین دهلیزها و بطن‌ها برسند. در طی مسیر، انشعابات این بافت هادی ماهیچه‌ای رشته‌ای به **درون دیوارهٔ بطن‌ها** نفوذ کرده و گسترش می‌یابد تا به وسیلهٔ سایر یاخته‌های ماهیچه‌ای باعث انقباض **هم‌زمان** دو بطن شوند و خون از بطن‌ها به مدت **۰/۳** ثانیه به درون سرخرگ‌ها منتقل شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دسته تارهای هادی که به گرهٔ ضربان‌ساز (اول) متصلند، همگی پیام الکتریکی را در جهت نزولی انتقال می‌دهند.
۲) دسته تارهای بین دو بطن، انشعاب فرعی ریز ندارند و مسیر پیام در آن‌ها مسیر نزولی دارد.
۳) وقتی دسته تارهای بین دو بطن به دو انشعاب تقسیم شدند، وقتی می‌خواهند به سمت دو لایهٔ خارجی هر بطن بروند، پیام آن‌ها از طریق انشعابات ریزی به درون یاخته‌های ماهیچه‌ای بطن‌ها نفوذ می‌کند. به همین دلیل بطن‌ها از پایین به سمت بالا به انقباض درمی‌آیند.
۴) آخرین قسمتی از حفرات قلب که پیام الکتریکی را دریافت می‌کنند، مناطق بالایی هر بطن می‌باشند.
۵) بیشترین اجزای بافت هادی قلب در دهلیز راست قرار دارند.
۶) دسته تار هادی که از گره ضربان‌ساز به سمت دهلیز چپ می‌رود در انتهای آن به قطورترین حالت می‌رسد.

۷ پیام **الکتریکی** قلب ابتدا در دهلیز **راست** وارد شده ولی سپس به‌طور هم‌زمان در هر دو دهلیز پخش یا گسترده می‌شود تا **انقباض مکانیکی** دو دهلیز هم‌زمان صورت بگیرد. در مورد بطن‌ها دقت کنید که به دلیل تارهای گرهی درون بطنی، **هم پیام الکتریکی** و **هم انقباض مکانیکی** در هر دو بطن **هم‌زمان** می‌باشد.

۸ با توجه به شکل مقابل در مورد شبکهٔ هادی قلب درمی‌یابیم که از گره سینوسی دهلیزی هم دسته تاری به سمت دهلیز چپ می‌رود و هم مسیرهای بین‌گرهی پیام الکتریکی را به گره دهلیزی - بطنی می‌برند ولی رشته‌های هادی بین بطنی، از گره دهلیزی - بطنی منشأ گرفته تا به بطن‌ها منشعب شوند و با انقباض بطن‌ها سبب خروج خون از قلب شوند.



۹ رشته‌های هادی متصل به گره دهلیزی - بطنی ابتدا به صورت مشترک در بین دو بطن پایین آمده، سپس به دو شاخه تبدیل می‌شوند.

۱۰ آخرین قسمتی از قلب که پیام الکتریکی را دریافت می‌کند در **بالای** بطن‌ها و نزدیک بافت **پیوندی عایق** بین بطن با دهلیز مجاور آن می‌باشد.

۱۱ انتقال پیام الکتریکی:
- بین دو یاختهٔ مجاور قلبی ← از طریق انشعابات درهم رفته یا **صفحات بینابینی** یاخته‌ها می‌باشد.
- بین دو حفرهٔ قلبی (*ماهیچهٔ دهلیزی و بطنی*) ← فقط از بافت **گرهی** صورت می‌گیرد.

۱۲ چون پیام الکتریکی به نوک بطن‌ها زودتر از دیواره‌های خارجی آن می‌رسد، پس انقباض بطن‌ها ابتدا از **پایین** به **بالا** صورت می‌گیرد. این مکانیسم در **بسته** شدن دریچه‌های دهلیزی - بطنی در ابتدای انقباض بطن‌ها و ایجاد صدای **اول** قلب نقش دارد تا خون به دهلیزها برنگردد.

ویژگی‌ها / شبکهٔ هادی قلب	محل	نکات
گره سینوسی دهلیزی	دیوارهٔ **پشتی** دهلیز راست **زیر** منفذ بزرگ‌سیاهرگ زبرین	گره ضربان‌ساز - ایجادکنندهٔ پیام الکتریکی قلب
گره دهلیزی - بطنی	دیوارهٔ **پشتی** دهلیز راست در **عقب** دریچهٔ سه‌لختی	کوچک‌تر از گره اول است - پیام الکتریکی گره اول را به درون **بطن‌ها** منتقل می‌کند.
رشته هادی دهلیز چپ	از طریق گره سینوسی دهلیزی، از دهلیز راست به سمت **دهلیز چپ** می‌رود.	از گره سینوسی دهلیزی (*پیشاهنگ*)، پیام الکتریکی را به سمت دهلیز چپ می‌برد در انتها منشعب می‌شود.
رشته‌های هادی بین‌گرهی (*در دهلیز راست*)	دهلیز راست بین دو **گره**	در دهلیز **راست** پیام الکتریکی گره اول را از سه مسیر به **سرعت** به گره دوم می‌رساند.
رشته‌های هادی بین دو بطن	دیوارهٔ **بین** دو بطن	از گره **دهلیزی - بطنی** منشأ می‌گیرد. از بافت پیوندی عایق بین دهلیز و بطن عبور می‌کند - ابتدا به صورت یک دسته تار از گره دهلیزی بطنی منشأ می‌گیرند و سپس به دو انشعاب راست و چپ برای هر بطن تقسیم می‌شوند.
رشته‌های هادی بطنی مربوط به هر بطن	دور تا دور **هر** بطن و درون دیوارهٔ هر بطن	این دسته تارها از **بین** دو بطن شروع می‌شوند و به ترتیب پیام الکتریکی را به انتهای قلب، دیوارهٔ **خارجی** بطن‌ها و سپس به سمت بالا تا دیوارهٔ عایق بین دهلیز و بطن می‌برند. (*انشعابات آن‌ها در دیوارهٔ خارجی بطن‌ها زیاد است.*)

تست ۹ چند مورد دربارهٔ «هر گره در شبکهٔ هادی قلب انسان سالم» صحیح است؟ (قلم‌چی)

الف) شروع‌کنندهٔ پیام‌های الکتریکی است.
ب) در دیوارهٔ پشتی دهلیز راست واقع است.
ج) مستقیماً در انقباض یاخته‌های ماهیچه‌ای بطن‌ها نقش دارد.
د) یاخته‌های آن با دیگر یاخته‌های ماهیچهٔ قلبی ارتباط دارند.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ گزینهٔ ۲

بعضی یاخته‌های ماهیچهٔ قلب ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را برای تحریک خودبه‌خودی قلب، اختصاصی کرده است. پراکندگی این یاخته‌ها به صورت شبکه‌ای از رشته‌ها و گره‌ها در بین سایر یاخته‌هاست که به مجموع آن‌ها شبکهٔ هادی قلب می‌گویند. یاخته‌های این شبکه با دیگر یاخته‌های ماهیچهٔ قلبی ارتباط دارند. در این شبکه پیام‌های الکتریکی برای شروع انقباض ماهیچهٔ قلبی ایجاد می‌شوند و به سرعت در همهٔ قلب گسترش می‌یابند.

شبکهٔ هادی قلب انسان دو گره دارد، گره اول یا گرهٔ سینوسی - دهلیزی (*پیشاهنگ یا ضربان‌ساز یا گره بزرگ‌تر*) و گره دوم یا گره دهلیزی - بطنی (*گره کوچک‌تر*) که هر دو در دیوارهٔ پشتی دهلیز راست هستند.

از بین موارد، مورد (الف) تنها برای گره اول صحیح است چون تولید ابتدایی پیام الکتریکی توسط گره پیشاهنگ صورت می‌گیرد. مورد (ج) تنها برای گره دوم صدق می‌کند چون گره اول، مستقیماً به یاخته‌های بطنی پیام نمی‌فرستد و موارد (ب) و (د) برای هر دو گره صادق‌اند.

چرخهٔ ضربان قلب

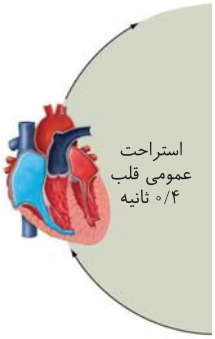
با توجه به اینکه قلب، تقریباً در هر ثانیه یک ضربان کامل دارد، در یک فرد با عمر متوسط، قلب می‌تواند حدود سه میلیارد بار منقبض شود ولی **برخلاف** ماهیچه‌های اسکلتی، این ماهیچه‌ها **استراحت پیوسته** ندارند (*دقت کنید که قلب استراحت دارد ولی مثل ماهیچهٔ اسکلتی نمی‌تواند چند ساعت یا دقیقه به‌طور پیوسته استراحت کند*).

نکته به استراحت قلب یا هر حفرهٔ آن، **دیاستول** و به انقباض آن‌ها، **سیستول** می‌گویند که به‌طور **متناوب** صورت می‌گیرد. به مجموع سیستول و دیاستول قلبی، یک **چرخه یا دورهٔ قلبی** گفته می‌شود. در حقیقت در هر چرخه، قلب در مرحلهٔ استراحت عمومی به صورت **غیرفعال** و بدون صرف انرژی توسط **سیاهرگ‌ها** پرخون می‌شود ولی در مرحلهٔ فعال یا انقباضی **بطن‌ها**، خون به سراسر بدن می‌رسد. در هر چرخهٔ قلبی مراحل زیر با ویژگی‌های متفاوت صورت می‌گیرد.

الف) مرحلهٔ انبساط قلب = استراحت عمومی یا دیاستول همهٔ حفرات

لطفاً علاوه بر خواندن درسنامه حتماً QR Code این قسمت را در تست‌ها به دقت گوش کنید!

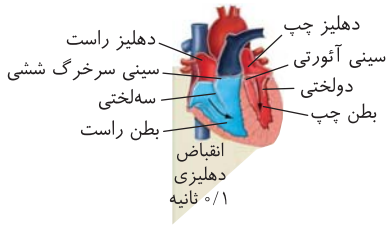
در این مرحله که حدود **۰/۴** ثانیه طول می‌کشد، **همهٔ حفرات قلب در حال استراحت هستند** (*دقت کنید که این مرحله پس از انقباض بطن‌ها و ورود خون به سرخرگ‌های قلبی شروع می‌شود*). در این مرحله، **دریچه‌های دهلیزی - بطنی** (دولختی و سه‌لختی) **باز می‌شوند** و خون جمع شده در حفرهٔ دهلیزها (*خون را از بزرگ‌سیاهرگ‌های زیرین، زیرین، اکلیلی و سیاهرگ‌های شش گرفته‌اند*) به‌طور **غیرفعال** و **بدون** انقباض ماهیچه‌ای وارد بطن‌ها می‌شوند. دقت کنید که در این مرحله که بیشترین زمان را در بین مراحل یک چرخه دارد، همهٔ حفرات قلب در حال خون‌گیری هستند. اغلب خون سیاهرگ‌ها در حفرهٔ دهلیزها وارد شده و چون دریچه‌های دهلیزی بطنی باز هستند، مستقیماً وارد بطن‌ها می‌شوند ولی مقداری از خون سیاهرگ‌ها نیز در **دیوارهٔ دهلیزها** جمع‌آوری شده، تا در مرحلهٔ بعد یعنی مرحلهٔ انقباض دهلیزها وارد بطن‌ها شود.



نکته مهم در این مرحله، همهٔ حفرات قلبی در حال استراحت (دیاستول) **هستند**، ولی **فقط**، ماهیچه‌های **بطنی** از انقباض به حالت استراحت **درمی‌آیند** (*چون بعد از مرحلهٔ انقباض بطن‌ها می‌باشد*). در حالی که ماهیچه‌های **دهلیزی** همانند مرحلهٔ قبل (*انقباض بطن‌ها*) در حال استراحت باقی می‌مانند و شروع استراحت عمومی، تغییری در وضعیت آن‌ها ایجاد نمی‌کند.

ب) مرحلهٔ انقباض دهلیزها (سیستول دهلیزها)

در این مرحله که حدود **۰/۱** ثانیه می‌باشد و **بسیار** زودگذر است، **تغییری در وضعیت دریچه‌های دهلیزی - بطنی** و دریچه‌های **ابتدای سرخرگی دیده نمی‌شود.** در این مرحله، فقط خون جمع شده در **دیوارهٔ** دهلیزها، در اثر انقباض دهلیزها وارد حفرهٔ بطن‌ها می‌شود و بطن‌ها به‌طور **کامل** با خون پر می‌شوند. (*برای فهم بهتر، باید بدانید که آخر انقباض دهلیزها حدود ۱۲۰ سی‌سی خون در هر بطن جمع شده است که از کل خون ورودی به بطن‌ها، حدود ۷۰٪ آن، در مرحلهٔ استراحت عمومی و ۳۰٪ آن در مرحلهٔ انقباض دهلیزها به حفرهٔ درون بطن‌ها رسیده است.*)

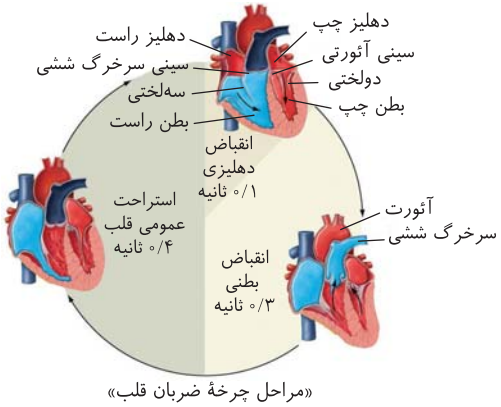


نکته در مرحلهٔ انقباض دهلیزها، ماهیچه‌های دهلیزی به انقباض **درمی‌آیند** و ماهیچه‌های بطنی در استراحت **باقی می‌مانند.**

نکته در این مرحله چون تغییری در وضعیت دریچه‌های قلبی صورت نمی‌گیرد، صدایی نیز در حالت عادی شنیده نمی‌شود.

ج) مرحلهٔ انقباض بطن‌ها (سیستول بطن‌ها)

این مرحله حدود **۰/۳** ثانیه طول می‌کشد. تحریک تارها و الیاف‌های **درون بطنی** توسط بافت هادی و انقباض یاخته‌های دیگر ماهیچه‌ای، سبب می‌شوند که هر دو بطن به‌طور هم‌زمان منقبض شوند. در این مرحله، **ابتدا** با انقباض ماهیچه‌های بطن‌ها که از پایین به سمت بالا صورت می‌گیرد، دریچه‌های **دهلیزی - بطنی** (دو سه‌لختی) بسته می‌شوند و **صدای اول قلب** (پووم) را ایجاد می‌کنند و سپس با انقباض کامل و هم‌زمان قسمت بالایی هر دو بطن، در اثر **فشار خون**، دریچه‌های سینی ابتدای سرخرگی باز شده و مقدار زیادی از خون جمع شده در بطن راست وارد سرخرگ ششی و از بطن چپ وارد سرخرگ آئورتی می‌شود.



«مراحل چرخهٔ ضربان قلب»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها همهٔ حفرات قلبی**، **تغییر** وضعیت **مکانیکی** می‌دهند به این صورت که حفرات **دهلیزی** از حالت انقباض، به حالت **استراحت درمی‌آیند** و حفرات **بطنی** از حالت استراحت به حالت **انقباض درمی‌آیند.**

۲) در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها**، **بیشترین** فشار به دریچهٔ **دولختی** می‌آید، چون بطن **چپ** دیوارهٔ قطورتری دارد و طی ۰/۳ ثانیه بسته بودن، دریچهٔ دولختی فشار بیشتری را متحمل می‌شود. برای درک این نکته دقت کنید که در مرحلهٔ انقباض یا سیستول بطن‌ها، دریچه‌های **سینی** به کنار رفته‌اند و باز می‌باشند، پس فشاری را متحمل نمی‌شوند ولی دریچه‌های دولختی و سه‌لختی (*دهلیزی بطنی‌ها*) بسته می‌شوند و مانع برگشت خون به **دهلیزها** می‌شوند. (*دریچهٔ بسته فشار را تحمل می‌کند و گرنه وقتی باز شد که رفته کنار و فشاری به آن وارد نمی‌شود.*)

۳) بیشترین **مقدار** خون جمع شده درون حفرات **دهلیزی**، در **آخر** مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها** می‌باشد که با بسته بودن دریچه‌های دهلیزی - بطنی خونی از دهلیزها وارد بطن‌ها نشده است.

۴) **بیشترین** مقدار خون درون حفرات **بطنی**، در **آخر** مرحلهٔ **انقباض دهلیزها** می‌باشد که خون دهلیزها به‌طور کامل وارد بطن‌ها شده است.

۵) در مرحلهٔ انقباض بطن‌ها، دهلیزها به حالت استراحت درمی‌آیند و بطن‌ها منقبض می‌شوند. پس از مرحلهٔ انقباض بطن‌ها، مرحلهٔ **استراحت عمومی** شروع می‌شود. در این مرحله، **دهلیزها** در استراحت **باقی می‌مانند** و فقط **بطن‌ها** هستند که تغییر وضعیت **مکانیکی** داده و به حالت دیاستول یا استراحت **درمی‌آیند.**

۶) در مرحلهٔ استراحت عمومی هر چهار حفرهٔ قلبی در حال استراحت **هستند** و خون می‌گیرند ولی خون، فقط در **بطن‌ها** ذخیره می‌شود (*به دلیل اینکه خون وارد شده از سیاهرگ‌ها به حفرهٔ دهلیزها، از دریچه‌های دهلیزی - بطنی باز، وارد حفرهٔ بطن‌ها می‌شود و فقط کمی خون در دیوارهٔ دهلیزها جمع می‌شود. در مرحلهٔ استراحت عمومی، هیچ حفره‌ای به حالت انقباض درنمی‌آید*).

۷) در یک چرخهٔ ضربان قلب، حدود ۰/۳ ثانیه یعنی فقط در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها**، دریچه‌های **سینی** سرخرگی **باز** هستند ولی حدود ۰/۵ ثانیه که معادل مجموع مراحل **انقباض دهلیزها و استراحت عمومی** می‌باشد، دریچه‌های دهلیزی - بطنی **باز** هستند و بطن‌ها خون‌گیری می‌کنند.

۸) انقباض (*سیستول*) بطن‌ها حدود ۰/۳ ثانیه ولی استراحت (*دیاستول*) آن‌ها ۰/۵ ثانیه می‌باشد ولی در مورد دهلیزها، دورهٔ انقباض کوتاه و ۰/۱ ثانیه در سیستول است ولی دورهٔ استراحت طولانی بوده و ۰/۷ ثانیه است.

۹) **در هنگام شنیدن صداهای اول و دوم قلبی** یعنی به ترتیب **ابتدای** انقباض بطن‌ها و **ابتدای** استراحت عمومی، در فاصلهٔ **کوتاهی** همهٔ دریچه‌های قلبی دهلیزی - بطنی و سرخرگی سینی **بسته می‌باشند.** چون همواره ابتدا باید دریچه‌هایی که قبلاً باز بوده‌اند، بسته شوند تا خون به حفرات قبلی برنگردد و سپس، دریچه‌های جدید باز شوند (*البته این نکته برای درک بهتر شما گفته شده است*).

۱۰) به‌طور خلاصه:
- شروع انقباض بطن‌ها ← ابتدا دریچه‌های دهلیزی بطنی بسته شده و صدای **اول** ایجاد می‌شود ← سپس سینی‌ها باز می‌شوند.
- شروع استراحت عمومی ← ابتدا دریچه‌های سینی بسته شده و صدای **دوم** ایجاد می‌شود ← سپس دهلیزی بطنی‌ها باز می‌شوند.

تست ۱۰ کدام عبارت صحیح است؟ (قلم‌چی)

۱) انتشار انقباض بطن‌ها از پایین به سمت بالا و انتشار انقباض دهلیزها از بالا به سمت پایین است.

۲) دهلیزها برخلاف بطن‌ها به‌طور فعال از خون پر می‌شوند.

۳) مدت زمانی که خون از سیاهرگ‌ها وارد دهلیزها می‌شود کمتر از مجموع زمان استراحت عمومی و انقباض دهلیزی است.

۴) در مرحلهٔ انبساط قلب مانعی برای ورود خون به بطن‌ها وجود دارد.

پاسخ ۱ (B) با توجه به شکل کتاب درسی که مراحل چرخهٔ ضربان قلب را نشان می‌دهد، انتشار انقباض بطن‌ها از پایین به بالا و انتشار انقباض دهلیزها از بالا به پایین است چون بطن‌ها باید خون داخل خود را به بالا (*سرخرگ‌ها*) بفرستند اما دهلیزها با انقباض خود قصد دارند خون خود را وارد حفره‌های پایینی (*بطن‌ها*) کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): پر شدن دهلیزها از خون، با واسطهٔ ورود خون سیاهرگ‌ها انجام می‌پذیرد که این فرایند، یک فرایند غیرفعال است. / گزینهٔ (۳): ورود خون سیاهرگ‌ها به دهلیزها بدون توقف ادامه دارد و در تمام طول دورهٔ قلبی مشاهده می‌شود. پس زمانی بیش از مجموع استراحت عمومی و انقباض دهلیزی (*مجموعاً ۰/۵ ثانیه*) است. / گزینهٔ (۴): انبساط قلب همان مرحلهٔ استراحت عمومی است که دریچه‌های دهلیزی بطنی باز بوده و خون دهلیزها وارد بطن‌ها می‌شود.

تست ۱۱ **به‌طور معمول در مرحله‌ای از کار قلب انسان که ۰/۴ ثانیه طول می‌کشد** ..... **مرحله‌ای که دریچه‌های دهلیزی بطنی بسته هستند** ..... (قلم‌چی)

۱) همانند - دریچه‌های ابتدای سرخرگ‌ها باز هستند.

۲) برخلاف - ممکن نیست خون روشنی وارد بطن‌ها شود.

۳) همانند - رشته‌های گرهی بین بطنی در حال هدایت تکانه‌های قلبی هستند.

۴) برخلاف - دریچه‌های دهلیزی بطنی با افزایش فشار درون حفرات کوچک قلب نسبت به حفرات بزرگ باز می‌شوند.

پاسخ ۴ (C) این تست مقایسهٔ دو مرحلهٔ استراحت عمومی با انقباض بطن‌ها می‌باشد که در مرحلهٔ استراحت عمومی که ۰/۴ ثانیه طول می‌کشد، دریچه‌های دهلیزی - بطنی به دلیل افزایش تجمع خون و فشار دهلیزها (*حفرات کوچک‌تر*)، نسبت به بطن‌ها (*حفرات بزرگ‌تر*) که با اتمام انقباض و خالی شدن دچار کاهش فشار شده‌اند، باز می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): دریچه‌های ابتدای سرخرگ‌ها در انقباض بطن‌ها باز هستند (*نه استراحت عمومی*). / گزینهٔ (۲): در زمان استراحت عمومی قلب، دریچه‌های دهلیزی - بطنی باز هستند و خون روشن سیاهرگ‌های ششی بدون مانع ابتدا وارد دهلیز و بعد وارد بطن می‌شود.

تست ۱۲ چند مورد جملهٔ مقابل را به درستی کامل می‌کند؟ «در طی دورهٔ کاری قلب در انسانی که در حال استراحت است، .....» (قلم‌چی)

الف) مدت انبساط دهلیزها، هفت برابر انقباض دهلیزها است.

ب) زمانی که دهلیزها در حال انقباضند، بطن‌ها در حال انبساطند.

ج) هم‌زمان بودن انبساط دهلیزها و بطن‌ها امکان‌پذیر نیست.

د) مدت زمان باز بودن دریچه‌های دهلیزی - بطنی، بیش از باز بودن دریچه‌های سینی شکل است.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ C

فقط مورد (ج) نادرست است.

تله‌های تستی الف) درست است. دهلیزها ۰/۱ ثانیه در حال انقباض و ۰/۷ ثانیه در حال استراحت (انبساط) هستند. / ب) درست است. در قلب هرگاه دهلیزها یا بطن‌ها دارای انقباض هستند به ترتیب، بطن‌ها یا دهلیزها دارای انبساط هستند. / ج) نادرست است. در **استراحت عمومی** همهٔ حفرات قلبی در حال استراحت و انبساط هستند. / د) درست است. در یک چرخهٔ ضربان قلب، دریچه‌های دهلیزی - بطنی ۰/۵ ثانیه (هم‌زمان با استراحت بطن‌ها) و سینی‌ها ۰/۳ ثانیه (هم‌زمان با انقباض بطن‌ها) باز هستند.

تست ۱۳ در مرحلهٔ ۰/۳ ثانیه‌ای از دورهٔ کار قلب انسان، ..... (سراسری - ۸۸)

۱) مقداری خون در دهلیزها جمع می‌شود. ۲) با انقباض دهلیزها، بطن‌ها از خون پر می‌شوند.

۳) با افزایش فشار خون در بطن‌ها، دریچه‌های سینی بسته می‌شوند. ۴) با افزایش فشار خون در دهلیزها، دریچه‌های دهلیزی- بطنی باز می‌شوند.

پاسخ ۱ B

مرحلهٔ **انقباض بطنی** ۰/۳ ثانیه طول می‌کشد که طی آن دهلیزها در حال استراحت بوده و دریچه‌های دولختی و سه‌لختی بسته می‌شوند و خون از سیاهرگ‌ها به دهلیزها می‌ریزد، ولی به بطن‌ها وارد نمی‌شود در نتیجه درون همان دهلیزها جمع می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): در این مرحله انقباض دهلیزها را شاهد نیستیم. / گزینهٔ (۳): افزایش فشار در بطن‌ها موجب باز شدن دریچه‌های سینی برای خروج خون از قلب می‌شود. / گزینهٔ (۴): باز شدن دریچه‌های دهلیزی - بطنی، پس از این مرحله انجام می‌شود.

حجم ضربه‌ای

مقدار خونی است که با هر انقباض قلب، از **هر بطن** خارج شده و وارد سرخرگ مربوط به آن بطن می‌شود (حدود ۷۰ میلی‌لیتر می‌باشد). این ویژگی تحت تأثیر قدرت انقباضی **لایهٔ ماهیچه‌ای** قلب است.

نکته در حالت طبیعی و پس از انقباض کامل بطن‌ها، قلب نیز مانند شش که هیچ‌گاه خالی نمی‌شود، هنوز مقداری خون در **هر بطن** خود نگه می‌دارد. در حقیقت اگر هر حفرهٔ بطنی در ابتدای انقباض بطن دارای ۱۲۰ میلی‌لیتر خون باشد، این حفره در پایان انقباض یا سیستول خود، ۷۰ میلی‌لیتر از خون خود را به عنوان حجم ضربه‌ای وارد سرخرگ آئورت یا ششی می‌کند و ۵۰ میلی‌لیتر نیز در هر بطن باقی می‌ماند.

برون‌ده قلبی

حاصل‌ضرب **حجم ضربه‌ای** حاصل از عمل انقباضی **ماهیچهٔ** هر بطن در **تعداد** ضربان قلب در **دقیقه** حاصل از عملکرد بافت **هادی** یا پایهٔ **گرهی** قلب می‌باشد.

تعداد ضربان قلب در دقیقه×حجم ضربه‌ای=برون‌ده قلب

نکته برون‌ده قلب، متناسب با **سطح فعالیت بدن** تغییر می‌کند و **ثابت نمی‌ماند**. عواملی مانند مقدار فعالیت بدن و سوخت‌وساز بدن بر برون‌ده قلب تأثیر می‌گذارند مثلاً در اثر عمل زیاد **غدهٔ تیروئید**، تعداد ضربان قلب زیاد می‌شود و یا عواملی مثل سن و اندازهٔ بدن سبب تغییر در برون‌ده قلب می‌شود. در یک فرد بالغ و سالم در حالت **استراحت**، برون‌ده قلب، حدود ۵ لیتر در دقیقه می‌باشد. (البته حجم ضربه‌ای را حدود ۷۰ میلی‌لیتر و تعداد ضربان قلب را حدود ۷۰ بار در نظر می‌گیریم.)

نکته اگر **تعداد** ضربان قلب در دقیقه خیلی زیاد شود، زمان خون‌گیری قلب و همچنین مقدار حجم ضربه‌ای **کمتر** می‌شود، در نتیجه برون‌ده قلب یا مقدار خونی که در هر دقیقه به اندام‌ها می‌رسد، **کمتر** می‌شود.

نوار قلب

پیام الکتریکی قلب، توسط **گره ضربان‌ساز** ایجاد شده و توسط شبکهٔ **هادی** و سایر یاخته‌های ماهیچه‌ای در کل دهلیزها و بطن‌ها پخش می‌شود. این پیام الکتریکی توسط گره **دهلیزی - بطنی** با یک تأخیر زمانی کوچک به درون بطن‌ها می‌رسد تا در نهایت ماهیچه‌های قلب منقبض شوند. در حقیقت با دستگاهی می‌توانیم فعالیت یاخته‌های ماهیچه‌ای قلب را به صورت نواری با موج‌های متفاوت ثبت کنیم.

بررسی نوار قلب

حتماً بارها دیده و شنیده‌اید که فلانی نوار قلب گرفته است. ولی چطوری؟!

در حقیقت نمودار نوار قلب را می‌توان از قسمت‌های مختلف **سطح پوست** ثبت کرد. **علت ثبت** این منحنی این است که در هنگام چرخهٔ ضربان قلب، **یاخته‌های ماهیچهٔ** قلبی در این فرایند شرکت می‌کنند و این پیام‌ها به اندازهٔ کافی **قوی** هستند که بتوان آن‌ها را از **سطح پوست** دریافت و ثبت کرد.

نکته در ثبت نوار قلب فقط یاخته‌های **ماهیچه‌ای** مؤثراند که فعالیت **الکتریکی** قدرت تولید یا هدایت پیام را دارند.

نکته نوار قلب روی کاغذ یا صفحهٔ حساس نمایش‌گر، نشان داده می‌شود و شامل ۳ موج **P**، **QRS** و **T** در مجموع یک چرخهٔ ضربان کامل ۰/۸ ثانیه‌ای می‌باشد که به ترتیب آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

موج P

موجی است مربوط به فعالیت الکتریکی **انقباض دهلیزها** که توسط **گره پیشاهنگ** (ضربان‌ساز) و به صورت **خودبه‌خود** (بدون نیاز به عصب) ثبت می‌شود. این موج **کمی قبل از شروع انقباض دهلیزها** یعنی در انتهای **استراحت عمومی**، **شروع** به ثبت شدن می‌کند. پس از ثبت موج **P**، با انقباض دهلیزها، خون جمع شده در **دیوارهٔ دهلیزها** از دریچهٔ دهلیزی - بطنی که **باز بوده‌اند**، وارد بطن‌ها می‌شود (ولی این خون آن قدر فشار ندارد که دریچه‌های سینی در ابتدای سرخرگ‌ها را باز کند).

نکته در اینجا لازم به دقت فراوان می‌باشد که در مرحلهٔ انقباض **دهلیزها** و ثبت موج **P**، تغییری در وضعیت **دریچه‌ها** ایجاد نمی‌شود و خون از طریق دریچه‌های دهلیزی بطنی که از قبل باز بوده‌اند، وارد بطن‌ها می‌شود. به همین دلیل در این قسمت صدای قلبی نیز شنیده نمی‌شود.

نکته ابتدا در اثر عمل گرهٔ سینوسی دهلیزی موج **P** ثبت می‌شود، بعد انقباض دو دهلیز به صورت هم‌زمان صورت می‌گیرد.

موج QRS

در هنگامی که انقباض دهلیزها در حال انجام است، پیام الکتریکی گره پیشاهنگ، توسط الیاف‌ها و تارهای **هادی** دهلیزی به گره دهلیزی - بطنی می‌رسد. در **انتهای** انقباض **دهلیزها**، موجی به نام **QRS** **شروع** به ثبت شدن می‌کند که هدف آن، یکی رساندن پیام به گره دهلیزی - بطنی و دیگری به انقباض درآوردن **هم‌زمان** ماهیچه‌های **هر دو بطن** همراه با انقباض **تعداد زیادی** از یاخته‌های دیوارهٔ **بطن‌ها** می‌باشد.

نکته مهم موج **QRS** تقریباً از قبل از شروع انقباض بطن‌ها، شروع به ثبت می‌کند ولی انتهای ثبت آن در ابتدای انقباض بطن‌ها بوده که هم‌زمان با **صدای اول قلب** می‌باشد.

نکته پس از ثبت موج **QRS** با بسته بودن دریچه‌های دهلیزی - بطنی و ایجاد انقباض کامل بطن‌ها، دریچه‌های سینی سرخرگی باز می‌شوند.

نکته در زمان ثبت موج **QRS**، بیشترین مقدار خون در **بطن‌ها** جمع شده است چون شروع ثبت این موج در انتهای مرحلهٔ انقباض دهلیزها می‌باشد.

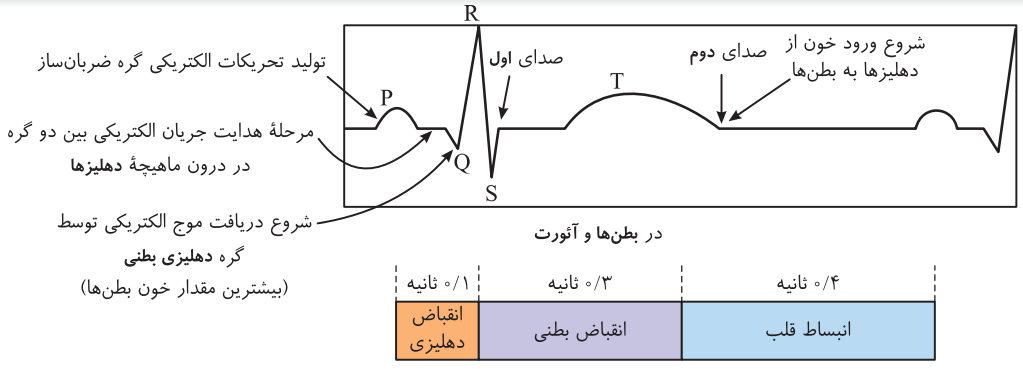
موج T

موجی است مربوط به مرحلهٔ **به استراحت درآمدن بطن‌ها** که همراه با **خارج شدن تدریجی پیام الکتریکی از یاخته‌های بطنی** ثبت می‌شود. این موج اندکی قبل از پایان **انقباض بطن‌ها** شروع به ثبت شدن می‌کند و پس از آن در شروع استراحت عمومی با بسته شدن دریچه‌های سینی **صدای دوم قلب** (تاک) شنیده می‌شود.

نکته صدای **اول** قلب (پووم) به موج **QRS** نزدیک‌تر بوده و صدای **دوم** (تاک) به موج **T** نزدیک‌تر می‌باشد.

نکته بیشترین مقدار خون درون **دهلیزها**، در آخر **انقباض بطن‌ها** و هم‌زمان با اواخر ثبت موج **T** می‌باشد در حالی که بیشترین مقدار خون درون **بطن‌ها** در آخر **انقباض دهلیزها** و هم‌زمان با شروع ثبت موج **QRS** می‌باشد.

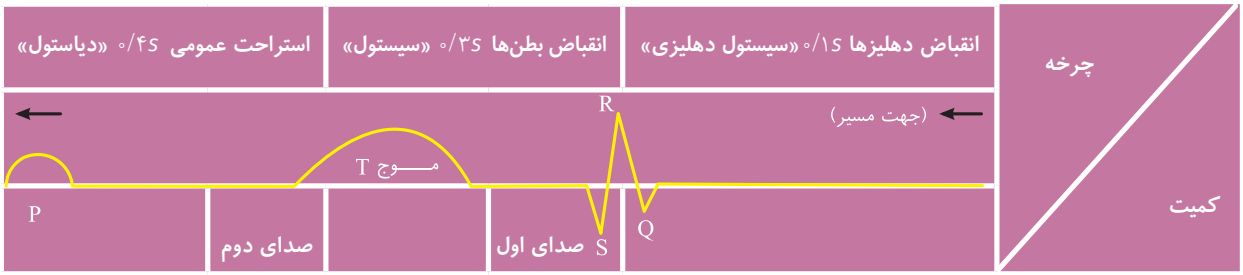
شکار صداهای قلبی:
تاک به **T** نزدیک است ولی پوم به **P** نزدیک نیست به **QRS** نزدیک است.



«منحنی قلب‌نگاره»

نکته با توجه به متن کتاب درسی شروع ثبت موج **P** و **QRS**، به ترتیب کمی قبل از شروع انقباض دهلیزها و بطن‌ها می‌باشد. نیاز به آموختن هیچ مطلب دیگری به جز مطالب گفته شده را برای کنکور ندارید.

فاصلهٔ بین...	مرحله	دریچه‌های دهلیزی بطنی	دریچه‌های سینی	مقدار خون درون دهلیزها	مقدار خون درون بطن‌ها	مدت زمان تقریبی
ثبت کامل P تا شروع ثبت Q	انقباض **دهلیزها**	**باز**	**بسته**	**کم** می‌شود	اندکی **زیاد** می‌شود	۰/۱ ثانیه
پایان ثبت QRS تا شروع ثبت T	انقباض **بطن‌ها**	**بسته**	**باز**	**زیاد** می‌شود	به تدریج **کم** می‌شود	۰/۳ ثانیه
ثبت کامل T تا شروع ثبت P	استراحت عمومی	**باز**	**بسته**	وارد بطن‌ها می‌شود	**زیاد** می‌شود	۰/۴ ثانیه



وضعیت دریچهٔ دهلیزی - بطنی	باز **می‌ماند**	ابتدا **بسته** می‌شود	بعد **باز** می‌شود
وضعیت دریچهٔ سینی	بسته **می‌ماند**	بعد **باز** می‌شود	ابتدا **بسته** می‌شود
وضعیت مکانیکی دهلیزها	به انقباض **درمی‌آیند**	به استراحت **درمی‌آیند**	در استراحت **می‌مانند**
وضعیت مکانیکی بطن‌ها	در استراحت **می‌مانند**	به انقباض **درمی‌آیند**	به استراحت **درمی‌آیند**

نکته بررسی شکل، ارتفاع و فاصلهٔ منحنی‌ها و ثبت موج‌ها در نوار قلب به متخصصان قلب در تعیین وضعیت سلامت قلب یا تشخیص بیماری‌های قلبی کمک می‌کند.

نکته مهم موج P مربوط به فعالیت الکتریکی پتانسیل عمل در **دهلیزها** بوده ولی موج QRS مربوط به فعالیت الکتریکی پتانسیل **عمل بطن‌ها** و T پیام الکتریکی مربوط به استراحت **بطن‌ها** می‌باشد.

تست ۱۴ **در طی یک چرخهٔ ضربان قلب در انسان سالم و بالغ در بین موارد زیر، بیشترین زمان اختصاص به کدام مورد دارد؟** (قلم‌چی)

۱) انقباض دهلیزها
۲) پر شدن بطن‌ها از خون
۳) باز بودن دریچه‌های سینی ابتدای سرخرگ‌ها
۴) خروج خون از طریق سرخرگ آئورت از قلب

پاسخ ۲ (A) در طی یک چرخهٔ ضربان قلب در انسان، پر شدن بطن‌ها از خون حدود ۰/۵ ثانیه (گزینهٔ (۲))، باز بودن دریچه‌های سینی ابتدای سرخرگ‌ها حدود ۰/۳ ثانیه (گزینهٔ (۳))، خروج خون از بطن‌ها حدود ۰/۳ ثانیه (گزینهٔ (۴)) و انقباض دهلیزها حدود ۰/۱ ثانیه می‌باشد (گزینهٔ (۱)).

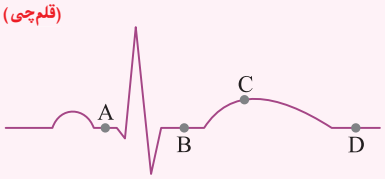
تست ۱۵ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در چرخهٔ ضربان قلب انسان سالم، کمی ..... ثبت موج T، قطعاً .....»** (قلم‌چی)

۱) بعد از - خون بزرگ‌سیاهرگ‌های زیرین و زبرین وارد دهلیز چپ می‌شود.
۲) قبل از - یاخته‌های ماهیچه‌ای دهلیزها در حال انقباض‌اند.
۳) قبل از - مانعی برای خروج خون از قلب وجود دارد.
۴) بعد از - بطن‌ها به حالت استراحت درمی‌آیند.

پاسخ ۴ (B) موج T، اندکی پیش از پایان انقباض بطن‌ها و بازگشت آن‌ها به حالت استراحت ثبت می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بزرگ‌سیاهرگ‌ها، به دهلیز راست وارد می‌شوند (*نه چپ*). / گزینهٔ (۲): کمی قبل از ثبت این موج، بخش‌های ابتدایی و میانی انقباض بطن‌ها است و به بخش انقباض دهلیزها نمی‌رسد. / گزینهٔ (۳): در طول انقباض بطن‌ها (*اندکی پیش از ثبت این موج*)، مانعی برای خروج خون از قلب دیده نمی‌شود.

تست ۱۶ **در نمودار نوار قلب مقابل، در نقطهٔ A .....** (قلم‌چی)



۱) برخلاف B، دریچه‌های دهلیزی بطنی فشار زیادی تحمل می‌کنند.
۲) همانند D، خون وارد حفرات بزرگ قلب می‌شود.
۳) همانند C، یاخته‌های ماهیچه‌ای دریچه‌های قلبی و سرخرگی در جهت جریان خون باز می‌شوند.
۴) برخلاف D، گرهٔ پیشاهنگ تکانه‌های قلبی ایجاد می‌کند.

پاسخ ۲ (B) در نقطهٔ A (*انقباض دهلیزها*) همانند نقطهٔ D (*استراحت عمومی*) دریچه‌های قلبی (*دهلیزی بطنی*) باز بوده و خون از دهلیزها وارد بطن‌ها می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): اتفاقاً برعکس، دریچه‌های قلبی در نقطهٔ (B) تحت فشار قرار دارند. / گزینهٔ (۳): دریچه‌های قلبی، یاختهٔ ماهیچه‌ای ندارند. / گزینهٔ (۴): فعالیت گره پیشاهنگ، قبل از (A) آغاز شده است.

درسنامه

گفتار ۲ رگ‌های خونی

در دستگاه گردش **خون بسته انسان و سایر مهره‌داران**، سه **نوع** رگ به صورت یک **شبکهٔ مرتبط** به نام‌های **سرخرگ‌ها، مویرگ‌ها و سیاهرگ‌ها** وجود دارد که **ساختار** هرکدام متناسب با **کاری** است که انجام می‌دهند. این شبکهٔ رگی از **سرخرگ**‌های خارج‌کنندهٔ خون از قلب شروع شده و پس از عبور از بافت‌ها و تبادل مواد در مویرگ‌ها، توسط **سیاهرگ**‌ها به قلب باز می‌گردد. در جدول زیر لایه‌های مختلف هر رگ خونی را بررسی کرده‌ایم.

رگ‌های خونی	لایهٔ خارجی	لایهٔ میانی	لایهٔ داخلی
سرخرگ‌ها	بافت پیوندی زیادی دارند.	ماهیچهٔ صاف **زیاد** همراه بافت پیوندی دارای لایه‌های کشسان (الاستیک) زیاد با مقاومت **زیاد** در مقابل فشار خون قلب می‌باشد.	**سنگ‌فرشی** ساده که غشای پایه در زیر خود دارد.
مویرگ‌ها	ندارد	ندارد	**سنگ‌فرشی** ساده که غشای پایه در زیر خود دارد.
سیاهرگ‌ها	بافت پیوندی به مقدار کمتر از سرخرگ و با استحکام کمتر دارند.	**نسبت به سرخرگ، ماهیچهٔ صاف کمتری دارد ولی** همراه با بافت پیوندی دارای رشته‌های کشسان (الاستیک) می‌باشد. مقاومت **کم** در مقابل جریان خون دارند.	**سنگ‌فرشی** ساده که غشای پایه در زیر خود دارد.

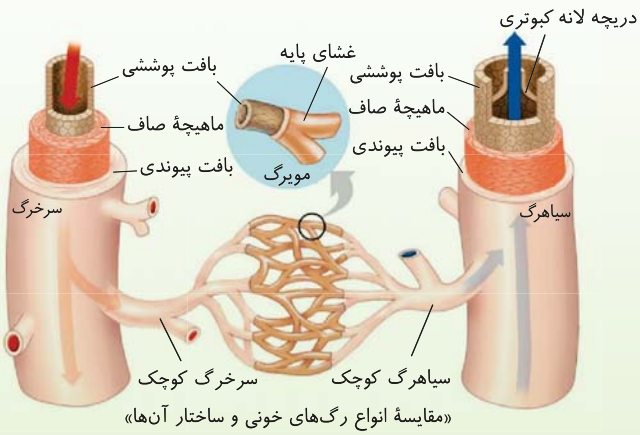
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها دارای سه لایهٔ اصلی می‌باشند ولی مویرگ‌ها فقط یک لایهٔ **پوششی** به همراه غشای پایه دارند که در جدول بالا به بررسی کلی آن‌ها پرداختیم.

۲ دقت کنید که خون نوعی بافت پیوندی درون رگ‌ها می‌باشد که در تماس با بافت پوششی قلب و رگ‌ها قرار دارد ولی در تماس با غشای پایه نمی‌باشد.

۳ ساختار پایه‌ای سرخرگ با سیاهرگ‌ها **شبیه** می‌باشد ولی ضخامت لایه‌های آن‌ها **متفاوت** می‌باشد (دقت کنید که در لایهٔ میانی سرخرگ و سیاهرگ کتاب مقدار رشته‌های کشسان را *زیاد* در نظر گرفته است).

۴ به دلیل لایهٔ **ماهیچه‌ای و پیوندی با ضخامت زیاد** و محکم در **سرخرگ‌ها**، این رگ‌ها در برش عرضی **بیشتر گرد** دیده می‌شوند و فضای درونی آن‌ها برای انتقال خون از سیاهرگ‌ها **کم‌حجم‌تر** می‌باشد. به همین دلیل، **فشار خون بیشتری از طرف خون و انقباض قلب به دیوارهٔ آن‌ها وارد می‌شود** و مقدار خون درون سرخرگ‌ها از سیاهرگ‌ها **کمتر** است.



«مقایسهٔ انواع رگ‌های خونی و ساختار آن‌ها»

۵ سیاهرگ‌های **هم‌اندازهٔ** سرخرگ‌ها، به دلیل داشتن دیوارهٔ نازک‌تر، حفرهٔ داخل آن‌ها بیشتر و **گسترده‌تر** می‌باشد. **بسیاری** از آن‌ها **دریچه‌هایی** به نام **لانه کبوتری** برای حرکت **یک‌طرفهٔ** خون به سوی قلب دارند (این سیاهرگ‌های دریچه‌دار در دست‌ها و زیر قلب قرار دارند و خون را برخلاف نیروی جاذبهٔ زمین به سمت بالا می‌برند).

۶ همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید دریچهٔ لانه کبوتری از بافت پوششی داخل سیاهرگ می‌باشد.

تست ۱۷ چند مورد دربارهٔ «هر نوع رگ خونی در انسان سالم، که در ساختار دیوارهٔ خود، دارای رشته‌های پروتئینی است»؛ به درستی بیان شده است؟ (قلم‌چی)

الف) در دیوارهٔ خود، واجد یاخته‌های بافت پوششی مشابه با بیشترین یاخته‌های موجود در دیوارهٔ حبابک‌ها است.

ب) در لایهٔ میانی دیوارهٔ خود دارای یاخته‌های ماهیچه‌ای تک‌هسته‌ای است.

ج) می‌تواند مستقیماً خون را به حفرات قلب وارد یا از آن‌ها خارج کند.

د) به‌طور حتم نمی‌تواند به تبادل مواد با یاخته‌های بدن بپردازد.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۱ گزینهٔ ۲

فقط مورد (الف) صحیح است.

در ساختار **همهٔ رگ‌های خونی** (یعنی سرخرگ‌ها، سیاهرگ‌ها و مویرگ‌ها) رشته‌های پروتئینی وجود دارد. توجه کنید که مویرگ‌ها نیز دارای غشای پایه (شبکه‌ای از رشته‌های پروتئین و گلیکوپروتئین) می‌باشند.

در همهٔ رگ‌های خونی یاخته‌های بافت پوششی سنگ‌فرشی وجود دارد.

بیشترین یاخته‌های موجود در دیوارهٔ حبابک‌ها، یاخته‌های پوششی سنگ‌فرشی می‌باشند (درستی الف).

مویرگ‌ها، لایهٔ ماهیچه‌ای ندارند، مستقیماً به حفرات قلب متصل نیستند و می‌توانند مستقیماً به تبادل مواد در بافت‌ها بپردازند.

تست ۱۸ چند مورد دربارهٔ «خون موجود در هر رگ خونی بدن انسان سالم» درست است؟ (قلم‌چی)

الف) از انواع یاخته‌ها، رشته‌های پروتئینی و مادهٔ زمینه‌ای تشکیل شده است.

ب) در پایان مسیر گردش خون ششی یا عمومی به دهلیزها وارد می‌شود.

ج) به‌طور منظم و یک‌طرفه در رگ‌های خونی جریان دارد.

د) اکسیژنِ کم، اما کربن دی‌اکسیدِ زیادی دارد.

۱) ۴ مورد ۲) ۳ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۱ مورد

پاسخ ۲ (C)

موارد (الف)، (ب) و (ج) صحیح هستند.

در دستگاه گردش خون انسان، سه نوع رگ خونی (*سرخرگ*، *مویرگ* و *سیاهرگ*) حضور دارند.

نکته‌های تستی الف) خون، یک بافت پیوندی است و بافت پیوندی هم از انواع یاخته‌ها، رشته‌های پروتئینی و مادهٔ زمینه‌ای تشکیل شده است. / ب) خون موجود در هر رگ در پایان مسیر گردش ششی، وارد دهلیز چپ و در پایان مسیر گردش عمومی وارد دهلیز راست می‌شود. / ج) خون، نوعی بافت پیوندی است که به‌طور منظم و یک‌طرفه در رگ‌های خونی جریان دارد. / د) خون **تیره**، اکسیژن کم، اما کربن دی‌اکسیدِ زیادی دارد اما خون روشن این ویژگی را ندارد.

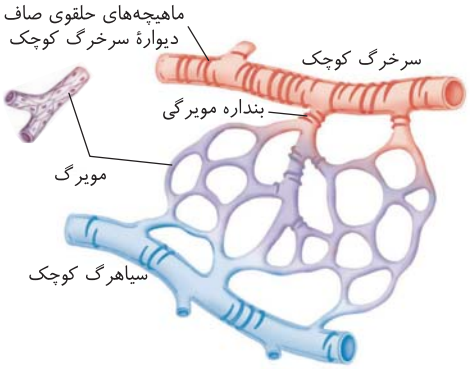
ساختار کلی مویرگ‌ها

مویرگ‌ها فقط **یک لایهٔ پوششی سنگ‌فرشی ساده** دارند که روی آن **غشای پایه** قرار گرفته است. این ساختار با کار آن‌ها که تبادل مواد با آب میان‌بافتی است سازگاری یافته است. در ساختار دیوارهٔ مویرگ‌ها، **لایهٔ ماهیچه‌ای** وجود ندارد ولی در **ابتدای بعضی** از آن‌ها حلقهٔ ماهیچه‌ای به عنوان بندارهٔ مویرگی از جنس **ماهیچهٔ صاف حلقوی** وجود دارد که میزان جریان خون درون مویرگ را تنظیم می‌کند. مویرگ‌ها تنها رگ‌هایی هستند که به تبادل مواد با بافت‌ها می‌پردازند (*در تست‌ها دقت کنید که مواد از سرخرگ و سیاهرگ با بافت مبادله نمی‌شود*).

نکته مهم بندارهٔ موجود در ابتدای برخی مویرگ‌ها، برخلاف دریچه‌های دیگر موجود در دستگاه گردش مواد (*مثل دریچه‌های سینی، دهلیزی بطنی، لانه‌کبوتری و درون رگ نفس*) بافت ماهیچه‌ای دارد (*از نوع ماهیچهٔ صاف*) و حاوی یاخته‌های قابل انقباض می‌باشد.

تنظیم خون‌رسانی به بافت‌ها

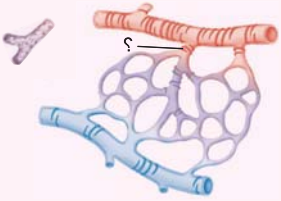
بافت‌ها و یاخته‌ها، همواره توسط مویرگ‌های خونی مجاور خود که انشعابات انتهایی سرخرگ‌های کوچک هستند، به مبادلهٔ مواد می‌پردازند. در دیوارهٔ سرخرگ‌های **کوچک، ماهیچه‌های صاف حلقوی فراوانی** وجود دارد. **انقباض و انبساط** این ماهیچه‌ها، تغییر حجم اندکی به ترتیب با **تنگ و گشاد** شدن سرخرگ ایجاد می‌کند و سبب می‌شود که مقدار خون درون مویرگ بعد از خود و **بافت** مجاور آن را تنظیم کند تا اکسیژن و مواد غذایی مورد نیاز به بافت‌های مختلف برسد. این ماهیچه‌های حلقوی صاف دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک، **مهم‌ترین** عامل در مقدار خون‌رسانی به **بافت** مجاور آن می‌باشد. البته حتماً از تیتر قبلی به یاد دارید که بندارهٔ **ابتدای** برخی مویرگ‌ها نیز به عنوان عامل **کمکی** در مقدار خون‌رسانی به بافت‌ها نقش ایفا می‌کند. پس به‌طور کلی می‌توان گفت که در تنظیم مقدار خون رسیده به مویرگ‌ها و بافت مجاور آن‌ها فقط بافت **ماهیچه‌ای صاف** تأثیر دارد. چون هم در ساختار دیوارهٔ سرخرگ کوچک و هم در ساختار بندارهٔ مویرگی این ماهیچه‌های صاف هستند که مقدار خون مورد نیاز بافت‌ها را تنظیم می‌کنند.



«ساختار مویرگ و بندارهٔ مویرگی»

نکته بندارهٔ مویرگی جزئی از ساختار دیوارهٔ مویرگ‌ها به حساب نمی‌آید ولی در ابتدای برخی مویرگ‌ها وجود دارد.

تست ۱۹ بخشی که در شکل با علامت سؤال مشخص شده است، ..... (قلم‌چی)



۱) تنظیم میزان جریان خون در مویرگ‌های روده را بر عهده دارد.

۲) فقط از یک لایه بافت پوششی تشکیل شده است.

۳) دارای رشته‌های کشسان فراوانی است.

۴) در شش‌ها دارای غشای پایه و فاقد منفذ می‌باشد.

پاسخ ۱ (A)

علامت سؤال مربوط به **بندارهٔ مویرگی** است که ماهیچه‌ای صاف با آرایش حلقوی می‌باشد و در برخی مویرگ‌های سراسر بدن میزان جریان خون را تنظیم می‌کند. سایر گزینه‌ها به‌طور واضح به ترتیب در مورد بافت پوششی و پیوندی می‌باشند که نادرست هستند.

سرخرگ‌ها

رگ‌هایی هستند که خون را از **قلب به سوی اندام‌ها** و بافت‌ها می‌برند. هرچه از قلب **دورتر** می‌شوند، **قطر** آن‌ها **کمتر** شده و خاصیت کشسانی دیوارهٔ آن‌ها نیز به همراه **فشار خون** درون آن‌ها **کمتر** می‌شود. این رگ‌ها در برش عرضی بیشتر به صورت **گرد** دیده می‌شوند و به دلیل مقاومت زیادی که در برابر جریان خون دارند، نسبت به سیاهرگ‌ها، حجم خون **کمتر** ولی فشار خون بیشتری دارند. جالب اینجاست که استحکام این رگ‌ها آن‌قدر زیاد است که حتی اگر خالی از خون هم باشند، دهانهٔ آن و مجرای آن باز است و روی هم قرار نمی‌گیرد ولی در سیاهرگ‌ها این حالت برقرار نمی‌شود و در صورت عدم وجود خون دهانهٔ آن‌ها بسته می‌شود.

نکته فشار خون، فشاری است که از سوی خون درون رگ‌ها به دیوارهٔ داخلی هر رگ خونی وارد می‌شود. بیشترین فشار خون در وسط سرخرگ **آئورت** و کمترین آن در بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** می‌باشد.

نکات سرخرگ‌ها

● علت حفظ پیوستگی جریان خون در سرخرگ‌ها و بدن

سرخرگ‌ها، ماهیچه‌های صاف با استحکام زیاد و بافت‌های کشسان (*ارتجاعی*) زیادی دارند. در نوع بزرگ این رگ‌ها نسبت لایهٔ کشسان به ماهیچه‌ای زیاد است و در هنگام **انقباض بطن‌ها** (*۰/۳ ثانیه*) ناگهان مقدار خون زیادی به درون آن‌ها پمپ زده می‌شود. به همین دلیل آن‌ها **گشاد** می‌شوند تا خون بطن‌ها را درون خود جای دهند. در هنگام **استراحت بطن‌ها** (*۰/۵ ثانیه در استراحت عمومی و انقباض دهلیزها*) دوباره به دلیل خاصیت **کشسانی**، سرخرگ‌ها جمع شده و **باریک** می‌شوند تا خون درون خود را با فشار جلو ببرند. این ویژگی (*خاصیت ارتجاعی سرخرگ‌ها*) سبب می‌شود که جریان خون **متناوبی** که هر ۰/۸ ثانیه یک‌بار از قلب خارج می‌شود، به‌طور **پیوسته** در بدن هدایت شود و جریان خون در رگ‌ها منقطع نشود.

نکته مهم گشاد شدن سرخرگ‌های **بزرگ** در هنگام انقباض بطن‌ها و تنگ یا کوچک شدن آن‌ها در هنگام استراحت بطن‌ها به دلیل این است که در دیوارهٔ سرخرگ‌های بزرگ، نسبت بخش کشسان انعطاف‌پذیر (*الاستین*) به ماهیچه‌های آن **زیادتر** می‌باشد. خاصیت **ارتجاعی** دیواره سبب گشاد و تنگ شدن این رگ‌ها می‌شود. این عمل سبب جریان خون پیوسته در بدن شده و در ادامه سبب ایجاد **نبض** هم می‌شوند.

نکته نبض در حقیقت موجی از خون است که در طول سرخرگ‌ها به دنبال هر انقباض بطن‌ها و سپس خاصیت ارتجاعی سرخرگ‌ها ایجاد می‌شود.

در سرخرگ‌های بزرگ مجاور قلب:
- در هنگام انقباض بطن‌ها (*۰/۳ ثانیه*) ← به دلیل خاصیت کشسانی زیاد دیواره ← **گشاد** می‌شوند ← خون زیادی به‌طور **ناگهانی** وارد آن‌ها می‌شود ← فشار خون داخل آن‌ها **بالا** می‌رود.
- در هنگام استراحت بطن‌ها (*۰/۵ ثانیه*) ← **جمع** شدن دیوارهٔ کشسان سرخرگ‌ها ← **تنگ** شدن آن‌ها ← خون با فشار جلو می‌رود ← سبب هدایت خون و **پیوستگی** آن‌ها در بدن می‌شود.

در حالت ایستاده چگونه خون برخلاف نیروی جاذبه از قلب به سر و گردن می‌رسد؟

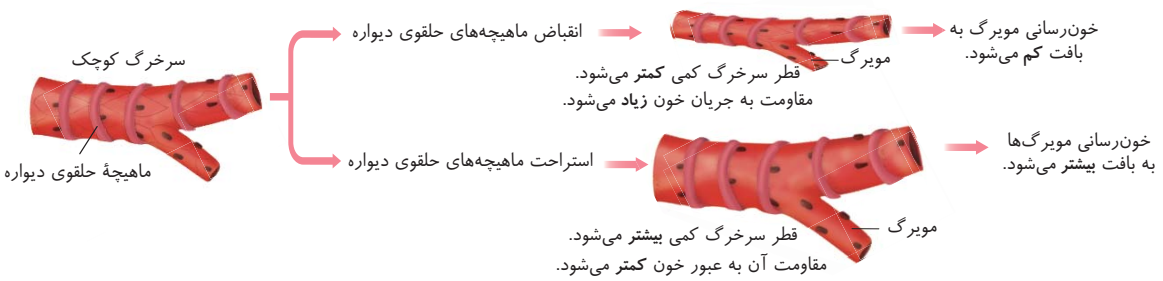
خاصیت **کشسانی** یا ارتجاعی دیوارهٔ **سرخرگ‌ها** هم در نهایت باعث ادامهٔ جریان خون در **سیاهرگ‌ها** که **دیوارهٔ کم‌استحکام** دارند، می‌شود و هم سبب می‌شود که حتی در حالت **قائم** یا ایستاده نیز همواره **برخلاف** نیروی جاذبهٔ زمین، خون **سرخرگی** به **سر و گردن** برسد و هیچ‌گاه فشار خون سرخرگی به حد **منفی** و برگشت‌پذیر درنیاید. در حقیقت جمع شدن سرخرگ‌ها در هنگام استراحت قلب، سبب خون‌رسانی پیوسته به اندام‌ها می‌شود.

● نبض

تغییر حجم سرخرگ‌ها، به دنبال **هر انقباض بطن**، به صورت موجی، خون را در طول سرخرگ‌ها جلو می‌برد که معمولاً عبور این سرخرگ‌ها از روی **استخوان** و حرکت **موجی** آن‌ها سبب احساس **نبض** می‌شود (*هر نبض معادل یک انقباض بطن می‌باشد و تعداد ضربان قلب را از روی آن پیدا می‌کنند*).

● تفاوت سرخرگ‌های بزرگ و کوچک

هرچه سرخرگ‌ها **کوچک‌تر** و به مویرگ نزدیک‌تر می‌شوند، نسبت لایهٔ پیوندی کشسانی آن‌ها به مقدار ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ آن‌ها به تدریج **کمتر** می‌شود. به‌طوری که در سرخرگ‌های کوچک مجاور بافت، بیشترین نسبت ماهیچهٔ صاف به رشته‌های کشسان وجود دارد. به همین دلیل با ورود خون به آن‌ها، قطر این سرخرگ‌ها **تغییر زیادی** نمی‌کند و زیاد گشاد نمی‌شود. در حقیقت سرخرگ‌های کوچک در برابر جریان خون ورودی با وجود **دهانهٔ باریکی** که دارند، مقاومت می‌کنند. دقت کنید که هرچه ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک که اغلب به صورت حلقوی هستند، **بیشتر** منقبض شود، **مقاومت** آن‌ها در برابر جریان خون **بیشتر** می‌شود و خون کمتری به اندام‌ها می‌رسد، ولی در هنگام **استراحتِ** این ماهیچه‌های صاف سرخرگی، این رگ‌ها گشاد می‌شوند و مقاومت **کمتر** آن‌ها سبب انتقال و هدایت مقدار خون بیشتر **به مویرگ‌ها و بافت مجاور آن‌ها** می‌شود.



چند نکتهٔ مهم و جمع‌بندی

۱) در سرخرگ‌های بزرگ: $\frac{\text{لایه کشسانی دیواره} \uparrow}{\text{لایه ماهیچه‌ای دیواره} \downarrow}$ ⟸ این نسبت بالا می‌باشد ⟸ با ورود خون در اثر انقباض بطن‌ها به مقدار قابل توجهی گشادتر می‌شوند.

در سرخرگ‌های کوچک: $\frac{\text{لایه کشسانی دیواره} \downarrow}{\text{لایه ماهیچه‌ای دیواره} \uparrow}$ ⟸ این نسبت پایین می‌باشد ⟸ با ورود خون تغییر قطر زیادی نمی‌دهند و در برابر جریان خون مقاومت می‌کنند.

۲) **مهم‌ترین** عامل در تنظیم مقدار خون درون **مویرگ‌ها** و بافت مجاور آن‌ها، به تنظیمی برمی‌گردد که ماهیچه‌های **صاف** دیوارهٔ **سرخرگی کوچک** انجام می‌دهند که به دو صورت زیر می‌باشد:

۱) انقباض ماهیچهٔ صاف دیواره ⟸ تنگ‌تر شدن سرخرگ کوچک ⟸ کم شدن خون مویرگ و بافت مجاور در اثر مقاومت **زیاد** دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک

۲) استراحت ماهیچهٔ صاف دیواره ⟸ گشادتر شدن سرخرگ کوچک ⟸ زیاد شدن خون مویرگ و بافت مجاور در اثر **کاهش** مقاومت دیوارهٔ سرخرگی

جمع‌بندی: سرخرگ‌های کوچک با خون‌گیری از سرخرگ‌های بزرگ‌تر تغییر قطر زیادی **نمی‌دهند** ولی با انقباض یا استراحت ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ خون کمی تغییر قطر **داده** تا خون‌رسانی به بافت‌ها را کنترل کنند. باز هم دقت کنید که مهم‌ترین عامل در خون‌رسانی به بافت‌ها، ویژگی دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک می‌باشد ولی عامل کمکی این عمل، بندارهایی است که در ابتدای برخی مویرگ‌ها وجود دارند.

تست ۲۰ **در زمانی که دیوارهٔ کشسان سرخرگ‌ها جمع می‌شود و خون را به جلو می‌راند، ممکن نیست .....** (قلم‌چی)

۱) مرحلهٔ استراحت عمومی قلب رخ دهد.
۲) هوای جاری به شش‌ها وارد شود.
۳) دهلیزها در حال انقباض باشند.
۴) هنگام انبساط قلب این امر سبب قطع خون در رگ شود.

پاسخ ۴ (A)

در هنگام استراحت بطن‌ها یعنی وقتی که دیگر خونی از قلب خارج نمی‌شود، دیوارهٔ کشسان سرخرگ‌ها جمع می‌شود و خون را با فشار به جلو می‌راند. این فشار از قطع شدن حرکت خون در هنگام استراحت قلب **جلوگیری می‌کند**.

همان‌طور که گفته شد این اتفاق در زمان استراحت بطن‌ها رخ می‌دهد که مطابق بر استراحت عمومی (گزینهٔ (۱)) و انقباض دهلیزها (گزینهٔ (۳)) می‌باشد. هوای جاری نیز در هر زمانی (*مانند زمان استراحت بطن‌ها*) می‌تواند وارد شش‌ها شود (گزینهٔ (۲)).

تست ۲۱ **رشته‌های کشسان ..... در ساختار دیوارهٔ .....** (قلم‌چی)

۱) همانند بندارهٔ مویرگی - مویرگ‌های خونی دیده نمی‌شوند.
۲) همانند لایهٔ ماهیچه‌ای - رگ‌هایی که وظیفهٔ تبادل مواد را برعهده دارند، مشاهده می‌شوند.
۳) برخلاف غشای پایه - رگ‌های تنظیم‌کنندهٔ میزان خون ورودی به مویرگ‌ها وجود ندارند.
۴) برخلاف بافت پیوندی - سرخرگ‌های خارج‌کنندهٔ خون از قلب به میزان زیادی وجود دارند.

پاسخ ۱ (B)

دیوارهٔ مویرگ‌های خونی تنها از یک لایه بافت پوششی همراه با غشای پایه تشکیل شده است؛ ولی رشته‌های کشسان فقط در بافت پیوندی مشاهده می‌شوند. وجود بندارها در ابتدای برخی از آن‌ها به معنای قرارگیری یاختهٔ ماهیچه‌ای در ساختار مویرگ نیست.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): تبادل مواد بر عهدهٔ مویرگ‌ها می‌باشد که همان‌طور که در بررسی گزینهٔ صحیح گفته شد، این گروه از رگ‌ها، فاقد بافت ماهیچه‌ای و رشته‌های کشسان هستند. / گزینهٔ (۳): رگ‌هایی که میزان خون ورودی به مویرگ‌ها را مشخص می‌کنند، رگ‌های قبل از آن‌ها یعنی (*عبه*) سرخرگ‌ها هستند. سرخرگ‌ها رشته‌های کشسان را در لایهٔ میانی خود دارند. / گزینهٔ (۴): رشته‌های کشسان همراه با بافت پیوندی در لایهٔ میانی و بیرونی رگ‌های خروجی از قلب به میزان زیادی یافت می‌شوند. وجود رشته‌های کشسان زیاد، موجب افزایش قابلیت گشاد شدن رگ‌ها می‌شود.

فشار خون

فشاری است که از سوی **خون به دیوارهٔ رگ** وارد می‌شود. عامل **اصلی** این فشار **نیروی انقباضی دیوارهٔ بطن‌ها** (*مخصوصاً بطن چپ*) **و خاصیت کشسانی دیوارهٔ سرخرگ‌ها** (*مخصوصاً سرخرگ‌های بزرگ*) می‌باشد. به دلیل اینکه دیوارهٔ سرخرگ‌ها **استحکام بیشتری** دارد، بریدن دیوارهٔ سرخرگ سبب فشار زیاد درون سرخرگ‌ها شده و خونریزی زیادی ایجاد می‌کند. البته دقت کنید که وجود فشار خون بالا در سرخرگ‌ها برای کمک به پیوسته کردن جریان خون در بدن و ادامهٔ جریان خون حتی در سیاهرگ‌ها نیز برای کار طبیعی دستگاه گردش خون الزامی می‌باشد.

● **علت عمقی بودن سرخرگ‌ها**

نکته به‌طور معمول در اندام‌های بدن، سیاهرگ‌ها بیشتر به سمت **سطح** اندام‌ها و سرخرگ‌ها بیشتر در **عمق** اندام قرار دارند که دلیل آن محافظت بیشتر از سرخرگ‌هاست. **سرخرگ‌ها** به دلیل دیوارهٔ پر استحکام خود، در صورت پارگی، می‌توانند با خاصیت کشسان و جمع شدن خود، **خون زیادی** را از بدن **خارج** کنند که بسیار خطرناک است. به همین دلیل، معمولاً در بخش‌های عمقی اندام‌ها قرار می‌گیرند تا از خطرات محیطی در امان‌تر باشند.

فشار خون بیشینه و کمینه چیست؟

فشار خون را معمولاً به صورت دو عدد فشار بیشینه و کمینه برحسب میلی‌متر جیوه مثل ۱۲۰ روی ۸۰ و به کمک دستگاه‌های خاص عقربه‌ای یا جیوه‌ای بررسی می‌کنیم.

بررسی اعداد فشار خون:
- **بالا** (بیشینه): فشاری است که خون خروجی از قلب در هنگام **انقباض بطن‌ها** به دیوارهٔ سرخرگ‌ها وارد می‌کند که بیشترین فشار خون بدن می‌باشد.
- **پایین** (کمینه): فشاری است که در هنگام **استراحت قلب** (دیاستول) توسط خون موجود در **سرخرگ‌ها** در اثر بسته شدن یا **جمع** شدن آن‌ها به دیوارهٔ رگ وارد می‌کنند. این فشار در اثر عمل **کشسانی** دیوارهٔ سرخرگ‌های **بزرگ** ثبت می‌شود.

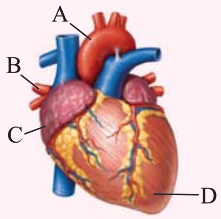
نکته
عوامل مختلفی مانند چاقی، تغذیهٔ نامناسب مثل مصرف زیاد چربی و نمک، دخانیات، استرس (فشار روانی) و سابقهٔ خانوادگی روی بالا رفتن فشار خون اثر می‌گذارد.

نکته
نوشیدن قهوه سبب بالا رفتن تعداد ضربان قلب و فشار خون می‌شود.

نکته
تا اینجا دانستید که:
- چاقی:
  - می‌تواند علل ارثی داشته باشد.
  - ابتلا به دیابت نوع ۲ را بالا می‌برد.
  - با انواعی از سرطان‌ها ارتباط دارد.
  - خطر بالا بردن *LDL* خون سکته را با تنگ کردن سرخرگ‌ها بالا می‌برد.
  - فشار خون را بالا می‌برد.
- مصرف دخانیات:
  - احتمال ریفلاکس معده به مری را زیاد می‌کند.
  - یاخته‌های مژک‌دار مخاط تنفسی را از بین می‌برد.
  - فشار خون را بالا می‌برد.
- استرس:
  - فشار خون را بالا می‌برد.
  - احتمال ریفلاکس را زیاد می‌کند.

تست ۲۲ (قلم‌چی)

با توجه به شکل، کدام گزینه عبارت مقابل را به‌طور مناسب کامل می‌کند؟ «در بخش .....»



۱) *A*، لایه‌های ماهیچه‌ای اسکلتی به همراه رشته‌های الاستیک فراوان مشاهده می‌شود.

۲) *B*، خون غنی از اکسیژن وجود دارد و در نهایت به نیمهٔ راست قلب وارد می‌شود.

۳) *C*، رشته‌های شبکهٔ هادی با دیگر یاخته‌های ماهیچهٔ قلبی در ارتباط‌اند.

۴) *D*، انتشار موج تحریک در لایهٔ ماهیچه‌ای به پایان می‌رسد.

پاسخ ۳ *B*

بخش‌های شمارهٔ *A* تا *D* به ترتیب سرخرگ آئورت، سیاهرگ ششی، دهلیز راست و نوک بطن را نشان می‌دهد. در دهلیز راست، هر دو گره شبکهٔ هادی را می‌بینیم.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): دیوارهٔ همهٔ سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها از سه لایهٔ اصلی تشکیل شده است. لایهٔ میانی آن، **ماهیچه‌ای صاف** است که همراه این لایه رشته‌های کشسان (الاستیک) زیادی وجود دارد. / گزینهٔ (۲): چهار سیاهرگ ششی خون غنی از اکسیژن را به **دهلیز چپ** وارد می‌کنند (نه نیمهٔ راست). / گزینهٔ (۴): انتشار موج تحریک در نوک بطن پایان نمی‌یابد بلکه پس از رسیدن به نوک بطن، به دیوارهٔ خارجی بطن‌ها می‌رود.

مویرگ‌ها

کوچک‌ترین رگ‌های بدن هستند که معمولاً از سرخرگ‌های **کوچک** منشأ می‌گیرند و فقط **یک لایهٔ** پوششی **سنگ‌فرشی ساده** به همراه **غشای پایه** دارند. وظیفهٔ آن‌ها تبادل مواد بین خون و یاخته‌های بدن می‌باشد. این رگ‌ها با **دیوارهٔ نازک و جریان خون کُندی** که دارند، امکان تبادل مواد را برقرار می‌کنند. به علاوه در بدن شبکهٔ بسیار وسیعی دارند به‌طوری که فاصلهٔ **بیشتر یاخته‌ها** تا مویرگ مجاور آن‌ها حدود **۲۰** میکرومتر یا ۰/۰۲ میلی‌متر می‌باشد، **این فاصلهٔ کم** امکان تبادل مواد را با **انتشار** و بدون **صرف انرژی زیستی** مقدور می‌سازد. البته انرژی **جنبشی** مولکول عبوری در انتشار مواد نقش دارد ولی یاخته‌ها برای انتشار، انرژی زیستی مثل *ATP* و ... مصرف نمی‌کنند.

نکته مهم
علت:
- انجام تبادل **کلی** مواد در مویرگ‌ها ← دیوارهٔ نازک و جریان خون کند مویرگی
- انجام تبادل **غیرفعال** در مویرگ‌ها ← فاصلهٔ کم یاخته‌های بدن با مویرگ‌ها

نکته
در فصل ۲ خواندیم که شبکهٔ مویرگی درون کبد می‌تواند بین سیاهرگ باب و سیاهرگ فوق کبدی باشد. پس منشأ مویرگ‌ها می‌تواند از سیاهرگ‌ها نیز باشد.

ساختار مویرگ‌ها

همان‌طور که در ابتدای این گفتار ذکر کردیم، مویرگ‌ها در **طول** (*دیوارهٔ*) خود، **فاقد لایهٔ ماهیچه‌ای** هستند. این رگ‌های کوچک، فقط حاوی یک لایه یاخته‌های پوششی سنگ‌فرشی می‌باشند که روی آن‌ها غشای پایه قرار گرفته است. این غشای پایه در تماس با آب میان‌بافتی است و مانند یک صافی عمل می‌کند تا عبور مولکول‌های بسیار درشت از رگ محدود شود.

یادآوری

۱) روی لایهٔ سنگ‌فرشی سادهٔ مویرگ‌ها یعنی در سطح **بیرونی** مویرگ‌ها **غشای پایه‌ای** وجود دارد که یاخته‌ها را احاطه کرده است و به عنوان نوعی **صافی مولکولی** برای محدود کردن **مولکول‌های بسیار درشت** عمل می‌کند. این **غشای پایه** سبب تقسیم‌بندی انواع مویرگ‌ها به سه نوع پیوسته، منفذدار و ناپیوسته می‌شود.

۲) مویرگ‌ها می‌توانند
- بین دو سیاهرگ باشند
  - فاقد بخش سرخرگی هستند.
  - مانند مویرگ کبدی بعد از سیاهرگ باب (*فصل ۲*)
- بین دو سرخرگ باشند
  - مویرگ آبششی ماهی (*گفتار ۴*)
  - مویرگ کلافکی کلیه انسان (*فصل ۵*)
  - فاقد بخش سیاهرگی هستند.
- بین سرخرگ و سیاهرگ باشند ← اغلب مویرگ‌های بدن

۳) **برخی** مویرگ‌ها در **ابتدای** خود بنداره یا اسفنکتری با ماهیچهٔ صاف حلقوی دارند که اغلب **بسته** می‌باشند و فقط موقع نیاز بافت‌های مجاور به خون باز می‌شوند. این بنداره در خون‌رسانی به بافت‌ها نقش **کمکی** دارد. چون نقش اصلی را ماهیچهٔ صاف حلقوی دیوارهٔ سرخرگ‌های **کوچک** ایفا می‌کند.

۴) چند قید مهم در مورد دریچه یا بنداره رگ‌های خونی و لنفی
- دریچه‌های سینی ← در ابتدای سرخرگ‌های خروجی از بطن‌ها با بافت پوششی می‌باشند.
- **بسیاری** از سیاهرگ‌ها ← در دیوارهٔ داخلی خود دریچه‌های لانه کبوتری از بافت پوششی دارند.
- **برخی** از مویرگ‌های خونی ← در ابتدای خود یک بندارهٔ ماهیچه‌ای صاف دارند.
- رگ‌های لنفی ← در طول خود دریچه‌هایی برای عبور لنف از بافت پوششی دارند.

تست ۲۳ در انسان سالم، تنظیم اصلی جریان خون در مویرگ‌ها، با تنگ و گشاد شدن رگ‌هایی انجام می‌شود که واجد ..... می‌باشند. (قلم‌چی)

۱) توانایی مقاومت در برابر جریان خون
۲) بندارهٔ ماهیچه‌ای در ابتدای خود
۳) رشته‌های کشسان بسیار زیاد در دیوارهٔ خود
۴) ماهیچه‌های صاف بسیار کم در دیوارهٔ خود

پاسخ ۱ تنظیم اصلی جریان خون در مویرگ‌ها براساس نیاز بافت به اکسیژن و مواد مغذی با تنگ و گشاد شدن سرخرگ‌های کوچک انجام می‌شود که قبل از مویرگ‌ها قرار دارند.

در سرخرگ‌های کوچک‌تر، میزان رشته‌های کشسان، کمتر و میزان ماهیچه‌های **صاف**، **بیشتر** است. این ساختار باعث می‌شود با ورود خون، قطر این رگ‌ها تغییر زیادی نکند و در برابر جریان خون **مقاومت** کنند. میزان این مقاومت در زمان انقباض ماهیچهٔ صاف دیواره، بیشتر و در هنگام استراحت، کمتر می‌شود. کم و زیاد شدن این مقاومت، میزان ورود خون به مویرگ‌ها را تنظیم می‌کند اما داشتن بندارهٔ مویرگی، مربوط به مویرگ‌ها می‌شود که تنظیم اصلی جریان خون در خود را انجام نمی‌دهند.

انواع مویرگ‌ها براساس فاصلهٔ بین یاخته‌ها و نوع غشای پایهٔ آن‌ها

۱) مویرگ‌های پیوسته

در این مویرگ‌ها، یاخته‌ها با هم ارتباط **تنگاتنگ** و به هم **فشرده‌ای** دارند که ورود و خروج مواد را **به شدت تنظیم و کنترل** می‌کنند. این نوع مویرگ‌ها را در **دستگاه عصبی مرکزی** (*مخ و نخاع*) به عنوان سد خونی مغزی برای عبور مواد مورد نیاز می‌بینیم. **غشای پایه** در این مویرگ‌ها می‌تواند **کامل** و پیوسته باشد. در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که قطر غشای پایه از قطر مویرگ این کمتر است. در این مویرگ کمترین فضای بین‌یاخته‌ای در دیوارهٔ مویرگی وجود دارد.



«پیوسته»

نکته انتقال میکروب‌های مختلف از جدار مویرگ‌های پیوسته بسیار سخت صورت می‌گیرد. البته عبور مولکول‌هایی مثل اکسیژن، گلوکز، آمینواسیدها و **برخی** داروها حتی می‌تواند از سد خونی مغزی و خونی نخاعی صورت گیرد (*یازدهم*).

● ۲) مویرگ‌های منفذدار

در این نوع مویرگ، **منافذ یاخته‌ای با تعداد زیاد** در **غشای** یاخته‌های پوششی وجود دارد (*این مانع اغلب پروتئین‌های غشایی هستند*) که با غشای پایهٔ **ضخیمی** پوشیده شده‌اند. غشای پایهٔ ضخیم آن‌ها برای محدود کردن عبور مولکول‌های درشت مثل پروتئین‌ها (*نه فقط پروتئین‌ها*) می‌باشد. این نوع مویرگ‌ها به‌طور مثال در **کلیه‌ها** وجود دارند در شکل مشاهده می‌کنید که در این مویرگ‌ها قطر غشای پایه از دیوارهٔ مویرگ بیشتر است.



نگاهی به آینده

تراوش و مکانیسم‌های تشکیل ادرار (*فصل ۵*) و ورود هورمون اریتروپویتین از کلیه به خون (*گفتار ۳*) از مویرگ‌های منفذدار صورت می‌گیرد.

● ۳) مویرگ‌های ناپیوسته

در این نوع مویرگ‌ها آن‌قدر فاصلهٔ بین یاخته‌های **پوششی** از هم **زیاد** می‌باشد که به صورت **حفرهٔ بین‌یاخته‌ای** همراه با غشای پایهٔ **ناقص** در اندام‌ها وجود دارد که باعث عبور مولکول‌های درشت و حتی یاخته‌هایی مانند گویچه‌های قرمز و سفید در اندام‌هایی مثل **جگر** می‌شود.



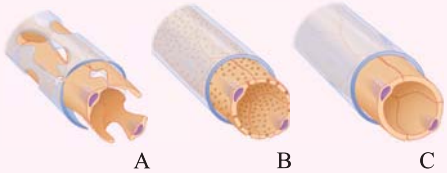
نگاهی به آینده

۱) مویرگ‌های کبدی که از این نوع ناپیوسته هستند، در دوران جنینی برای ورود گویچه‌های خونی ساخته شده و پس از تولد برای انتقال هورمون اریتروپویتین و تخریب گویچهٔ قرمز پیر و آسیب‌دیده نقش دارند (*فصل ۴ گفتار ۳*).

۲) در **مغز** و نخاع قرارگیری یاخته‌های مویرگی در کنار هم قرار گرفته است که به آن سد خونی مغزی یا خونی نخاعی می‌گویند تا مواد زائد و بدون استفاده وارد یاختهٔ مغزی نشود ولی در مویرگ‌های **جگر** (*کبد*) مقدار این حفرات بین‌یاخته‌ای **بسیار زیاد و بزرگ** است و حتی مولکول‌های درشت و مواد قابل تصفیه از آن‌ها عبور می‌کنند.

رفع ابهام مهم: اغلب شما وقتی سؤالی از مویرگ‌ها طرح می‌شود، فضای بین‌یاخته‌ای مویرگ ناپیوسته را **زیاد** در نظر می‌گیرید که اشتباه است. فراموش نکنید که هر مویرگی بافت پوششی دارد و این بافت فضای بین‌یاخته‌ای اندکی دارد. اگر مثلاً فضای بین‌یاخته‌ای این مویرگ‌ها را زیاد می‌دانیم **در مقایسه** با سایر مویرگ‌ها است نه در مقایسه با بافت‌های پیوندی و ...

تست ۲۴ **با توجه به شکل روبه‌رو، کدام‌یک از گزینه‌ها نادرست است؟** (قلم‌چی)



۱) اندامی که با تولید ترکیبی فاقد آنزیم در گوارش لیپیدها در دوازدهه نقش دارد، واجد مویرگ‌های A است.

۲) در دستگاه عصبی مرکزی انسان که ورود و خروج مواد به شدت تنظیم می‌شود، مویرگ C مشاهده می‌شود.

۳) در مویرگ B مانند مویرگ C نوعی صافی برای محدود کردن عبور مولکول‌های بسیار درشت وجود دارد.

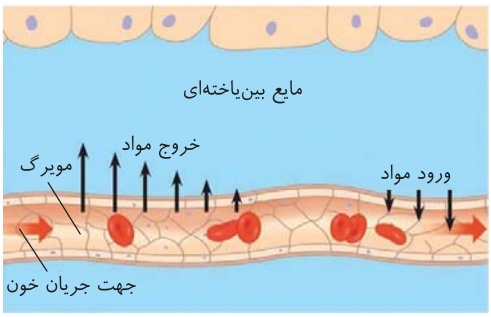
۴) اندامی که محل تولید لیپوپروتئین‌ها (*LDL* و *HDL*) است، دارای مویرگ A با غشای پایهٔ کامل است.

پاسخ ۴ **C**

کبد محل تولید لیپوپروتئین‌ها و دارای مویرگ‌های ناپیوسته است. غشای پایه این مویرگ‌ها **ناقص** است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): کبد، با تولید صفرا در گوارش لیپیدها نقش دارد و دارای مویرگ‌های ناپیوسته است. / گزینهٔ (۲): در دستگاه عصبی مرکزی انسان که ورود و خروج مواد به شدت تنظیم می‌شود، مویرگ‌های پیوسته وجود دارند. / گزینهٔ (۳): سطح بیرونی مویرگ‌ها را غشای پایه، احاطه می‌کند و نوعی صافی برای محدود کردن عبور مولکول‌های بسیار درشت به وجود می‌آورد.

تبادل مواد در مویرگ‌ها



تبـادل مـواد در مویرگ‌ها هم از طریق **غشـا و هـم از منافذ پروتئینی غشـا و فضـای بین‌یاخته‌ای** صورت می‌گیرد. برای تبادل مواد در مویرگ‌ها باید ابتدا به بررسی دو نوع فشار در مویرگ بپردازیـم. یکـی **فشـار تراوشی** اسـت که در اثر **فشـار خون** وارد شـده به دیـوارهٔ رگ صورت می‌گیرد. این فشار سبب **خروج مواد** برحسب **اندازهٔ** آن‌ها از مویرگ می‌شود. از طرفی به دلیل اینکه در سمت سرخرگی مویرگ (*ابتدای مویرگ*) فشار تراوشی یا فشار خون سرخرگی **زیاد** اسـت، پس میزان خروج مواد از سـمت سـرخرگی ابتدای مویرگ‌ها **زیاد** است. در اثر فشار تراوشـی به‌جز مولکول‌های درشت، سایر مواد پلاسما (*خوناب*) می‌توانند از رگ خارج شوند. دقت کنید که به دلیل افت فشار خون در طول مویرگ، هرچه به سمت سیاهرگی یا انتهای مویرگ نزدیک می‌شـویم، ضمن کم شـدن فشار تراوشـی، مقدار خروج مواد از مویرگ‌ها به تدریج **کم** می‌شـود (*با خروج مواد از مویرگ، بخشـی از خوناب نیز به‌جز مولکول‌های درشـت خارج شـده و به‌باخت می‌رود*). عامل دیگری که در تبادل مواد مویرگ‌ها مهم است، **اختلاف فشار اسمزی** بین **درون و بیرون** مویرگ می‌باشد (*به کلمهٔ اختلاف دقت کنید!*). در حقیقت مواد محلول درون و بیرون مویرگ فشار اسمزی برای گرفتن بیشـتر آب به سـمت خود ایجاد می‌کنند ولی همواره این فشـار در درون مویرگ از بیرون آن بیشتر است. این اختلاف فشار اسمزی در حقیقت به دلیل وجود **پروتئین‌های** بیشـتر خوناب (*پلاسـما*) ایجاد می‌شود و همیشـه به **مقدار ثابتی** در سمت **درون** مویرگ، **بیشتر** می‌باشد. پس نتیجه اینکه برآیند اختلاف فشار اسمزی در دو طرف مویرگ، باعث برگشت مواد به درون رگ می‌شود. البته به تدریج در مویرگ‌ها با خروج خوناب در اثر فشار تراوشی، اختلاف فشار اسمزی دو طرف مویرگ نسـبت به فشـار تراوشـی در طول مویرگ به تدریج زیاد می‌شـود. دلیل این امر عدم خروج پروتئین‌ها در اثر تراوش و زیاد شدن نسبت فشار اسمزی در طول مویرگ می‌باشد (*در ادامه این موضوع را با عدد نشان داده‌ام*).

نکته

چون فشار خون سمت سرخرگی مویرگ بیشتر از سیاهرگی است، در ابتدای مویرگ که به سرخرگ نزدیک‌تر است، فشار خون از انتهای مویرگ بیشتر است.

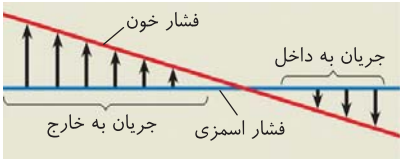
نکته

عوامل ایجادکنندهٔ فشار اسمزی:
- در آب میان‌بافتی ← مواد حل‌شده در آب مثل **املاح** و **پروتئین‌ها** می‌باشند.
- درون خوناب:
  - مواد حل‌شده‌ای مثل املاح و پروتئین‌ها می‌باشند.
  - یاخته‌ها یا هماتوکریت در ایجاد فشار اسمزی نقش مستقیمی **ندارند**.
- دقت کنید که عامل **اختلاف** فشار اسمزی دو طرف مویرگ‌ها، فقط مقدار پروتئین بیشتر درون رگ می‌باشد.

همان‌طور که در نکتهٔ بالا ذکر کردم، عوامل ایجادکنندهٔ **اختلاف** فشار اسمزی درون و بیرون مویرگ، فقط **پروتئین‌ها** می‌باشند. چون املاح قدرت ورود و خروج آسانی در دو طرف مویرگ دارند. در حقیقت عدم خروج برخی پروتئین‌های پلاسما سبب می‌شود که همواره اختلاف فشار اسمزی داخل رگ نسبت به خارج آن به میزان ثابتی در طول مویرگ وجود داشته باشد. یعنی همواره فشار اسمزی درون رگ به مقدار ثابتی از فشار اسمزی آب میان‌بافتی بیشتر می‌باشد.

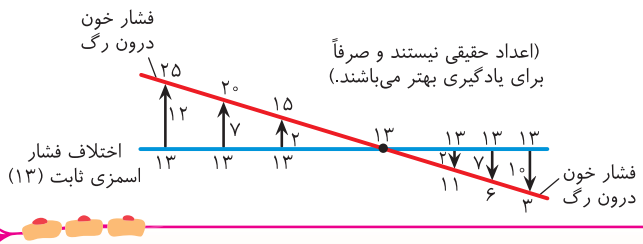
نتیجه‌گیری: در **ابتدای** مویرگ (*سـمت سـرخرگی*) مقدار فشـار **تراوشی** مویرگ از اختلاف فشـار اسمزی آن **بیشتر** است و مواد **بیشـتر** به سمت **بیرون** از رگ منتقل می‌شـوند (*مثلاً فشـار تراوشـی را ۲۵ و اختلاف اسـمزی را ۱۳ در نظر بگیرید و ۱۲ ماده بیشتر خارج می‌شود*) ولی چون فشار تراوشی در طول مویرگ به تدریج **کم** می‌شود، در **انتهای** مویرگ (*سـمت سـیاهرگی*)، اختلاف فشار اسـمزی دو طرف رگ از مقدار فشار تراوشی درون رگ **بیشتر** می‌باشد و مواد **بیشتر** تمایل برای **ورود** به خون دارند (*مثلاً فشار تراوشی را ۳ و اختلاف اسـمزی را همان ۱۳ در نظر بگیرید که ۱۰ ماده بیشتر وارد رگ می‌شود*). به همین دلیل در انتهای مویرگ، آب به همراه مولکول‌های متفاوت از جمله مواد دفعی یاخته‌ها (*مثل اوره*) وارد مویرگ‌ها می‌شوند. پس از این عمل، مواد باقی‌مانده در آب میان‌بافتی نیز که حدود ٪۱۰ مواد خروجی هستند، **لنف** را تشکیل می‌دهند تا حجم آب میان‌بافتی نیز ثابت بماند (*دقت کردید که با مثال ما در ابتدا ۱۲ ماده بیشتر خارج شد و ۱۰ ماده در انتها بیشتر وارد شد! پس حتماً ۲ ماده معادل ٪۱۰ خروجی‌ها در آب میان‌بافتی مانده است که لنف را می‌سازد. فقط برای فهم بهتر این عددها را گفتم!*).

در شـکل مقابل مشـاهده می‌کنید که مقدار فشـار خون یا فشار تراوشی در مویرگ‌هـا، بـه تدریج کاهش می‌یابـد (*مثـلاً از ۲۵ تا ۳*) ولی اختلاف فشـار اسمزی درون و بیرون رگ همواره عددی ثابت (*مثلاً ۱۳*) می‌باشد. در ابتدای مویرگ، فشـار تراوشـی از اسمزی **بیشتر** اسـت و مواد بیشتر به خارج رگ منتشر می‌شوند در حالی که به دلیل کاهش فشار **تراوشی** درون مویرگ، در انتهای این رگ‌ها مواد بیشتر تمایل به ورود به مویرگ خونی دارند.



«تبادل مواد در مویرگ‌ها»

مشـاهده می‌کنید که اگر فرض کنیم فشـار تراوشـی خون در طی مویرگ از ۲۵ بـه ۳ می‌رسـد و با فـرض ثابت بودن عدد ۱۳ برای اختلاف فشـار اسـمزی داخل و بیـرون رگ، از ۱۲ مادهٔ خارج شـده از ابتـدای مویرگ، ۱۰تای آن در انتها به رگ برمی‌گردد و بقیه سـبب ایجاد لنف می‌شـوند. لنف مایعی است که پروتئین کم ولی لیپید بیشتری دارند.



نکته

در اواسط مویرگ مقدار فشار تراوشی و اسمزی با هم برابر می‌شود یعنی ورود و خروج مواد به‌طور مساوی رخ می‌دهد.

خیز یا ادم

هر عاملی که سبب زیاد شدن آب میان‌بافتی در اندام‌ها شود، می‌تواند در تجمع این آب در اندام‌های تحتانی بدن نقش داشته باشد. در حقیقت **جمع شدن آب میان‌بافتی در اندام‌های بدن به ویژه اندام‌های تحتانی و متورم شدن آن‌ها را خیز یا ادم می‌گویند.** عواملی مثل **کمبود** پروتئین‌های پلاسما و افزایش فشار درون **سیاهرگ‌ها** با کم کردن فشار **اسمزی** و کاهش برگشت مواد از بافت به خون سبب خیز می‌شوند. همچنین زیادی مصرف نمک، مصرف **کم** مایعات با بالا بردن فشار و غلظت خون با افزایش تراوش از عواملی هستند که خروج مواد از رگ و مقدار آب میان‌بافتی را زیاد کرده که افزایش آن‌ها سبب بیماری خیز یا ادم می‌شود.

نکته

در حالت طبیعی مقداری از مواد تراوش شده به خون برنمی‌گردند و این مواد باید وارد رگ لنفی شوند، پس اگر **جریان لنف** درون رگ‌های لنفی **کم** شود، می‌تواند سبب **کم** شدن جذب مواد توسط رگ لنفی شده و پس از مدتی سبب خیز یا ادم در بدن شود.

نکته

- خلاصه عوامل ایجاد خیز (ادم)
  - با کم کردن فشار اسمزی پلاسما (خوناب)
    - کمبود پروتئین‌های پلاسما
    - افزایش فشار خون درون سیاهرگ‌ها
  - با افزایش فشار خون و تراوش
    - مصرف زیاد نمک یا زیادی هورمون آلدوسترون (یازدهم)
    - مصرف کم مایعات
    - فشار خون بالا (چاقی، استرس، مصرف دخانیات و ...)

تست ۲۵ کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در بدن انسان سالم، ..... نمی‌تواند ..... شود.»

۱) کاهش مولکول زیستی آمینواسیددار پلاسما - سبب کاهش ورود آب به پلاسما

۲) افزایش فشار خون سیاهرگ فوق‌کبدی - سبب کاهش سرعت بازگشت مایعات به خون

۳) مصرف کم مایعات - همانند مصرف زیاد نمک، سبب خیز

۴) متورم شدن بخش‌هایی از بدن - در اثر افزایش پروتئین‌های پلاسما ایجاد

پاسخ ۴ کمبود پروتئین‌های خون (عوامل محلول در پلاسما) یکی از دلایل خیز یا ادم و متورم شدن بخش‌هایی از بدن است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): کاهش پروتئین‌های خون سبب کاهش فشار اسمزی خون می‌شود، براساس قوانین اسمز بیان شده در فصل ۱، آب از محیطی با فشار اسمزی کمتر به محیطی با فشار اسمزی بیشتر جابه‌جا می‌شود پس کاهش فشار اسمزی خون سبب کاهش ورود آب به خون می‌شود. / گزینهٔ (۲): افزایش فشار خون درون سیاهرگ‌ها می‌تواند سرعت بازگشت مایعات از بافت به خون را کاهش دهد و سبب بیماری خیز (ادم) شود. / گزینهٔ (۳): براساس متن کتاب، مصرف زیاد نمک با افزایش فشار تراوشی و مصرف کم مایعات، هر دو می‌توانند به خیز منجر شوند.

سیاهرگ‌ها

این رگ‌ها در اصل برای برگرداندن خون به قلب ایجاد شده‌اند و همان‌طور که در ابتدای این گفتار ذکر کردیم، چون **ماهیچهٔ صاف کم** و خاصیت کشسانی کمتر از سرخرگ‌ها دارند، **مقاومت** آن‌ها نسبت به جریان خون درون آن‌ها **کم** است و فضای **داخلی وسیع‌تری** از سرخرگ دارند. البته به این نکته نیز باید دقت کنید که بیشتر سیاهرگ‌های بدن (همه‌جا به‌جز سر و گردن و شانه) باید خون را **برخلاف** نیروی جاذبهٔ زمین به سمت بالا برده تا به قلب برسند. به همین دلایل **بیشترین حجم خون در سیاهرگ‌های بدن تجمع می‌یابند.** از طرفی سیاهرگ‌ها در مقایسه با سرخرگ‌ها، قدرت کشسانی و استحکام **کمی** دارند، بنابراین عمل برگرداندن مواد در آن‌ها به سختی صورت می‌گیرد. پس عواملی باید سبب رفع این مشکل در گردش خون شوند که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم.

نگاهی به آینده

در فصل ۲ یازدهم می‌آموزید که برخی از سیاهرگ‌های بزرگ گیرندهٔ دمایی دارند.

عوامل مؤثر و کمکی برای جریان خون سیاهرگی

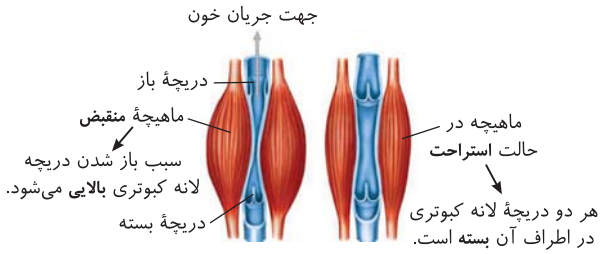
ابتدا دقت کنید که مهم‌ترین عامل در جریان داشتن خون در سیاهرگ‌ها، باقی‌ماندهٔ **فشار خون سرخرگی** در آن‌هاست ولی این فشار به تدریج هرچه به قلب نزدیک‌تر می‌شود، **کاهش** می‌یابد. از طرفی همان‌طور که گفتیم در اغلب سیاهرگ‌ها، خون در جهت مخالف با نیروی جاذبه به سمت بالا می‌رود. به همین دلیل عوامل زیر به جریان خون سیاهرگی کمک می‌کنند.

۱) تلمبهٔ ماهیچهٔ اسکلتی

یکی از عوامل مهم در حرکت خون سیاهرگ‌ها به ویژه در اندام‌های **پایین قلب و دست‌ها** انقباض ماهیچه‌های اسکلتی می‌باشد. این نیروی انقباض اگر همراه با افزایش **قطر** و کاهش **طول** در ماهیچه‌ها باشد، چون به دیوارهٔ سیاهرگ‌هایی که از مجاور آن عبور می‌کنند فشار وارد می‌کند و طبیعتاً کم‌استحکام نیز هستند، پس این رگ‌ها **تنگ‌تر شده** و خون خود را به سمت بالا (قلب) منتقل می‌کنند. این عمل بیشتر در ماهیچه‌های دست‌ها، پاها، شکم و کلاً زیر دیافراگم قابل ملاحظه می‌باشد که باید برخلاف سیاهرگ‌های سر و گردن، بر نیروی گرانش زمین غلبه کنند. لطفاً دقت کنید که عمل تلمبه ماهیچه‌های اسکلتی را کتاب برای هر ماهیچهٔ اسکلتی عنوان کرده نه فقط برای اندام‌هایی که زیر قلب قرار دارند.

● ۲) دریچه‌های لانه کبوتری

دریچه‌هایی در سیاهرگ‌های **دست‌ها و اندام‌های زیر قلب** (*مثل پاها*) می‌باشند که از چین‌خوردگی و برگشت لایهٔ **داخلی** (*پوششی*) بسیاری از سیاهرگ‌ها به درون آن حاصل شده‌اند. وقتی ماهیچهٔ اطراف سیاهرگ در استراحت بوده و یا انقباضی بدون افزایش قطر دارد، این دریچه‌ها **بسته** بوده و نمی‌گذارند خون در سیاهرگ پایین‌تر یا بالاتر برود ولی در اثر انقباض ماهیچه‌های اطراف، با افزایش قطر ماهیچهٔ اطراف سیاهرگی، دریچهٔ لانه کبوتری بالایی با فشار جریان خون باز شده و دریچهٔ پایینی بسته **می‌ماند** تا خون به سمت قلب منتقل شود. دقت کنید که انقباض ماهیچه‌های پا در هنگام راه رفتن از پایین به سمت بالا می‌باشد که این عمل سبب باز شدن دریچهٔ لانه کبوتری بالایی و بسته شدن دریچهٔ لانه کبوتری پایین شده تا خون به سمت پایین سیاهرگ برنگردد.



«تلمبه ماهیچهٔ اسکلتی و عملکرد دریچه‌های لانه کبوتری»

● ۳) فشار مکشی قفسهٔ سینه در هنگام دم

در هنگام **دم**، با **پایین** آمدن و **مسطح** شدن دیافراگم و کاهش حجم **شکم**، فشار به سیاهرگ‌های شکم زیاد شده، از طرفی در دم، با انقباض ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** و **افزایش** حجم قفسهٔ سینه، فشار روی سیاهرگ‌های قفسهٔ سینه **کم** می‌شود که این اختلاف فشار، باعث ایجاد **مکش خون** به سمت **بالا** یعنی از شکم با فشار بیشتر به سوی سیاهرگ قفسهٔ سینه و قلب با فشار کمتر می‌شود. این عمل سبب مکش خون توسط بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** از سیاهرگ‌های شکمی می‌شود.

نکته

دیافراگم یا **میان‌بند** ماهیچهٔ اسکلتی می‌باشد که هم به صورت ارادی و هم انعکاس غیرارادی تنفسی به انقباض درمی‌آید. از فصل قبل به یاد دارید که دیافراگم عامل اصلی در تنفس **آرام و عادی** می‌باشد. این ماهیچه تحت کنترل اعصاب **پیکری** می‌باشد.

تست ۲۶ کدام گزینه دربارهٔ «رگ‌هایی که معمولاً دارای خون تیره در گردش خون عمومی بدن انسان سالم هستند.»، صحیح نیست؟ (قلم‌چی)

۱) خون موجود درون برخی از این نوع رگ‌ها، تحت تأثیر انقباض ماهیچهٔ دیافراگم در فرایند دم، می‌تواند به سمت قلب حرکت کند.

۲) افزایش فشار خون در این نوع رگ‌ها می‌تواند موجب کم شدن سرعت بازگشت مایعات از بافت به خون شود.

۳) برخی می‌توانند خون موجود درون خود را به اندامی به‌جز قلب در بدن وارد کنند.

۴) همواره فشار زیاد وارد شده از سوی قلب را تحمل و هدایت می‌کنند.

پاسخ ۴ در گردش عمومی دستگاه گردش خون بدن، رگ‌هایی که غالباً حاوی خون تیره می‌باشند، «سیاهرگ‌ها» هستند. اگرچه ساختار پایه‌ای سرخرگ‌ها با سیاهرگ‌ها شباهت دارد، ضخامت لایهٔ ماهیچه‌ای و پیوندی در سرخرگ‌ها بیشتر است تا بتوانند فشار زیاد وارد شده از سوی قلب را تحمل و هدایت کنند. به همین دلیل سرخرگ‌ها در برش عرضی، بیشتر گِرد دیده می‌شوند، در حالی که سیاهرگ‌های هم‌اندازهٔ آن‌ها، دیواره‌ای نازک‌تر دارند و حفرهٔ داخل آن‌ها گسترده‌تر و بیشتر است چون خون درون سیاهرگ‌ها نسبت به خون درون سرخرگ‌ها، فشار بسیار کمی دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بالا کشیده شدن خون در اثر دم (*انقباض دیافراگم*)، در سیاهرگ‌های نزدیک قلب دیده می‌شود. / گزینهٔ (۲): افزایش فشار سیاهرگی، می‌تواند باعث غلبهٔ فشار خون بر فشار اسمزی در سراسر مویرگ شود و سرعت برگشت مواد از بافت‌ها به مویرگ‌ها را بکاهد و بیماری خیز بروز کند. / گزینهٔ (۳): سیاهرگ باب کبدی، خون خود را به کبد وارد می‌کند تا برخی مواد جذب شده از دستگاه گوارش، در کبد ذخیره شوند.

دستگاه لنفی

همان‌طور که آموختید، لنف مایعی در دستگاه گردش مواد است که همان باقی‌مانده مواد خارج شده از خون می‌باشند که دوباره به مویرگ برنگشته‌اند. این مایع از **مواد متفاوت و گویچه‌های سفید** خارج شده از خون تشکیل شده است. دستگاه لنفی شامل مایع لنف، **رگ‌های لنفی** (*در اندازه‌های مختلف*)، **گره‌های لنفی** (*اغلب در زیر گردن، زیر بغل و کشاله ران*)، مجاری لنفی (*دو عدد چپ و راست*) و **اندام‌های لنفی** (*لوزه‌ها، تیموس، طحال، آپاندیس و مخرج استخوان*) می‌باشد. **وظیفهٔ اصلی** لنف، **تصفیه و بازگرداندن** آب و موادی می‌باشد که نتوانسته‌اند پس از خروج از مویرگ **خونی**، دوباره به رگ خونی برگردند. مقدار نشت این مواد در **ورزش و برخی بیماری‌ها به دلیل افزایش فشار خون** به‌طور قابل توجهی **زیاد** شده و در نتیجه مقدار لنف، بیشتر می‌شود. **وظیفهٔ دیگر** این دستگاه، انتقال **چربی‌ها** و ویتامین‌های **محلول در چربی** (*DAKE*) جذب شده از دیوارهٔ **رودهٔ باریک** به خون می‌باشد (*چون انتقال این مواد چربی بدون انتقال مستقیم از خون روده به سیاهرگ باب کبد صورت می‌گیرد*) همچنین دستگاه لنفی با **تجمع گویچه‌های سفید** و درشت‌خوارها در جای‌جای خود (*به‌ویژه در گره‌ها*) به از بین بردن میکروب‌های بیماری‌زا، یاخته‌های سرطانی و تصفیهٔ خون هم کمک می‌کند.

وظایف دستگاه لنفی در یک نگاه
- وظایف اصلی
  - تصفیه مواد خروجی از رگ خونی که به رگ لنفی رسیده‌اند.
  - بازگردان آب و مواد نشت کرده از رگ خونی به فضای میان‌بافتی
- وظایف فرعی
  - انتقال چربی‌ها و ویتامین‌های محلول در چربی از روده به خون (*بدون ورود به سیاهرگ باب*)
  - تجمع گویچه‌های سفید به همراه درشت‌خوارها برای دفاع بدن

مسیر لنف در بدن

رگ‌های لنفی **کوچک** تقریباً در **همه** جای بدن وجود دارند. این مویرگ‌های لنفی که برخلاف مویرگ‌های خونی **از یک طرف بسته** می‌باشند، به تدریج لنف خود را به **رگ لنفی بزرگ‌تر** می‌دهند و با پیوستن به هم بزرگ‌تر و قطورتر می‌شوند که در نهایت **دو رگ بزرگ لنفی به عنوان دو مجرای** لنفی **راست و چپ** بدن را تشکیل می‌دهد. مجرای سمت چپ از راست قطورتر است ولی هر دو در نهایت ابتدا به ترتیب به **سیاهرگ‌های زیر ترقوه‌ای چپ و راست** در قفسهٔ سینه متصل می‌شوند. این دو سیاهرگ خونی با هم خون و لنف خود را به بزرگ‌سیاهرگ **زبرین** وارد می‌کنند تا لنف همه جای بدن با هم مخلوط و همراه خون سر و گردن و دست‌ها وارد دهلیز راست و گردش خون شوند.

نکاتی در بررسی تست‌ها از شکل کتاب

۱) گسترش رگ‌های لنفی و گره‌های آن در **کف دست‌ها** مقدار کمی دارد. از طرفی دقت کنید که مجرای لنفی سمت چپ از راست قطورتر می‌باشد.

۲) مجرای لنفی سمت چپ از بیشترین اندام‌های تحتانی بدن و نیمهٔ راست بدن لنف می‌گیرد و پس از عبور از سطح پشتی قلب و تیموس از بالا به سیاهرگ زیرترقوه‌ای چپ وارد می‌شود.

۳) آپاندیس جزء لولهٔ گوارشی می‌باشد ولی به عنوان یک اندام لنفی در سیستم گردش مواد نقش دارد.

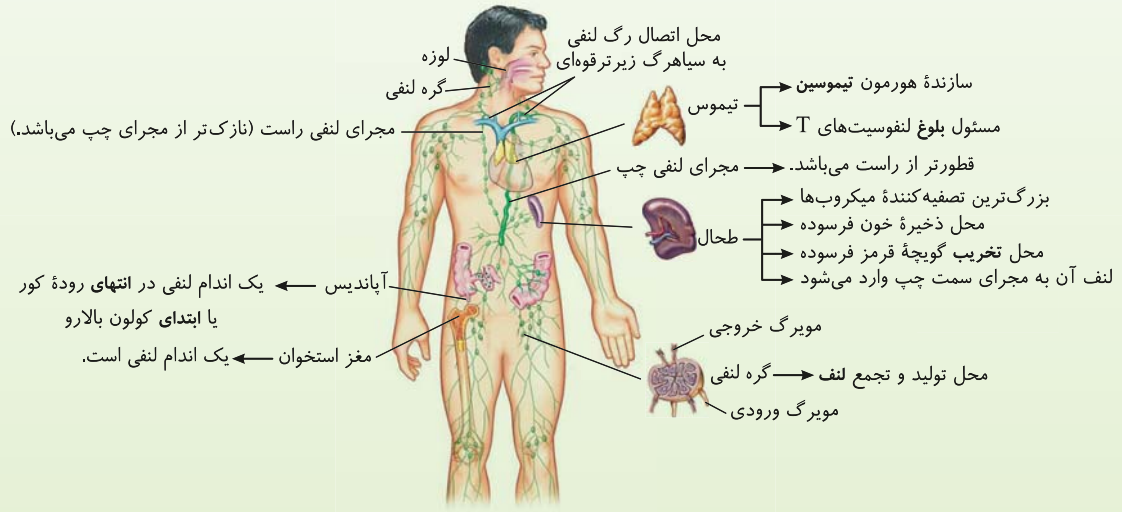
۴) تیموس در **پشت** جناغ و **جلوی** نای هم محل بلوغ لنفوسیت‌های **T** می‌باشد (*یازدهم*) و هم یک **اندام** لنفی است. البته این غدهٔ درون‌ریز در هورمون‌سازی نیز نقش دارد و هورمون تیموسین برای بلوغ **برخی** لنفوسیت‌ها ترشح می‌کند (*یازدهم*). با توجه به شکل می‌توان گفت تیموس در جلوی دهلیزها قرار دارد (*نه بطن‌ها*).

۵) هر پرز روده نیز یک مویرگ لنفی با انتهای بسته دارد که چربی‌ها را وارد مجرای قطورتر سمت چپ می‌کند.

۶) با توجه به شکل لنف طحال به مجرای لنفی سمت چپ وارد می‌شود ولی خون آن از راه سیاهرگ باب به کبد می‌ریزد.

۷) گره‌های لنفی در محل اتصال خود به رگ‌های آورنده لنف به آن‌ها، دارای دریچه می‌باشند ولی این دریچه‌ها در طول رگ‌های لنفی نیز وجود دارند.

۸) به‌طور معمول در یک گرهٔ لنفی تعداد رگ‌های ورودی به آن بیشتر از رگ‌های خروجی می‌باشد (*رگ‌های خروجی میکروب کمتری دارند*).



«اجزای دستگاه لنفی، مسیر لنف و چگونگی اتصال آن به دستگاه گردش خون»

تست ۲۷ **اندام لنفی که در مجاورت معده و مجرای لنفی چپ انسان قرار دارد، .....** (قلم‌چی)

۱) در از بین بردن میکروب‌های بیماری‌زا نقش دارد.
۲) خون لولهٔ گوارش را از طریق سیاهرگ باب دریافت می‌کند.
۳) با ترشح بعضی هورمون‌ها، فشار خون را افزایش می‌دهد.
۴) با ترشح نوعی هورمون در تنظیم سرعت تولید گویچه‌های قرمز نقش دارد.

پاسخ ۱ (C)
یکی از کارهای دستگاه لنفی، از بین بردن میکروب‌های بیماری‌زا و یاخته‌های سرطانی است. پس طحال که در نزدیکی معده واقع بوده و یکی از اندام‌های دستگاه لنفی است، در این امر نقش دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): دریافت کردن خون سیاهرگ باب، ویژگی کبد است که نه یک اندام لنفی بوده و نه در مجاورت مجرای لنفی چپ قرار دارد. / گزینهٔ (۳): طحال به ترشح هورمون نمی‌پردازد. این عبارت، می‌تواند ویژگی غده‌های فوق کلیه باشد. / گزینهٔ (۴): تولید و ترشح هورمون اریتروپویتین در دستور کار طحال قرار نمی‌گیرد.

تست ۲۸ **در دستگاه گردش خون انسان، هر دریچه‌ای که ..... قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) با انقباض نوعی ماهیچه بسته می‌شود - مانع خروج خون از دهلیزها خواهد شد.
۲) با خون تیره در تماس است - بلافاصله پس از انقباض بطن‌ها دچار تغییر وضعیت می‌شود.
۳) دارای بافت پوششی در ساختار خود است - می‌تواند در تماس مستقیم با فیبرینوژن برخلاف هموگلوبین باشد.
۴) با انقباض نوعی ماهیچه باز می‌شود - در هر چرخهٔ ضربان قلب، مدت زمان باز بودن آن کمتر از مدت زمان بسته بودن آن است.

پاسخ ۳ C

همهٔ دریچه‌ها در دستگاه گردش خون انسان، در تماس مستقیم با خوناب و مواد محلول در آن (*مثل خیرینوژن*) می‌باشند، اما با هموگلوبین که درون گویچه‌های قرمز است تماس مستقیم ندارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): دریچه‌های لانه کبوتری سیاهرگ‌ها هم می‌توانند در اثر انقباض ماهیچه‌های اسکلتی مجاور خود، باز و بسته شوند که این دریچه‌ها، ارتباطی به خروج خون از دهلیزها ندارند. / گزینهٔ (۲): دریچه‌های لانه کبوتری هم فقط با خون تیره در تماس هستند اما انقباض و استراحت بطن‌ها بر وضعیت آن‌ها بی‌تأثیر است. / گزینهٔ (۴): دریچه‌های سینی که در اثر انقباض بطن‌ها باز می‌شوند، در بیش از نیمی از چرخه بسته هستند. تنظیم فعالیت‌های دستگاه گردش خون بدن در حالت **عادی**، با عمل **منظم گرهٔ سینوسی دهلیزی** (*پیشاهنگ*) که گره ضربان‌ساز می‌باشد، تکانه‌های منظمی به نام **چرخهٔ ضربان قلب** ایجاد می‌کند. **این عمل به کمک قدرت انقباضی ماهیچهٔ قلب، برون‌ده قلبی** را ایجاد می‌کند که نیاز اکسیژن و مواد مغذی اندام‌ها را در حالت عادی برطرف می‌کند ولی در هنگام فعالیت‌های ورزشی و یا **استراحت**، **برون‌ده قلب باید تغییر پیدا کند** و زیاد و کم شود که تنظیم این سازوکارهای مختلف با عوامل زیر می‌باشد.

◀ دقت کنید که حالت استراحت (*خواب*) و یا ورزش حالت عادی به حساب نمی‌آید و باید برون‌ده تغییر کند.

۱) نقش دستگاه عصبی خودمختار (اعصاب سمپاتیک (هم‌حس) و پاراسمپاتیک (پادهم‌حس))

در سال بعد می‌آموزید که دستگاه عصبی خودمختار نوعی اعصاب **حرکتی** برای تنظیم کار ماهیچه‌های صاف، قلبی و **غدد** می‌باشد. این دستگاه متناسب با شرایط محیط و درون بدن، سبب افزایش یا کاهش فعالیت قلب می‌شود. اعصاب خودمختار به دو نوع هم‌حس (*سمپاتیک*) و پادهم‌حس (*پاراسمپاتیک*) تقسیم‌بندی می‌شوند که همواره فعال هستند و به‌طور معمول عمل آن‌ها برعکس هم می‌باشد.

نکته مهم مرکز تنظیم اعصاب خودمختار برای کنترل فعالیت‌های گردش مواد، **در دو بخش از ساقهٔ مغز به نام‌های بصل‌النخاع و پل مغزی** و در **نزدیکی مرکز تنفسی** می‌باشد و همکاری این مراکز تنفسی و گردش خون، نیاز بدن را به O_2 و مواد غذایی با افزایش تنفس و برون‌ده قلب در شرایط خاص تأمین می‌کند.

نکته تنظیم مغزی فعالیت‌های دو دستگاه **تنفس** و **گردش خون** توسط دو مرکز بصل‌النخاعی و پل مغزی انجام می‌شود. البته **بصل‌النخاع** در تنظیم فعالیت‌های گوارشی نیز (*مانند بلع*) مؤثر است.

تست ۲۹ (قلم‌چی)

بصل‌النخاع ..... پل مغزی .....

۱) همانند - برخلاف تنفس در تنظیم ضربان قلب نقش دارد.
۲) همانند - در تنظیم ضربان قلب همانند تنفس نقش دارد.
۳) برخلاف - مدت زمان دم را تعیین می‌کند.
۴) برخلاف - در توقف دم نقشی ندارد.

پاسخ ۲ A

مرکز هماهنگی اعصاب مربوط به تنظیم فعالیت دستگاه گردش خون در بصل‌النخاع و پل مغزی و در نزدیکی مراکز تنظیم تنفس (*بصل‌النخاع و پل مغزی*) قرار دارد. پس این دو مرکز هم در تنظیم ضربان قلب و هم در تنظیم تنفس نقش دارند (درستی گزینهٔ (۲) و نادرستی گزینهٔ (۱)). مهم‌ترین نقش پل مغزی در تنفس، تنظیم مدت زمان دم است (نادرستی گزینهٔ (۳)). در ارتباط با گزینهٔ (۴)، در کشیده شدن بیش از حد ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ نایژه‌ها و نایژک‌ها با ارسال پیام از این ماهیچه‌ها به بصل‌النخاع، بلافاصله ادامهٔ دم متوقف می‌شود.

۲) نقش هورمون‌ها

در حالت‌های ویژهٔ فشار **روحی، روانی** مثل ترس، نگرانی و استرس (*زمان امتحان*)، از برخی غدد درون‌ریز مثل **فوق کلیه**، ترشح هورمون‌هایی (*مثل اپی‌نفرین، نورا‌پی‌نفرین، آلدوسترون و کورتیزول*) به خون **زیاد** می‌شود که با اثر بر روی برخی اندام‌ها مثل **قلب و کلیه**، باعث **افزایش فشار خون** و **بالا بردن ضربان قلب** می‌شوند لذا آمادگی بدن برای مواجهه با شرایط ناگوار بیشتر می‌شود.

نگاهی به آینده

در زیست یازدهم می‌خوانیم که هورمون **آلدوسترون** تولید شده در **قشر** غدد فوق کلیه، با اثر بر **کلیه**، با افزایش بازجذب **سدیم** فشار خون را **بالا** برده، هورمون **کورتیزول** مترشحه از **قشر** غدهٔ فوق کلیه، قند خون را **بالا** برده و هورمون‌های **اپی‌نفرین** یا نور اپی‌نفرین مترشحه از **مرکز** غدهٔ فوق کلیه **هم قند و هم فشار خون** را **بالا** می‌برند که ترشح همهٔ این هورمون‌ها در موقع فشار روانی از غدد فوق کلیه زیاد می‌شود که البته فعالیت مرکز فوق کلیه سریع‌تر از قشر آن صورت می‌گیرد.

۳) تنظیم موضعی جریان خون در بافت‌ها

حتماً به یاد دارید که مهم‌ترین عامل در خون‌رسانی موضعی به یک بافت، ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک بود. تا با انقباض یا استراحت ماهیچه‌های آن، خون‌رسانی به موضعی خاص از بدن کم یا زیاد شود. در حقیقت انقباض سرخرگ کوچک مقدار خون‌رسانی و قطر رگ را کم کرده و گشادی آن سبب افزایش خون‌رسانی به بافت و مویرگ مجاور آن می‌شود.

موادی مانند **کربن دی‌اکسید**، از عواملی هستند که زیادی آن‌ها برای بدن **مضر** می‌باشد، به همین دلیل **افزایش آن‌ها** علاوه بر اثر بر گیرندهٔ شیمیایی **بصل‌النخاع** برای افزایش آهنگ تنفسی، باعث تأثیر بر ماهیچه‌های **صاف** دیوارهٔ **سرخرگ‌های کوچک** بافت‌ها شده و با به **استراحت** درآوردن آن‌ها، سبب **گشاد شدن** سرخرگ کوچک می‌شود. سرخرگ گشاد شده، خون **بیشتری** را می‌پذیرد و فشار این خود سبب باز کردن **بنداره** (*اسفنکتر*) ابتدای برخی مویرگ‌ها می‌شود تا میزان جریان خون در این **عروق زیاد شده** و سریعاً با تبادل مواد سبب تنظیم مقدار آن‌ها در بدن شوند.

زیادی CO_2 بافت‌ها و خون ← تحریک گیرندهٔ شیمیایی بصل‌النخاع ← **افزایش** آهنگ تنفس
← تأثیر روی ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ سرخرگ کوچک ← به استراحت درآوردن ماهیچه‌ها ← گشادی سرخرگ کوچک ← **افزایش** خون در آن

نکته مهم
به استراحت درآمدن ماهیچهٔ سرخرگ کوچک با مواد شیمیایی (CO_2) ولی به انقباض درآمدن آن‌ها با اعصاب خودمختار صورت می‌گیرد.

۴) نقش گیرنده‌ها در حفظ فشار سرخرگی

درسرخرگ‌های بزرگ‌تر، مخصوصاً در **گردش خون عمومی**، هم گیرنده‌های **مکانیکی فشاری** وجود دارند که **به فشار خون بالا** حساس‌اند و هم گیرنده‌های **شیمیایی** حساس به **زیادی** CO_2 و **یون** H^+ و یا **کمبود** O_2 وجود دارند که در اثر تحریک، این گیرنده‌ها پیام خود را به **مراکز عصبی** فرستاده تا فشار سرخرگی آن‌ها در حد **طبیعی** حفظ شده و خون آن‌ها متعادل شده تا نیاز اندام‌های بدن در شرایط خاص تأمین شود.

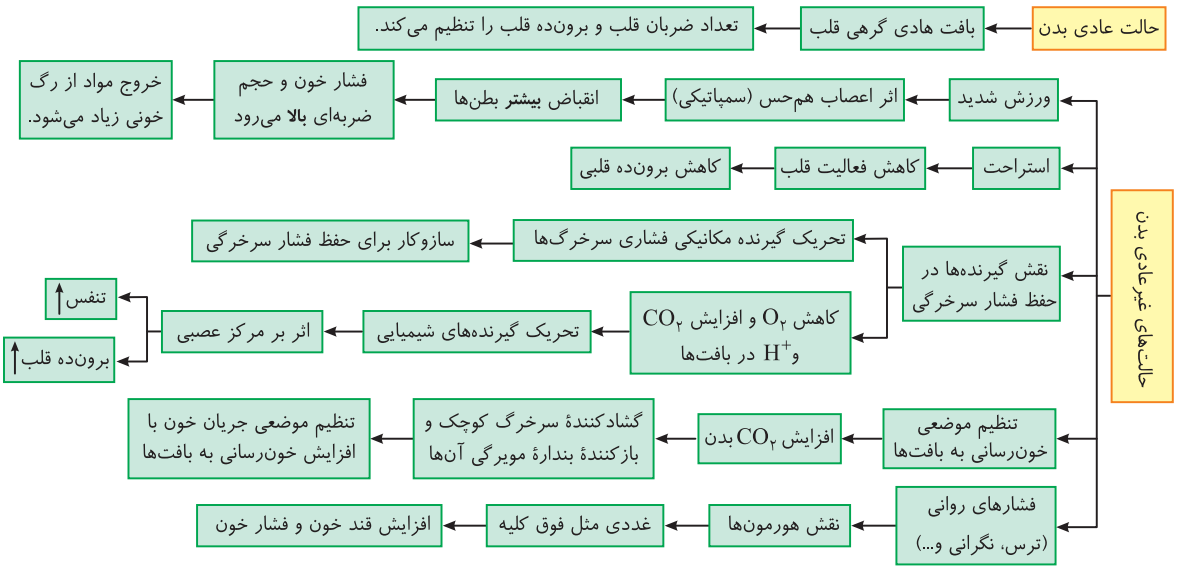
نکته
زیادی CO_2:
- اثر بر بصل‌النخاع ← آهنگ تنفس زیاد می‌شود.
- اثر بر ماهیچه سرخرگ‌های کوچک ← گشادی سرخرگ کوچک ← افزایش خون‌رسانی به بافت‌ها
- تحریک گیرنده شیمیایی سرخرگ بزرگ ← پیام عصبی ← مرکز عصبی ← حفظ فشار خون سرخرگی

تست ۳۰
چند مورد نادرست نمی‌باشد؟
الف) در سرخرگ‌های بزرگ، گیرنده‌های حساس به فشار همانند گیرنده‌های حساس به یون هیدروژن سبب گشادی دیواره نمی‌شوند.
ب) در هنگام نگرانی و ترس، هورمونی از غدد فوق کلیه می‌تواند فعالیت گره پیشاهنگ را زیاد کند.
ج) افزایش کربن دی‌اکسید، علاوه بر تنظیم تنفس در حفظ فشار سرخرگی و خون‌رسانی موضعی به بافت‌ها مؤثر است.
د) کمبود اکسیژن برخلاف تنظیم تنفس بر تنظیم موضعی جریان خون بافت‌ها اثر مستقیم ندارد.
۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۴ (C)
همهٔ موارد درست می‌باشند.

تله‌های تستی الف) در سرخرگ‌های بزرگ، وجود گیرنده‌های مختلف مانند گیرنده‌های حساس به فشار، حساس به کمبود O_2، افزایش CO_2 و افزایش یون هیدروژن باعث ارسال پیام به **مراکز عصبی** و تنظیم فشار سرخرگی در حد طبیعی می‌شوند و باعث گشادی دیواره (*تنظیم موضعی*) نمی‌شوند. / ب) در شرایط فشار روانی (*استرس، نگرانی و ترس*)، ترشح هورمون‌هایی از غدهٔ فوق کلیه باعث افزایش فشار خون و ضربان قلب (*افزایش فعالیت گرهٔ پیشاهنگ*) می‌شوند. / ج) براساس فصل ۳، افزایش CO_2 و کاهش O_2 از عوامل مؤثر در **تنظیم تنفس**اند و در این فصل آموختید که افزایش CO_2 در حفظ فشار سرخرگی به واسطهٔ تنظیم عصبی و تنظیم موضعی جریان خون به کمک گشاد کردن رگ‌های آن موضع مؤثر است. / د) CO_2 در تنظیم موضعی جریان خون نقش دارد اما O_2 فاقد چنین اثری است و وجود گیرنده‌های حساس به کمبود O_2 در حفظ فشار سرخرگی مؤثر است که این روش در حیطهٔ تنظیم عصبی قرار می‌گیرد (*نه موضعی*).

خلاصه تنظیم دستگاه گردش خون



درسنامه

گفتار ۳ خون

خون نوعی بافت **پیوندی** می‌باشد که به صورت **یک‌طرفه** و منظم در رگ‌های **خونی** جریان دارد. خون در انتقال مواد غذایی، اکسیژن، کربن دی‌اکسید، هورمون‌ها و مـواد دیگـر نقـش دارد. این مایع، علاوه بر ارتباط **شیمیایی** بین یاخته‌های بدن (*به‌کمک هورمون‌ها*) در **تنظیم دمای بدن** یا همان **یکسان کردن دمای بدن** در نواحی مختلف بدن نیز نقش دارد. همچنین در ایمنی و دفاع در مقابل عوامل خارجی نقش اساسی دارد و با عوامل درون خود (*مثل پلاکت‌ها برخی پروتئین‌ها*) جلوگیری از هدر رفتن خون (*جلوگیری از خونریزی*) می‌کند که در ادامه به‌طور کامل بررسی می‌کنیم.

قسمت‌های خون

اگر مقداری از خون را **سانتریفیوژ** یا در اصطلاح فارسی گریزانه کنیـم، مشـاهده می‌کنیم که خـون به دو بخش تبدیل شـده اسـت. معمولاً در فرد سـالم حدود ٪۵۵ آن پلاسما یا خوناب در بالا به صورت شفاف قرار می‌گیرد و ٪۴۵ دیگر آن را بخش یاخته‌ای خون شامل گویچه‌های قرمز، سفید و گِردِه‌ها (*پلاکت*) تشکیل می‌دهد که در پایین لوله قرار می‌گیرد.



«بخش‌های خون پس از گریزانه (سانتریفیوژ)»

بررسی پلاسما یا خوناب

همان‌طور که ذکر شد، خوناب در فرد عادی حدود ٪۵۵ حجم خون را شامل می‌شود. بیش از ٪۹۰ خوناب از **آب** تشکیل شده است. سایر قسمت‌های آن موادی مانند پروتئین‌ها، مواد غذایی، یون‌ها و مواد **دفعی** اسـت که در آب شـده‌اند. دقت کنید که این عوامل محلول سـبب ایجاد **فشـار اسمزی** شده و در بازگشت آب به خون و عدم ایجاد خیز یا ادم مؤثرند.

یادآوری

دقت کنید که تمام مواد محلول در خوناب، در ایجاد فشار **اسمزی** درون رگ نقش دارند ولی **اختلاف** فشار اسمزی درون و بیرون رگ به دلیل مقدار **پروتئین‌های** درون رگ می‌باشد. به دلیل اینکه در خوناب (*پلاسما*) مقدار پروتئین محلول از خارج رگ **بیشتر** است، همواره فشار اسمزی درون رگ از بیرون آن به مقدار **ثابتی** بیشتر است. لازم به تذکر اسـت که عوامل موجود در بخش یاخته‌ای خون به‌طور مسـتقیم سبب **ایجاد فشـار اسمزی نمی‌شوند چون این بخش یا همان خود یاخته‌ها یا گِردِه‌ها در خون حل نمی‌شـوند.** البته دقت کنید که یاخته‌ها می‌توانند با تولید مواد محلول در پلاسـما، در ایجاد فشـار اسـمزی خون نقش **غیرمسـتقیم** ایفا کنند.

نقش پروتئین‌های مهم درون خوناب (*پلاسما*):
- **آلبومین**: **حفظ** فشار اسمزی و انتقال برخی داروها از جمله پنی‌سیلین
- **فیبرینوژن و پروترومبین**: کمک به **انعقاد** خون
- **گلوبولین‌ها**: ایمنی بدن (*مبارزه با عوامل بیماری‌زا*)
- برخی در تنظیم *pH* نیز مؤثرند.

نکته یون‌هـای **سـدیم و پتاسـیم** چـون در فعالیت‌های یاخته‌های بدن نقش **کلیدی** دارند، وجود آن‌ها در **خـوناب** اهمیت زیادی دارد. مقدار این دو یون در دو طرف یاخته به کمک پمپ سدیم پتاسیم حفظ می‌شود که در سال بعد آن را بررسی می‌کنیم.

نکته **مواد غذایی** خوناب شامل کربوهیدرات‌ها و آمینواسیدها بوده و **مواد دفعی** آن شامل اوره، کربن دی‌اکسید و لاکتیک اسید می‌باشد.

بخش یاخته‌ای خون

بخش دوم خون که در آزمایشگاه، در زیر خوناب رسوب می‌کند، شامل گویچه‌های قرمز، سفید و گردهها می‌باشد. گویچه‌های قرمز و سفید را یاخته‌های خونی می‌نامند ولی گردهها یا پلاکت‌ها را قطعاتی از یاخته می‌دانند. در مقایسهٔ آن‌ها باید بدانید که از نظر تعداد (*قرمز > گِردِه > سفید*) و از نظر اندازه (*سفید > قرمز > گِردِه*) می‌باشد.

● تولید یاخته‌های خونی

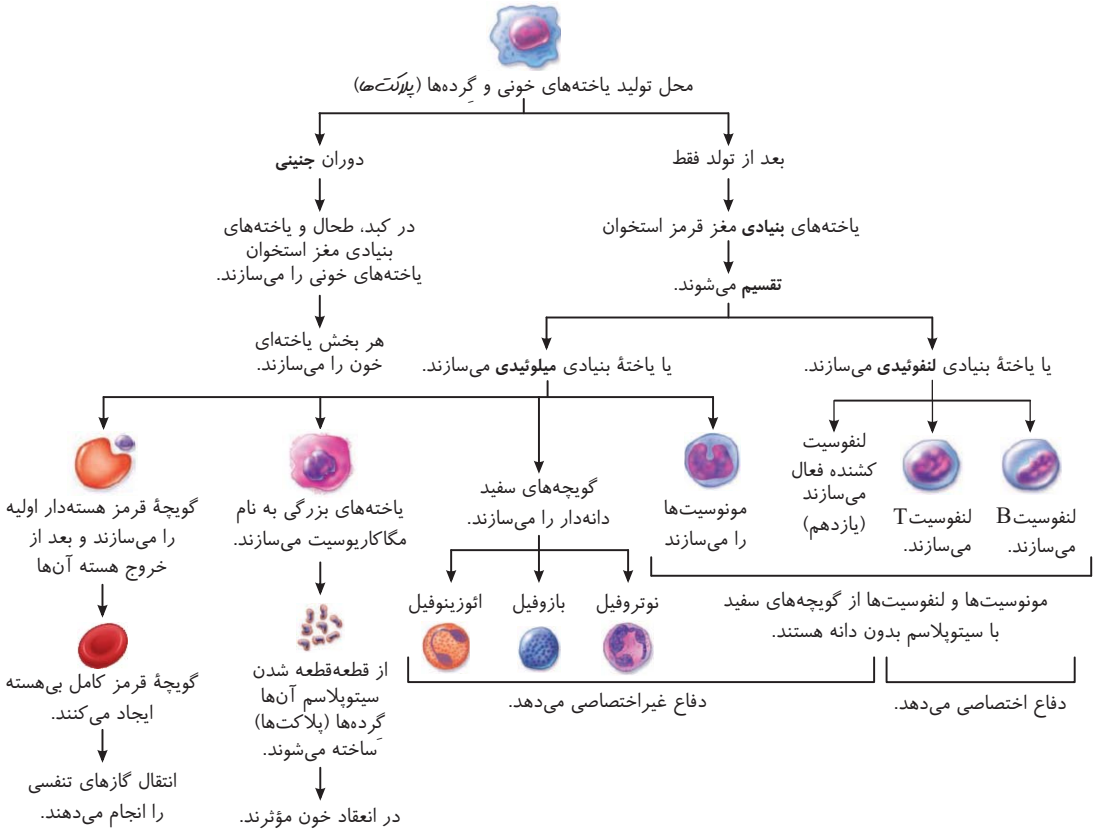
در دوران جنینی، یاخته‌های خونی و گِرده‌ها هم توسط مغز **قرمز** استخوان‌ها و هم توسط **کبد** و **طحال** ساخته می‌شوند. برحسب کتاب درسی شما بعد از تولد، محل تولید یاخته‌های خونی و گِرده‌ها (*پلاکت‌ها*) را **فقط** باید یاخته‌های **بنیادی** مغز **قرمز** استخوان در نظر بگیرید.

در حقیقت یاخته‌های بنیادی مغز قرمز با تقسیم و تکثیر خود ابتدا یاخته‌های بنیادی تمایز **نیافته** میلوئیدی و لنفوئیدی را می‌سازند و سپس هرکدام با تمایز و تکثیر طی نمودار زیر به یاخته‌های بالغ و رسیده خونی با فعالیت و شکل متنوع تبدیل می‌شوند.

نکته

از گفتار قبل به یاد دارید که طحال و مغز استخوان دو اندام دستگاه لنفی نیز می‌باشند. پس دستگاه لنفی نیز در تولید گویچه‌ها و بخش یاخته‌ای خون مؤثر است ولی یادتون باشه که کبد (*جگر*) یک اندام لنفی نمی‌باشد.

● نمودار بسیار مهم تولید یاخته‌های خونی



نکته مهم

دقت کنید که **منشأ** گویچه‌های **سفید** خون هم از یاختهٔ بنیادی میلوئیدی و هم از لنفوئیدی می‌باشد. از طرفی در ادامه بررسی می‌کنیم که گویچه‌های سفید دو نوع سیتوپلاسم دانه‌دار و بی‌دانه دارند. دانه‌دارها که هستهٔ **چند**قسمتی دارند، فقط توسط یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** تولید می‌شوند ولی گویچه‌های سفید بی‌دانه، همگی هستهٔ **یک**قسمتی دارند. در بین آن‌ها مونوسیت‌ها منشأ **میلوئیدی** و لنفوسیت‌ها منشأ **لنفوئیدی** دارند.

تست ۱ **چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟** (قلم‌چی)

«در صورت کاهش پروتئین ..... در خون انسان، ممکن نیست ..... دچار اختلال شود.»

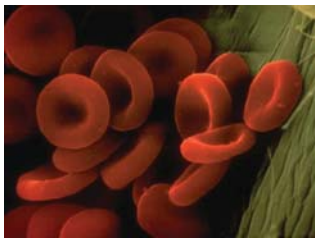
الف) فیبرینوژن - روند تشکیل لخته در رگ آسیب‌دیده
ب) گلوبولین - ایمنی و مبارزه با عوامل بیماری‌زا
ج) هموگلوبین - انتقال گازهای تنفسی
د) آلبومین - انتقال بعضی داروها

۱) صفر مورد **۲)** ۳ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ ۱ هیچ‌یک از موارد داده شده، نمی‌تواند عبارت را به درستی تکمیل کند.

تله‌های تستی الف) رگ‌ها می‌توانند دچار خونریزی‌های محدود و شدید بشوند و در خونریزی‌های شدید که با تشکیل لخته همراه است، حتماً نیاز به پروتئین فیبرینوژن وجود دارد. / ب) گلوبولین، یکی از پروتئین‌های خوناب است که به بدن در مبارزه با عوامل بیماری‌زا کمک می‌کند. / ج) مهم‌ترین وظیفهٔ هموگلوبین، انتقال گازهای تنفسی است. / د) آلبومین، علاوه بر تنظیم فشار اسمزی خون، در انتقال برخی داروها مثل پنی‌سیلین مؤثر است.

نکات گویچه‌های (یاخته‌های) خونی قرمز یا (*Rbc*)


«یاخته‌های خونی قرمز»

۱) بیش از ٪۹۹ یاخته‌های خون انسان را تشکیل می‌دهند و به خون، ظاهر قرمزرنگ می‌دهند.

۲) این یاخته‌ها، **کروی** هستند و از دو طرف **فرورفته** مقعر می‌باشند تا از مجرای درون کوچک‌ترین **مویرگ‌ها** نیز با انعطاف عبور کنند. در ساخت این یاخته‌ها، یاختهٔ میلوئیدی مغز استخوان نقش دارد که در تمایز آن هسته خارج شده و در همان مغز استخوان به جایش هموگلوبین قرار می‌گیرد. بدین ترتیب این پروتئین سبب ایجاد شکلی کروی و فرورفته از دو طرف می‌شود.

۳) به نسبت حجم گویچه‌های قرمز خون به کل حجم خون که به صورت درصد بیان می‌شود و پس از گریزانه کردن خون در پایین لوله رسوب می‌کند، خون‌بهر یا هماتوکریت گفته می‌شود. در حقیقت در خون‌بهر، گویچه‌های سفید و پلاکت را در نظر نمی‌گیریم.

۴) گویچهٔ قرمز در **مغز استخوان ضمن تمایز از یاختهٔ بنیادی میلوئیدی**، **ابتدا هسته** خود را از دست داده و سپس سیتوپلاسم در همان استخوان پر از **هموگلوبین** پروتئینی می‌شود. (*در مغز استخوان هر یاختهٔ بنیادی میلوئیدی ابتدا هسته دارد ولی برخی از آن‌ها طی تقسیم ابتدا گویچهٔ قرمز نابالغ هسته‌دار ایجاد می‌کنند و سپس با خروج هسته به یک گویچهٔ قرمز بالغ تمایز می‌یابند و سپس وارد خون می‌شوند.*)

۵) این یاخته‌ها قبل از تولد در **مغز استخوان، کبد و طحال** ساخته می‌شوند ولی پس از تولد فقط توسط یاخته‌های **بنیادی میلوئیدی** حاصل از یاختهٔ بنیادی مغز قرمز استخوان ساخته می‌شوند.

۶) نقش **اصلی** گویچه‌های قرمز، **انتقال گازهای تنفسی** می‌باشد. این یاخته‌ها در انتقال قسمت اعظم اکسیژن خون (*به کمک هموگلوبین*) و همچنین در انتقال بخش اصلی کربن دی‌اکسید خون نیز **نقش** دارند چون هم مقداری از (*حدود ٪۲۳*) کربن دی‌اکسیدها توسط **هموگلوبین** و هم مقدار زیادی از آن (*حدود ٪۷۰*) را به کمک آنزیم **کربنیک انیدراز** خود به کربنیک اسید تبدیل می‌کند. این اسید سپس با تجزیهٔ **سریع** در گویچهٔ قرمز به یون هیدروژن و بیکربنات تبدیل می‌شود که **بیکربنات** آن برای انتقال از گویچهٔ قرمز وارد پلاسما می‌شود که در فصل تنفس کامل توضیح دادم.

یادآوری: لازم به یادآوری است که هموگلوبین به صورت **ناپایدار** و برگشت‌پذیر با O_2 و CO_2 واکنش می‌دهد ولی با کربن مونواکسید (CO) به صورت **پایدار** در جایگاه اتصال **اکسیژن** ترکیب می‌شود که برای بدن کشنده می‌باشد.

۷) گویچه‌های قرمز در انسان و **بسیاری** از پستانداران، هسته و **بیشتر** اندامک‌های خود را از دست می‌دهند تا فضای مناسب برای ایجاد هموگلوبین و فعالیت‌های آن داشته باشند (*خاصیت کتاب*).

۸) متوسط عمر هر گویچهٔ قرمز حدود ۱۲۰ **روز** پس از تولید می‌باشد. تقریباً هر روز ٪۱ از گویچه‌های قرمز تخریب شده که باید جایگزین شوند.

۹) تخریب گویچه‌های قرمز **خونی** آسیب‌دیده و مرده در **کبد و طحال** صورت می‌گیرد. هموگلوبین آن تجزیه می‌شود و **آهن** آزاد شده آن یا در **کبد** ذخیره می‌شود و یا **همراه خون** به مغز استخوان رفته و دوباره به همراه **فولیک اسید و ویتامین** B_{12} در ساخت گویچهٔ قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

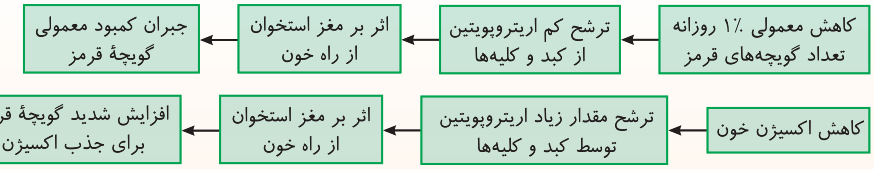
۱۰) کبد و طحال در دوران **جنینی** محل ساخت گویچه‌های خونی بوده ولی در **تمام** زندگی در تخریب گویچه‌های پیر و فرسوده نقش دارند. از طرفی دقت کنید که هم کبد و هم طحال طی تخریب این یاخته‌ها آهن آزاد می‌کنند. آهن تولید شده در طحال، در این اندام ذخیره نمی‌شود بلکه از راه سیاهرگ باب به کبد می‌رود و در آنجا مقداری ذخیره شده و مقداری نیز به جریان خون می‌رود تا در مغز استخوان به تولید گویچه‌های قرمز جدید بپردازد.

۱۱) **فولیک اسید**، نوعی ویتامین محلول در **آب** از خانوادهٔ *B* می‌باشد که برای **تقسیم طبیعی یاخته‌ها** لازم است. کمبود فولیک اسید سبب می‌شود که یاخته‌ها، به ویژه در **مغز استخوان** که محل تکثیر گویچهٔ قرمز است، به مقدار **کافی** تولید نشوند و تعداد گویچه‌های **قرمم کم** شود که به آن **آنمی یا کم‌خونی** می‌گوییم (*دقت کنید که فولیک اسید در تقسیم هر یاخته هر بافت بدن مؤثر است*).

۱۲) **سبزیجات با برگ سبز تیره، حبوبات، گوشت قرمز و جگر** از منابع **آهن و فولیک اسید** می‌باشند. البته به یاد داشته باشید که کارکرد و عملکرد صحیح فولیک اسید (*نوعی ویتامین B*) به وجود **ویتامین** B_{12} در بدن وابسته می‌باشد. ویتامین B_{12} برخلاف فولیک اسید فقط در **غذاهای جانوری** وجود دارد، البته مقداری نیز توسط عمل باکتری‌ها و میکروب‌های رودهٔ بزرگ ساخته می‌شود. (*در حقیقت برخی ویتامین‌های خانوادهٔ B در کارکرد همدیگر اثر دارند.*)

۱۳) **تنظیم تولید گویچه‌های قرمز:** در بدن ما برای تولید گویچه‌های قرمز خون، به عواملی مثل آهن، ویتامین B_{12} و فولیک اسید نیاز است ولی برای **تنظیم** تولید این یاختهٔ خونی بسیار مهم، به ترشح **هورمونی** به نام **اریتروپویتین** نیز نیاز داریم. این هورمون در حالت **عادی** به **مقدار کم** همواره ترشح شده و کمی در **خون** ما وجود دارد تا **کاهش معمولی** گویچه‌های قرمز ما را جبران کند (*یادتونه روزانه ٪۱ آن‌ها تخریب می‌شد!*). در هنگام **کاهش مقدار اکسیژن خون** که می‌تواند در اثر کم‌خونی، بیماری‌های تنفسی و قلبی، ورزش‌های **طولانی** و تنفس **بی‌هوازی** زیاد و یا قرار گرفتن در **ارتفاعات** رخ دهد، پیام کمبود اکسیژن خون به **گروه ویژه‌ای** از یاخته‌های **کلیه‌ها و کبد** رسیده و این اندام‌ها با تولید هورمون **اریتروپویتین، مقدار آن** را در خون زیاد می‌کنند. این هورمون با اثر بر **مغز استخوان سرعت تولید گویچه‌های قرمز** را زیاد کرده تا با گرفتن مقدار بیشتر اکسیژن از محیط، کمبود اکسیژن بدن جبران شود.

نکته



۱۴) کل حجم خون یک انسان سالم و بالغ حدود **۵ لیتر** می‌باشد که بیشتر آن در سیاهرگ وجود دارد. دقت کنید که ٪۵۵ آن خوناب و حدود ٪۴۵ دیگر خون‌بهر می‌باشد.

۱۵) گویچه‌های قرمز فاقد هسته و راکیزه بوده و مادهٔ ژنتیکی ندارند. تنفس آن‌ها از نوع بی‌هوازی و بدون تولید CO_2 می‌باشد.

۱۶) گویچهٔ قرمز درون خود دو نوع پروتئین مهم دارد، یکی هموگلوبین که در انتقال مقداری CO_2 و مقدار زیادی از O_2 خون مؤثر است و دیگری آنزیمی به نام کربنیک انیدراز که در انتقال بیشترین مقدار CO_2 به صورت یون بیکربنات نقش دارد.

تست ۲ **در رابطه با فعّالیت آنزیم کربنیک انیدراز در گویچه‌های قرمز، کدام‌یک از گزینه‌های زیر زودتر از سایرین رخ می‌دهد؟** (قلم‌چی)

۱) با رسیدن یون بیکربنات به شش‌ها، کربن دی‌اکسید از ترکیب آن آزاد می‌شود.

۲) کربنیک‌اسید به سرعت به یون‌های بیکربنات و هیدروژن تجزیه می‌شود.

۳) یون بی‌کربنات از گویچهٔ قرمز خارج و به خوناب وارد می‌شود.

۴) از ترکیب آب با کربن دی‌اکسید، کربنیک‌اسید پدید می‌آید.

پاسخ ۴ (A)

در گویچهٔ قرمز، آنزیمی به نام کربنیک انیدراز وجود دارد که مکانیسم عملکرد آن، به ترتیب، به این صورت است. ابتدا این آنزیم، کربن دی‌اکسید را با آب ترکیب می‌کند و کربنیک اسید را پدید می‌آورد (گزینهٔ ۴)). کربنیک اسید به سرعت به یون بیکربنات و هیدروژن تجزیه می‌شود (گزینهٔ ۱)). یون بیکربنات نیز از گویچهٔ قرمز خارج و به خوناب وارد می‌شود (گزینهٔ ۳)). با رسیدن به شش‌ها، کربن دی‌اکسید از ترکیب یون بیکربنات آزاد می‌شود و از آنجا به هوا انتشار می‌یابد (گزینهٔ ۱)).

تست ۳ **به‌طور معمول، کدام گزینه، دربارهٔ «یاخته‌هایی در انسان، که بیش از ۹۹ درصد یاخته‌های خونی را تشکیل می‌دهند»، نادرست است؟** (قلم‌چی)

۱) قبل از خروج از مغز استخوان هستهٔ خود را از دست می‌دهند.

۲) تقریباً یک درصد از آن‌ها، روزانه تخریب می‌شود و باید جایگزین شود.

۳) برای ساخته شدن آن‌ها در مغز استخوان، فقط به وجود آهن و فولیک‌اسید نیاز است.

۴) نوعی ویتامین از خانوادهٔ B که در سبزیجات با برگ سبز تیره یافت می‌شود، در تولید این یاخته‌ها نقش دارد.

پاسخ ۳ (B)

برای ساخته شدن گویچه‌های قرمز در مغز استخوان، علاوه بر وجود آهن و فولیک اسید، ویتامین B_{12} نیز نیاز است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): گویچه‌های قرمز در مغز استخوان، پیش از ورود به خون هستهٔ خود را از دست می‌دهند و سیتوپلاسم آن‌ها از هموگلوبین پر می‌شود. / گزینهٔ (۲): تقریباً یک درصد از گویچه‌های قرمز، روزانه تخریب می‌شوند و باید جایگزین شوند. / گزینهٔ (۴): فولیک‌اسید، نوعی ویتامین از خانواده B است که برای تقسیم طبیعی یاخته‌ای لازم است. کمبود آن باعث می‌شود یاخته‌ها به ویژه در مغز استخوان، تکثیر نشوند و تعداد گویچه‌های قرمز کاهش یابد. سبزیجات با برگ سبز تیره، حبوبات، گوشت قرمز و جگر از منابع آهن و فولیک‌اسیدند.

تست ۴ **در یک فرد سالم و بالغ، «آهن آزاد شده از تخریب یاخته‌های خونی آسیب‌دیده و مرده در داخل اندامی از بدن که خون لولهٔ گوارش ابتدا به آن وارد می‌شود، ذخیره می‌گردد.» چند مورد دربارهٔ این اندام صحیح است؟** (قلم‌چی)

الف) در ذخیرهٔ چربی و برخی ویتامین‌ها نقش دارد. **ب) فاصلهٔ یاخته‌های بافت پوششی در مویرگ‌های آن بسیار زیاد است.**

ج) از طریق یاخته‌های بنیادی خود، گویچه‌های قرمز را تولید می‌نماید. **د) بر سرعت تولید گویچه‌های قرمز خون در مغز استخوان تأثیرگذار است.**

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ (C)

موارد (الف)، (ب) و (د) صحیح هستند.

منظور سؤال کبد می‌باشد که محل ذخیرهٔ آهن بدن و گیرندهٔ خون بخش عمده‌ای از دستگاه گوارش است.

تله‌های تستی الف) در کبد، موادی مانند آهن، برخی ویتامین‌ها و نیز چربی (*فصل ۲*) ذخیره می‌شوند. / ب) مویرگ‌های ناپیوسته در جگر یافت می‌شود. فاصلهٔ یاخته‌های بافت پوششی در این مویرگ‌ها آن‌قدر زیاد است که به صورت حفره‌هایی در دیوارهٔ مویرگ دیده می‌شود. / ج) دقت کنید این مورد برای جنین انسان صادق است، نه فرد بالغ! / د) اریتروپویتین هورمونی است که توسط گروه ویژه‌ای از یاخته‌های کلیه و کبد به درون خون ترشح می‌شود و روی مغز استخوان اثر می‌کند تا سرعت تولید گویچه‌های قرمز را زیاد کند.

تست ۵ **در انسان سالم و بالغ، هر اندامی که به عنوان محل تخریب یاخته‌های خونی قرمز آسیب‌دیده و مرده است، قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) محل ذخیرهٔ آهن آزاد شده در طی این فرایند نیز می‌باشد. **۲)** محل تولید یاخته‌های خونی در دوران جنینی نیز می‌باشد.

۳) به عنوان منبعی برای فولیک اسید نیز محسوب می‌شود. **۴)** با ترشح هورمونی در تنظیم میزان گویچه‌های قرمز نقش دارد.

پاسخ ۲ (A)

تخریب یاخته‌های قرمز آسیب‌دیده و مرده در **کبد** و **طحال** صورت می‌گیرد که هر دو اندام در دوران جنینی در تولیدِ بخش یاخته‌ای خون دخالت دارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): فقط مربوط به کبد است که بخشی از آهن آزاد شده را در خود ذخیره می‌کند اما این ویژگی در طحال دیده نمی‌شود. / گزینهٔ (۳): ویتامین‌های مختلف می‌توانند در کبد ذخیره شوند (*طحال این ویژگی را ندارد*). مثلاً می‌توانیم با تغذیه از کبد جانوران، فولیک اسید به دست بیاوریم. / گزینهٔ (۴): اندام‌هایی که به تولید هورمون اریتروپویتین برای تنظیم میزان تولید یاخته‌های قرمز خون می‌پردازند، کلیه‌ها و کبد هستند که طحال در بین آن‌ها دیده نمی‌شود.

تست ۶ چند مورد عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟

«خون از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخشی از آن که بیشترین نقش در ..... دارد، فاقد .....»

الف) انتقال اکسیژن - نقش کمک به دفاع بدن می‌باشد.
ب) تولید کربنیک‌اسید - قطعاتی از یاخته می‌باشد.
ج) انتقال بیکربنات - یاختهٔ خونی می‌باشد.
د) انتقال اکسیژن محلول - یون‌ها و مواد غذایی می‌باشد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ C فقط مورد (ج) جمله را به درستی تکمیل می‌کند (*سه مورد دیگر نادرست هستند*). در این سؤال نیز دقت کنید که منظور دو بخش اصلی خوناب و یاخته‌ای خون است.

تله‌های تستی الف) نادرست است. بیشترین نقش را در انتقال اکسیژن گویچه‌های قرمز خون دارند پس منظور بخش یاخته‌ای است. در این بخش گویچه‌های سفید به دفاع از بدن می‌پردازند. / ب) نادرست است. تولید کربنیک اسید درون گویچه‌های قرمز خون است پس باز هم منظور بخش یاخته‌ای خون است که حاوی پلاکت‌ها به صورت قطعات یاخته‌ای نیز می‌باشند. / ج) درست است. پلاسما یا خوناب بیشترین نقش را در انتقال بیکربنات دارد که فاقد یاخته‌های خونی است. / د) نادرست است. پلاسما اکسیژن محلول را حمل می‌کند که دارای یون‌ها و مواد غذایی است.

یاخته‌های سفید خون (گویچه‌های سفید یا WBC)

در یک فرد سالم، گویچه‌های سفید، **کمترین** تعداد گروه یاخته‌های خونی می‌باشند و تعداد آن‌ها حتی از پلاکت‌ها (*گردده‌ها*) نیز **کمتر** است. این یاخته‌ها ضمن گردش در خون می‌توانند از خون خارج شده و با فرایند **دیاپدز** (*تراگذری یا خروج از رگ با تغییر شکل*) در **بافت‌های مختلف بدن** پراکنده شوند.
نقش اصلی آن‌ها **دفاع از بدن** در برابر عوامل خارجی می‌باشد. همهٔ این یاخته‌ها **یک هسته** دارند که می‌توانند یک‌قسمتی یا چندقسمتی باشند که در کتاب یازدهم بیشتر با نقش و ویژگی‌های آن‌ها آشنا خواهیم شد. این یاخته‌ها همواره حاوی مادهٔ ژنتیکی خطی و حلقوی بوده و تنفس **هوازی** دارند.

انواع یاخته‌های خونی سفید

آن‌ها که یک هستهٔ چندقسمتی با سیتوپلاسم دانه‌دار دارند.

- همگی از یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** مغز قرمز استخوان منشأ می‌گیرند.
- مخصوص دفاع **غیراختصاصی** در **همهٔ** جانوران می‌باشند.
- **بازوفیل‌ها**: هستهٔ دوقسمتی **روی هم افتاده** و سیتوپلاسم حاوی دانه‌های **تیره** دارند. دانه‌های آن‌ها موادی به نام **هیستامین** برای پاسخ به حساسیت‌ها و موادی مثل **هپارین** که ضد انعقاد خون است، دارند (*یازدهم*).



- **ائوزینوفیل‌ها**: هستهٔ دوقسمتی **دمبلی** با سیتوپلاسم حاوی دانه‌های **روشن درشت** دارند که محتویات دانه‌های آن‌ها فعالیت ضد **انگلی** دارند.



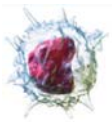
- **نوتروفیل‌ها**: هستهٔ چندقسمتی با سیتوپلاسم حاوی دانه‌های **روشن ریز** دارند. این یاخته‌ها نیروهای واکنش سریع برای مقابله با میکروب و بیگانه‌خواری می‌باشند. این یاخته‌ها مواد دفاعی زیادی حمل **نمی‌کنند** ولی چابک هستند و میکروب‌ها را می‌بلعند (*بیگانه‌خواری دارند*).



آن‌ها که یک هستهٔ یک‌قسمتی با سیتوپلاسم بدون دانه دارند.

مونوسیت‌ها

- هستهٔ تکی خمیده یا **لوبیایی** و سیتوپلاسم بی‌دانه دارند.
- در دفاع **غیراختصاصی** نقش دارند.
- منشأ **میلوئیدی** از یاختهٔ بنیادی مغز استخوان دارند.
- پس از خروج از رگ، در بافت، منشأ درشت‌خوارها (*ماکروفاژها*) و یاختهٔ بیگانه‌خوار **دندریتی** می‌شوند (*یازدهم*).



لنفوسیت‌ها

- دو نوع *B* و *T* برای دفاع اختصاصی و انواع کشندهٔ طبیعی برای دفاع غیراختصاصی دارند.
- هستهٔ تکی گرد یا **بیضی** به همراه سیتوپلاسم بی‌دانه دارند.
- با توجه به شکل نسبت هسته به سیتوپلاسم در آن‌ها زیاد است.
- نوع لنوسیت کشندهٔ طبیعی آن در سد **دوم** دفاع غیراختصاصی نقش دارد (*ریست یازدهم*).
- نوع *B* و *T* آن مخصوص دفاع اختصاصی در مهره‌داران هستند.
- منشأ **لنفوئیدی** از مغز استخوان دارند که با منشأ سایر یاخته‌های خونی متفاوت می‌باشد.



نگاهی به آینده

دفاع اختصاصی، مبارزه با یک میکروب خاص می‌باشد که مخصوص **مهره‌داران** بوده و توسط انواعی از **لنفوسیت‌ها** صورت می‌گیرد، ولی دفاع غیراختصاصی در **همهٔ** جانوران وجود دارد و در مبارزه با **اغلب** عوامل بیگانه نقش دارند (*فصل ۵ یازدهم*).

تست ۷ چند مورد دربارهٔ «همهٔ یاخته‌های خونی واجد زوائد که ضمن گردش در خون، در بافت‌های بدن انسان نیز پراکنده می‌شوند»، صادق است؟ (قلم‌چی)

الف) تنها یک هسته دارند. **ب) توانایی تولید چندین نوع یاخته را دارند.**

ج) از بدن در برابر عوامل خارجی دفاع می‌کنند. **د) در دوران جنینی تنها در کبد و طحال ساخته می‌شوند.**

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ (C) موارد (الف) و (ج) صحیح هستند.

طبق شکل کتاب درسی، مونوسیت‌ها واجد زواید هستند. این یاخته‌ها، از گویچه‌های سفید محسوب می‌شوند و ضمن گردش در خون، در بافت‌های مختلف بدن انسان نیز پراکنده می‌شوند. نقش اصلی آن‌ها، دفاع از بدن در برابر عوامل خارجی است. این یاخته‌ها **یک هسته** دارند (درستی الف و ج).

در یک فرد بالغ، تولید یاخته‌های خونی و گِرده‌ها در مغز قرمز استخوان انجام می‌شود. در دوران جنینی، یاخته‌های خونی در اندام‌های دیگری مثل کبد و طحال **نیز** ساخته می‌شود (*پس نباید نقش مغز استخوان را در تولید یاخته‌های خونی در دوران جنینی نادیده بگیرید*) (نادرستی د). **یاخته‌های بنیادی مغز استخوان**، یاخته‌هایی هستند که توانایی تقسیم و تولید چندین نوع یاخته را دارند (نادرستی ب).

تست ۸ در یک فرد بالغ و سالم، ..... (قلم‌چی)

۱) هر گویچهٔ سفید بدون دانه، حاصل تقسیم یاخته‌های بنیادی لنفوئیدی است.

۲) برخی از اندام‌های دستگاه لنفاوی، توانایی تولید گویچه‌های قرمز دارند.

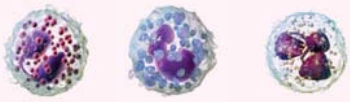
۳) هر گروه از یاخته‌های بنیادی در مغز استخوان توانایی تقسیم و تولید حداقل دو نوع یاخته را دارد.

۴) محصولات نهایی یاخته‌های بنیادی میلوئیدی، همگی یاخته‌هایی هسته‌دار یا بدون هسته می‌باشند.

پاسخ ۲ (C) در یک فرد بالغ، مغز استخوان که نوعی از اندام‌های دستگاه لنفی می‌باشد، به تولید تمام یاخته‌های خونی می‌پردازد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): **مونوسیت‌ها** از گویچه‌های سفید بدون دانه هستند که از یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** منشأ می‌گیرند. / گزینهٔ (۳): سه گروه یاختهٔ بنیادی در مغز استخوان وجود دارد: ۱- یاخته‌های بنیادی اصلی مغز استخوان، ۲- یاخته‌های بنیادی میلوئیدی و ۳- یاخته‌های بنیادی لنفوئیدی که از بین این‌ها، یاخته‌های بنیادی لنفوئیدی، فقط به تولید یاخته‌های خونی سفید (*از نوع لنفوسیت*) می‌پردازند اما یاختهٔ بنیادی میلوئیدی می‌تواند هم یاخته‌های قرمز و هم یاخته‌های سفید تولید کند. / گزینهٔ (۴): **گرده‌ها** نیز از یاخته‌های بنیادی میلوئیدی منشأ می‌گیرند، اما **قطعه‌ای از یاخته** هستند نه یاختهٔ کامل.

تست ۹ کدام گزینه در ارتباط با مقایسهٔ شکل‌های مقابل صحیح است؟ (قلم‌چی)



الف ب ج

۱) (الف) برخلاف (ب) سیتوپلاسم با دانه‌های روشن درشت دارد.

۲) (ب) همانند (ج) هستهٔ تکی خمیده یا لوبیایی دارد.

۳) (ج) برخلاف (الف) در بافت‌های مختلف بدن پراکنده است.

۴) (الف) همانند مونوسیت به دفاع از بدن در برابر عوامل خارجی می‌پردازد.

پاسخ ۴ (B) شکل در ارتباط با یاخته‌های خونی سفید (الف) نوتروفیل (ب) بازوفیل و (ج) ائوزینوفیل است که **هر سه** همانند مونوسیت به دفاع از بدن در برابر عوامل خارجی می‌پردازند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): دانه‌های سیتوپلاسمی نوتروفیل درشت نیستند (*ریز می‌باشند*). / گزینهٔ (۲): هیچ‌یک از یاخته‌های نشان داده شده، مونوسیت نیست که هستهٔ تکی خمیده داشته باشد. / گزینهٔ (۳): تمام یاخته‌های سفید خون در بافت‌های بدن پراکنده می‌باشند تا در صورت برخورد با عامل بیگانه، از بدن در مقابل آن دفاع کنند.

نکات گرده‌ها (پلاکت‌ها): PLT

۱) قطعات یاخته‌ای (*نه یاختهٔ کامل*) **بی‌رنگ** و **بی‌هسته‌ای** هستند که فاقد DNA **خطی** می‌باشند ولی درون خود **دانه‌های زیادی** دارند و از گویچه‌های خونی کوچک‌ترند.

۲) در حالت عادی، مقدار آن‌ها در خون **از** گویچه‌های **قرمز کمتر** ولی از گویچه‌های **سفید، بیشتر** می‌باشد.

۳) پلاکت‌ها بدین صورت تولید می‌شوند که یاخته‌های بنیادی **میلوئیدی** مغز استخوان ابتدا یاخته‌های **بزرگ** مگاکاریوسیت را ایجاد می‌کنند سپس بخش سیتوپلاسم آن قطعه‌قطعه شده و به عنوان تعدادی گرده (*پلاکت*) وارد جریان خون می‌شوند. هر پلاکت یک قطعهٔ سیتوپلاسمی فاقد هسته می‌باشد، ولی برخی اندامک‌ها را دارد. (*منشأ چند گرده از یک یاختهٔ بنیادی میلوئیدی و یک یاختهٔ مگاکاریوسیتی بوده است.*)

۴) درون هر گرده (*پلاکت*)، **دانه‌های کوچک** پر از ترکیبات **فعال** وجود دارد. برخی از این ترکیبات مثل آنزیم پروترومبیناز در شروع فرایند تولید لخته در خونریزی‌های **شدید** (*نه محدود*) نقش دارد.

۵) گرده‌ها به چند طریق از هدر رفتن خون جلوگیری می‌کنند که در تست‌ها بسیار دقت کنید که خونریزی محدود را ذکر کرده یا خونریزی شدید!

۶) **در خونریزی‌های محدود** که دیوارهٔ رگ **آسیب جزئی** می‌بیند، فقط گرده‌ها (*پلاکت‌ها*) نقش دارند. به این صورت که در محل آسیب دور هم جمع شده و به هم می‌چسبند که به این اجتماع **درپوش** گفته می‌شود و جلوی خروج خون از رگ آسیب‌دیدهٔ **جزئی** را می‌گیرد. در این مکانیسم لخته‌ای تولید نمی‌شود و ماده‌ای توسط گرده‌ها ترشح نمی‌شود (*در این حالت ترشحات گرده و پروتئین‌های خوناب نقشی ندارند*).

۷) در خونریزی‌های **شدیدتر** و آسیب شدیدتر دیوارهٔ رگ، گرده‌ها (*پلاکت‌ها*) در تولید لخته **نقش اصلی** دارند و با آزاد کردن موادی مانند **آنزیم** پروترومبیناز و به کمک پروتئین‌های همیشگی غیرفعال در **خوناب** همانند **فیبرینوژن و پروترومبین**، لخته را ایجاد می‌کنند تا جلوی خونریزی در محل گرفته شود.

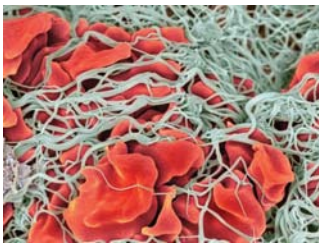
نکته وجود **ویتامین K** و **یون کلسیم** در انجام روند انعقاد خون و تشکیل لخته لازم است.

۸) آنزیم پروترومبیناز همواره به صورت فعال در **خون** وجود دارد. دقت کنید که این آنزیم در حالت معمولی در بخش یاخته‌ای خون در درون گرده‌ها بوده ولی فعالیتی ندارد. در خونریزی شدید، این آنزیم از گرده‌های آسیب‌دیده (*نه همهٔ آن‌ها!*) به خوناب وارد می‌شود و با فعالیت **کاتالیزوری** خود سبب شروع فرایند ایجاد لخته می‌شود که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

● مکانیسم انعقاد خون

در خونریزی‌های شدید، بافت‌های آسیب‌دیده به همراه **گرده‌های آسیب‌دیده** در محل آسیب دیوارهٔ رگ با ترشح آنزیم پروترومبیناز، پروتئین انعقادی **پروترومبین** را که **همواره** در پلاسما وجود دارد به **ترومبین** (*آنزیم انعقاد خون*) تبدیل می‌کنند. سپس ترومبین با تبدیل فیبرینوژن که پروتئین محلول در خوناب است به فیبرین **نامحلول**، نقش مهمی در ایجاد لخته ایفا می‌کند. در حقیقت، لخته مجموعه رشته‌های **پروتئینی نامحلول فیبرین به علاوه یاخته‌های خونی** (*مخصوصاً گویچه‌های قرمز*) و گرده‌ها می‌باشد (*البته در این فعالیت‌ها ویتامین K (نه یون پتاسیم) و یون کلسیم (Ca) نیز مؤثر است*).

بافت‌ها و گِرده‌های آسیب‌دیده
↓
ترشح آنزیم پروترومبیناز
↓
پروترومبین → ترومبین
↓
فیبرینوژن → فیبرین
↓
لخته = گویچه‌های خونی و گرده‌ها + فیبرین



«رشته‌های پروتئینی فیبرین و یاخته‌های خونی و گِرده‌ها در ایجاد لخته»

نگاهی به آینده

هر عاملی که در تنظیم کلسیم خون و ویتامین K خون نقش دارد، در انعقاد خون برای تبدیل پروترومبین به ترومبین نیز نقش دارد.

عوامل مؤثر در تنظیم کلسیم خون (*یازدهم*):
- هورمون **کلسی‌تونین** غدهٔ تیروئید ← کلسیم خون ↓ ← روند انعقاد خون را **کند** می‌کند.
- هورمون پاراتورمون از غدد پاراتیروئید ← کلسیم خون ↑ ← روند انعقاد خون را تسریع می‌کنند.
- ویتامین D ← جذب کلسیم در روده ↑ ← روند انعقاد خون را تسریع می‌کنند.

عوامل مؤثر در مقدار ویتامین K خون:
- صفرا ← کمک به جذب ویتامین محلول در چربی (*مثل K*)
- عمل باکتری‌های رودهٔ باریک (*تولید ویتامین B و K*)

نکته

عواملی مثل ویتامین K، یون کلسیم، پروترومبین و فیبرینوژن، همیشه در خوناب وجود دارند ولی ایجاد فیبرین، ترومبین و لخته فقط موقع انعقاد صورت می‌گیرند.

توجه! در تست‌های کنکور بسیار به این دام آموزشی دقت کنید که خونریزی محدود را سؤال داده است یا خونریزی شدید! اگر خونریزی، محدود بود، درپوشی بدون ایجاد لخته حاصل می‌شود ولی در صورت خونریزی شدید، مکانیسم انعقاد خون و تولید ترومبین و فیبرین صورت می‌گیرد.

تست ۱۰ کدام عبارت نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) در جنین انسان، همهٔ یاخته‌های خونی از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان به وجود می‌آیند.
۲) در یک فرد بالغ، محل اتصال کربن مونواکسید به هموگلوبین، همان محل اتصال اکسیژن است.
۳) در یک فرد بالغ، یاخته‌های بنیادی مغز استخوان می‌تواند منشأ انواع مختلف یاخته‌های خونی باشد.
۴) در جنین انسان، یک نوع یاختهٔ بنیادی می‌تواند در تولید قطعات یاخته‌ای بی‌رنگ و بدون هسته‌ای سهیم باشد.

پاسخ ۱ (A) در دوران جنینی، یاخته‌های خونی در اندام‌های دیگری مثل کبد و طحال نیز ساخته می‌شود. یاخته‌های بنیادی مغز استخوان، یاخته‌هایی هستند که توانایی تقسیم و تولید چندین نوع یاخته را دارند.

گزینهٔ (۲) درست است و به همین علت، اتصال این گاز به هموگلوبین، مانع اتصال اکسیژن شده و ایجاد مسمومیت می‌کند. قطعات یاخته‌ای ذکر شده در گزینهٔ (۴) نیز، همان گرده‌ها هستند که توسط یاختهٔ بنیادی میلوئیدی مغز استخوان انسان بالغ و جنین، تولید می‌شوند.

تست ۱۱ در پی آسیب شدید دیوارهٔ یک رگ خونی انسان، در روند انعقاد خون ..... پس از ..... صورت می‌گیرد. (قلم‌چی)

۱) به وجود آمدن فیبرین - تشکیل لخته
۲) آسیب‌دیدگی گرده‌ها - ایجاد لختهٔ خونی
۳) ایجاد درپوش پلاکتی - تولید پروترومبین
۴) به وجود آمدن ترومبین - ترشح آنزیم پروترومبیناز

پاسخ ۴ (A) در روند انعقاد خون، پس از ترشح ترکیبات فعال مثل آنزیم پروترومبیناز تبدیل پروترومبین به ترومبین صورت می‌گیرد.

بافت‌ها و گرده‌های آسیب دیده
↓
ترشح آنزیم پروترومبیناز
↓
پروترومبین → ترومبین → تشکیل لخته
↓
فیبرینوژن → فیبرین

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): می‌بینید که تولید فیبرین، پیش از تشکیل لخته است. / گزینهٔ (۲): آسیب‌دیدگی رگ‌ها، سرآغاز همهٔ اتفاقات است. / گزینهٔ (۳): تولید درپوش، ارتباطی به ایجاد لخته و انعقاد خون ندارد.

تست ۱۲ **در فردی بالغ و سالم، در رگ خونی موجود در مغز استخوان ..... حضور دارند.** (قلم‌چی)

۱) مگاکاریوسیت و گویچهٔ قرمز هسته‌دار
۲) گرده‌ها و گویچه‌های قرمز هسته‌دار
۳) گرده‌ها و گویچه‌های قرمز پر شده از هموگلوبین
۴) مگاکاریوسیت و گویچه‌های قرمز پر شده از هموگلوبین

پاسخ ۳ (B)

در رگ‌های خونی موجود در مغز استخوان به‌طور طبیعی گرده‌ها و گویچه‌های قرمز پر شده از هموگلوبین دیده می‌شود ولی مگاکاریوسیت‌ها و گویچه‌های قرمز نابالغ پیش از ورود به خون، ابتدا قطعه‌قطعه شده (*مگاکاریوسیت*) و هستهٔ خود را از دست می‌دهند (*گویچه*) و بعد وارد خون می‌شوند. برای همین این یاخته‌های اولیه در مویرگ‌ها دیده نمی‌شوند.

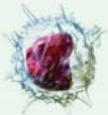
تست ۱۳ **به‌طور معمول در انسان، واکنش تشکیل ..... یاخته‌ای است.** (قلم‌چی)

۱) فیبرین همانند پپسین، برون
۲) ترومبین برخلاف پپسین، درون
۳) پروترومبیناز برخلاف لیپاز، درون
۴) فیبرینوژن برخلاف پروترومبیناز، درون

پاسخ ۱ (A)

نکته: تولید پپسین، ترومبین و فیبرین برخلاف تولید لیپاز، پپسینوژن، فیبرینوژن و پروترومبیناز برون‌یاخته‌ای می‌باشد.
عملکرد لیپاز و پپسینوژن، شما را به اشتباه نیندازد. هر دوی این آنزیم‌ها درون یاخته تولید می‌شوند و بیرون یاخته عمل می‌کنند (*الته پپسینوژن ابتدا به پپسین تبدیل می‌شود*).

جدول جمع‌بندی کلی نکات یاخته‌های خونی

ویژگی / یاخته	هسته	میتوکندری (راکیزه)	DNA	منشأ در مغز استخوان	تنفس یاخته‌ای	نکتهٔ تکمیلی	شکل
گویچهٔ قرمز *Rbc*	در حالت **بلوغ** ندارد	ندارد	ندارد	بنیادی **میلوئیدی**	**بی‌هوازی** (*تخمیر*)	در دوران جنینی در کبد، طحال و مغز استخوان ساخته می‌شوند.	
پلاکت (*گِردِه‌ها*) *PLT*	ندارد	دارد	**هسته‌ای**	میلوئیدی و مگاکاریوسیت	**هوازی**	بی‌رنگ با دانه‌های **زیاد** برای انعقاد خون هستند. (*قطعات سیتوپلاسمی بسیار کوچک می‌باشند.*)	
بازوفیل	یک عدد **دو**قسمتی روی هم‌افتاده	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	سیتوپلاسم با دانهٔ **تیره** دارد. دفاع غیراختصاصی به بدن می‌دهد. هپارین و هیستامین ترشح می‌کنند.	
ائوزینوفیل	یک عدد **دو**قسمتی **دمبلی**شکل	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	دفاع **غیر**اختصاصی دارد. سیتوپلاسم با دانه‌های **درشت** روشن دارد. فعالیت ضد **انگلی** با ترشح محتویات دانه‌ها دارد.	
نوتروفیل	یک عدد **چند**قسمتی	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	دفاع **غیر**اختصاصی دارد. بیگانه‌خواری زیادی در التهاب‌ها دارد. سیتوپلاسم با دانه‌های روشن **ریز** دارد. نیروهای واکنش سریع برای **بیگانه‌خواری** هستند. مواد دفاعی زیادی حمل نمی‌کنند و چابک هستند.	
مونوسیت	یک هسته **تکی** خمیده یا لوبیایی	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	دفاع **غیر**اختصاصی دارد. منشأ درشت‌خوارها و یاختهٔ دارینه‌ای (*دندریتی*) بیگانه‌خوار بافتی است. سیتوپلاسم **بدون** دانه دارد.	
لنفوسیت	یک هسته **تکی** گرد یا بیضی	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی لنفوئیدی	هوازی	اغلب مخصوص دفاع اختصاصی در مهره‌داران است. سیتوپلاسم بدون دانه دارد. دو نوع *B* و *T* برای دفاع اختصاصی و لنفوسیت کشندهٔ طبیعی برای دفاع غیراختصاصی دارد.	

گفتار ٤ تنوع گردش مواد در جانداران

تک‌یاخته‌ای‌ها: جانداران **تک‌یاخته** چون اندازهٔ کوچک و فقط یک یاخته دارند، نسبت **سطح به حجم بالایی** هم دارند و در همهٔ آن‌ها غشا یا دیواره مستقیماً با محیط در ارتباط می‌باشد. تبادل گاز، غذا و دفع مواد زائد آن‌ها از **سطح** یاخته انجام می‌شود ولی در جانداران پریاخته‌ای چون همهٔ یاخته‌ها با محیط بیرون ارتباط **مستقیم** ندارند، نیاز به **دستگاهی** برای گردش مواد برای تأمین غذای یاخته‌ها و دفع مواد زائد به وجود می‌آید که انواع این دستگاه‌های گردش مواد را در ادامه بررسی می‌کنیم.

نکته
هر جاندار پریاخته‌ای به سیستم یا دستگاهی برای گردش مواد نیاز دارد که انواع سامانهٔ گردش آب، حفرهٔ گوارشی و سامانهٔ اختصاصی گردش مواد به صورت گردش خون باز یا بسته می‌باشد.

انواع دستگاه گردش مواد

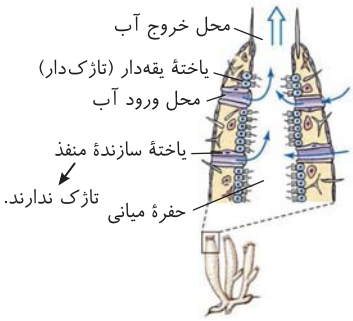
سامانهٔ گردش آب

این سامانه در برخی از بی‌مهرگان مثل **اسفنج‌ها** دیده می‌شود که آب همراه با مواد غذایی از محیط بیرون از طریق **سوراخ‌های متعدد ورودی** دیواره که بین **یاخته‌ها** وجود دارد، وارد حفره‌ها و حفرهٔ میانی بدن می‌شود. سپس آب به کمک **یاخته‌های یقه‌دار** که در سمت داخل حفرهٔ میانی هستند و حاوی **تاژک** می‌باشند، در حفره به سمت بالا منتقل شده و به همراه **غذا** در اختیار انواع یاخته‌های جانور قرار می‌گیرد. پس از تبادل مواد، مواد زائد به همراه آب از **سوراخ یا سوراخ‌های بزرگ‌تر** خروجی بدن خارج می‌شوند (*اسفنج‌ها گردش درونی مایعات به صورت حفرهٔ گوارشی بسته ندارند و در حفرهٔ میانی آن‌ها هیچ گوارشی انجام نمی‌شود*).

- در سامانهٔ گردش آب اسفنج‌ها، سوراخ(های) خروجی آب از سوراخ‌های ورودی **بزرگ‌تر** می‌باشند.
- یاخته‌های تشکیل دهندهٔ منفذهای ورودی آب، **فاقد** تاژک بوده و یقه‌دار نمی‌باشند ولی این یاخته‌ها به صورت **رشته‌ای** در عرض بدن جاندار قرار دارند که بین آن‌ها منفذ ورودی آب حاصل شده است. دقت کنید که این یاخته‌ها فقط در تماس با یاخته‌های یقه‌دار داخلی نمی‌باشند بلکه با یاخته‌های لایه‌های دیگر بدن نیز در تماس هستند.

نکته
اسفنج‌ها ساده‌ترین جانوران هستند و چون معمولاً حرکتی ندارند، پس حرکت آب در بدن آن‌ها در اثر حرکت جانور نمی‌باشد بلکه عامل حرکت آب، یاخته‌های یقه‌دار با حرکت تاژک آن‌ها است.


«شکل نوعی اسفنج»



«گردش آب در بدن نوعی اسفنج»

تست ۱۴ در جانوران، یاخته‌های یقه‌دار ممکن نیست ..... (قلم‌چی)

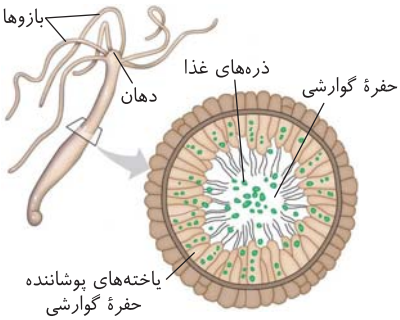
۱) در مجاورت با یاخته‌های سازندهٔ منفذ قرار داشته باشند.
۲) به جریان آب در حفرهٔ میانی کمک کنند.
۳) آب را از سمت پایین به بالا جابه‌جا کنند.
۴) در سطح بیرونی اسفنج‌ها دیده شوند.

پاسخ ۴ (A)
یاخته‌های یقه‌دار، درون حفرهٔ میانی اسفنج‌ها واقع شده‌اند و در سطح بیرونی قرار ندارند.
با توجه به شکل کتاب درسی، برخی از آن‌ها می‌توانند در کنار یاخته‌های سازندهٔ منفذ باشند (نادرستی گزینهٔ (۱)). عامل حرکت آب در حفرهٔ میانی، همین یاخته‌ها هستند که آب را از پایین به سمت بالا هدایت می‌کنند (نادرستی گزینه‌های (۲) و (۳)).

سامانهٔ گردش مواد به صورت حفرهٔ گوارشی

همان‌طور که در فصل گوارش بررسی کردیم، هیدر و برخی کرم‌های پهن، حاوی حفره‌های گوارشی با یک منفذ ورودی و خروجی مشترک می‌باشند که ابتدا در حفره یا کیسهٔ گوارشی پرمایع خود گوارش مکانیکی و شیمیایی مواد را انجام می‌دهند ولی گوارش نهایی غذا را در یاخته‌های جدار داخلی کیسه (*حفره*) به صورت درون‌یاخته‌ای به پایان می‌رسانند. کیسه یا حفرهٔ گوارشی این جانوران علاوه بر گوارش در گردش مواد جانور نیز نقش دارد.
این سامانه در هیدر و همچنین در کرم‌های پهن **آزادزی** (*نه‌انگل!*) مثل **پلاناریا** وجود دارد که **کمی با هم متفاوتند**. همان‌طور که ذکر کردیم، در همهٔ این جانوران مواد ابتدا در **خارج** یاخته‌ها، گوارش مکانیکی و شیمیایی می‌یابند و سپس گوارش شیمیایی **نهایی درون یاخته** انجام می‌گیرد. این سامانه عمل **گوارش و گردش مواد** را انجام می‌دهد. در این جانوران، یک سوراخ مشترک برای ورود و خروج مواد غذایی و دفعی وجود دارد که در ادامه به معرفی آن‌ها در هر جانور می‌پردازیم.

۱) حفره (کیسه) گوارشی هیدر



یک کیسهٔ گوارشی **پر** از مایعات دارند که علاوه بر **گوارش**، وظیفهٔ گردش مواد را نیز به عهده دارد. کیسهٔ گوارشی هیدرها انشعاب کمی دارد. درون کیسه یاخته‌های تاژک‌دار و تولیدکنندهٔ **آنزیم** وجود دارد که سبب گوارش شیمیایی و مکانیکی در **خارج** یاخته می‌شوند ولی گوارش نهایی و تولید مونومر **درون** یاخته‌های لایهٔ **داخلی** صورت می‌گیرد. این یاخته‌ها، مواد تجزیه شده غذایی را به سایر یاخته‌های لایهٔ خارجی نیز می‌دهند و مواد زائد را از آن‌ها می‌گیرند و به حفرهٔ گوارشی برمی‌گردانند تا در نهایت همهٔ مواد دفعی از منفذ **اصلی** جانور که بازوهای متعددی در اطراف آن است، خارج شود. در این جانوران **یک** منفذ ورودی و خروجی مشترک در حفرهٔ جانور وجود دارد (*در این جانوران برخلاف اسفنج حفرهٔ گوارشی وجود دارد و حرکت جانور در گردش و جابه‌جایی مواد مؤثر است*).

۲) حفرهٔ گوارشی در پلاناریا

در پلاناریا که کرم **پهن آزادزی** می‌باشد، انشعابات حفرهٔ گوارشی آن در **تمام نواحی** بدن نفوذ کرده است و فاصلهٔ انتشار مواد تا یاخته بسیار **کوتاه** می‌باشد. در این جانوران نیز **همانند** هیدر، حرکات بدن به جابه‌جایی مواد کمک می‌کنند.

نکات پلاناریا:
- گوارش ← ابتدا برون‌یاخته‌ای و سپس درون‌یاخته‌ای به کمک کیسهٔ گوارشی منشعب
- گردش مواد ← به کمک کیسهٔ گوارشی با انشعابات متعدد در تمام نواحی بدن
- دستگاه عصبی ← دو گره عصبی تشکیل دهندهٔ **مغز** و دو طناب عصبی **نردبان**مانند دارند (*یازدهم*).
- دفاع ← غیراختصاصی با **بیگانه‌خواری** و سدهای سطح بدن، دارند (*یازدهم*).

دستگاه اختصاصی برای گردش مواد

در جانورانی مثل اسفنج‌ها، هیدر و کرم‌های پهن پلاناریا که تا به اینجا بحث کردیم، مایع **مشترکی** برای گوارش، جذب غذا و گردش مواد داشتند ولی هیچ‌کدام دستگاهی اختصاصی و مایعی **اختصاصی** فقط برای گردش مواد و رساندن مواد غذایی به یاخته‌های بدن نداشتند. در این قسمت می‌خواهیم سامانهٔ اختصاصی برای گردش مواد را در جانوران پیچیده‌تر بررسی کنیم.

در جانوران پیچیده‌تر مثل بندپایان، کرم‌های حلقوی، نرم‌تنان و مهره‌داران دستگاه اختصاصی برای گردش مواد همراه با **مایعی** برای جابه‌جایی مواد به وجود می‌آید که برحسب نوع جانور به **دو نوع** سامانهٔ گردش مواد **باز و بسته** تقسیم‌بندی می‌شود که آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم:

الف) سامانهٔ (سیستم) گردش باز

این سامانه مخصوص **بندپایانی مثل ملخ** می‌باشد. در این سامانه، خون و لنف در رگ‌ها یا محل **جداگانه** قرار **ندارند.** بلکه به صورت مخلوط با هم در مایعی به نام **همولنف** قرار دارند. همولنف مجموعهٔ **خون، لنف و آب میان‌بافتی** جانور می‌باشد که در حفره‌های بدن جریان دارد.

در بدن این جانوران **مویرگ وجود ندارد.** قلب آن‌ها در **سطح پشتی** بدن قرار دارد و حاوی **منافذ دریچه‌داری** برای **گرفتن** خون می‌باشد. این منافذ در هنگام **انقباض قلب، بسته** هستند. با انقباض قلب دریچه ابتدای رگ‌های متصل به قلب باز شده تا از طریق این **رگ‌ها**، همولنف را از دو طرف **جانبی** بدن به درون حفره‌های بدن پمپ کرده (*شکل*) و مستقیماً وارد فضای بین اندام‌ها و یاخته‌ها کنند (*در حقیقت انتهای این رگ‌ها باز می‌باشد*). یاخته‌ها مستقیماً مواد مورد نیاز را از **همولنف** می‌گیرند و مواد دفعی را به آن وارد می‌کنند. مواد دفعی توسط سامانهٔ خاص از بدن خارج می‌شوند ولی جانور از طریق سیستم گوارشی، غذای جذب شده را دوباره وارد همولنف کرده تا در هنگام **استراحت قلب**، این همولنف پرغذا را از **منافذ دریچه‌دار باز شده** به قلب برگرداند. دقت کنید که ورود همولنف به قلب جانور از طریق رگ‌هایی مثل سیاهرگ‌ها صورت نمی‌گیرد. در حقیقت این منافذ دریچه‌دار قلبی به رگ متصل نمی‌باشند. در این جانوران، رگ‌های با عملی مشابه سرخرگ‌ها و **دریچه‌دار** فقط برای **خروج** خون از قلب نقش دارند (*مویرگ و سیاهرگ ندارند*).

نکته
در جانوران دارای گردش مواد باز، می‌توانیم از لفظ خون نیز به جای همولنف استفاده کنیم ولی بهتر است واژهٔ همولنف را به کار ببریم.

گردش مواد باز در جانوران دارای تنفس نایدیسی

حشرات چون سیستم تنفسی **نایدیسی** دارند، O_2 و CO_2 را مستقیماً در **انشعابات انتهای نایدیس‌ها** با یاخته‌ها تبادل می‌کنند، پس مایع همولنف آن‌ها **فاقد گازهای تنفسی** می‌باشد و نقشی در تبادل **گازهای تنفسی** ندارد. در حقیقت **در حشرات، همولنف فقط نقش غذارسانی به یاخته‌ها را دارد و خون تیره و روشن در بدن آن‌ها بی‌معنی است.** اگر به خاطر داشته باشید، خون تیره حاوی نسبت CO_2 زیادی بود و خون روشن نیز حاوی نسبت O_2 زیادی بود، پس وقتی همولنف یا خون حشرات در انتقال O_2 و CO_2 نقشی ندارد، یعنی لفظ روشن یا تیره نیز در مورد آن بی‌معنی می‌باشد.

نکته

در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که قلب حشرات فقط به رگ‌های خروجی یا معادل همان سرخرگ‌ها متصل می‌باشد که هر رگ **دریچه‌ای** در ابتدای خود برای خروج همولنف از قلب دارد. از طرفی دقت کنید که بدن این جانوران فاقد مویرگ و سیاهرگ می‌باشد و همولنف از طریق منافذی که با فضای بین‌یاخته‌ای مرتبط می‌باشد به قلب در حال **استراحت** وارد می‌شود.

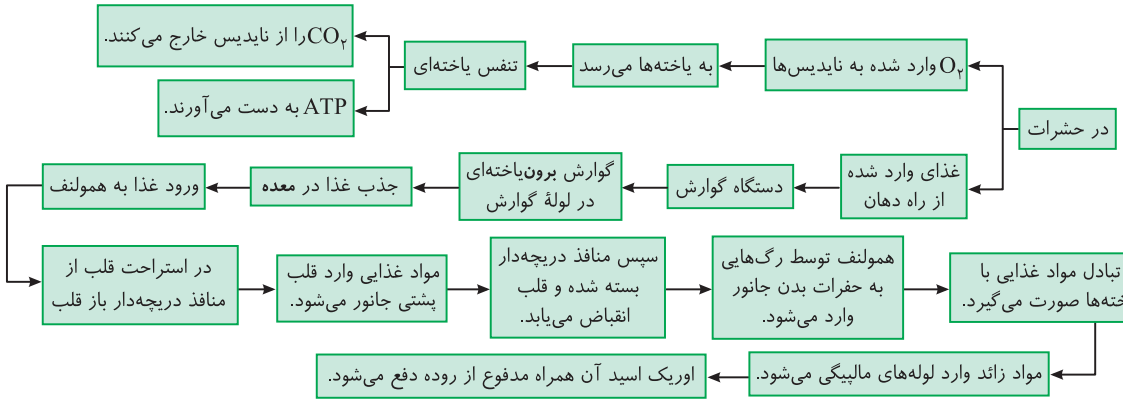


نکته

با دقت در شکل مقابل درمی‌یابید که قلب پشتی ملخ از معده و راست‌روده مواد دریافت می‌کند. در حقیقت در وسط و عقب بدن ملخ (حشره) منافذ دریچه‌دار برای ورود همولنف از **معده** و **راست‌روده** به قلب وجود دارد. در این قسمت‌ها نیز رگ‌های خروجی وجود دارند. (در بخش گوارش بررسی کردیم که ملخ، جذب غذا را توسط معده و جذب آب و املاح را توسط راست‌روده انجام می‌دهد. در فصل بعد می‌خوانیم که مواد زائد نیتروژن‌دار اوریک اسیدی حشرات در انتها توسط لوله‌های مالپیگی وارد روده شده تا به صورت مخلوط با مدفوع از لولهٔ گوارش جانور دفع شوند.)

نکته مهم

در بین جانورانی که گردش مواد باز دارند، فقط حشرات تنفس نایدیسی دارند و خون تیره یا روشن در آن‌ها بی‌معنی است.



تست ۱۵ کدام عبارت، در مورد دستگاه گردش خون ملخ، نادرست است؟ (سراسری خارج از کشور - ۸۷)

۱) قلب در سطح پشتی قرار دارد.

۲) همولنف در فضای بین یاخته‌های بدن گردش می‌کند.

۳) خون از طریق چند منفذ به قلب بازمی‌گردد.

۴) تعداد دریچهٔ ورودی و خروجی همولنف به قلب آن‌ها برابر است.

پاسخ ۴ گزینهٔ B

با توجه به شکل کتاب درسی در مورد ملخ، دو دریچه ابتدای رگ‌های خروجی از قلب مشاهده می‌شود ولی چهار دریچهٔ منفذدار برای ورود همولنف مشاهده می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): شکل کتاب، قلب را در سطح پشتی ملخ و کرم خاکی در نظر گرفته است. / گزینه‌های (۲) و (۳): خون (همولنف) در بین یاخته‌ها گردش کرده و از چند منفذ دریچه‌دار به قلب برمی‌گردد.

ب) سامانهٔ گردش خون بسته

این سیستم در بی‌مهرگانی مانند **کرم‌های حلقوی** (کرم خاکی) و در **مهره‌داران** دیده می‌شود که رگ‌های خونی کامل سرخرگی، **مویرگی** و سیاهرگی دارند. خون و لنف در این سامانه از هم جدا بوده و سرعت **بالایی** برای جریان مواد در بدن وجود دارد. در این سامانه، قلب برای **گرفتن** خون **منافذ دریچه‌دار ندارد** ولی برای خروج خون، در ابتدای سرخرگ‌های خروجی از قلب آن‌ها **منافذ دریچه‌دار** وجود دارد. در این سامانه **مویرگ‌ها** در نزدیکی یاخته‌ها وجود دارند و به کمک آب میان‌بافتی، تبادل مواد غذایی، دفعی و گازهای تنفسی صورت می‌گیرد.



نکته

در هر دو سامانهٔ گردش خون باز و بسته، رگ‌هایی که از قلب خارج می‌شوند در ابتدای خود **دریچه‌ای** دارند که با **انقباض** قلب باز می‌شوند. برای برگشت خون به قلب، در سامانهٔ گردش خون **بسته**، سیاهرگ‌های متصل به قلب برای ورود خون وجود دارند ولی سامانهٔ گردش خون **باز**، حاوی منافذ متعدد دریچه‌دار بدون اتصال به رگ خونی می‌باشد.

● گردش خون بسته در کرم خاکی

کرم خاکی **ساده‌ترین** گردش خون بسته را دارد که حاوی **قلب پشتی** بوده و مویرگ‌هایی در کنار یاخته‌ها دارد.

نکته
در کرم خاکی رگ خارج شده از قلب که دارای خون تیره می‌باشد، انشعاباتی مویرگی به سمت **پوست** دارد تا برای تبادل گاز تنفسی ابتدا به پوست برود و پس از تبادل، خون روشن پرغذا به همهٔ اندام‌های بدن برسد.

نکته
سیاهرگ واردکنندهٔ خون به قلب کرم خاکی در انتهای خود دریچه دارد.



نکته
در گردش خون بسته، **همولنف** وجود ندارد. چون خون و لنف در رگ‌های متفاوتی جریان دارند.



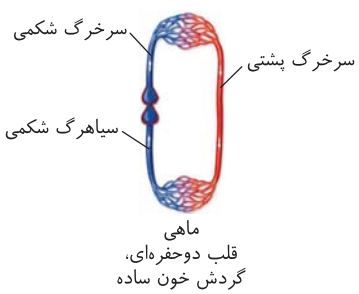
● گردش خون بسته در مهره‌داران

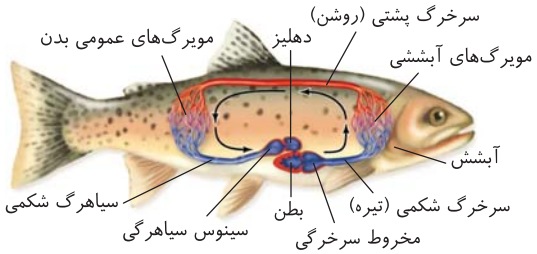
همهٔ مهره‌داران گردش خون **بسته** دارند که به دو صورت **ساده** یا **مضاعف** تقسیم‌بندی می‌شوند.

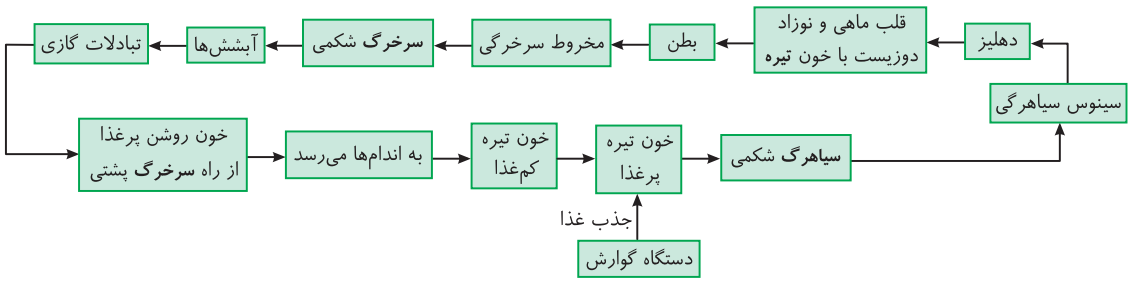
الف) گردش خون بستهٔ ساده

در **ماهی‌ها و نوزاد دوزیستان** دیده می‌شود که **قلب دوحفره‌ای** دارند. در بدن آن‌ها، **خون** ضمن هر بار گردش، فقط **یک** بار از **قلب شکمی** آن‌ها می‌گذرد. در این گروه خون خارج شده از بطنِ قلب، **تیره** می‌باشد که پرغذا و پر CO_2 است. این خون از طریق بطن و **مخروط** سرخرگی، وارد سرخرگ **شکمی** شده و به دو طرف **سر** جانور یعنی به **آبشش‌ها** می‌رود. پس از تبادل گازهای تنفسی در مویرگ‌های آبششی، خون‌های روشن پرغذا وارد **سرخرگ پشتی** بدن می‌شوند و از آنجا به صورت یک‌باره و **بدون** عبور از قلب به **تمام مویرگ‌های اندام‌ها** برای تبادل گازها و غذا می‌رسند.

پس از تبادل مواد در مویرگ‌های عمومی اندام‌ها، خون‌های تیره از طریق **یک** سیاهرگ شکمی از عقب جانور به سمت **قلب** می‌روند که قبل از دهلیز به صورت یک برآمدگی به نام **سینوس** سیاهرگی درمی‌آیند تا وارد دهلیز شوند.







چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ سـرخرگ **پشـتی** ماهی خون پر O_2 را از آبشـش‌ها هم به سمت **جلوتر** یعنی به سر می‌رساند و هم به اندام‌های **عقبی** هدایت می‌کند. سیاهرگ شکمی ماهی خون پر CO_2 را از بخش‌های عقبی بدن به سـمت **جلو** یعنی به سـمت قلب می‌راند. از طرفی سـرخرگ شـکمی ماهی رگی است که خون تیره را از قلب به سمت **جلوی** بدن در آبشش‌ها می‌رساند.

۲ خون موجود درون دو حفره دهلیز و بطن قلب آن‌ها فقط خون تیره دارد ولی یاخته‌های آن‌ها باید از خون روشن O_2 بگیرند که این خون از سرخرگ پشتی تأمین می‌شود.

۳ در سینوس سیاهرگی، مخروط سرخرگی و درون حفرات قلب ماهی و نوزاد دوزیست، فقط خون **تیره** وجود دارد.

۴ با توجه به شـکل گردش خون ماهی مشـخص اسـت که بین سینوس سـیاهرگی و دهلیز، یک دریچه وجود دارد. بین دهلیز و بطن نیز یک دریچه و بین بطن و مخروط سرخرگی نیز دریچهٔ دیگری وجود دارد.

۵ مویرگ آبششـی ماهی، همانند مویرگ **پوسـتی** کرم خاکی و شـبکهٔ مویرگی گلومرولی در کلیهٔ انسان (*کهرمک*)، در بین دو **سرخرگ** قرار دارد و فاقد بخش **سیاهرگی** می‌باشـد. در حقیقـت یاد بگیرید که رگ قبل از مویرگ، همواره **سرخرگ** می‌باشـد. (*به‌جز سیاهرگ باب ورودی به کبد که این رگ بین دو مویرگ در اندام‌های گوارشی و کبد قرار گرفته است.*)

۶ دهلیز و سینوس سیاهرگی در سطح بالاتر ولی بطن و مخروط سرخرگی در سطح پایین‌تری قرار گرفته است که همگی در سطح شکمی جانور قرار دارند.

تست ۱۶ در ماهی، مخروط سرخرگی ..... (قلم‌چی)

۱) خون را به سیاهرگ شکمی می‌دهد.
۲) خون را از حفره‌ای ماهیچه‌ای و دریچه‌دار دریافت می‌کند.
۳) برخلاف سینوس سیاهرگی خون روشن را از خود عبور می‌دهد.
۴) به انشعاباتی از مویرگ‌ها ختم می‌شود که در انتها خون تیره دارند.

پاسخ ۲ (A) در ماهی، مخروط سـرخرگی خون را از بطن دریافت می‌کند که حفره‌ای ماهیچه‌ای و دریچه‌دار اسـت (*وجود دریچه در قلب ماهی هم لازم اسـت تا خون تلمبه‌شده در زمان انقباض بطن، به دهلیز برنگردد*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): مخروط سـرخرگی، خون را به **سرخرگ شـکمی** می‌دهد. / گزینهٔ (۳): از قلب ماهی و به دنبال آن، از مخروط سـرخرگی، خون تیره عبور می‌کند. / گزینهٔ (۴): مخروط سرخرگی از طریق سرخرگ شکمی به انشعاباتی از مویرگ‌ها (*درون آبشش‌ها*) ختم می‌شود که در ابتدا خون تیره و در انتها خون **روشن** دارند.

تست ۱۷ در مهره‌دار بالغی که دارای قلب دوحفره‌ای است، ..... (قلم‌چی)

۱) سرخرگ‌ها تنها خون پُر اکسیژن دارند.
۲) بخش سیاهرگی مویرگ‌های آبششی حاوی O_2 زیادی هستند.
۳) گویچهٔ قرمزی که از آبشش‌ها خارج می‌شود با عبور از یک شبکهٔ مویرگی به دهلیز بازمی‌گردد.
۴) در سطح شکمی، فقط سیاهرگ و در سطح پشتی، فقط سرخرگ وجود دارد.

پاسخ ۳ (B) در بین مهره‌داران **بالغ**، فقط **ماهی‌ها** قلب دوحفره‌ای دارند که **سرخرگ شـکمی** آن‌ها برخلاف سـرخرگ پشـتی خون **تیره** دارد، مویرگ‌های آبششی آن‌ها، **فاقد بخش سـیاهرگی** می‌باشـند و در دو طرف آن‌ها سـرخرگ وجود دارد. ماهی در سـطح شکمی **سـیاهرگ و سرخرگ** داشته ولی سطح پشتی فقط سرخرگ اصلی پشتی را دارد (نادرستی گزینه‌های (۱)، (۲) و (۴)). گویچهٔ قرمز عبوری از آبشش‌ها، فقط از وسط مویرگ بافتی عبور می‌کند تا به قلب برسد.

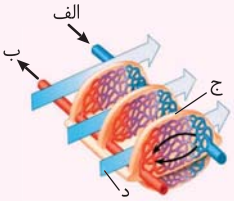
تست ۱۸ در مهره‌داران بالغ با گردش خون ساده ممکن نیست ..... (قلم‌چی)

۱) یاخته‌های ماهیچه‌ای حفرات قلب با خون روشن تغذیه شوند.
۲) خون پس از تبادل گازها از طریق سطح تنفسی، فقط به سمت انتهای بدن حرکت کند.
۳) میزان اکسیژن در خون سرخرگ شکمی و سرخرگ پشتی متفاوت باشد.
۴) انتقال یک‌بارهٔ خون اکسیژن‌دار به مویرگ‌های اندام‌ها صورت پذیرد.

پاسخ ۲ (B) ماهی‌ها تنها مهره‌داران **بالغ** با گردش خون **ساده** هستند و امکان ندارد خون آن‌ها پس از تبادل گازها در آبشش‌ها فقط به سمت انتهای بدن حرکت کند بلکه از طریق سرخرگ پشتی به تمام بدن از جمله سر که جلوتر است نیز هدایت می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): خود یاخته‌های ماهیچه‌ای حفرات قلب نیز همانند همهٔ یاخته‌ها با خون روشن تغذیه می‌شوند. / گزینهٔ (۳): در سرخرگ شکمی خون **تیره** و در سرخرگ پشتی خون **روشن** جریان دارد که همین اختلاف رنگ نشان دهندهٔ اختلاف سطح اکسیژن در خون این دو رگ است. / گزینهٔ (۴): مزیت سیستم گردش خون ساده، انتقال یک‌بارهٔ خون اکسیژن‌دار به تمام مویرگ‌های اندام‌هاست (*به‌این صورت که پس از تبادل گازها، برگشت به قلب صورت نمی‌گیرد*).

تست ۱۹ با توجه به شکل مقابل که مربوط به دستگاه تنفسی نوعی مهره‌دار است، کدام گزینه درست است؟



۱) در (الف)، خون از سرخرگ پشتی منشأ گرفته است.
۲) در (ب) خون می‌تواند به سوی قلب نیز حرکت کند.
۳) (ج) نشان‌دهندهٔ کمان‌های درون تیغه‌های آبششی می‌باشد.
۴) (د) محل عبور آب از بین دو رشتهٔ آبششی را نشان می‌دهد.

پاسخ ۲ B

در شکل سؤال، (الف) خون کم‌اکسیژن، (ب) خون پراکسیژن، (ج) تیغهٔ آبششی و (د)، جریان آب را نشان می‌دهد (*خون پراکسیژن خارج شده از تیغه‌های آبششی می‌تواند به سوی بخش‌های قلب برود و دقت کنید که خون موجود در حفره‌های قلب ماهی، خون تیره بوده که از سیاهرگ شکمی منشأ می‌گیرد*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): خون پر CO_2 وارد شده به شبکهٔ مویرگی آبشش، از سرخرگ شکمی منشأ می‌گیرد. / گزینهٔ (۳): بخش (ج) نشان دهندهٔ تیغه‌های آبششی موجود در رشته‌های آبششی است. / گزینهٔ (۴): بخش (د)، محل عبور آب از بین دو تیغهٔ آبششی را نشان می‌دهد.

ب) گردش خون بسته از نوع مضاعف

این گردش خون در دوزیست **بالغ** با قلب **سه**حفره‌ای (*دو دهلیز و یک بطن*) و خزندگان، پرندگان و پستانداران با قلب **چهار**حفره‌ای دیده می‌شود. در این جانوران، خون ضمن **یک‌بار گردش در بدن**، **دوبار از قلب** می‌گذرد. قلب این جانوران به صورت **دو تلمبه** عمل می‌کند، یک تلمبه با **فشار کمتر** برای رساندن خون به بخش‌های **تنفسی** و تبادلات گازی و تلمبهٔ دیگر با **فشار بیشتر** برای **گردش عمومی** و رساندن خون به **همه جای بدن** عمل می‌کند. در حقیقت تلمبه با فشار کمتر از سمت **راست** قلب و تلمبه با فشار بیشتر از سمت **چپ** قلب شروع به کار می‌کند.

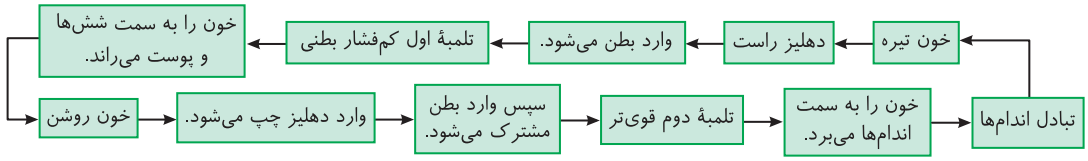
گردش خون در دوزیست بالغ

دوزیستان بالغ حاوی شش‌ها و قلب سه‌حفره‌ای می‌باشند که **دو دهلیز و یک بطن** دارند. دهلیز راست خون **تیره** پرغذا را از اندام‌های گوارشی می‌گیرد و دهلیز چپ خون **روشن** را از شش‌ها و پوست می‌گیرد. خون دو دهلیز، از دهلیز راست و از دهلیز چپ که کاملاً مجزا هستند، وارد یک بطن مشترک می‌شود. پس کمی در بطن خون تیره و روشن با هم مخلوط می‌شوند. اگر در شکل کتاب درسی نیز دقت کنید، رنگ خونی که از بطن دوزیست بالغ خارج شده است، **بنفش** می‌باشد. قلب جانور دو تلمبه می‌زند. تلمبهٔ اول با فشار **کمتر** زده می‌شود تا خون تیره‌تر به سمت **شش‌ها** و **پوست** برود تا تبادل گاز تنفسی کند. تلمبهٔ دوم با قدرت بیشتر زده شده و خون دارای O_2 بیشتر را به سمت اندام‌های بدن می‌برد. در این جانوران **یک رگ** خروجی از بطن وجود دارد که پس از طی مسافتی به دو انشعاب تبدیل شده تا به سمت اندام‌های تنفسی یا سایر اندام‌ها برود.



دوزیست
قلب سه‌حفره‌ای،
گردش خون مضاعف

● خلاصه گردش خون در دوزیست بالغ

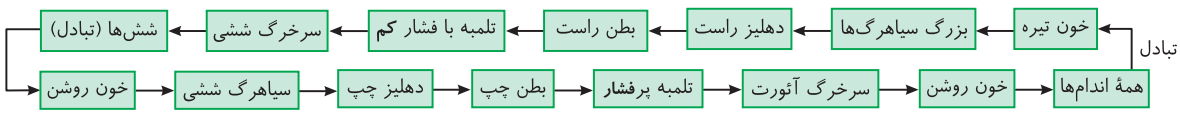


گردش خون در خزنده، پرنده و پستاندار

این گروه قلب چهارحفره‌ای دارند که در پستانداران، پرندگان و **برخی** خزندگان مثل کروکودیل‌ها، **دیوارهٔ بین دو بطن کامل است** و در **قلب** آن‌ها خون تیره و روشن اصلاً با هم **مخلوط نمی‌شوند**. این ویژگی سبب می‌شود که **حفظ فشار** در سیستم گردش خون مضاعف، آسان شود. این **فشار خون بالا** برای رساندن **سریع** مواد غذایی و خون غنی از اکسیژن به بافت‌ها و اندام‌ها، با انرژی زیاد، نقش مهمی دارد و الزامی است.


پستاندار
قلب چهارحفره‌ای،
گردش خون مضاعف

● گردش خون در مهره‌داران دارای قلب چهارحفره‌ای



تست ۲۰ کدام عبارت در مورد مهره‌داران نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) در هر جانوری که قلب بیش از دو حفره دارد، گردش خون به صورت مضاعف است.
۲) هر جانوری که با پمپ فشار مثبت هوا را به شش‌ها هدایت می‌کند، قلب چهارحفره‌ای دارد.
۳) در جانورانی که جدایی کامل بطن‌ها در آن‌ها دیده می‌شود، قلب قطعاً چهارحفره‌ای است.
۴) در جانورانی که تنها خون تیره از قلب عبور می‌کند، تنفس آبششی است.

پاسخ ۲ B

پمپ فشار مثبت در دوزیستان دیده می‌شود در حالی که قلب آن‌ها، در حالت بلوغ، سه‌حفره‌ای است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): قلب سه‌حفره‌ای (*دوزیستان بالغ*) و قلب چهارحفره‌ای (*سایر مهره‌داران به‌جز ماهی‌ها*)، تشکیل دهندهٔ گردش خون مضاعف هستند. / گزینهٔ (۳): تمام قلب‌هایی که دو بطن کاملاً مجزا دارند، دو دهلیز هم دارند که مجموعاً یک قلب چهارحفره‌ای تشکیل می‌دهند. / گزینهٔ (۴): در ماهی‌ها، خون روشن درون حفرات قلب دیده نمی‌شود که این جانوران، گردش خون ساده دارند. می‌دانید که ماهی‌ها از راه آبشش تنفس خود را انجام می‌دهند.

فصل پنجم
تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد

درسنامه

گفتار ۱ هم‌ایستایی توسط کلیه‌ها

با اینکه جانورانی مثل انسان در **محیط خشکی** زندگی می‌کنند، ولی مانند **هر جانور** پریاختهٔ دیگری، **تک تک یاخته‌های** آن در **محیط مایع** زندگی می‌کنند. **همان‌طور که قبلاً توضیح دادیم هر بخشی که غلیظ‌تر باشد، فشار اسمزی بیشتری به همراه مقدار آب کمتری داشته و با فرایند اسمز تمایل به جذب آب بیشتری از محیط رقیق‌تر اطراف خود دارد.** از طرفی به دلیل اینکه هر جانداری باید قدرت **هم‌ایستایی** (*هموستازی*) داشته باشد یعنی با وجود تغییر شرایط محیطی، شرایط **درون** خود را **تقریباً پایدار** نگه دارد، در جانداران پریاخته‌ای و تک‌یاخته‌ای باید **غلظت مایع درون یاخته‌ای، مشابه غلظت مایع بین‌یاخته‌ای یا محیطی باشد** تا جذب و دفع آب یاخته‌ها منظم شود. در غیر این صورت ادامهٔ حیات در اثر از دست دادن یا جذب زیاد آب به مخاطره شدید می‌افتد.

در این فصل به دنبال حل این موضوع هستیم که چگونه بدن، ترکیب شیمیایی و فشار اسمزی درون و بیرون یاخته را تقریباً ثابت نگه می‌دارد. پس می‌خواهیم به مطالعهٔ مکانیسم تشکیل و دفع ادرار در انسان و برخی جانوران بپردازیم. در ابتدا چند نکته در مورد حفظ شرایط درونی بدن را بررسی می‌کنیم.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ مقدار ادرار در هوای **گرم** و همراه ورزش کردن **کمتر** می‌شود که دلیل آن، عرق کردن، کمبود آب بدن و رسیدن خونِ بیشتر به **سطح** بدن می‌باشد. در این حالت از طرفی خون‌رسانی به ماهیچه‌ها زیاد و به کلیه‌ها کم شود تا تولید ادرار کاهش یابد. در این حالت بدن از مقدار آب ادراکم می‌کند. برعکس در هوای **سرد** مقدار ادرار **بیشتر** می‌شود، چون خون به بخش‌های **عمقی** بدن مثل کلیه بیشتر از پوست می‌رسد. با خون‌رسانی بیشتر به کلیه‌ها، فرایند تولید ادرار نیز شدت می‌گیرد.

۲ هم‌ایستایی (*هموستازی*) در **هر** جانداری **برای تداوم حیات** و تنظیم آب و مواد شیمیایی بدن ضرورت دارد. چون **بسیاری از بیماری‌ها** در نتیجهٔ بر هم خوردن هم‌ایستایی بدن رخ می‌دهد.

۳ در دستگاه دفع ادرار، کلیه‌ها در **حفظ هم‌ایستایی** بدن **نقش اساسی** دارند که باعث حفظ تعادل آب، اسید و باز و ***pH*** بدن، یون‌ها و دفع مواد زائد نیتروژن‌دار و سمی می‌شوند و ادرار می‌سازند.

۴ از فصل قبل به یاد دارید که **کلیه‌ها به همراه کبد**، در تولید هورمون **اریتروپویتین** نقش دارند. این هورمون با اثر بر **مغز استخوان** در ساخت **گویچهٔ قرمز** مؤثر است.

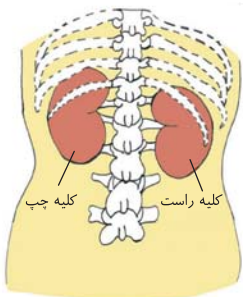
۵ باز هم از فصل قبل به یاد دارید که مویرگ خونی کلیه‌ها از نوع منفذدار با غشای پایه ضخیم می‌باشد.

بررسی کلیه‌ها در انسان

الف) موقعیت کلیه‌ها

در انسان سالم و **بالغ**، دو کلیهٔ لوبیایی‌شکل (*نه به اندازهٔ لوبیا!*) تقریباً هر کدام به اندازهٔ مشت بستهٔ هر فرد در **زیر دیافراگم**، در سطح **پشتی شکم** و **طرفین** ستون مهره‌ها وجود دارد. به دلیل **شکل** و **موقعیت قرارگیری کبد** که روی کلیه سمت **راست** قرار گرفته، این کلیه قدری از کلیهٔ سمت **چپ پایین‌تر** می‌باشد. (*پس فاصلهٔ کلیه سمت راست تا دیافراگم، بیشتر از کلیه سمت چپ تا این پرده می‌باشد.*)

یادآوری: از فصل‌های قبل آموختید که مویرگ خونی کلیوی از نوع منفذدار است و از طرفی هر کلیه توانایی تولید هورمون اریتروپویتین به خون برای تنظیم تولید مقدار گویچهٔ قرمز در مغز قرمز استخوان دارد.

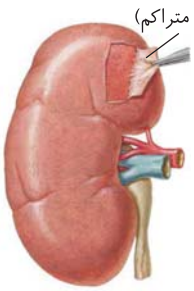


«موقعیت کلیه‌ها در انسان از نمای پشت»

ب) عوامل بیرونی محافظت‌کننده از کلیه‌ها

۱) **دنده‌ها:** استخوان‌هایی هستند که از **بخشی** از کلیه‌ها محافظت می‌کنند. این عوامل اغلب از بافت **پیوندی استخوانی** می‌باشند. اگر در شکل زیر دقت کنید، ملاحظه می‌کنید که به دلیل پایین‌تر بودن کلیه راست، در سمت راست **یک** دنده و در سمت چپ **دو** دنده روی بخشی از قسمت فوقانی پشت کلیه را پوشانده است. (*دقت کنید که دنده‌ها همگی از عقب به ستون مهره‌ها متصل هستند ولی از جلو، برخی دنده‌ها به جناغ متصل نمی‌باشند.*)

۲) **پردهٔ شفافی از جنس بافت پیوندی متراکم:** این پرده به نام **کپسول کلیه** دور تمام قسمت‌های هر کلیه وجود دارد. این پرده به راحتی از روی هر کلیه جدا می‌شود.



«کپسول کلیه»

یادآوری: بافت پیوندی متراکم از بافت پیوندی سست:
الف) رشته‌های کلاژن و مقاومت **بیشتری** دارد.
ب) تعداد یاخته، مادهٔ زمینه‌ای و انعطاف‌پذیری **کمتری** دارد.

۳) آخرین عامل بیرونی محافظت‌کننده از کلیه‌ها، **چربی** می‌باشد که نوعی بافت **پیوندی** است و در اطراف کلیه‌ها وجود دارد. این بافت عایق، هم کلیه‌ها را از ضربه‌ها **محافظت** می‌کند و هم در **حفظ موقعیت** کلیه نقش مهمی دارد.

نکته
اگر به هر دلیلی مثلاً **کاهش وزن شدید** و **سریع**، **چربی** روی کلیه **بیش از حد** تحلیل رود، ممکن است کلیه به دلیل **افتادگی نسبی** از موقعیت خود خارج شود که در این حالت احتمال **تاخوردن میزنای** (*مجرای دهندهٔ ادرار به مثانه*) را زیاد کرده و باعث خطر بسته شدن **میزنای** و **عدم تخلیهٔ مناسب ادرار از کلیه به مثانه می‌شود.** این وضعیت **در نهایت** می‌تواند با فشار به کلیه سبب نارسایی کلیوی و اشکال در هم‌ایستایی یا هومئوستازی شود.

یادآوری

در فصل ۲ آموختیم که بافت چربی
- نوعی بافت پیوندی سرشار از یاخته‌های چربی‌دار می‌باشد.
- بزرگ‌ترین ذخیره‌کنندهٔ **انرژی** در بدن است.
- در بخش‌هایی مثل کلیه‌ها، کف دست‌ها و پاها نقش **ضربه‌گیر** دارد.
- نوعی عایق **حرارتی** می‌باشد.
- فضای بین‌یاخته‌ای متفاوت دارد.
- هستهٔ هر یاخته در نزدیک غشا قرار دارد.

تست ۱
کدام عبارت درست است؟ «در یک فرد بالغ .....»
۱) مادهٔ زمینه‌ای بافتی که اطراف هر کلیه را احاطه کرده است، دارای رشته‌های کلاژن است.
۲) در اثر تحلیل رفتن بافت چربی اطراف کلیه، احتمال تاخوردگی میزراه وجود دارد.
۳) بخشی تحتانی از کلیه‌ها توسط بافت استخوانی محافظت می‌شود.
۴) میزنای در مقطعی پایین‌تر از سرخرگ و سیاهرگ اصلی به یک کلیه متصل است.

پاسخ ۴ C
با توجه به شکل کتاب درسی و درسنامه متوجه می‌شوید که در یک کلیه به ترتیب از بالا به پایین، سرخرگ، سیاهرگ و میزنای وجود دارد.

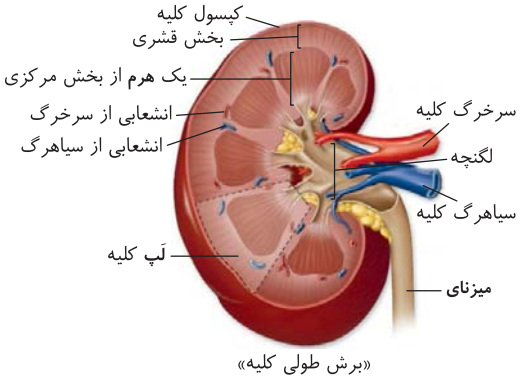
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): کپسول کلیه، اطراف هر کلیه را احاطه کرده است و از جنس بافت **پیوندی** است ولی رشته‌های کلاژن آن، جزئی از بافت زمینه‌ای آن نمی‌باشند. / گزینهٔ (۲): دقت کنید که تحلیل چربی سبب تاخوردگی **میزنای** می‌شود (*نه میزراه!*). / گزینهٔ (۳): بخش **بالایی** کلیه‌ها توسط دنده‌ها محافظت می‌شوند.

ج) ساختار درونی هر کلیه

اگر یک برش **طولی** به کلیهٔ انسان (*یا گوسفند*) بزنیم، در **زیر کپسول** آن، **سه ناحیه** مشخص می‌شود که از **بیرون به درون** آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

۱) بخش قشری هر کلیه

بخشی بین **کپسول** و بخش مرکزی هر کلیه است که حاوی بخش‌هایی فراوان از گردیزه‌ها می‌باشد. این بخش از بخش مرکزی نازک‌تر است.



«برش طولی کلیه»

● ۲) بخش مرکزی هر کلیه

این بخش تعدادی ساختار **هرمی‌شکل** دارد. در هرم‌های کلیه، **قاعدهٔ** هر هرم به سمت بخش **قشری** و نوک آن به سمت لگنچه می‌باشد. به مجموعهٔ **هر هرم موجود در بخش مرکزی کلیه و بخش قشری** مربوط به آن یک **لپ کلیه** می‌گویند. رأس هر هرم کلیه در مرکز به سمت **لگنچه** می‌باشد. **همهٔ هرم‌ها**، ادرار تولید کرده در خود را به **لگنچه** در بخش مرکزی کلیه وارد می‌کنند. (با توجه به تشکل کتاب بخش مرکزی لپ علاوه بر هرم، کمی از دو بخش اطراف هرم در بین آن‌ها را نیز دربر می‌گیرد.)

◀ انشعابات رگ‌های خونی در بخش‌های مختلف قشری و مرکزی وجود دارند.

● ۳) لگنچه

ساختاری شبیه **قیف** است. این قیف از بخش دهانه حجیم‌تر خود به بخش **مرکزی** کلیه متصل می‌باشد. ادرار تولید شده در **لپ‌های کلیه** به آن (لگنچه) وارد شده تا از راه آن به میزنای هدایت شود و کلیه را به سوی **مثانه** ترک کند. (دقت کنید که لگنچه ادرار تولید نمی‌کند بلکه ادرار به آن وارد می‌شود.)

نکته

با توجه به شکل زیر، در برش طولی کلیه، سرخرگ کلیه بالای سیاهرگ و میزنای زیر این دو رگ اصلی هر کلیه قرار دارد.

نکات تشریح کلیه گوسفند

۱) میزنای، سرخرگ و سیاهرگ کلیه در **بین چربی** روی کلیه قابل تشخیص است.

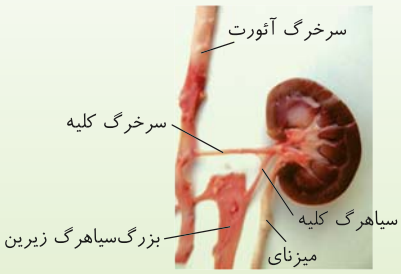
۲) کپسول کلیه با بریدن قسمتی از آن، **به راحتی** جدا می‌شود.

۳) منفذ میزنای در وسط لگنچه مشخص است که با وارد کردن سوند به آن می‌توان اطمینان یافت که تشخیص آن درست بوده است.

۴) با توجه به شکل مقابل که کلیه سمت چپ را نشان می‌دهد، سیاهرگ بزرگ زیرین به آن نزدیک‌تر از سرخرگ آئورت می‌باشد.

۵) با توجه به شکل در گوسفند، سیاهرگ کلیه سمت چپ کوتاه‌تر از سرخرگ کلیه می‌باشد.

۶) مدخل میزنای پایین‌تر از سرخرگ و سیاهرگ کلیه می‌باشد.



تست ۲ چند مورد عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در برش طولی از یک کلیه .....» (قلم‌چی)

الف) کپسول کلیه در مجاورت ساختارهایی قرار دارد که رأس آن‌ها به سمت لگنچه است.

ب) در یک لپ کلیه، هر قسمتی از گردیزه‌ها قابل مشاهده است.

ج) بخشی از کلیه که جز لپ کلیه نمی‌باشد، می‌تواند در مجاورت بافت چربی قرار داشته باشد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) صفر مورد

پاسخ ۲ گزینهٔ C

موارد (ب) و (ج) صحیح می‌باشند. (عبارت (ج) در مورد کپسول کلیه صحیح می‌باشد.)

نکته‌های تستی الف) نادرست است. کپسول کلیه در مجاورت بخش قشری قرار دارد نه بخش مرکزی و هرم‌ها که رأس آن‌ها به لگنچه نزدیک است. / ب) درست است. لپ کلیه در دو بخش قشری و مرکزی خود قسمت‌های مختلف نفرون را جای داده است. / ج) درست است. منظور لگنچه می‌باشد. در فعالیت آمده است که در بین چربی کلیه می‌توان میزنای، سرخرگ و سیاهرگ را تشخیص داد که این رگ‌ها و مجاری در نزدیکی لگنچه قرار دارند.

گردیزه‌ها (نفرون‌ها) و ساختار آن‌ها

به **ساختار عمل** در هر کلیه، **گردیزه یا نفرون** می‌گویند. هر کلیه حدود یک میلیون گردیزه دارد که فرایند تشکیل ادرار در آن‌ها **آغاز** می‌شود.

اجزای هر گردیزه:

- بخش قیف‌مانند ← کپسول بومن ← شروع فرایند تشکیل ادرار را انجام می‌دهد.
- بخش لوله‌ای‌شکل:
  - با پیچ‌خوردگی:
    - لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک:
      - بین کپسول بومن و لولهٔ هنله می‌باشد.
      - در بخش قشری کلیه قرار دارد.
    - لولهٔ پیچ‌خوردهٔ دور:
      - بین هنله و لولهٔ جمع‌کنندهٔ ادرار است.
      - آخرین بخش نفرون می‌باشد.
      - در بخش قشری کلیه است.
  - بدون پیچ‌خوردگی زیاد ← قوس U شکل هنله:
    - بین لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک و دور می‌باشد.
    - در بخش قشری و مرکز کلیه قرار دارد.

چند نکته در بررسی تست‌ها

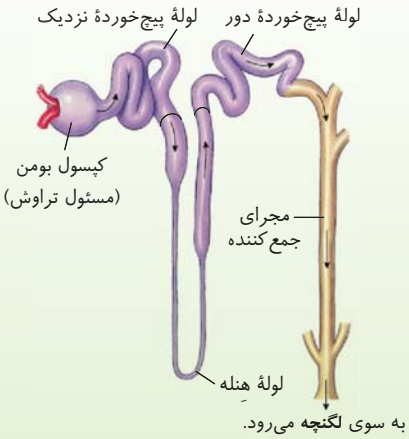
۱) در لولهٔ U شکل هنله، **ابتدای** پایین‌روی آن و **انتهای** بالاروی آن **قطورتر** است که طول منطقهٔ **قطور** در بخش **بالارو از پایین‌رو بیشتر** است.

۲) هر گردیزه از چهار بخشِ کپسول بومن، لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک، قوس U شکل هنله و لولهٔ پیچ‌خوردهٔ دور تشکیل شده است که لولهٔ **پیچ‌خوردهٔ دور** آن به مجرای جمع کنندهٔ ادرار، در بخش **مرکزی** کلیه متصل می‌شود. ادرار درون مجرای جمع کننده از **چند** گردیزه به آن وارد می‌شود و سپس به لگنچه می‌ریزد. *(دقت کنید که مجرای جمع‌کننده از اجزای گردیزه نمی‌باشد.)*

۳) در بخش مرکزی کلیه، مجاری جمع کنندهٔ ادرار و قوس U شکل هنله، به هر **هرم** ظاهر **مخطط** می‌دهند. در هرم‌های کلیه، **مجاری جمع‌کننده**، ادرار را به سوی لگنچه می‌برند.

۴) در یک **لپ** کلیوی، **همه** اجزای هر گردیزه موجود می‌باشد ولی در **هرم‌های** کلیه که در بخش مرکزی هستند، بخش **زیادی** از لولهٔ U شکل هنله گردیزه‌ها و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار وجود دارند.

۵) **لگنچه**، بخش قیف‌مانند هر کلیه در درونی‌ترین قسمت آن است ولی کپسول بومن، بخش قیف‌مانند هر گردیزه در بخش قشری یا **بیرونی** کلیه می‌باشد.



«گردیزه و مجرای جمع کننده»

گردش خون در کلیه‌ها

چون منشأ ادرار نیز از **خون** *(یادت باشه بافت پیوندی!)* می‌باشد، پس باید بین رگ‌های خونی و گردیزه‌ها، ارتباط **تنگاتنگی** وجود داشته باشد. در این قسمت نیز مانند هر جای بدن، **مویرگ‌ها** به تبادل مواد می‌پردازند.



«منفذدار»

نکته

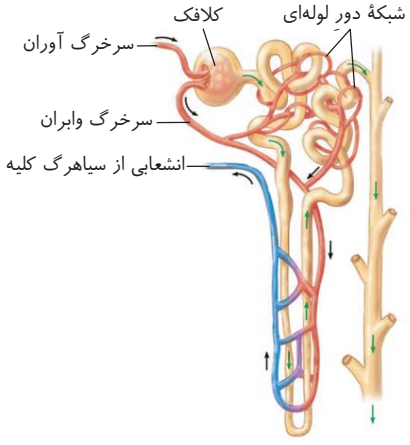
از فصل قبل به یاد دارید که مویرگ‌های **کلیوی** از نوع **منفذدار** همراه با غشای پایه صافی‌مانند با لایهٔ **پروتئینی** برای ممانعت از خروج مولکول‌های بسیار درشت می‌باشند. این مویرگ‌ها **منافذ** زیاد در غشای یاخته‌ای دارند.

بررسی مسیر گردش خون در کلیه

به هر کلیه، **یک** انشعاب از سرخرگ **آئورت** به نام سرخرگ کلیوی از وسط کلیه وارد می‌شود. این سرخرگ **مادهٔ زائد نیتروژن‌دار زیادی** دارد ولی مقدار O_2 و مواد غذایی آن *(برخلاف مقدار CO_2)*، **زیاد** است. سرخرگ کلیه در بخش **مرکزی** کلیه به انشعاباتی به نام **سرخرگ بین هرم‌ها** تقسیم می‌شود و از بین هرم‌ها، عبور می‌کنند تا بالاخره وارد بخش **قشری** کلیه شوند و به سرخرگ‌های کوچک‌تری تبدیل گردند.

در **نزدیکی کپسول بومنِ** هر گردیزه، یک سرخرگ کوچک به نام **سرخرگ آوران** منشعب می‌شود که **درونِ قسمتِ داخلیِ قیف‌مانندِ کپسولِ بومن** یک شبکهٔ مویرگی به نام **کلافک** *(گلومرول یا شبکهٔ مویرگی اول)* ایجاد می‌کند و مواد **زائد و غیرزائد** با فرایندی به نام **تراوش** *(در گفتار بعد می‌خوانید)*، از خون کلافک وارد مجرای گردیزه می‌شوند.

پس از کلافک، **سرخرگی دیگر** که از آوران **قطر کمتر** دارد و سرخرگ **وابران** نامیده می‌شود، کپسول بومن را ترک می‌کند و وارد بخش لوله‌ای نفرون می‌شود. سرخرگ کوچک وابران ابتدا دو شاخه می‌شود که در اطراف **لوله‌های پیچ‌خوردهٔ نزدیک و دور و قوس هنله** شبکهٔ مویرگی دیگری *(شبکهٔ مویرگی دوم)* را به نام **شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای** می‌سازد. این شبکهٔ مویرگی با عمل **بازجذبِ** موادِ مورد نیاز و **ترشح** مواد زائد دیگر به مجرا، در نهایت موجب تشکیل ادرار می‌شود. شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای پس از پیوستن به هم، **سیاهرگ‌های** کوچکی را می‌سازند که در نهایت به صورت **یک** سیاهرگ کلیه با CO_2 زیاد ولی مواد زائد نیتروژن‌دار و O_2 و غذای **کم** درمی‌آیند. این سرخرگ، خون را از مرکز هر کلیه خارج کرده تا از راه بزرگ‌سیاهرگ **زیرین** به دهلیز راست برسد.



«شبکه‌های مویرگی مرتبط با گردیزه»

نکاتی در بررسی تست‌ها

۱) کلافک نوعی شبکهٔ مویرگی در انسان می‌باشد که **همانند** شبکهٔ مویرگی آبشش ماهی‌ها، **فاقد بخش سیاهرگی** می‌باشد. البته دقت کنید که در شبکهٔ مویرگی کلافکی کلیه‌های انسان، **برخلاف** شبکهٔ مویرگ‌های آبششی ماهی، دو طرف آن سرخرگ‌هایی با خون **روشن** در جریان می‌باشند ولی در آبشش ماهی سرخرگ شکمی ورودی به آبشش خون **تیره** و سرخرگ خروجی پشتی خون **روشن** دارد.

۲) سرخرگ‌های آوران و وابران، از انواع سرخرگ‌های **کوچک** بوده که نسبت لایه کشسان آن **کمتر** و بافت ماهیچه‌ای مقاوم **بیشتری** برای مقاومت در مقابل عبور خون دارند. این سرخرگ‌ها تغییر قطر **اندکی** در فعالیت‌های مختلف و ورود خون به خود دارند.

۳) با توجه به شکل گردش خون گردیزه‌ها مشاهده می‌شود که بیشتر انشعابات **شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای** که حاوی خون تیره می‌باشند، در بخش مرکزی کلیه و در مجاورت لولهٔ هنله و **سیاهرگ‌های نزدیک آن** قرار دارند.

۴ شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای در اطراف لوله‌های جمع‌کنندهٔ ادرار قرار ندارند ولی قسمتی از آن که در اطراف بخش **نازک** *U* شکل لولهٔ هنله در **گردیزه‌ها** هستند، **در بخش مرکزی کلیه** (*هرم‌ها*) قرار دارند.

۵ جهت جریان خون سرخرگ وابران در اطراف لولهٔ *U* شکل هنله از **قشر** کلیه به سمت **مرکز** بوده ولی سیاهرگ کوچک اطراف این لوله، جریان خون را از **مرکز** کلیه به سمت بخش **قشری** دریافت می‌کند.

۶ به‌طور معمول، سرخرگ آوران و شبکهٔ مویرگی کلافکی در بخش **قشری** کلیه بوده ولی شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای در بخش **قشری و مرکزی** کلیه قرار دارد.

۷ با توجه به شکل می‌توان برداشت کرد که انشعابی از سرخرگ وابران به سمت لولهٔ پیچ‌خوردهٔ دور و نزدیک هر نفرون می‌رود ولی انشعاب دیگر به سمت لولهٔ هنله وارد می‌شود. البته انتهای انشعاب لوله‌های پیچ‌خورده با انشعابات رگی لولهٔ هنله در ارتباط هستند.

مسیر گردش خون در کلیه

سرخرگ کلیه ← سرخرگ بین هرمی ← سرخرگ کوچک قشری ← سرخرگ کوچک آوران ← کلافک (گلومرول) ← سرخرگ کوچک وابران

سرخرگ کوچک وابران ← شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای ← سیاهرگ کوچک ← سیاهرگ بین هرم‌ها ← سیاهرگ کلیه ← خروج از ناف کلیه

تست ۳ **بخشی از گردیزه که شبیه قیف است ..... بخشی از کلیه که ساختاری شبیه قیف دارد، .....** (قلم‌چی)

۱) همانند - در تولید ادرار نقش دارد.
۲) همانند - با میزنای در ارتباط است.
۳) برخلاف - در ارتباط با شبکهٔ مویرگی تشکیل دهندهٔ سرخرگ وابران است.
۴) برخلاف - به بخش مرکزی تعلق دارد.

پاسخ ۳ **A** کپسول بومن، بخشی از گردیزه است که شبیه قیف می‌باشد ولی لگنچه بخشی از کلیه است که ساختاری شبیه قیف دارد. کپسول بومن برخلاف لگنچه با کلافک در ارتباط است که در انتها سرخرگ وابران را به وجود می‌آورد. (*لگنچه در تشکیل ادرار نقش ندارد.*)

تست ۴ **در بخش قشری کلیه‌های انسان رگی که بین دو شبکهٔ مویرگی رابطه برقرار می‌کند، .....** (قلم‌چی)

۱) دارای خون روشن و با خون‌بهر بالاتر از معمول است.
۲) دارای خون تیره و با خون‌بهر بالاتر از معمول است.
۳) دارای خون روشن و با خون‌بهر کمتر از معمول است.
۴) دارای خون تیره و با خون‌بهر کمتر از معمول است.

پاسخ ۱ **B** در کلیه انسان، **سرخرگ وابران** بین دو شبکهٔ مویرگی واقع شده است که دارای **خون روشن** می‌باشد و به دلیل تراوش زیاد در شبکهٔ مویرگی کلافکی، سرخرگ وابران آب کمتر و درصد خون‌بَهر بالاتری از آوران دارد.

درسنامه

گفتار ۲ فرایند تشکیل ادرار و تخلیهٔ آن در انسان

همان‌طور که در گفتار قبل گفتیم، فرایند تشکیل ادرار در گردیزه‌ها آغاز می‌شود. این فرایند در سه مرحلهٔ **تراوش، بازجذب و ترشح** صورت می‌گیرد که قبل از بررسی دقیق آن‌ها مسیر گردش خون و رگ‌های خونی کلیه را یادآوری می‌کنیم.

یادآوری: مسیر گردش خون در کلیه

سرخرگ کلیه ← سرخرگ بین هرمی ← سرخرگ قشری ← سرخرگ کوچک آوران ← شبکهٔ اول مویرگی (گلومرول) ← سرخرگ کوچک وابران ← شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای ← سیاهرگ کوچک ← سیاهرگ بین هرمی ← سیاهرگ کلیه ← سیاهرگ بزرگ زیرین

ویژگی مویرگ‌های کلافک (گلومرول = شبکهٔ اول مویرگی)

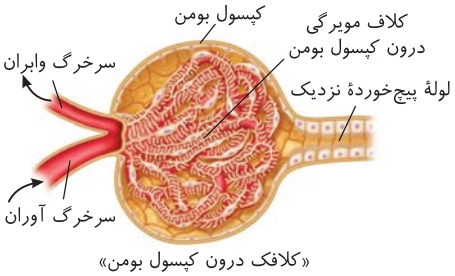
این مویرگ‌ها درون حفرهٔ **داخلی** کپسول بومن واقع شده‌اند که در دو طرف آن‌ها سرخرگ آوران و وابران قرار دارند. این مویرگ‌ها، **منافذ زیادی** در دیوارهٔ خود دارند، به همین دلیل امکان خروج مواد مختلف زائد و غیرزائد را **فقط براساس اندازهٔ آن‌ها** (*نه براساس نیز بدن!!*) به خوبی فراهم می‌کنند. البته **به‌طور معمول**، مولکول‌های بزرگ مثل پروتئین‌ها، به دلیل اندازهٔ بزرگ خود نمی‌توانند از منافذ مویرگی دیوارهٔ کلافک‌ها عبور کنند.



یادآوری: مویرگ‌های **کلیه** از نوع **منفذدار** هستند که **یک لایهٔ پروتئینی** یا همان غشای پایه ضخیم برای ممانعت از عبور مولکول‌های **درشت** دارند.

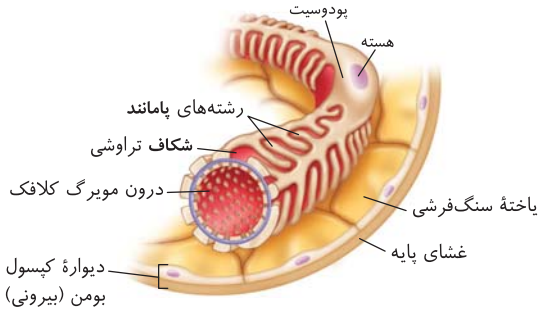
ویژگی کپسول بومن و لایه‌های آن

کپسول بومن اولین قسمت هر گردیزه می‌باشد. این قسمت **قیف**‌مانند، دارای **دو دیوارهٔ یاخته‌ای** است که **دیوارهٔ درونی** آن در حفرهٔ قیف واقع شده و با **کلافک مویرگی** (*گلومرول*) در تماس می‌باشد ولی دیوارهٔ بیرونی آن در تماس با رگ خونی کلافکی نمی‌باشد. در حقیقت لایهٔ درونی کپسول بومن فضایی را ایجاد کرده است که شبکهٔ مویرگی گلومرولی در آن قرار گرفته است.



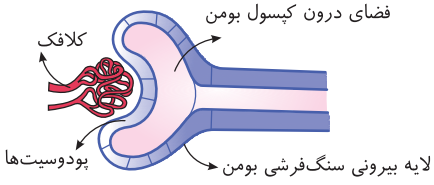
«کلافک درون کپسول بومن»

همان‌طور که شبکهٔ مویرگی کلافکی (*گلومرول*)، دارای منافذ **متعدد** می‌باشند، یاخته‌های دیوارهٔ **درونی** کپسول بومن نیز شکل ویژه‌ای دارند تا **مواد** خارج شده از گلومرول بتوانند از طریق این ویژگی‌های **شکاف‌های کپسول بومن** وارد گردیزه شوند. در حقیقت یاخته‌های **دیوارهٔ درونی** کپسول بومن که به سمت کلافک (*گلومرول*) می‌باشند، نوع خاصی از یاخته‌های **پوششی** تک‌هسته‌ای به نام **پودوسیت** (*یاختهٔ پادار*) می‌باشند. **هریک از پودوسیت‌ها**، **رشته‌های کوتاه و پامانند فراوان** دارد. پاهای یاخته‌ای پودوسیت‌ها، اطراف مویرگ‌های کلافک را احاطه می‌کنند و **شکاف‌های باریک متعددی** در **بین پاها** ایجاد می‌کنند. دقت کنید که این پاهای متعدد متعلق به یک یاخته هستند که در بین خود شکاف‌های باریک برای عبور مواد از یاخته ایجاد کرده‌اند.



«دیوارهٔ بیرونی و درونی کپسول بومن»

در این حالت مواد **به راحتی** و به خوبی امکان نفوذ از **گلومرول به گردیزه** را پیدا می‌کنند که به آن تراوش می‌گویند (*جلوتر بررسی می‌کنیم*). در حقیقت مواد درون رگ خونی گلومرول، برحسب **اندازهٔ** خود از یاخته‌های سنگ‌فرشی کلافک و غشای پایه آن عبور کرده و سپس از شکاف‌های بین رشته‌های پامانند هر یاختهٔ پودوسیتی (*نه از فضای بین یاخته‌ای*) عبور می‌کنند تا وارد فضای درون کپسول بومن بشوند. در حقیقت پاهای پودوسیت‌ها دور کلافک را احاطه کرده‌اند و ارتباط تنگاتنگی با هم دارند.



نکته یاخته‌های دیوارهٔ **بیرونی** کپسول بومن که در تماس با کلافک نیستند، همانند بافت پوششی داخلی رگ‌ها و بیشتر یاخته‌های حبابک تنفسی (*یاخته‌های نوع اول*) از نوع **سنگ‌فرشی ساده** می‌باشند. این یاخته‌ها نیز در سطح خارجی خود یک غشای پایه دارند. پس هر دو نوع یاخته کپسول بومن از بافت پوششی است ولی شکل و کار آن‌ها متفاوت است.

نکته بین گلومرول و پودوسیت‌ها یک غشای پایه و خارج یاخته‌های سنگ‌فرشی کپسول بومن نیز غشای پایه دیگری وجود دارد. پس همانند شش‌ها در اینجا نیز غشای پایه می‌تواند بین دو بافت پوششی باشد.

تست ۵ **کدام مورد عبارت را به نادرستی کامل می‌کند؟ «در سرخرگ وابران نسبت به .....»** (قلم‌چی)

۱) سرخرگ آوران از میزان مواد زائد نیتروژن‌دار کاسته شده است.

۲) انشعاب سرخرگ کلیه بر نسبت میزان CO_2 ی خون به O_2 افزوده شده است.

۳) سرخرگ آوران بر میزان گلوکز خون افزوده شده است.

۴) انشعاب سرخرگ کلیه از میزان سرعت جریان خون کاسته شده است.

پاسخ ۳ **B** گلوکزهای موجود در سرخرگ آوران در طی تراوش از طریق کلافک در کپسول بومن وارد لوله‌های ادراری و در شبکه‌های مویرگی دورلوله‌ای بازجذب می‌شوند، پس امکان ندارد میزان گلوکز در سرخرگ وابران نسبت به سرخرگ آوران بیشتر باشد.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): چون در کلافک اغلب مواد زائد از رگ خارج می‌شود، پس سرخرگ وابران مادهٔ زائد کمتری دارد. / گزینهٔ (۲): چون در مویرگ‌ها مقداری تبادل گاز تنفسی رخ می‌دهد، پس مقدار CO_2 زیاد می‌شود. / گزینهٔ (۴): هرچه سرخرگی باریک‌تر می‌شود، فشار خون آن کمتر می‌شود.

بررسی مراحل ساخت ادرار

الف) تراوش

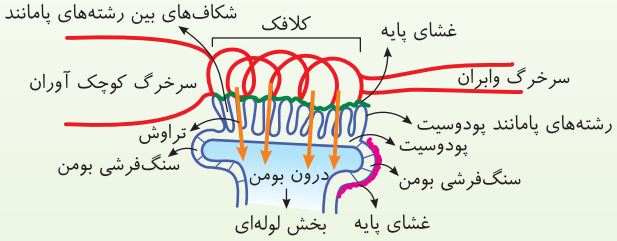
اولین مرحلهٔ تشکیل ادرار، تراوش است که به‌طور معمول در بخش **قشری** کلیه و همواره در **کپسول بومن** صورت می‌گیرد. تراوش یعنی **آب و مواد محلول** در خوناب (*همهٔ قسمت‌های خون بجز پروتئین‌ها و بخش یاخته‌ای*) در نتیجهٔ **فشار خون** (*فشار تراوشی*) از کلافک (*شبکهٔ مویرگی گلومرول*) خارج شده و **وارد مجرای گردیزه‌ای** شوند. همان‌طور که گفتیم به دلیل وجود **منافذ متعدد** در **کلافک‌های مویرگی گلومرول** و **شکاف‌های متعدد فراوان** در بین پاهای پودوسیت‌ها در دیوارهٔ **داخلی** کپسول بومن، ساختار این قسمت‌ها برای **تراوش** متناسب شده‌اند. در این عمل مواد مفید و غیرمفید موجود در مویرگ‌های گلومرولی می‌توانند **فقط** برحسب **اندازهٔ خود** و تحت تأثیر **فشار خون** وارد مجرای درون گردیزه شوند. این فشار خون در کلافک‌ها از این جهت ایجاد می‌شود که قطر سرخرگ وابران از سرخرگ آوران **کمتر** بوده و زمان ماندن خون در مویرگ‌های کلافکی را **افزایش** می‌دهد (*تصور کنید که آب از یک لولهٔ گشاد به یک محل آمده و حالا می‌خواهد از لولهٔ تنگی خارج شود خب بدیهی است که زمان بیشتری طول می‌کشد*). با این عمل برخورد مواد درون مویرگ کلافکی به جدار آن بیشتر شده و تراوش با زمان و قدرت بیشتری صورت می‌گیرد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ تراوش فقط در اثر فشار خون (*یعنی فشار وارد شده بر دیوارهٔ مویرگی گلومرول*) صورت می‌گیرد که زیادتر بودن قطر سرخرگ آوران قبل از گلومرول نسبت به قطر سرخرگ وابران بعد از گلومرول سبب افزایش فشار خون یا تراوشی در کلافک می‌شود. یعنی خونی که از سرخرگ آوران وارد گلومرول می‌شود با سرعت **کمتری** وارد سرخرگ وابران می‌شود.

۲ به این موضوع فکر نکنید که در کپسول بومن، سرخرگ آوران بالاتر است یا وابران! چون این موضوع بستگی به حالت قرارگیری میلیونی گردیزه‌ها دارد. همان‌طور که می‌بینید در کتاب درسی نیز هر دو حالت را کشیده است.

۳ **توضیح شکل مقابل:** برای تراوش، مواد باید از **منافذ** مویرگی کلافک‌ها، غشای پایهٔ **ضخیم** اطراف کلافک‌ها و **شکاف‌های** متعدد بین رشته‌های هر پودوسیت کپسول بومن عبور کنند تا به درون فضای کپسول بومن برسند. این عمل اولین مرحله از فرایند تشکیل ادرار به نام **تراوش** می‌باشد ولی به مایع درون گردیزه‌ها نباید لفظ ادرار تعلق بگیرد. ادرار نهایی در مجرای جمع‌کننده تشکیل شده که وارد لگنچه می‌شود.



۴ تراوش فقط برحسب **اندازه**، یعنی ریزی یا درشتی مواد و برحسب فشار خون صورت می‌گیرد و هیچ انتخاب دیگری مثلاً برحسب نیاز بدن به ماده‌ای یا عدم نیاز مواد زائد برای تراوش صورت نمی‌گیرد، بنابراین در اثر تراوش، هم مواد **دفعی** مثل اوره و هم مواد **مفیدی** مثل گلوکز، آمینواسید و... به کپسول بومن **گردیزه‌ها** وارد می‌شوند. البته دقت کنید که فشار اسمزی حاصل از **پروتئین‌های** پلاسمایی درون رگ، تا حدی می‌تواند مخالف تراوش عمل کند و تراوش را **کاهش** دهد، چون مانند هر مویرگی در بدن، تبادل مواد در مویرگ‌ها تابع دو فشار خون و اختلاف فشار اسمزی می‌باشد.

۵ دقت داشته باشید که کلافک (*گلومرول*) بین دو سرخرگ کوچک واقع شده است و در حقیقت این مویرگ‌ها فاقد بخش سیاهرگی می‌باشند. از طرفی کلافک‌های کلیه انسان فقط خون روشن دارند و مقدار CO_2 آن‌ها به نسبت O_2 بسیار کمتر است. از طرفی بدیهی است که طی تراوش به دلیل خروج خوناب، به تدریج مقدار خون‌بهر درون این شبکه افزایش می‌یابد.

تست ۶ کدام گزینهٔ زیر صحیح می‌باشد؟

۱) هر چند یاختهٔ پودوسیتی، یک رشتهٔ پامانند می‌سازند.

۲) هر پودوسیت تعدادی هسته و رشته‌های کوتاه پامانند دارد.

۳) همهٔ رشته‌های کوتاه پامانند هر پودوسیت، اطراف مویرگ کلافکی را احاطه کرده‌اند.

۴) به مجموع فواصل بین پاهای هر پودوسیت، یک شکاف تراوشی می‌گویند.

پاسخ A ۳

- لایهٔ درونی کپسول بومن یک ردیف یاختهٔ پادار به نام پودوسیتی دارد که از بافت پوششی می‌باشند.
- هر پودوسیت تعداد **فراوانی** رشته‌های کوتاه پامانند به همراه **یک** هسته دارد (نادرستی گزینه‌های (۱) و (۲)).
- پاهای فراوان پودوسیت سبب تشکیل **تعداد زیادی** شکاف تراوشی و احاطه کردن شبکهٔ مویرگی کلافکی شده است (درستی گزینهٔ (۳) و نادرستی گزینهٔ (۴)).

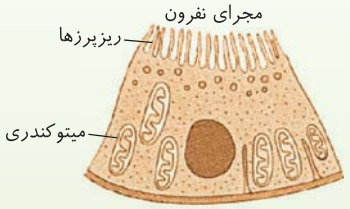
ب) بازجذب

همان‌طور که مشاهده کردید در تراوش علاوه بر مواد زائد، مواد کوچک مفید و مورد نیاز بدن نیز می‌توانند وارد گردیزه شوند که این مواد برای ادامهٔ حیات بسیار ضروری هستند و باید به خون برگردند. **بازجذب** دومین مرحلهٔ تشکیل ادرار است و به معنی **برگشت** مواد **مفید** و مورد نیاز بدن از درون مجرای جمع‌کنندهٔ ادرار یا از بخش‌های **لوله‌ای** گردیزه یعنی لوله‌های پیچ‌خوردهٔ **دور و نزدیک و هنله** به خارج از این مجاری و ورود این مواد به **مویرگ‌های دورلوله‌ای** می‌باشد تا دوباره به سیستم گردش خون **عمومی** برگردند.

نکات مهم

۱) بازجذب فرایندی است که در مورد **بیشتر مواد** با مکانیسم **انتقال فعال** و صرف انرژی زیستی (ATP) صورت می‌گیرد، اگرچه در مورد **برخی** مواد مثل **آب**، بازجذب می‌تواند غیرفعال، بدون صرف انرژی زیستی و به صورت اسمز باشد.

۲) **بیشترین بازجذب** مواد در **لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک** صورت می‌گیرد. یعنی **به محض** ورود مواد تراوش شده از کپسول بومن به آنجا، عمل بازجذب مواد **آغاز**می‌شود. در لولهٔ پیچ‌خوردهٔ **نزدیک**، بافت **پوششی مکعبی یک‌لایه** وجود دارد و یاخته‌ها حاوی چین‌خوردگی‌های غشایی به نام **ریزپرزهای** فراوانی (*همانند روده باریک*) به سمت مجرای گردیزه برای افزایش یافتن سطح **بازجذب** می‌باشند. چون مقدار این ریزپرزها در **لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک** فراوان است، مقدار بازجذب مواد در این قسمت گردیزه از سایر قسمت‌ها **بیشتر** است. ضمناً با توجه به شکل مقابل که یک یاختهٔ ریزپرزدار در لولهٔ پیچ‌خورده نزدیک را نشان داده است، مشخص است که به دلیل بازجذب فعال زیادی که توسط این بخش گردیزه صورت می‌گیرد، تراکم **راکیزه** (*میتوکندری*) در این یاخته‌ها زیاد است تا انرژی زیستی مناسبی را فراهم کنند. غشای این یاخته‌ها به سمت **مجرای** گردیزه حاوی چین‌خوردگی می‌باشد. در مورد بازجذب دقت کنید که فقط مواد **مفید** و مورد نیاز بدن از سمت مجرای گردیزه‌ای وارد یاخته‌های پوشاننده لوله‌های پیچ‌خورده و هنله گردیزه‌ای و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار شده و از سمت دیگر این یاخته‌ها از راه فضای بین‌یاخته‌ای وارد مویرگ خونی دورلوله‌ای می‌شوند.



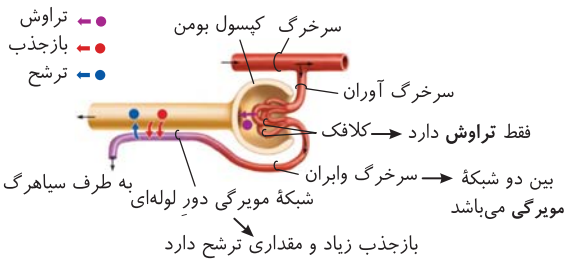
«یاخته‌های ریزپرزدار لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک»

۳) هرچه در بدن مقدار تراوش بیشتر شود، مقدار بازجذب مواد نیز تا حدی زیادتر می‌شود ولی بازجذب یک حدی داره! مثلاً در افرادی که به مرض قند (*دیابت شیرین*) مبتلا می‌شوند، مقدار تراوش گلوکز خیلی زیاد می‌شود ولی بازجذب آن تا حدی صورت می‌گیرد و اگر مقدار گلوکز تراوش شده از آن حد بالاتر برود، ناچاراً مقداری از آن که انرژی بدن بوده است وارد ادرار می‌شود.

۴) تنها قسمتی از گردیزه‌ها که در بازجذب نقش ندارند، همان کپسول بومن در ابتدای گردیزه می‌باشد.

ج) ترشح

ترشح، سومین و **آخرین** مرحلهٔ ادرارسازی است. در این عمل و براساس انتخاب و نیاز بدن، مواد زائدی را که باید دفع شوند (*با اینکه ضمن تراوش نیز وارد گردیزه شده بودند*) باز هم دفع آن‌ها به گردیزه بیشتر می‌شود. این عمل **اغلب با روش فعال**، یعنی با صرف انرژی زیستی و در **خلاف** جهت بازجذب، از **درون مویرگ‌های دورلوله‌ای** یا از **خود یاخته‌های گردیزه** به درون **گردیزه** صورت می‌گیرد. در اینجا دقت کنید که ترشح می‌تواند سبب خروج مواد زائد تولید شده در یاخته‌های گردیزه نیز بشود، بدون اینکه این مواد از خون وارد این یاخته‌ها شده باشد. لازم به ذکر است که برحسب متن کتاب درسی، عمل ترشح فقط از گردیزه‌ها و شبکهٔ دورلوله‌ای به درون **گردیزه** صورت می‌گیرد و مجرای جمع‌کنندهٔ ادرار با اینکه در عمل **بازجذب** نقش دارد را در اینجا کتاب در عمل ترشح شریک ندانسته است ولی در جلوتر یک جمله گفته که کاسه کوزه رو ریخته به هم و بهش می‌رسیم!



«فرایند تشکیل ادرار»

چند نکتهٔ مهم

۱) موادی مانند داروها، برخی از سموم و یون‌های هیدروژن **اضافی** علاوه بر **تراوش**، با عمل ترشح نیز وارد مجرای گردیزه و مایع درون آن می‌شوند. در حقیقت هر مادهٔ ترشح شده به گردیزه، قبلاً از راه تراوش نیز مقداری وارد گردیزه شده است و مقدار آن‌ها در طول گردیزه زیادتر می‌شوند (*چون بازجذب نشده‌اند*).

۲) عمل ترشح و بازجذب برخلاف عمل تراوش همراه با نفوذپذیری **انتخابی** و برحسب **نیاز بدن** و بدون توجه به **اندازهٔ** مواد صورت می‌گیرند.

۳) **هر دو** فرایند بازجذب و ترشح، در **اغلب** موارد به صورت فعال و صرف انرژی زیستی صورت می‌گیرند. در این دو مکانیسم، **کپسول بومن** و کلافک (*گلومرول*) نقش مستقیمی ندارند.

۴) در عمل تراوش، مواد از بین شکاف رشته‌های پامانند هر پودوسیت عبور می‌کنند ولی در عمل بازجذب و ترشح، اغلب مواد از درون یاخته‌ها و برحسب نفوذپذیری **انتخابی** از راه غشایی یا پمپ‌ها و کانال‌های آن عبور می‌کنند.

۵) اگر سرخرگ‌های **کوچک آوران** تنگ شوند، مقدار خون و فشار خون هم در کلافک (*گلومرول*) و هم در شبکهٔ مویرگی دورِ لوله‌ای **کم** می‌شود، به همین دلیل تراوش، بازجذب و ترشح مواد و مقدار ادرار در فرد نیز **کاهش** می‌یابد.

تنگی سرخرگ آوران ← کم شدن فشار خون در شبکه‌های مویرگی کلیه ← تراوش، بازجذب، ترشح و مقدار ادرار کم می‌شود.

۶) اگر سرخرگ‌های **کوچک وابران** تنگ شوند، مقدار خون و فشار آن در کلافک (*گلومرول*) درون حفرهٔ کپسول بومن **زیاد** شده و به دنبال آن عمل تراوش و بازجذب **زیاد** می‌شود ولی چون مقدار خونی که به شبکهٔ **مویرگی دورلوله‌ای** می‌رسد **کم** می‌شود، ترشح مواد به گردیزه‌ها **کاهش** می‌یابد. در این حالت مقدار ادرار **زیاد** می‌شود. چون حجم ادرار نسبت مستقیم با **تراوش** دارد و بیشتر ادرار تشکیل شده در اثر تراوش مواد به درون گردیزه‌ها است.

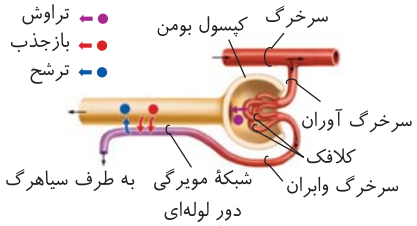
تنگ شدن سرخرگ وابران ← افزایش فشار خون در گلومرول ← تراوش، بازجذب و مقدار ادرار زیاد می‌شود.
تنگ شدن سرخرگ وابران ← کاهش فشار خون در مویرگ دور لوله‌ای ← ترشح در کلیه کم می‌شود.

خلاصه مراحل تشکیل ادرار

مرحلهٔ اول: تراوش

مواد ریز زائد و غیرزائد سرخرگ آوران ← کلافک گلومرولی (شبکهٔ اول مویرگی) ← عبور از لایهٔ سنگ‌فرشی مویرگی ← عبور از غشای پایه

کلافک گلومرولی (شبکهٔ اول مویرگی) ← عبور از شکاف‌های متعدد **پودوسیت‌ها** در کپسول بومن ← وارد شدن به مجرای نفرون به کمک فشار **خون** طی تراوش



«فرایند تشکیل ادرار»

مرحلهٔ دوم: بازجذب

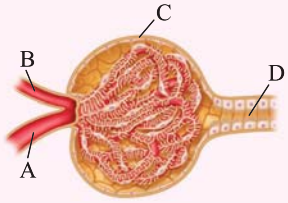
مواد مورد نیاز بدن از درون مجرای گردیزه و لولهٔ جمع‌کنندهٔ ادرار ← وارد یاخته‌های دیوارهٔ نفرون و جمع‌کننده می‌شوند. ← اغلب با انتقال فعال و بیشتر در لولهٔ پیچیدهٔ نزدیک **ریزپرزدار** ← از درون یاخته وارد فضای بین‌یاخته‌ای سمت دیگر لولهٔ ادراری می‌شوند. ← وارد شبکهٔ مویرگی **دور لوله‌ای** می‌شوند. ← به سمت **سیاهرگ‌ها** و گردش عمومی می‌روند.

مرحلهٔ سوم: ترشح

مواد زائد یاخته‌ها در کل نفرون به‌جز **کپسول بومن**
مواد زائد درون شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای
← اغلب با انتقال فعال و به صورت **انتخابی** ← وارد نفرون می‌شوند. ← از بدن دفع می‌شوند و در تنظیم pH خون هم مؤثرند.

تست ۷ (قلم‌چی)

با توجه به شکل مقابل، چند مورد صحیح است؟

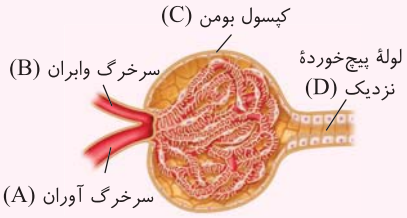


الف) یاخته‌های *D* توانایی ترشح و بازجذب دارند.
ب) *A* برخلاف *B* خون روشن را به برخی یاخته‌های *C* می‌آورد.
ج) یاخته‌های پوششی *B* برخلاف یاخته‌های دیوارهٔ بیرونی *C*، سنگ‌فرشی تک‌لایه‌اند.
د) یاخته‌های دیوارهٔ درونی *C*، شبکهٔ مویرگی‌ای را احاطه کرده‌اند که به *A* ختم می‌شود.

۱) ۱ مورد
۲) ۲ مورد
۳) ۳ مورد
۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ C

موارد (الف) و (ب) صحیح می‌باشند. (A) سرخرگ آوران (*طوسی‌تر*)، (B) سرخرگ وابران (*بی‌رنگ‌تر*)، (C) کپسول بومن و (D) لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک را نشان می‌دهد.



تله‌های تستی الف) درست است. یاخته‌های لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک (D) توانایی ترشح و بازجذب دارند. / ب) درست است. سرخرگ آوران خون روشن را به یاخته‌های پودوسیتی کپسول بومن ولی سرخرگ وابران خون روشن را به سایر بخش‌های لوله‌ای گردیزه‌ای می‌برد. / ج) نادرست است. هر دو یاختهٔ مورد نظر، پوششی سنگ‌فرشی یک‌لایه‌اند. / د) نادرست است. پودوسیت‌ها، کلافک را احاطه کرده‌اند که به سرخرگ وابران ختم می‌شود.

تست ۸

چند مورد جملهٔ مقابل را به درستی کامل می‌کند؟ «از سه پدیده‌ای که منجر به تشکیل ادرار در انسان می‌شود، ..... » (قلم‌چی)

الف) بازجذب پدیده‌ای است که در بخش مرکزی کلیه نیز رخ می‌دهد.

ب) بازجذب پدیده‌ای است که در خارج از گردیزه نیز رخ می‌دهد.

ج) ترشح تنها پدیده‌ای است که فقط با مصرف انرژی توسط کلیه رخ می‌دهد.

د) تراوش تنها پدیده‌ای است که باعث ورود اوره به گردیزه می‌شود.

۱) ۴ مورد **۲)** ۳ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ ۲ B

همهٔ موارد به‌جز عبارت (ج) درست هستند.

تله‌های تستی الف و ب) درست است. بازجذب برخلاف ترشح و تراوش در بخش قشری و مرکزی و در گردیزه و مجاری جمع‌کنندهٔ ادراری صورت می‌گیرد. / ج) نادرست است. ترشح برخلاف تراوش ولی همانند بازجذب، **اغلب** با صرف انرژی زیستی می‌باشد. / د) درست است. اوره با تراوش وارد گردیزه شده و با بازجذب، کمی به خون برمی‌گردد ولی بیشتر آن در ادرار دفع می‌شود (*اوره ترشح ندارد*).

تنظیم pH خون توسط کلیه‌ها

pH طبیعی خون برای عمل آنزیم‌ها باید در حدود ۷/۳۵ تا ۷/۴۵ باشد. کلیه‌ها با **عمل ترشح** در تنظیم میزان pH (*اسید و باز*) **خون نقش مهمی** دارند (*دقت کنید که ترشح نقش مهمی دارد نه اینکه pH فقط با ترشح تنظیم شود!*).

تنظیم pH کم خون: اگر به هر دلیلی (*مثل مصرف زیاد پروتئین‌های جانوری یا اسهال شدید*) pH خون **اسیدی** شود و پایین بیاید یعنی تراکم یون H^+ در خون **زیاد** شده است. در این حالت کلیه‌ها **یون هیدروژن اضافی** را از طریق **شبکهٔ مویرگی دورلوله‌ای** به درون گردیزه‌ها **ترشح** می‌کنند.

pH کم خون ← افزایش ترشح H^+ اضافی از شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای به نفرون

تنظیم pH بالای خون: اگر **pH خون** به هر دلیلی (*مثل استفراغ شدید یا مصرف زیاد پروتئین‌های گیاهی*) **افزایش یابد**، بدین معنی می‌باشد که **بیکربنات خون بالا رفته** است و کلیه‌ها باید بر **مقدار دفع بیکربنات** خود بیافزایند تا pH خون در حد متعادل و ثابتی نگه داشته شود. در اینجا دقت کنید که کتاب درسی نگفته ترشح بیکربنات زیاد می‌شود بلکه نوشته مقدار دفع بیکربنات زیاد می‌شود. یعنی مقدار تراوش آن زیاد شده و بازجذب آن کاهش یافته است چون در فرد سالم ترشح بیکربنات و بازجذب H^+ صورت نمی‌گیرد.

pH بالای خون ← افزایش دفع بیکربنات در ادرار

تست ۹

در بیشتر موارد، ..... (قلم‌چی)

۱) تراوش مواد بر اساس اندازه صورت می‌گیرد.

۲) ترشح همانند بازجذب با صرف انرژی انجام می‌گیرد.

۳) لولهٔ پیچ‌خوردهٔ دور حداکثر بازجذب مواد را بر عهده دارد.

۴) بیشترین میزان یون هیدروژن به واسطهٔ ترشح دفع می‌شود.

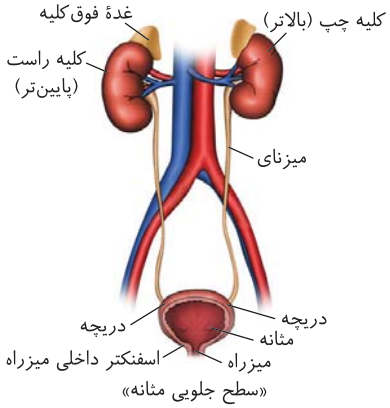
پاسخ ۲ A

بازجذب و ترشح در بیشتر موارد فعال و با صرف انرژی زیستی انجام می‌گیرند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در **همهٔ** موارد در تراوش، مواد براساس اندازه به گردیزه وارد می‌شوند (*نه در بیشتر موارد*). / گزینهٔ (۳): بیشترین مقدار بازجذب در اطراف لولهٔ پیچ‌خوردهٔ **نزدیک** است. / گزینهٔ (۴): بیشترین میزان یون هیدروژن براساس **تراوش** بوده ولی یون‌های هیدروژن اضافی طی فرایند ترشح برای تنظیم pH دفع می‌شوند.

مشاوره: دوستان عزیزم یکی از مدل‌های جدید طراحی تست در کنکورهای ۹۶ به بعد، گذاشتن قید در متن سؤال است که مثلاً در مورد بعضی یا همه یا بیشتر موارد صحبت می‌کند. در این حالت باید خیلی دقیق عبارات را بررسی کنید (*مثل تست فوق و...*).

مکانیسم تخلیهٔ ادرار



همان‌طور که یاد گرفتید، ادرار **طی سه فرایند** در گردیزه‌ها و مجاری جمع‌کننده ساخته و سپس وارد لگنچه در داخلی‌ترین قسمت کلیه می‌شود و سپس از وسط هر کلیه، وارد مجرایی به نام **میزنای** که حاوی ماهیچهٔ **صاف** است می‌گردد. پس از آن با حرکات **کرمی** (*دودکی*) دیوارهٔ میزنای و تحت تأثیر اعصاب **خودمختار**، ادرار در میزنای جلو می‌رود و پایین می‌آید. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید میزنای‌ها از **جلوی** محل دو شاخه شدن آئورت نزولی عبور می‌کنند و از سطح **پشتی وارد مثانه** می‌شوند. مثانه، **دائماً در حال دریافت** ادرار از دو کلیه (*از طریق دو میزنای*) می‌باشد. از طرفی، مثانه کیسه‌ای با ماهیچهٔ صاف است که ادرار را **موقتاً ذخیره** می‌کند و **چنانچه** حجم ادرار در آن از حد مشخصی زیادتر شود، **کشیدگی زیاد دیوارهٔ آن** سبب تحریک گیرنده‌های **کششی** شده و پیام **حسی** خود را به دستگاه عصبی مرکزی می‌فرستد تا با ایجاد فرمان حرکتی سبب انقباض ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ مثانه و سازوکار تخلیهٔ ادرار شود. با **افزایش** شدت انقباض مثانه، ادرار وارد مجرایی به نام **میزراه** می‌شود.

نکته
در محل اتصال **هر میزنای به مثانه**، بنداره (*اسفنکتر*) وجود **ندارد** ولی در اثر چین‌خوردگی‌های **مخاط مثانه** بر روی دهانهٔ ورودی میزنای، **دریچه‌ای** ایجاد می‌شود که مانع بازگشت ادرار به میزنای و مانع فشار به کلیه می‌شود.

نکته
دریچه محل اتصال میزنای به مثانه، همانند پرده‌های صوتی حنجره و دریچه‌های قلبی و سیاهرگی، حاصل چین‌خوردگی مخاط پوششی هستند و بنداره ماهیچه‌ای نمی‌باشند.

● خروج ادرار از مثانه

خروج ادرار از مثانه توسط مجرایی با ماهیچهٔ صاف به نام **میزراه** صورت می‌گیرد. میزراه در زنان فقط مجرای **ادرار** و در مردان مجرای مشترک **ادرار** و **اسپرم** است. در ابتدا و انتهای این مجرا، دو **بنداره** (*اسفنکتر*) وجود دارد. **بنداره داخلی** میزراه، همان بنداره **محل اتصال مثانه به میزراه** یا **دهانهٔ** میزراه است. این بنداره از نوع ماهیچهٔ **صاف** و **غیرارادی** تحت کنترل اعصاب **خودمختار** می‌باشد که در حالت عادی **منقبض** و بسته است ولی در هنگام خروج ادرار همراه با انقباض شدید مثانه، این بنداره غیرفعال شده و باز می‌شود تا ادرار وارد میزراه شود. در **انتهای میزراه**، بنداره دیگری به نام بنداره خارجی میزراه با ماهیچهٔ **مخطط** وجود دارد که تحت کنترل **قشر** مخ و اعصاب **پیکری** می‌باشد. در بالغین این بنداره به صورت **ارادی، غیرفعال** شده و باز می‌شود تا ادرار از بدن خارج شود. دقت کنید که اعصاب مغزی که باز و بسته کردن بنداره خارجی میزراه را در کنترل دارند، از راه **نخاع** پیام را دریافت یا ارسال می‌کنند. به همین دلیل اشکال در نخاع می‌تواند سبب خروج غیرارادی ادرار شود.

چند نکتهٔ مهم

۱ در نوزادان و کودکانی که هنوز ارتباط مغز و نخاع آن‌ها به‌طور کامل برقرار نشده است، تخلیهٔ مثانه به صورت **غیرارادی** صورت می‌گیرد بنابراین نوزادان قدرت ارادی کاملی روی تخلیهٔ مثانه و عمل **بنداره خارجی انتهای میزراه** خود ندارند. در این افراد نخاع پیام مناسبی را به مغز ارسال نمی‌کند و مغز تشخیص مناسبی برای کنترل بنداره خارجی میزراه ندارد. در حالی که بالغین می‌توانند **تخلیهٔ مثانهٔ** خود را از طریق عدم باز کردن بنداره خارجی میزراه، کنترل کنند.

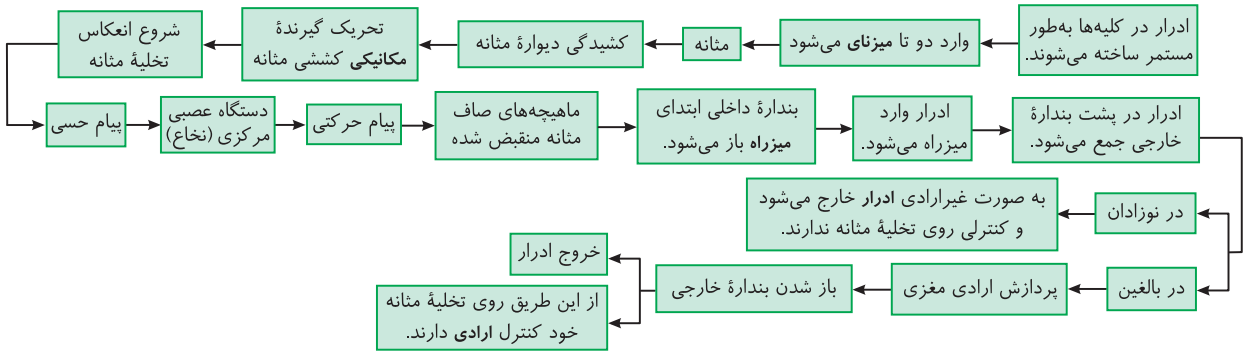
۲ لطفاً در تست‌ها دقت کنید که در هر فرد کودک یا بالغی، ورود ادرار به میزراه یک فرایند غیرارادی می‌باشد که باز شدن بنداره داخلی در آن مؤثر است ولی این عمل یعنی ورود ادرار از مثانه به میزراه سبب تخلیهٔ مثانه نمی‌شود. در حقیقت نوزادان چون روی بنداره خارجی میزراه تسلط ارادی ندارند، تخلیه کامل مثانهٔ آن‌ها غیرارادی بوده ولی در بالغین چون می‌توانند بنداره خارجی میزراه خود را مدتی بسته نگه دارند، پس تخلیه کامل مثانهٔ آن‌ها به صورت ارادی صورت می‌گیرد.

۳ کشیدگی دیوارهٔ **مثانه** باعث فعال شدن سازوکار تخلیه ادرار می‌شود.

۴ دقت کنید که راه ارتباطی مغز با نخاع تا دوران کودکی، **کامل** نشده است (*نه اینکه هیچ ارتباطی ندارند*).

۵ دقت کنید که ماهیچه‌های مثانه، میزراه و میزنای به صورت صاف و **غیرارادی** هستند و انسان قدرت انجام انقباض ارادی آن‌ها را ندارد. افراد بالغ فقط به کمک تأثیر ارادی روی بنداره **خارجی** میزراه، قدرت تخلیهٔ مثانه و سایر مجاری ادراری را دارند.

خلاصه



نگاهی به آینده

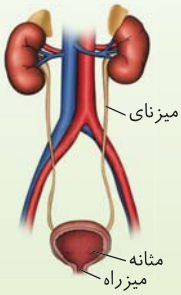
در بدن دو نوع انعکاس ماهیچه‌ای وجود دارد (همگی غیرارادی هستند)

- انعکاس با تحریک اعصاب پیکری
  - توسط ماهیچهٔ مخطط (اسکلتی) صورت می‌گیرد.
  - مانند انعکاس عقب کشیدن دست در برخورد با جسم داغ
  - انعکاس ورود غذا از دهان به حلق
- انعکاس با تحریک اعصاب خودمختار
  - توسط ماهیچهٔ صاف صورت می‌گیرد.
  - انعکاس انقباضی مثانه در تخلیه ادرار

نکاتی از شکل روبه‌رو

متأسفانه در کتاب درسی دو شکل زیر هم کشیده شده است که کاملاً همدیگر را نقض کرده‌اند. برحسب شکل مقابل که واضح است:





کلیه راست که پایین‌تر است در مقایسه با کلیه چپ (بالاتر)
- به سرخرگ آئورت نزدیک‌تر از بزرگ‌سیاهرگ زیرین است.
- طول سرخرگ کلیوی راست از چپ کوتاه‌تر است.
- طول سیاهرگ کلیوی راست از چپ بلندتر است.
- طول میزنای آن تا مثانه از کلیه چپ کمتر است.

ولی برحسب شکل بالای آن در کتاب درسی که از نظر علمی صحیح‌تر است، سرخرگی که به کلیهٔ چپ می‌آید از کلیهٔ راست کوتاه‌تر است و دقت کنید که سرخرگ کلیهٔ راست از زیر سیاهرگ بزرگ زبرین رد می‌شود. از طرفی سیاهرگ کلیوی سمت چپ از راست درازتر است و با عبور از روی سرخرگ آئورت به بزرگ‌سیاهرگ زیرین می‌رسد.

تست ۱۰ در مورد مکانیسم تخلیهٔ ادرار کدام مورد زیر نادرست نمی‌باشد؟

۱) انقباض دریچهٔ دهانهٔ میزنای مانع برگشت ادرار از مثانه می‌شود.

۲) فرستادن پیام عصبی به نخاع سبب تحریک گیرندهٔ کششی مثانه می‌شود.

۳) در بالغین تخلیهٔ میزراه برخلاف میزنای به‌طور ارادی صورت می‌گیرد.

۴) تخلیهٔ میزنای در نوزادان برخلاف بالغین به صورت غیرارادی صورت می‌گیرد.

پاسخ ۳ در هنگام تخلیهٔ ادرار، با ارسال پیام حرکتی از نخاع، مثانه منقبض می‌شود ولی **افزایش شدت** این انقباض‌ها، سبب خروج ادرار از مثانه می‌شود. دقت کنید که تخلیهٔ ادرار میزنای به مثانه در هر سنی به‌طور **غیرارادی** می‌باشد ولی تخلیهٔ کامل مثانه و میزراه در بالغین، به صورت ارادی صورت می‌گیرد.

نکته: دقت کنید که با ورود ادرار از مثانه به میزراه، تخلیهٔ مثانه صورت نگرفته است بلکه مقداری ادرار از مثانه خارج شده است. در حقیقت تخلیهٔ مثانه وقتی انجام می‌شود که به صورت ارادی در بالغین و غیرارادی در کودک و نوزاد، بندارهٔ خارجی میزراه باز شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): دریچهٔ دهانهٔ میزنای در اتصال به مثانه فاقد بافت ماهیچه‌ای است و قدرت انقباض ندارد. این دریچه از چین‌خوردگی بافت پوششی مخاط مثانه ایجاد شده است. / گزینهٔ (۲): تحریک گیرندهٔ کششی مثانه در اثر کشیدگی دیوارهٔ آن سبب ارسال پیام حسی به نخاع می‌شود (درست برعکس عنوان شده است). / گزینهٔ (۴): تخلیهٔ میزنای و ورود ادرار آن به مثانه همواره و در هر فردی و در هر سنی به صورت **غیرارادی** رخ می‌دهد.

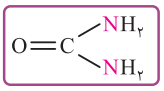
ترکیب شیمیایی ادرار

خب ابتدای این مطلب کتاب یه خطی نوشته که کار رو خراب کرده! یادتونه تو مبحث ترشح کتاب صراحتاً نوشته بود این عمل شامل ورود مواد زائد از یاخته‌های گردیزه و مویرگ دورلوله‌ای (به درون به درون به خدا نوشته به درون) گردیزه است؟ حالا اون رو اینجا چی نوشته؟ ببین: اینجا کتاب نوشته در کلیه، موادی که **تراوش** می‌شوند، حاوی مواد مضر و مفید می‌باشند، به همین دلیل ترکیب مایعی که به کپسول بومن تراوش می‌شود، هنگام عبور از گردیزه‌ها (لوله‌های پیچ‌خورده و هنله) و **مجرای جمع‌کنندهٔ ادرار**! تحت تأثیر **بازجذب و ترشح!** تغییر می‌یابد (خب حالا در مورد ترشح دم خروس رو بور کنیم یه قسم حضرت عباس رو!) بی‌خیال! همون‌طور که می‌دونید واژهٔ ادرار را به مایعی نسبت می‌دهیم که وارد **داخلی‌ترین** بخش کلیه یعنی **لگنچه** شده باشد، چون مواد مورد نیاز بدن در آن **بازجذب** و مواد زائد اضافی به آن **ترشح** شده است و دیگر تا خروج از بدن دچار تغییر نمی‌شود. پس حالا منتظر می‌شینیم تا ببینیم کِی این مطلب یا عوض بشه یا سؤال کنکور بشه و حاشیه‌سازی کنه!

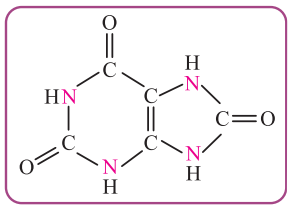
نکته

دقت کنید که در فرد سالم، ادرار فاقد **آمینواسید** و گلوکز یا هر قند ساده‌ای می‌باشد چون همهٔ آن‌ها طی بازجذب به خون برمی‌گردند. در حقیقت مایع درون لگنچه، میزنای، مثانه و میزراه یک فرد سالم، فاقد قند و آمینواسید می‌باشد و به آن لفظ ادرار اطلاق می‌شود.

- مواد درون ادرار انسان
  - مواد معدنی ادرار
    - ۱) آب ← حدود **۹۵** درصد ادرار را آب تشکیل می‌دهد که با دفع آن، **مقدار آب بدن تنظیم می‌شود.**
    - ۲) یون‌ها ← موادی مانند بیکربنات، H^+، K^+، Cl^-، Na^+ و... می‌باشد که دفع آن‌ها به همراه آب برای **حفظ تعادل یون‌ها** و **pH خون** صورت می‌گیرد.
  - مواد آلی نیتروژن‌دار ادرار
    - **۱) اوره**



      - A) فراوان‌ترین مادهٔ **آلی** دفعی در ادرار می‌باشد.
      - B) در بافت‌های مختلف بدن انسان، از تجزیهٔ موادی مثل **آمینواسیدها** ابتدا **آمونیاک** با **سمیت زیاد** ایجاد می‌شود که تجمع آن در **خون** به **سرعت** سبب مرگ می‌شود. **کبد**، آمونیاک‌ها را از خون گرفته و با CO_2 ترکیب کرده و به **اوره** که بسیار سمیت کمتری از آمونیاک دارد تبدیل می‌کند. در حقیقت اوره مادهٔ دفعی نیتروژن‌دار **اصلی** بدن است. بدن می‌تواند اوره را تا مدتی در خود انباشته کند و سپس کلیه‌ها با فاصلهٔ زمانی، آن را از **خون** می‌گیرند و به وسیلهٔ ادرار دفع می‌کنند. *(پس کبد تنها اندام انسان است که می‌تواند مواد معدنی را به آلی (اوره) تبدیل کند.)*
      - آمونیاک خون ← کبد ← $+CO_2$ ← اوره ← خون ← کلیه ← ادرار
    - **۲) اوریک اسید**



      - A) مادهٔ **آلی** زائد نیتروژن‌داری با قدرت **انحلال کم در آب** است و تمایل زیاد به **رسوب کردن** و **تشکیل بلور** دارد.
      - B) این ماده از سوخت‌وساز **مواد نیتروژن‌دار** ایجاد می‌شود و در ساختار خود **دو** حلقهٔ آلی نیتروژن‌دار دارد *(بیشتر بدانید)*.
      - C) رسوب بلور این ماده در **کلیه‌ها** باعث ایجاد **سنگ کلیه** شده و در **مفاصل** باعث ایجاد بیماری **نقرس** می‌شود. نقرس یک بیماری **مفصلی** است، در این بیماری مفصل‌ها **دردناک** و **ملتهب** می‌شوند *(التهاب و علائم آن را در سال آینده می‌خوانیم)*.

آمینواسیدها ← تجزیه ← آمونیاک سمی ← خون انسان ← کبد (CO_2) ← اوره ← به‌طور متناوب توسط کلیه‌ها ← ادرار

مواد نیتروژن‌دار ← سوخت‌وساز ← اوریک اسید ← به‌طور متناوب توسط کلیه‌ها

نکته مهم

CO_2 حاصل از تنفس یاخته‌ای در کبد
- مقداری وارد خون می‌شود ← از شش‌ها دفع می‌شود.
- مقداری از آن، در کبد با **آمونیاک** ترکیب می‌شود ← اوره تولید می‌شود.

تست ۱۱ **بیشترین ترکیب تشکیل دهندهٔ ادرار همانند .....** (قلم‌چی)

۱) فراوان‌ترین مادهٔ دفعی آلی در ادرار بازجذب ندارد.

۲) اوره با صرف انرژی ترشح می‌شود.

۳) مادهٔ دفعی نیتروژن‌داری که انحلال‌پذیری زیادی در آب ندارد، فاقد تراوش است.

۴) مادهٔ دفعی نیتروژن‌دار معدنی می‌تواند طی واکنش آنزیمی در کبد با کربن دی‌اکسید ترکیب شود.

پاسخ ۴ (B) آمونیاک مادهٔ دفعی نیتروژن‌دار **معدنی** است که در کبد در ترکیب با CO_2 اوره را تشکیل می‌دهد. آب نیز بیشترین ترکیب تشکیل دهندهٔ ادرار است که در مویرگ‌های کبدی توسط آنزیم کربنیک انیدراز با CO_2 ترکیب و کربنیک اسید تولید می‌کند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): آب با مکانیسم اسمز، بازجذب می‌یابد. / گزینهٔ (۲): آب بیشترین مادهٔ دفعی ادرار است که بدون صرف انرژی دفع یا بازجذب می‌شود. / گزینهٔ (۳): اوریک اسید، مادهٔ دفعی نیتروژن‌داری است که انحلال‌پذیری زیادی ندارد که همانند آب هر دو تراوش می‌شوند.

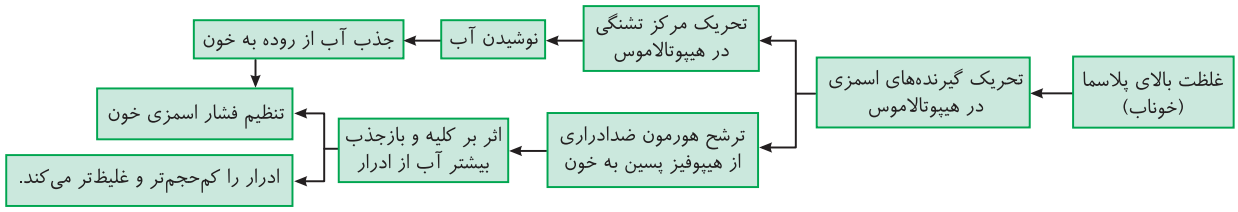
مکانیسم تنظیم آب در بدن

یکی از مهم‌ترین عوامل تنظیم آب در بدن **عوامل هورمونی** می‌باشند. هورمون‌های ضدادراری و آلدوسترون در تنظیم آب و نمک بدن مؤثرند. در گردیزه‌ها، هورمون ضدادراری با بازجذب آب و هورمون آلدوسترون با بازجذب سدیم در تنظیم این مواد نقش دارند. *(البته در کتاب دهم فقط در مورد هورمون ضدادراری و یکی از مکانیسم‌های تنظیم آب صحبت شده است.)*

تنظیم آب بدن در هنگام افزایش غلظت خون به کمک عمل هورمون ضدادراری (ADH= آنتی‌دیورتیک)

در مغز، غدهٔ **هیپوتالاموس** هم **مرکز تشنگی برای نوشیدن** می‌باشد و هم **گیرنده‌های اسمزی** برای تنظیم آب دارد. در حقیقت در اثر بالا رفتن فشار اسمزی خوناب (*پلاسما*) یعنی افزایش غلظت مواد حل شده در خون، این **گیرنده‌های اسمزی** در هیپوتالاموس تحریک می‌شوند. این تحریک از **یک سو** باعث فعال شدن مرکز تشنگی آن می‌شود و نوشیدن آب را زیاد می‌کند تا با جذب آب از روده، غلظت خون تا حدی تنظیم شود. از **سوی دیگر** تحریک گیرندهٔ اسمزی هیپوتالاموس، سبب **ترشح** هورمون ضدادراری از غدهٔ **هیپوفیز پسین** به خون می‌گردد. در کتاب زیست یازدهم می‌خوانیم که هورمون ضدادراری ابتدا در **هیپوتالاموس** ساخته شده و در غدهٔ هیپوفیز پسین **ذخیره** شده است، در موقع نیاز با ترشح و ورود این هورمون از هیپوفیز پسین به خون، روی **کلیه‌ها** اثر می‌کند و **بازجذب آب** را در قسمت‌های **لوله‌ای گردیزه‌ها و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار** افزایش می‌دهد. بدین ترتیب **دفع آب** توسط کلیه‌ها و به صورت ادرار **کاهش** می‌یابد. با این عمل از غلظت خوناب کاسته می‌شود تا فشار اسمزی خون تنظیم شود.

● خلاصهٔ تنظیم آب به کمک هورمون ضدادراری



دیابت بی‌مزه چیه؟ **عدم تولید یا ترشح** هورمون ضدادراری (*به هر دلیل*)، سبب **عدم بازجذب مناسب** آب از کلیه‌ها می‌شود. در این صورت مقدار زیادی آب به صورت ادرار **رقیق** دفع می‌شود که به این بیماری **دیابت بی‌مزه** می‌گویند. مبتلایان به دیابت بی‌مزه، به دلیل دفع آب زیاد، احساس تشنگی زیادی کرده و مجبورند آب زیادی بنوشند تا تنظیم فشار اسمزی خون غلیظ شدهٔ آن‌ها با جذب آب از روده جبران شود. در این بیماری با اینکه برخلاف دیابت شیرین (*مرض قند*)، **قندی** در ادرار وجود ندارد، ولی توازن آب و یون‌ها در بدن به هم خورده است. این افراد نیاز به توجه زیادی دارند (*در حقیقت چون قند تو ادرار این افراد نیست، ادرار آن‌ها نیز شیرین نیست و بی‌مزه است!*).

نکته

در هر نوع دیابتی چه بی‌مزه و چه شیرین، دفع آب از ادرار و تمایل به نوشیدن **زیاد** می‌شود.

تست ۱۲ **چند مورد عبارت را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «اگر در فردی ترشح هورمون ضدادراری متوقف شود، .....»**

الف) میزان حجم ادرار افزایش می‌یابد.

ب) غلظت خون برخلاف غلظت مایع بین‌یاخته‌ای افزایش می‌یابد.

ج) میزان بازجذب آب به شبکهٔ دورلوله‌ای کاهش می‌یابد.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** صفر مورد

پاسخ ۱ موارد (الف) و (ج) عبارت را به درستی تکمیل می‌کنند.

در اثر توقف ترشح هورمون ضدادراری، غلظت خون همانند غلظت مایع بین‌یاخته‌ای افزایش می‌یابد چون بیشتر آب بدن از راه ادرار دفع می‌شود (نادرستی ب). در این صورت حجم ادرار زیاد شده (درستی الف) چون میزان بازجذب آب کم می‌شود (درستی ج).

گفتار ۳

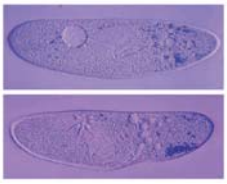
تنوع دفع و تنظیم اسمزی در سایر جانداران

در این گفتار می‌خواهیم انواع روش‌ها و سامانه‌های موجود در جانداران مختلف را برای تنظیم اسمزی و دفع آب و مواد زائد بررسی کنیم که از ساده‌ترین آن‌ها در تک‌یاخته‌ای‌ها تا پیچیده‌ترین آن‌ها را در ادامه خواهید آموخت (*البته در مورد انسان که انشاءالله خوب یاد گرفته باشید تا اینجا!*).

دفع مواد در تک‌یاخته‌ای‌ها

در بین جانداران، کل باکتری‌ها به همراه **برخی** قارچ‌ها و **برخی** آغازیان تک‌یاخته‌ای می‌باشند. در بین آن‌ها **بسیاری** از تک‌یاخته‌ای‌ها مواد را برای تنظیم اسمزی فقط با انتشار دفع می‌کنند. در این حالت با خروج مواد زائد از یاخته، آب نیز به همراه آن از جاندار خارج می‌شود.

برخی آغازیان مانند شکل مقابل تک‌یاخته‌ای مانند پارامسی‌ها هستند که آب **زیادی** را با **اسمز** از حفرهٔ **دهان یاخته‌ای** وارد می‌کنند. آب اضافی به همراه مواد دفعی تولید شده در سوخت‌وساز یاخته مثل آمونیاک، وارد **واکوئول‌های انقباضی** شده و سپس با انقباض این اندامک‌ها دفع می‌شود.


«واکوئول انقباضی در پارامسی»

در حقیقت این جانداران تک‌یاخته‌ای، تعدادی واکوئول تنظیم آب به نام واکوئول‌های انقباضی دارند که فقط مسئول تنظیم آب و دفع مواد زائد **نیتروژن‌دار** می‌باشند. در اغلب این جانداران مادهٔ زائد نیتروژن‌دار، آمونیاک می‌باشد که به‌طور مداوم وارد آب می‌شود تا از سمیت آن کاسته شود. اگر به خاطر داشته باشید، در جانداری مثل پارامسی، گوارش و گردش مواد غذایی به صورت **درون**یاخته‌ای و توسط واکوئول‌های غذایی، گوارشی و دفعی صورت می‌گرفت. این جانداران، واکوئول‌هایی اختصاصی برای تنظیم آب و مواد دفعی نیتروژن‌دار به نام واکوئول انقباضی دارند.

نکته

پارامسی **یک** منفذ جذب آب و مواد به نام حفرهٔ دهانی دارد.

سیستم‌های (سامانه‌های) دفع مواد در بی‌مهرگان

در ابتدا لازم است بدانید که بیشتر جانوران آبزی، مواد زائد نیتروژن‌دار را به صورت **آمونیاک** وارد آب می‌کنند ولی در جانداران خشکی‌زی، به‌طور معمول اوره یا اوریک اسید یا هر دو را به عنوان مادهٔ زائد وارد محیط می‌کنند. در بین این سه ماده فرمول شیمیایی و راه تولید **اوریک اسید** پیچیده‌تر می‌باشد و دفع آن به دلیل انحلال **کم** در آب، لازمهٔ مصرف انرژی **بیشتر** می‌باشد.

از نظر سمیت لازم برای دفع: اوریک اسید < اوره < آمونیاک

از نظر مقدار آب لازم برای دفع: اوریک اسید < اوره < آمونیاک

از نظر انرژی لازم برای دفع: آمونیاک < اوره < اوریک اسید (*بلور جامد*)

نکته

بیشتر بی‌مهرگان دارای ساختار مشخص برای دفع مواد هستند که برای این کار تمایز یافته‌اند.

الف) نفریدی

این سیستم دفعی ساده، برای دفع مواد زائد، تنظیم اسمزی (*آب*) و یا **هر دو مورد** به کار می‌رود. هر نفریدی از هر نوعی که باشند به‌طور کلی، **لوله‌ای** هستند که توسط **منفذ** مشخص در انتهای خود به **بیرون باز شده** و در ارتباط می‌باشند. لوله‌های نفریدی فقط از یک **انتهای** خود **باز** هستند که مواد را دفع می‌کنند.

نکته

در سیستم‌های نفریدی
- برخی نفریدی‌ها ← فقط دفع مواد نیتروژن‌دار دارند و تنظیم اسمزی آب را انجام نمی‌دهند.
- برخی نفریدی‌ها ← فقط دفع آب دارند و معمولاً دفع مواد نیتروژن‌دار نمی‌کنند ولی تنظیم اسمزی می‌کنند.
- برخی نفریدی‌ها ← هم دفع آب و هم دفع مواد نیتروژن‌دار می‌کنند.
- همواره هر نفریدی، ساختار لوله‌ای با یک منفذ باز در انتهای آن می‌باشد.

ب) آبشش‌ها

از فصل ۳ به یاد دارید که ساده‌ترین آبشش‌ها به صورت برجستگی‌های پراکنده پوستی در ستارهٔ دریایی وجود دارد ولی در آن جانور این آبشش‌ها فقط برای تنفس به کار می‌رود. در برخی جانوران، آبشش‌ها به تنظیم اسمزی و یونی نیز مبادرت می‌کنند. مثلاً در سخت‌پوستان (*خرچنگ*) مواد دفعی نیتروژن‌دار که اغلب **آمونیاک** می‌باشد، بدون صرف انرژی و با انتشار ساده از **آبشش‌ها** دفع می‌شوند. حتماً به یاد دارید که آبشش این جانوران در مناطق خاصی از بدن (*در اطراف سر*) وجود دارند و به صورت پراکنده در بدن نمی‌باشند. دقت کنید که این جانوران برخلاف ماهی‌ها، کمان، رشته و سرخرگ و سیاهرگ مستقل آبششی ندارند.

تست ۱۳ در هر جاندار تک‌یاخته‌ای، ..... (قلم‌چی)

۱) تنظیم اسمزی بدون صرف انرژی و در جهت شیب غلظت رخ می‌دهد.

۲) اندامک‌های غشادار در تبادل مواد نقش دارند.

۳) واکوئل‌های انقباضی در تنظیم هم‌ایستایی نقش مهمی دارند.

۴) غشای یاخته در تغذیه همانند دفع مواد زائد نقش مهمی دارد.

پاسخ ۴ (B)

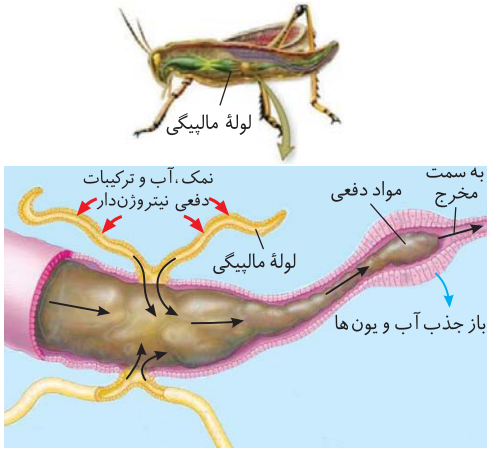
در تک‌یاخته‌ای‌ها، تبادل گازها، تغذیه و دفع بین محیط و یاخته از سطح آن یعنی غشا انجام می‌شود.

تله‌های تستی: گزینهٔ (۱): در **بسیاری** از تک‌یاخته‌ای‌ها، تنظیم اسمزی با کمک انتشار (*در جهت شیب غلظت و بدون صرف انرژی*) رخ می‌دهد (*نه در همهٔ آن‌ها*). / گزینهٔ (۲): باکتری‌ها فاقد اندامک غشادار می‌باشند. / گزینهٔ (۳): واکوئل انقباضی در هر تک‌یاخته‌ای وجود ندارد بلکه در برخی یوکاریوت‌ها مثل پارامسی دیده می‌شوند.

ج) لوله‌های مالپیگی

این سامانهٔ دفعی در **حشرات** (*نه همهٔ بندپایان*) دیده می‌شود که به صورت لوله‌های **مجزا** در کنار هم بوده که به سمت **همولنف** انتهای بسته دارند و از طرف دیگر باز و دو سمت در دو طرف **روده** هستند. این سامانه در آخر **ادرار و مدفوع** را مخلوط کرده و به‌طور مشترک از طریق **روده و دریچهٔ مخرجی** از بدن خارج می‌کنند.

لوله‌های مالپیگی از **همولنف** موجود در گردش مواد باز، ابتدا یون‌ها و نمک‌ها را وارد لولهٔ مالپیگی کرده و سپس با بالا رفتن فشار اسمزی در این لوله‌ها، **آب** را نیز طی فرایند **اسمز** از همولنف وارد می‌کنند، در ضمن ورود آب، **اوریک اسید** نیز به صورت بلورهای **جامد** به درون این لوله‌ها **وارد** می‌شود. همهٔ این مواد (*آب، یون‌ها و اوریک اسید*) از طریق لوله‌های مالپیگی که به **رودهٔ** جانور متصلند، وارد **روده** می‌شوند. در روده و راست‌روده، **آب و یون‌های** مورد نیاز آن دوباره **جذب** شده (*بازجذب می‌شوند*) و اوریک اسید به همراه مواد دفعی دستگاه گوارش و به صورت ادرار و مدفوع مخلوط شده از مخرج جانور خارج می‌شود.

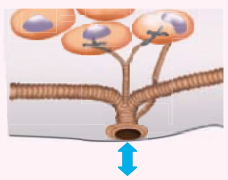


«لوله‌های مالپیگی»

نکته

لوله‌های مالپیگی در دو طرف **روده** حشره وجود دارند و مجموعه هر چند لوله مجاور با یک منفذ مشترک مواد خود را وارد روده می‌کنند. در حقیقت حشرات در اطراف معدهٔ خود حاوی **کیسه‌های** ترشح‌کنندهٔ آنزیم و در اطراف رودهٔ خود حاوی **لوله‌های** ترشح‌کنندهٔ مواد زائد می‌باشند. جذب غذا در **معدهٔ** جانور ولی جذب آب و املاح در روده یا **راست‌رودهٔ** جانور صورت می‌گیرد.

تست ۱۴ در جانور دارای سیستم تنفسی مقابل، .....



۱) اسکلت بیرونی در سطح خارجی بدن وجود دارد.

۲) خروج اوریک اسید به همراه مدفوع صورت نمی‌گیرد.

۳) انشعابات بن‌بست آن‌ها، فاقد سطح تنفسی مرطوب می‌باشد.

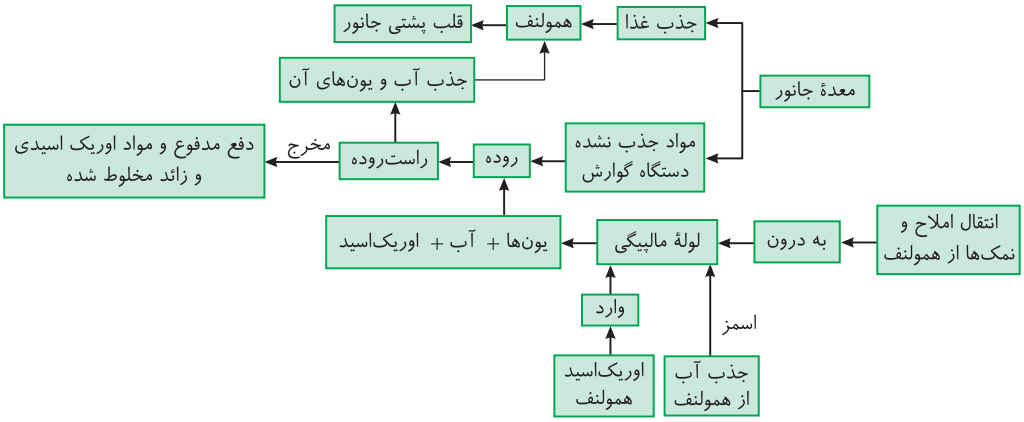
۴) جذب غذا فقط در روده صورت می‌گیرد.

پاسخ ۱ (B)

شکل سؤال، سیستم **نایدیسی** حشرات را نشان می‌دهد. اسکلت خارجی در حشرات وجود دارد. در این جانوران، اوریک اسید به همراه مدفوع از روده خارج می‌شود (نادرستی گزینهٔ (۲) و درستی گزینهٔ (۱)). این سیستم در انشعابات انتهایی خود، که بن‌بست می‌باشد و در مجاور یاخته‌هاست، مایعی برای مرطوب کردن گازهای تنفسی برای مبادله آن‌ها دارد (نادرستی گزینهٔ (۳)).

◄ ملخ حشره‌ای با تنفس نایدیسی است که در معده جذب غذا و در روده جذب آب دارد (نادرستی گزینهٔ (۴)).

خلاصه عمل گوارش، گردش مواد و دفع در حشرات (مثل ملخ)



جاندار	نوع دفع یا سامانهٔ تنظیم اسمزی	نکات
بیشتر تک‌یاخته‌ها	انتشار	با انتشار ساده و اسمز تنظیم آب را انجام می‌دهند (*پروکاریوت و یوکاریوت*).
سخت‌پوستان	آبشش دارند	مواد زائد و آب را با انتشار ساده از آبشش دفع می‌کنند.
حشرات	لوله‌های **مالپیگی**	بلور **اوریک اسید** را به همراه یون‌ها و آب از همولنف می‌گیرد و به روده می‌دهد تا به همراه مدفوع دفع شوند.

تنظیم اسمزی در مهره‌داران

مهره‌داران راهکارهای متنوعی برای تنظیم اسمزی خود دارند که بیشتر آن‌ها مربوط به سازگاری‌های دستگاه **دفع ادرار** آن‌ها می‌باشد.

نکته

همهٔ مهره‌داران **کلیه** دارند. بیشتر سازگاری‌های مسائل تنظیم اسمزی بدن آن‌ها را کلیه‌ها و دستگاه دفع ادرار انجام می‌دهند. چون همهٔ مهره‌داران گردش خون **بسته** دارند و خون آن‌ها درون رگ‌ها **تحت فشار** می‌باشد، این فشار وارده از خون به جدارهٔ رگ‌ها سبب **تراوش** مواد از غشاها به کلیه‌های آن‌ها می‌شود که آن‌ها را در مورد گردیزه‌های انسان و کپسول بومن، به‌طور کامل بررسی کردیم.

دفع ادرار در ماهی‌ها

الف) ماهی غضروفی

ماهیان غضروفی و سایر ماهی‌هایی که در آب شور زندگی می‌کنند، چون فشار اسمزی محیط زندگی آن‌ها شدیداً بالاست، با مشکل تمایل زیاد آب به خروج از بدن مواجه می‌شوند. مایعات درون بدن این جانداران به نسبت محیط خود، بسیار رقیق‌تر است. به همین دلیل آب بدن این جانوران تمایل زیادی به خروج از بدن دارد. در این جانوران مکانیسم‌های مختلفی وجود دارد که ادرار بسیار غلیظ از کلیه‌ها یا محلول نمکی بسیار غلیظی را از روده با حجم **کم** دفع می‌کنند. این ماهی‌ها، آب زیادی می‌نوشند ولی چون این آب نمک زیادی دارد، مجبورند با مکانیسم‌هایی نمک اضافی را از بدن خارج کنند.

در ماهی‌های غضروفی (*مثل کوسه‌ماهی و سفره‌ماهی*) علاوه بر اینکه کلیه‌های آن‌ها با بازجذب آب زیاد، ادرار **غلیظ** را ترشح و دفع می‌کنند، **غدد راست‌روده‌ای** نیز دارند که محلول نمک **بسیار غلیظ** «*NaCl*» را به **روده** ترشح فعال می‌کنند و از راه روده دفع می‌کنند. با این عمل مانع دفع آب بدن از راه اسمز می‌شوند.

ماهی غضروفی
- کلیه‌ها ← دفع املاح زائد نیتروژن‌دار
- غدد راست‌روده ← *NaCl* ← ترشح ← **روده** ← دفع

خلاصه تنظیم اسمزی در ماهی غضروفی

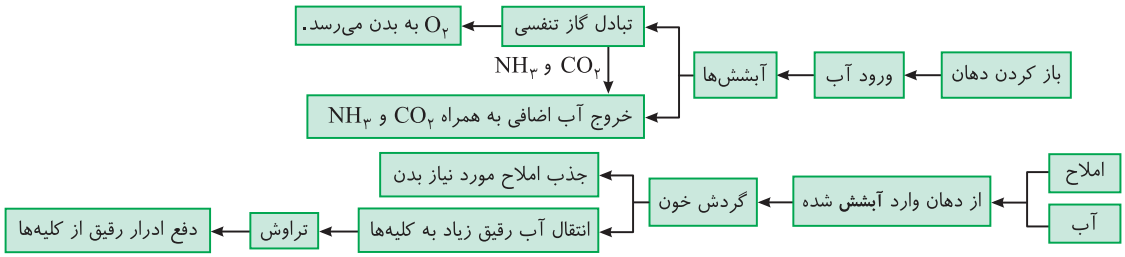
غلظت مایعات درون بدن آن‌ها از آب محیط کمتر می‌باشد. ← برای عدم دفع آب بدن به بیرون
- ادرار غلیظ از کلیه‌ها دفع می‌کنند.
- از **کلیه‌های** خود نمک غلیظ را به محیط بیرون ترشح فعال می‌کنند.
- از غدد **راست‌روده‌ای** خود نمک غلیظ NaCl (نه مادهٔ نیتروژن‌دار!) به محیط بیرون ترشح فعال می‌کنند.

● ب) ماهیان ساکن آب شیرین

در ماهیان و سایر جانداران ساکن **آب شیرین**، چون فشار اسمزی **مایعات درون بدن** از **محیط بیشتر** است، یعنی مایعات درون بدن آن‌ها از مایعات محیط **غلیظ‌تر** می‌باشد، پس جاندار تمایل زیادی به **گرفتن** آب برای تنظیم فشار اسمزی دارد. این ماهی‌ها برای مقابله با ورود زیاد آب، معمولاً آب زیادی **نمی‌نوشند**. آن‌ها در محیطی نیستند که نمک و مواد محلول زیادی داشته باشد، به همین دلیل نباید املاح بدن خود را به راحتی از دست بدهند. جانور به دنبال تحقق این امر، باز و بسته کردن دهان را فقط برای رساندن آب به آبشش‌ها و تبادل گاز تنفسی انجام می‌دهد. مقدار کم املاح موجود در آب ورودی را نیز جذب می‌کنند ولی بیشتر آب را به صورت ادرار رقیق از کلیه‌ها دفع می‌کنند.

نکته
باز و بسته شدن دهان این ماهی‌ها فقط برای گرفتن مقدار آب لازم برای **تبادل گازهای تنفسی** در آبشش‌ها است و پس از تبادل گازها، آب اضافی را از طریق ادرار رقیق خارج می‌کنند. در این جانوران تمام سعی جانور برای گرفتن نمک و املاح از محیط است که چون مقدار املاح محیط کم است این کار را به صورت فعال انجام می‌دهند.

مکانیسم جریان آب در ماهی‌های آب شیرین



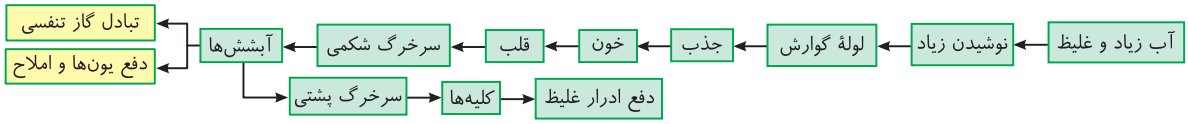
● ج) ماهیان ساکن آب شور

در ماهیان **دریایی** ساکن آب شور، چون فشار اسمزی محیط بیرون (*آب دریا*) از مایعات درون بدن جانور **بیشتر** است، پس همانند ماهی‌های غضروفی، آب بدن آن‌ها تمایل زیادی به خروج دارد. برای جبران این مشکل، این ماهیان مقدار **زیادی** آب می‌نوشند که این آب همراه با مقدار **زیادی** املاح و نمک می‌باشد. برخی از این یون‌ها از طریق **یاخته‌های آبششی** و برخی توسط **کلیه‌ها** و به صورت ادرار **غلیظ** دفع می‌شوند. (*این ماهی‌ها همانند سخت‌پوستان آبزی، مواد دفعی را از آبشش خود خارج می‌کنند.*)

نکته
ماهی‌های ساکن آب شیرین، قدرت دفع ادرار **رقیق** از **سیستم دفع ادرار** خود دارند ولی ماهی‌های ساکن آب شور دریا، یون‌ها را به صورت **ادرار غلیظ** و از **طریق** سیستم دفع ادرار کلیوی و مقداری نیز از طریق **سیستم تنفسی آبششی** دفع می‌کنند.

نکته
مشکل تنظیم آب در ماهیان ساکن آب شیرین ← با نوشیدن **کم** آب و دفع ادرار **رقیق** همراه با جذب املاح حل می‌شود.
مشکل تنظیم آب در ماهیان ساکن آب شور ← با نوشیدن **زیاد** آب و دفع نمک آن در ادرار **غلیظ و آبشش‌ها** حل می‌شود.

خلاصه جریان آب در ماهی آب شور



نکتهٔ آسان برای یادگیری
اگر محیط آب شیرین رقیق داشت ← ادرار جانور هم **رقیق** با نمک **کم** دفع می‌شود.
اگر محیط آب شور پرنمک غلیظ داشت ← ادرار جانور هم **غلیظ** و با نمک **زیاد** دفع می‌شود.

تست ۱۵ در ماهیان ..... همانند ماهیان ..... (قلم‌چی)
۱) آب شیرین - غضروفی، فشار اسمزی آب از مایعات بدن بیشتر است.
۲) غضروفی - دریایی، برخی از یون‌ها به صورت محلول غلیظ دفع می‌شوند.
۳) دریایی - آب شیرین، مثانه محل ذخیرهٔ آب و یون‌ها است.
۴) دریایی - غضروفی، نمک اضافه از طریق غدد نمکی به صورت قطره‌های غلیظ دفع می‌شود.

پاسخ ۲ B
در ماهیان غضروفی غدد راست‌روده‌ای یون‌های محلول نمک سدیم کلرید را به صورت غلیظ به روده ترشح و از طریق آن دفع می‌کنند. در ماهیان دریایی نیز برخی از یون‌ها از طریق یاخته‌های آبششی و برخی توسط کلیه به صورت ادرار غلیظ دفع می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): فقط در مورد ماهیان آب شیرین صحیح است. / گزینهٔ (۳): ذخیرهٔ آب در مثانه ویژهٔ دوزیستان بالغ است. / گزینهٔ (۴): این ویژگی فقط در ماهیان غضروفی وجود دارد.

دفع ادرار در دوزیستان

همان‌طور که به یاد دارید دوزیست نوزاد آبشش دارد و سیستم دفعی آن نیز مانند ماهی‌هاست (*البته معمولاً در آب شیرین هستند*) ولی دوزیستان بالغ، در محیط پرآب، دفع ادرار **رقیق** دارند. در این جانوران **مثانه‌ای** برای ذخیرهٔ **آب و یون‌ها** وجود دارد که وقتی محیط **خشک** باشد، مثانهٔ آن‌ها **بزرگ‌تر** شده و آب بیشتری را ذخیره می‌کند و به دنبال آن **بازجذب آب از مثانه به خون** زیاد شده تا دفع ادرار کمتر شود. دوزیستان در محیط غیرخشک به دفع ادرار **رقیق** می‌پردازند تا نمک خود را از دست ندهند.

نکته بازجذب **آب** از **مثانه** به خون فقط در سامانهٔ دفع ادرار دوزیستان دیده می‌شود.

- تنظیم اسمزی دوزیستان
  - محیط رقیق ← ورود آب به بدن دوزیست ← ذخیرهٔ آب و یون‌ها در مثانه ← دفع ادرار رقیق زیاد می‌شود.
  - محیط خشک ← توانایی جذب کمی آب از محیط دارند. ← مثانه بزرگ‌تر می‌شود. ← بازجذب آب از مثانه به خون زیاد می‌شود. ← دفع ادرار کم می‌شود.

نکات دوزیستان

۱) نوزادان آن‌ها دارای زندگی آبزی، **آبشش**دار، گیاه‌خوار و با قلب **دو**حفره‌ای و گردش خون بسته **ساده** می‌باشند ولی دوزیست بالغ، شش دارد و گوشت‌خوار همراه با قلب **سه**حفره‌ای با گردش خون **مضاعف** است.

۲) گوارش **برون**یاخته‌ای همراه لولهٔ گوارش دارند.

۳) در حالت بلوغ، تنفس **پوستی** نیز انجام می‌دهند و خون از بطن به پوست آن‌ها نیز می‌رسد.

۴) در حالت بلوغ شش‌هایی با سیستم تهویه فشار **مثبت** دارند که با بینی **بسته**، هوا را به زور وارد شش‌ها می‌کنند.

۵) در حالت نوزاد قلب دوحفره‌ای با گردش خون ساده ولی در حالت بلوغ قلب سه‌حفره‌ای با دو دهلیز و یک بطن و گردش خون مضاعف دارند.

دفع ادرار در خزندگان و پرندگان

این دو گروه کلیه‌هایی با توانایی زیاد در بازجذب آب دارند تا ادرار کم و غلیظی را دفع کنند چون اغلب در محیط‌های **خشک** زندگی می‌کنند. نگه‌داری آب در بدن آن‌ها مخصوصاً در برخی از خزندگان و پرندگان **دریایی** و **بیابانی** که از آب شور دریا و غذای نمک‌دار استفاده می‌کنند، بسیار مهم است. این گروه آن‌قدر نمک از راه آب یا غذا وارد بدن می‌کنند که ممکن است فشار اسمزی بدن آن‌ها خیلی بالا برود، به همین دلیل در آن‌ها **غدد نمکی** در **نزدیکی چشم یا زبان** وجود دارد (نه درون آن‌ها) که نمک اضافهٔ بدن را گرفته و به صورت قطره‌های **غلیظ** به محیط دفع می‌کنند. با توجه به شکل روبه‌رو غدهٔ نمکی بالای چشم نیز مجرایی دارد که از راه جلوی منقار پرنده نمک اضافی را خارج می‌کند.



- خزندگان و پرندگان دریایی یا بیابانی ← جذب آب غلیظ
  - جذب آب آن با انتشار
  - املاح آن
    - کلیه‌ها ← دفع ادرار غلیظ
    - غدهٔ نمکی چشم یا زبان ← خروج قطرهٔ غلیظ نمکی

تست ۱۶ چند مورد عبارت را به درستی کامل می‌کند؟ «غدد نمکی ویژهٔ تنظیم اسمزی در جانورانی شش‌دار وجود دارد که همگی ..... » (قلم‌چی)

الف) توانمندی زیادی در بازجذب آب توسط کلیه دارند.
ب) جدایی کامل بطن‌ها در آن‌ها مشاهده می‌شود.
ج) فقط در مناطق خشک و بیابانی زندگی می‌کنند.
د) در سامانهٔ گردشی مضاعف خود به آسانی، توانایی حفظ فشار خون بالا را دارند.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

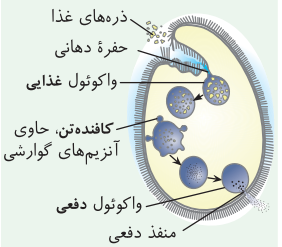
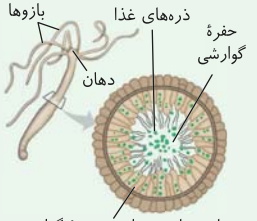
پاسخ ۱ (گزینهٔ C) تنها مورد (الف) عبارت را به درستی کامل می‌کند. (سؤال در مورد برخی خزندگان و پرندگان است که در محیط دارای نمک زیاد مثل دریا یا بیابان زندگی می‌کنند.)

تله‌های تستی الف) درست است. غدد نمکی در **برخی** خزندگان و پرندگان وجود دارد که کلیهٔ آن‌ها توانمندی **بازجذب آب** زیادی دارد. / ب) نادرست است. جدایی کامل بطن‌ها در **همهٔ** خزندگان دیده **نمی‌شود**. / ج) نادرست است. این جانوران می‌توانند در مناطق دریایی یا بیابانی زندگی کنند. / د) نادرست است. جدایی بطن‌ها، حفظ فشار در سامانهٔ گردشی مضاعف را آسان می‌کند در حالی که این وضعیت در **همهٔ خزندگان** دیده **نمی‌شود**.

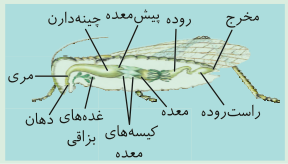
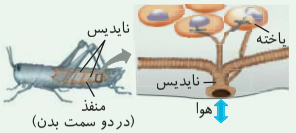
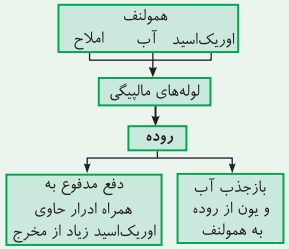
سامانه‌های تنظیم اسمزی مهره‌داران

جانور	ساکن	دفع ادرار کلیوی	نکته
ماهی غضروفی	اغلب آب **شور**	**غلیظ**	غدد **راست‌روده‌ای** محلول $NaCl$ بسیار غلیظ را برای دفع وارد روده می‌کند.
ماهی آب شیرین	آب **شیرین**	بسیار **رقیق**	آب زیاد **نمی‌نوشند** – نمک و یون‌ها از آبشش و کلیه‌ها جذب می‌شوند.
ماهی دریازی	آب **شور**	**غلیظ**	آب زیاد **می‌نوشند** – یون‌های اضافی را از **آبشش** یا **کلیه** دفع می‌کنند.
دوزیست	آب و محیط مرطوب	بسیار **رقیق**	**مثانه** با قدرت بازجذب آب دارد – در محیط خشک دفع ادرار آن‌ها کم و مثانه **بزرگ‌تر** می‌شود.
خزنده و پرنده	برخی دریازی یا بیابانی	بسیار **غلیظ**	غدد **نمکی** در نزدیکی چشم یا زبان برای دفع قطره‌های **غلیظ** دارند.

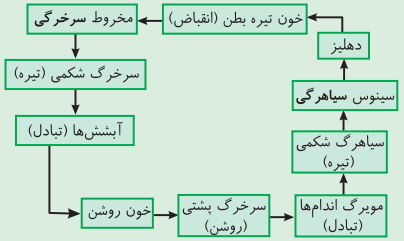
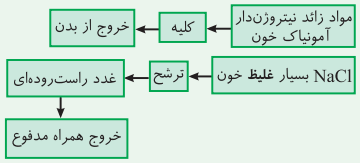
جدول مقایسهٔ دستگاه‌ها و قسمت‌های مختلف بدن جانداران

جاندار	شکل	نکات گوارشی	نکات تنفسی	نکات گردش مواد	نکات دفع مواد زائد و اسمز	تنظیم عصبی	حرکت
کرم کدو (کرم پهن)	 دوجنسی با خاصیت خودلقاحی می‌باشد.	فاقد **دهان** و دستگاه گوارش است. مواد مغذی را از **سطح بدن** (پوست) جذب می‌کند.	گازها مستقیماً بین یاخته‌ها و محیط از **سطح پوست** مبادله می‌شوند.	خون و سیستم گردش مواد **ندارد** و مواد را با **انتشار** منتقل می‌کند.	مواد زائد را نیز از سطح **پوست** خارج می‌کند.	کتاب بررسی نکرده است	با انقباض ماهیچه‌های بدن حرکت می‌کند.
پارامسی (مژک‌دار)		گوارش **درون**یاخته‌ای دارد. مژک‌ها غذا را به حفرهٔ دهانی می‌آورند و واکوئول **غذایی** ایجاد می‌کنند. واکوئول غذایی **متحرک** در سیتوپلاسم با لیزوزوم‌ها (کافندتن‌ها) ترکیب می‌شود. = واکوئول گوارشی (هضم شیمیایی انجام می‌دهد.) مواد گوارش یافته از واکوئول گوارشی جذب شده و باقی‌ماندهٔ آن واکوئول دفعی برای دفع از **منفذ** دفعی یاخته می‌باشد.	چون تک‌یاخته‌ای است، مستقیماً با محیط، تبادل گاز تنفسی می‌کند ولی ساختار تنفسی اختصاصی **ندارد**.	گردش مواد را همانند گوارش در **درون** یاخته انجام می‌دهد.	آب اضافی به همراه مواد دفعی (مثل آمونیاک) توسط واکوئول‌های **انقباضی** (ضربان‌دار) از بدن دفع می‌شوند.	–	با حرکات **مژک‌ها** در آب جابه‌جا می‌شود.
هیدر	 «بدن هیدر»	◀ کیسهٔ **منشعبی** به نام حفرهٔ گوارشی دارند. ◀ فقط **یک** سوراخ برای ورود و خروج مواد دارند. ◀ جایگاه گردش مواد و گوارش برون‌یاخته‌ای در همین **کیسه و انشعابات** آن می‌باشد. ◀ **برخی** یاخته‌های **داخلی** با ترشح آنزیم، گوارش **برون**یاخته‌ای را در کیسه **آغاز** می‌کنند. ◀ گوارش درون‌یاخته‌ای در واکوئول‌های غذایی و پس از **فاگوسیتوز** غذا ادامه می‌یابد. ◀ هیدر **تاژک** دارد و بازوهایی در اطراف **دهان** دارد.	گازها مستقیماً بین یاخته‌ها و محیط و به صورت انتشار مبادله می‌شوند و ساختار تنفسی ویژه‌ای ندارند.	کیسهٔ گوارشی آن‌ها که **پر** از مایع می‌باشد، گردش مواد را نیز انجام می‌دهد. **هیدر**: یک کیسهٔ منشعب همراه بازوهای دهانی و **تاژک** در سطح داخلی دارد.	به صورت انتشار ساده مواد زائد نیتروژن‌دار و آب اضافی را به محیط وارد می‌کنند.	**ساده‌ترین** ساختار عصبی را دارند که به صورت **شبکهٔ** عصبی از مجموعه‌ای نورون به صورت **پراکنده** می‌باشد. در این گروه مغز، گره عصبی، طناب عصبی و تقسیم‌بندی اعصاب محیطی و مرکزی وجود **ندارد** بین نورون‌ها ارتباط وجود دارد و تحریک هر نقطه از بدن جانور سبب تحریک **همهٔ** بدن می‌شود. این شبکه در یاخته‌های **ماهیچه‌ای** بدن جانور وجود دارد.	برخی ساکن و برخی حرکات کندی دارند. اسکلت **آب‌ایستایی** در عروس دریایی باعث **خروج** آب از بدن و حرکت جانور به سمت **مخالف** می‌شود.
کرم خاکی	در فصل ۷ زیست یازدهم عنوان کرده است که جانوری دوجنسی دارای بیضه و تخمدان می‌باشد که خاصیت دگرلقاحی دارد (نه خودلقاحی).	–	◀ تنفس **پوستی** دارد. ◀ پوستی پر از شبکهٔ **مویرگی** زیرپوستی دارد و گازها را با هوای بین ذرات خاک تبادل می‌کند. ◀ ساکن محیط مرطوب است.	**ساده‌ترین** گردش خون **بسته** را در این بی‌مهره می‌بینیم. سرخرگ، مویرگ (برای تبادل) و سیاهرگ دریچه‌دار در محل تماس با قلب دارد.	–	مغز و طناب عصبی **شکمی** دارد.	به کمک انقباض ماهیچه‌ها و تارهای زیر بدن
ستارهٔ دریایی (بی‌مهره)	–	–	آبشش‌هایی به صورت **برجستگی‌های کوچک** و **پراکنده** پوستی در **همه** جای بدن دارند.	–	–	–	–

جدول مقایسهٔ دستگاه‌ها و قسمت‌های مختلف بدن جانداران

جاندار	نکات گوارشی	نکات تنفسی	نکات گردش مواد	نکات دفع و تنظیم اسمزی	تنظیم عصبی	حرکت
بندپایان مخصوصاً حشرات (ملخ)	◀ ملخ حشرهٔ **گیاه‌خوار** است که آنزیم تجزیه نشاسته را به صورت **برون**یاخته‌ای ترشح می‌کند. ◀ شروع گوارش مکانیکی: آروارهٔ **دهانی** ◀ چینه‌دان: بخش حجیم انتهای **مری**، ذخیره و نرم کردن غذا، بالای غدد بزاقی می‌باشد. ◀ پیش‌معده: بخش کوچک بعد از **چینه‌دان**، ادامه و پایان هضم **مکانیکی** دارد. آنزیم‌های مترشحه از معده و کیسه‌های معده، در پیش‌معده فعالیت می‌کنند. آنزیم گوارشی ترشح نمی‌کنند. ◀ کیسه‌های معده ← در پایان گوارش شیمیایی مؤثر است. ◀ معده: محل **جذب** غذا، ترشح آنزیم ◀ روده ← انتقال مواد به راست‌روده ◀ راست‌روده ← جذب آب و **یون‌ها** ◀ تعدادی غدد بزاقی از یک مجرا مواد خود را وارد آرواره‌های دهان می‌کنند. 	◀ تنفس **نایدیسی** با لوله‌هایی باز در ابتدای خود دارند. ◀ لوله‌های منشعب و مرتبط دارند. ◀ می‌توانند منافذ سطحی ابتدای خود را ببندند تا آب بدن هدر نرود. ◀ انشعابات انتهایی نایدیس‌ها، مجاور یاخته‌ها و **بسته** می‌باشند ولی مایعی برای تبادلات گازی دارند. ◀ در حشرات که بی‌مهرگان **خشکی‌زی** هستند، تنفس نایدیسی دیده می‌شود. ◀ دستگاه گردش مواد آن‌ها، نقشی در انتقال **گاز تنفسی** ندارد. ◀ گازها بین نایدیس و یاخته‌ها با **انتشار** مبادله می‌شوند. 	◀ بندپایان و از جمله آن‌ها حشرات، سامانهٔ گردش مواد **باز** دارند. ◀ قلب لوله‌ای **پشتی** آن‌ها مایعی به نام **همولنف** که شامل آب میان‌بافتی، خون و لنف می‌باشد را در بدن **پمپ** می‌کند. ◀ مویرگ ندارند و همولنف از انتهای باز برخی رگ‌ها به فضای بین‌یاخته‌ای یا همان حفرات در مجاورت یاخته‌ها می‌رسد. ◀ تبادل مواد غذایی بین یاخته‌ها و همولنف صورت می‌گیرد ولی O_2 و CO_2 آن‌ها در حشرات توسط تنفس **نایدیسی** منتقل می‌شود. ◀ قلب، همولنف را از منافذ دریچه‌داری بدون وجود سیاهرگ به درون خود برمی‌گرداند. ◀ هر رگ متصل به قلب برای خروج خون بوده و سرخرگی دریچه‌دار است. 	◀ سخت‌پوستان:  ◀ لوله‌های مالپیگی حشرات: 	مغز از جوش خوردن **چند** گره دارند. **یک** طناب عصبی شکمی دارند که در هر بند از بدن **یک** گره عصبی برای فعالیت‌های **ماهیچه‌ها** دارد. ◀ مگس گیرندهٔ **شیمیایی** در موهای حسی روی پاها دارد. ◀ جیرجیرک‌ها گیرندهٔ **مکانیکی** صدا در پا و پرده **صماخ** دارند. ◀ حشرات چشم **مرکب** دارند. ◀ زنبور فرومون حسی برای هشدار از حضور **شکارچی** دارد.	حشرات و سخت‌پوستان اسکلت **بیرونی** برای حرکت و محافظت دارند که سبب محدودیت حرکت جانور می‌شود. این گروه **پاهای** حرکتی دارند.
اسفنج‌ها	ساده‌ترین جانورانند که در بدن خود به ذخیرهٔ گلیکوژن می‌پردازند و در غشای یاختهٔ خود کلسترول دارند.	انتشار ساده با محیط	سامانهٔ گردش **آب** به کمک سوراخ‌های **متعدد** ورودی و سوراخ یا سوراخ‌های **بزرگ‌تر** خروجی مواد دارند. یاختهٔ یقه‌دار **تاژک‌دار** در سطح داخلی بدن برای حرکت آب دارند.		-	-
پلاناریا (کرم پهن آزادزی)	همانند هیدر **حفرهٔ** گوارشی دارد.	ساختار ویژهٔ تنفسی **ندارد** و یاخته‌ها مستقیماً با محیط تبادل گاز تنفسی می‌کنند.	انشعابات کیسهٔ گوارشی آن‌ها در **تمام** نواحی بدن برای گردش مواد نفوذ کرده و انتشار سریع و آسانی را بین یاخته‌ها انجام می‌دهند. (حرکات بدن به جابه‌جایی مواد کمک می‌کند.)	-	ساده‌ترین ساختار عصبی دارای مغز، طناب عصبی و طبقه‌بندی **مرکزی و محیطی** اعصاب دارد. دو گره عصبی در سر به عنوان **مغز** از جسم‌های یاخته‌ای دارد. دو طناب عصبی جانبی و رشته‌های مرتبط **نردبانی** به عنوان اعصاب **مرکزی** دارد. رشته‌های کوچک‌تری به عنوان اعصاب **محیطی** دارد.	به کمک انقباض ماهیچه‌ها

جدول مقایسهٔ دستگاه‌ها و قسمت‌های مختلف بدن جانداران

مهره‌داران	نکات گوارشی	نکات تنفسی	نکات گردش مواد (خون)	نکات دفع و تنظیم اسمزی	تنظیم عصبی	حرکت
ماهی‌ها	◀ لولهٔ گوارش از دهان تا مخرج با گوارش **برون**یاخته‌ای دارند.	◀ **همهٔ** ماهی‌ها و نوزاد دوزیستان **آبشش** بسیار کارآمد دارند. ◀ در آبشش‌ها جهت حرکت خون و آب در اطراف **تیغه‌های** درون **رشته‌های** آبششی برخلاف یکدیگر می‌باشد. ◀ خون تبادل شده در آبشش‌ها به **سراسر** بدن می‌رود. ◀ آب از راه دهان آن‌ها به آبشش‌ها می‌رسد. ◀ تبادل مواد در مویرگ‌های دو طرف تیغه‌های آبششی صورت می‌گیرد.	قلب آن‌ها یک دهلیز کوچک در بالا و یک بطن بزرگ‌تر در پایین دارد که هر دو در سطح شکمی هستند. ماهی‌ها قلب **دوحفره‌ای** با گردش خون **بسته ساده** دارند که خون تیره قلب به آبشش‌ها رفته و پس از تبادل به یکباره به سایر اندام‌های بدن می‌رسد.  ◀ بین دهلیز و سینوس سیاهرگی یک دریچه دارند. ◀ بین دهلیز و بطن یک دریچهٔ قلبی دارند. ◀ بین بطن و مخروط سرخرگی، یک دریچه دارند.	همهٔ مهره‌داران **کلیه** دارند. **ماهی‌های غضروفی:** (کوسه‌ماهی و سفره‌ماهی) ساکن آب شور  ◀ ادرار **غلیظ** دفع می‌کنند. **ماهیان ساکن آب شیرین:** ◀ آب زیادی نمی‌نوشند و دهان فقط برای تبادل گاز، آب می‌گیرد و **باز و بسته** می‌شود. ◀ ادرار را با آب زیاد **و بسیار رقیق** دفع می‌کنند. **ماهیان دریایی:** ◀ غلظت آب محیط آن‌ها زیاد است. ◀ آب زیادی می‌نوشند. ◀ یون‌ها: برخی← توسط یاخته‌های آبششی دفع می‌شوند. برخی← به صورت **ادرار غلیظ** از کلیه‌ها دفع می‌شوند.	مغز و طناب عصبی **پشتی** دارند. جمجمه غضروفی یا استخوانی حاوی **مغز** دارند. ◀ گیرندهٔ **مکانیکی** حساس به ارتعاش در خط **جانبی** دارند. ◀ لوب‌ها یا پیازهای بویایی بزرگی به نسبت **مغز** سایر جانوران دارند. ◀ مخ از جلو با لوب **بویایی** و از عقب با لوب **بینایی** در تماس می‌باشد.	ماهی‌های غضروفی مثل کوسه‌ماهی با اسکلت **داخلی** غضروفی و بقیه با اسکلت داخلی **استخوانی** غضروفی و به کمک باله‌ها حرکت می‌کنند.
دوزیستان	لولهٔ گوارش کامل دارند.	◀ تبادلات گازی دوزیستان بالغ، **پوستی** و ششی می‌باشد. ◀ شبکهٔ مویرگی وسیع در **زیر** پوست دارند. ◀ دوزیستان پمپ تهویه هوای فشار **مثبت** دارند و هوا را با انقباض ماهیچه‌های دهان، حلق و بینی **بسته**، به سوی شش‌ها می‌رانند.	دوزیستان: نوزاد آن‌ها گردش خون **ساده** با قلب **دو**حفره‌ای همانند ماهی‌ها دارد. بالغ ← گردش خون مضاعف و قلب **سه**حفره‌ای با دو دهلیز و یک بطن دارد. دو تلمبه قلبی وجود دارند که تلمبه با فشار کمتر برای تبادلات **گازی** در پوست و شش‌ها و تلمبه با فشار بیشتر برای گردش **عمومی** در کل بدن می‌باشد.	◀ **مثانه** آن‌ها هم قدرت بازجذب آب اضافی در هنگام خشکی دارد ← ادرار **رقیق** دارند.	مغز و طناب عصبی **پشتی** دارند.	اندام‌های حرکتی و اسکلت استخوانی درونی دارند.

جدول مقایسهٔ دستگاه‌ها و قسمت‌های مختلف بدن جانداران

مهره‌داران	نکات گوارشی	نکات تنفسی	نکات گردش مواد (خون)	نکات دفع و تنظیم اسمزی	تنظیم عصبی	حرکت
خزندگان	لولهٔ گوارش کامل دارند.	◀ بیشتر خزندگان پمپ فشار **منفی** سازوکار تهویه‌ای شش دارند (*همانند پرندگان و پستانداران*).	خزندگان قلب **چهار**حفره‌ای با گردش خون مضاعف دارند که در برخی مثل **کروکودیل‌ها** دیوارهٔ بین دو بطن کامل است ولی در سایر خزندگان دیوارهٔ **ناقصی** بین دو بطن وجود دارد.	◀ خزندگان و پرندگان ساختار کلیه **مشابه** دارند و توانایی بازجذب آب **بالایی** دارند. ◀ برخی خزندگان و پرندگان دریایی و بیابانی که آب غلیظ دریا یا غذای پرنمک می‌خورند ← نمک اضافی را از غدد نمکی نزدیک **چشم یا زبان** به صورت قطره‌های **غلیظ** دفع می‌کنند.	مغز و طناب عصبی پشتی دارند. گیرندهٔ امواج **فروسرخ** در سوراخ جلو و **زیر** هر چشم مار زنگی وجود دارد. ◀ مارها قادر به تشخیص فرومون‌های هوا بوده و با کمک آن به جفت‌یابی می‌پردازند.	برخی اندام‌های حرکتی دست و پا دارند و برخی با انقباض ماهیچه‌ها و حرکت خزیدن طی مسیر می‌کنند ولی همگی اسکلت **داخلی** استخوانی دارند.
پرندگان	◀ نوع **دانه‌خوار** آن‌ها چینه‌دان و سنگدان دارند که **معدهٔ** لوله‌ای‌شکل بین چینه‌دان و سنگدان آن‌هاست. ◀ رودهٔ باریک و بزرگ جدا دارند. ◀ کبد آن‌ها همانند سنگدان آن‌ها به رودهٔ باریک راه دارد. ◀ کبد زیر معده و سنگدان آن‌هاست.	◀ مکش با فشار **منفی** شش‌ها دارند. ◀ کیسه‌های **هوادار** علاوه بر شش‌ها دارند. ◀ کارایی تنفسی **بیشتری** از پستانداران دارند. ◀ کیسه‌های هوادار آن‌ها در حفرات بدن، دو طرف گردن و استخوان‌های بازو می‌باشد.	پرندگان و پستانداران قلب **چهار**حفره‌ای با گردش خون مضاعف دارند که مانند کروکودیل‌ها می‌توانند فشار خون را در سامانهٔ گردش خون مضاعف، حفظ و **آسان** کنند.	کلیه‌هایی با کارایی **بالا** دارند.	مغز و طناب عصبی پشتی دارند. اندازهٔ نسبی مغز آن‌ها به همراه **پستانداران** نسبت به **وزن** بدن از بقیه بیشتر است.	با یک جفت بال و به کمک پاها حرکات پروازی یا راه رفتن یا شنا در روی آب دارند.
پستانداران	◀ نشخوارکننده‌ها **معدهٔ چهارقسمتی** دارند. ◀ بخش مورد نیاز قبل و بعد از نشخوار در معده: سیرابی (هضم میکروبی **زیاد**) و نگاری (در هر **دو بلع** غذا می‌گیرند **کمی** هضم میکروبی) ◀ بخش‌های فقط مؤثر در بعد از نشخوار معده: شیردان (هزارلا ← آبگیری در بلع **دوم**؛ **آنزیم‌های** گوارشی معده اصلی)	شش با مکش فشار **منفی** دارند.	گردش خون مضاعف و کامل دارند.	کلیه‌هایی با کارایی بالا دارند.	مغز و طناب عصبی پشتی دارند. اندازهٔ نسبی مغز آن‌ها همانند پرندگان نسبت به وزن بدن از بقیه جانوران بیشتر است.	اندام‌های حرکتی و اسکلت درونی استخوانی دارند.

فصل ششم
از یاخته تا گیاه

درسنامه

گفتار ۱ ویژگی‌های یاختهٔ گیاهی

این فصل شروع اختصاصی زیست‌شناسی گیاهی و نقش گیاه در طبیعت می‌باشد. دوستان عزیزم متأسفانه سال‌هاست که زیست گیاهی در کتاب‌های شما پیوستگی مطلب ندارد و شما نصف مطالب را در دهم و بقیه را در یازدهم می‌خوانید. برای شروع باید بدانید که گیاهان فرمانروی پریاخته‌ای و بسیار متنوع می‌باشند. برای پاسخ به تفاوت‌های گیاهان و سایر جانداران، همچنین چگونگی ساخت غذا، مواد دارویی و پوشاک توسط گیاهان و چگونگی غلبه بر عدم حرکت در محیط برای مقابله با خطر و داشتن سایر ویژگی‌های گیاهی باید ابتدا **یاخته** و ساختارهای سازمان‌یابی ویژه آن را بشناسیم و تفاوت آن را با یاخته سایر جانداران بررسی کنیم.

نکته مهم

گیاهان به دو نوع بدون آوند (*خزه‌گیان*) و گیاهان آوندی تقسیم می‌شوند. گیاهان آوندی بسیار متنوع می‌باشند. در حال حاضر **گیاهان آوندی** و به خصوص **نهان‌دانگان** که پیشرفته‌ترین نوع گیاهان آوندی می‌باشند، بیشترین گونه‌های گیاهی روی زمین را تشکیل داده‌اند. دقت کنید که گیاهان منبع غذایی مردم هستند و در تأمین مواد اولیه صنایع مختلف مثل داروسازی و پوشاک‌سازی و غیره نقش دارند.

یادآوری

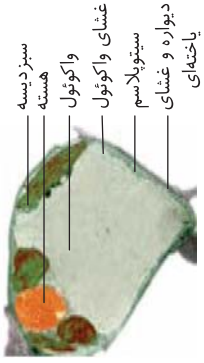
جدول انواع گیاهان و ویژگی‌ها

انواع گیاهان	آوند	دانه	راه پراکنش در محیط	میوه	گل	مثال
خزه‌گیان	**ندارد**	ندارد	هاگ (*محصول میوز*)	ندارد	ندارد	خزه
نهانزادان آوندی	دارد	ندارد	هاگ (*محصول میوز*)	ندارد	ندارد	سرخس
بازدانگان (*مخروطیان*)	دارد	دارد	دانه	ندارد	ندارد	کاج و سرو
نهان‌دانگان	دارد	دارد	دانه	**دارد**	**دارد**	تک‌لپه (*زرت*) و دولپه (*لوبیا*)

ویژگی‌های یاختهٔ گیاهی

به‌طور معمول هر یاختهٔ **زندهٔ** گیاهی همانند سایر یاخته‌های یوکاریوتی، حاوی غشا و هسته بوده و در اطراف هستهٔ آن‌ها، سیتوپلاسمی حاوی مادهٔ زمینه‌ای و اندامک‌های متنوع وجود دارد. در یاخته گیاهان ویژگی‌های دیگری نیز می‌توان مشاهده کرد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

- هر یاختهٔ گیاهی از دو قسمت ایجاد شده است
  - پروتوپلاست (*بخش زنده*)
  - دیواره (*بخش غیرزنده*)



«نوعی یاختهٔ گیاهی»

نکته

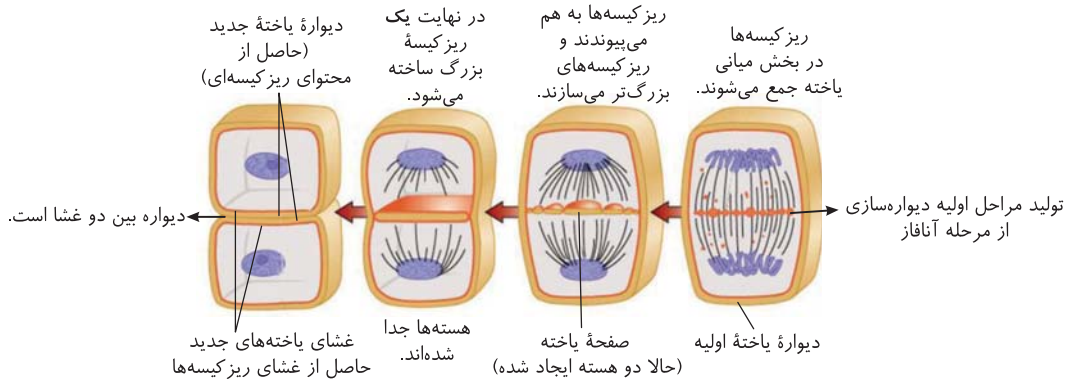
همان‌طور که در شکل مقابل در یاختهٔ گیاهی مشاهده می‌کنید، در سیتوپلاسم، اندامک‌های غشادار متفاوتی وجود دارد. به‌طور معمول در **اغلب** یاخته‌های زندهٔ گیاهی، **واکوئل**، حجیم‌ترین اندامک یاخته بوده که به حفظ و تنظیم **آب** یاخته می‌پردازد.

۱) پروتوپلاست

این بخش در یاختهٔ گیاهی زنده وجود دارد و هم‌ارز یاختهٔ زنده در **جانوران** می‌باشد که شامل غشا، هسته و سیتوپلاسم (*حاوی اندامک‌ها، ساختارها و مادهٔ زمینه‌ای درون آن*) می‌باشد. فعالیت‌های **زیستی** یاخته، درون **پروتوپلاست** انجام می‌گیرد. در سال آینده می‌آموزید که تقسیم یاخته شامل دو قسمت تقسیم هسته و تقسیم **سیتوپلاسم** می‌باشد. در یاخته‌های گیاهی، پروتوپلاست **بعد** از تقسیم هسته، دیوارهٔ یاخته‌ای را در سیتوپلاسم و بین دو هسته می‌سازد و به تدریج سیتوپلاسم را به دو بخش تقسیم می‌کند. در حقیقت در سیتوپلاسم این یاخته، اندامک‌هایی به نام **دستگاه گلژی** با ساخت **ریزکیسه‌هایی** غشادار سبب تشکیل دیوارهٔ یاخته‌ای (*صفحه ۲۶*) می‌شود.

● ۲) دیوارهٔ یاخته

همان‌طور که گفتم، در سال آینده می‌خوانید که تقسیم یاخته شامل دو بخش تقسیم **هسته** و تقسیم **سیتوپلاسم** می‌باشد. در یاخته‌های گیاهی، قبل از تقسیم هسته، ریزکیسه‌هایی شامل پیش‌سازهای دیوارهٔ یاخته که توسط **غشا** احاطه شده‌اند، در دستگاه گلژی ساخته می‌شوند و در **وسط** یاخته کنار هم قرار می‌گیرند و به تدریج به هم متصل می‌شوند. سپس تقسیم هسته صورت می‌گیرد و پس از آن صفحهٔ یاخته‌ای یا اولین دیوارهٔ جدید به دیوارهٔ **قدیمی** یاختهٔ مادر متصل می‌شود تا دو یاختهٔ مجزای جدید ایجاد شود (*البته این مطالب و شکل زیر مربوط به کتاب یازدهم است ولی چون با اینجا کمی هم‌پوشانی مطلب داشت مجبور شدم اینجا هم توضیح بدهم. قطعاً در سال آینده نکات مفصل‌تر و عجیب‌تری هم در مورد آن می‌خوانید*).



«تقسیم سیتوپلاسم در یاختهٔ گیاهی»

● بررسی چند مطلب مهم

۱) دیواره فقط ویژهٔ یاختهٔ گیاهی نمی‌باشد. در حقیقت قارچ‌ها، اغلب باکتری‌ها و برخی آغازیان نیز دیواره دارند ولی در این بخش ما به بررسی دیواره و ساختار آن در گیاهان می‌پردازیم. لازم به ذکر است که دیواره، قسمتی است که به‌طور معمول در هر یاختهٔ گیاهی وجود دارد (*ولی یاخته‌های جانوری فاقد آن می‌باشند*). در یاختهٔ **زندهٔ** گیاهی، دیواره در **اطراف** پروتوپلاست قرار دارد ولی در یاختهٔ مرده، **دیواره تنها بخش باقی‌ماندهٔ یاخته** می‌باشد که نقش‌های متفاوتی دارد که در زیر به آن‌ها به صورت تیتروار پرداخته‌ایم.

۲) اعمال دیواره در یاختهٔ گیاهی
- استحکام پیکر گیاه
  - الف) حفظ شکل یاخته
  - ب) حفظ استحکام یاخته
- ج) کنترل تبادل مواد بین یاخته‌ها در گیاه (*نفوذپذیری دیواره برخلاف غشا انتخابی نیست*).
- د) جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا
- ه) جلوگیری از ترکیدن یاخته در اثر آب‌گیری یا تورژسانس زیاد

۳) دیواره برخلاف غشا، نفوذپذیری انتخابی (*نیمه*) **ندارد** ولی از غشا **قطورتر** می‌باشد.

۴) یاخته، اولین‌بار توسط رابرت هوک و با مشاهدهٔ **چوب‌پنبه** وارد علم زیست‌شناسی شد. چوب‌پنبه مورد نظر از یاخته‌های **مرده** و مجموعه حفراتی تشکیل شده بود که توسط دیواره‌هایی از هم جدا شده بودند. هوک توسط میکروسکوپ **ابتدایی** این موارد را مشاهده کرد. در شکل مشاهده شده، هیچ بخش زنده و فعالی وجود نداشت (*خودش فاقد پروتوپلاست بوده‌اند*).

۵) غشا، سیتوپلاسم و هسته گیاهان نکاتی کاملاً مانند این قسمت‌ها در یاختهٔ جانوری دارند که در فصل (۱) آموختید. فقط به یاد داشته باشید که سیتوپلاسم آن‌ها فاقد کلروپلاست است و برحسب کتاب سال بعد شما، سانتریول هم ندارند (*البته یک سری اندامک‌ها هم این‌ها دارند که یاختهٔ جانوری ندارد!*).



«میکروسکوپ ابتدایی رابرت هوک و آنچه مشاهده کرد.»

دیواره‌سازی و انواع دیوارهٔ یاخته‌ای در گیاهان

● الف) تیغهٔ میانی

اولین و **قدیمی‌ترین** لایهٔ دیوارهٔ یاخته‌ای گیاهان است که **بعد** از تقسیم هسته ایجاد می‌شود. این دیواره حاوی نکات زیر می‌باشد:

۱) **یک لایه دیوارهٔ مشترک** بین دو یاخته‌ای است که به تازگی هستهٔ آن‌ها تقسیم شده است (*از ادغام تعدادی ریزکیسه ایجاد می‌شود*).

۲) **دو طرف** این دیواره، از بدو تشکیل، **غشای** یاخته قرار داشته است. این لایه برای اولین‌بار سیتوپلاسم را به دو بخش تقسیم می‌کند.

۳) **قدیمی‌ترین** لایهٔ دیوارهٔ بین‌یاخته‌ای در **هر** بافتی از گیاه می‌باشد که فقط در سطح بین دو یاختهٔ تازه تشکیل شده به وجود می‌آید.

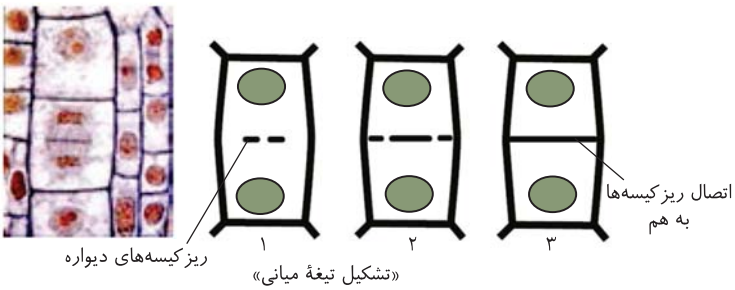
۴) از ماده‌ای به نام **پکتین** ساخته شده است که دو یاخته را مثل چسب کنار هم قرار می‌دهد.

۵) این لایه توسط دستگاه گلژی پروتوپلاست یاخته‌ای که تقسیم هستهٔ آن تمام شده است، ساخته می‌شود.

۶) هیچ‌گاه **چوبی** (*لیگنینی*) نمی‌شود. همواره قابلیت گسترش، کشش و انعطاف دارد و همراه با رشد یاخته، **رشد** می‌کند (*پس مانع رشد نمی‌شود*).

۷) در شکل روبه‌رو ملاحظه می‌کنید که برای تیغهٔ میانی، ابتدا منافذ **زیادی** بین ریزکیسه‌ها وجود داشته است که به تدریج به هم پیوسته و صفحهٔ یاخته‌ای با یک ریزکیسه ساخته می‌شود (پس از تعداد منافذ کم می‌شود اما خواهید خواند که به صفر نمی‌رسد).

۸) تیغهٔ میانی به صورت تجمع ریزکیسه‌هایی پکتین‌دار که دور آن‌ها غشای یاخته می‌باشد، تشکیل شده است که به تدریج به هم می‌پیوندند و **صفحهٔ یاخته‌ای** را در بین دو یاخته ایجاد می‌کنند.



«تشکیل تیغهٔ میانی»

۹) دقت کنید که تیغهٔ میانی توسط **پروتوپلاست** در یاخته‌ای کامل می‌شود که دارای **دو هسته** بوده است. در حقیقت دستگاه گلژی موجود در دو سمت یاخته پیش‌سازهای این دیواره را ساخته و به وسط یاخته در سیتوپلاسم می‌فرستند (پس تیغهٔ میانی محصول یک یاخته بوده است).

۱۰) دو یاختهٔ جدید حاصل از تقسیم، فقط دیواره و غشایی که بین آن‌هاست جدید می‌باشند و تازه ساخته شده‌اند ولی سایر دیواره‌ها و غشاهای هر یاخته، از یاختهٔ اولیه تأمین می‌شود.

● ب) دیوارهٔ نخستین

خب حالا بعد از تشکیل تیغهٔ میانی، دیگه دو یاختهٔ جدا تشکیل شده است. از اینجا به بعد هر یاخته فقط برای خودش دیواره می‌سازد که اولین آن به نام دیوارهٔ نخستین است. در حقیقت این دیواره قالبی است که پروتوپلاست به سمت **داخل** تیغهٔ میانی در هر بافتی می‌سازد (پس دیوارهٔ نخستین اولین دیواره‌ای است که هر یاختهٔ مجزاشده‌ای برای خود می‌سازد).

نکات دیوارهٔ نخستین

۱) یک لایه به سمت داخل تیغهٔ میانی و **نزدیک‌تر** به غشای یاخته‌ای می‌باشد و بین غشا و تیغهٔ میانی فاصله می‌اندازد.

۲) پروتوپلاست زندهٔ هر یاخته تازه تشکیل شده و جدا شده برای خودش دیوارهٔ نخستین **مجزایی** می‌سازد و به بیرون از غشا آن را ترشح می‌کند.

۳) این دیواره علاوه بر **پکتین** از رشته‌های **سلولزی** به وجود آمده است.

۴) این دیواره **همانند** تیغهٔ میانی همراه با رشد پروتوپلاست و اضافه شدن ترکیبات دیواره، رشد کرده و قابلیت کشش و گسترش یا انعطاف دارد ولی هیچ‌گاه **چوبی** نمی‌شود و مانعی برای رشد یاخته به حساب نمی‌آید (چه‌برای تقسیم چه‌برای افزایش حجم یاخته).

۵) در همین فصل جلوتر می‌خوانید که در بافتی به نام **کلانشیم**، **ضخیم** بودن دیوارهٔ نخستین سبب **استحکام** یاخته و بافت می‌شود ولی چون چوبی نمی‌شود، همواره **انعطاف‌پذیر** می‌باشد و مانع رشد طولی بافت کلانشیم نمی‌شود.

نکته

تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین در همهٔ یاخته‌ها و بافت‌های گیاهی وجود دارند و هیچ‌گاه باعث مرگ یاخته نمی‌شوند چون چوبی یا لیگنینی نمی‌شوند. لازم به توجه است که دیوارهٔ نخستین، لایه‌ای است که پروتوپلاست هر یاختهٔ **زنده** را دربر می‌گیرد.

● ج) دیوارهٔ پسین

در **برخی** یاخته‌ها و بافت‌های گیاهی چند لایه دیوارهٔ دیگر نیز بین دیوارهٔ نخستین و غشای یاخته توسط پروتوپلاست ساخته و ترشح می‌شود که به **مجموع** آن‌ها دیوارهٔ پسین می‌گویند (نه به هر لایهٔ آن).

نکات دیوارهٔ ثانویه (پسین)

۱) در بعضی یاخته‌ها و بافت‌های گیاهی لایه‌هایی از رشته‌های **سلولزی** دیگری به سمت داخل دیوارهٔ نخستین نیز ساخته می‌شوند که در مجموع به این لایه‌های جدید، دیوارهٔ **پسین** می‌گویند.

۲) از سایر دیواره‌ها **جوان‌تر** هستند و به غشای یاختهٔ زنده **نزدیک‌ترند** (جدیدترین محصولات دیواره‌ای یاخته‌ها در برخی بافت‌ها هستند).

۳) همانند سایر دیواره‌ها توسط **پروتوپلاست** زنده ساخته می‌شوند.

۴) رشد یاخته‌ها، پس از تشکیل این دیواره (پسین) **متوقف** می‌شود. در حقیقت دیوارهٔ پسین، مانع رشد یاخته از نظر تعداد یا حجم می‌شود.

۵) طرز قرارگیری رشته‌های سلولزی این دیواره سبب **استحکام** و تراکم بیشتر آن نسبت به دیوارهٔ نخستین شده و مانع رشد یاخته می‌شود.

۶) در **هر لایهٔ** آن، رشته‌های سلولزی به طرز **متفاوت** و زاویه‌داری نسبت به لایهٔ **مجاور** تشکیل می‌شود که سبب استحکام این دیواره شده است. در حقیقت طرز قرارگیری رشته‌های سلولزی درون هر لایه آن، مشابه و موازی می‌باشد ولی با لایهٔ مجاور خود زاویه دارد.

۷) با توجه به شکل کتاب در دیوارهٔ پسین، برخی لایه‌های آن که مجاور هم نیستند می‌توانند رشته‌های سلولزی مشابه هم و بدون زاویه داشته باشند.

نکته

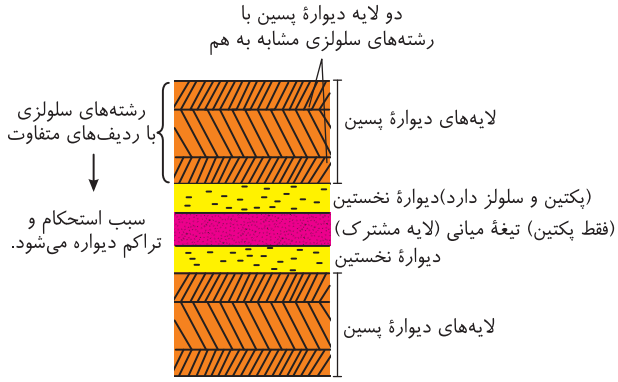
در دیواره‌سازی هر لایه یا دیواره‌ای که قدیمی‌تر است (مثل تیغهٔ میانی)، از غشای یاخته **دورتر** می‌باشد و **زودتر** ساخته شده است. در حقیقت با ساخت دیواره‌های نخستین و پسین، به تدریج فاصلهٔ تیغهٔ میانی با غشای یاخته بیشتر می‌شود و در ادامه با ساخت دیوارهٔ پسین، فاصلهٔ دیوارهٔ نخستین تا پروتوپلاست نیز افزایش می‌یابد.

نکته در ادامهٔ فصل یاد می‌گیرید که دیوارهٔ دومین در بافت‌هایی مثل **اسکلرانشیم** و هادی **چوبی**، پس از مدتی لیگنینی (*چوبی*) می‌شوند که سبب **استحکام** گیاه و مرگ یاخته می‌شوند.

نکته هرچه تعداد و قطر لایه‌های دیواره‌های یاخته‌ای بیشتر شود، پروتوپلاست کوچک‌تر و کم‌حجم‌تر می‌شود.

● جدول دیواره‌های گیاهی

نکات / دیواره	زمان ساخت	تعداد لایه در هر یاخته	جنس	نکتهٔ دیگر
تیغهٔ میانی	بعد از **تقسیم هسته**	**یکی** مشترک برای دو یاخته	**پکتین**	چوبی **نمی‌شود** - در همهٔ بافت‌ها وجود دارد.
دیوارهٔ نخستین	بعد از **تیغهٔ میانی**	**یک** لایه	پکتین به همراه رشته‌های **سلولز** (*پلی ساکاریدی*)	چوبی **نمی‌شود** - در همهٔ بافت‌ها وجود دارد (*در بافت کلرنشیم ضخیم و مستحکم است*).
دیواره‌های پسین	بعد از **دیوارهٔ نخستین**	**چند**لایه‌ای	سلولزی با ردیف‌های متفاوت	در اسکلرانشیم و هادی چوبی، **لیگنینی** (*چوبی*) می‌شود و نقش **استحکامی** دارد.





تست ۱ **کدام گزینهٔ زیر صحیح می‌باشد؟**

۱) به مجموع لایه‌های دیواره‌ای در برخی بافت‌های گیاهی، دیوارهٔ پسین گفته می‌شود.

۲) هر لایهٔ دیوارهٔ پسین رشته‌های پکتینی موازی هم و زاویه‌دار با لایهٔ مجاور دارد.

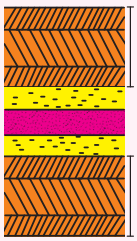
۳) هر بخش دیوارهٔ نخستین و پسین برخلاف تیغهٔ میانی با برون‌رانی ایجاد شده است.

۴) دیواره‌سازی در اغلب موارد توسط بافت زنده گیاه صورت می‌گیرد.

پاسخ ۳ B تمام لایه‌های دیواره توسط اندامک‌های پروتوپلاست زندهٔ یاخته ساخته می‌شود ولی دقت کنید که تیغهٔ میانی محصولی درون‌یاخته‌ای است که در سیتوپلاسم قرار می‌گیرد ولی دیواره‌های نخستین و پسین طی برون‌رانی ایجاد می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در بعضی یاخته‌های گیاهی، علاوه بر تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین، لایه‌های دیگری نیز ساخته می‌شود که به مجموع **آن‌ها** (*به‌جز تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین*) دیوارهٔ پسین می‌گویند. / گزینهٔ (۲): هر لایهٔ دیوارهٔ پسین رشته‌های **سلولزی** (*نه پکتینی*) موازی هم و زاویه‌دار با لایهٔ مجاور دارد (*دیوارهٔ پسین پکتین ندارد، تیغهٔ میانی سلولز ندارد*). / گزینهٔ (۴): ساختن دیواره نیازمند انجام فعالیت‌های مختلفی در درون سیتوپلاسم است. بنابراین دیواره‌سازی **همواره** توسط بافت زندهٔ گیاه که دارای پروتوپلاست زنده است، انجام می‌گیرد (*نه اغلب موارد*).

تست ۲ **در یاخته‌های دارای دیواره با ساختار مقابل، .....** (قلم‌چی)



۱) رشد متوقف شده است.

۲) امکان کنترل تبادل مواد وجود ندارد.

۳) تنها بخش باقی‌مانده از یاخته‌های گیاهی همین ساختار است.

۴) بیش از سه لایه، قابلیت گسترش و کشش دارند.

پاسخ ۱ B شکل در ارتباط با لایه‌های مختلف دیواره (*تیغهٔ میانی، دیوارهٔ نخستین و دیوارهٔ پسین*) است که در یاخته‌های دارای دیوارهٔ پسین پس از تشکیل این دیواره، رشد متوقف می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): یاخته‌ای زنده که دیواره دارد یعنی کنترل تبادل مواد دارد. / گزینهٔ (۳): در صورت مرگ یاخته، این عبارت صحیح است. / گزینهٔ (۴): فقط سه لایه حاوی تیغهٔ میانی و دو لایه دیوارهٔ نخستین دارای قدرت گسترش و کشش هستند (*نه بیش از سه لایه*).

راه‌های ارتباط بین یاخته‌های مجاور در گیاه

۱) پلاسمودسم

بـا اینکـه دیـوارهٔ یاخته، دور تا دور هر یاختهٔ گیاهی را فراگرفته اسـت ولی بررسـی با **میکروسـکوپ الکترونی** نشـان می‌دهد که در بین دو یاختـهٔ زنده، **کانال‌های سیتوپلاسمی** وجود دارد که به این کانال‌ها، **پلاسمودسم** می‌گویند. در واقع از یک یاخته به یاختهٔ مجاور کانال‌هایی غشادار در دیواره وجود دارند تا عوامل درون سیتوپلاسمی، مثل مواد مغذی و سایر ترکیبات نیز بتوانند از راه آن‌ها بین دو یاختهٔ زنده (*به کلمهٔ «زنده» دقت کنید!*) منتقل شوند.

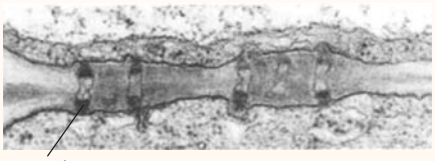
توجه! پلاسمودسم کانالی سیتوپلاسمی است که در همهٔ یاخته‌ها و بافت‌های **زندهٔ** گیاهی موجود است و سبب ارتباط **زیستی** دو یاختهٔ **زنده** می‌شود.

نکته مهم

در حال حاضر پلاسمودسـم را **کانال‌های** انتقالی حاوی **سـیتوپلاسم** در بین دیوارهٔ دو یاختهٔ مجاور می‌دانند که همواره مواد مورد نیاز از سیتوپلاسم از درون آن‌ها منتقل می‌شـود. از طرفی دقت کنید که چون سیتوپلاسـم ویژهٔ یاخته‌های **زنده** می‌باشـد، پس در ادامه می‌خوانیم که یاخته‌های آوند چوبی و اسکلرانشـیم‌ها چون در حالت بلوغ **مرده‌اند**، فاقد کانال‌های پلاسمودسـمی می‌باشـند. در حقیقت کانال‌های آن‌ها فاقد غشـا و شیرهٔ **سـیتوپلاسمی** می‌باشد و لفظ پلاسمودسم در تست‌ها برای بافت هادی چوبی و اسکلرانشیم نادرست می‌باشد.

نکته

بـا توجه به شـکل روبه‌رو، غشـای یاختـه‌ای نیـز در داخلی‌ترین بخـش کانال‌های پلاسمودسـمی وجـود دارد و مایع سیتوپلاسـم درون آن‌ها در تماس با غشـا می‌باشـد. زمینه‌سـازی سـاخت این کانال‌ها در حین تولید دیواره‌ها برای تقسیم سیتوپلاسم در بین ریزکیسه‌ها انجام می‌شود.

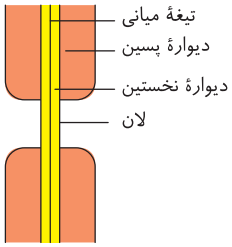


«تصویر پلاسمودسم با میکروسکوپ الکترونی» پلاسمودسم

۲) لان

با توجه به شـکل روبه‌رو که دو یاختهٔ مجاور هم و دارای دیوارهٔ پسـین را توسـط میکروسـکوپ الکترونی نشان می‌دهد، درمی‌یابیم که در یاخته‌هایی که **دیوارهٔ پسین** دارند، در مناطقی از دیواره، **دیوارهٔ پسین تشکیل نشده است** و در آن مناطق **فقط تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخسـتین** وجـود دارد در نتیجه کل دیوارهٔ یاخته‌ای در این محل نسـبت بـه مناطق مجاور **نازک** باقی‌مانده است (*نه اینکه نازک شده‌اند!*) که به این محل‌ها **لان** می‌گوییم.

جالب این است که در محل لان مقدار کانال‌های پلاسمودسمی **فراوان‌تر** از سایر مناطق است. معمولاً لان‌های دو یاختهٔ مجاور، در محل‌های **مجاور و روبه‌روی** هم تشـکیل شـده است تا انتقال مواد از پلاسمودسـم‌های آن‌ها به آسانی و فراوانی صورت گیرد. (*یاخته‌های مرده گیاهی، پلاسمودسم ندارند ولی لان و منفذ انتقالی دارند.*)



«لان در دیوارهٔ یاخته‌ای»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) مواد مورد نیاز برای ساخت تیغهٔ میانی دیواره، توسط **پروتوپلاست یک** یاختهٔ **دوهسته‌ای** ساخته می‌شود که این لایه معمولاً در وسط یاخته در سیتوپلاسم قرار می‌گیرد ولی ساخت دیواره‌های نخستین و پسین توسط پروتوپلاست **هر** یاختهٔ جدید ساخته می‌شود که ترکیبات درشت آن به خارج غشا **اگزوسیتوز** (*برون‌رانی*) می‌شوند.

۲) در برخی بافت‌ها که دیوارهٔ پسـین ندارند، اگر دیوارهٔ نخسـتین آن‌ها ضخامت **غیریکنواخت** داشـته باشـد، در محل‌هایی که دیواره نازک می‌باشـد، لان تشـکیل می‌شـود. (*مثلاً در کلرنشـیم و پارانشـیم می‌توانیم این ویژگی‌ها را مشاهده کنیم که دیواره در محل‌هایی نازک‌تر است و حاوی لان و پلاسمودسم می‌باشد با اینکه دیوارهٔ پسین در آن‌ها وجود ندارد.*)

۳) یاخته‌هـای مـرده در برخـی بافت‌ها مثل آونـد چوبی نیز دارای منافذ دیواره‌ای ارتباطی هسـتند ولی سیتوپلاسـم از میان آن‌ها عبور نمی‌کنـد و به آن کانال‌ها **پلاسمودسم** نمی‌گویند.

تست ۳ یک یاختهٔ زندهٔ گیاهی دارای پروتوپلاست زنده و دیوارهٔ ضخیم، ..... (قلم‌چی)

۱) در هر لانِ خود پلاسمودسم دارد و از این طریق با یاختهٔ مجاور ارتباط شیمیایی و غذایی برقرار می‌کند.

۲) در هر بخشی از دیوارهٔ خود اگر پلاسمودسم داشته باشد، آن بخش از دیوارهٔ یاخته‌ای لان نامیده می‌شود.

۳) دارای پلی‌ساکاریدهایی در دیوارهٔ خود است که دستگاه گوارش گاو توانایی تولید آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ آن را دارد.

۴) هر لایهٔ سلولزدار، رشته‌های موازی هم دارد.

پاسخ ۱ گزینهٔ ۱

پلاسمودسـم‌ها در مناطقی از دیوارهٔ یاختهٔ زنده به نام لان به فراوانی وجود دارند. مواد مغذی و ترکیبات دیگر از راه پلاسمودسـم از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر منتقل شده و به این ترتیب ارتباط شیمیایی و غذایی بین دو یاختهٔ مجاور برقرار می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): طبق متن کتاب، پلاسمودسـم‌ها در مناطقی از دیواره به نام لان به **فراوانی** وجود دارند. این جمله به این معنا نیسـت که پلاسمودسم‌ها فقط در لان وجود دارند. / گزینهٔ (۳): دیواره در ساختار خود پلی‌ساکارید سلولز دارد. اغلب جانوران مانند گاو توانایی تولید آنزیم تجزیه‌کنندهٔ سلولز را ندارند بلکه این آنزیم توسط باکتری‌های درون لولهٔ گوارش آن‌ها تولید می‌شود. / گزینهٔ (۴): دیوارهٔ نخستین و پسین رشته‌های سلولزی دارند. وجود رشته‌های موازی ویژگی دیوارهٔ پسین است.

تست ۴ پلاسمودسم ..... پروتوپلاست ..... (قلم‌چی)

۱) همانند - در حفظ شکل یاخته‌ها و کنترل تبادل مواد بین آن‌ها نقش دارد.
۲) همانند - حاوی محتویات سیتوپلاسمی است.
۳) برخلاف - در شکل‌گیری لایه‌های دیواره نقش دارد.
۴) برخلاف - دارای انواعی از دیسه‌ها است.

پاسخ ۲ پروتوپلاست هم‌ارز یاخته در جانوران است که هسته، اندامک‌ها، غشا و سیتوپلاسم را شامل می‌شود. پلاسمودسم نیز کانال‌های سیتوپلاسمی است که از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر کشیده شده است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): پلاسمودسم، نقش مستقیمی در حفظ شکل یاخته ندارد. / گزینهٔ (۳): اتفاقاً برعکس. پروتوپلاست، دیواره‌ها را می‌سازد (نه پلاسمودسم). / گزینهٔ (۴): باز هم برعکس. پروتوپلاست دارای دیسه‌های مختلف است و پلاسمودسم، فضای زیادی ندارد که دیسه داشته باشد.

اندامک‌های ویژهٔ گیاه

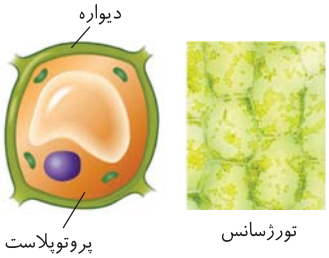
یاختهٔ گیاهی همانند یاخته‌های جانوری دارای ساختارها و بخش‌هایی مثل رناتن، راکیزه، هسته، غشای یاخته‌ای، مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم، شبکهٔ آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌باشد که همان فعالیت‌هایی که در جانوری ذکر کردیم را دارند، ولی اندامک‌هایی مثل دیسه (*پلاست*) در یاخته‌های گیاهی وجود دارد که در یاخته‌های جانوری وجود ندارند مثلاً سبزدیسه (*کلروپلاست*)، رنگ‌دیسه (*کروموپلاست*) یا نشادیسه (*آمیلوپلاست*) و یا اینکه یاخته‌های گیاهی حاوی واکوئل‌های متفاوتی با جانوران می‌باشند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

نکات واکوئل: اندامکی برای ذخیره

۱) اندامکی **تک**‌غشایی با دو لایه فسفولیپید است که انواع ویژه آن در یاختهٔ گیاهی زنده دیده می‌شود. (*حتماً به‌یاد دارید که واکوئل‌های غذایی، گوارش، دفع و انقباضی در جانوران ساده مثل پارامسی و یا واکوئل غذایی در یاخته‌های بیگانه‌خوار نیز برای گوارش درون‌یاخته‌ای وجود دارد.*)
۲) این اندامک دارای شیره‌ای **مایع** شامل **آب و مواد دیگر** است که **مقدار و ترکیب** این شیره، از گیاهی به گیاه دیگر و حتی از بافتی به بافت **زنده** دیگر در یک گیاه متفاوت است. به این مایع، **شیرهٔ واکوئلی** می‌گویند.
۳) **بعضی** یاخته‌های **زندهٔ** گیاهی، واکوئل **درشتی** دارند (*اغلب فقط یک واکوئل دارند*) که بیشتر فضای یاخته را دربرگرفته است ولی در برخی بافت‌ها مثل مریستم تعداد زیادی واکوئل **کوچک** وجود دارد.
۴) واکوئل‌های گیاهی مسئول تنظیم آب در یاخته‌های زنده می‌باشند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.
۵) غشای واکوئل همانند غشای یاخته ورود مواد به واکوئل و خروج آن را کنترل می‌کند.

● تورژسانس (تورم)

حتماً یادتون هست در فصل‌های قبل ذکر کردیم که وقتی مقدار مولکول‌های آبِ محیطِ اطرافِ یاخته در واحد حجم، از آب درون یاخته بیشتر باشد، فشار اسمزی درون یاخته بیشتر از محیط است و طبق فرایند اسمز، آب زیادی وارد یاخته می‌شود. در این حالت در یاخته‌های گیاهی آب در **واکوئل**(ها) جمع می‌شود. آب اضافی سبب حجیم و پرآب شدن واکوئل و پروتوپلاست می‌شود. در این حالت، برخلاف یاخته‌های جانوری که به تدریج غشای آن‌ها پاره شده و می‌ترکند و می‌میرند، یاخته‌های گیاهی **به دلیل داشتن دیواره**، غشای یاخته آن‌ها به دیواره می‌چسبد. در این حالت دیوارهٔ آن‌ها تا حدی **کشیده** شده ولی پاره نمی‌شود. این حالت را تورم یا تورژسانس می‌گویند. تورژسانس در بافت‌های دارای اندام‌های **غیرچوبی** مثل **برگ** و هر اندام هوایی گیاهان **علفی**، سبب استوار شدن اندام می‌شود.



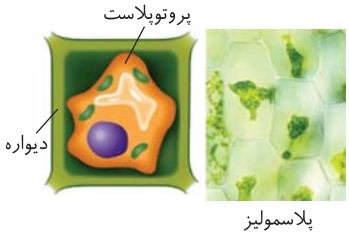
دو نکتهٔ مهم

۱) انتقال آب از غشای پروتوپلاست و واکوئل و هر بخش دیگری، همواره طبق اسمز و بدون صرف انرژی زیستی صورت می‌گیرد. البته در فصل بعد می‌خوانیم که غشای واکوئل و یاخته پروتئین‌های **کانالی** اختصاصی نیز برای انتقال آب دارد.

۲) در گیاهان، بخش‌های چوبی ساقه و ریشه، با لیگنینی شدن و بخش‌های غیرچوبی هوایی با تورژسانس، استحکام می‌یابند. دقت کنید که **برگ** هر نوع گیاه چوبی یا علفی، فقط با مکانیسم **تورژسانس** حالت استواری خود را حفظ می‌کند (*چون برگ، چوبی نمی‌شود*).

● پلاسمولیز

اگر به هر دلیلی مقدار آب در درون واکوئل و یاخته کم شود، مثلاً اگر گیاه در محیط کم‌آب یا غلیظ قرار گیرد، حجم واکوئل کم شده و **پروتوپلاست** با از دست دادن آب جمع می‌شود در این حالت، غشا از دیواره **فاصله می‌گیرد.** به این وضعیت پلاسمولیز می‌گویند. پلاسمولیز اصلاً برای گیاه مناسب نیست و اگر به **مدت طولانی** این وضع ادامه‌دار شود، پژمردگی ایجاد شده که حتی با آبیاری فراوان نیز این حالت از بین نمی‌رود و سبب مرگ یاخته‌ها و بافت می‌شود. **اگر پلاسمولیز کم و کوتاه مدت باشد، می‌توان گیاه پژمرده را با آبیاری و در نتیجه افزایش حجم واکوئل‌ها شاداب کرد.**



نکته مهم محیط **غلیظ** سبب افزایش فاصلهٔ پروتوپلاست از دیوارهٔ یاخته شده و حجم واکوئل‌ها با پلاسمولیز **کوچک** می‌شود ولی محیط **رقیق** پرآب، سبب کاهش فاصلهٔ دیواره با پروتوپلاست شده و بخش زندهٔ یاخته، واکوئل‌ها و تا حدی دیواره، حجیم‌تر می‌شوند.

● نکات مهم مواد درون شیرهٔ واکوئل (بسیار مهم در طرح تست‌ها)

۱) در واکوئل‌ها به‌جز آب، ترکیبات پروتئینی (*بسیاری از آمینواسیدها*)، اسیدی و رنگی **ساخته شده در گیاه** نیز **ذخیره** می‌شوند. (*در واکوئول ذخیره می‌شوند ولی در آن ساخته نمی‌شوند.*)

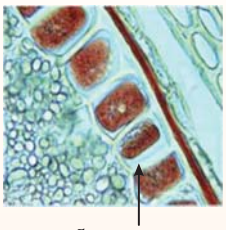
۲) **آنتوسیانین: یکی** از ترکیبات **رنگی** است که در **واکوئول ذخیره** می‌شود و در pH های مختلف، رنگ آن تغییر می‌کند. آنتوسیانین در **ریشهٔ** چغندر قرمز، **برگ** کلم بنفش و **میوه‌هایی** مثل پرتقال توسرخ به مقدار **فراوان** وجود دارد. (*آنتوسیانین در بخش‌های مختلف رویش مثل ریشه، ساقه و برگ و بخش‌های زایشی مثل میوه وجود دارد. در تغییر رنگ گلبرگ گل‌های ادریسی نیز در خاک‌هایی با pH متفاوت نقش دارد (فصل ۷)*).

نکته البته خوب است بدانید که آنتوسیانین در هیچ‌یک از گروه‌های اصلی مواد آلی قرار نمی‌گیرد و نه پروتئین است و نه کربوهیدرات.

۳) **گلوتن: یکی** از **پروتئین‌های** ذخیره‌ای در **واکوئول** می‌باشد که در واکوئل‌های موجود در **بذر گندم و جو ذخیره** شده (*نه اینکه ساخته شده است*) و **ارزش غذایی** دارد. این ماده هنگام رویش بذر برای **رشد و نمو رویان** به مصرف می‌رسد.

نکته مهم در زیست یازدهم خواهید آموخت که دانهٔ نهان‌دانگان، علاوه بر رویان (*جنین*)، حاوی یک بخش ذخیرهٔ غذای رویان به نام **آندوسپرم** نیز می‌باشد که **خارجی‌ترین** لایهٔ یاخته‌ای آن پر از پروتئین گلوتن می‌باشد در این دانه‌ها، **رویان** با تولید هورمون **جیبرلین**، سبب تحریک این لایه گلوتن‌دار شده، سپس این لایه، آنزیم‌های **گوارشی** برای تجزیهٔ مواد غذایی آندوسپرم (*مثل آمیلاز تجزیه‌کنندهٔ نشاسته*) تولید می‌کند تا مواد آلی مثل گلوکز آن به مصرف رویان یا جنین برسد و سبب رشد دانه شود.

نکته بعضی افراد (*مثل نوزاد یا کودک خردسال*) به گلوتن حساسیت دارند و با خوردن غذاهای حاوی **فراورده‌های** گلوتن، دچار اختلال در **رشد** و مشکلات جدی در سلامت خود می‌شوند و به بیماری **سلیاک** مبتلا می‌شوند. این حساسیت باید با آزمایش‌های پزشکی تشخیص قطعی داده شود تا این افراد از مواد **بدون** گلوتن استفاده کنند وگرنه **ریزپرزها و حتی پرزهای رودهٔ باریک** آن‌ها از بین می‌رود و سطح جذب در بدن آن‌ها کاهش شدید می‌یابد.



«یاخته‌هایی که گلوتن در واکوئول آن‌ها ذخیره شده است.»

یادآوری در واکوئول
- در واکوئول مواد معدنی (*آب و ...*) و مواد آلی (*پروتئین و ...*) وجود دارد.
- مواد موجود در واکوئول، به‌جز آب، سایر آن‌ها در گیاه ولی در جایی به‌جز واکوئول ساخته می‌شوند.
- واکوئول محل ذخیرهٔ مواد است (*نه ساخت*).
- آنتوسیانین فقط یکی از مواد رنگی واکوئول است که این مادهٔ رنگی
  - در فتوسنتز کاربردی ندارد.
  - در pH مختلف رنگ متفاوت دارد.
  - خاصیت آنتی‌اکسیدان (*ضدسرطان*) دارد.
- گلوتن فقط یکی از مواد پروتئینی ذخیره شده در واکوئول‌ها است.
- در واکوئول مواد اسیدی وجود دارد (*نه آنزیم*).

خلاصه اعمال واکوئول
- در گیاهان
  - تنظیم **آب** یاخته
  - ذخیرهٔ مواد رنگی مثل آنتوسیانین‌ها (*نه ساخت آن‌ها*)
  - ذخیرهٔ پروتئین و مواد اسیدی گیاه (*نه ساخت آن‌ها*)
- در جانوران ابتدایی و برخی آغازیان
  - واکوئول غذایی ← فاقد آنزیم گوارشی است.
  - واکوئول گوارشی ← هضم‌کنندهٔ شیمیایی غذا به کمک **کافنده‌تن‌ها**
  - واکوئول دفعی ← دفع مواد زائد دارد.
- در تک‌یاخته‌ای ساکن آب شیرین (*پارامسی*) ← واکوئول **انقباضی** ← دفع **آب** اضافی و سایر مواد زائد

تست ۵ در صورتی که فشار اسمزی پروتوپلاست نسبت به محیط اطراف ..... باشد، حجم واکوئل ..... یافته و پروتوپلاست ..... (قلم‌چی)

۱) بالاتر - کاهش - از دیواره فاصله می‌گیرد.
۲) پایین‌تر - افزایش - از دیواره فاصله می‌گیرد.
۳) بالاتر - افزایش - به دیواره فشار می‌آورد.
۴) پایین‌تر - کاهش - به دیواره فشار می‌آورد.

پاسخ ۳ آب از محلی با فشار اسمزی پایین به محلی با فشار اسمزی بالا می‌رود پس در صورتی که فشار اسمزی پروتوپلاست نسبت به محیط اطراف بیشتر باشد، آب از محیط وارد سیتوپلاسم و به دنبال آن وارد واکوئول می‌شود. در نتیجه حجم واکوئول افزایش می‌یابد که این امر سبب می‌شود پروتوپلاست به دیواره بچسبد و به آن فشار آورد.

تست ۶ ترکیبات ذخیره‌ای در واکوئول ممکن نیست ..... (قلم‌چی)

۱) در گیاه ساخته شوند.
۲) در زمان رویش جوانه‌ها، برای تشکیل پایه‌های جدید از گیاه مصرف شوند.
۳) در بروز بیماری سلیاک نقش داشته باشند.
۴) در pHهای متفاوت تغییر رنگ دهند.

پاسخ B ۲ ذخیرهٔ نشاسته در نشادیسه به هنگام رویش جوانه‌های سیب‌زمینی، برای رشد جوانه‌ها و تشکیل پایه‌های جدید از گیاه سیب‌زمینی مصرف می‌شود (نه گلوتن موجود در واکوئول).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): به‌جز آب، واکوئول محل ذخیرهٔ ترکیبات پروتئینی، اسیدی و رنگی است که در گیاه ساخته می‌شوند. / گزینهٔ (۳): گلوتن در افراد حساس به آن می‌تواند منجر به بروز بیماری سلیاک گردد. / گزینهٔ (۴): آنتوسیانین از ترکیبات رنگی واکوئول است که در pHهای متفاوت تغییر رنگ می‌دهد.

رنگ‌ها در گیاهان

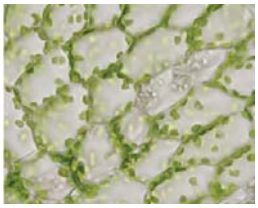
رنگ‌های گیاهی فقط به دلیل رنگ‌های درون واکوئول‌ها به وجود نمی‌آیند. از طرفی باز هم تکرار می‌کنم که مواد رنگی واکوئولی در گرفتن نور خورشید برای فرایند فتوسنتز، تأثیری ندارند. یکی دیگر از ویژگی‌های یاخته‌های گیاهی (علاوه بر داشتن دیواره و واکوئول) داشتن اندامک‌های **دوغشایی** با چهار لایهٔ فسفولیپیدی به نام دیسه (پلاست) می‌باشد که حاوی رنگیزه‌های **متنوعی** هستند.

- مواد رنگی گیاهان
  - در واکوئول
    - رنگ **ریشه** چغندر قرمز
    - کلم بنفش
    - میوهٔ پرتقال توسرخ
    - در فتوسنتز نقشی ندارند.
  - در دیسه‌ها (پلاست)
    - رنگ زرد یا نارنجی **ریشهٔ** هویج (کاروتن و ...)
    - قرمز **میوهٔ** گوجه‌فرنگی
    - سبز اغلب گیاهان (سبزینه a و b که در دوازدهم می‌خوانید)
    - **برگ** پاییزی، گلبرگ‌ها (کاروتنوئیدها)
    - همگی در فتوسنتز مؤثرند.

انواع دیسه‌ها (پلاست‌ها)

الف) سبزدیسه (کلروپلاست)

اندامکی دوغشایی با چهار لایهٔ فسفولیپید می‌باشد که عمل **فتوسنتز** را در گیاهان انجام می‌دهد. این اندامک حاوی مقدار **زیادی** رنگیزه سبز به نام **سبزینه** (کلروفیل) و نوعی رنگیزهٔ دیگر به نام کاروتنوئید می‌باشد. به دلیل **منعکس کردن** (بازتاب) مقدار زیادی از رنگ سبز پرتوهای نور خورشید توسط سبزینه‌ها و زیاد بودن این رنگیزه در گیاهان، بیشتر گیاهان و به خصوص برگ‌های آن‌ها سبز دیده می‌شوند. در سبزدیسه‌ها، مقدار زیادی سبزینه وجود دارد که دور مقداری رنگیزه‌های دیگر به نام کاروتنوئید قرار گرفته‌اند. این رنگیزه‌ها همگی در فتوسنتز نقش دارند و مسئول جذب انرژی از نور خورشید می‌باشند (البته برخی از این نکات را در کتاب دوازدهم به‌طور کامل می‌خوانید!).

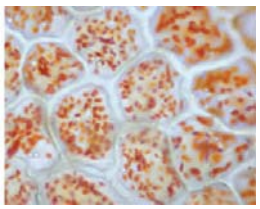

«یاخته‌های دارای سبزدیسه»

نکته به‌جز گیاهان انگل (مثل سس)، سایر گیاهان کلروپلاست یا سبزدیسه دارند. دقت کنید که هر یاختهٔ گیاهی حاوی کلروپلاست **نمی‌باشد**. (به‌طور مثال معمولاً یاخته‌های ریشه‌ها و ساقه‌های زیرزمینی یا حتی برخی یاخته‌های برگ مثل اغلب یاخته‌های روپوستی به‌جز یاختهٔ نگهبان فاقد سبزدیسه می‌باشند.)

نگاهی به آینده در زیست دوازدهم می‌آموزید که کلروپلاست دو غشای صاف و کیسه‌هایی درون خود به نام تیلاکوئید دارد. این اندامک حاوی دنای حلقوی و تمام فعالیت‌های مستقل یاخته‌ای می‌باشد و حتی رناتن برای پروتئین‌سازی دارد. این اندامک در غشای کیسه‌های درون خود رنگیزه‌های فتوسنتزی برای جذب نور دارد تا در نهایت انرژی نوری به انرژی شیمیایی در قند تبدیل می‌شود.

ب) رنگ‌دیسه (کروموپلاست)

نوع دیگری از دیسه‌ها در یاخته‌های گیاهی می‌باشند که در آن‌ها رنگیزه‌هایی با نام کلی **کاروتنوئیدها** ذخیره می‌شوند. این دیسه‌ها فاقد سبزینه هستند و به‌طور معمول در فتوسنتز نقشی ندارند ولی سبب ایجاد رنگ در میوه‌ها، برگ‌ها و گلبرگ‌های غیرسبز (مثلاً پاییزی) می‌شوند.


«رنگ‌دیسه»

نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

۱ انواع کاروتنوئیدها
- **کاروتن:** رنگیزهٔ **نارنجی** است که در یاخته‌های **ریشهٔ هویج** فراوان است.
- **گزانتوفیل:** رنگیزهٔ **زرد** می‌باشد که در گلبرگ‌ها و برخی میوه‌ها فراوان است (*بیشتر بدانید*).
- **لیکوپن:** رنگیزهٔ **قرمز** می‌باشد که در **میوهٔ** رسیده گوجه‌فرنگی و... فراوان است (*بیشتر بدانید*).

۲ ترکیبات رنگی موجود در واکوئل‌ها (*از جملهٔ آنتوسیانین‌ها*) و کاروتنوئیدها (*در سبزدیسه و رنگ‌دیسه*)، خاصیت **آنتی‌اکسیدان** یا پاداکسنده دارند که در **پیشگیری** (*نه درمان*) **سرطان** و **بهبود کار مغز** (*نتایج نیست‌ها!*) و **اندام‌های دیگر** (*به این «اندام‌های دیگر» در تست‌ها دقت کنید*) نقش **مهمی** دارند (*کاروتنوئیدها و آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان هستند*).

۳ در زیست دوازدهم می‌خوانیم که میتوکندری (*راکیزه*) برای مقابله با رادیکال‌های آزاد و عدم اثر آن‌ها بر ***DNA*** یاخته به مواد پاداکسنده وابسته می‌باشد.

۴ تکرار می‌کنم!! که در سبزدیسه‌ها علاوه بر سبزینه (*کلروفیل*)، رنگیزه‌های دیگری به نام **کاروتنوئید** هم دیده می‌شود که توسط **سبزینه‌ها** (*کلروفیل‌ها*) پوشیده شده‌اند ولی یادتون باشه که سبزینه‌ها برحسب کتاب شما، خاصیت پاداکسنده ندارند.

۵ در پاییز و با کاهش طول روز و کم شدن **نور**، ساختار سبزدیسه (*کلروپلاست*) در برخی گیاهان تغییر کرده و به رنگ‌دیسه تبدیل می‌شود. در این هنگام سبزینه‌ها در برگ **تجزیه** شده و مقدار کاروتنوئیدها **افزایش** می‌یابد. (*کاروتنوئیدها مسئول رنگ زرد، نارنجی و قرمز می‌باشند.*)

۶ در تست‌ها دقت کنید که در نور کم، سبزینه به کاروتنوئید تبدیل نمی‌شود بلکه با تجزیهٔ سبزینه یا کلروفیل، ساختار سبزدیسه است که به رنگ‌دیسه تبدیل می‌شود. در حقیقت، کاهش طول روز، سبب تجزیهٔ سبزینه شده و در این شرایط به تدریج با افزایش تولید مقدار کاروتنوئید، نسبت آن به سبزینه در برگ‌ها زیاد می‌شود.

۷ دانش‌آموزان عزیز دقت کنید که سبزینه علاوه بر برگ در برخی ساقه‌های **جوان** نیز وجود دارد ولی در هنگام پاییز فقط در **برگ‌های** برخی گیاهان این تغییر سبزدیسه به رنگ‌دیسه ایجاد می‌شود.

۸ فکر نکنید که کاهش نور، فقط باعث تبدیل بخش سبز به غیرسبز می‌شود، اتفاقاً در برگ بعضی گیاهان که دارای بخش‌های غیرسبز مثلاً سفید، زرد، قرمز یا بنفش می‌باشند، **کاهش نور** می‌تواند سبب افزایش تبدیل رنگ‌دیسه‌ها به **سبزدیسه‌ها** (*کلروپلاست*) شود و مساحت بخش **سبز** گیاه در این شرایط بیشتر می‌شود. این مسئله سبب افزایش فتوسنتز و پایداری برگ با افزایش تولید مادهٔ آلی می‌شود.

۹ تغییر رنگ میوهٔ گوجه‌فرنگی در طی رویش از سبز به قرمز نشانه‌ای از تبدیل دیسه‌ها به هم (*سبزدیسه به رنگ‌دیسه*) می‌باشد.

۱۰ دقت کنید که کتاب درسی لفظ رنگیزه را برای مواد رنگی واکوئل‌ها به کار نبرده است ولی برای دیسه‌ها به کار رفته است.

● ج) دیسه‌های بی‌رنگیزه

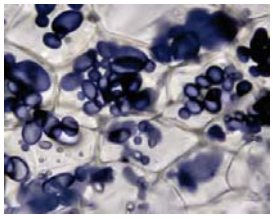
بعضی از دیسه‌ها، **فاقد هر نوع رنگیزه‌ای** می‌باشند. این نوع پلاست‌ها برای **ذخیرهٔ مواد آلی** اختصاص یافته‌اند. مثلاً در یاخته‌های بخش **خوراکی** (*نه مثلاً برگ گیاه*) سیب‌زمینی، دیسه‌ها دارای مقدار **فراوانی نشاسته ذخیره‌ای** هستند که به این دیسه‌ها، نشادیسه (*آمیلوپلاست*) می‌گویند.

چند نکتهٔ مهم

۱ دقت کنید که در سیب‌زمینی، فقط ساقهٔ زیرزمینی که بخش خوراکی است دارای نشادیسه می‌باشد ولی مثلاً برگ گیاه فاقد این دیسه می‌باشد.

۲ هنگام **رویش** جوانه‌های سیب‌زمینی، برای رشد آن‌ها و تشکیل **پایه‌های** جدید از گیاه سیب‌زمینی، ذخایر نشاسته‌ای نشادیسه‌ها **مصرف** می‌شوند (*حتماً می‌دانید که پلی‌ساکارید ذخیره‌ای جانور، گلیکوژن است ولی در گیاهان نداشته می‌باشد.*)

۳ در زیست یازدهم می‌خوانیم که سیب‌زمینی، حاوی ساقه غده‌ای **زیرزمینی** بوده که ذخیرهٔ غذایی زیادی دارد. این ساقه جوانه‌هایی در **سطح** غده دارد که هر جوانه می‌تواند به یک گیاه تبدیل شود. روش تکثیر تولیدمثل **غیرجنسی** آن با قطعه‌قطعه کردن قسمت‌های **جوانه‌دار** می‌باشد.


«نشادیسه»

تست ۷ در هر دیسه‌ای ..... (قلم‌چی)

۱) نوعی ترکیب به فراوانی یافت می‌شود.
۲) ترکیبات رنگی مؤثر در پیشگیری از سرطان وجود دارد.
۳) در سیب‌زمینی، به مقدار فراوانی پلی‌ساکارید ذخیره‌ای وجود دارد.
۴) در ریشهٔ چغندر قرمز، آنتوسیانین یافت می‌شود.

پاسخ ۱ A

در انواع دیسه‌ها، ترکیبات متنوعی یافت می‌شوند. به عنوان مثال در سبزدیسه، سبزینه، در رنگ‌دیسه رنگیزه‌هایی نظیر کاروتنوئید و در نشادیسه، نشاسته به فراوانی یافت می‌شوند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): نشادیسه، ترکیب رنگی ندارد. / گزینهٔ (۳): فقط در نشادیسه صحیح است اما سیب‌زمینی، دیسه‌های دیگری هم دارد که در بخش‌های دیگر گیاه فعال هستند. / گزینهٔ (۴): آنتوسیانین نوعی مادهٔ رنگی در واکوئل‌ها است (*نه ریبوزوم‌ها*).

تست ۸ کدام عبارت صحیح است؟ (قلم‌چی)

۱) هر ترکیب رنگی در گیاهان خاصیت پاداکسندگی دارد.

۲) هر دیسه‌ای که به مقدار فراوانی سبزینه دارد، فاقد نوع دیگری از رنگیزه است.

۳) در طول رسیدن میوهٔ گوجه‌فرنگی، کاروتنوئید تنها رنگیزهٔ غالب آن است.

۴) با کاهش میزان نور محیط در برخی گیاهان با برگ‌های دارای بخش‌های غیرسبز، بر میزان سبزدیسه‌ها افزوده می‌شود.

پاسخ ۴ B برگ بعضی گیاهان بخش‌های غیرسبز دارند. دیده می‌شود که کاهش نور در چنین گیاهانی، سبب افزایش مساحت بخش‌های سبز می‌شود پس بر میزان سبزدیسه‌ها افزوده می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): سبزینه‌ها و ترکیباتی که برای رنگ‌آمیزی الیاف استفاده می‌شوند، خاصیت پاداکسندگی ندارند (*در ضمن اشاره شده است ترکیبات رنگی در واکوئول و رنگ دیسه، پادآکسنده هستند*). / گزینهٔ (۲): سبزدیسه‌ها به مقدار فراوانی سبزینه دارند. در این دیسه‌ها علاوه بر سبزینه، کاروتنوئید هم وجود دارد. / گزینهٔ (۳): گوجه‌فرنگی در ابتدا سبزرنگ و سبزینه‌دار است و با گذشت زمان با افزایش کاروتنوئیدها، رنگ آن تغییر می‌کند.

ترکیباتی که استفاده‌ای غیر از مصرف غذایی در گیاهان دارند (ترکیبات غیررنگی)

در این بخش، به بررسی نکاتی در ترکیبات دیگری از گیاه مثل شیرابه‌ها و آلکالوئیدها می‌پردازیم که علاوه بر اینکه مواد رنگی ندارند، استفادهٔ غذایی نیز ندارند ولی در صنعت کاربرد دارند.

۱) قبل از تولید رنگ‌های شیمیایی، برای رنگ‌آمیزی **الیاف**، از گیاهان برای منابع اصلی *تولید رنگ* استفاده می‌کردند (*مثلاً برای بیشتر بدانید یادتون باشه که از ریشهٔ گیاه روناس در رنگ‌آمیزی سنتی الیاف در تولید خرش استفاده می‌کردند*).

۲) از ترکیبات حاصل از **گیاه نعنا و گل محمدی** همانند روناس می‌توان به عنوان ترکیب غیررنگی در مصرفی غیر از مواد غذایی استفاده کرد.

۳) با بریدن **دمبرگ** انجیر یا جدا کردن **میوهٔ تازهٔ** (*دقت کنید به تازه بودن!*) انجیر از شاخه، از **محل برش**، شیرهٔ **سفیدرنگی** به نام **شیرابه** که حاوی ترکیباتی با مصرف غیرغذایی می‌باشد، خارج می‌شود. البته ترکیبات شیرابه‌ای در گیاهان مختلف فرق می‌کند.



۴) **لاستیک** اولین‌بار از **شیرابهٔ** حاصل از نوعی **درخت** به دست آمد. دقت کنید که ترکیب شیرابه در گیاهان مختلف با هم **متفاوت** می‌باشد.

۵) **شیرابه** بعضی گیاهان، حاوی مقدار **فراوانی** ترکیبات نیتروژن‌دار گیاهی به نام **آلکالوئید** می‌باشد که هم نقش **دفاعی برای گیاه در مقابل گیاه‌خواران** دارد و هم انسان از آن در ساخت داروهای مسکن، آرام‌بخش و ضدسرطان استفاده می‌کند.

۶) آلکالوئیدها که در شیرابه‌ها هستند، مواد غیررنگی بوده و مصرف غذایی ندارند.

۷) دقت کنید که پاداکسنده‌ها برای پیشگیری از سرطان بودند ولی آلکالوئیدها برای درمان سرطان هستند و نقش دارویی دارند.

۸) **برخی** از آلکالوئیدها، اعتیادآورند (*مثل شیرابهٔ خشخاش*) و سلامت و امنیت جامعه را به خطر می‌اندازد.

۹) برخی ترکیبات گیاهی در **مقادیر متفاوت** می‌تواند سرطان‌زا، مسموم‌کننده و یا حتی کشنده باشد. (*پس گول تبلیغات محصولات گیاهی را نخورید!!*)

۱۰) نیکوتین از **آلکالوئیدهاست** که نقش دورکننده گیاه‌خواران از گیاه **تنباکو** را دارد (*فصل ۹ یازدهم*).

۱۱) در فصل (۹) یازدهم می‌آموزید که برخی گیاهان ترکیبات **سیانیددار** برای مرگ یا بیماری گیاه‌خواران تولید می‌کنند. این ترکیبات برای خود گیاه **سمی** نیستند ولی در لولهٔ گوارش گیاه‌خواران **تجزیه** شده و مادهٔ سمی **سیانیدی** (*نه همان ترکیب اولیه*) آن سبب مرگ یا بیماری در جانور گیاه‌خوار می‌شود. علت این واقعه، مهار تنفس یاخته‌ای و تولید آب در تنفس هوازی می‌باشد، چون **تنفس یاخته‌ای** و تولید یون اکسید برای تولید آب را در واکنش‌های هوازی آن‌ها مهار می‌کنند. در این حالت احتمال ایجاد رادیکال آزاد از اکسیژن در راکیزه‌ها زیاد شده و همچنین تولید ATP و انرژی‌زایی جانور مختل شده و در نهایت جاندار از بین می‌رود (*فصل ۵ دوازدهم*).

تست ۹ چند مورد دربارهٔ «آلکالوئیدها» صحیح است؟

الف) ترکیبات غیررنگی گیاهان با مصرف غیرغذایی می‌باشند.

ب) در شیرابه هر گیاه نهان‌دانه به مقدار فراوان وجود دارند.

ج) در مقادیر متفاوت ممکن است سلامت فرد و جمعیت را به خطر بیاندازد.

د) همگی اعتیادآورند و وابستگی روانی ایجاد می‌کنند.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ B موارد (الف) و (ج) درست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. آلکالوئیدها ترکیبات غیررنگی‌اند و با توجه به متن کتاب مصرف غذایی ندارند. / ب) نادرست است. آلکالوئیدها در شیرابهٔ **بعضی** گیاهان به مقدار فراوانی وجود دارند. / ج) درست است. برخی از آلکالوئیدها اعتیادآورند و مصرف مواد اعتیادآور از معضلات بسیاری از کشورهاست که سلامت و امنیت آن‌ها را تهدید می‌کند. / د) نادرست است. **برخی** از آلکالوئیدها اعتیادآورند.

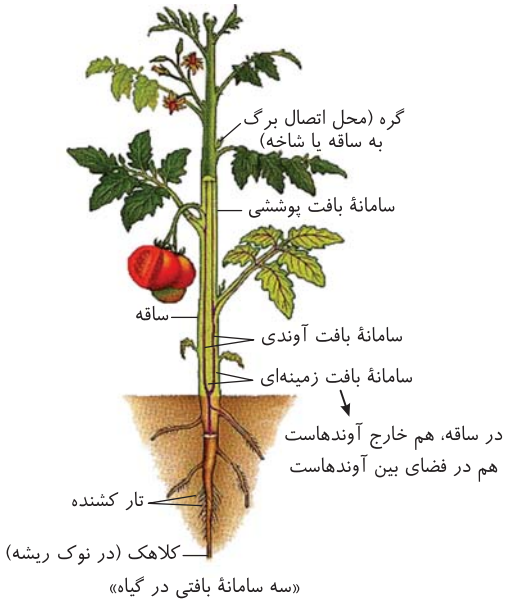
درسنامه

گفتار ۲ سامانهٔ بافتی در گیاهان

در ایـن گفتـار می‌خواهیم به بررسـی بافت‌های مختلف در اندام‌های رویشـی یعنی در ریشه، ساقه و برگ بپردازیم و ویژگی‌های خاص هرکدام را بررسی کنیم.

یادآوری: سـاقه، ریشـه و برگ را اندام‌های رویشـی ولی گل، میوه و دانه را اندام‌های زایشی گیاه می‌دانیم.

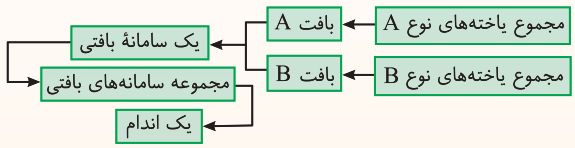
در برش عرضی برگ، ریشه و ساقهٔ **گیاهان آوندی** و به خصوص نهان‌دانگان (*گیاهان گل‌دار*)، سـه بخش یا سـه سـامانهٔ بافتی با عملکرد **متفاوت** دیده می‌شـود که شـامل سـامانه‌های **پوششی** (*سـطحی*)، **زمینه‌ای و آوندی** می‌باشـد. هرکدام از این سامانه‌های بافتـی، خـود از **یاخته‌هـا و بافت‌های گوناگونی** تشـکیل شـده‌اند که در این درسـنامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم:



«سه سامانهٔ بافتی در گیاه»

نکته
چون هر سامانهٔ بافتی، دارای بافت‌های **متفاوتی** می‌باشد، پس یاخته‌های هر سامانهٔ بافتی نیز مشابه و یکسان نمی‌باشند.

نکته



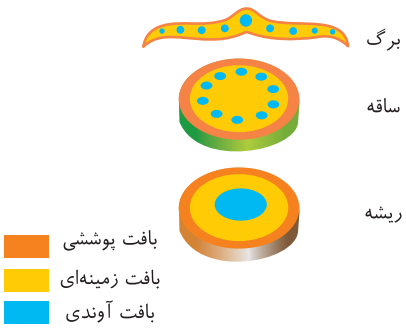
نکات شکل‌های این قسمت:

۱) گره قسمتی است که **برگ** به شاخه یا ساقه متصل می‌شود.

۲) **کلاهک** ریشه در نوک ریشه ولی تارهای کشنده ریشه در منطقهٔ بالاتر از کلاهک قرار گرفته‌اند.

۳) در ساقه و برگ **برخلاف** ریشه، بافت آوندی به صورت **پراکنده** درون سامانه بافت **زمینه‌ای** قرار گرفته است ولی در ریشه بافت آوندی متمرکزی در وسط اندام وجود دارد.

۴) سامانه
- پوششی ← محافظت از گیاه در برابر عوامل **محیطی** را بر عهده دارد.
- زمینه‌ای ← فتوسـنتز، ذخیره و اسـتحکام را بر عهده دارد. ← توسط دو سامانهٔ دیگر احاطه شده است.
- آوندی ← جابه‌جایی مواد را در گیاه انجام می‌دهد.



بررسی سامانهٔ بافت پوششی

ایـن سـاختار کـه در **همهٔ اندام‌های گیاهی** وجود دارد، نقشـی مانند **پوسـت در جانوران** دارد که جاندار را به عنوان اولین سـد دفاعی در برابـر عوامل بیماری‌زا و تخریب‌گر محیط حفظ می‌کند. این سامانه برحسب **سن اندام** و نوع گیاه به دو قسمت تقسیم می‌شود:

۱) **روپوست** (*در بخش‌های جوان مثل برگ، ساقه و ریشه جوان وجود دارد*) ⇐ **معمولاً یک لایه از یاخته‌های متنوع دارد.**

۲) **پیراپوسـت** (*پریدرم*) = سـامانهٔ پوششـی اندام‌های **مسـن** در برخی گیاهان دارای رشد **پسـین** می‌باشد ⇐ **چند لایه چوب‌پنبه‌ای به همراه سـایر بافت‌ها دارد** و در درسنامهٔ بعد آن را بررسی می‌کنیم.

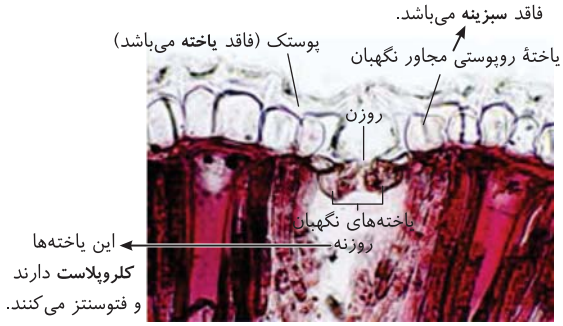
بررسی روپوست

روپوسـت معمولاً **یک لایه** یاخته دارد (*ممکنه چند لایه‌ای هم باشـه!*) که روی سـطح خارجی ریشه و سـاقه‌های جوان و دو طرف خارجی برگ‌های **پیر و جوان** قرار گرفته است. یکی از کارهای روپوست، **کاهش تبخیر آب** از اندام‌های **هوایی** (*ساقه و برگ*) می‌باشد (*به کلمهٔ هوایی دقت کنید چون قرار نیست آب از ریشه بره بیرون!*) که برای فهم بهتر چگونگی این کار باید انواع یاخته‌ها و لایه‌های مختلف روپوستی را بشناسیم.

لایه‌ها و یاخته‌های روپوستی

پوستک

لایه‌ای از جنس ترکیبات **لیپیدی** (*آب‌گریز*) می‌باشد که توسط یاخته‌های روپوستیِ بخش‌های **هوایی** (*روپوست ریشه ندارد!*) گیاه ساخته شده و به سمت **سطح بیرونی** **یاخته‌ها** که مجاور هوا می‌باشد، ترشح می‌شود. در حقیقت پوستک، خارجی‌ترین لایهٔ غیریاخته‌ای در روپوست می‌باشد که **فاقد** یاخته و فعالیت‌های متابولیسمی بوده و نسبت به **آب نفوذناپذیر** می‌باشد. این لایه مانع تبخیر و از دست دادن آب از اندام‌های **هوایی** گیاه می‌شود. در نتیجه آب برای خروج مجبور است راه‌هایی مخصوص پیدا کند. البته لازم به یادآوری است که پوستک در ریشه و اندام‌های زیرزمینی وجود **ندارد** و به همین دلیل، گیاه آب مورد نیاز خود را از طریق خاک و از روپوست ریشه جذب می‌کند ولی اگر پوستک در ریشه وجود داشت، تا حد زیادی، مانع عبور آب و وارد شدن آن به ریشه می‌شد.



«روپوست در برگ»

نکته

پوستک گیاهان همانند **غشای پایه** در زیر بافت پوششی جانوران، فاقد یاخته و فعالیت متابولیسمی می‌باشد.

عملکردهای پوستک:
- ۱) خروج آب به صورت بخار از اندام‌های هوایی گیاه را **کاهش** می‌دهد (*تعرق را کم می‌کند*).
- ۲) از ورود نیش حشرات و عوامل بیماری‌زا به گیاه جلوگیری می‌کند.
- ۳) گیاه را در برابر **سرما** حفظ می‌کند.
- ۴) در بعضی گیاهان **ضخیم‌تر** می‌باشد (*مثل گیاه خودروی خرزهره که مقاوم به خشکی است*).

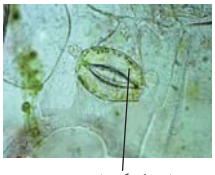
نکته

چون ریشهٔ گیاهان مسئول اصلی جذب آب است، روپوست ریشه **فاقد** پوستک می‌باشد تا جذب آب توسط ریشه به مشکل نخورد. در حقیقت گیاه از ریشه آب می‌گیرد ولی آب **اضافی** را از اندام‌های هوایی از دست می‌دهد. در ادامه می‌آموزید که خروج آب، اغلب از راه روزنه‌های **هوایی** صورت می‌گیرد چون پوستک آب‌گریز است و مانع خروج آب از سطح یاخته‌ها می‌شود.

انواع یاخته‌های روپوستی:

در اندام‌های هوایی (*ساقهٔ جوان و برگ‌ها*):

الف) یاختهٔ نگهبان روزنه:
- سبزینه و سبزدیسه تمایز یافته دارد.
- تنها یاخته‌های **فتوسنتزکنندهٔ** روپوستی می‌باشند (*توانایی تولید مواد آلی از مواد معدنی دارند*).
- با باز و بسته کردن روزنه، مقدار ورود و خروج گازها و بخار آب را تنظیم می‌کند.
- هر دوتای آن در کنار هم یک روزنهٔ هوایی را تشکیل می‌دهند.
- دیواره‌های آن ضخامت یکنواخت ندارند (*به سمت روزنه دیوارهٔ ضخیم‌تر دارند (فصل ۷)*).


یاختهٔ نگهبان روزنه

ب) کرک‌ها:
- یاخته‌های **زائده**مانند و غیرفتوسنتز کننده تمایز یافته می‌باشند.
- در روزنه‌های غارمانند مثل گیاه خرزهره تعداد کرک **زیادی** برای به دام انداختن **رطوبت** هوا وجود دارد (*آخر گفتار ۳*).
- در **کاهش** تبخیر آب از سطح برگ مؤثرند.
- به دلیل نداشتن رنگیزه فتوسنتزی، قدرت زیادی برای جذب نور ندارند.
- در گیاهان گوشت‌خوار در شکار حشرات مؤثر است (*فصل ۹ یازدهم*).
- در برخی مثل گیاهان گوشت‌خوار سبب به دام افتادن حشره می‌شوند (*فصل ۹ یازدهم*).



ج) یاخته‌های ترشحی (*تمایز یافته هستند*):
- برخی مواد معطر یا ترکیبات دیگر ترشح می‌کنند.
- برخی نقش **دفاعی** ترشح می‌کنند.
- برخی مسئول ترشح موادی چسبناک هستند که حشره روی آن حرکت نکند (*موادی مثل صمغ و رزین*).
- همانند سایر یاخته‌ها مواد لیپیدی برای ساخت پوستک ترشح می‌کنند.

د) تعدادی یاختهٔ تمایز نیافتهٔ روپوستی نیز در کنار این یاخته‌ها وجود دارند.

در ریشه‌های جوان:
- یاخته‌های درازی دارند که به هرکدام تار کشنده می‌گویند و برای جذب آب و مواد محلول تمایز یافته‌اند.
- در ریشه، یاختهٔ نگهبان، کرک و پوستک وجود ندارد.

تست ۱۰ **یاخته‌هایی که نقش اصلی در تنظیم مقدار ورود و خروج گازها و بخار آب در گیاهان را دارند، .....** (قلم‌چی)

۱) در مجاورت خود یاخته‌های ترشحی دارند که ترکیباتی لیپیدی بر هر سطح خود ترشح می‌کنند.

۲) به سامانهٔ بافتی‌ای تعلق دارند که در آن یاخته‌های سبزینه‌دار وجود ندارد.

۳) در هریک از اندام‌های گیاهی به ایفای نقش خود می‌پردازند.

۴) از طریق فضایی به نام روزنه به مبادلهٔ گازها با هوا می‌پردازند.

پاسخ B ۴ یاخته‌های نگهبان روزنه مقدار ورود و خروج گازها و بخار آب را تنظیم می‌کنند. با توجه به شکل کتاب درسی، این یاخته‌ها از طریق فضایی به نام روزنه به مبادلهٔ گازها با هوا می‌پردازند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): یاخته‌های روپوستی، پوستک (*ترکیبی لیپیدی*) را **تنها** به سطحی از روپوست ترشح می‌کنند که در مجاور هوا قرار دارد (*سطح خارجی*). / گزینهٔ (۲): یاخته‌های نگهبان روزنه به سامانهٔ بافت پوششی تعلق دارند و خود یاخته‌هایی سبزینه‌دار هستند و فتوسنتز می‌کنند. / گزینهٔ (۳): یاخته‌های نگهبان روزنه به‌طور معمول در اندام‌های هوایی گیاه حضور دارند و در ریشه یا ساقه‌های زیرزمینی دیده نمی‌شوند.

سامانهٔ بافت زمینه‌ای

این سامانهٔ بافتی فضای بین **روپوست و بافت آوندی** را پر کرده است و خود از سه نوع بافت به نام پارانشیمی، کلانشیمی و اسکلرانشیمی به وجود آمده است. در این قسمت به بررسی این سه نوع بافت در سامانهٔ بافت زمینه‌ای می‌پردازیم (*تقریباً هر سال از این قسمت سؤال کنکور طرح می‌شود*).

ویژگی‌ها و نکات بافت پارانشیمی

۱) **رایج‌ترین** بافت در سامانهٔ بافت **زمینه‌ای** گیاه می‌باشد و بیشترین فعالیت‌ها را در این بافت انجام می‌دهد.

۲) یاخته‌های آن تیغهٔ میانی به همراه دیوارهٔ **نخستین نازک** دارند که هیچ‌گاه **چوبی و استحکامی** نمی‌شوند و به همین دلیل به **آب نفوذپذیرند**. (*یادتون باشه که جنس دیوارهٔ یاخته در میزان نفوذپذیری آن به آب نقش دارد.*)

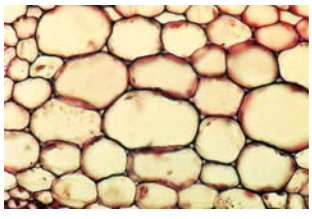
نکته در بافت‌های گیاهی، بخش‌های چوبی یا چوب‌پنبه‌ای شده دیواره به آب نفوذناپذیر هستند. این ویژگی‌ها در بافت پارانشیمی دیده نمی‌شود.

۳) یاخته‌های آن همانند بافت مریستمی قدرت **تقسیم** دارند ولی برخلاف مریستم که در گفتار بعد می‌خوانیم، پارانشیم‌ها توانایی تقسیم دائمی ندارند بلکه هنگام **زخمی** شدن گیاه با تقسیمی که انجام می‌دهند، برای گیاه، **ترمیم زخم** انجام می‌دهند (*یادتون باشه که در یازدهم می‌خوانید که در بافت‌های آسیب‌دیدهٔ گیاهی، تولید هورمون اتیلن نیز زیاد می‌شود.*)

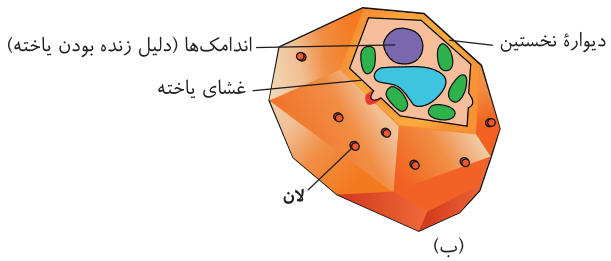
۴) این بافت کارهای متفاوتی مانند **ذخیرهٔ** مواد، **فتوسنتز** و شرکت در لابه‌لای بافت **آوندی** (*مثل پارانشیم آبکش*) را انجام می‌دهند.

۵) یاخته‌ها و بافت پارانشیمیِ **سبزینه‌دار**، به مقدار **فراوان** در اندام‌های **سبز** گیاه (*ساقهٔ جوان و برگ‌ها، دمبرگ‌ها و...*) دیده می‌شوند که فتوسنتز و غذاسازی می‌کنند.

۶) لان، پلاسمودسم، اندامک‌های متفاوت و دیوارهٔ **نخستین نازک** و چوبی نشده در همهٔ یاخته‌های مختلف این بافت وجود دارد. در حقیقت در قسمت‌هایی از دیواره که ضخامت نازک‌تر می‌باشد، **لان‌ها** و به مقدار فراوانی پلاسمودسم‌ها قرار دارند.



(الف)



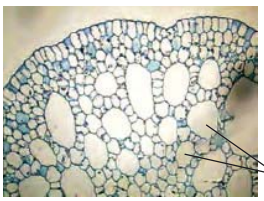
(ب)

«یاخته‌های پارانشیمی با دیوارهٔ نازک (الف)، ترسیمی از یاخته‌های پارانشیمی (ب)»

۷) در یاخته‌های این بافت به دلیل نبودن دیوارهٔ پسین، دیواره‌ای که پروتوپلاست را مانند قالبی دربر می‌گیرد، همان دیوارهٔ نخستین است.

۸) گیاهان **آبزی** در سامانهٔ بافت زمینه‌ای ریشه، ساقه و برگ خود دارای **پارانشیم‌هایی** با فضای بین‌یاخته‌ای **فراوان** هستند که این فضاها **پر از هوا** (*نه آب!*) می‌باشد تا در محیط دارای آب فراوان، خفه نشوند و کمبود اکسیژن خود را با هوای این فضاها برای تنفس یاخته‌ای جبران می‌کنند. (*در آخر این فصل می‌خوانید که گیاهان در جنگل‌های حرا در جنوب ایران این بافت را به همراه شش ریشه‌ها می‌توان مشاهده کرد.*)

۹) بافت پارانشیم نقش استحکامی برای گیاه ندارد و دقت کنید که یاخته‌های آن اسامی متفاوتی مثل میانبرگ اسفنجی، نرده‌ای، خورش و ... می‌تواند داشته باشد که در سال‌های بعد با آن‌ها آشنا می‌شوید.



«پارانشیم هوادار»

ویژگی‌ها و نکات بافت کلانشیمی

۱) یاخته‌های این بافت نیز به همین نام **کلانشیم** هستند!!

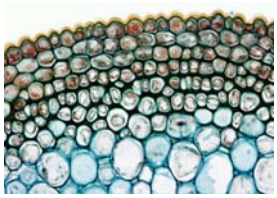
۲) یاخته‌های این بافت **هیچ‌گاه دیوارهٔ پسین ندارند** و فرایند **چوبی** شدن نیز در آن‌ها رخ نمی‌دهد به همین دلیل دیوارهٔ **انعطاف‌پذیر** دارند ولی دقت کنید که این یاخته‌ها دارای **دیوارهٔ نخستین ضخیم** می‌باشند که باعث قدرت **استحکامی** این بافت می‌شود.

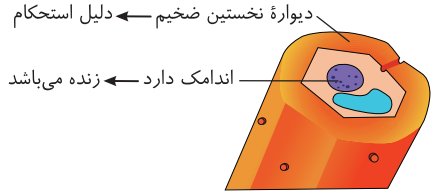
۳) این بافت چون **انعطاف‌پذیر** است، پس مانع رشد **اندام** گیاهی نمی‌شود.

۴) یاخته‌های کلانشیمی معمولاً زیرِ **روپوست** یعنی در بافت زمینه‌ای موجود در **پوست** گیاه قرار می‌گیرد. (*درست‌ها! دقت کنید که این بافت زیر روپوست است نه زیر پوست!!*)

۵) این یاخته‌ها زنده هستند و متابولیسم و تنفس یاخته‌ای همراه با همهٔ اندامک‌های مورد نیاز را دارند.

۶) دیوارهٔ نخستین ضخیم در این بافت به صورت **غیریکنواخت** وجود دارد به همین دلیل در مناطقی که ضخامت آن کمتر است، **لان‌ها** ایجاد شده‌اند. دقت کنید که به دلیل عدم وجود دیوارهٔ پسین، در این بافت نیز همانند پارانشیم، دیوارهٔ نخستین مانند قالبی پروتوپلاست را دربر گرفته است و به غشا متصل است.


(الف)



(ب)

«دیوارهٔ ضخیم یاخته‌های کلانشیمی به علت رنگ‌آمیزی تیره دیده می‌شود (الف)، ترسیمی از یاختهٔ کلانشیمی (ب)»

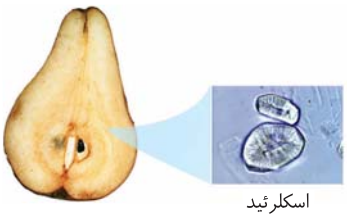
ویژگی‌ها و نکات بافت اسکلرانشیمی

۱) در این بافت نیز همانند بافت کلانشیم یاخته‌هایی با همین نام وجود دارد.

۲) **مجموعه‌ای از یاخته‌های** اسکلرانشیمی باعث می‌شود که هنگام خوردن گلابی، ذره‌های سختی در زیر دندان حس شود (*دقت کنید که مجموعهٔ یاخته‌ها نه هر یاخته*).

۳) **همه** نوع یاخته‌های بالغ این بافت، دارای **دیوارهٔ پسین ضخیم چوبی** شده و لان می‌باشند.

۴) چون **چوبی شدن** دیوارهٔ پسین یاخته‌ها، باعث از بین رفتن غشای یاخته می‌شود، در این بافت نیز باعث مرگ **پروتوپلاست** می‌شود. به همین دلیل در شکل یاخته‌های مختلف این بافت، **درون یاخته، اندامکی مشاهده نمی‌شود.**

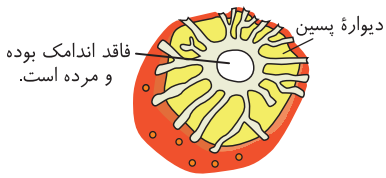

اسکلرئید

۵) این بافت به دلیل **دیوارهٔ پسین ضخیم چوبی** شده خود فقط قدرت **استحکام** دارد و برخلاف بافت کلانشیم **فاقد قدرت انعطاف** می‌باشد.

۶) لازم به توجه است که یاخته‌های این بافت در ابتدا دیوارهٔ پسین غیرچوبی دارند. پس پروتوپلاست زندهٔ آن‌ها ترکیبات لیگنینی (*چوبی*) را به خارج ترشح می‌کند تا دیوارهٔ دوم را در همه‌جا به‌جز لان‌ها، چوبی کند. در این حالت پروتوپلاست از بین می‌رود و یاخته نیز نقش استحکامی یافته است و فاقد پلاسمودسم می‌شود.

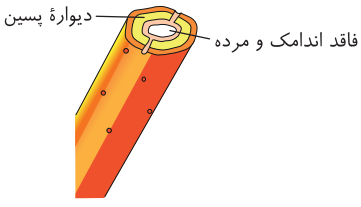
۷) انواع یاخته‌های اسکلرانشیمی

- الف) اسکلرئید
  - دیوارهٔ یاخته بالغ آن، چوبی شده و می‌میرد.
  - یاخته با اندازهٔ **کوتاه** می‌باشد و لان دارد.
  - در حالت بلوغ، فاقد اندامک و متابولیسم می‌باشد.
  - در میوه‌ها (*مثل گلابی*) و دانه‌های چوبی وجود دارد.
  - دیوارهٔ نخستین **نازک** و دیوارهٔ پسین چوبی قطور همراه با انشعاباتی دارد.



«اسکلرئید»

- ب) فیبرها
  - یاخته‌هایی **دراز با دیوارهٔ چوبی شده** می‌باشند.
  - یاخته‌هایی مرده می‌باشند و لان دارند.
  - در تولید **طناب و پارچه** استفاده می‌شوند.
  - علاوه بر سامانهٔ زمینه‌ای، همواره در سامانهٔ آوندی نیز در اطراف **آوندی** ساقه و ریشه نیز وجود دارند.
  - دیوارهٔ نخستین نازک و پسین چوبی قطور و مستحکم دارند.



«فیبر»

۸) در بین بافت‌های موجود در سامانهٔ بافت زمینه‌ای، بافت‌های **کلانشیم** و **اسکلرانشیم** دارای یاخته‌هایی با همین نام می‌باشند ولی در بافت پارانشیمی یاخته‌هایی با نام‌های مختلف و ساختار مشابه وجود دارد.

۹) در سامانهٔ زمینه‌ای، بافت‌های **اسکلرانشیمی** با دیوارهٔ چوبی پسین ضخیم و **کلانشیمی** با دیوارهٔ نخستین ضخیم غیرچوبی وظیفه استحکام این سامانه را بر عهده دارند.

تست ۱۱ چند مورد عبارت مقابل را به درستی کامل می‌کند؟ «در گیاهان هر سامانهٔ بافتی‌ای که ..... قطعاً .....» (قلم‌چی)

الف) عملکردی شبیه پوست در جانوران دارد - در ریشه‌های جوان واحدهایی هم‌ارز یاخته در جانوران دارد.

ب) حاوی یاخته‌های مورد استفاده در تولید طناب و پارچه است - اصلی‌ترین یاخته‌های آن فاقد هسته می‌باشند.

ج) فضای بین روپوست و بافت آوندی را پر می‌کند - در بین یاخته‌های رایج‌ترین بافت این سامانه فاصلهٔ کمی وجود دارد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) صفر مورد

پاسخ ۱ C

تنها مورد (الف) عبارت را به درستی کامل می‌کند.

نکته‌های تستی الف) درست است. سامانهٔ بافت پوششی عملکردی شبیه پوست در جانوران دارد که یاخته‌های آن در ریشه‌های جوان، دارای پروتوپلاست‌اند. پروتوپلاست هم‌ارز یاخته در جانوران است. / ب) نادرست است. فیبرها، یاخته‌های مورد استفاده در تولید طناب و پارچه هستند و هم در سامانهٔ بافت زمینه‌ای و هم در سامانهٔ بافت آوندی وجود دارند. تنها اصلی‌ترین یاخته‌های سامانهٔ بافت آوندی (*آوندها*) فاقد هسته می‌باشند و برای همهٔ یاخته‌های بافت زمینه‌ای صادق نیست (*توجه کنید که باید سامانهٔ بافتی را مدنظر قرار دهید و نه صرفاً همان بافت اسکلرانشیم را*). / ج) نادرست است. سامانهٔ بافت زمینه‌ای فضای بین روپوست و بافت آوندی را پر می‌کند. رایج‌ترین بافت این سامانه بافت پارانشیمی است که در گیاهان آبزی، فاصلهٔ فراوانی بین یاخته‌های آن وجود دارد.

سامانهٔ بافت آوندی

این سامانه بافتی مسئول **ترابری و انتقال مواد در گیاه** می‌باشد (*همانند گردش خون انسان*) که دارای دو نوع **بافت** آوند چوبی و بافت آوند آبکشی می‌باشد. بافت آوند چوبی مسئول انتقال **شیرهٔ خام** از خاک به قسمت‌های سبز گیاه (*توسط آوند چوبی*) و بافت آوندی آبکش، وظیفهٔ انتقال آب و مواد آلی (*شیرهٔ پرورده*) از بخش‌های تولیدکننده به بخش‌های مصرف‌کننده را دارد.

نکته در سامانهٔ بافت آوند چوبی و آبکش یاخته‌های **پارانشیمی** و **فیبر** (*اسکلرانشیمی*) نیز وجود دارد ولی **اصلی‌ترین** یاخته‌های این بافت، همان یاخته‌هایی هستند که آوندها و لوله‌های ارتباطی را می‌سازند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم. پس بافت‌های پارانشیمی و اسکلرانشیمی از نوع فیبر در دو سامانهٔ زمینه‌ای و آوندی اندام‌ها وجود دارند.

ویژگی یاخته‌های اصلی در بافت آوند چوبی

۱) همگی یاخته‌هایی هستند که در حالت بلوغ **دیوارهٔ پسین چوبی شده** دارند و **مرده** می‌باشند. این یاخته‌ها فاقد اندامک و فعالیت‌های زیستی می‌باشند.

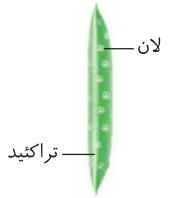
۲) از به دنبال هم قرار گرفتن یاخته‌های مردهٔ آن، لوله‌ای برای هدایت **غیرفعال** شیرهٔ خام از خاک به سمت قسمت‌های فتوسنتزکننده ایجاد می‌شود. علت غیرفعال بودن هم را که می‌دانید؟ خب مشخصه چون یاخته‌های این بافت مرده‌اند و وظیفهٔ متابولیسمی ندارند. همچنین بدانید که شیرهٔ خام در آوند چوبی فقط به سمت **بالا** یعنی برگ‌ها و ساقه‌ها حرکت می‌کنند.

۳) **لیگنین** (*چوب*) به کار رفته در دیوارهٔ **پسین** آن‌ها به شکل‌های **متفاوتی** می‌باشد و سبب ایجاد انواع آوندهای چوبی با شکل‌های مختلف می‌شود. در آوندهای چوبی، دیواره فقط در محل **لان، چوبی نشده است** تا بتواند شیرهٔ خام را عبور دهد (*به آوند وارد یا از آن خارج کند*).

۴) هر آوند چوبی براساس شکل **یاخته‌های** آن به دو صورت **تراکئید** و یا **عنصر آوندی** می‌باشد.

۵) آوندهایی که **یاخته‌های دوکی‌شکل، باریک و دراز** با انتهای مخروطی برای انتقال شیرهٔ خام دارند **تراکئیدها** هستند. در این یاخته‌ها **لان‌هایی** برای انتقال شیرهٔ خام به سمت تراکئید **بالایی** وجود دارد. البته از سمت لان‌های دیوارهٔ **جانبی** یاخته خود نیز می‌تواند با آوند آبکش به تبادل **آب** بپردازد (*سرعت انتقال شیرهٔ خام در این آوندها کند است*).

۶) آوندهایی که از به دنبال هم قرار گرفتن یاخته‌هایی **کوتاه‌تر و گشادتر** از تراکئیدها ایجاد شده‌اند را **عناصر آوندی** می‌گوییم که به هر یاختهٔ آن یک **عنصر** آوندی کوتاه می‌گویند. این یاخته‌ها وقتی در امتداد هم قرار می‌گیرند، **دیوارهٔ عرضی** خود را از دست می‌دهند و به صورت لولهٔ **پیوسته** برای عبور شیرهٔ خام درمی‌آیند.





۷) به دلیل اینکه در لوله‌های عناصر آوندی، **دیوارهٔ عرضی** بین یاخته‌ها از بین رفته است و لولهٔ پیوسته تشکیل شده است، سرعت صعود شیرهٔ خام در آن‌ها از آوندهای تراکئیدی بیشتر است. البته این آوندها نیز **همانند** تراکئیدی‌ها از دیوارهٔ **جانبی** خود توسط لان‌ها، با آوند آبکش به مبادله **آب** می‌پردازند.

۸) در یاختهٔ آوند چوبی **بالغ**، فقط دیوارهٔ **پسینِ** چوبی شده، باقی‌مانده است ولی کل پروتوپلاست، تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین آن از بین رفته است. این آوند علاوه بر ترابری شیرهٔ خام، نقش استحکامی نیز دارد.

۹) انواع آوندهای چوبی با تراکئیدها یا عناصر آوندی و شکل‌های مختلف چوب در دیوارهٔ آن‌ها را در شکل مقابل می‌توانید برای مطالعهٔ بیشتر مشاهده و بررسی کنید.

۱۰) آوند چوبی به همراه بافت‌های کلانشیمی و اسکلرانشیمی در **استحکام** گیاه نقش دارد که تفاوت‌های آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:


«آوندهای چوبی به شکل‌های متفاوتی دیده می‌شوند»

بافت	استحکام	انعطاف‌پذیری	دیوارهٔ نخستین	پروتوپلاست	سامانهٔ بافتی
کلانشیمی	**دارد**	**دارد**	**ضخیم غیرچوبی**	**دارد**	فقط در سامانهٔ **زمینه‌ای** وجود دارد.
اسکلرانشیمی	**دارد**	**ندارد**	**دارد**	**ندارد**	در سامانهٔ **زمینه‌ای** و **آوندی** وجود دارد.
آوند چوبی بالغ	**دارد**	**ندارد**	**ندارد**	**ندارد**	فقط در سامانهٔ **آوندی** وجود دارد.

ویژگی یاخته‌های اصلی در بافت آوند آبکشی

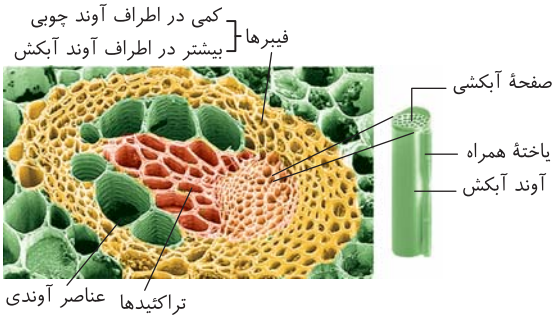
۱) این آوند از کنار هم قرار گرفتن یاخته‌هایی با **دیوارهٔ نخستین سلولزی** ایجاد می‌شود یعنی **هیچ** دیواره‌ای از این بافت **چوبی نمی‌شود.** آوند آبکشی همواره یاخته‌های **زنده** دارد.

۲) بین یاخته‌های این آوند، **صفحهٔ آبکشی** (غربالی) وجود دارد که شیرهٔ پرورده را با صرف انرژی به **بالا و پایین** منتقل می‌کند.

۳) یاخته‌های آوندهای آبکشی، **هسته ندارند** ولی **سیتوپلاسم** دارند و **زنده** می‌باشند.

۴) در **نهان‌دانگان** و در **کنار** آوندهای آبکش **یاخته‌های همراه اندامک‌دار** وجود دارد که با ایجاد انرژی به ترابری شیرهٔ پرورده در آوندهای آبکشی کمک می‌کند.

یاخته‌های همراه حاوی هسته و راکیزه می‌باشند ولی سبزدیسه ندارند (*یاختهٔ همراه از یاختهٔ آوند آبکش باریک‌تر است*).



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دسته‌های یاخته‌های اسکلرانشیمی از نوع فیبری، اطراف آوندهای چوبی و آبکش را دربرگرفته‌اند و به استحکام گیاه کمک می‌کنند.

۲) در سامانهٔ بافت آبکشی، انواع یاخته‌های آبکشی، همراه، پارانشیمی و **فیبرهای** اسکلرانشیمی وجود دارد.

۳) در یک ساقهٔ چوبی شده، به دلیل **ضخامت بیشتر بافت آوند چوبی، مقدار** بافت آوند چوبی از بافت آوند آبکش بیشتر می‌باشد (*تکلر کتاب*).

۴) با توجه به شکل آوندها، از نظر قطر: عناصر آوندی چوبی > تراکئید > آوند آبکش

۵) در تست‌ها دقت کنید که آوند آبکش و چوبی، یاختهٔ فیبر و پارانشیمی ندارد ولی اگر گفته شد، **بافت** آوندی آبکش یا چوبی، یعنی علاوه بر یاخته‌های اصلی آوندساز باید فیبر و پارانشیم را نیز به حساب بیاورید.

۶) تنها یاخته‌های **زنده** در بافت آوند چوبی، یاخته‌های پارانشیمی اطراف آوندها می‌باشند.

۷) تنها یاخته‌های **مردهٔ** بافت آوند آبکش، یاخته‌های فیبری اسکلرانشیمی می‌باشند.

۸) در برش عرضی سامانهٔ آوندی ریشه و ساقه، فیبرها در اطراف هر دو نوع آوند قرار دارند.

۹) در بین آوندها، فقط عناصر آوندی چوبی، لولهٔ پیوسته و بدون دیوارهٔ عرضی می‌باشند.

۱۰) یاخته‌های همراه، ویژهٔ همهٔ گیاهان آوندی نمی‌باشند بلکه فقط در کنار آوند آبکش نهان‌دانگان یا همان گیاهان گل‌دار قرار گرفته‌اند.

۱۱) یاخته‌های آبکش از اجزای لولهٔ آوند آبکش نمی‌باشند و در کنار آن قرار دارند.

تست ۱۲ **نوعی بافت استحکامی که سبب انعطاف‌پذیری اندام نیز می‌شود .....** (قلم‌چی)

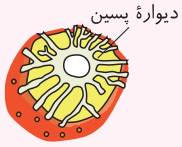
۱) همانند هر نوع بافت استحکامی فاقد پروتوپلاست، به سامانهٔ بافت زمینه‌ای تعلق دارد.

۲) همانند بافتی که در ترمیم گیاه به هنگام آسیب نقش دارد، دیوارهٔ نخستین نازک و چوبی نشده دارد.

۳) برخلاف هر نوع یاختهٔ بافت آوندی، از یاخته‌هایی زنده و در حال رشد تشکیل شده است.

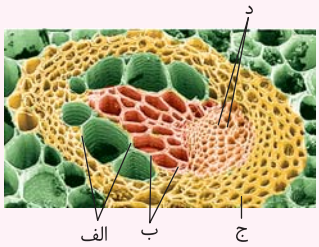
۴) برخلاف یاخته‌های اسکلرئیدی بافت اسکلرانشیم، فاقد انشعابات در دیوارهٔ ثانویه می‌باشد.

پاسخ ۴ B بافت کلانشیم بافت زنده‌ای است که ضمن ایجاد استحکام، سبب انعطاف‌پذیری اندام می‌شود. یاخته‌های این بافت برخلاف یاخته‌های اسکلرئید دارای انشعاباتی در دیوارهٔ ثانویهٔ خود می‌باشند (*در کتاب به صورت انشعاباتی در دیوارهٔ ثانویه زردرنگ قرار گرفته است*).



تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بافت آوند چوبی نیز در استحکام گیاه نقش دارد که جزء سامانهٔ بافت آوندی است. / گزینهٔ (۲): دیوارهٔ نخستین یاخته‌های بافت کلانشیمی ضخیم‌اند. / گزینهٔ (۳): در بافت‌های آوندی نیز یاخته‌های پارانشیم و همراه حضور دارند که یاخته‌هایی زنده هستند.

تست ۱۳ **کدام مورد در ارتباط با شکل مقابل نادرست است؟** (قلم‌چی)



۱) در یاخته‌های (ب) دیواره، فقط در محل لان چوبی نشده است.

۲) یاخته‌های (الف) فاقد دیوارهٔ عرضی هستند.

۳) در دیوارهٔ نخستین یاخته‌های (د) امکان مشاهدهٔ تزئینات چوبی وجود دارد.

۴) یاخته‌های (ج) یاخته‌های دراز و استحکامی هستند.

پاسخ ۳ B دیوارهٔ نخستین آوند آبکش سلولزی است و فاقد تزئینات چوبی می‌باشد.

در شکل، (الف) عناصر آوندی، (ب) تراکئید، (ج) فیبر و (د) آوند آبکش را نشان می‌دهد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در هر آوند چوبی، دیواره فقط در محل لان چوبی نشده است تا شیرهٔ خام و آب اجازهٔ عبور داشته باشد. / گزینهٔ (۲): در عناصر آوندی (الف) دیوارهٔ عرضی از بین رفته و لولهٔ پیوسته‌ای تشکیل شده است. / گزینهٔ (۴): فیبرها یاخته‌هایی دراز و استحکامی مرده هستند.

تست ۱۴ **انتقال شیرهٔ خام از یک عنصر آوندی به عنصر بالایی ..... انتقال به یاختهٔ آوند مجاور از راه ..... صورت می‌گیرد.**

۱) همانند - لان

۲) برخلاف - لولهٔ پیوسته بدون دیوارهٔ عرضی

۳) برخلاف - لان

۴) همانند - لولهٔ پیوسته دیواره‌دار عرضی

پاسخ ۲ B این تست و تست بعدی را به دقت مطالعه کنید! باید به خاطر داشته باشید، که عبور آب از یک عنصر چوبی به عنصر بالایی توسط **لوله پیوسته بدون دیوارهٔ عرضی** صورت می‌گیرد ولی انتقال مواد آن به آوند مجاور توسط **لان‌ها** صورت می‌گیرد. ضمناً توجه کنید که لولهٔ دارای دیوارهٔ عرضی مربوط به آوند آبکش است (*نه آوند چوبی*).

تست ۱۵ **انتقال شیرهٔ خام از یک تراکئید به عنصر مجاور ..... تراکئید بالای خود از راه ..... صورت می‌گیرد.**

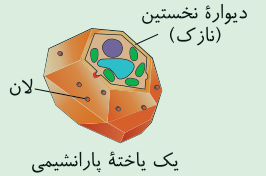
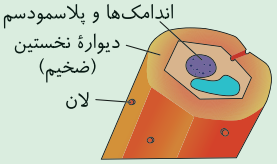
۱) همانند - لان

۲) همانند - لولهٔ پیوسته

۳) برخلاف - لان

۴) برخلاف - لولهٔ بدون دیوارهٔ عرضی

پاسخ ۱ A انتقال شیرهٔ خام از یک تراکئید به عنصر مجاور توسط **لان** صورت می‌گیرد و همین‌طور بین دو تراکئید مجاور و بالای خود نیز از راه لان است.

	بافت	محل بافت	نکتهٔ دیواره	هسته	در بلوغ	نکات و کار
گفتار بعد	مریستم	جوانهٔ نوک ساقه، جوانهٔ ابتدای شاخه‌های جانبی، نزدیک نوک ریشه، کامبیوم‌ها و جوانهٔ کنار برگ‌ها قرار دارد.	دیوارهٔ نخستین نازک دارد ولی دیوارهٔ پسین ندارد.	درشت دارد	زنده	تقسیم زیادی دارد - فضای بین‌یاخته‌ای کم (*همانند بافت پوشش جانوران*) و واکوئول‌های ریز و کمی دارد - مریستم، بافت‌های دیگر را می‌سازد - هستهٔ درشت مرکزی دارد.
بافت‌های زمینه‌ای	پارانشیم	در همه جای گیاه وجود دارد. (*رویش و زایش*)	فاقد دیوارهٔ دوم می‌باشد. یاختهٔ بزرگ با تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین **نازک** غیرچوبی دارد.	**دارد**	**زنده**	۱- ذخیرهٔ مواد غذایی، آب و فتوسنتز را در بخش‌های سبز بر عهده دارد. ۲- چوبی **نمی‌شود**. ۳- فضای بین‌یاخته‌ای بیشتر از مریستم دارد. ۴- تا حدی برای ترمیم زخم بافتی تقسیم می‌شود. ۵- یاخته‌های سبز میانبرگ، فتوسنتزی دارد. ۶- در سامانهٔ زمینه‌ای و آوندی وجود دارد.  یک یاختهٔ پارانشیمی
	کلانشیم	در یاخته‌های بخش خارجی پوست ساقه‌های جوان یعنی در **زیر روپوست** وجود دارد.	دیوارهٔ **نخستین** ضخیم و غیریکنواخت دارد (*برخی قسمت‌های آن ضخیم‌تر است*).	**دارد**	**زنده**	۱- رشد دارد. ۲- استحکام و انعطاف‌پذیری با دیواره‌های نخستین ضخیم سلولزی دارد. ۳- چوبی نمی‌شود. ۴- رشد آن‌ها با افزایش **طول** است چون تقسیم نمی‌شوند. ۵- استحکام و برافراشته ماندن ساقه و سایر بخش‌ها را باعث می‌شود.  یک یاختهٔ کلانشیمی
	اسکلرانشیم	اغلب لابه‌لای پارانشیم می‌باشد و به آن استحکام می‌دهد.	دیوارهٔ پسین چوبی شده ضخیم (*لگنین*) دارد.	ندارد	مرده	به گیاه استحکام می‌دهد دو نوع یاخته دارد: ۱- فیبر: یاخته دراز دوکی‌شکل در میان بافت‌های دیگر به **ویژه** اطراف **آوندهای گیاه** در سامانهٔ آوندی قرار دارد. ۲- اسکلرئید: یاخته‌های کوتاه چوبی بیشتر در پوشش دانه و میوه‌ها (*گلابی*) است. ۳- در سامانهٔ زمینه‌ای و آوندی وجود دارد.  «اسکلرئید» «فیبر»
آوند	چوبی	همه جای گیاه	یاختهٔ اصلی بالغ دیوارهٔ دوم دارد و چوبی شده.	ندارد	مرده	هدایت شیرهٔ خام را به بالا دارد.
	آبکش	همه جای گیاه	یاختهٔ اصلی، دیوارهٔ نخستین سلولزی دارد.	ندارد	زنده	هدایت شیرهٔ پرورده را به بالا و پایین دارد.

درسنامه

گفتار ۳ ساختار گیاهان

از دانه تا درخت

در این گفتار به دنبال این موضوع هستیم که چگونه در یک گیاه دانه‌دار، از دانه‌ای کوچک، گیاهی بزرگ با شاخه، ریشه، ساقه و برگ ایجاد شده و چگونه از شاخه یا ساقه جدا شده می‌توان یک گیاه کامل دیگر به دست آورد؟

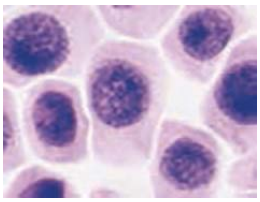
پاسخ به همهٔ این سؤالات نیاز به فهم ویژگی‌های بافتی در گیاه به نام **مریستم** دارد که منشأ **همهٔ** قسمت‌های گیاهان مختلف می‌باشد.

یادآوری: در همهٔ جانداران طبیعت، رشد شامل دو نوع افزایش **تعداد** و افزایش **حجم** یاخته به صورت برگشت**ناپذیر** می‌باشد. در گیاهان نیز رشد با افزایش تعداد یاخته‌ها در اثر تقسیم مریستم و برخی پارانشیم‌ها و افزایش طول توسط هر یاختهٔ زنده‌ای که فاقد دیوارهٔ پسین است، رخ می‌دهد.

بافت مریستمی

در **نوک** ساقه یا **نزدیک نوک** ریشه، یاخته‌هایی با قدرت تقسیم **زیاد** به نام مریستم وجود دارند که **دائماً** در حال **تقسیم** می‌باشند. همهٔ یاخته‌ها و بافت‌های سه سامانهٔ بافتی پوششی، زمینه‌ای و آوندی که در درسنامهٔ قبلی خواندیم، حاصل فعالیت و تمایز محصولات **بافت مریستمی** می‌باشند.

یاخته‌های بافت مریستمی، یاخته‌هایی **به هم فشرده** با فضای بین‌یاخته‌ای **بسیار اندک** (*همانند بافت پوششی سنگ‌فرشی جانوران*) می‌باشند که هر یاخته، یک **هستهٔ درشت** در مرکز دارد. این هسته به دلیل بزرگ بودن، بیشتر حجم سیتوپلاسم را فراگرفته است. نسبت $\frac{N\ (\text{هسته})}{C\ (\text{سیتوپلاسم})}$ در این یاخته‌ها زیاد است.


«یاخته‌های مریستمی»

نکته فعالیت مریستم نزدیک به نوک ریشه با میکروسکوپ **نوری** دیده می‌شود، چون میکروسکوپ الکترونی قدرت دیدن یاختهٔ زنده و فعالیت‌های آن را ندارد (*این نکته در کنار شکل مریستم نزدیک به نوک ریشه کتاب درسی آمده است*).

نکته در جانوران، رشد در همه جای بدن صورت می‌گیرد ولی در گیاهان، رشد مخصوص مناطق خاصی به نام مناطق **مریستمی** می‌باشد. البته رشدی به مقدار کم نیز در اثر تقسیم در بافت پارانشیمی، یا در اثر رشد طولی در پارانشیم‌ها و کلانشیم‌ها، در برخی قسمت‌های گیاه دیده می‌شود.

انواع مریستم در گیاهان

در ابتدا دقت کنید که همهٔ گیاهان برای رشد به بافت مریستمی محتاج هستند. از طرفی گیاهان معمولاً دو نوع رشد طولی و قطری دارند که ابتدا به‌طور کلی آن‌ها را طبقه‌بندی می‌کنیم.

مریستم
- نخستین ← سبب رشد **طولی** در همهٔ گیاهان می‌شود.
- پسین ← سبب رشد **قطری** (عرضی) به ساقه و ریشهٔ گیاهان نهان‌دانهٔ **دولپه‌ای** چوبی می‌شود.

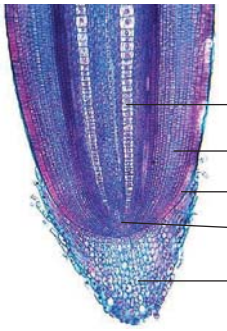
الف) مریستم نخستین

این مریستم در **نزدیکی نوک ریشه** و در **نوک ساقهٔ** گیاهان مختلف می‌باشد که سبب **رشد طولی** در آن‌ها و ایجاد شاخه و برگ می‌شود. در اثر فعالیت این مریستم در هر قسمت ایجاد شده، سه سامانهٔ روپوست، بافت زمینه‌ای و آوندی ایجاد می‌شود. البته دقت کنید که در ساختار برگ، بافت مریستمی وجود ندارد و برگ‌ها حاصل فعالیت مریستم‌های نخستین ساقه هستند.

نکته مهم خزه‌گیان، فاقد اندام‌هایی مثل ریشه، ساقه و برگ و فاقد بافت آوندی مشخص هستند ولی بافت مریستمی برای رشد طولی خود دارند.

مریستم نخستین ریشه

این مریستم **نزدیک به نوک ریشه** می‌باشد و وظیفهٔ **رشد طولی ریشه** و تا حدودی **رشد عرضی** آن را به عهده دارد. این بافت به سمت پایین با تقسیمات خود، ابتدا **کلاهک** محافظ مریستم را می‌سازد. **کلاهک**، بخش **انگشتانه‌ای مانندی** است که از مریستم بالای خود در مقابل عوامل **محیطی** محافظت می‌کند. در حقیقت کلاهک ریشه پایین‌ترین بخش ریشه بوده که چند لایه یاخته‌ای برای محافظت از منشأ خود یعنی مریستم نخستین می‌باشد. یاخته‌های کلاهک، ترکیب **پلی‌ساکاریدی** ترشح می‌کنند که باعث لزج شدن سطح **بیرونی** آن شده و نفوذ ریشه به درون خاک را آسان می‌کند. دقت کنید که یاخته‌های **سطح بیرونی** کلاهک ریشه، عمر کوتاهی دارند و مدام می‌ریزند و با یاخته‌های جدید جایگزین می‌شوند.



«مریستم نزدیک به نوک ریشه در مشاهده با میکروسکوپ نوری»

کار کلاهک ریشه ← کمک به نفوذ ریشه در خاک
کار کلاهک ریشه ← محافظت از مریستم نخستین ریشه

نکته مریستم نخستین ریشه به سمت بالا ابتدا یاخته‌های **تمایز نیافتهٔ در حال تشکیل** که منشأ سامانه‌های پوششی (*روپوستر*)، زمینه‌ای و آوندی هستند را می‌سازد و به تدریج که ریشه رشد می‌کند، این بافت‌ها نیز تمایز یافته و در مجاورت خاک به تارهای کشندهٔ روپوستی، پارانشیم و اسکلرانشیمی زمینه‌ای و بافت آوندی چوبی و آبکش نخستین تمایز می‌یابند (*این سامانه‌ها در کلاهک وجود ندارند*).

مریستم نخستین ریشه
- به سمت پایین ← **کلاهک** محافظ خود را می‌سازد.
- به سمت بالا
  - سامانهٔ پوششی می‌سازد ← (تمایز) **تار کشنده** می‌سازد.
  - سامانهٔ زمینه‌ای می‌سازد ← (تمایز) پارانشیم و اسکلرانشیم می‌سازد.
  - سامانهٔ آوندی می‌سازد ← (تمایز) بافت‌های چوبی و آبکش می‌سازد.

مریستم نخستین ساقه

در ساقه، این مریستم‌ها عمدتاً در **جوانه‌ها** قرار دارند. جوانه‌های ساقه مجموعه‌ای از **یاخته‌های مریستمی و برگ‌های بسیار جوان محافظ آن‌ها** می‌باشند. این مریستم در کل زندگی گیاه قسمت‌های مختلف ساقه و شاخه جوان و همواره در ساخت برگ فعالیت دارد. براساس محل جوانه، در ساقه یا شاخه دو نوع جوانه برای رشد **طولی** آن وجود دارد. یکی جوانهٔ انتهایی در رأس ساقه و دیگری جوانه‌های کناری برای ایجاد **انشعابات** وجود دارد. در ساقه همچنین مریستم‌های نخستین از نوع دیگری وجود دارند که در فاصلهٔ بین **دو گره** روی **ساقه یا شاخه** ایجاد شده‌اند. همان‌طور که قبلاً عنوان کردیم، هر گره محلی است که **برگ** به ساقه یا شاخه متصل است. (*دقت کنید که در محل گره، جوانهٔ کناری هم وجود دارد.*)



«ترسیمی از ساقه و محل مریستم‌ها در آن»

گره

محلی است که **برگ گیاه، به ساقه یا شاخه** متصل است.

انواع مریستم نخستین در ساقه گیاه (*برحسب محل آن‌ها*)
- جوانهٔ انتهایی
  - حاوی مریستم نخستین و برگ‌های بسیار جوان هستند.
  - سبب رشد طولی ساقه و تا حدی رشد عرضی می‌شود.
- جوانهٔ جانبی
  - حاوی مریستم نخستین و برگ‌های بسیار جوان هستند.
  - سبب رشد و ایجاد شاخه و برگ می‌شود.
- در فاصلهٔ بین دو گره هستند ← تولید شاخهٔ جدید و برگ می‌کند.

تست ۱۶ **مریستم‌های نخستین ممکن نیست** ..... (قلم‌چی)

۱) در رشد عرضی اندام‌های گیاهی نقش داشته باشند.
۲) در فاصلهٔ میان دو برگ متصل به ساقه قرار داشته باشند.
۳) در ریشه در ناحیهٔ بالاتر از تارهای کشنده وجود داشته باشند.
۴) هسته بیشترین حجم یاخته‌ای آن‌ها را تشکیل دهد.

پاسخ ۳ **A** با توجه به شکل‌های کتاب درسی ممکن نیست در ریشه در ناحیهٔ بالاتر از تار کشنده مریستم نخستین دیده شود. این مریستم‌ها در زیر تار کشنده و نزدیک کلاهک در نوک ریشه قرار گرفته‌اند (*گزینهٔ ۱) در مورد رشد عرضی، گزینهٔ ۲) در مورد مریستم بین گره‌ها و گزینهٔ ۴) در مورد هر یاختهٔ مریستمی صحیح می‌باشد*).

تست ۱۷ کدام عبارت صحیح است؟ (قلم‌چی)

۱) هر افزایش قطر در نهان‌دانگان، حاصل فعالیت کامبیوم‌ها می‌باشد.
۲) هر جوانه، مجموعه‌ای از یاخته‌های مریستمی و برگ بسیار جوان است.
۳) از فعالیت مریستم‌های پسین، برگ‌ها و انشعابات جدید ریشه شکل می‌گیرد.
۴) هر مریستمی که توسط کلاهک در برابر آسیب‌های محیطی حفاظت می‌شود، در بافت پوششی اطراف آن پوستک وجود دارد.

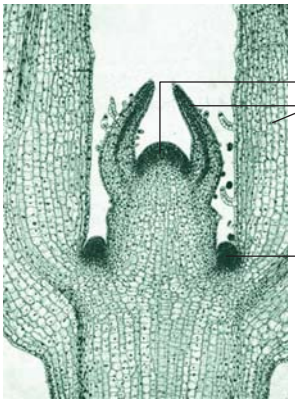
پاسخ ۲ B
جوانه‌ها مجموعه‌ای از یاخته‌های مریستمی و برگ‌های بسیار جوان‌اند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): فعالیت مریستم‌های نخستین نیز تا حدودی افزایش قطری را موجب می‌شود، در ضمن کامبیوم‌ها مختص دولپه‌ای‌ها هستند. / گزینهٔ (۳): برگ‌ها و انشعابات جدید ساقه و ریشه از فعالیت مریستم‌های نخستین تشکیل می‌شوند. / گزینهٔ (۴): مریستم نخستین ریشه توسط کلاهک حفاظت می‌شود که روپوست اطراف ریشه فاقد پوستک است.

نکته همهٔ انواع مریستم‌های نخستین در ساقه و ریشه، در افزایش طول و تا حدی عرض ساقه، شاخه و ریشه نقش دارند. همچنین برگ و انشعابات ریشه و ساقه نیز از این مریستم‌ها ایجاد می‌شوند.

● رشد نخستین گیاه

در گیاهان در اثر فعالیت مریستم‌های نخستین، ابتدا یاخته‌های تمایز نیافته‌ای به تعداد زیاد ایجاد می‌شوند. سپس این یاخته‌ها همراه با افزایش تعداد، رشد طولی نیز می‌کنند و باعث افزایش رشد طولی گیاه می‌شوند. به تدریج یاخته‌های سامانهٔ پوششی، زمینه‌ای و آوندی در ساقه، ریشه و برگ ایجاد می‌شود. در این حالت مقداری نیز حجم یاخته‌ها و قطر گیاه به صورت برگشت**ناپذیر** زیاد می‌شود. در نتیجه رشد نخستین، سبب افزایش طول ساقه و ریشه می‌شود ولی بر رشد عرضی گیاه اثر **کمی** دارد. در حقیقت برای رشد نخستین در نظر بگیرید که تعدادی بشقاب هم‌اندازه را روی هم قرار می‌دهید و به تدریج اندازهٔ این بشقاب‌ها از نظر طولی و قطری زیاد می‌شوند. پس روی هم قرار دادن بشقاب‌ها و افزایش رشد طولی آن‌ها سبب افزایش ارتفاع آن ستون می‌شود. در حقیقت در رشد نخستین تعداد ستون‌ها و بشقاب‌ها در اطراف هم زیاد نمی‌شود بلکه فقط طول همان ستون زیاد می‌شود.



«مریستم ساقه در مشاهده با میکروسکوپ نوری»

اعمال مریستم نخستین ساقه:
- رشد طولی ساقه‌ها در همهٔ گیاهان و تا حدی رشد عرضی در ساقه و شاخهٔ برخی گیاهان
- ایجاد شاخه و رشد طولی آن (*انشعابات جدید ساقه*)
- ایجاد برگ‌های جدید

نکته برگ‌های گیاه همواره از مریستم ساقه منشأ می‌گیرند که جزء مریستم‌های نخستین گیاهان می‌باشند.

نکته مریستم‌های نخستینی، می‌توانند سه سامانهٔ بافتی نخستین روپوستی، زمینه‌ای و آوندی را در محصولات خود ایجاد کنند و با افزایش تولید آن‌ها، طول گیاه را زیاد کنند.

انواع مریستم نخستین	محل		محصولات
ریشه‌ای	نزدیک انتهای ریشه		کلاهک - بافت پوششی ریشه (*تارکشنده*) - بافت زمینه‌ای (*پارانشیم و اسکلرانشیم*) - بافت آوندی چوبی و آبکش **متناوب** یک در میان و بافت‌های پارانشیمی و **فیبری** بین آوندها
ساقه‌ای	جوانهٔ انتهایی ←	رشد طولی ساقه	ساقه ← سامانهٔ پوششی روپوستی، زمینه‌ای و آوندی می‌سازد.
	جوانهٔ جانبی ←	رشد شاخه و ایجاد برگ	برگ ← کل قسمت‌های برگ را می‌سازد.
	بین دو گره ←	ایجاد شاخه و برگ جدید	

● نکات فعالیت کتاب در مورد مریستم‌های نخستین در گیاهان نهان‌دانه

حتماً می‌دانید که نهان‌دانگان یا گیاهان **گل‌دار** که تکامل یافته‌ترین گیاهان می‌باشند، به دو نوع تک‌لپه‌ای‌ها (*مثل غلات = گندم، جو، ذرت و...*) و دولپه‌ای‌ها (*حبوبات = لوبیا، نخود، عدس و...*) تقسیم می‌شوند که در اینجا می‌خواهیم به بررسی کلی ساختار **نخستین ساقه و ریشهٔ** آن‌ها بپردازیم.
وقتی در عبارتی بیان می‌شود که «ساختار نخستین گیاه!» یعنی بخش‌هایی که در اثر مریستم‌های نخستین ایجاد می‌شوند.

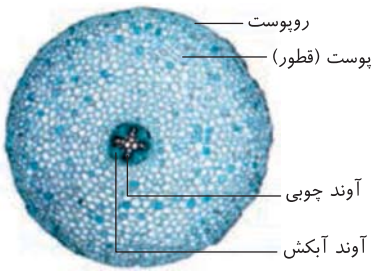
در برش عرضی **ریشه و ساقهٔ جوان** نهان‌دانگان سه بخش روپوست، پوست و بخش آونددار مشاهده می‌شود. روپوست در حقیقت همان سامانهٔ **پوششی** جوان با یاخته‌های مختلف از جمله یاخته‌های تمایز یافته در ساقه و برگ به صورت نگهبان، کرک، ترشحی در ریشه به نام تار کشنده است. **پوست** می‌تواند برحسب **ریشه یا ساقه** دارای بافت‌های پارانشیمی، کلانشیمی و اسکلرانشیمی باشد. **بخش آونددار**، شامل استوانه‌ای است که از زیر پوست واقع شده و بافت‌های **آوندی** را دربرگرفته است.


«برش عرضی ریشه»

- در برش عرضی ساقه و ریشهٔ نهان‌دانگان جوان
  - سه سامانهٔ بافتی وجود دارد
    - پوششی روپوستی ← یاخته‌های متنوع دارد.
    - زمینه‌ای ← بافت‌های پارانشیم، اسکلرانشیم و کلانشیم دارد.
    - آوندی ← بافت‌های آوندی، پارانشیم و فیبر اسکلرانشیمی دارد.
  - سه بخش وجود دارد
    - روپوستی (*پوشش*) ← یاخته‌های متنوع دارد.
    - پوست ← بافت‌های پارانشیم، اسکلرانشیم و کلانشیم دارد.
    - بخش آونددار ← بافت آوندهای چوبی و آبکش را شامل می‌شود.

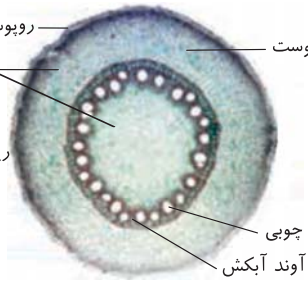
● بررسی ساختار نخستین ریشه در نهان‌دانگان

الف) ریشهٔ دولپه‌ای‌ها: در برش عرضی آن‌ها، به ترتیب از خارج به داخل روپوست (*با تارکشنده*)، پوست قطور و آوندهای متناوب چوبی و آبکش وجود دارد. در حقیقت در ریشهٔ گیاهان **دولپه‌ای** نهان‌دانگان، نسبت مساحت پوست به بخش آونددار آن‌ها از سایر ریشه‌ها و ساقه‌ها **بیشتر** می‌باشد. پس ریشهٔ دولپه‌ای‌ها به نسبت، از همه پوست کلفت‌تر می‌باشد. در این اندام دقت کنید که در بین آوندها بافتی زمینه‌ای قرار ندارد و آوندها کمترین حجم ریشه را تشکیل داده‌اند.



- ریشهٔ دولپه (حبوبات)
  - **کلفت‌ترین** پوست را دارد.
  - **کمترین** حجم آن، بخش دارای آوند در داخلی‌ترین قسمت می‌باشد.
  - تار کشنده دارد ولی پوستک و نگهبان روزنه ندارد.
  - آوندهای **یک در میان** یا متناوب قرار گرفته‌اند.

ب) ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها: در این گیاهان همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، آوندها درون خود مقداری از بافت زمینه‌ای که ظاهری مثل پوست دارد را احاطه کرده‌اند. در حقیقت نسبت پوست در این اندام از ریشهٔ دولپه‌ای کمتر است و قسمت‌های مختلف سامانهٔ زمینه‌ای در دو طرف آوندها قرار گرفته‌اند.

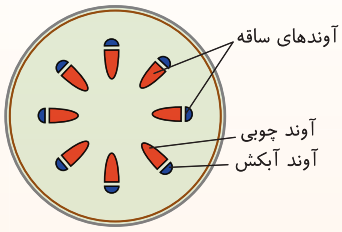


- ریشهٔ تک‌لپه (غلات)
  - پوست **نازک‌تر** از ریشهٔ دولپه‌ای‌ها دارد.
  - بخش آونددار **حجیم‌تری** از ریشهٔ دولپه‌ای‌ها دارد.
  - مجموع این دو قسمت: سامانهٔ زمینه‌ای است.

- سه سامانهٔ اصلی ریشه و ساقه جوان
  - روپوستی ← فقط یاخته‌های روپوستی دارد.
  - زمینه‌ای
    - ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها = پوست نسبتاً قطور + لایهٔ ریشه‌زا در اطراف آوندها + بافت محصور در آوندها
    - ریشهٔ دولپه‌ای‌ها = پوست قطور + لایهٔ ریشه‌زا
  - آوندی ← آوندهای چوبی و آبکش و بافت‌های پارانشیم و فیبری اطراف آن‌ها را شامل می‌شود.

نکته

در برش عرضی ریشه، دستجات آوندی چوبی و آبکش نخستین به صورت **متناوب** یا یک در میان قرار گرفته‌اند ولی در برش عرضی ساقه، دستجات آوندی در **امتداد** همدیگر می‌باشند که آبکش‌ها به سمت **خارج** و آوندهای چوبی به سمت **داخل** می‌باشند.

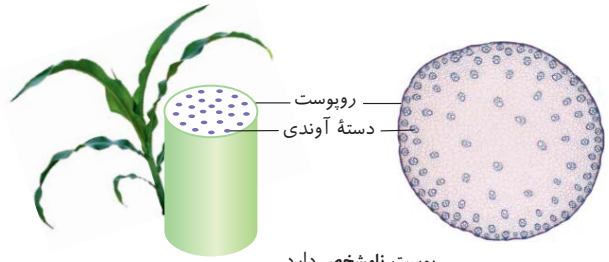


● بررسی ساختار نخستین ساقه

الف) ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها: در این گروه دستجات آوندی و **تعدادی** دایره آوندی به صورت چوب و آبکش روی هم قرار گرفته‌اند.

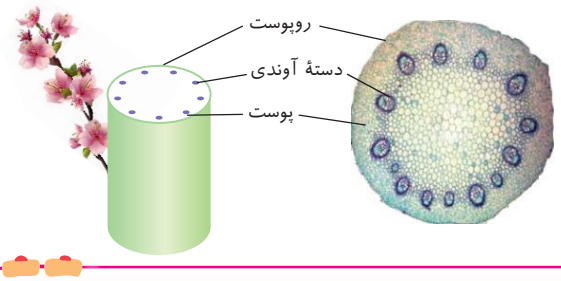
در آن‌ها پوست بسیار نازک می‌باشد و حد فاصل آن با آوندها قابل مشاهده نیست. در حقیقت می‌توان گفت که پوست در ساقهٔ این گروه در حد بین روپوست و دستجات آوندی نامشخص است و به نسبت سایر ساقه‌ها و ریشه‌ها، قسمت پوست، **سطحی بسیار نازک** را دربر گرفته است.

در ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها با دقت در برش عرضی آن‌ها در شکل متوجه می‌شوید که دستجات آوندی روی دوایر متحدالمرکزی قرار گرفته‌اند که دوایر سطحی‌تر (نزدیک‌تر به روپوست) تعداد دسته‌های آوندی بیشتر با اندازه‌های کوچک‌تر دارند ولی در دوایر مرکزی‌تر، تعداد دستجات آوندی کمتر بوده ولی اندازهٔ آن‌ها بزرگ‌تر است. در حقیقت ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها بیشترین تراکم بافت آوندی و کمترین ضخامت پوست را در بین ساقه و ریشه‌های نخستین در گیاهان جوان دارد (در این گروه فاصلهٔ روپوست تا آوندهای مختلف با هم متفاوت است).



ساقهٔ تک‌لپه
- پوست **نامشخص** دارد.
- بخش آونددار، تقریباً کل حجم را فراگرفته است.

ب) ساقهٔ دولپه‌ای‌ها: در این اندام در برش عرضی می‌توان مثل ریشهٔ نهان‌دانگان سه بخش روپوست، پوست و آوندی را به تفکیک مشاهده و بررسی کرد. ضخامت پوست آن‌ها از ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها بیشتر بوده ولی نسبت به ریشه ضخامت کمتری دارد. در این گروه، آوندهای چوب آبکش که متصل به هم هستند، در محیط یک دایره و هم‌اندازه قرار گرفته‌اند ولی با هم اتصال ندارند.

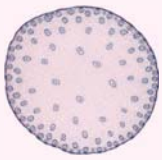


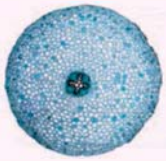
نکته

با توجه به شکل‌های مشاهده شده در برش عرضی گیاه پراکندگی دستجات آوندی نخستین در **ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها** بیشتر از ریشه و ساقهٔ سایر گیاهان می‌باشد به‌طوری که آوندهای ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها را تقریباً در تمام برش عرضی ساقهٔ آن‌ها می‌توان مشاهده کرد.

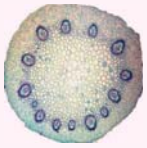
- سامانهٔ زمینه‌ای نهان‌دانگان
  - در برگ هر نهان‌دانه‌ای ← مجموعه پارانشیم، کلانشیم و اسکلرانشیم
  - در ریشه
    - تک‌لپه‌ای‌ها
      - پوست (پارانشیم + اسکلرانشیم)
      - لایه ریشه‌زای استوانهٔ دربرگیرندهٔ آوندها
    - دولپه‌ای‌ها
      - پوست بسیار ضخیم (پارانشیم و اسکلرانشیم)
      - لایه ریشه‌زا
  - در ساقه
    - تک‌لپه‌ای‌ها ← پوست (پارانشیم + کلرنشیم + اسکلرانشیم)
    - دولپه‌ای‌ها ← پوست (پارانشیم + کلرنشیم + اسکلرانشیم)

تست ۱۸ **اگر تعداد لپه‌های رویان گیاه عدس دو برابر لپه‌های رویان گیاه جو باشد، می‌توان گفت شکل ..... برش عرضی ریشهٔ عدس و شکل ..... برش عرضی ساقهٔ گیاه جو است.** (قلم‌چی)


الف


ب


ج


د

۱) الف - ب ۲) د - ج ۳) ج - د ۴) ب - الف

پاسخ ۴ B

نکته: بیشترین نسبت مساحت پوست به سایر قسمت‌ها در ریشهٔ دولپه‌ای‌ها (مثلاً عدس) همانند شکل (ب) دیده می‌شود ولی کمترین نسبت پوست به سایر بخش‌ها در ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها (شکل (الف) در ساقهٔ جو) دیده می‌شود. پس (الف) ساقهٔ جو و (ج) ریشهٔ آن می‌تواند باشد ولی (ب) ریشهٔ عدس و (د) ساقهٔ آن می‌توان در نظر گرفت.

تست ۱۹ **مریستم‌های .....** (قلم‌چی)

۱) نخستین همگی درث جوانه‌ها قرار دارند. ۲) پسین می‌توانند در گیاهان دارای ساقه با پوست مشخص دیده شوند.

۳) نخستین ممکن نیست دیوارهٔ لیگنینی در محصولات آن‌ها به وجود آید. ۴) پسین ممکن نیست یاخته‌هایی با دیوارهٔ لیگنینی ایجاد کنند.

پاسخ ۲ A

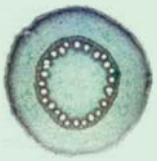
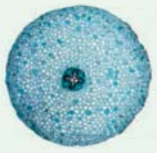
ساقه با پوست مشخص در گیاهان دولپه دیده می‌شود که دو نوع مریستم پسین یا کامبیوم در این نهان‌دانهٔ دولپه‌ای وجود دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): مریستم نزدیک نوک ریشه و بین گره‌های ساقه در جوانه‌ها نیستند. / گزینهٔ (۳): در مورد اسکلرانشیم و آوند چوبی نادرست است. / گزینهٔ (۴): در مورد آوندهای چوبی رد می‌شود.

دو نکتهٔ ترکیبی با زیست دوازدهم

۱ در کتاب زیست دوازدهم می‌خوانیم که پهنک و دمبرگ مخصوص برگ **دولپه‌ای‌ها** می‌باشد (*گرچه لفظ پهنک در آن‌ها علمی‌تر است*).

۲ در شکل کتاب زیست دوازدهم می‌بینیم که در برگ تک‌لپه‌ای‌ها نشان داده شده، بین دو روپوست فوقانی و تحتانی فقط پارانشیم فتوسنتزکننده از نوع **حفره‌ای** یا **اسفنجی** وجود دارد ولی در دولپه‌ای معرفی شده، پارانشیم نرده‌ای در مجاورت روپوست **زبرین** و پارانشیم حفره‌ای (*اسفنجی*) در مجاورت روپوست **زیرین** وجود دارد (*البته تک‌لپه‌ای‌ها یک لایه غلاف آوندی کلروپلاست‌دار نیز در اطراف آوندهای برگ خود دارند*).

انواع قسمت‌ها	رشد نخستین	رشد پسین	یاخته‌های تمایز یافته روپوستی	پوست	بخش آوندها	وضعیت آوندهای نخستین	شکل
ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها	دارند	ندارند	نگهبان، کرک، پوستک دارند (*روزنهٔ هوایی دارند*).	بسیار نازک و نامشخص (*تقریباً پوست ندارند*).	حجیم‌ترین قسمت و همراه آوند می‌باشد.	در هر دستهٔ آوندی، آوند آبکش خارجی و چوبی داخلی پراکنده در کل ساقه روی دوایر متعدد با اندازهٔ متفاوت	
ساقهٔ دولپه‌ای‌ها	دارند	انواع چوبی دارند	نگهبان، کرک، پوستک دارند (*روزنهٔ هوایی دارند*).	مقدار کمی دارند (*پارانشیم - کلرنشیم - اسکلرانشیم*)	حجم زیادی به همراه آوند دارند.	آوند آبکش خارجی و چوبی داخلی در یک دایره با دسته‌های هم‌اندازه قرار دارد.	
ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها	دارند	ندارند	تار کشنده دارند (*روزنه و پوستک ندارند*).	پوست به نسبت ضخیم دارند. نوار کاسپاری دارند (*فصل ۷*).	در وسط ریشه وجود دارند - آوند دارند - لایه ریشه‌زا دارند (*فصل ۷*).	متناوب و یک در میان چوبی و آبکشی دارند.	
ریشهٔ دولپه‌ای‌ها	دارند	چوبی‌ها دارند	تار کشنده دارند (*روزنه و پوستک ندارند*).	بیشترین ضخامت را دارند. نوار کاسپاری دارند (*فصل ۷*).	کمترین حجم را دارند. لایه ریشه‌زا و آوند دارند.	متناوب و یک در میان چوبی و آبکشی دارند.	

تست ۲۰ چند مورد جملهٔ مقابل را به‌طور صحیحی تکمیل می‌کند؟ «در برش عرضی .....» (قلم‌چی)

الف) ساقهٔ گیاه تک‌لپهٔ علفی، دستجات آوندی روی یک حلقه قرار دارند.

ب) ریشهٔ گیاه تک‌لپهٔ علفی، مرکز اندام توسط دستجات آوندی احاطه شده است.

ج) ساقهٔ گیاه دولپهٔ علفی، دستجات آوندی روی یک حلقه قرار دارند.

د) ریشهٔ گیاه دولپهٔ علفی، آوندهای چوبی همانند آوندهای آبکشی توسط پوست احاطه شده‌اند.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (ب)، (ج) و (د) صحیح می‌باشند.

تله‌های تستی الف) نادرست است. در ساقهٔ گیاهان تک‌لپهٔ علفی، دسته‌های آوندی بر روی چندین حلقه قرار دارند. / ب) درست است. در ریشهٔ گیاهان تک‌لپهٔ علفی، وسط اندام توسط آوندها محصور شده‌اند. / ج) درست است. در ساقهٔ گیاهان دولپه دسته‌های آوندی بر روی یک حلقه قرار دارند. / د) درست است. در ریشهٔ گیاهان دولپه دسته‌های آوند چوب و آبکش توسط پوست احاطه شده‌اند.

ب) کامبیوم یا مریستم پسین

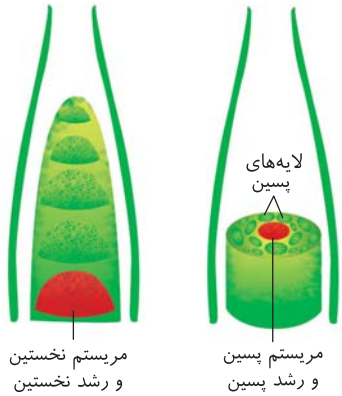
گیاهانی مثل **برخی** نهان‌دانگان **دولپه‌ای** علاوه بر رشد طولی دارای رشد قطری بسیار زیادی نیز می‌باشند. در این گیاهان که اغلب درختی هستند، مریستم‌های پسینی در ساقه و ریشه‌ها (*یادت باشه برگ مریستم نداره چه نخستین، چه پسین*) وجود دارد که **پس از عمل** مریستم‌های نخستین ایجاد می‌شوند. این مریستم‌ها سبب **ایجاد قطر و ضخامت بسیار** در ریشه و ساقهٔ نهان‌دانگان **دولپه‌ای** با افزایش تعداد یاخته‌ها در جهت عرض می‌شوند. در این نوع رشد، تعداد **لایه‌های** یاخته‌ای زیادی در اثر فعالیت مریستم در عرض ریشه و ساقه به وجود می‌آید.

نکته دقت کنید که **برگ** گیاهان، رشد نخستین دارد ولی مریستم نخستین، رشد پسین (*قطری*) و مریستم پسین ندارد!! (*چون از مریستم نخستین ساخته ایجاد می‌شود*).

به **مریستم‌هایی** که **به‌طور مداوم**، یاخته‌ها و بافت‌های لازم برای افزایش **قطر و ضخامت** ساقه و ریشهٔ گیاهان **دولپه‌ای** به صورت لایه‌های یاخته‌ای ایجاد می‌کنند، مریستم‌های پسین یا کامبیوم می‌گویند که به دو نوع کامبیوم آوندساز و کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز تقسیم می‌شوند. کامبیوم آوندساز، **تنهٔ** درخت را حجیم می‌کند ولی کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز، سامانهٔ **پوششی** روپوستی را به پیراپوست تبدیل می‌کند.

تفاوت رشد نخستین با رشد پسین

کامبیوم‌ها در حقیقت همان بافت مریستمی هستند که به جای رشد طولی یاخته‌های گیاهان دولپه‌ای، سبب **تولید یاخته** و بافت در جهت **عرض** و **رشد قطری** این گیاهان می‌شوند. یاخته‌های هر کامبیوم همان ویژگی یاخته‌های مریستمی، یعنی **هستهٔ** درشت، یاخته‌های **به هم فشرده** و سیتوپلاسم کم‌حجم با هستهٔ مرکزی **و قدرت تقسیم زیاد** را دارند. برای فهم تفاوت نوع محصولات و عمل مریستم نخستین با مریستم پسین می‌توانید تصور کنید که محصولات مریستم نخستین، مانند این هستند که بشقاب‌هایی را هم‌اندازه که ممکن است به تدریج کمی اندازهٔ آن‌ها بزرگ‌تر شود را در جهت طول روی هم قرار دهیم. در حقیقت **تعداد** بشقاب‌ها را در جهت طولی روی هم اضافه کرده‌ایم، ولی محصولات مریستم پسین در حال ساخت و قراردهی بشقاب‌هایی در جهت عرض و **لایه‌های** عرضی (*درخت‌ها به کلمهٔ لایه‌ها دقت کنید*) می‌باشند. یعنی مریستم پسین، بشقاب‌ها را در لایه‌های متعدد دور خود می‌چیند و به تدریج بر قطر مناطق بشقاب‌دار می‌افزاید.



نکته

شما برحسب کتاب درسی خود باید در آزمون‌ها دقت کنید و رشد پسین همراه کامبیوم را فقط برای برخی نهان‌دانگان دولپه‌ای در نظر بگیرید. حال ممکن است سؤال کنید که درخت نخل و نارگیل که این‌قدر قطر دارند آیا کامبیوم ندارند؟ جواب ساده است. نه کامبیوم و نه رشد پسین دارند ولی رشد قطری دارند که آن را مدیون افزایش حجم یاخته‌های حاصل از مریستم نخستین خود هستند.

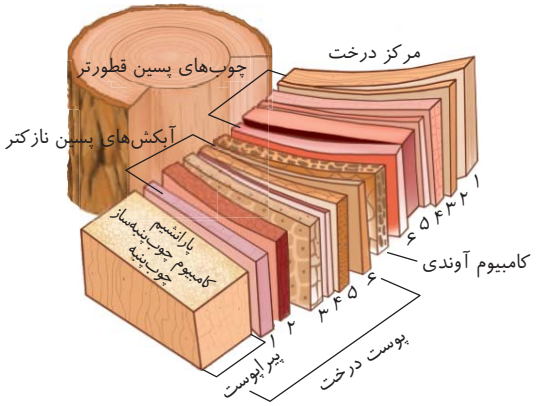
انواع کامبیوم‌ها:
- ۱) کامبیوم چوب آبکش ← بافت آوندهای چوبی ضخیم‌تر را به سمت داخل و بافت آبکشی پسین نازک‌تر را به سمت خارج می‌سازد.
- ۲) کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز:
  - یاخته‌های پارانشیمی و **چوب‌پنبه‌ای** شونده پسین را می‌سازد.
  - سبب تبدیل روپوست به پیراپوست در سامانهٔ پوششی گیاه مسن می‌شود.
  - سامانهٔ پوششی را از روپوست معمولاً یک لایه‌ای کوتین‌دار به پیراپوست چندلایه‌ای چوب‌پنبه‌دار تبدیل می‌کند.

رشد قطری نهان‌دانگان:
- در تک‌لپه‌ای‌ها:
  - کامبیوم ندارند و فقط با مریستم نخستین رشد می‌کنند.
  - به دلیل بزرگ شدن و تکثیر یاخته‌های حاصل از مریستم **نخستین** می‌باشد.
- در برخی دولپه‌ای‌ها: در اثر عمل کامبیوم‌ها یا مریستم‌های پسین می‌باشد که **تعداد و قطر** محصولات در جهت عرض زیاد می‌شود.

تشکیل و فعالیت کامبیوم چوب آبکش (آوندساز)

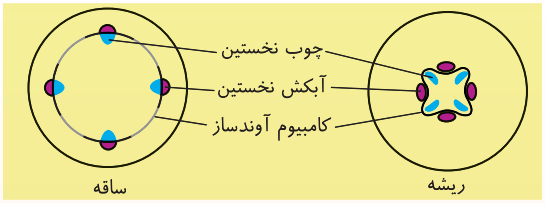
این کامبیوم همان‌طور که گفتیم از بافت **مریستم** می‌باشد که ابتدا بین آوندهای چوبی و آبکش **نخستین** ساقه و ریشهٔ برخی گیاه **نهان‌دانهٔ دولپه‌ای** ایجاد می‌شود و سپس به سمت **داخل** با تقسیمات و تمایز خود **بافت آوندی چوبی پسین** با ضخامت **زیاد** و به سمت **خارج** بافت آوندی **آبکش پسین** را با ضخامت **کمتر** به همراه **یاخته‌های همراه** می‌سازد. دقت کنید که تولید این کامبیوم پس از ایجاد هر سه سامانهٔ بافتی نخستین، از نوع روپوستی، زمینه‌ای و آوندی صورت می‌گیرد یعنی به نسبت آوند چوبی و آبکش نخستین، این کامبیوم‌ها جوان‌تر هستند و دیرتر تولید می‌شوند.

خب تا حالا فهمیدیم که کامبیوم‌ها شروع فعالیت خود را **پس از مریستم‌های نخستین** انجام می‌دهند. در حقیقت این کامبیوم، **هر سال** یک لایه بافت آوند چوبی پسین **قطور** به سمت **داخل** و یک لایه بافت آوند آبکش **نازک‌تر** به سمت **خارج** می‌سازد و همواره پس از n سال رشد پسین (*قطری*)، هر لایه‌ای که به کامبیوم **نزدیک‌تر است**، لایهٔ تازه‌تر و جوان‌تری می‌باشد. مثلاً در گیاهی دولپه‌ای مثل شکل روبه‌رو که ۶ سال است رشد پسین دارد، نزدیک‌ترین لایه به کامبیوم‌های آوندساز آن، آوندهای چوبی و آبکش سال **ششم** رشد پسین می‌باشد. دقت کنید که در این ۶ سال، قطر محصولات آوندی چوبی پسین (*اعم از تراکئید یا عناصر آوندی*) از قطر محصولات آوندی آبکش پسین بسیار بیشتر است. یعنی آوندهای چوبی پسین این گیاه، **قطر اصلی تنهٔ درخت را تشکیل داده‌اند.**



نکته

با توجه به شکل مقابل مشاهده می‌کنید که وضعیت قرارگیری آوندهای چوبی و آبکش **نخستین** در ریشه به صورت **متناوب** (*یک در میان*) و در ساقه به صورت **در امتداد هم** می‌باشند، به همین دلیل **کامبیوم اولیه آوندساز**، در **ریشه ابتدا** به صورت **ستاره‌ای** تشکیل می‌شود که از **زیر** آوند آبکش و **روی** آوند چوبی می‌گذرد ولی کامبیوم آوندساز در ساقه **همواره** از ابتدا تا انتها به صورت **دایرهٔ کامل** می‌باشد. پس همواره در ریشه و ساقهٔ گیاهان کامبیوم‌دار، کامبیوم به سمت داخل آوندهای آبکش و خارج آوندهای چوبی ایجاد می‌شود.



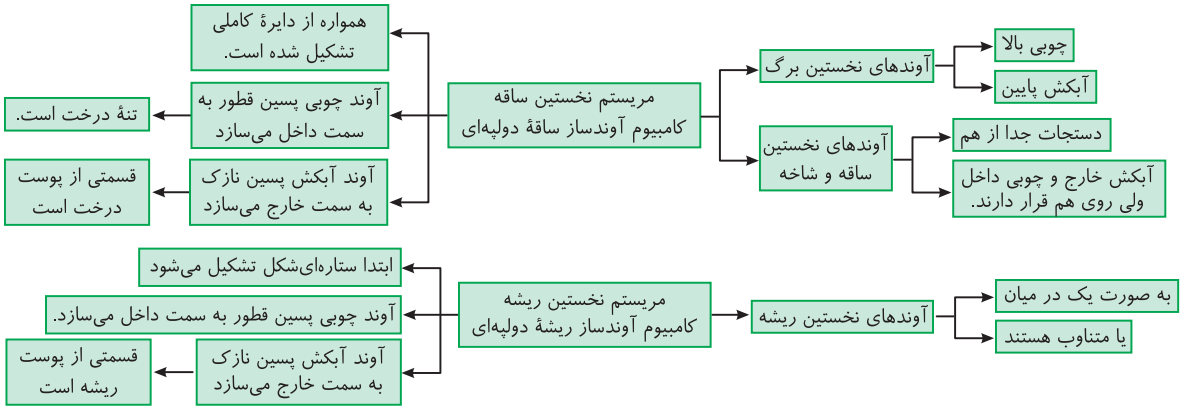
نکته

آوند چوبی و آبکش نخستین حاصل مریستم **نخستین** نوک ساقه و ریشه می‌باشند که در ریشه به صورت یک در میان (*متناوب*) ولی در ساقه به صورت دو آوند در امتداد هم می‌باشند که آوند چوبی به سمت درون و آوند آبکش به سمت بیرون می‌باشد (*رحت داشته باشید که رشد پیش گیاه، سبب متوقف شدن رشد نخستین آن نمی‌شود. پس فعالیت رشد طولی گیاه و ساخت بافت‌های نخستین همواره ادامه دارد ولی آن‌قدر کم حجم هستند که دیده نمی‌شوند*).

نکته

در برگ‌ها فقط آوندهایی با رشد **نخستین** وجود دارند که آوند چوبی در سطح **بالاتر** و به سمت روپوست **زبرین** ولی آوند آبکش به سمت روپوست **زیرین** می‌باشد. البته لایه‌ای به نام **غلاف** آوندی نیز در اطراف آوندهای برگ دیده می‌شود که مجموعاً به همراه آوندها بخشی به نام **رگبرگ** را ایجاد می‌کنند (*دوازدهم*).

خلاصه منشأ آوندهای ساقه، ریشه و برگ



نکته

دقت کنید که کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز فقط یاخته‌های اصلی چوبی و آبکش را نمی‌سازد بلکه بافت چوبی یا بافت آبکش با یاخته‌های غیراصلی پارانشیمی و فیبر و همراه را نیز تشکیل می‌دهد.

تشکیل و فعالیت کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز

این کامبیوم که باز هم نوعی بافت مریستمی می‌باشد، در سامانهٔ **بافت زمینه‌ای** ساقه و ریشهٔ بعضی گیاهان **نهان‌دانه دولپه‌ای** ایجاد می‌شود (*این لایه در درون پوست ریشه و ساقه ایجاد می‌شود*). این کامبیوم، یاخته‌های پارانشیمی زنده با دیوارهٔ **نازک** را به سمت **درون** تشکیل می‌دهد و به سمت **بیرون** خود در زیر روپوست، یاخته‌هایی را می‌سازد که **ابتدا زنده هستند** ولی **به تدریج دیوارهٔ** آن‌ها حاوی مواد **لیپیدی** چوب‌پنبه‌ای شده و بافتی مرده به نام بافت چوب‌پنبه را تشکیل می‌دهند. این لایه چوب‌پنبه‌ای شده به گازها و آب **نفوذناپذیر** می‌باشد و امکان انتقال گاز تنفسی به لایه‌های داخلی‌تر را متوقف می‌کند. به همین دلیل برای تنفس یاخته‌های مناطق زنده زیر چوب‌پنبه، در لابه‌لای آن مناطقی به نام **عدسک‌ها** ایجاد می‌شوند. عدسک‌ها مناطقی هستند که معمولاً به صورت برآمدگی در سطح اندام وجود دارند و بین یاخته‌های چوب‌پنبه‌ای فاصله می‌اندازند تا O_2 لازم وارد گیاه شده و ادامه حیات مقدور شود (*عدسک‌ها با میکروسکوپ نوری دیده می‌شوند*).

یادآوری: اگر یادتان باشد، در درسنامهٔ قبل گفتیم که هر اندام رویشی گیاهان نهان‌دانه شامل سه سامانهٔ بافتی پوششی، زمینه‌ای و آوندی می‌باشد که بخش **پوششی** در اندام‌های **جوان** معمولاً به صورت **یک لایهٔ روپوستی** می‌باشد. در گیاهانی که کامبیوم و **رشد پسین** دارند، با فعالیت کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز، یاخته‌هایی به صورت چندلایه‌ای که محصولات کامبیوم به سمت خارج آن می‌باشند **به تدریج** در زیر روپوست قرار می‌گیرند و چوب‌پنبه‌ای مرده می‌شوند یعنی نسبت به آب و گازها نفوذناپذیر می‌شوند. در حقیقت بافت چوب‌پنبه‌ای عایق ابتدا **زیر روپوست** تشکیل می‌شود و چون سبب عدم رسیدن مواد غذایی از **آوندها** به روپوست می‌شود، روپوست آن‌ها از بین می‌رود (*و می‌میرند و کنده می‌شوند*). در این حالت چوب‌پنبه‌ها **خارجی‌ترین** بخش این گیاهان **مسن** می‌شوند. **در این گیاهان به مجموعهٔ کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و یاخته‌های حاصل از آن یعنی پارانشیم‌های پسین در سطح داخل کامبیوم و چوب‌پنبه‌های بیرونی آن، پیراپوست (پریدرم) می‌گویند که به عنوان سامانهٔ بافت پوششی و چند لایه‌ای گیاهان مسن نهان‌دانه می‌باشند.**

سامانهٔ پوششی روپوستی	سامانهٔ پوششی پیراپوستی
در هر گیاه آوندی وجود دارد.	ویژهٔ برخی دولپه‌ای‌های مسن است.
معمولاً یک لایهٔ روپوستی است.	همواره چند لایه یاخته دارد.
فقط یاختهٔ زنده دارد.	لایه‌های مرده چوب‌پنبه‌ای و زنده مریستمی و پارانشیمی دارد.
پوستک لیپیدی محافظ دارد.	چوب‌پنبهٔ لیپیدی محافظ دارد.
روپوست، کرک، نگهبان یا تار کشنده دارد.	عدسک، یاختهٔ چوب‌پنبه‌ای، مریستمی و پارانشیمی دارد.

تست ۲۱ **کدام گزینه عبارت مقابل را به نادرستی کامل می‌کند؟ «بخشی از یاخته که اولین‌بار توسط رابرت هوک مشاهده شد، قطعاً .....»** (قلم‌چی)

۱) توسط پروتوپلاست ایجاد شده بود.
۲) حاوی ترکیبات لیپیدی بود.
۳) حاوی پروتوپلاست بود.
۴) در طول حیات بافت از ورود عوامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کرد.

پاسخ ۳ A

نخستین‌بار، **دیوارهٔ یاختهٔ گیاهی مرده** در بافت **چوب‌پنبه‌ای** توسط رابرت هوک مشاهده شد. می‌دانید که یاخته‌های مرده پروتوپلاست ندارند اما هر دیواره‌ای توسط پروتوپلاست ساخته شده است چون خود دیواره فعالیت زیستی ندارد و خودبه‌خود ساخته نمی‌شود. همچنین مانع ورود عوامل بیماری‌زا به گیاه (*حداقل در زمان حیات*) می‌شود (نادرستی گزینهٔ (۳) و درستی گزینه‌های (۱) و (۴)). چوب‌پنبه از ترکیبات لیپیدی است (درستی گزینهٔ (۲)).

تست ۲۲ **هر یاخته ..... همانند هر یاخته ..... قطعاً جزء سامانهٔ بافت پوششی نیست.** (قلم‌چی)

۱) با دیوارهٔ پکتینی - دارای دیوارهٔ نخستین ضخیم و فاقد دیوارهٔ پسین
۲) دارای سبزدیسه - حاصل از تقسیم مریستم نخستین
۳) حاصل از تقسیم کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز - حاصل از تقسیم کامبیوم آوندساز
۴) دارای دیوارهٔ پسین ضخیم و چوبی شده در ذرات موجود در بخش گوشتی گلابی - پارانشیم هوادار در برگ گیاه آبزی

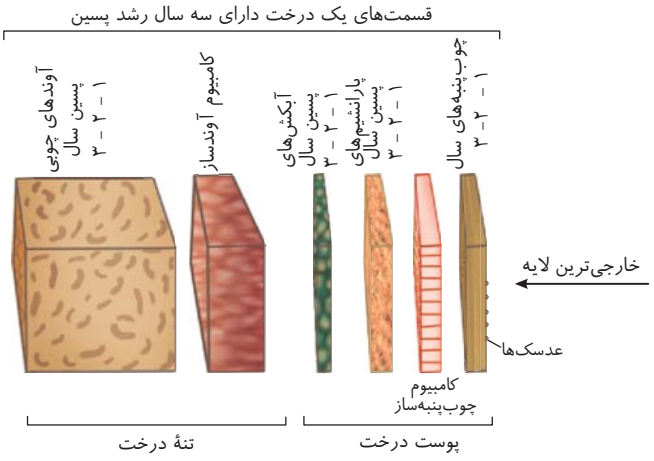
پاسخ ۴ B

یاخته‌های اسکلرئیدی در بخش گوشتی گلابی دارای دیواره‌های پسین ضخیم و چوبی شده‌اند که به سامانهٔ بافت زمینه‌ای تعلق دارند. یاخته‌های پارانشیم هوادار نیز به سامانهٔ بافت زمینه‌ای تعلق دارند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): یاخته‌های روپوستی قطعاً تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین با ساختار پکتینی را دارا هستند. / گزینهٔ (۲): یاختهٔ نگهبان سبزدیسه‌دار در سامانهٔ زمینه‌ای وجود دارد. / گزینهٔ (۳): محصولات کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز همگی در سامانهٔ پوششی قرار دارند.

پوست و تنهٔ درخت چندساله

در گیاهانی که رشد پسین دارند، با شروع رشد پسین، هر سال هر دو نوع کامبیوم شروع به ساخت محصولات لایه‌ای خود در جهت عرض ریشه و ساقه می‌کنند و به تدریج بر قطر یا ضخامت درخت می‌افزایند. به‌طور مثال اگر درختی سه سال فعالیت رشد پسین داشته باشد، کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز آن به سمت خارج سه لایه **چوب‌پنبه‌های** مرده حاوی عدسک و به سمت داخل نیز لایه‌های **پارانشیمی** می‌سازد. از طرفی کامبیوم آوندساز نیز سه لایه آبکش پسین نازک به سمت **خارج** و سه لایه آوندهای چوبی پسین قطورتر به سمت **داخل** می‌سازد. به تدریج و با شروع فعالیت کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز، تولید چوب‌پنبه‌ها مانع رسیدن آب و مواد غذایی به **روپوست** جوان شده و روپوست آن‌ها از بین می‌رود و از طرفی اگر عدسک‌ها در آن ایجاد نشوند، O_2 نیز برای تنفس به بخش‌های درونی نمی‌رسد. به مجموعه چوب‌پنبه‌ها، کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و بافت پارانشیم زیر آن، پیراپوست (*پریدرم*) گفته می‌شود. محققین علم زیست‌شناسی گیاهی، برای درخت دو قسمت به نام پوست و تنه را تقسیم‌بندی کرده‌اند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.



● پوست درخت

از داخل به خارج به مجموعهٔ آوندهای **آبکش پسین** و بخش‌های پیراپوست یا پریدرم، شامل پارانشیم‌های پوستی، کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و چوب‌پنبه سطح درخت، اصطلاحاً واژهٔ پوست درخت می‌گویند که **چوب‌پنبه سال اول** قدیمی‌ترین و خارجی‌ترین لایهٔ درخت دارای رشد پسین می‌باشد.

نکته

باز هم تکرار می‌کنیم که لطفاً در تست‌ها دقت کنید که پیراپوست را با پوست درخت اشتباه نگیرید. در حقیقت پیراپوست قسمت خارجی **پوست** درخت است که حاوی بافت‌های چوب‌پنبه، کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و پارانشیم‌ها می‌باشد. **پیراپوست به همراه آبکش‌های گیاه، تشکیل پوست درخت را می‌دهند.**

پوست درخت = **پیراپوست** (*محصول کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز*) + **آوندهای آبکش** (*محصول کامبیوم آوندساز*)

تنهٔ درخت

از خارج به داخل به مجموع **کامبیوم آوندساز** و آوندهای **چوبی** پسین ضخیم، تنهٔ درخت می‌گویند که قسمت اعظم درخت را تشکیل می‌دهند.

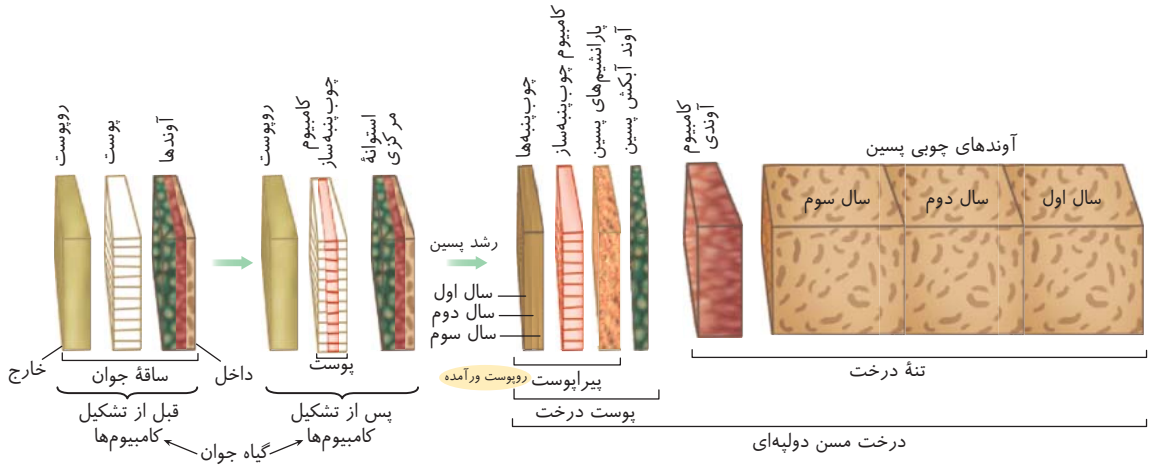
تست ۲۳ **در گیاهان، یاخته‌های ..... همانند یاخته‌های .....** (قلم‌چی)

۱) بافتی با هستهٔ درشت مرکزی - پارانشیمی توانایی تقسیم دارند.
۲) بخش داخلی کلاهک - اسکلرئید با دیواره‌های چوبی ضخیم توانایی ترشح دارند.
۳) پیراپوست - روپوست، پوستک ترشح می‌کنند.
۴) لایهٔ پوستک - کامبیومی در ساقه دیده می‌شوند.

پاسخ B ۱ یاخته‌های مریستمی، هستهٔ درشت مرکزی دارند و دائماً تقسیم می‌شوند و سایر یاخته‌ها را تولید می‌کنند ولی یاخته‌های پارانشیمی در هنگام آسیب و به منظور ترمیم تقسیم می‌شوند.

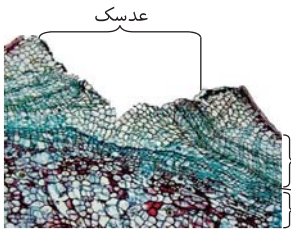
تله‌های تستی گزینهٔ (۲): یاخته‌های اسکلرئید با دیواره‌های چوبی ضخیم فاقد پروتوپلاست و قدرت ترشح‌اند. / گزینهٔ (۳): یاخته‌های پیراپوست ترشح پوستک ندارند. / گزینهٔ (۴): پوستک فاقد لایهٔ یاخته‌ای می‌باشد.

بررسی شکل یک گیاه دارای سه سال رشد پسین



۱) در شکل مشاهده می‌کنید که چگونه یک نهان‌دانهٔ جوان به گیاه مسن با رشد پسین تبدیل شده است.
۲) مشاهده می‌کنید که کامبیوم‌ها پس از رشد نخستین در سامانهٔ زمینه‌ای (*نوع چوب‌پنبه‌ساز*) و در سامانهٔ آوندی (*نوع آوندساز*) ایجاد شده‌اند.
۳) به مجموعهٔ پیراپوست و آبکش‌های پسین، پوست درخت گفته می‌شود، پس برای تشکیل پوست درخت دولپه‌ای، هر دو نوع کامبیوم دخالت دارند.
۴) در پیراپوست یا پریدرم از داخل به خارج، بافت‌های پارانشیمی، **مریستمی** (*کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز*) و **چوب‌پنبه‌ای** به همراه عدسک‌ها وجود دارند که همگی محصولات رشد پسین و مخصوص برخی گیاهان مسن دولپه‌ای می‌باشند. پس در پیراپوست هم بافت زنده و هم بافت مرده چوب‌پنبه‌ای وجود دارد.
۵) پیراپوست فقط محصول کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و خود آن کامبیوم است که سامانهٔ پوششی گیاه را تشکیل می‌دهد ولی پوست درخت علاوه بر سامانهٔ پوششی، دارای آوند آبکش از سامانهٔ آوندی نیز می‌باشد که البته قطعاً یاختهٔ همراه، فیبر و پارانشیم نیز دارد.
۶) به دلیل اینکه یاخته‌های چوب‌پنبه‌ای پیراپوست، نسبت به گازهای تنفسی نیز (*علاوه بر آب*) **نفوذناپذیر** می‌باشند، برای زنده ماندن و گرفتن اکسیژن در **یاخته‌ها و بافت‌های زیر آن**، **در پریدرم** مناطقی به نام **عدسک‌ها** ایجاد می‌شود که به صورت **برآمدگی‌های فضادار** در **سطح اندام** می‌باشد. **عدسک‌ها با ایجاد فاصله بین یاخته‌های چوب پنبه‌ای، به ورود گازهای تنفسی در گیاه کمک می‌کنند** که این عدسک‌ها را می‌توان به کمک میکروسکوپ **نوری** در سطح گیاه مشاهده کرد.





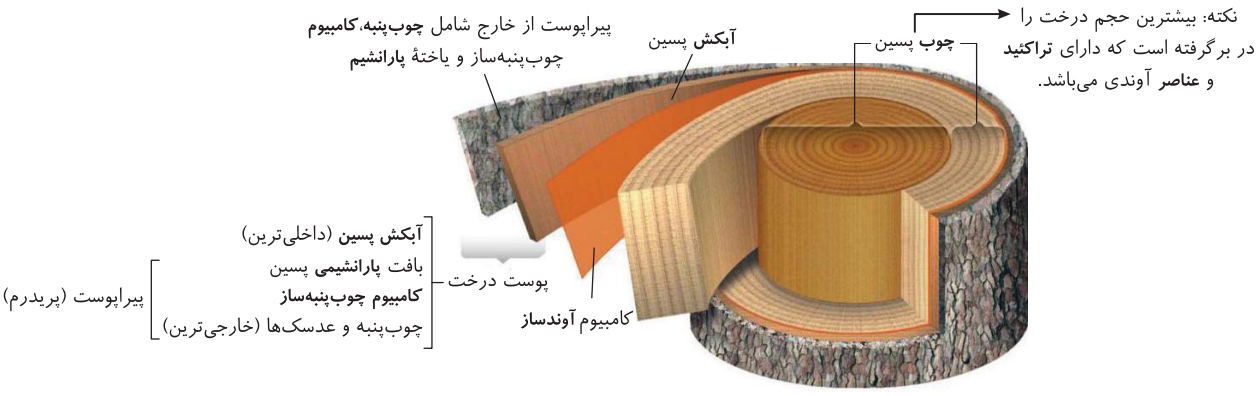
۷) پیراپوست یا پریدرم سامانهٔ بافت پوششی، بخش‌های **مسن** برخی گیاهان نهان‌دانهٔ دولپه‌ای را تشکیل می‌دهد که از خارج به داخل شامل چوب‌پنبه‌ها (*مرده*) و عدسک‌های درون آن، کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز (*زنده*) و بافت پارانشیمی (*زنده*) می‌باشد ولی پوست درخت با پیراپوست متفاوت است.
۸) تنهٔ درخت قسمتی است که با کندن پوست درخت می‌تواند در معرض محیط و عوامل آن قرار گیرد. در حقیقت تنهٔ درخت مجموعهٔ کامبیوم آوندساز و آوندهای چوبی ضخیم گیاه می‌باشد. پس در تنهٔ درخت نیز مانند پوست آن، کامبیوم و یاخته‌های زنده و مرده وجود دارد.

۹) در درخت دارای رشد پسین
- پیراپوست (*پریدرم*)
  - چند لایه چوب‌پنبه خارجی مرده و عدسک‌های برآمده
  - کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز زنده (*بافت مریستمی*)
  - بافت پارانشیمی داخلی
- پوست درخت
  - پیراپوست (*خارجی*)
  - آبکش‌های پسین (*به همراه یاختهٔ همراه، پارانشیم و فیبر*)
- تنهٔ درخت
  - کامبیوم آوندساز (*مریستمی*)
  - آوندهای چوبی قطور داخلی

۱۰) بین دو کامبیوم آوندساز و چوب‌پنبه‌ساز درخت، آوند **آبکشی** شامل **آوند آبکش** و یاختهٔ **همراه** وجود دارد که صفحات آبکشی با دیوارهٔ نخستین سلولزی را در آوند آبکش می‌توان مشاهده کرد.

۱۱) همواره نزدیک‌ترین لایه‌های پسین به کامبیوم‌ها، **جوان‌ترین** محصولات هستند، مثلاً در یک درخت دارای سه سال رشد پسین، آوندهای چوبی و آبکش سال **سوم** نزدیک‌ترین لایه‌ها به کامبیوم آوندساز هستند.

۱۲) با کندن پوست درخت، **کامبیوم آوندساز**، خارجی‌ترین لایهٔ درخت در برابر عوامل محیطی می‌باشد که در این صورت این کامبیوم در برابر آسیب‌های محیطی قرار می‌گیرد. این لایه کامبیومی با شروع فعالیت بعدی خود دوباره به ساخت آبکش کنده شده و انتقال شیرهٔ پرورده می‌پردازد.



«برشی از ساقهٔ درخت»

مریستم‌های پسین	محل	محصولات به سمت خارج	محصولات به سمت داخل
کامبیوم آوندساز ساقه	بین آوندهای چوبی و آبکش نخستین به صورت دایره‌ای	آوندهای **آبکش** و یاختهٔ **همراه**	آوندهای چوبی ضخیم تراکئیدی و عناصر آوندی
کامبیوم آوندساز ریشه	بین آوندهای نخستین به صورت ستاره‌ای	آوندهای آبکش و یاختهٔ همراه	آوندهای چوبی ضخیم تراکئیدی و عناصر آوندی
کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز ساقه و ریشه	زیر روپوست در درون پوست، ایجاد می‌شود.	بافت‌های چوب‌پنبه‌ای شده مرده و عدسک‌ها	بافت‌های **پارانشیمی**

تست ۲۴ **در درونی‌ترین لایهٔ پوست ساقهٔ درخت ..... آوندهای چوبی پسین آن ..... می‌شود.** (قلم‌چی)

۱) برخلاف - یاخته‌های پارانشیمی سانتریول‌دار یافت

۲) برخلاف - یاخته‌های تراکئید و عناصر آوندی یافت

۳) همانند - یاخته‌های همراه با راکیزه فراوان یافت

۴) همانند - یاخته‌های انتقال دهندهٔ دو نوع شیرهٔ گیاهی توسط یک نوع مریستم پسین ساخته

پاسخ ۴ A درونی‌ترین لایه پوست درخت دارای رشد پسین، بافت‌های آبکش پسین زنده می‌باشند که همانند آوندهای چوبی پسین از کامبیوم آوندساز منشأ گرفته‌اند ولی سال بعد می‌خوانیم که گیاهان از جمله نوع نهان‌دانه فاقد سانتریول می‌باشند.

تست ۲۵ **در ساقهٔ هر گیاهی .....** (قلم‌چی)

۱) ، بافت آوند چوبی به مراتب بیشتر از بافت آوند آبکشی است.

۲) که دارای آوند و توانایی فتوسنتز است، مریستم‌های نخستین عمدتاً در جوانه‌ها قرار دارند.

۳) که فاقد کامبیوم است، یک حلقهٔ آوندی وجود دارد.

۴) ، یاخته‌های همراه در ترابری شیرهٔ پرورده به آوندهای آبکشی کمک می‌کنند.

پاسخ ۲ B گیاهانِ آوندار و فتوسنتزکننده، برای رشد خود، مریستم‌هایی دارند که انواع نخستین در ساقهٔ آن‌ها، **عمدتاً در جوانه‌ها** قرار دارند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): این مورد با مثالِ ساقهٔ گیاهان تک‌لپه که رشد پسین ندارند، رد می‌شود. چون تفاوت محسوسی میان فراوانی این دو نوع آوند مشاهده نمی‌کنیم. / گزینهٔ (۳): برای مثال، خزه هم گیاهی بدون کامبیوم است اما اصلاً آوند ندارد. / گزینهٔ (۴): یاختهٔ همراه، مختص نهان‌دانگان است.

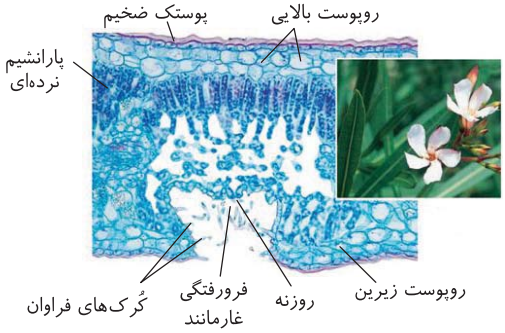
نکات سازش گیاهان با محیط‌های مختلف

۱) چون مساحت زیادی از سرزمین **ایران**، مناطق **خشک و کم‌آب** می‌باشد و اینکه گیاهان در مناطق خشک به دلیلِ تابش شدید خورشید و دمای بالا، مشکل گرفتن آب دارند، پوشش **گیاهی** در این مناطق **اندک** می‌باشد ولی با این وجود **انواعی از گیاهان** در این مناطق زندگی می‌کنند.

۲) گیاهانی که در مناطق خشک و کم‌آب زندگی می‌کنند و می‌رویند باید هم در **جذب همین آب** اندک موفق باشند و هم‌زمان با آن در **کاهش تبخیر آب**، سازوکارهای ویژه و توانایی بالایی داشته باشند (*لازم به یادآوری است که گیاهان آب را از ریشه می‌گیرند و از اندام‌های هوایی، آب اضافی را خارج می‌کنند*).

۳) لازم به یادآوری است که آب همواره برحسب **اسمز** و طبق قانون انتشار از محیط پرآب به کم‌آب می‌رود. پس اگر محیط خشک باشد، خروج آب از گیاه بیشتر می‌شود و اگر محیط اطراف گیاه و روزنه‌ها، مرطوب باشد، مقدار خروج آب از گیاه باید کمتر شود ولی گیاه سازوکارهایی مثل هورمون‌ها دارد که برای جلوگیری از مرگ با بستن روزنه‌های هوایی سبب حفظ آب و سازش در این محیط‌ها شده و طول عمر خود را افزایش می‌دهد (*مثل کاکتوس*).

۴) ویژگی‌های گیاه **خرزهره**
- الف) به صورت **خودرو** در مناطق خشک و کم‌آب رشد می‌کند.
- ب) پوستک لیپیدی **ضخیم** در مجاورت روپوست فوقانی و تحتانی **برگ‌های** خود دارد تا مانع تبخیر آب شود.
- ج) روزنه‌های **هوایی برگ** آن‌ها در **فرورفتگی غارمانند** قرار دارند تا **تعرق** و خروج بخار آب از آن‌ها به سختی صورت بگیرد.
- د) در فرورفتگی‌های غارمانند برگ آن‌ها، **کرک‌های فراوانی** برای به دام انداختن **رطوبت** هوا وجود دارد **تا اتمسفر مرطوبی** را در اطراف روزنه به سمت بیرون (*درون غار*) ایجاد کنند و چون اگر رطوبت کافی اطراف روزنه باشد، روزنه‌ها بسته می‌شوند، با این عمل روزنه‌ها بسته و **کرک‌ها** مانع خروج بیش از حد آب از برگ گیاه شده‌اند.
- ه) این گیاه، توانایی بالا در **جذب** آب و **کاهش** تبخیر آب از سطح برگ دارد.
- و) ضخامت پوستک روی روپوست فوقانی آن‌ها از تحتانی بیشتر است.
- ز) با توجه به شکل مقابل، در مورد برگ خرزهره و وجود پارانشیم نرده‌ای‌شکل در مجاورت روپوست فوقانی آن درمی‌یابیم که این گیاه خودرو از نوع **دولپه‌ای** می‌باشد.
- ح) در سال دوازدهم بررسی می‌کنیم که در حال حاضر محققین با روش مهندسی ژنتیک در سدد هستند تا با جدا کردن ژن‌های گیاهان **خودرو** و اضافه کردن آن‌ها به گیاهان **زراعی** (*مثل غلات و حبوبات*) سبب رشد گیاهان زراعی در محیط‌های مختلف شوند.



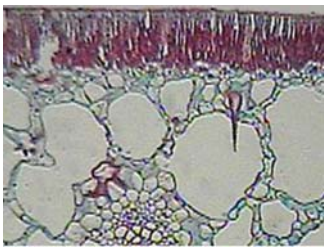
«روزنه‌ها در برگ خرزهره در فرورفتگی‌های غارمانند قرار دارند.»

۵) **برخی** از گیاهان مناطق **خشک** در **واکوئول‌های** خود ترکیبات **پلی‌ساکاریدی** غلیظی دارند که با افزایش فشار اسمزی واکوئول، مقدار آب فراوانی جذب می‌شود. **این آب ذخیره‌ای واکوئول‌ها، در دوره‌های کم‌آبی، مشکل گیاه را برطرف می‌کند.**

۶) در زیست دوازدهم می‌خوانیم که دو نوع گیاهان به زندگی در مناطق گرم و خشک سازش بیشتری دارند. این گیاهان به C_4 ها و CAMها معروف هستند و با بستن روزنه‌های هوایی خود در **روز** گرم از تعرق و خروج بخار آب جلوگیری می‌کنند. در گیاهان CAM (*برخی کاکتوس‌ها و آناناس*) که مخصوص مناطق بیابانی هستند، روزنه‌های هوایی در شب **باز** و در روز **بسته** می‌شوند تا تعرق زیاد باعث مرگ گیاه در اثر کم‌آبی نشود. (*مقدار هورمون آبسیزیک اسید در این گیاهان زیاد است (یازدهم)*).

۷) در هر کشوری از جمله ایران، **شناخت ساختار گیاهان**، نقش مهمی در انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای کشاورزی و توسعهٔ فضای سبز و بوم‌سازگان دارد.

۸) در درسنامهٔ قبل در بافت **پارانشیمی** گفتیم که برخی گیاهان در آب‌ها یا جاهایی زندگی می‌کنند که زمان‌هایی از سال برخی اندام‌هایشان کاملاً در آب قرار دارند. این اندام‌ها برای گرفتن O_2 مورد نیاز تنفس یاخته‌ای و تأمین انرژی به مشکل می‌خورند به همین دلیل در **ریشه، ساقه و برگ** این گیاهان بافت **پارانشیمی** خاصی به نام **پارانشیم هوادار** با فضای بین‌یاخته‌ای پر از **هوای فراوان** وجود دارد که باعث رفع کمبود اکسیژن و سازش این گیاهان برای زندگی در خشکی می‌شود.


«برگ گیاهی آبزی»

مثالی از گیاه آبزی در ایران

جنگل‌های حرّا در سواحل استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان که از **بوم‌سازگان‌های** مهم ایران هستند، حاوی درختانی هستند که **ریشه‌های** آن‌ها در **آب و گِل** قرار گرفته‌اند. در این گونه‌ها برای مقابله با **کمبود** O_2، **برخی انشعابات ریشه‌ای** از آب بیرون آمده‌اند که به آن‌ها **شش ریشه‌ای** می‌گویند و این ریشه‌های بیرون آمده با جذب اکسیژن مانع از مرگ ریشه و کل گیاه می‌شوند (*این گیاهان روزنهٔ فرورفته در غار و پوستک ضخیم ندارند*).


«شش ریشه‌های درخت حرّا در سطح آب دیده می‌شوند.»

تست ۲۶ **شش ریشه‌ها ..... پارانشیم هوادار در .....** (قلم‌چی)

۱) برخلاف - ریشه‌ها دیده می‌شوند.
۲) همانند - ساقه دیده نمی‌شوند.
۳) همانند - برگ‌ها دیده می‌شوند.
۴) برخلاف - برگ‌ها دیده نمی‌شوند.

پاسخ A ۴ شش ریشه‌ها در بخش ریشه‌های درختان و پارانشیم هوادار در ریشه، ساقه و برگ گیاهان دیده می‌شوند.

فصل هفتم
جذب و انتقال مواد در گیاهان

درسنامه

گفتار ۱ تغذیهٔ گیاهی

در این فصل می‌خواهیم بررسی کنیم که گیاهان چگونه مواد غذایی مختلف یعنی آب، مواد معدنی و آلی را در سراسر بدن خود منتقل می‌کنند و برای این کار به چه عواملی نیاز دارند.

با اینکه **بیشتر** گیاهان به کمک عمل **فتوسنتز، بخشی** از مواد آلی مورد نیاز مانند کربوهیدرات‌ها و در پی آن پروتئین‌ها، لیپیدها و بعضی مواد آلی دیگر را به دست می‌آورند ولی برای ساخت این مواد و زندگی عادی خود، به مواد مغذی دیگر مثل **آب و مواد معدنی** نیاز دارند که این مواد را به کمک اندام‌های خود، **به ویژه از طریق ریشهٔ خود** جذب می‌کنند.

نکته

در پاراگراف اول کتاب درسی چند نکتهٔ بسیار مهم نهفته بود

- همهٔ گیاهان فتوسنتزکننده نیستند (*بیشترشان هستند*).
- فتوسنتز همهٔ نیازهای غذایی را برطرف نمی‌کند (*آب و مواد معدنی باید از بیرون گرفته شوند*).
- گیاه ابتدا با فتوسنتز کربوهیدرات می‌سازد و سپس با تبدیل آن و مواد دیگر، سایر مولکول‌های زیستی را می‌سازد.
- جذب مواد مورد نیاز فقط از ریشه صورت نمی‌گیرد.

نکات مهم در بررسی تست‌ها از مقدمهٔ این فصل تا ابتدای خاک

۱) گیاهان برای **رشد و نمو** به مواد مختلفی نیاز دارند که آن‌ها را از **هوا، آب یا خاک** جذب می‌کنند.

۲) کربن دی‌اکسید یکی از مهم‌ترین گازهای مورد نیاز گیاه است که به همراه سایر گازها، از **هوا** و از طریق روزنه‌ها وارد **فضاهای بین‌یاخته‌ای** شده و بدین صورت از راه اندام‌های هوایی به صورت گازی به گیاه وارد می‌شود تا از عنصر **کربن** آن به عنوان **پایهٔ ساخت مواد آلی** در فتوسنتز استفاده شود.

۳) گیاه مقداری از CO_2 مورد نیاز خود را نیز به صورت محلول در آب و تبدیل شدن به **بیکربنات** جذب می‌کند.

۴) سایر مواد مغذی گیاهی **بیشتر** از **طریق خاک** جذب می‌شوند (*به‌همین بیشتر دقت کنید!*).

۵) برخی از گیاهان انگل مثل **گیاه سس** که در ادامهٔ همین فصل می‌خوانیم، چون توانایی فتوسنتز ندارند، مجبورند خیلی از مواد مورد نیاز را از **محیط** بگیرند.

۶) گیاه برای فتوسنتز به **نور خورشید** (*به‌عنوان منبع انرژی*)، **آب** (*به‌عنوان منبع الکترون*) و مادهٔ معدنی CO_2 به عنوان منبع کربن نیاز دارد.

۷) برگ گیاهان **اغلب** از راه روزنه‌های هوایی، گازهای مورد نیاز را جذب می‌کنند. همین‌طور ساقهٔ گیاهان تا وقتی **جوان** هستند، از راه روزنه‌های رویوست، گازها را جذب می‌کنند ولی در ساقهٔ چوبی **دولپه‌ای‌ها**، فضای بین یاخته‌ها در منطقه عدسک‌ها مخصوص جذب گاز تنفسی می‌باشند (*برگ‌ها رشد پسین و عدسک ندارند*).

خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان

اجزای موجود در خاک

- مواد **آلی** = گیاخاک = هوموس
- مواد غیرآلی
- ریزجانداران (*ریزاندامگان = میکروارگانیسم‌ها*): جانداران ریز مثل باکتری‌ها و برخی قارچ‌ها و آغازیان موجود در خاک که با چشم معمولی دیده نمی‌شوند.

نکته

چون خاک‌های مناطق مختلف، **ترکیبات متفاوتی** دارند، در نتیجه توانایی متفاوتی در **نگهداری آب**، مقدار **هوای** خاک، *pH* و **مواد معدنی** دارند.

بررسی بخش‌های مختلف خاک

بخش آلی خاک

همان **گیاخاک یا هوموس** در لایهٔ **سطحی** خاک می‌باشد که به‌طور عمده از **بقایای جانداران** و به ویژه **اجزای** در حال **تجزیهٔ** آن‌ها به وجود آمده است. گیاخاک بافت زنده نمی‌باشد ولی سبب نرمی یا **اسفنجی** شدن بافت خاک می‌شود و همانند نقش پلی‌ساکارید سطح کلاهک، نفوذ ریشه را در خاک، آسان می‌کند.

نکته گیاخاک بارهای منفی دارد و به همین دلیل **یون‌های مثبت** در **سطح** خود را نگه می‌دارد. این کار گیاخاک مانع از **شست‌وشوی** این یون‌های **مثبت** و **مفید** می‌شود. یون‌های مورد نیازی مثل پتاسیم، کلسیم، NH_4^+ و... در سطح خاک باقی می‌مانند تا گیاه به خوبی آن‌ها را جذب کرده و در آن خاک رشد کند. در ادامه به بررسی فعالیت آن‌ها می‌پردازیم.

بخش غیرآلی خاک

این بخش از فرایندی به نام **هوازدگی** و از تخریب **فیزیکی یا شیمیایی سنگ‌ها** ایجاد می‌شود که ذرات **بسیار کوچک رس** تا بسیار **درشت شن و ماسه** را شامل می‌شود. در حقیقت منشأ همهٔ این مواد از خرد شدن سنگ‌هایی بوده است که در اثر عوامل فیزیکی یا شیمیایی ایجاد شده‌اند.

نکته خاک‌های ماسه‌ای و شنی چون ذرات **درشت** با فضای بین ذراتی **زیادی** دارند، هوای زیادی وارد آن‌ها می‌شود و آب **سریع** در این خاک‌ها نفوذ می‌کند ولی در خاک‌های رسی این موارد برعکس می‌باشد و آب به **سختی** به بخش‌های زیرین نفوذ می‌کند.

انواع هوازدگی سنگ‌ها
- ۱) **فیزیکی**: تغییرات **متناوب** یخ زدن و ذوب شدن نمونه‌ای از هوازدگی فیزیکی می‌باشد که سبب خرد شدن سنگ‌ها می‌شود.
- ۲) **شیمیایی**: **اسیدهای** تولیدی توسط **ریشهٔ** گیاهان و برخی جانداران دیگر می‌تواند سبب خرد شدن سنگ‌ها با هوازدگی شیمیایی بشود.

بخش ریزجانداران = میکروارگانیسم‌ها

در این بخش یاخته‌های زندهٔ میکروسکوپی که اغلب باکتری هستند، فعالیت دارند و سبب ایجاد عوامل متعدد معدنی و آلی در خاک می‌شوند. این جانداران می‌توانند مصرف‌کننده و تجزیه‌کنندهٔ مواد آلی و یا تولیدکنندهٔ مواد آلی از معدنی باشند.

تست ۱ چند مورد عبارت روبه‌رو را به درستی کامل می‌کند؟ «هر بخش ..... همانند .....» (قلم‌چی)

الف) آلی خاک - هر بخش غیرآلی آن منشأ گیاهی دارد.

ب) زندهٔ خاک - ریزجانداران، تنها حامل عوامل هوازدگی شیمیایی است.

ج) تولیدکنندهٔ اسید در خاک - بخشی که در فرایند هوازدگی ایجاد می‌شود، منشأ غیرگیاهی ندارد.

۱) صفر مورد ۲) ۱ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۳ مورد

پاسخ ۱ B همهٔ موارد نادرست می‌باشند.

تله‌های تستی الف) بخش آلی خاک یا گیاخاک به‌طور عمده از بقایای جانداران (*نه‌فقط گیاهان*) و اجزای در حال تجزیهٔ آن‌ها تشکیل شده است. همچنین بخش غیرآلی هم منشأی از سنگ‌ها و مواد درشت‌تر معدنی دارد. / ب) میکروارگانیسم‌ها بخش زندهٔ خاک را تشکیل می‌دهند که **در هوازدگی شیمیایی** نقش دارند ولی تنها عامل ایجاد آن نیستند. ریشهٔ گیاهان نیز می‌توانند در این فرایند نقش داشته باشند. / ج) ریزجانداران خاک به همراه ریشهٔ گیاهان می‌توانند اسید تولید کنند اما این باکتری‌ها، منشأ گیاهی ندارند (*منشأ آن‌ها، غیرگیاهی است*).

مواد معدنی مهم در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه

نیتروژن و فسفر در ساختار پروتئین‌ها و مولکول‌های وراثتی *DNA* و *RNA* شرکت دارند. در این قسمت به بررسی جذب این دو عنصر توسط گیاه که **بیشتر از طریق خاک** می‌باشد، می‌پردازیم. قبل از پرداختن به مواد معدنی خاک به توضیح نکتهٔ مهمی توجه کنید تا در ادامه دچار چالش در فهمیدن مطالب نشوید!!

تثبیت یک عنصر مثل نیتروژن یا کربن به چه معنی است؟

در این فصل به عبارت **«تثبیت نیتروژن»** و در زیست دوازدهم به واژهٔ **«تثبیت کربن»** برمی‌خورید که لازم است در مورد آن مطلب بدانیم. تثبیت یعنی یک ماده را از حالت **گازی** و فرار درآوردن و نگه داشتن آن در یک مادهٔ غیرگازی! منظور از تثبیت نیتروژن، تبدیل N_2 **گازی** به محلول آمونیاک یا همان آمونیوم (NH_4^+) می‌باشد که در **خاک** و اغلب توسط **باکتری‌ها** صورت می‌گیرد. تثبیت کربن یعنی اتم کربن موجود در گاز کربن دی‌اکسید (CO_2) را در یک اسید **آلی** نگه داشتن! این عمل در جانداران تولیدکنندهٔ مواد **آلی** از مواد معدنی مثل فتوسنتزکنندگان یا باکتری‌های شیمیوسنتزکننده صورت می‌گیرد که سال دوازدهم به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. بد نیست اینجا یه دونه تقسیم‌بندی از جانداران داشته باشیم!

- انواع جانداران
  - تولیدکننده
    - مواد معدنی را به آلی مورد نیاز تبدیل می‌کنند ← همگی تثبیت کربن می‌کنند.
    - انواع
      - فتوسنتزکننده
        - گیاهان (به‌جز انگل‌ها)
        - برخی آغازیان
        - برخی باکتری‌ها
      - شیمیوسنتزکننده ← برخی باکتری‌ها
  - مصرف‌کننده
    - نمی‌توانند مواد معدنی را به آلی مورد نیاز تبدیل کنند.
    - انواع
      - همهٔ جانوران
      - همهٔ قارچ‌ها
      - بیشتر آغازیان و باکتری‌ها

جذب نیتروژن توسط گیاه

با وجود اینکه حدود ۷۸ درصد حجم هوا را گاز نیتروژن (N_2) تشکیل می‌دهد ولی گیاهان قادر نیستند شکل **گازی** نیتروژن (N_2) را جذب کرده و از آن برای ساخت مواد آلی استفاده کنند. در حقیقت **بیشتر** نیتروژن مورد استفادهٔ گیاهان به صورت **یون آمونیوم** (NH_4^+) یا نیترات (NO_3^-) محلول می‌باشد که باید از خاک و از طریق **ریشه** جذب شوند. حال باید ببینیم به چه شکل این نیتروژن‌های گازی به مواد قابل جذب تبدیل می‌شوند.

در ابتدا به صورت یک نکتهٔ مهم به یاد داشته باشید که یون‌های محلول در آب، مثل آمونیوم و نیترات، در خاک هستند و توسط میکروارگانیسم‌ها یا ریزجانداران مثل باکتری‌ها و ... تشکیل می‌شوند.

● چرخهٔ نیتروژن در طبیعت

در طبیعت N_2 هوا توسط جاندارانی که اغلب **باکتری** می‌باشند، طی فرایند **تثبیت** نیتروژن به صورت محلول آمونیاک یا همان **آمونیوم** (NH_4^+) درمی‌آید و سپس وارد گیاه شده تا به مصرف ساخت مواد آلی برسد (*از طرفی یکسری باکتری‌های نیترات‌زدا هم وجود دارند که می‌توانند نیترات را دوباره به N_2 گازی جو تبدیل کنند که کتاب درسی در مورد آن‌ها حرفی نزده است*). نکاتی که در ادامه می‌خوانیم، مربوط به هر قسمت از چرخهٔ نیتروژن در طبیعت می‌باشد.

● تولید آمونیوم (NH_4^+) در خاک

یکی از راه‌های تولید آمونیوم، تبدیل شدن N_2 گازی جو به این یون معدنی می‌باشد که طی فرایند **تثبیت نیتروژن** صورت می‌گیرد. این عمل در **خاک** و اغلب توسط **باکتری‌هایی** از نوع **ریزوبیوم‌ها** (*مصرف‌کننده هستند*) و یا **برخی** سیانوباکتری‌ها (*فتوسنتزکننده*) صورت می‌گیرد. راه دیگر تولید یون آمونیوم باکتری‌های مصرف‌کننده‌ای به نام **آمونیاک‌ساز** است که تجزیه‌کنندهٔ مواد **آلی** هستند. دقت کنید که به فعالیت تولید آمونیوم توسط باکتری‌های **آمونیاک‌ساز**، عمل تثبیت نیتروژن نمی‌گویند و از طرفی هم دقت کنید که باکتری‌ها فقط بخشی از فرایند تثبیت نیتروژن خاک را انجام می‌دهند. یعنی ریزجانداران دیگری به‌جز باکتری‌ها نیز توانایی این کار را دارند.

- راه‌های تولید محلول آمونیاک یا آمونیوم (NH_4^+) در خاک
  - ۱) با فرایند تثبیت نیتروژن ⇐ N_2 **جو** ↓ NH_4^+ ⇐ بخشی از آن توسط برخی باکتری‌ها صورت می‌گیرد
    - ریزوبیوم **مصرف**‌کننده
    - سیانوباکتری **فتوسنتز**کننده
  - ۲) توسط باکتری‌های مصرف‌کننده به نام آمونیاک‌ساز ⇐ مواد **آلی** خاک (هوموس) ↓ NH_4^+

چند نکتهٔ مهم

۱) **بخشی** از نیتروژن تثبیت شده در خاک، حاصل عملکرد **زیستی بعضی** از باکتری‌هاست (*مثل ریزوبیوم‌ها و برخی فتوسنتزکننده‌ها*).

۲) باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن هم به صورت **آزاد** در خاک هستند و هم به صورت **همزیست** با برخی گیاهان زندگی می‌کنند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم. (*سیانوباکتری‌ها فتوسنتزکننده و سازندهٔ مواد آلی هستند ولی ریزوبیوم‌ها باکتری‌های مصرف‌کنندهٔ مواد آلی هستند. این دو گروه، مهم‌ترین باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن می‌باشند که قادرند با گیاهان همزیستی کنند.*)

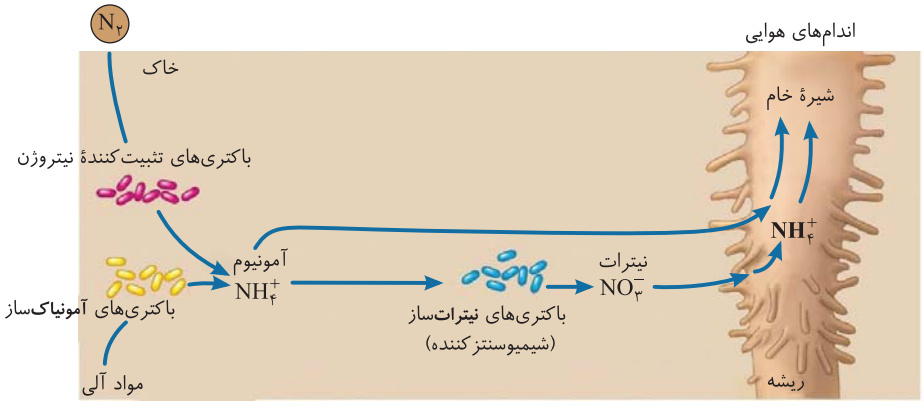
۳) باکتری‌هایی مثل ریزوبیوم یا برخی سیانوباکتری‌ها که با گیاهان همزیستی کرده و تثبیت نیتروژن می‌کنند، یون آمونیوم حاصل از تثبیت خود را به مقدار قابل توجهی **دفع** می‌کنند و سبب استفادهٔ گیاهان در حال رشد می‌شوند ولی کمی از آمونیوم‌ها را نیز نگه می‌دارند و پس از مرگ باکتری، گیاهان در سال‌های آینده برای رشد از آن‌ها استفاده می‌کنند.

۴) باکتری‌های آمونیاک‌ساز که ضمن تجزیهٔ مواد آلی به تولید آمونیوم می‌پردازند، قادر به تثبیت نیتروژن نیستند.

● چرخهٔ نیتروژن پس از تولید آمونیوم در خاک

پس از تولید یون آمونیوم، مقداری از آن در خاک به صورت **محلول** و به همراه آب به عنوان شیرهٔ **خام** وارد آوندهای **چوبی** ریشه می‌شود و مقداری دیگر نیز در خاک و توسط باکتری‌های **شیمیوسنتزکننده به نام نیترات‌سازها** به **نیترات** (NO_3^-) تبدیل می‌شوند و سپس همراه آب، به صورت شیرهٔ خام وارد ریشه و آوند چوبی می‌شوند. البته دقت کنید که نیترات‌ها دوباره در گیاه و توسط آنزیم‌های گیاهی به **آمونیوم** (NH_4^+) تبدیل می‌شوند.

باکتری‌های خاکزی مورد نیاز چرخهٔ نیتروژن
- ۱) تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن ($N_2 \rightarrow NH_4^+$) ← مصرف‌کننده و فتوسنتزکننده هستند.
- ۲) آمونیاک‌سازها (*موادآلی (هوموس)*) ← (NH_4^+) ← مصرف‌کننده و تجزیه‌کنندهٔ مواد آلی هستند.
- ۳) نیترات‌ساز ($NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$) ← شیمیوسنتزکنندهٔ مواد آلی هستند (*دوازدهم می‌خوانید*).



«تغییرات مواد نیتروژن‌دار و چگونگی جذب آن‌ها از خاک»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) امروزه با **مهندسی ژنتیک** در پی آن هستند که **ژن** تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن را از **ریزجانداران** (*میکروارگانیسم‌ها*) جدا کنند و با انتقال آن‌ها به **گیاهان**، سبب تثبیت نیتروژن توسط خود گیاه شوند تا نیازی به باکتری و همزیستی آن با گیاه نباشد (*در فصل (۷) دوازدهم در مورد محدودیت‌های تکنیک و چگونگی این فرایند به‌طور کامل می‌آموزید*).

۲) با توجه به شکل، می‌توان متوجه شد که گیاهان نیتروژن مورد نیاز خود را به صورت ترکیبات معدنی و **اغلب** به صورت یون منفی NO_3^- و یا یون مثبت NH_4^+ از خاک می‌گیرند.

۳) باکتری‌های نیتراتساز و آمونیاک‌ساز جزء باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن **نیستند**.

۴) با توجه به شکل درمی‌یابیم که نیتراتی که وارد ریشهٔ گیاه می‌شود، دوباره توسط آنزیم‌های گیاه در ریشه به آمونیوم (NH_4^+) تبدیل می‌شود و از راه آوند چوبی به اندام‌های **هوایی** می‌رسد.

۵) تبدیل آمونیوم به نیترات در **خارج** گیاه و طی اکسیداسیون، توسط باکتری‌های شیمیوسنتزکننده که تولیدکنندهٔ مواد آلی هستند و مستقل از **نور** صورت می‌گیرد ولی تبدیل نیترات به آمونیوم در **ریشهٔ** گیاه و طی فرایند الکترون‌گیری (*کاهش*) توسط آنزیم‌های گیاهی صورت می‌گیرد.

تست ۲ **چند مورد واکنش‌ها و جاندار انجام دهنده آن را به درستی نشان می‌دهد؟**

الف) مادهٔ آلی $\xrightarrow{\text{باکتری‌های آمونیاک‌ساز}} ATP + CO_2$

ب) $NH_4^+ \xrightarrow{\text{در ریشه گیاه}}$ نیترات

ج) آمونیوم $\xrightarrow{\text{باکتری‌های نیتراتساز}}$ مواد آلی

د) $N_2 \xrightarrow{\text{باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن}} NO_3^-$

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۲ **B** فقط موارد (الف) و (ب) صحیح هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. باکتری‌های آمونیاک‌ساز، طی تنفس یاخته‌ای خود می‌توانند گلوکز را به ATP، CO_2 و آب تبدیل کنند (*خیلی مُدرَت تو این فصل بودا؟!*). / ب) درست است. نیترات توسط ریشهٔ گیاه، می‌تواند به یون آمونیوم تبدیل شود. / ج) نادرست است. باکتری‌های نیتراتساز، از آمونیوم، نیترات تولید می‌کنند اما فرایند نشان داده شده در این مورد، وظیفهٔ باکتری‌های آمونیاک‌ساز است. / د) نادرست است. باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، از N_2، آمونیوم تولید می‌کنند (*نه نیترات*).

تست ۳ **کدام گزینه صحیح است؟ «هر باکتری ..... از ..... برای ساخت محصول خود در چرخهٔ نیتروژنی استفاده می‌کند.»**

۱) آمونیوم‌ساز - گیاخاک
۲) نیتراتساز - مواد آلی یا معدنی
۳) تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن - مواد محلول در آب
۴) آمونیاک‌ساز - گیاخاک

پاسخ ۴ **B** باکتری‌های آمونیاک‌ساز، نام گروهی خاص از باکتری‌های مصرف‌کننده می‌باشد که با تجزیهٔ مواد آلی خاک (*گیاخاک*) به آمونیوم در چرخهٔ نیتروژن شرکت می‌کنند. باکتری‌های آمونیوم‌ساز دو دسته‌اند، یکی آن‌هایی که تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن هستند و دیگری همین آمونیاک‌سازها! (درستی گزینهٔ (۴)).

- باکتری آمونیوم‌ساز
  - اگر تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن باشد ← از N_2 گازی جو استفاده می‌کند (نادرستی گزینه‌های (۱) و (۳)).
  - اگر آمونیاک‌ساز باشد ← از مواد آلی (*گیاخاک*) استفاده می‌کند (درستی گزینهٔ (۴)).
- باکتری‌های نیتراتساز، فقط از مواد **معدنی آمونیوم‌دار** خاک می‌توانند نیترات بسازند (نادرستی گزینهٔ (۲)).

توجه! در تست‌ها اگر گفت باکتری آمونیاک‌ساز فقط منظور نوعی است که آمونیوم را از مواد آلی ایجاد می‌کنند ولی اگر گفت باکتری‌های آمونیوم‌ساز در این حالت دو نوع آمونیاک‌ساز و تثبیت‌کننده‌های نیتروژن می‌توانند مدنظر باشند.

جذب فسفر توسط گیاه

فسفر از عناصر معدنی مورد نیاز گیاه می‌باشد که گیاه از آن در ساخت دنا، رنا، فسفولیپیدهای غشا، ATP (رایج‌ترین منبع انرژی) و غیره استفاده می‌کند. گیاهان فسفر را به صورت **یون‌های فسفات** با بار منفی از **خاک** به دست می‌آورند تا کمبود آن رشد گیاه را محدود نکند. لطفاً خیلی دقت کنید که فسفات در خاک **فراوان** است ولی چون به **برخی** ترکیبات **معدنی** خاک **به‌طور محکمی** متصل می‌باشد، **اغلب** برای گیاهان غیرقابل دسترسی می‌باشد. **برخی** گیاهان برای رفع این مشکل، ریشه‌هایی با انشعابات بیشتر و یا دارای **تارهای کشنده** بیشتر و گسترده‌تری ایجاد می‌کنند که جذب فسفات آزاد را افزایش دهند و در ساخت مواد مهمی مثل مواد وراثتی و سایر مواد آلی مورد نیاز به مشکل نخورند.

نتیجه
- فسفات در خاک **فراوان** است.
- فسفات قابل دسترس گیاه در اغلب خاک‌ها **محدود** است.

نکته
حتماً به یاد دارید که فسفات در ساختار مهم‌ترین انرژی زیستی یعنی ATP وجود دارد و تقریباً هر فعالیت زیستی جاندار به آن محتاج است.

تست ۴ در مورد فسفر و جذب آن توسط گیاه چند عبارت زیر صحیح می‌باشد؟

الف) برخلاف نیتروژن، فقط به صورت یون منفی وارد گیاه می‌شود.
ب) توسط بارهای موجود در گیاخاک در سطح خاک باقی می‌ماند.
ج) به صورت فسفات به ترکیبات مختلف غیر مواد آلی خاک به‌طور محکم متصل می‌شود.
د) گیاهان برای جذب آن انشعابات ساقه و ریشهٔ خود را گسترش می‌دهند.
ه) همانند نیتروژن همواره از راه خاک جذب گیاه می‌شود.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۱ (C) فقط مورد (الف) صحیح است.

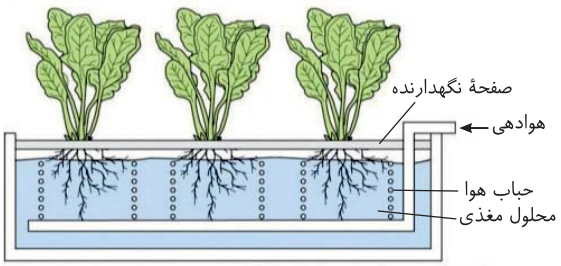
تله‌های تستی الف) درست است. فسفر به صورت یون فسفات با بار منفی جذب گیاه می‌شود ولی نیتروژن به صورت یون مثبت (NH_4^+) یا منفی (NO_3^-) جذب می‌شود. / ب) نادرست است. گیاخاک با بار منفی خود، یون‌های مثبت را در سطح خاک نگه می‌دارد ولی فسفات خود بار منفی دارد. / ج) نادرست است. فسفات‌ها فقط به برخی ترکیبات **معدنی** خاک متصل می‌شوند. (یادتون هست که خاک سه‌قسمت مواد آلی، مواد معدنی و ترکیبات زنده داشت؟!) / د) نادرست است. برای جذب فسفر، انشعابات ریشه مهم است (نه تارها). / ه) نادرست است. نیتروژن و فسفات **بیشتر** از خاک جذب گیاه می‌شوند.

نکات بهبود خاک

۱) خاک مناطق مختلف می‌تواند دچار **کمبود برخی مواد** یا **افزایش برخی مواد** بشود که اصلاح آن‌ها سبب رشد و کشت انواع گیاهان در آن‌ها می‌شود. (پس از همین الان دقت کنید که اصلاح خاک هم برای تعدیل زیادی مواد و هم کمبود مواد آن می‌باشد!!)

۲) کمبود مواد مختلف خاک را می‌توان با افزودن **انواع کودها** برطرف کرد و حاصلخیزی آن خاک را افزایش داد. (کود برای اصلاح خاک‌هایی است که موادی را کم دارند، در حقیقت هر نوع کودی برای تأمین مواد معدنی مورد نیاز گیاه می‌باشد تا گیاه مواد آلی مورد نیازش را بسازد.)

۳) زیست‌شناسان برای **تشخیص نیازهای تغذیه‌ای** هر گیاه، آن‌ها را در محلول‌های **مغذی** شامل **آب و عناصر مغذی محلول** به **مقدار معین** قرار می‌دهند و با مقایسهٔ رشد آن‌ها به تشخیص **اثرات عناصر بر رشد و نمو گیاه** مربوطه می‌پردازند. (شکل روبه‌رو دستگاهی ساده برای بررسی مواد مغذی گیاهان می‌باشد که با کم یا زیاد کردن هر عنصر به محیط کشت گیاه، اثر آن را روی رشد گیاه بررسی می‌کند.)



«دستگاه ساده‌ای برای کشت گیاهان در محلول‌های مغذی»

نکته
دقت کنید که برای اضافه کردن محلول‌های مغذی، **هوادهی** نیز باید در محیط کشت گیاه صورت بگیرد. به همین دلیل در مجاورت ریشهٔ آن‌ها حباب‌های هوا در محلول مغذی ایجاد می‌شود.

۴) چون مقدار عناصر **نیتروژن، فسفر و پتاسیم** قابل دسترس در **اغلب** خاک‌ها، محدود است، در نتیجه در **بیشتر کودها** این عناصر وجود دارند تا کمبود آن‌ها را در گیاه برطرف کنند. دقت کنید که مقدار این عناصر در خاک کم نیست بلکه به صورت قابل دسترس گیاه در خاک‌ها محدود می‌باشند.

انواع کودهای مهم

کود ماده‌ای با ترکیبات متفاوت می‌باشد که هدف از اضافه کردن هر نوع آن به خاک، رساندن **مواد معدنی** مورد نیاز به گیاهان است تا گیاه مواد آلی مورد نیاز را طی فتوسنتز به مقدار لازم بسازد. به یاد دارید که خاک از سه نوع مادهٔ آلی (*هوموس*)، معدنی (*شیمیایی*) و ریزجانداران تشکیل شده است. بر همین اساس نیز سه نوع کود آلی، شیمیایی و بیولوژیک (*حاوی باکتری*) وجود دارد. تکرار می‌کنم که هر سه این کودها با هدف تأمین مواد **معدنی** به خاک‌های مختلف افزوده می‌شوند.

الف) کودهای آلی

نکته

کودهای آلی:
- شامل **بقایای جانداران** می‌باشند که پس از مرگ آن‌ها در حال **تجزیه شدن** هستند (*حاوی هوموس خاک می‌باشند*).
- در حقیقت در این کودها، مواد آلی آن‌ها در خاک به **آهستگی** تجزیه شده و به مواد معدنی تبدیل می‌شود تا وارد گیاه شود.
- چون به نیازهای جانداران شباهت بیشتری دارند، **استفادهٔ زیاد** از حد آن‌ها به گیاهان **آسیب کمتر** می‌زند (*نه اینکه آسیب نمی‌زنند!!*).
- از معایب آن‌ها این است که این کودها احتمال **آلودگی** به عوامل بیماری‌زا دارند (*ریسک زیادش آسیب می‌زنه!*).

تکرار دوباره: دقت کنید که هیچ کودی از جمله کودهای آلی، مواد **آلی** را به گیاه منتقل نمی‌کنند بلکه سبب ایجاد مواد معدنی مورد نیاز گیاه می‌شوند تا آن مواد معدنی به صورت شیرهٔ خام وارد گیاه شده و طی فتوسنتز به مواد آلی مورد نیاز برای زندگی گیاه تبدیل شوند (*پس فکر نکن که کود آلی، مواد آلی حواره وارد گیاه کنه!*).

ب) کودهای شیمیایی (معدنی)

نکته

کودهای شیمیایی:
- از محسنات آن‌ها این است که خود آن‌ها شامل **عناصر معدنی** هستند پس **به راحتی** و بدون نیاز به تغییر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و **به سرعت** کمبود مواد مغذی خاک را جبران می‌کنند.
- معایب مصرف زیاد آن‌ها:
  ۱) آسیب زیاد به **خاک** و **محیط زیست** می‌زند و **بافت خاک** را **تخریب** می‌کند.
  ۲) با شسته شدن توسط بارش‌ها، مواد معدنی آن‌ها وارد **آب** شده و در ادامه ورود مواد معدنی به آب سبب رشد سریع باکتری‌ها، جلبک‌ها و گیاهان آبزی فتوسنتزکننده می‌شود. رشد و افزایش این جانداران در سطح آب، مانع نفوذ **نور** و **اکسیژن** کافی به عمق آب و در نتیجه مرگ **جانوران** آبزی می‌شود.

نکته

ورود کودهای معدنی و مواد آن‌ها به آب، سبب افزایش فتوسنتز برای جانداران آبزی و رشد آن‌ها می‌شود. رشد این جانداران در روی آب مانع از نفوذ نور و اکسیژن کافی به قسمت‌های عمقی‌تر آب شده و زندگی جانوران آن منطقه را به مخاطره می‌اندازد.

ج) کودهای زیستی (بیولوژیک) ← تنها کودی که حاوی موجود زنده می‌باشد.

نکته

کودهای زیستی (*بیولوژیک*):
- شامل **باکتری‌های زنده** هستند که برای **خاک مفید** می‌باشند.
- فعالیت و **تکثیر** باکتری‌های درون این کودها، برخی مواد **معدنی** خاک را افزایش می‌دهد.
- در حقیقت آنزیم‌های باکتری‌های درون آن‌ها سبب افزایش تولید مواد معدنی مورد نیاز گیاه در خاک می‌شوند.
- استفاده از آن‌ها **بسیار ساده و کم‌هزینه** است.
- این نوع کود به همراه **کودهای شیمیایی** به خاک افزوده می‌شوند.
- معایب دو نوع کود دیگر را ندارند.
- چرخهٔ نیتروژن و سایر عوامل وابسته به باکتری‌ها را در خاک تسریع می‌کنند.

جمع‌بندی کودها

انواع کود	مواد موجود در کود	چه ماده‌ای به گیاه می‌دهند	نحوهٔ انتقال مادهٔ معدنی به گیاه	معایب استفاده زیاد آن‌ها	نکته
کود آلی	بقایای در حال تجزیه جانداران (*هوموس*)	مواد **معدنی**	به **آهستگی**	**آلودگی** به عوامل بیماری‌زا	آسیب **کمی** به گیاه می‌زند.
کود شیمیایی	عناصر **معدنی**	مواد **معدنی**	به راحتی و به **سرعت**	آسیب به خاک و محیط زیست	رشد سایر جانداران آبزی فتوسنتزکننده را در سطح آب زیاد می‌کند.
کود زیستی (*بیولوژیک*)	باکتری **مفید**	مواد **معدنی**	زیاد کردن مادهٔ معدنی خاک	معایب دو کود قبلی را ندارد.	ساده و کم‌هزینه اغلب به همراه کود **شیمیایی** به خاک افزوده می‌شود.

تست ۵ چند مورد عبارت «کود ..... می‌تواند مواد ..... را در خاک زیاد کند.» را به نادرستی تکمیل می‌کند؟

الف) آلی - با بار منفی
ب) شیمیایی - حفاظت‌کننده یون‌های مثبت
ج) زیستی - آلی و معدنی
د) آلی - اسیدی برای افزایش هوازدگی شیمیایی سنگ‌ها

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ B موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. کودهای آلی همانند گیاخاک شامل بقایای در حال تجزیهٔ جانداران‌اند و می‌توانند مواد با بار منفی را در خاک زیاد کنند. همچنین این کودها، مواد معدنی تولید می‌کنند که می‌توانند دارای بار مثبت یا منفی بوده و یا اصلاً خنثی باشند. / ب) نادرست است. گیاخاک، یون‌های با بار منفی دارد و **برخلاف** مواد معدنی (*که توسط کودهای شیمیایی تأمین می‌شوند*) می‌تواند مواد حفاظت کنندهٔ یون‌های مثبت را در خاک زیاد کند. / ج) نادرست است. کودهای زیستی، تولید مواد معدنی را برخلاف مواد آلی زیاد می‌کنند. / د) نادرست است. کود آلی و مواد معدنی در هوازدگی شیمیایی سنگ‌ها نقشی ندارند چون اسیدهای مورد استفاده، توسط جانداران و نیز گیاهان تولید می‌شوند.

تست ۶ کدام عبارت دربارهٔ انواع کودها نادرست است؟

۱) کودهای معدنی برخلاف کودهای مشابه گیاخاک به سرعت کمبود مواد مغذی خاک را جبران می‌کنند.
۲) مصرف زیاد کودهای معدنی برخلاف کودهای بیولوژیک می‌تواند بافت خاک را تخریب کند.
۳) مصرف زیاد کودهای آلی همانند کودهای بیولوژیک به گیاهان آسیب کمتری می‌زند.
۴) استفاده از کودهای بیولوژیک همانند کودهای معدنی بسیار ساده و کم‌هزینه است.

پاسخ ۴ B استفاده از کودهای بیولوژیک (*زیستی*)، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از سایر کودهاست (*پس کود شیمیایی نمی‌تواند از این نظر مشابه آن باشد*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): داشتن سرعت زیاد در رفع کمبود مواد مورد نیاز خاک، فقط در کود شیمیایی دیده می‌شود و کودهای آلی، مواد معدنی را به آهستگی آزاد می‌کنند. / گزینهٔ (۲): کودهای شیمیایی تنها کودهایی هستند که می‌توانند بافت خاک را تخریب کنند. / گزینهٔ (۳): مصرف بیش از اندازهٔ کودهای آلی، آسیب کمتری به گیاهان می‌زند و کودهای زیستی هم معایب سایر کودها را ندارند بنابراین نمی‌توانند همانند کود شیمیایی، آسیب زیادی به گیاه و خاک بزنند.

نکات افزایش مواد در خاک

۱) افزایش بیش از حد برخی مواد در خاک می‌تواند سبب ایجاد **مسمومیت** در گیاه شده و مانع **رشد** گیاهان بشود.

۲) برخی گیاهان غلظت‌های **زیادی** از مواد سمی درون خاک را می‌توانند درون خود به صورت ایمن نگهداری کنند. **مثلاً نوعی سرخس** می‌تواند **آرسنیک** که ماده‌ای **سمی** است را در خود جمع کند. (*آرسنیک و سیانید با پر کردن جایگاه فعال آنزیم‌ها، کارکرد آن‌ها را مختل می‌کنند.*)

۳) برخی گیاهان مانند گیاه گل **ادریسی** می‌توانند **آلومینیوم** را در واکوئول **بافت‌های** خود ذخیره کنند.

۴) گیاه گل ادریسی، در خاک‌های خنثی و قلیایی **گلبرگ‌های صورتی رنگ** دارد ولی وقتی در خاک‌های **اسیدی پرآلومینیم** قرار می‌گیرد، با تجمع این عنصر در گلبرگ‌های خود از حالت صورتی به رنگ **آبی** درمی‌آید.


(الف)


(ب)

«رنگ گل گیاه ادریسی در خاک‌های اسیدی (الف) و قلیایی و خنثی (ب)»

توجه! دقت کنید که گیاهانی مانند گل ادریسی با اینکه در یاخته‌های خود یک فرمول ژنتیکی (*ژنوتیپ*) خاص دارند ولی در محیط‌های مختلف شکل ظاهری (*فنوتیپ*) متفاوتی را نشان می‌دهند. از طرفی دقت کنید که این گیاه در خاک **اسیدی** جمع‌آوری آلومینیم‌ها را انجام داده که در حقیقت نقش مادهٔ رنگی آنتوسیانین **واکوئول** آن‌ها را در pH‌های مختلف نشان می‌دهد (*خاک اسیدی در محیط این گیاه، بار منفی دارد که سبب نگهداری یون‌های مثبت مفید خاک نیز می‌شود*).

۵) از برخی گیاهان که توانایی **جذب و ذخیرهٔ** برخی مواد مثل **نمک‌ها** را دارند و می‌توانند در خاک‌های دارای نمک فراوان، سبب **کاهش شوری خاک** شوند، برای **بهبود کیفیت خاک** و **کاهش** مواد نمکی استفاده می‌کنند که باید کاشت و برداشت آن‌ها را در **چند سال** پی‌درپی در خاک انجام داد.

نکته خاک شور، چون املاح زیادی دارد، سبب آبگیری از گیاهان می‌شود که در ادامه سبب **پلاسمولیز** گیاه شده و گیاه به خوبی در آن رشد نمی‌کند. در این خاک‌ها باید طی چند سال برخی گیاهانی را کاشت که می‌توانند نمک خاک را جذب کنند و سبب کاهش شوری خاک شوند و سپس این خاک قابل کشت برای سایر گیاهان می‌شود.

تست ۷ گیاهانی که می‌توانند غلظت‌های زیادی از موادی را که مانع از رشد سایر گیاهان می‌شود، درون خود به صورت ایمن نگه دارند، ..... (قلم‌چی)

۱) ممکن است در بهبود کیفیت خاک نقش داشته باشند.
۲) ممکن است با فعالیت خود مواد معدنی خاک را افزایش دهند.
۳) ممکن نیست این ترکیبات را در بافت‌های خود ذخیره کنند.
۴) ممکن نیست در خاک‌های با pH متفاوت، رنگ گل‌های متفاوت داشته باشند.

پاسخ ۱ A بعضی گیاهان با جذب و ذخیرهٔ بعضی مواد مانند نمک‌ها، موجب کاهش شوری خاک می‌شوند. با کاشت و برداشت این گیاهان در چند سال پی‌درپی می‌توان باعث کاهش این مواد و بهبود کیفیت خاک شد. اما می‌دانید که با این کار، مواد معدنی خاک را کاهش می‌دهند (*نه اینکه افزایش دهند*) (رد گزینهٔ (۲)). این مواد در بافت‌ها ذخیره می‌شوند (رد گزینهٔ (۳)). تغییر رنگ گلبرگ‌ها با تفاوت اسیدیته در گیاه ادریسی رخ می‌دهد (رد گزینهٔ (۴)).

درسنامه

گفتار ۲ جانداران مؤثر در تغذیهٔ گیاهی

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی همزیستی بین گیاهان با برخی جانداران بپردازیم تا متوجه شویم که چگونه جانداران می‌توانند با زندگی اجتماعی، مشکلات همدیگر را حل کرده و سبب افزایش بقا و زادآوری خود شوند.

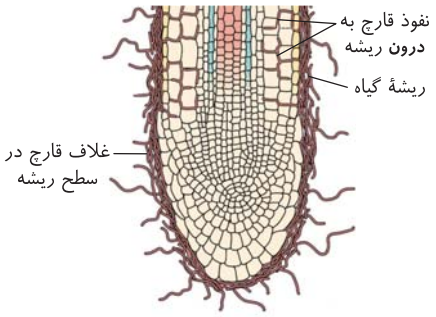
در حقیقت **گیاهان شیوه‌های شگفت‌انگیزی** برای گرفتن مواد مورد نیاز خود از جانداران دیگر دارند که با **برخی** از این جانداران رابطهٔ **همزیستی** برقرار می‌کنند. دو نوع مهم رابطهٔ همزیستی از نوع **همیاری** گیاهان به صورت قارچ ریشه‌ای (*میکوریزا*) و یا با باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن می‌باشند (*در همیاری دو گونهٔ مختلف به هم سود می‌رسانند و هیچ طرفی در رابطه دچار ضرر نمی‌شود*).

نکته گیاهان به دلیل اینکه برای فتوسنتز محتاج به **آب** و مواد **معدنی** از خاک می‌باشند، آماده زندگی همزیستی با جانداران **خاکزی** تأمین‌کنندهٔ آب و مواد معدنی می‌باشند. در این همیاری گیاه مواد **آلی** را برای جاندار دیگر فراهم می‌کند، در عوض جاندار دیگر شیرهٔ **خام** مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند.

الف) همزیستی قارچ ریشه‌ای (میکوریزا)

قارچ ریشه‌ای، همزیستی بین **ریشهٔ** گیاهان با **انواعی از قارچ‌ها** می‌باشد. در این همزیستی هر دو جاندار در این رابطه **سود** می‌برند. در طبیعت قارچ ریشه‌ای یکی از معمول‌ترین سازگاری‌های حدود ۹۰ درصد **گیاهان دانه‌دار** با قارچ‌ها می‌باشد.

در این رابطه، قارچ‌ها می‌توانند علاوه بر سطح به **درون ریشه نیز نفوذ کرده باشند** یعنی به صورت **غلافی** علاوه بر اینکه در **سطح** بیرونی ریشه زندگی می‌کنند، رشته‌های ظریفی نیز از بدن خود را به درون ریشهٔ گیاه وارد کنند و به تبادل مواد با گیاه بپردازند.



در قارچ ریشه‌ای، قارچ به دلیل اینکه **بدن رشته‌ای و بسیار ظریف** با نسبت سطح به حجم **بالا** دارد، نسبت به ریشهٔ گیاه با سطح **بیشتری** از خاک در تماس است و این ویژگی سبب می‌شود که **مواد معدنی** بیشتری (*مخصوصاً فسفات*) توسط قارچ فراهم شود و در نتیجه قارچ مواد معدنی زیادی به گیاه بدهد. گیاه نیز این شیرهٔ خام را در اندام فتوسنتزکننده به مواد آلی تبدیل می‌کند و سپس قارچ از **ریشهٔ** گیاه، این مواد آلی را به عنوان منبع انرژی دریافت می‌کند. (*دقت کنید که قارچ از مواد شیرهٔ پرورده کوند آبکش ریشه استفاده می‌برد.*)

نکته وجود گیاهان **شاداب** همزیستی‌کننده به صورت قارچ ریشه‌ای در خاک‌هایی که از نظر مقدار مواد معدنی فقیر هستند، **تا حد زیادی** به علت توانایی قارچ ریشه‌ای آن در جذب سریع مواد و انتقال به ریشهٔ گیاه است و مطالعات نشان داده است که در **وضعیت محیطی برابر**، گیاهی که با قارچ همزیستی قارچ ریشه‌ای کرده است نسبت به گیاه فاقد این ویژگی، رشد **بیشتری** دارد. (*در شکل مقابل، گیاه سمت چپ برخلاف سمت راست، همزیستی قارچ ریشه‌ای دارد و رشد بیشتری کرده است در حالی که شرایط محیطی برابری داشتند.*)



یادآوری: از فصل (۱) به یاد دارید که قارچ‌ها همانند جانوران، قند اضافی را به صورت گلیکوژن ذخیره می‌کنند ولی قند ذخیره‌ای در گیاهان، سلولز می‌باشد.

● خلاصه همیاری قارچ ریشه‌ای

مواد معدنی خاک و مخصوصاً فسفات ← از طریق قارچ ← به عنوان بخشی از شیرهٔ خام به ریشهٔ گیاه می‌دهد. ← به اندام فتوسنتزکننده می‌دهد. ← گیاه مادهٔ آلی می‌سازد. ← هم گیاه مصرف می‌کند. / هم از آوند آبکش ریشه گیاه به **قارچ** می‌رسد.

تست ۸ در مورد قارچ ریشه‌ای کدام گزینه صحیح است؟

۱) گیاه برای زندگی در محیط دارای فقر نیتروژن انجام می‌دهد.
۲) در حدود ٪۹۰ اندام‌های گیاهان دانه‌دار مشاهده می‌شود.
۳) آوندهای گیاه به درون رشته‌های ظریف فرو می‌روند.
۴) قارچ مواد کربن‌دار را از گیاه گرفته و به گیاه مواد غیرآلی می‌دهد.

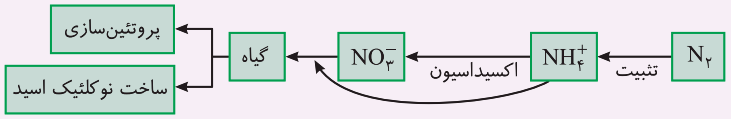
پاسخ ۴ (B) در قارچ ریشه‌ای ● قارچ به گیاه مواد معدنی می‌دهد. ● قارچ از گیاه مواد آلی می‌گیرد که کربن‌دار است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): قارچ ریشه‌ای برای گرفتن مواد معدنی مختلف مخصوصاً فسفات است. / گزینهٔ (۲): این همیاری در ٪۹۰ گیاهان دیده می‌شود (*نه ٪۹۰ اندام‌های گیاهی*). / گزینهٔ (۳): رشته‌های ظریف قارچ به درون آوندهای گیاه می‌روند (*نه برعکس!*).

ب) همزیستی گیاه با باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن

برخی از گیاهان قادرند برای به دست آوردن **نیتروژن بیشتر**، با **انواعی از باکتری‌ها** همزیستی کنند که از مهم‌ترین باکتری‌های این همزیستی می‌توان دو نوع **ریزوبیوم‌ها** و **سیانوباکتری‌ها** را نام برد. این همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن صورت می‌گیرد که در گفتار قبل به بررسی آن‌ها پرداختیم.

یادآوری: تثبیت نیتروژن، تبدیل N_2 **گازی جو به محلول آمونیاک** (*آمونیوم*) NH_4^+ می‌باشد. بعد از انجام این عمل در خاک و با کمک **باکتری‌های دیگری** که تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن **نیستند** ولی در خاک به عنوان **نیترات‌ساز معروف** هستند، **آمونیوم خاک به نیترات** تبدیل می‌شود. هم آمونیوم (NH_4^+) و هم نیترات (NO_3^-) می‌توانند وارد ریشهٔ گیاه شده و به کمک نیتروژن آن‌ها، فرایندهای پروتئین‌سازی، ساخت مواد وراثتی و... در گیاه کامل شود.



۱) همزیستی گیاه با ریزوبیوم‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن

این همزیستی بین باکتری‌های **ریزوبیومی** با **ریشهٔ** گیاهان **زراعی مخصوصاً تیرهٔ پروانه‌واران** (*سویا، یونجه و نخود از گیاهان مهم زراعی پروانه‌واران هستند*) صورت می‌گیرد. در این همزیستی، همانند قارچ ریشه‌ای با سود رسیدن به هر دو جاندار همراه است به این صورت که باکتری‌های ریزوبیوم که **مهم‌ترین** تثبیت‌کننده‌های نیتروژنی هستند، در محل برجستگی‌هایی در ریشهٔ این گیاهان به نام **گرهک** زندگی و رشد می‌کنند و به تثبیت نیتروژن می‌پردازند (N_2 *ورودی هوا را به* NH_4^+ *تبدیل می‌کنند*). تا وقتی گیاه زنده است از آمونیوم حاصل از عمل باکتری‌های آن‌ها استفاده می‌کند و با ساخت مواد آلی که طی فتوسنتز رخ می‌دهد، به این باکتری‌های مصرف‌کننده نیز مواد آلی تأمین‌کنندهٔ انرژی را می‌رساند.


گرهک‌های ریشهٔ گیاه که پر از باکتری ریزوبیوم است

چون این گیاهان اغلب **یک** سال زندگی می‌کنند، هنگامی که می‌میرند یا بخش‌های **هوایی** آن‌ها برداشت می‌شوند، گرهک‌های پر ریزوبیوم آن‌ها در خاک می‌ماند و تا مدت‌ها خاک را غنی از نیتروژن می‌کند. نیتروژن تثبیت شده در آن‌ها در بقایای گیاهی یا **گیاخاک** (*هوموس*) شرکت دارد. این حالت سبب امکان رشد بهتر سایر گیاهان در سال‌های بعد در این خاک می‌شود.

نکته
ریزوبیوم‌ها انواعی از باکتری‌های **خاکزی** مصرف‌کننده مواد آلی هستند که توانایی ساخت مواد آلی را از مواد معدنی ندارند ولی توانایی تثبیت نیتروژن را دارند. به همین دلیل در یک رابطه برد برد دوطرفه با گیاهان شرکت می‌کنند.

نکته
از سال‌های قدیم برای **تقویت خاک، تناوب کشت** گیاهان انجام می‌شد به صورتی که گیاهان **زراعی مختلف** را پی‌درپی می‌کاشتند. به همین دلیل کشاورزان هر چند سالی که محصول اصلی خود را می‌کاشتند و برداشت می‌کردند، یک سال نیز گیاهان تیرهٔ پروانه‌واران را کشت می‌دادند. همزیستی این گیاهان با ریزوبیوم‌ها باعث غنی شدن خاک از منبع **نیتروژن** می‌شود. در نتیجه خاک آن‌ها حاصل‌خیز شده و برای چند سال پر از گیاخاک نیتروژن‌دار می‌شد که شرایط بسیار مطلوبی برای رویش سایر گیاهان می‌باشد.

نکته
به دلیل شباهت **گل‌های** گیاهان تیرهٔ پروانه‌واران به پروانه، آن‌ها را به نام تیرهٔ پروانه‌واران، نام‌گذاری کرده‌اند.



تست ۹ شکل در ارتباط با ساختاری است که ..... (قلم‌چی)



۱) می‌تواند گیاخاک غنی از نیتروژن به وجود آورد.
۲) نوعی همزیستی با باکتری فتوسنتزکننده دارد.
۳) به علت وجود تشکیل غلاف در سطح ریشه و نفوذ به درون آن، جذب مواد معدنی را افزایش می‌دهد.
۴) به صورت انگل با ایجاد اندام مکنده و نفوذ به درون ریشه، مواد مغذی را دریافت می‌کند.

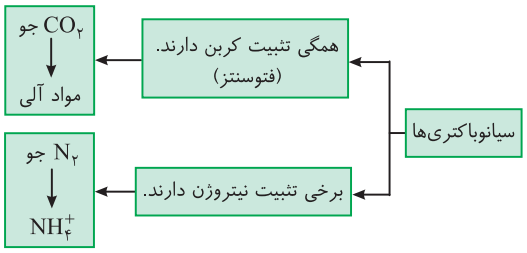
پاسخ ۱ B
شکل در ارتباط با **گرهک**‌های ریشهٔ گیاهان پروانه‌واران است که نوعی باکتری تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن به نام ریزوبیوم در آن زندگی می‌کند. با مرگ گیاه و باقی ماندن گرهک‌ها در خاک، گیاخاک غنی از نیتروژن ایجاد می‌شود. ریزوبیوم‌ها فتوسنتزکننده نیستند و برخلاف قارچ‌ها در ریشه، تشکیل غلاف نمی‌دهند (رد گزینه‌های (۲) و (۳)). همزیستی میان ریزوبیوم و گیاه، از نوع انگلی نیست چون به هر دو طرف سود می رسد (*همیاری*) (رد گزینهٔ (۴)).

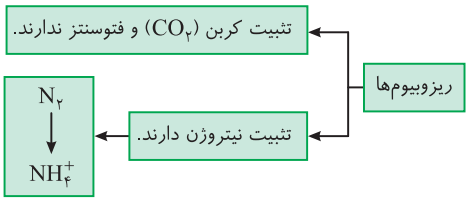
● ۲) همزیستی گیاه با سیانوباکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن

سیانوباکتری‌ها از باکتری **فتوسنتزکننده** می‌باشند که همانند سایر فتوسنتزکنندگان طبیعت می‌توانند با استفاده از انرژی نور خورشید CO_2 جو را تثبیت کرده و به صورت مواد آلی دربیاورند، ولی **برخی** از سیانوباکتری‌ها، علاوه بر فتوسنتز (*تثبیت کربن که در سال دوازدهم می‌خوانید*) توانایی تثبیت نیتروژن و تبدیل N_2 جو به آمونیوم (NH_4^+) را نیز دارند (*دقت کنید که همهٔ سیانوباکتری‌ها، فتوسنتزکننده و تولیدکنندهٔ O_2 هستند ولی برخی می‌توانند تثبیت نیتروژن کنند*).

نکته

در زیست دوازدهم می‌آموزید که سیانوباکتری‌ها، باکتری‌هایی دارای رنگیزه **کلروفیل a** بوده که همانند گیاهان با استفاده از الکترون‌های **آب** و انرژی **نور خورشید** به تولید مواد آلی می‌پردازند و سبب آزاد کردن گاز O_2 به اتمسفر می‌شوند.





چرا باکتری فتوسنتزکننده با گیاه همزیستی می‌کند؟

مشاهده شده است اگر نور به سیانوباکتری‌هایی که در مجاور گیاه قرار می‌گیرند، نرسد، در حقیقت منبع انرژی لازم برای فتوسنتز قطع شده است و باکتری فاقد قدرت فتوسنتزی می‌شود که برای آن‌ها مرگ‌آور است. در اثر همزیستی آن‌ها با گیاهان مشکل آن‌ها در نداشتن فتوسنتز و غذاگیری در این شرایط حل می‌شود. از طرفی نیتروژن مورد نیاز گیاه را نیز فراهم می‌کند.

همزیستی آزولا با سیانوباکتری‌ها

آزولا که گیاه **کوچک** آبزی در تالاب‌های شمال ایران و مزارع **برنج** می‌باشد، با سیانوباکتری‌ها همزیستی دارد. البته این گیاه، بومی ایران نیست بلکه آن را برای تقویت مزارع برنج به تالاب‌های شمال وارد کردند ولی به دلیل همزیستی آن با **سیانوباکتری**، رشد **سریعی** داشت و آن‌قدر در تالاب زیاد شد که مانع ورود **نور** به تالاب شد و در اثر کمبود فتوسنتز جانداران **آبزی** در این ناحیه، **اکسیژن** آب کم شد و سبب مرگ بسیاری از آبزیان منطقه شد، اکنون رشد این گیاهان، معضلی برای این تالاب‌ها شده است.


«آزولا»

نکته

این عمل همانند اثر زیادی کودهای **شیمیایی** برای رشد زیاد جانداران فتوسنتزکننده آبزی می‌باشد که مانع ورود نور و اکسیژن کافی به آب برای سایر جانداران می‌شود. در اثر این همزیستی، گیاه از سیانوباکتری، آمونیوم را به همراه نیتروژن تثبیت شده به دست می‌آورد و از طرفی به این باکتری مواد آلی می‌رساند.
گیاه آزولا در سامانهٔ زمینه‌ای خود پارانشیم‌های هوادار دارد (*چون آبزی می‌باشد*).

همزیستی گونرا با سیانوباکتری‌ها

بعضی از گیاهان مانند **گونرا** می‌توانند در **نواحی فقیر از نیتروژن** رشد شگفت‌انگیزی داشته باشند. دلیل این رشد، همزیستی با سیانوباکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن درون **ساقه و دمبرگ** گیاه می‌باشد. دقت کنید که علت رشد بسیار زیاد این گیاهان که در شکل مقابل در مقایسه با اندازهٔ بدن انسان می‌بینید همزیستی آن‌ها با سیانوباکتری‌ها بوده است.


«گونرا»

نکته

علت بزرگ بودن گیاه گونرا و برگ آن‌ها در مناطق دارای فقر نیتروژن، همزیستی آن‌ها با سیانوباکتری‌ها و تثبیت نیتروژن توسط این باکتری‌هاست.

نکته

ریزوبیوم با **ریشهٔ** گیاهان همیاری می‌کند ولی سیانوباکتری با بخش‌های **هوایی و** فتوسنتزکنندهٔ گیاه همیاری می‌کند.

تست ۱۰ **کدام گزینه عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در همزیستی ..... با .....»**

۱) قارچ - ساقهٔ گونرا، تثبیت نیتروژن انجام می‌شود.
۲) ریزوبیوم - ریشهٔ سویا، برجستگی‌هایی در ریشه ایجاد می‌شود.
۳) سیانوباکتری - آزولا، اندازهٔ گیاه از انسان هم بزرگ‌تر می‌شود.
۴) باکتری فتوسنتزکننده - دمبرگ نوعی گیاه، تثبیت نیتروژن دیده می‌شود.

پاسخ ۴ B

در همزیستی سیانوباکتری فتوسنتزکننده با دمبرگ یا ساقهٔ گونرا، تثبیت نیتروژن الزامی است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): قارچ با ساقهٔ گونرا همزیستی ندارد. / گزینهٔ (۲): این برجستگی‌ها از قبل در ریشهٔ پروانه‌واران بوده است. / گزینهٔ (۳): اندازهٔ آزولا از یک بند انگشت هم کوچک‌تر است ولی گونرا اندازهٔ بسیار بزرگی دارد.

تست ۱۱ **سیانوباکتری‌ها .....** (قلم‌چی)

۱) همواره توانایی تثبیت نیتروژن را دارند.
۲) نیتروژن تثبیت شده توسط آزولا را دریافت می‌کنند.
۳) با انجام فتوسنتز در کلروپلاست خود، نیاز به جذب مواد آلی ندارند.
۴) با وجود توانایی فتوسنتز می‌توانند از محصولات فتوسنتزی گیاه نیز استفاده نمایند.

پاسخ ۴ B

سیانوباکتری‌ها، نوعی از باکتری‌های فتوسنتزکننده هستند که در هنگام همزیستی با بعضی گیاهان نظیر گونرا از محصولات فتوسنتزی گیاه نیز استفاده می‌کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): تنها برخی از سیانوباکتری‌ها علاوه بر تثبیت کربن (*خوستر*) به تثبیت نیتروژن می‌پردازند. / گزینهٔ (۲): وظیفهٔ سیانوباکتری‌های همزیست با آزولا، تأمین نیتروژن آن است (*نه مصرف نیتروژن گیاه*). / گزینهٔ (۳): سیانوباکتری‌ها در همزیستی با گیاهان مختلف، می‌توانند در قسمت‌هایی قرار بگیرند که نور به آن‌ها نرسد و نتوانند به خوبی فتوسنتز کنند. در این صورت می‌توانند از گیاه همیار، مواد آلی دریافت کنند.

روش‌های دیگر به دست آوردن غذا در گیاهان

گیاهان حشره‌خوار

برخی از گیاهان با اینکه فتوسنتزکننده‌اند و مواد آلی مورد نیاز خود را با استفاده از نور خورشید و مواد معدنی می‌سازند ولی در مناطق فقیر از نظر **نیتروژن** زندگی می‌کنند و مجبورند با شکار برخی جانوران **کوچک** و گوارش آن‌ها، نیتروژن کافی مورد نیاز خود را برای ساخت پروتئین‌ها و مواد وراثتی به دست بیاورند.


«توبره‌واش»

نکته دقت کنید که اسم این گیاهان، حشره‌خوار است ولی کتاب شکار آن‌ها را جانورانی کوچک مانند حشرات دانسته است (*نه فقط حشرات*).

در این گیاهان (*مثل توبره‌واش در تالاب‌های شمال کشور*) **برخی برگ‌ها** (*نه همهٔ آن‌ها*) که اغلب دارای مژه‌های حساسی برای تماس با بدن جانوران کوچک مثل حشرات یا لاروی آن‌ها هستند، با تماس با بدن حشره **به سرعت** بسته می‌شوند. گیاه توبره‌واش نیز به روش مشابهی حشره یا لاروی آن‌ها را به سرعت به درون بخش **کوزه**مانند می‌کشاند و سپس آن‌ها را **گوارش** می‌دهد. این گیاهان قدرت ترشح آنزیم‌های گوارشی دارند.

نکته گیاه توبره‌واش
- همانند گونرا در مناطق دارای فقر نیتروژن زندگی می‌کند.
- همانند آزولا آبزی است و پارانشیم هوادار دارد.
- برخلاف گونرا و آزولا با جانور به همزیستی نمی‌پردازد بلکه زندگی شکارچی‌وار دارد.
- فقط حشره یا لارو آن را می‌خورد.


«چند نوع گیاه حشره‌خوار»

گیاهان انگل

تنها گیاهانی هستند که **برخی** از آن‌ها **فتوسنتز نمی‌کنند**. در حقیقت در بین گیاهان، انواعی به نام **انگل** وجود دارند که **همه یا بخشی** از آب و مواد غذایی خود را از **گیاهان** فتوسنتزکنندهٔ دیگر دریافت می‌کنند و در حقیقت انگلِ گیاهانِ فتوسنتزکننده هستند. **گیاه سس و گل جالیز دو نمونه از گیاهان انگل می‌باشند.**

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) گیاه سس **ساقهٔ** نارنجی یا زردرنگ کاروتنوئیددار و رنگ‌دیسه‌دار دارد ولی فاقد **ریشه** می‌باشد. این گیاه، انگل و غیرفتوسنتزکننده می‌باشد و به دور گیاه **سبز** میزبان می‌پیچد. گیاه سس، **اندام‌های مکندهٔ** خود را وارد دستگاه و بافت آوندی **آبکش** (*غیرچوبی*) اندام هوایی **سبز** گیاه میزبان می‌کند تا مواد مورد نیاز خود را در این رابطهٔ انگلی از میزبان زنده به دست بیاورد.


«گیاه انگل سس»

۲) دقت کنید که با توجه به گیاه سس می‌توان گفت در برخی گیاهان ساقه وجود دارد ولی به ریشه‌ای متصل نمی‌باشد.

۳) سس، گیاه انگلی است که **همانند** خزه **ریشه** ندارد ولی **برخلاف** خزه فتوسنتز نمی‌کند، پس همهٔ آب و مواد آلی و معدنی مورد نیاز را از گیاهان دیگر می‌گیرد. این گیاه سبزدیسه ندارد ولی مواد رنگی ساقهٔ آن سبب رنگ زرد یا نارنجی آن شده است.

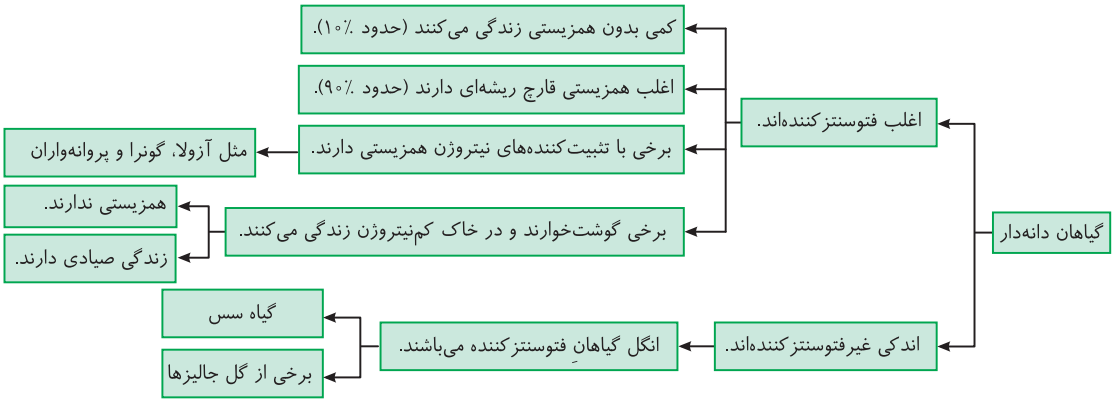
۴) **گل جالیز** گیاه انگل دیگری است که اندام مکنده ایجاد می‌کند و آن را وارد **ریشهٔ گیاهان جالیزی** (*مثل بوتهٔ گوجه‌فرنگی*) می‌کند تا مواد مغذی را دریافت کند.


«رابطه انگلی گیاه گل جالیز با بوتهٔ گوجه‌فرنگی»

۵) انواعی از گیاهان انگلی که فاقد قدرت فتوسنتز هستند، **همهٔ** مواد آلی مورد نیاز را از گیاهان دیگر می‌گیرند ولی برخی دیگر که قدرت فتوسنتز کمی دارند، برخی از مواد آلی مورد نیاز را از گیاهان دیگر می‌گیرند.

۶) گل جالیز یک گیاه انگل می‌باشد و آن را با گیاهان جالیزی مثل گوجه‌فرنگی که میزبان گل جالیز است، اشتباه نگیرید.

۷) در رابطهٔ انگلی، جاندار انگل برای ادامهٔ حیات، محتاج به زنده ماندن جاندار میزبان است، به همین دلیل برخلاف رابطهٔ صیادی (*مثل گیاهان گوشت‌خوار*)، در رابطهٔ انگلی، جاندار انگل، جاندار میزبان را از بین نمی‌برد.



تست ۱۲ **چند عبارت زیر نادرست می‌باشد؟**

الف) آلکالوئیدهای گیاه توبره‌واش سبب مرگ حشرات می‌شوند.

ب) حشرات برخلاف هر نوع گیاهی، واحد آنزیم‌های گوارشی می‌باشند.

ج) ساقهٔ سبز یا نارنجی سِس به دور اندام گیاه میزبان فتوسنتزکننده می‌پیچد.

د) نفوذ اندام مکندهٔ گیاه جالیزی به درون گل جالیز نوعی زندگی انگلی می‌باشد.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۴ همهٔ موارد نادرست می‌باشند.

تله‌های تستی الف) آلکالوئیدها سبب دور کردن گیاه‌خواران می‌شوند ولی در توبره‌واش برگ‌های کوزه‌مانند با خفه کردن حشرات و سایر جانوران کوچک سبب مرگ آن‌ها می‌شوند. / ب) توبره‌واش گیاهی فتوسنتزکننده و دارای آنزیم گوارشی است. / ج) ساقهٔ گیاه سِس، سبز نمی‌باشد. / د) گیاه گل جالیز انگل است و اندام مکنده دارد (*نه گیاه جالیزی*).

● خلاصه روابط گیاهان و جانداران کتاب

رابطه	نوع رابطه	نوع و قسمت گیاه	طرف دوم رابطه	نکته خاص
قارچ ریشه‌ای (میکوریزا)	همزیستی	**ریشه** گیاه آوندی	انواع مختلف قارچ‌ها	بیشترین همزیستی در گیاهان **دانه‌دار** می‌باشد. بیشتر برای گرفتن **فسفات** است.
ریزوبیوم با گیاه	همزیستی	**ریشه** گیاه زراعی	باکتری مصرف‌کننده ریزوبیوم	برای تقویت خاک و تناوب کشت و جذب **نیتروژن** بیشتر می‌باشد.
سیانوباکتری با آزولا	همزیستی	گیاه آبزی **کوچک** آزولا	باکتری فتوسنتزکننده (سیانوباکتری)	سبب **کاهش** ورود نور و O_2 به آب شده است.
سیانوباکتری با گونرا	همزیستی	ساقه و دمبرگ **گونرا**	باکتری فتوسنتزکننده (سیانوباکتری)	در نواحی فقیر از نظر **نیتروژن** می‌باشد.
گیاه گوشت‌خوار - حشرات	صیادی - شکارچی	برخی از برگ‌های گیاه	جانوران کوچک (حشرات)	مانند **توبره‌واش** با اندام کوزه‌مانند - گوارش **برون**یاخته‌ای دارد.
سس و گل جالیز با گیاهان	انگلی	گیاه انگل سس یا گل جالیز	گیاه فتوسنتزکننده	سس **ریشه** ندارد - اندام مکنده برای گرفتن شیرهٔ **پرورده** دارد.

درسنامه

گفتار ۳ انتقال مواد در گیاه

در این گفتار می‌خواهیم به روش‌های انتقال آب و مواد معدنی، از خاک تا اندام فتوسنتزکننده بپردازیم و سپس انتقال مواد آلی ساخته شده در گیاه را به همهٔ اندام‌ها بررسی کنیم. به‌طور کلی آب و مواد محلول مورد نیاز گیاه، **اغلب** از خاک اطراف **ریشه‌ها** جذب شده و به گیاه وارد می‌شود تا توسط مسیرهایی به ساقه و برگ برای فتوسنتز و سایر واکنش‌های زیستی بروند.

نکته

بخش زیادی از آب جذب شده گیاه با فرایند **تعرق** و به صورت **تبخیر** از **سطح** اندام‌های **هوایی** به ویژه برگ به هوا خارج می‌شود. پس از همین اول گفتار دقت کنید که تعرق خروج آب به صورت **بخار** از اندام‌های **هوایی** گیاه می‌باشد.

تعرق و راه‌های مختلف انتقال آب و مواد معدنی

همان‌طور که گفتیم، در **تعرق** خروج آب به صورت بخار از سطح اندام‌های **هوایی** گیاه صورت می‌گیرد که سازوکاری لازم برای جابه‌جایی آب و مواد معدنی در نهایت به **برگ** را فراهم می‌کند. این عامل **مهم‌ترین** نقش را برای انتقال آب از ریشه‌ها به سمت اندام‌های هوایی ایفا می‌کند. در گیاهان آب و املاح یا در مسیرهای کوتاه در **عرض** یک اندام مثل برگ و ریشه حرکت می‌کنند و یا در مسیرهای بلند از **آوندها** گذشته تا از ریشه به ساقه و در انتها به برگ برسند.

نکته

انواع مسیر جابه‌جایی آب و مواد معدنی در گیاهان

- **مسیر کوتاه:** در این مسیر، جابه‌جایی آب و مواد در سطح یک **یاخته یا چند یاخته** بررسی می‌شود.
  - انتقال آب در عرض ریشه
  - انتقال آب در بین یاخته‌های مختلف برگ
- **مسیر بلند:** در این مسیر، جابه‌جایی مواد و آب در مسیر طولانی‌تر و بین **اندام‌های مختلف** که گاهی به ۱۰۰ متر می‌رسد بررسی می‌شود (مثل انتقال آب در طول ساقه از ریشه تا رسیدن به برگ).

نکته

در هر دو مسیر کوتاه و بلند برای انتقال مواد در گیاه، **آب** به عنوان انتقال دهندهٔ مواد، نقش اساسی داشته که **ویژگی آب** در انتقال از محیط دارای محلول رقیق‌تر به غلیظ‌تر با روش **اسمز**، باعث این نقش می‌شود.

بررسی مسیرهای جابه‌جایی مواد در گیاه

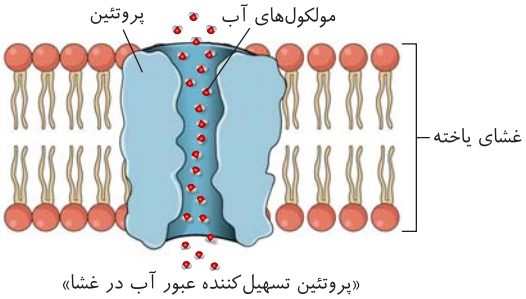
جابه‌جایی مواد در مسیر کوتاه

این مسیر در گیاهان شامل دو قسمت می‌شود
۱) انتقال مواد در سطح یاخته‌ای (ورود به درون یک یاخته)
۲) انتقال مواد در عرض اندام (عبور به اندازه چند یاخته)

● ۱) انتقال مواد در سطح یاخته‌ای

این حالت به بررسی و جابه‌جایی مواد از سطح **غشای** یاخته یا غشای **واکوئول** آن می‌پردازد که مانند فصل (۱) برای انتقال مواد کوچک، مواد برحسب **انتشار** (غیرفعال) **یا انتقال فعال** و در حد تبادل یاخته‌ای منتقل می‌شود. در این روش انتقالی، مواد از غشای یاخته به درون یا بیرون یاخته عبور می‌کند و **تفاوت غلظت** دو سمت غشای یاخته نقش اصلی در جابه‌جایی مواد دارد. دقت کنید که عبور آب از راه فضای بین فسفولیپیدهای غشا و یا بدون عبور از بین پروتئین‌های مخصوص آب در غشای یاخته‌ها در مسیر انتقال مواد در سطح یاخته نقشی دارند ولی عبور آب از فضای بین یاخته‌ها در این مسیر جایی ندارد.

یک مطلب مهم و جدید: در غشای یاخته‌های **جانوری** و **گیاهی** و در غشای واکوئول **برخی** یاخته‌های **گیاهان**، کانال‌های **پروتئینی و فاقد** دریچه‌ای ویژهٔ عبور آب (به نام آکوآپورین) وجود دارند که سرعت جریان آب را بین **یاخته‌ها و واکوئول‌ها** زیاد می‌کنند. در حقیقت مقدار این کانال‌ها برحسب محیط یاخته و جاندار تغییر می‌کند. در هنگام **کم‌آبی**، ساخت این پروتئین‌های غشایی **تشدید** می‌شود. این پروتئین‌ها همان‌طور که در شکل می‌بینید در کل عرض غشا قرار دارند و کل قسمت‌های فسفردار آب‌دوست و اسیدهای چرب آب‌گریز فسفولیپیدها در تماس می‌باشند. در سال یازدهم می‌آموزید که در مناطق خشک، هم‌زمان با افزایش هورمون **آبسیزیک‌اسید** ساخت این پروتئین‌های غشایی زیاد می‌شود تا ورود آب به گیاه از ریشه زیاد شود.



«پروتئین تسهیل‌کننده عبور آب در غشا»

نکته پروتئین‌های توضیح داده شده در مطلب بالا توسط رناتن‌های روی شبکهٔ آندوپلاسمی تولید و در دستگاه گلژی بسته‌بندی می‌شوند.

نکته انتقال آب شیرهٔ خام از راه **کانال پروتئینی آب**، نوعی انتشار **تسهیل شده** می‌باشد که در جهت مقدار آب از جای رقیق به غلیظ می‌باشد. دقت کنید که انتقال آب در این مسیر، نمونه‌ای از **اسمز** از راه این **کانال‌ها** می‌باشد. به یاد دارید که **آب** از هر مسیر فسفولیپیدی یا منافذ پروتئینی غشا امکان عبور دارد. یعنی عبور آب علاوه بر این پروتئین‌های اختصاصی، از لابه‌لای منافذ فسفولیپیدها نیز صورت می‌گیرد.

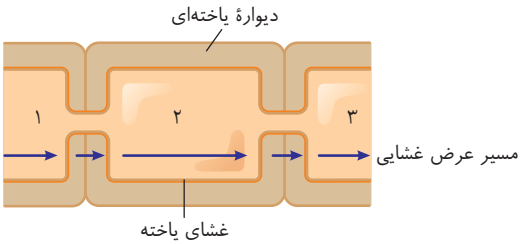
● ۲) انتقال مواد در عرض ریشه

در عرض ریشه، آب و مواد محلول معدنی باید به ترتیب از **روپوست** (اغلب از تارهای کشنده)، **پوست** (بافت زمینه‌ای) و سپس لایهٔ **ریشه‌زا** که خارجی‌ترین بخش دربرگیرندهٔ آوندها است، بگذرند تا به آوندهای **چوبی** برسند. همان‌طور که ذکر کردیم بر طبق قانون انرژی، آب از منطقه‌ای که مقدار آب بیشتری دارد (خاک) تا آوند چوبی ریشه باید منتقل شود. برای انتقال آب در عرض ریشه، سه روش انتقال از **عرض غشا** (از فسفولیپید و پروتئین‌های مخصوص) **انتقال سیمپلاستی** (از راه پلاسمودسم بدون غشا و دیواره) **و انتقال آپوپلاستی** (فقط دیواره‌ای) وجود دارد که در ادامه به بررسی این مسیرها می‌پردازیم.

انواع مسیر انتقال مواد در عرض ریشه

این قسمت را دقیق و با آرامش از درسنامه بخوانید و هر چی را نفهمیدید از QR Code گوش کنید! ولی سعی می‌کنم بهتون بفهمونم! به‌طور کلی در این قسمت دنبال این هستیم که آب و مواد معدنی محلول را در عرض ریشه یاخته به یاخته از روپوست به پوست و از آنجا در نهایت به آوند چوبی برسانیم. دقت کنید که انتقال مواد در عرض ریشه به صورت یاخته به یاخته یا از بین آن‌ها از سه راه انتقالی مختلف به نام‌های عرض غشایی، سیمپلاستی و آپوپلاستی صورت می‌گیرد. **لطفاً در تست‌ها دقت کنید که انتقال در عرض ریشه را با انتقال در عرض غشا دچار خطای دید نشوید!!**

الف) انتقال در عرض غشا

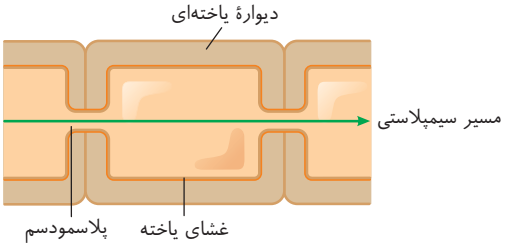


در این مسیر، آب و املاح طبق قانون اسمز و انتشار، **بدون** اینکه از **کانال‌های پلاسمودسمی** عبور کنند، از طریق **غشای** دو یاخته (فضای بین فسفولیپیدها و کانال‌های مخصوص آب) عبور می‌کنند و بین دو یاخته مبادله می‌شوند. البته در طی این مسیر، کمی نیز از **دیواره** بین دو یاخته نیز منتقل می‌شوند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید از غشای یاختهٔ (۱) مواد از غشا گذشته و سپس از رشته‌های سلولزی دیواره عبور کرده و دوباره از غشای یاختهٔ (۲) وارد یاختهٔ جدید می‌شود و همین‌طور ادامه می‌یابد تا یاخته به یاخته جلو برود مگر اینکه به بخش چوبی یا چوب‌پنبه‌ای برخورد کند. در حقیقت بعد از رسیدن به سیتوپلاسم یاختهٔ مجاور باز هم از طریق غشای یاخته‌ها و بدون عبور از پلاسمودسم‌ها عبور کرده تا با عبور از دیوارهٔ بین دو یاخته، به یاختهٔ کناری رسیده تا در نهایت به آوند چوبی ریشه برسند.

نکته در این روش آب هم از غشای یاخته‌ها و هم از فضای بین رشته‌های سلولزی دیواره عبور می‌کند ولی از کانال‌های پلاسمودسمی عبور نمی‌کند (*این راه برای انتقال شیرهٔ خام، کمتر از سایر موارد استفاده می‌شود*). این روش تنها روشی است که پروتئین‌های مخصوص انتقال آب و فسفولیپیدها در آن مؤثرند.

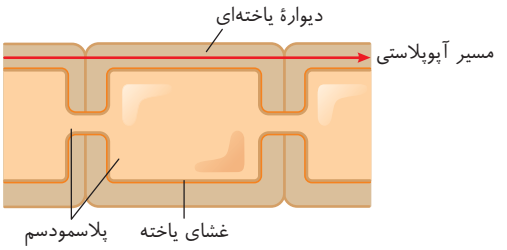
نکته همان‌طور که در فصل قبل آموختید، دیواره‌های **چوبی** و **چوب‌پنبه‌ای** به آب نفوذناپذیر است. پس روش‌هایی که آب در حین عبور باید از دیواره نیز رد شود، اگر دیوارهٔ بین دو یاخته دارای لیگنین یا چوب‌پنبه شده باشد مسیر را پایان می‌دهند که معمولاً بین دو یاختهٔ زنده، لایهٔ بین دو یاختهٔ زنده، چوبی یا چوب‌پنبه‌ای نمی‌شود.

ب) انتقال سیمپلاستی (سیمپلاست = پروتوپلاست + منافذ پلاسمودسمی)



در این مسیر، مواد برحسب مقدار آب و نیروی اسمز و انتشار، از پروتوپلاست یک یاخته و از طریق **کانال‌هایی به نام پلاسمودسم** به پروتوپلاست یاختهٔ مجاور می‌رسد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید مواد در این مسیر نه از غشا عبور می‌کنند نه از دیواره! و حتماً دو یاختهٔ زنده در انتقال آن مؤثر است. لازم به تذکر است که به دلیل اینکه منافذ و کانال‌های پلاسمودسم **بزرگ** هستند، علاوه بر آب و بسیاری از مواد محلول، مواد بزرگی مثل پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها (*دنا و رنا*) و حتی **ویروس‌های** گیاهی نیز می‌توانند از پلاسمودسم‌ها و مسیر سیمپلاستی عبور کنند. به همین دلیل در مسیرهای عرض ریشه، **بیشترین** راه انتقال مواد، از مسیر سیمپلاستی می‌باشد. در این روش آب به همراه مواد معدنی محلول عبور می‌کنند ولی از غشا یا دیوارهٔ یاخته‌ای رد نمی‌شوند. ویژگی ممتاز این مسیر عدم عبور مواد از دیوارهٔ یاخته‌ای یا غشا می‌باشد به همین دلیل در هر یاختهٔ زنده با هر نوع دیواره و غشایی فقط بر مبنای اندازهٔ مواد این مسیر بدون مشکل انجام می‌شود (*این مسیر اغلب ارگان‌ها که دارای پلاسمودسم‌های فراوان می‌باشند صورت می‌گیرد ولی در یاخته‌های اسکلرانشیمی که مرده‌اند معنی پیدا نمی‌کند چون فاقد پلاسمودسم هستند*).

ج) انتقال از مسیر آپوپلاستی



در این مسیر، مواد محلول به همراه آب، از **فضاهای بین‌یاخته‌ای** و نیز از **دیوارهٔ** یاخته‌ها یعنی از فضای بین رشته‌های **سلولزی** عبور می‌کنند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید مواد در این مسیر از بخش زندهٔ یاخته یا پروتوپلاست عبور نمی‌کنند و پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب مهم‌ترین نقش را دارد که باعث به هم چسبیدن (*نیروی هم‌چسبی*) بین مولکول‌های آب می‌شود. این مسیر در بخش‌های چوبی یا چوب‌پنبه‌ای شده کاملاً متوقف می‌شود.

نکته در مسیر آپوپلاستی برخلاف سیمپلاستی و عرض غشایی، هیچ‌گاه مواد از درون یاخته یا غشای یاخته عبور نمی‌کنند. این مسیر در عبور از دیواره‌های چوبی (*اسکلرانشیم و آوند چوبی*) یا چوب‌پنبه‌ای (*پریدرم*) ناتوان می‌باشد.

نکته مسیر آپوپلاستی نوعی عبور آب و املاح از راه غیرپروتوپلاستی است ولی در دو مسیر سیمپلاستی و عرض غشایی، آب و املاح قطعاً از سیتوپلاسم یا درون یاخته عبور می‌کنند. البته دقت کنید که مسیر آپوپلاستی علاوه بر دیواره می‌تواند از فضای بین‌یاخته‌ای نیز عبور کند.

نکته فقط مسیر سیمپلاستی توانایی عبور مواد آلی و درشت‌مولکول‌ها مثل پروتئین، دنا و رنا را دارد.

انتقال شیرهٔ خام در
- مسیر آپوپلاستی ← فقط از **دیواره** یا فضای بین‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد. ← مسیر **غیر**پروتوپلاستی است.
- مسیر سیمپلاستی ← فقط از درون پروتوپلاست و از طریق **پلاسمودسم‌ها** صورت می‌گیرد (*همراه با مواد مختلف آلی و معدنی*).
- مسیر عرض غشایی ← از عرض غشا، یعنی فسفولیپیدها و کانال‌های پروتئینی **مخصوص آب** و دیواره در محل تماس دو یاخته صورت می‌گیرد.

تست ۱۳ **کدام گزینه در مورد انتقال مواد در گیاهان درست است؟**

۱) در دیوارهٔ یاخته‌های گیاهی، کانال‌های پروتئینی برای انتقال آب وجود دارند.

۲) هنگام کم‌آبی، کانال‌های پروتئینی ویژهٔ عبور آب بسته می‌شوند تا آب از درون واکوئل‌ها خارج نشود.

۳) در جانداران مختلف، کانال‌های غشایی مخصوص آب، از واکوئل دارای فشار اسمزی کمتر به محل دارای فشار اسمزی بیشتر فعالیت دارند.

۴) انتقال سیمپلاستی آب و مواد محلول معدنی، در محل لان به مقدار بیشتری صورت می‌گیرد.

پاسخ ۴ (B) در انتقال سیمپلاستی، آب و مواد معدنی محلول در آن از راه پلاسمودسم‌ها (*کانال‌های سیتوپلاسمی*) منتقل می‌شود که می‌دانید در محل لان، تراکم پلاسمودسم زیاد است.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): کانال پروتئینی ویژه عبور آب در غشای بعضی یاخته‌های گیاهی و جانوری و غشای واکوئل بعضی یاخته‌های گیاهی وجود دارد. (*این پروتئین‌ها در دیواره دیده نمی‌شوند.*) / گزینهٔ (۲): کانال‌های پروتئینی ویژه عبور آب همیشه باز هستند و اتفاقاً ساخت آن‌ها در هنگام کم‌آبی، بیشتر هم می‌شود. / گزینهٔ (۳): آب همواره از محل دارای مقدار آب بیشتر به محل دارای مقدار آب کمتر منتقل می‌شود ولی دقت کنید که پروتئین‌های غشایی عبور آب ویژهٔ غشای جانوری و گیاهی و واکوئل گیاهان می‌باشد (*بنابراین فقط در گیاهان می‌توانند مستقیماً بر میزان آب واکوئل تأثیر بگذارند (نه جانداران مختلف)*).

عبور آب و املاح از خاک تا آوندهای چوبی ریشه

اگر بررسی عرض ریشه در فصل قبل را به یاد داشته باشید، حتماً می‌دانید که از خارج به داخل ریشهٔ جوان به ترتیب **روپوست**، **پوست** و **بخش آوندی** دیده می‌شود. در اینجا دو واژهٔ جدید را یاد می‌گیرید یکی آندودرم یا درون‌پوست است که به درونی‌ترین لایه پوست، گفته می‌شود و دیگری به لایهٔ یاخته‌ای زیر آن که **لایهٔ ریشه‌زا** گفته می‌شود و سپس آوندهای مختلف ریشه شروع می‌شوند. همان‌طور که دیدید در عرض ریشه، آب و مواد محلول از همه جای یاخته و ترکیبات غشا یا دیواره آن می‌توانند عبور کنند و فقط اگر قسمتی **چوب‌پنبه‌ای** (*نوعی بیدی*) یا **لیگنینی** (*چوبی*) باشد، نسبت به عبور آب و مواد محلول نفوذناپذیر می‌شود. در حقیقت در عرض ریشه‌های **جوان**، عبور آب و مواد محلول، از روپوست (*که برخی یاخته‌های آن دراز و تمایزیافته تر کشنده هستند*) تا به **درونی‌ترین** لایهٔ پوست یعنی آندودرم یا درون‌پوست، همواره بدون مشکل و از هر سه مسیر **آپوپلاستی، سیمپلاستی** و **عرض غشایی** صورت می‌گیرد ولی داستان از اینجا شروع می‌شه که در لایهٔ درون‌پوست که داخلی‌ترین لایهٔ **پوست** می‌باشد، یاخته‌ها به صورت **استوانه‌ای ظریف** و کاملاً به هم چسبیده قرار گرفته‌اند و سدی در مقابل عبور آب و املاح ایجاد می‌کند حالا این سد چیه؟!

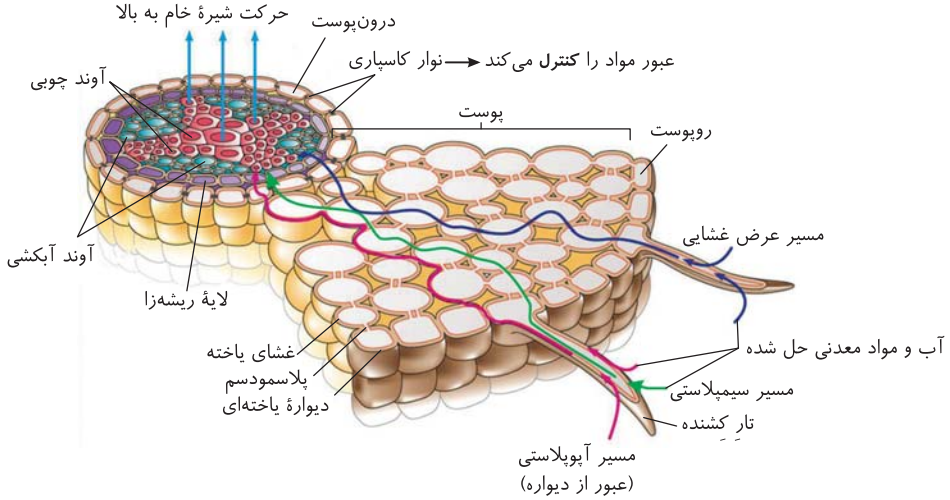
پاسخ اینه که علاوه بر فضای بین‌یاخته‌ای **بسیار کم** یاخته‌های درون‌پوست، هر یاختهٔ درون‌پوستی در **چهار دیوارهٔ جانبی خودش** (*یعنی همهٔ سطوح بجز سطوحی که به سمت پوست و لایهٔ ریشه‌زا است*)، نواری از جنس **چوب‌پنبه** یا سوبرین به نام **نوار کاسپاری** دارد که به آب و مواد محلول **نفوذناپذیر** است. به همین دلیل انتقال آب و مواد محلول از بخش بیرونی درون‌پوست به یاخته‌های **لایهٔ درون‌پوست**، از طریق مسیر آپوپلاستی یا همان دیواره‌های چوب‌پنبه‌ای شده مقدور نمی‌باشد. در حقیقت انتقال آب و املاح در عرض ریشه، از تار کشنده تا **قبل** از آندودرم، از هر سه مسیر عبوری عرض غشایی، آپوپلاستی و سیمپلاستی مقدور است ولی ورود آب و املاح به درون **آندودرم** ریشهٔ گیاهان، به دلیل وجود نوار کاسپاری، **فقط از راه سیمپلاستی** و کمی نیز عرض غشایی مقدور می‌باشد ولی به هیچ عنوان از طریق آپوپلاستی وارد آندودرم نمی‌شود. حالا شاید سؤال کنی که خب مسیر عرض غشایی هم در بین دو غشا کمی دیواره داشت چرا از اون دیواره می‌تونه عبور کنه؟ جوابش واضحه چون نوار کاسپاری فقط از ۶ لایهٔ اطراف یاخته‌های استوانه‌ای، چهار لایهٔ آن را گرفته است. پس دیواره در لایه‌ای که بین درون‌پوست و یاخته سطح خارجی آن است، چوب‌پنبه‌ای نشده و به آب و مواد نفوذپذیر است.

مسیر عبور مواد از درون‌پوست به بعد

بعد از اینکه آب و املاح **وارد لایهٔ درون‌پوست شدند**، شیرهٔ خام می‌تواند دوباره از هر سه مسیر **آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی** به **لایهٔ ریشه‌زا** یعنی به زیر پوست و سپس به آوندهای چوبی ریشه منتقل شود که به این فرایند، **بارگیری چوبی** می‌گویند. در این حالت مواد به هر طریقی وارد آوندهای چوبی ریشه می‌شوند و در ادامه به سمت مسیرهای **طولانی‌تر** صعودی در گیاه یعنی به سمت ساقه و برگ، حرکت می‌کنند.

تـوجه! یاخته‌های درون‌پوست **دو نقش مهم دارند، یکی انتقال مواد به لایهٔ زیر خود را کنترل می‌کنند**، یعنی این لایه (*آندودرم*) در ریشه مانند یک صافی یا فیلتر می‌باشد تا مواد ناخواسته و مضر از **مسیر آپوپلاستی** عبور نکرده یعنی این مواد از بخش غیرزنده یا دیواره، بدون بررسی شدن مواد آن‌ها و نیاز گیاه در درون یاخته آندودرمی، به درون آوندهای گیاه حق منتقل شدن ندارند و از طرفی دومین نقش این است که از **بازگشت مواد جذب شده به بیرون از ریشه** جلوگیری می‌کنند، یعنی از برگشت مواد از بخش زیر پوست و آوندها به **پوست** جلوگیری می‌کنند.

بارگیری چوبی: انتقال آب و املاح معدنی به درون آوند چوبی ریشه می‌باشد که به مادهٔ وارد شده به آوند چوبی، شیرهٔ خام گفته می‌شود. برای این عمل مشاهده کردید که در مسیر کوتاه، سه روش آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی، در عرض ریشه کمک می‌کنند.



نکـته

نوار کاسپاری، مانع ادامهٔ انتقال شیرهٔ خام از راه غیر پروتوپلاستی یعنی در مسیر آپوپلاستی (*از راه دیواره‌ای*) به درون یاخته‌های آندودرم ریشه می‌شود ولی راه سیمپلاستی (*پلاسمودسم*) و عرض غشایی هیچ‌گاه به مشکل نمی‌خورند. دقت کنید که اگر عبور مواد از عرض غشا صورت بگیرد، منظور مسیر عرض غشایی است ولی اگر مواد از غشا و دیواره عبور نکرد، یعنی مسیر سیمپلاستی است ولی اگر فقط از دیواره عبور کرد، مسیر آپوپلاستی است که کتاب درسی نوار کاسپاری را مسئول ممانعت از مسیر **آپوپلاستی** می‌داند، چون در مسیر آپوپلاستی فقط دیواره و فضای بین‌یاخته‌ای مؤثر است. **در هر صورت دقت کنید که نوار کاسپاری مانع از عبور مواد از دیوارهٔ یاخته آندودرمی یا مسیر آپوپلاستی می‌شود.**

تست ۱۴ چند مورد عبارت مقابل را به نادرستی کامل می‌کند؟ «هر یاختهٔ با دیوارهٔ چوب‌پنبه‌ای، در گیاهان ..... » (قلم‌چی)

الف) حاصل فعالیت کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز است.
ب) فاقد پروتوپلاست است.
ج) نسبت به آب در تمام سطوح نفوذناپذیر است.
د) دارای ترکیبی لیپیدی است.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

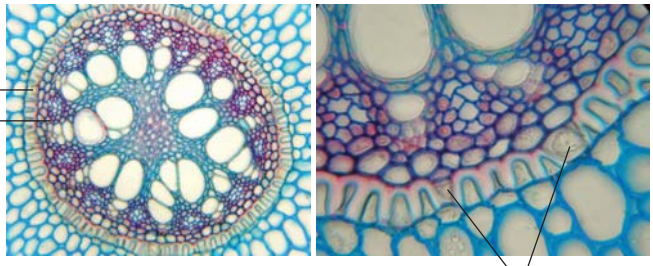
پاسخ ۳ (C) موارد (الف)، (ب) و (ج) نادرست می‌باشند.

تله‌های تستی الف) نادرست است. در فصل بعد می‌خوانید که یاخته‌های با دیوارهٔ چوب‌پنبه‌ای را می‌توان در درون‌پوست ریشه (به‌نام نوار کاسپاری) و نیز پیراپوست ریشه و ساقه در گیاهان دولپه مشاهده کرد که یاخته‌های درون‌پوست حاصل فعالیت کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز نیستند. / ب) نادرست است. یاخته‌های درون‌پوست ریشه چوب‌پنبه‌ای هستند ولی دارای پروتوپلاست‌اند. / ج) نادرست است. یاخته‌های درون‌پوستی که تنها در دیواره‌های جانبی خود دارای نوار کاسپاری هستند از سطوح غیرچوب‌پنبه‌ای خود نسبت به آب نفوذپذیرند. / د) درست است. سوبرین یا چوب‌پنبه ترکیبی لیپیدی است.

یاخته‌های معبر

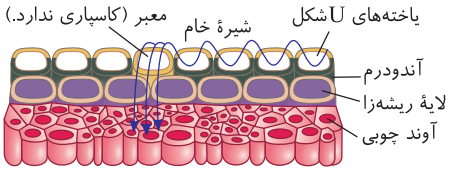
در ریشهٔ **برخی** گیاهان (کم‌اغلب تک‌لپه‌ها)، در لایهٔ **درون‌پوستی** (آندودرمی)، علاوه بر اینکه در **چهار** سطح جانبی دیوارهٔ یاخته‌ها، نوار کاسپاری **چوب‌پنبه‌ای** وجود دارد، در دیوارهٔ **پشتی** این یاخته‌های آندودرمی یعنی در سمتی که به سمت لایهٔ ریشه‌زا می‌باشد نیز نوار کاسپاری وجود دارد که اگر در زیر میکروسکوپ **نوری** به این یاخته‌ها نگاه کنیم، یک حالت **نعل اسبی یا U شکل** در دیوارهٔ این یاخته دیده می‌شود. این نوار کاسپاری نعل اسبی، مانع انتقال مواد **از هر سه نوع راه عبور**، از درون‌پوست به لایهٔ ریشه‌زای زیرین آن در گیاه می‌شود. برای حل مشکل عبور مواد، در این گیاهان **یاخته‌های درون‌پوستی** ویژه‌ای به نام **یاختهٔ معبر** وجود دارند که دیوارهٔ آن‌ها در هر ۶ سطح خود **فاقد نوار کاسپاری** می‌باشد و امکان انتقال مواد در عرض ریشه تا رسیدن به آوند چوبی **فقط** از طریق **این یاخته‌های معبر** ولی از هر سه مسیر عرض غشایی، آپوپلاستی و سیمپلاستی وجود دارد.

توجه! دانش‌آموزان عزیز، لطفاً دقت کنید که در این گیاهان ورود آب و املاح به درون هر یاختهٔ آندودرمی بدون مشکل از راه **عرض غشایی** و **سیمپلاستی** انجام می‌شود ولی در یاخته‌های U مانند نعل اسبی، این مواد جمع شده و امکان انتقال به لایهٔ زیرین پوست از هیچ طریقی وجود ندارد. به همین دلیل این مواد، باید دوباره از طریق پوست به یاخته‌های خارج آندودرمی رفته و یاخته به یاخته در آندودرم منتقل شوند تا در نهایت به نزدیک‌ترین یاختهٔ **معبر** برای عبور از درون‌پوست و ورود به لایهٔ زیرین آن یعنی لایهٔ ریشه‌زا برسند.



«یاخته‌های معبر در درون‌پوست»

(در ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها معمولاً وجود دارد)



یاخته	محل	تعداد سطوح کاسپاری‌دار	راه عبور شیرهٔ خام به درون یاختهٔ آندودرمی
آندودرمی کاسپاری‌دار عادی	ریشه فاقد یاختهٔ معبر	۴	مسیر **سیمپلاستی** و کمی عرض غشایی
معبر	**آندودرم** ریشه معبردار	۰	آپوپلاستی - سیمپلاستی - عرض غشایی
یاخته U شکل (نعل اسبی)	آندودرم ریشه معبردار	۵	آب و املاح از راه عرض غشایی و **سیمپلاستی** وارد آن‌ها می‌شوند ولی برای وارد شدن به لایهٔ ریشه‌زا باید از یاخته‌های کاسپاری‌دار U شکل خارج شوند تا به یاختهٔ معبر در آندودرم برسند وگرنه از یاختهٔ U شکل نمی‌توانند به لایه‌های زیرین منتقل شوند.

تست ۱۵ کدام گزینه صحیح است؟ «در هر گیاه آوندی، حلقهٔ کاسپاری مانع عبور آب از ..... یاخته‌های ..... در ریشه می‌شود.»

۱) سطح درونی - درون‌پوست ۲) سطح درونی - لایهٔ ریشه‌زا ۳) دیوارهٔ جانبی - درون‌پوست ۴) دیوارهٔ جانبی - لایهٔ ریشه‌زا

پاسخ ۳ (A) حلقهٔ کاسپاری که در دیوارهٔ یاخته‌های درون‌پوست وجود دارد، نسبت به آب نفوذناپذیر است در نتیجه مانع عبور آب از دیوارهٔ یاخته‌ها می‌شود و آب را به درون پروتوپلاست هدایت می‌کند. (نوار کاسپاری در لایه‌های جانبی هر یاختهٔ درون‌پوست ریشه، در همهٔ گیاهان ریشه‌دار وجود دارد و برای انتقال مواد به یاخته‌ها، راه آپوپلاستی به راه‌های عرض غشایی و سیمپلاستی تبدیل می‌شود.)

انتقال آب و مواد معدنی در مسیرهای بلند

خب تا اینجا متوجه شدید که آب و املاح چگونه در عرض ریشه یاخته به یاخته یا از بین آن‌ها حرکت می‌کنند تا به آوند چوبی برسند. در آوند چوبی به آب و املاح درون آن، شیرهٔ خام گفته می‌شود که باید مسیری طولانی را تا رسیدن به برگ به سمت بالا طی کند (*در ادامه به بررسی این مسیر می‌پردازیم*). دقت کنید که شیرهٔ خام وارد شده به آوند چوبی ریشه، گاه باید برای رسیدن به **برگ**، مسافتی **بسیار طولانی** چند متری یا چند ده متری را طی کند، به همین دلیل **انتشار ساده** و **انتشار تسهیل شده از کانال‌ها** و پلاسمودسم‌ها برای انتقال آن‌ها در این مسیرها **کارآمد نمی‌باشد**، چون این مکانیسم‌ها بسیار به **کندی** صورت می‌گیرند. از طرفی دقت کنید که یاخته‌های آوند چوبی در حالت بلوغ، **چوبی** شده و **مرده** هستند و چون دیوارهٔ لیگنینی آن‌ها به آب نفوذناپذیر است، شیرهٔ خام از دیوارهٔ آن‌ها عبور نمی‌کند. از طرفی پروتوپلاست حاوی واکوئول و غشای آن نیز از بین رفته است و کانال‌های غشایی و پلاسمودسم مخصوص انتقال آب در آن‌ها وجود ندارند. به همین دلیل انتقال شیرهٔ خام درون آوند چوبی فقط از طریق **لان‌هایی** در انتهای مخروطی تراکئیدها و یا آوندهای لوله‌ای پیوسته **بدون دیوارهٔ عرضی به صورت جریان توده‌ای** انجام می‌شود که در ادامه به بررسی این مسیر می‌پردازیم.

جریان توده‌ای

حرکت **گروهی شیره‌های گیاهی** در آوندهای **چوبی و آبکش** گیاهان می‌باشد که در مسیر طولانی انتقال مواد کاربرد دارد. این حرکت، باعث انتقال مواد از **جایی با فشار زیادتر به جایی با فشار کمتر می‌شود**. دقت کنید که در این قسمت می‌خواهیم به بررسی عوامل مؤثر در صعود شیرهٔ خام در آوند چوبی از ریشه به سمت بالا بپردازیم.

نکته

سرعت انتشار آب و مواد در گیاه
- در روش انتشار ساده و تسهیل شده عرض ریشه ← فقط **چند میلی‌متر در روز** است.
- در جریان توده‌ای به سمت بالا ← **چند متر در روز** است.

عوامل مؤثر در صعود شیرهٔ خام گیاه
- عواملی با اثر مثبت در انتقال مواد به صورت جریان توده‌ای در آوند چوبی گیاهان در مسیر بلند
  - عوامل کششی (*مکش*) آب از **بالای** گیاه
    - تعرق ← خروج آب به صورت **بخار** (*عامل اصلی*)
    - تعریق ← خروج آب به صورت **مایع**
  - عوامل فشاری از **پایین** گیاه ← فشار ریشه‌ای
  - خواص ویژهٔ آب
    - هم‌چسبی (*پیوند هیدروژنی مولکول‌های آب*)
    - دگرچسبی (*چسبندگی آب به دیوارهٔ آوند چوبی*)
- عواملی که در انتقال مواد در آوند چوبی اثر **منفی** دارند
  - نیروی جاذبهٔ زمین
  - اصطکاک شیرهٔ خام با دیوارهٔ آوند چوبی
  - وجود حباب‌های هوا در مسیر شیرهٔ خام (*برای بیشتر بدانید شما!*)

بررسی فشار ریشه‌ای (رانده شدن آب از پایین)

در شکل مقابل، مشاهده می‌کنید که ابتدا، ساقهٔ سبز گیاه را از بالای ریشه قطع کرده‌ایم تا عواملی که از بالا به مکش صعود شیرهٔ خام کمک می‌کنند، از بین بروند. سپس به جای آن قسمت، یک لولهٔ شیشه‌ای یا پلاستیکی خمیده و حاوی مقداری جیوه را به آن وصل کرده‌ایم. در صورتی که ریشهٔ گیاه در خاک **مرطوب و پرآب** باشد، با اینکه رابطهٔ گیاه با بخش‌های هوایی قطع شده است، باز هم آب و املاح در گیاه صعود می‌کند و جیوه درون لوله را به سمت جلو و بالا می‌راند. این پدیده ناشی از **فشار ریشه‌ای** یا در حقیقت فشاری است که از **پایین** برای صعود شیرهٔ خام ایجاد شده است.



«آزمایشی برای اندازه‌گیری فشار ریشه‌ای»

سؤال: این فشار از پایین به سمت بالا در گیاه، مدیون فعالیت چه قسمتی است؟

پاسخ: همان‌طور که قبلاً گفتیم، آب و املاح معدنی در عرض ریشه و از راه‌های مختلف یاخته‌ای از روپوست و پوست عبور می‌کنند و با خاصیت انتشاری یا از فضای بین‌یاخته‌ای در نهایت به یاخته‌های آندودرمی (*درون‌پوست*) می‌رسند ولی از درون‌پوست تا آوند چوبی، مکانیسم انتقال مواد محلول با انتشار نمی‌باشد. در این حالت **یاخته‌های درون‌پوستی و یاخته‌های زندهٔ متصل به سطح داخلی آن** (*لایهٔ ریشه‌زا*)، **ابتدا** با **انتقال فعال** یون‌های معدنی را به درون آوندهای چوبی منتقل می‌کنند و با این کار غلظت این یون‌ها درون آوند چوبی را زیاد می‌کنند و در نتیجه فشار اسمزی آن قسمت نیز **بالا** می‌رود (*یعنی مقدار آب آن کم می‌شود*). در این حالت محلول درون آوند چوبی با فشار اسمزی بالا، تمایل زیادی به جذب آب (*اسمز*) از یاخته‌های زندهٔ اطراف خود و درون‌پوست پیدا می‌کند و در ادامه از آن یاخته‌ها طی اسمز، آب می‌گیرد. با ادامهٔ این عمل، فشار و سطح آب و املاح (*شیرهٔ خام*) درون آوند چوبی زیاد می‌شود و به تدریج بالاتر و بالاتر می‌رود که به آن فشار ریشه‌ای می‌گویند. این فشار باعث **هل دادن** شیرهٔ خام به سمت **بالا** می‌شود.

سه نکتهٔ بسیار مهم

۱ در **اغلب گیاهان،** فشـار ریشـه‌ای در صعود شـیرهٔ خام **نقش کمی** دارد و در **بهترین** حالت **فقط آن را چند متر** به بالا می‌فرستد، ولی **مهم‌ترین** عوامل در صعود شیرهٔ خام، **تعرق** می‌باشد که سبب **مکش** شیرهٔ خام از **بالای** گیاه تا ده‌ها متر می‌شود.

۲ انتقال شیرهٔ خام درون آوند چوبی فقط به سمت **بالا** صورت می‌گیرد. دقت کنید که دو نوع آوند چوبی با دیوارهٔ **لیگنینی** وجود دارد. یکی تراکئیدی با یاخته‌های مخروطی یا دوکی دراز که در انتهای خود **لان‌هایی** برای انتقال **آهسته** شیرهٔ خام دارد و دیگری عناصر آوندی که یاخته‌های **کوتاه** بدون دیوارهٔ عرضی در آوند بوده که شیرهٔ خام را با سرعت **بیشتری** نسبت به تراکئید به سمت بالا می‌برد ولی هر دو نوع آوند چوبی فاقد **پروتوپلاست** می‌باشند و با جریان توده‌ای در عبور شیرهٔ خام نقش دارند.

۳ در این جدول ترتیب وقایع انجام شده در فرایند فشار ریشه‌ای را مشاهده می‌کنید:

ترتیب ایجاد فشار ریشه‌ای
۱) انتقال یون‌ها به صورت فعال از لایهٔ درون‌پوست و لایهٔ ریشه‌زا به آوند چوبی ریشه
۲) افزایش فشار اسمزی در آوند چوبی ریشه و کاهش مقدار آب آن
۳) آبگیری آوند چوبی از یاخته‌های زندهٔ کناری
۴) بالا رفتن سطح آب درون آوند چوبی ریشه به صورت جریان توده‌ای

خواص ویژهٔ آب در کمک به صعود شیرهٔ خام

● الف) نیروی هم‌چسبی

به دلیل اینکه مولکول‌های آب با هم **پیوند هیدروژنی** تشـکیل می‌دهند، این ویژگی در **پیوسـتگی** مولکول‌های آب در **وسـط** آوند چوبی و در **کل گیاه** نقش دارد که به عبور شیرهٔ خام در عرض ریشه و همچنین به صعود شیرهٔ خام، تعرق و سایر عوامل کمک ویژه‌ای می‌کند.

● ب) نیروی دگرچسبی

این نیرو در اثر **چسبندگی** بین مولکول‌های آب و دیوارهٔ آوند چوبی ایجاد می‌شود که همانند هم‌چسبی به پیوستگی آب و صعود شیرهٔ خام کمک می‌کند. البته این اتصال سبب اصطکاک در بالا رفتن شیرهٔ خام نیز می‌شود ولی نقش مثبت چسبندگی آن از اصطکاک ایجاد شده بین شیرهٔ خام عبوری و دیوارهٔ آوند چوبی بیشتر می‌باشد.

نکتهٔ خارج از کتاب: وجود **حباب‌های هوا** در طول آوند چوبی می‌تواند در پیوستگی مولکول‌های آب و نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی آن‌ها اختلال ایجاد کند.

عواملی که سبب مکش یا کشیدن آب از بخش‌های بالایی گیاه می‌شود

۱) **تعرق:** خروج آب به صورت **بخار** از بخش‌های **هوایی** مثل روزنه‌ها، عدسک‌ها و...

۲) **تعریق:** خروج آب به صورت **مایع** از روزنه‌های **آبی** بخش‌های **هوایی**

تعرق

تعرق **خروج آب** به صورت **بخار** از **سطح** قسمت‌های **هوایی** گیاه می‌باشد. مکشی که توسط تعرق در کل گیاه برای صعود آب ایجاد می‌شود، **عامل اصلی** در انتقال شیرهٔ خام در آوند چوبی گیاه می‌باشد. در حقیقت با خروج آب از گیاه و کاهش مقدار آب در اندام‌های هوایی، نیروی مکش آب به سمت اندام‌های بالاتر بیشتر می‌شود. در تعرق نیز **مقدار آب** مهم‌ترین عامل در بروز این پدیده می‌باشد.

◀ **علت تعرق،** حرکت آب در گیاه طی اسمز، از محل دارای مقدار آب بیشتر (*رقیق‌تر*) به سمت محل دارای مقدار آب کمتر (*غلیظ‌تر*) می‌باشد. **پیوستگی** مولکول‌های آب در اثر نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی سبب این جریان آب در گیاه شده و آب اضافی به صورت بخار از قسمت‌های سطحی اندام‌های هوایی خارج می‌شود. هرچه محیط کم‌آب‌تر و خشک‌تر باشد، یعنی مقدار آب کمتری دارد و شدت تعرق یا خروج آب از گیاه بیشتر می‌شود. در حالت عادی نیز مقدار بخار آب در هوای بیرون گیاه از همه کمتر می‌باشد و آب تمایل به خروج از گیاه دارد. البته در صورتی که محیط بسیار مرطوب باشد، در این صورت مقدار آب محیط زیاد است و مقدار تعرق نیز **کم** می‌شود.

نکته مهم

نیروی مکش تعرقی گیاه آن‌قدر زیاد است که در یک روز **گرم** می‌تواند سبب کاهش قطر تنهٔ یک درخت شود (*تصور کنید مثل یک نی پلاستیکی که با مکش بسیار زیاد مایعی را در آن به سمت بالا بکشید*). البته این عمل به دلیل **استحکام آوندهای چوبی** بسیار اندک می‌باشد ولی **اگر دیوارهٔ آوند چوبی استحکام نداشت**، در اثر **مکش تعرقی**، به راحتی لِه می‌شد.

● محل انجام عمل تعرق

تعرق از قسـمت‌های **سـطحی** اندام‌های **هوایی** گیاه صورت می‌گیرد که **اغلب** از **منفذ بین یاخته‌های نگهبان روپوسـتی** یعنی همان روزنه‌های هوایی برگ‌ها و کمی نیز در ساقه‌های جوان صورت می‌گیرد. البته مقدار کمی از تعرق نیز از پوستک روپوستی رخ می‌دهد.

نکته از **عدسک‌ها** که در لابه‌لای چوب‌پنبهٔ **پریدرم** سطحی ساقهٔ گیاهان چوبی چندساله **دولپه‌ای** وجود دارند نیز **تعرق کمی** صورت می‌گیرد ولی چون برگ‌ها رشد پسین ندارند و چوب‌پنبه‌ای نمی‌شوند، بیشترین تعرق گیاه، همواره از روپوست برگ‌ها رخ می‌دهد.

بررسی کلی مکش شیرهٔ خام از بخش‌های بالایی گیاه

در این قسمت می‌خواهیم از بالایی‌ترین اندام گیاه، قدرت آبگیری را براساس مقدار آب بررسی کنیم تا به توانایی مکش گیاه در انتقال شیرهٔ خام در آوند چوبی پی ببریم. لطفاً هر شمارهٔ زیر را که مطالعه کردید، یک نگاهی نیز به همان مرحله در شکل مقابل بیاندازید.

طبق شکل روبه‌رو می‌بینیم که شیرهٔ خام تحت تأثیر **مکش تعرقی** و مقدار آب از بالای گیاه مکیده می‌شود که به ترتیب مسیر مکش مواد از بالا به پایین گیاه را بررسی می‌کنیم.

۱) بخار آب، **اغلب** از روزنه‌های هوایی برگ‌ها که با فضای بین یاخته‌های میانبرگ در ارتباطند، به محیطی که رطوبت زیاد نداشته باشد و مقدار آب کمی داشته باشد، منتشر می‌شود. (*رطوبت و محیط پرآب، تعرق را کم می‌کند.*)

۲) کمبود آب در **فضای** بین یاخته‌های میانبرگی، سبب تبخیر و خروج آب از یاخته‌های **میانبرگ** شده تا آب وارد فضای بین‌یاخته‌ای شود. در حقیقت آب از دست رفته مرحله قبل را جبران می‌کند.

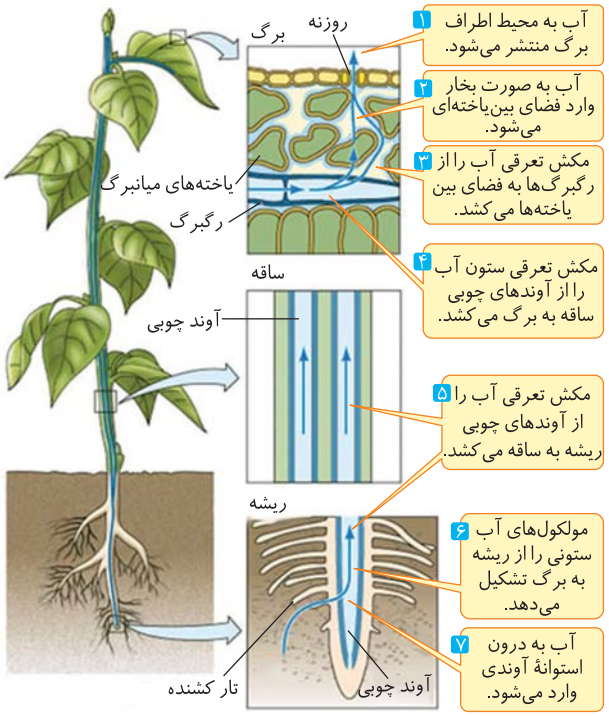
۳) یاخته‌های میانبرگی که آب از دست داده‌اند، آب را از رگبرگ‌ها که همان **آوندها** درون برگ هستند می‌گیرند. (*انتقال آب از آوند به یاخته میانبرگی از راه فضای بین یاخته‌ای صورت می‌گیرد.*)

۴) انتقال آب از رگبرگ به میانبرگ سبب مکش آب به صورت ستونی، از برگ به سمت ساقه و شاخه‌ها شده تا آب رگبرگ دوباره تأمین شود. (*آوندهای برگ، سبب مکیدن آب آوندهای شاخه و ساقه می‌شوند.*)

۵) خروج آب از آوند چوبی ساقه، سبب مکش آب توسط آوند چوبی ساقه از آوندهای ریشه می‌شود.

۶) حالا آوندهای چوبی ریشه باید دوباره به کمک **فشار ریشه‌ای** آبگیری کنند تا صعود شیرهٔ خام را در ساقه و برگ تأمین کنند.

۷) دوباره آب باید در مسیر **کوتاه** عرض ریشه حرکت کند تا با راه‌هایی که قبلاً گفتیم به بخش زیرین پوست و آوند چوبی ریشه برسد.



«حرکت شیرهٔ خام، تحت تأثیر مکش تعرقی»

بررسی سه نکتهٔ مهم

۱) تعرق و حرکت بیشترِ آب در گیاه، دو عاملی هستند که روی همدیگر نقش مثبت دارند و رابطهٔ **مستقیمی** با هم دارند.
- تعرق ↑ ← حرکت آب در گیاه ↑
- تعرق ↓ ← حرکت آب در گیاه ↓

۲) همهٔ اتفاقات جریان آب در گیاه در اثر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب و اختلاف مقدار آب ایجاد می‌شود که سبب ایجاد یک جریان پیوسته آب از ریشه تا برگ می‌شود.

۳) هر یاختهٔ زنده گیاهی و حتی یاخته‌های مرده آوند چوبی، در صعود شیرهٔ خام در گیاه نقش دارند. چون هرکدام از این یاخته‌ها در مکانیسم تنظیم آب گیاه مؤثر می‌باشند.

عوامل مؤثر در تعرق گیاه

تعرق یا همان خروج آب به صورت بخار از گیاه، هم به عوامل محیطی و هم به عوامل درونی گیاه بستگی دارد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۱) عوامل محیطی مهم

- **نور و دما** ← افزایش این دو عامل تا حد **معینی**، روزنه‌های هوایی را **باز** کرده و تعرق را **افزایش** می‌دهند ولی اگر دما و نور، افزایش بیش از حد یابند، روزنه‌های هوایی مسدود می‌شوند. (*عوامل هورمونی مثل آبسیزیک اسید نیز در بسته شدن این روزنه‌ها در شرایط محیطی گرم و خشک ویژه، نقش دارند.*)
- **رطوبت** ← همواره آب به سمتی می‌رود که آن منطقه مقدار آب **کمتری** داشته باشد، پس هرچه هوا مرطوب‌تر و پرآب‌تر باشد، روی تعرق اثر منفی‌تر و کاهشی‌تر دارد. (*علت اصلی تعرق، کاهش آب در محیط است.*)
- **کربن دی‌اکسید** ← گیاه از این گاز برای **فتوسنتز** و ساخت مواد آلی استفاده می‌کند، پس کاهش آن در محیط (البته تا حد معین)، سبب **باز** شدن روزنه‌ها شده تا CO_2 وارد گیاه شود و فتوسنتز یا ساخت مواد آلی در گیاه کم نشود.

خلاصه اثر عوامل محیطی بر تعرق

- کربن دی‌اکسید محیط ↓ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑
- رطوبت محیط ↓ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑
- نور ↑ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑
- دما ↑ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑

نکته **بعضی** کاکتوس‌ها و گیاهانی مثل آناناس از نوع گیاهانی با رشد **کم** (*به نام گیاهان CAM*) می‌باشند که در محیط بسیار خشک بیابانی و کم‌آب زندگی می‌کنند. در **روز** که هوا بسیار گرم و خشک است، روزنه‌های هوایی خود را **می‌بندند** تا با جلوگیری از تعرق، آب گیاه از دست نرود ولی این گیاهان **برخلاف** سایر گیاهان در شب روزنه‌های هوایی خود را کاملاً **باز** می‌کنند تا CO_2 مورد نیاز فتوسنتز را جذب کنند.

۲) عوامل درونی مؤثر بر تعرق

- تعداد روزنه ↑ ← تعرق ↑
- روزنهٔ پوشیده شده از کرک ↑ ← تعرق ↓
- کاهش تعداد برگ ← تعرق ↓
- کاهش مساحت برگ‌ها ← تعرق ↓

عوامل سازگاری در گیاهان محیط‌های **خشک**

- موقعیت روزنه
  - فرورفته در روپوست ← تعرق ↓
  - هم‌سطح روپوست / برآمده در روپوست ← تعرق آسان‌تر ↑
- عوامل هورمونی ← هورمون آبسیزیک اسید در محیط **گرم و خشک**، روزنهٔ هوایی را مسدود و تعرق را کم می‌کند تا تعرق زیاد سبب مرگ گیاه در اثر کم‌آبی نشود.

نکته تعداد روزنه‌های هوایی در سطح **تختانی** برگ از فوقانی بیشتر است که سبب سازشی برای کاهش تعرق می‌شود.

تست ۱۶ **چند ویژگی زیر در انتقال مواد در مسیر کوچک و بلند شیرهٔ خام نقش بسیار مهم و مشترکی دارد؟**

الف) انتشار تسهیل شده **ب)** فشار ریشه‌ای **ج)** تعرق **د)** خواص ویژهٔ آب

۱) ۳ مورد **۲)** ۴ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ ۴ (A) فقط مورد (د) در هر دو مسیر کوتاه و بلند عبور مواد نقش **مشترک** و مهمی دارد. در هر دوی این مسیرها، آب به واسطهٔ ویژگی‌های خود، نقش اساسی دارد. مثلاً خاصیت هم‌چسبی آب در هر دو مسیر کوتاه و بلند آب در گیاه اهمیت دارد. در مسیر کوتاه انتشار و انتشار تسهیل‌شده و در مسیر بلند جریان توده‌ای به کمک فشار ریشه‌ای و تعرق نقش دارد.

تست ۱۷ **شدت خروج بخار آب از بخش هوایی گیاه، با کدام دو عامل رابطهٔ معکوس دارد؟**

۱) رطوبت هوا و تعداد روزنه **۲)** رطوبت هوا و شدت نور

۳) مقدار CO_2 محیط و رطوبت هوا **۴)** ضخامت پوستک و سطح پهنک

پاسخ ۳ (A) **نکته:** هرچه پوستک ضخیم‌تر شود (*ضخامت بیشتر*↑) و یا هرچه رطوبت هوا بیشتر باشد، شدت تعرق کمتر می‌شود و هرچه CO_2 محیط کمتر شود، شدت تعرق بیشتر می‌شود تا فتوسنتز گیاه به مشکل برنخورد. هرچه تعداد روزنه‌ها، شدت نور و دما (*تا حدی*) و سطح پهنک بیشتر شود نیز شدت تعرق بیشتر می‌شود.

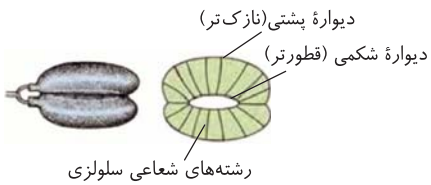
ویژگی روزنه‌های هوایی

گفتیم تعرق **مهم‌ترین** عامل در صعود شیرهٔ خام (*آب و مواد محلول*) می‌باشد که اغلب از راه **روزنه‌های هوایی** صورت می‌گیرد. این روزنه‌ها، منافذی در بین یاخته‌های نگهبان سبزدیسه‌دارِ فتوسنتزکننده **روپوست** می‌باشند که با **باز و بسته شدن خود**، مقدار تعرق را تنظیم می‌کنند.

ساختار یاخته‌های نگهبان روزنهٔ هوایی

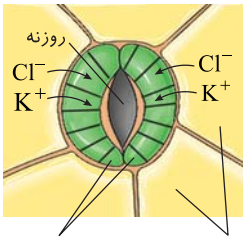
به یاد دارید که یاخته‌های نگهبان روزنه‌های هوایی، تنها یاخته‌های **سبزینه‌دار** روپوستی هستند. دیوارهٔ این یاخته‌های **لوبیایی**‌شکل برخلاف سایر یاخته‌های روپوستی، ساختار خاصی دارند. **دیوارهٔ شکمی** هر یاختهٔ نگهبان که به سمت **دهانهٔ روزنه** می‌باشد از لایهٔ پشتی آن **ضخامت بیشتری** دارد. در حقیقت دو لایهٔ **ضخیم** دو نگهبان مجاور در هنگام بسته بودن روزنه، به هم متصلند.

یکی دیگر از ویژگی‌های یاختهٔ نگهبان این است که بین لایهٔ پشتی و شکمی **هر یاختهٔ نگهبان**، رشته‌های **سلولزی** مانند کمربندی با آرایش **شعاعی** وجود دارند که باعث **ثابت** ماندن **قطر** هر یاختهٔ نگهبان در موقع آبگیری یا آبدهی می‌شوند ولی این رشته‌های سلولزی در موقع **تورژسانس** یا تورم از **افزایش طول** یاخته‌های نگهبان **جلوگیری نمی‌کنند**.



نکته دو عامل **ساختار خاص** یاخته‌های نگهبان روزنه و تغییر فشار **تورژسانس** آن‌ها، عواملی هستند که سبب باز و بسته شدن روزنهٔ هوایی و تنظیم تعرق یا مقدار آب خروجی از اندام‌های **هوایی** گیاه می‌شوند.

مکانیسم باز شدن روزنه‌های هوایی



وقتی عوامل **محیطی و درونی** برای باز شدن روزنهٔ هوایی مناسب باشند، تعرق صورت می‌گیرد. برای باز شدن روزنه‌های هوایی، ابتدا باید یاخته‌های نگهبان با **انتقال فعال** از یاخته‌های **روپوستی مجاور**، یون‌های معدنی مثل **پتاسیم و کلر** بگیرند و همانند **مواد آلی** مثل **ساکارز** آن‌ها را در خود ذخیره یا انباشت کنند. این عمل، باعث افزایش فشار اسمزی نگهبان‌ها و تمایل به **گرفتن** آب از یاخته‌های روپوستی مجاور می‌شود. در این حالت، به دنبال تراکم زیاد یون‌ها و مواد آلی، آب نیز با مکانیسم **اسمز** (*غیرفعال*) از یاخته‌های روپوستی مجاور وارد یاخته‌های نگهبان می‌شود. ضمن این اعمال یاخته‌های نگهبان دو طرف روزنه، دچار **تورژسانس** شده و انبساط **طولی** (*افزایش رشد طولی*) پیدا می‌کنند ولی آرایش **شعاعی** رشته‌های **سلولزی** که مانند کمربندی دور دیوارهٔ هر **یاختهٔ** نگهبان وجود دارد، **مانع از گسترش عرضی یا قطری هر یاختهٔ نگهبان می‌شود.**

وقتی رشد طولی هر یاختهٔ نگهبان به حداکثر رسید، چون دیوارهٔ **پشتی** هر نگهبان نازک‌تر از دیواره شکمی به سمت دهانه روزنه آن می‌باشد، این دیواره‌های نازک در اثر فشار آب **درون** یاخته‌های نگهبانی، انبساط و فشار **بیشتری** متحمل می‌شوند. همهٔ این عوامل سبب می‌شود که هر یاختهٔ نگهبان با قطر ثابت به سمت یاخته‌های روپوستی مجاور خود **خمیدگی** پیدا کند و منفذ روزنهٔ هوایی باز شود. باز شدن روزنهٔ هوایی هم سبب خروج بخار آب به عنوان تعرق و هم سبب تبادل گازها برای تنفس و فتوسنتز گیاه می‌شود. یعنی در اثر باز شدن روزنهٔ هوایی، بخار آب و CO_2 از گیاه خارج و O_2 برای تنفس یاخته‌ای وارد می‌شود.

املاح معدنی از یاختهٔ مجاور نگهبان ← وارد یاخته‌های نگهبان می‌شود. ← آبگیری نگهبان‌ها زیاد می‌شود. ← سبب رشد طولی نگهبان‌ها با قطر ثابت آن‌ها می‌شود. ← یاخته‌های نگهبان‌ها به سمت یاخته‌های روپوستی کنار می‌روند ← سبب باز شدن روزنهٔ هوایی و تعرق می‌شوند.

مکانیسم بسته شدن روزنه‌های هوایی

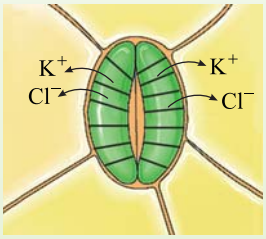
این حالت برعکس مکانیسم باز شدن روزنه‌ها صورت می‌گیرد. یعنی ابتدا یاخته‌های نگهبان به یاخته‌های مجاور روپوستی خود، یون‌هایی مثل کلر و پتاسیم را پس می‌دهند و سپس با بالا رفتن مقدار آب آن‌ها سبب آبدهی یاختهٔ نگهبان می‌شود. در این حالت طول یاختهٔ نگهبان **کم** شده و با فشاری که یاخته‌های **تورژسانس** یافته اطراف به دیوارهٔ نازک پشتی یاخته‌های نگهبان وارد می‌کنند، دو یاختهٔ نگهبان مجاور با قطر **ثابت** به سمت هم می‌آیند. در این حالت دو دیواره ضخیم **شکمی** دو یاختهٔ نگهبان مجاور نیز به هم نزدیک شده و در نتیجه روزنهٔ هوایی بسته می‌شود. در نهایت تبادل گاز و بخار آب از این روزنه نیز **متوقف** می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) علت باز و بسته شدن روزنه‌ها دو عامل می‌باشد، یکی **ساختار خاص** یاخته‌های نگهبان روزنه و دیگری **تغییر فشار تورژسانس** آن‌هاست. ساختار خاص یاختهٔ نگهبان هم به دلیل قطر بیشتر دیوارهٔ شکمی نسبت به پشتی و هم به دلیل وجود آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی می‌باشد.

۲) عوامل **محیطی و درونی** مؤثر در **باز شدن** روزنه‌ها با تحریک **انباشته شدن فعال** برخی **یون‌ها** مثل **کلر و پتاسیم** و مواد **آلی** مثل ساکارز در **یاخته‌های نگهبان**، سبب افزایش فشار اسمزی نگهبان‌ها شده و به دنبال آن **جذب آب** و باز شدن روزنه صورت می‌گیرد. مثلاً نور یکی از عواملی است که با انباشته کردن این مواد در یاختهٔ نگهبان، سبب شروع مکانیسم باز کردن روزنه‌های هوایی می‌شود.

۳) در هنگام باز شدن روزنهٔ هوایی دو چیز ثابت می‌ماند
- **قطر** هر یاختهٔ نگهبان به دلیل آرایش کمربندی رشته‌های شعاعی **سلولزی**
- مقدار سطح تماس بالا و پایین دو لایهٔ **شکمی** دو یاختهٔ نگهبان مجاور



۴) وقتی روزنهٔ هوایی **باز** می‌شود، بخار آب از **بین دو یاختهٔ نگهبان** و از منفذ روزنه خارج می‌شود که منشأ این بخار آب، از بخار آب **فضای اشباع شده بین یاخته‌های میانبرگ** می‌باشد. یعنی این بخار آبی که از روزنه خارج شده است، در حقیقت از آبی نبوده که یاختهٔ نگهبان از یاختهٔ مجاور خود گرفته است. این بخار آب از فضای بین یاخته‌های میانبرگ موجود در بین دو روپوست برگ خارج شده است.

۵) هر وقت یاختهٔ نگهبان، آب خود را از دست داد، یعنی روزنه می‌خواهد **بسته** شود. در این حالت یاختهٔ نگهبان با قطر ثابت، **کوتاه‌تر** می‌شود ولی هر وقت آب **از بین دو یاختهٔ نگهبان** (*یعنی روزنهٔ هوایی*) خارج شد، یعنی روزنه باید **باز** باشد و یاخته‌های نگهبان با قطر ثابت، طولش **زیاد** شده است و تورژسانس یافته است.

۶) روپوست برگ لایه‌ای **بی‌رنگ** می‌باشد که فقط یاخته‌های **نگهبان** آن سبزدیسه و سبزینه دارند.

تعریق

تعریق از عواملی است که **همانند تعرق** سبب کشیدن آب به **سمت بالای** گیاه از راه مکش می‌شود. تعریق یعنی **خروج آب** به صورت **مایع** از راه **روزنه‌های آبی که همیشه باز** می‌باشند. **محل** این روزنه‌ها در منتهی‌الیه آوندهای چوبی واقع در **انتها یا لبهٔ برگ‌ها** است.

در حقیقت در هنگام **شب** یا در هوای **بسیار** مرطوب که روزنه‌های هوایی معمولاً بسته می‌باشند، مقدار تعرق به عنوان اصلی‌ترین عامل صعود شیرهٔ خام کاهش یافته ولی چون آب و املاح در خاک زیاد است، یاخته‌های درون‌پوستی و لایهٔ ریشه‌زا همچنان با **فشار ریشه‌ای** در حال پمپ کردن فعال یون‌های معدنی به درون استوانهٔ آوندی ریشه می‌باشند. در این حالت که **تعرق کم و فشار ریشه‌ای زیاد** است، با اینکه قبلاً گفتیم که فشار ریشه‌ای نقش آنچنانی در صعود شیرهٔ خام آوند چوبی ندارد ولی با توجه به ضرب‌المثل اندک‌اندک جمع گردد وانگهی دریا شود، کم کم صعود شیرهٔ خام در گیاه، مقدار آب زیادی را به برگ‌ها می‌رساند. در این حالت اگر مقدار آبی که در اثر فشار ریشه‌ای به **برگ‌ها** می‌رسد، از مقدار آب خروجی که در اثر **تعرق** از گیاه خارج می‌شود، **بیشتر** باشد، آب اضافی گیاه به صورت قطراتی شبیه شبنم! (*نه خود شبنم!*) از **انتها یا لبهٔ برگ‌های علفی** خارج می‌شود که به آن تعریق گفته می‌شود.

چند نکتهٔ مهم از تعریق

۱ عمل تعریق وقتی صورت می‌گیرد که فشار ریشه‌ای **زیاد** ولی تعرق **کم** می‌باشد و آب اضافی بخواهد از گیاه خارج شود. این شرایط در محیط بسیار مرطوب و شب‌ها رخ می‌دهد که روزنه‌های هوایی گیاه بسته می‌باشند.

۲ شرایط محیطی ایجادکنندهٔ تعریق و شبنم **یکسان** است با این تفاوت که تعریق خروج آب اضافی از گیاه می‌باشد ولی شبنم ایجاد قطرهٔ آب محیطی در اثر میعان است که روی سنگ نیز ایجاد می‌شود.



«تعریق در گیاهان»

۳ علت باز بودن همیشگی روزنه‌های آبی این است که این روزنه‌ها در منتهی‌الیه یاخته‌های مردهٔ آوندهای چوبی (*تراکئید یا عنصر آوندی*) هستند. این یاخته‌های مرده چوبی، توانایی تغییر و باز و بسته کردن روزنهٔ آبی را ندارند، در حالی که روزنهٔ هوایی چون در بین دو یاختهٔ نگهبان زنده است، می‌تواند با فعالیت زیستی متفاوت این یاخته‌ها باز و بسته شود. در حقیقت تعریق سوپاپی برای دفع آب اضافی گیاه می‌باشد.

۴

کیفیت‌ها / مکانیسم	فشار اسمزی نگهبان	وضعیت آب در نگهبان‌ها	طول هر یاختهٔ نگهبان	قطر هر یاختهٔ نگهبان	تعرق	تعریق	مکش آب به بالای گیاه
هنگام باز شدن روزنه‌های هوایی	ابتدا **زیاد** می‌شود	آبگیری **زیاد**	**زیاد** می‌شود	**ثابت** می‌ماند	**زیاد** می‌شود	می‌تواند **کم** شود	**زیاد** می‌شود
هنگام بسته شدن روزنه‌های هوایی	ابتدا **کم** می‌شود	آبدهی **زیاد**	**کم** می‌شود	**ثابت** می‌ماند	**کم** می‌شود	می‌تواند با فشار ریشه‌ای زیاد، **افزایش** یابد.	**کمتر** از حالت عادی می‌شود

۵

مکانیسم	نوع خروج آب	روزنه	فعالیت روزنه	محرک	نوع گیاهان
تعریق	مایع	**آبی**	همیشه **باز**	فشار ریشه‌ای بالا و تعرق کم در محیط مرطوب یا شب	برخی گیاهان **علفی**
تعرق	بخار	هوایی	باز و بسته می‌شود	رطوبت **کم** محیط و نور	در همهٔ گیاهان رخ می‌دهد

تست ۱۸ **کدام گزینه، برای تکمیل عبارت مقابل مناسب است؟ «یکی از شرایط ..... گیاه است.»**

۱) خروج آب از روزنهٔ آبی، کاهش فعالیت درون‌پوست ریشه

۲) انتقال آب از آوند چوبی به آبکش، باربرداری آبکش

۳) خروج آب از یاختهٔ نگهبان روزنه، کاهش شدید رطوبت در اطراف

۴) فاصله گرفتن دو لایهٔ شکمی در دو یاختهٔ نگهبان مجاور، خروج یون کلر از نگهبان‌های

پاسخ ۳ B کاهش شدید رطوبت هوا موجب بسته شدن روزنه‌های هوایی گیاه می‌شود. برای بسته شدن این روزنه‌ها، آب باید از درون یاخته‌های نگهبان روزنه به بیرون برود (درستی گزینهٔ (۳)).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): خروج آب از روزنه‌های آبی در هنگام تعریق رخ می‌دهد که در اثر **افزایش** فشار ریشه‌ای به وقوع می‌پیوندد. با کاهش فعالیت آندودرم، فشار ریشه‌ای **کاهش** می‌یابد و نیازی به تعریق نخواهد بود. / گزینهٔ (۲): در باربرداری آبکشی، مواد به محل مصرف وارد می‌شوند و آب از آبکش به چوب می‌رود (*نه برعکس*). / گزینهٔ (۴): با **انباشته شدن** ساکارز و یون‌ها، بخش شکمی دو یاختهٔ نگهبان از هم فاصله می‌گیرند (*نه با خروج یون کلر*).

عمل برگ‌ها پس از رسیدن شیرهٔ خام به آن‌ها

وقتی شیرهٔ خام یعنی آب و مواد معدنی به برگ و سایر اندام‌های فتوسنتزکننده مثل ساقه‌های سبز جوان رسید، یاخته‌های **سبز**دیسه‌دار طی عمل فتوسنتز آب را با CO_2 ترکیب کرده و مواد آلی زیادی مثل گلوکز و سپس **ساکارز** می‌سازند. در اثر این عمل شیرهٔ خام در **برگ‌ها** به شیرهٔ پرورده تبدیل می‌شود. دقت کنید که این عمل یعنی تولید شیرهٔ پرورده، در بافت **پارانشیمی** فتوسنتزکننده صورت می‌گیرد. بعد از ساخت شیرهٔ پرورده، باید این شیره از طریق آوندهای **آبکشی** به **همهٔ** مناطق زندهٔ گیاهی برسد. این شیره به نسبت شیرهٔ خام، مقدار آب **کمتری** دارد ولی مملو از مواد قندی، آمینواسید و سایر مواد آلی ساخته شده در گیاه می‌باشد. دقت کنید که شیرهٔ پرورده باید از اندام‌های سازنده یا اندام‌های **ذخیره**کنندهٔ آن به سوی هر بافت **زنده‌ای** در گیاه برود. این عمل توسط آوندهای آبکش با حرکت مواد در **دو** جهت بالا و پایین صورت می‌گیرد.

نکته مهم

شیرهٔ خام در آوند چوبی **بدون** صرف انرژی زیستی **فقط** به سمت بالا حرکت می‌کند ولی شیرهٔ پرورده در آوند آبکش با صرف انرژی زیستی به سمت **بالا و پایین** گیاه حرکت می‌کند.

● محل منبع در گیاهان

بـه بخش‌هایـی از گیـاه کـه **ترکیبـات آلی** مـورد نیاز بخش‌هـای دیگـر را تأمین می‌کننـد، محل‌های **منبـع** می‌گوینـد. **محل منبـع** هم می‌توانـد **تولیدکننـدهٔ مواد آلی** باشـد کـه **برگ‌هـا** و سـاقه‌های جـوان بـا عمـل فتوسـنتز از مهم‌ترین محل‌هـای **منبع** گیاهی هسـتند و هـم می‌توانـد **آزادکنندهٔ مواد آلی** ذخیره شـده باشـد (*مثل ریشه‌ها و ساقه‌های زیرزمینی ذخیره‌ای*).

● محل مصرف در گیاهان

به هر بخش **زندهٔ** گیاهی که ترکیبات آلی برای **ذخیره** شدن یا مصرف شدن به آنجا می‌روند، محل مصرف می‌گویند.

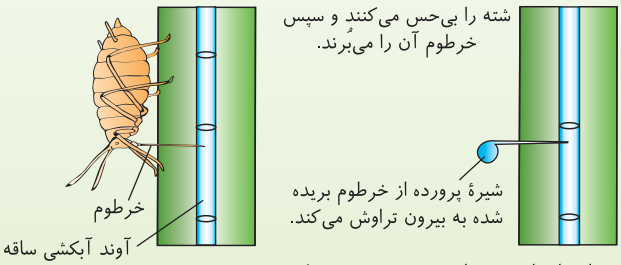
چند نکتهٔ مهم

۱) بخش‌های **ذخیره‌کنندهٔ** مواد آلی هم می‌توانند محل منبع و هم محل مصرف در یک گیاه محسـوب شـوند. مثلاً ریشـهٔ یک گیاهی که دو سال زندگی می‌کند، در سال **اول** که ذخیره‌کنندهٔ مواد آلی می‌باشد مواد آلی به سمت آن می‌آید و محل **مصرف** محسوب می‌شود ولی در سال دوم که مواد آلی **ذخیره‌ای** آن‌ها آزاد می‌شود تا گیاه گلدهی کند، یک محل **منبع** به حساب می‌آید.

۲) گل، میوه و دانه همواره یک اندام مصرف به حساب می‌آیند چون هیچ‌گاه قرار نیست مواد آلی خود را به اندام دیگری بدهند.

۳) هر بخش فتوسـنتزکننده، قطعاً محل **منبع** اسـت ولی هر محل منبعی قطعاً فتوسـنتزکننده نیسـت و می‌تواند یک بافت **پارانشـیمی** ذخیره‌ای در ریشـه یا ساقه غیرسبز باشد. (*البته بخش فتوسنتزکننده، خودش هم نیاز به مصرف مواد دارد ولی جزء بخش مصرفی به حساب نمی‌آید.*)

۴) برای تعیین **سرعت و ترکیب مواد درون شیرهٔ پرورده**، می‌توان از حشرات کوچکی مثل **شـته‌ها** اسـتفاده کرد. این حشرات خرطوم دهانی خود را وارد **آوند آبکش** گیاهان سـبز علفی کرده و **ساعت‌ها** نگه می‌دارند تا شیرهٔ پرورده را بمکند. در این آزمایش شـته را بی‌حس کرده و سـپس خرطوم پر از شـیرهٔ پروردهٔ آن را می‌برند. پس از مدتی مشـاهده می‌شـود که شیرهٔ پرورده به بیرون از خرطوم بریده شـده تراوش می‌کند. این عمل نشـان دهندهٔ **فعال** بودن حرکت شـیرهٔ پرورده و فشـاری اسـت که از داخل آوند آبکش برای خروج شـیرهٔ پرورده به خرطوم وارد می‌شـود. سپس می‌توان از این شیرهٔ تراوش شده از خرطوم شته پی به نوع مواد درون آن برد و سرعت انتقال آن در گیاه را محاسبه کرد.



«استفاده از شته برای تعیین سرعت و ترکیب شیرهٔ پرورده»

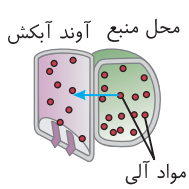
چگونگی جابه‌جایی و حرکت مواد در آوند آبکش (الگوی جریان توده‌ای فشاری ارنست مونش)

به یاد دارید که شـیرهٔ پرورده در پارانشـیم‌های فتوسـنتزکننده گیاه تولید می‌شود و سپس وارد آوند آبکش می‌شود تا از طریق لولهٔ این آوندها که بین یاخته‌های **زنـده** آن، صفحـهٔ آبکشـی **منفـذداری** وجـود دارد، این شـیره از راه **سـیتوپلاسمی** عبـور کند و به مجـاور اندام‌های مصرف‌کننده برسـد. به دلیـل وجود صفحهٔ بین‌یاخته‌ای و عبور این شیره از غشای واکوئل‌ها و غشای یاخته، سرعت عبور شیرهٔ پرورده از شیرهٔ خام درون آوند چوبی **کمتر** و **پیچیده‌تر** می‌باشد.

شیرهٔ پرورده طبق الگوی **جریان فشاری** که گیاه‌شناس آلمانی به نام ارنست مونش پیدا کرد با **چهار** مکانیسم زیر در گیاهان از محل منبع به محل مصرف می‌رسد:

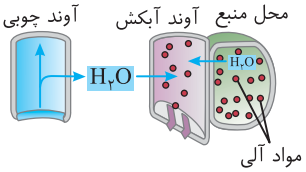
مرحلهٔ اول (بارگیری آبکشی)

قند (*مخصوصاً ساکارز*) **و سایر مواد آلی** ایجاد شده یا ذخیره شده در محل منبع به همراه مقدار کمی آب، به روش **انتقال فعال** و اسمز و به کمک انرژی یاخته‌های **همراه** کنار آوند آبکش، از راه لان (*نه صفحهٔ منفذدار!*) وارد یاخته‌های آبکشی می‌شوند. با این عمل فشار اسمزی درون آوند آبکش **زیاد** شده و مقدار آب درون آن **کم** می‌شود.



مرحلهٔ دوم (آبگیری آبکشی)

به دنبال بارگیری آبکشـی و غلیظ شـدن یاخته‌های آبکشی (*مخصوصاً در اثر گرفتن ساکارز*)، این یاخته‌ها کاهش مقدار آب پیـدا می‌کننـد و هم از یاخته‌های **مردهٔ آوند چوبی** مجاور خود و هم یاخته‌های زندهٔ **منبع** از محل لان‌ها، آب را به روش **اسمز** جذب می‌کنند. این مرحله **بدون** صرف **انرژی زیستی** می‌باشد.



مرحلهٔ سوم (جریان توده‌ای)

در این مرحله با افزایش فشار شیرهٔ پرورده در یاخته‌های آبکشی، این شیره از طریق سیتوپلاسم یاخته‌های زندهٔ بدون **هستهٔ** آبکشی و به صورت **فعال**، از صفحات غربالی (*آبکش*) بین یاخته‌ها عبور کرده، با سرعتی **کندتر و پیچیده‌تر** از شیرهٔ خام می‌گذرد. شیرهٔ پرورده در همهٔ جهات در آوند آبکش **بالا و پایین** رفته تا به مجاور محل‌های مصرف می‌رسند.

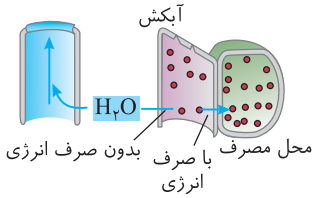


نکتهٔ مهم

انرژی جریان توده‌ای در آوند آبکش را یاختهٔ **همراه** فراهم می‌کند، چون یاخته‌های آبکشی معمولاً اندامک‌ها را از دست داده‌اند و فاقد میتوکندری هستند، نمی‌توانند *ATP* لازم برای همهٔ فعالیت‌های خود را ایجاد کنند. دقت کنید که جریان توده‌ای عبور شیرهٔ خام در آوند **چوبی** بدون صرف انرژی زیستی یاخته آوندی و فقط از ریشه به سمت برگ صورت می‌گیرد ولی شیرهٔ پرورده به صورت فعال و در همهٔ جهات حرکت می‌کند.

مرحلهٔ چهارم (باربرداری آبکشی)

در این مرحله که مرحلهٔ آخر انتقال مواد آلی در گیاه می‌باشد، مواد **آلی** شیرهٔ پرورده با **انتقال فعال** و صرف انرژی زیستی از آوند آبکشی خارج شده و از راه لان به محل مصرف برای **ذخیره یا مصرف** مواد آلی می‌رود. در اینجا دقت کنید که با خروج مواد آلی از آوند آبکش به اندام مصرف، این آوند رقیق می‌شود و به آوند چوبی مجاور خود **آب** می‌دهد.



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) تبادل آب بین آوندهای چوبی و آبکش
- ۱) پس از بارگیری آبکشی ← آب از **آوند چوبی** به آوند آبکش یا از اندام **منبع** به آوند آبکش می‌باشد.
- ۲) هنگام باربرداری آبکشی ← آب از آوند آبکش به **چوبی** می‌رود.

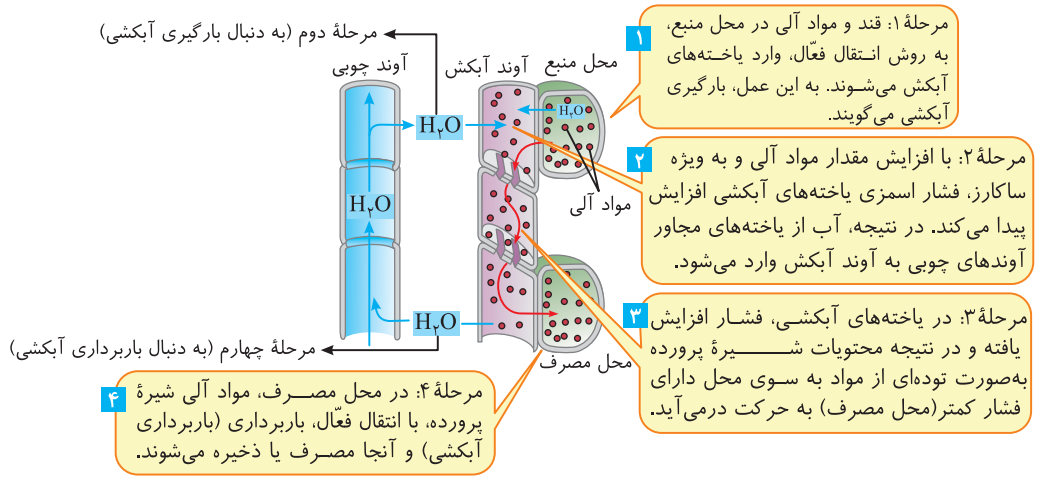
خلاصه
- اگر بار **آلی** رو گرفتی ← باید به دنبالش آب هم به‌طور **عالی** بگیری!☺
- اگر بار **آلی** رو از دست دادی ← باید به دنبالش آب هم به‌طور **عالی** بدی!☺

۲) در مرحلهٔ باربرداری آبکشی، با خروج مواد آلی از آوند آبکش، نسبت آب آوند آبکش به مواد درون آن **زیاد** شده و یاخته‌های این آوند رقیق‌تر می‌شوند، در نتیجه مقداری آب را از طریق **لان‌ها** به آوند چوبی مجاور خود پس می‌دهند. (*این عمل عکس فرایند بارگیری آبکشی می‌باشد که آب از آوند چوبی به آبکش می‌رسد.*)

۳) در الگوی جریان فشاری یا مدل مونش، به‌جز **مرحلهٔ دوم** که آبگیری **غیرفعال** از آوند چوبی و منبع به آوند آبکش صورت می‌گیرد، در سایر مراحل صرف انرژی زیستی صورت گرفته و مکانیسم‌ها **فعال** می‌باشند. اغلب انرژی جریان توده‌ای در آوند آبکش نهان‌دانگان را یاخته‌های **همراه** راکیزه‌دار فراهم می‌کنند. همچنین یاخته‌های منبع برای **بارگیری** آبکشی و یاختهٔ مصرف برای **باربرداری** آبکشی به مصرف انرژی می‌پردازند.

۴) شیرهٔ پرورده و مواد آلی آن در یاخته‌های آبکشی، فقط از سیتوپلاسم و کانال‌های پلاسمودسمی موجود در دیوارهٔ **نخستین** سلولزی آوند آبکش عبور می‌کنند که با صرف انرژی حاصل از یاختهٔ همراه به بالا و پایین می‌روند. آب در آوند چوبی از درون یاختهٔ مرده و به صورت غیرفعال فقط به سمت بالا می‌رود.

۵) پلاسمودسم در انتقال شیرهٔ خام نقشی ندارد.



«چگونگی حرکت مواد در آوند آبکش»

تست ۱۹ **کدام گزینه صحیح است؟ «در مدل جریان مونش در گیاهان ..... همانند ..... به فعالیت راکیزه نیاز .....»**

۱) بارگیری آبکشی - تبادل آب در بافت آوندی - دارد.

۲) باربرداری آبکشی - عمل کانال‌های پروتئینی ویژه آب - ندارد.

۳) ورود قند به یاخته‌های آوند آبکشی - ورود یون به درون‌پوست ریشه - دارد.

۴) ورود آب به درون آوندهای آبکشی - انتقال آمینواسید در جهت شیب غلظت - ندارد.

پاسخ B ۴ در مدل مونش فقط آبگیری آوند آبکش از آوند چوبی است که مانند انتقال **غیرفعال** آمینواسیدها در جهت شیب غلظت بوده و به ATP و فعالیت راکیزه نیاز ندارد ولی بارگیری و باربرداری و جریان توده‌ای فشاری به انرژی نیاز دارد.

نکته: پروتئین کانالی ویژه آب با عمل انتشار تسهیل شده و به صورت غیرفعال فعالیت می‌کند (*انتقال آب همیشه بدون صرف انرژی است*) (نادرستی گزینهٔ (۲)).

نکته: انتقال یون‌ها از خاک تا درون‌پوست بدون صرف انرژی و از آنجا تا آوند چوبی با انتقال فعال و صرف انرژی می‌باشد (نادرستی گزینهٔ (۳)).

تنظیم تولید و مصرف مواد آلی در گیاه

تولید و مصرف مواد آلی در گیاهان به صورت **تنظیم شده** صورت می‌گیرد. مثلاً گل، میوه و دانه، اندام‌های **مصرفی** مهمی می‌باشند. در هنگام **گلدهی** یا **میوه‌دهی** یک گیاه، گاهی تعداد محل‌های **مصرف** بیش از حد زیاد می‌شود به‌طوری که محل‌های منبع و سازندهٔ مواد آلی، قادر به انتقال مواد **آلی** مورد نیاز به همهٔ آن‌ها نیستند. در این موارد **ممکن** است (*نه همیشه*) گیاه، به کمک **هورمون‌ها و سایر عوامل**، اقدام به حذف **برخی** اندام‌های مصرف مثل **گل‌ها، دانه‌ها یا میوه‌های** خود کند تا مقدار قند و مواد آلی کافی به محل‌های مصرف باقی‌ماندهٔ **جدید** برسد.

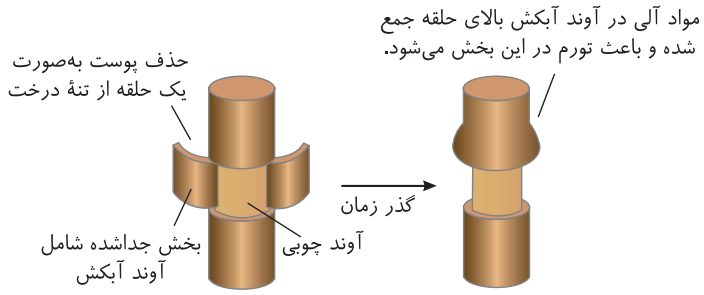
نکته هورمون **اتیلن** با سریع‌تر کردن سرعت رسیدن میوه‌ها و ریزش آن‌ها، رسیدن مواد آلی به سایر بخش‌ها را افزایش می‌دهد.

نکته در باغبانی نیز برای داشتن **میوه‌های درشت‌تر**، تعدادی از گل‌ها و یا میوه‌های **جوان** را می‌چینند تا درختان، **میوه‌های کمتر ولی درشت‌تری** به بار آورند.

آزمایشی برای نشان دادن محل شیرهٔ پرورده در آوند آبکش

از فصل قبل به یاد دارید که پوست درختِ دارای رشد **پسین**، از داخل به خارج شامل آوندهای آبکش **پسین**، کامبیوم **چوب‌پنبه‌ساز**، پارانشیم‌ها و در نهایت **چوب‌پنبه‌های** سطحی می‌باشد.

شکل روبه‌رو نشان می‌دهد که شیرهٔ پرورده **فقط** در آوند **آبکش** جریان دارد، چون وقتی قسمتی از پوست درخت را در وسط درخت حذف کنیم، در نتیجه شیرهٔ پرورده از آوند آبکش بالایی دیگر به آوند پایینی نمی‌رسد و در آوند آبکش **بالایی** تجمع پیدا می‌کند. در این حالت آوند چوبی گیاه به دلیل استحکام زیاد، همچنان بدون تغییر **قطر** وجود دارد در حالی که چون دیوارهٔ آوند آبکشی لیگنینی و مستحکم **نمی‌باشد**، فشار شیرهٔ پرورده باعث تورم آوند آبکش شده است. در شکل مقابل مشاهده می‌شود که آوند آبکش در **زیر** منطقه فاقد پوست، تغییر قطر نداده است چون شیرهٔ پرورده جدیدی وارد آن نشده است.



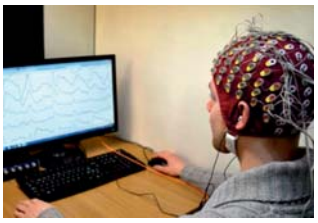
نکته خزه‌گیان، چون **آوند** ندارند فقط با انتشار و اسمز مواد را در کل گیاه منتشر می‌کنند.

فصل اول
تنظیم عصبی

درسنامه

گفتار ۱ مقدمه و ویژگی یاخته‌های بافت عصبی

مقدمه:



نـوار مغـزی یا الکتروآنسـفالوگرام (*EEG*) جریـان الکتریکی **یاخته‌های عصبی مغز** را ثبت می‌کند و بـا توجه به آن می‌توان **فعالیت‌های مغز** را بررسی کرد. در این روش الکترودهایی را به سر وصل می‌کنند.

در ایـن فصـل می‌خواهیم به نحوه **ایجاد پیـام الکتریکی** در یاخته‌های عصبی و **هدایت و انتقـال آن** در بدن بپردازیم و سپس قسمت‌های مختلف دستگاه عصبی را بررسی کنیم.

یادآوری

از علوم هشتم به یاد دارید که:

- **یاخته‌های بافت عصبی**
  - یاخته **عصبی** ← جریان الکتریکی ضعیف ایجاد می‌کند.
  - یاخته **غیرعصبی** (*پشتیبان*) ← فعالیت عصبی ندارند و نقش کمکی دارند.
- **اجزای یاختهٔ عصبی**
  - دندریت ← پیام عصبی را به سمت جسم یاخته‌ای می‌برد.
  - جسم یاخته‌ای ← حاوی هسته و بیشتر اندامک‌ها می‌باشد.
  - آکسون ← جریان عصبی را از جسم یاخته‌ای تا انتهای خود هدایت می‌کند.
- **انواع فعالیت‌های بدن**
  - ارادی ← تحت کنترل مغز
  - **غیر ارادی** (*انعکاسی*) ← تحت کنترل **مغز و نخاع**
    - ← سرفه، عطسه، ریزش اشک، پلک زدن، انعکاس‌ها و...
- **اعصاب**
  - حسی ← پیام را به مراکز عصبی **مغز و نخاع** می‌برند.
  - حرکتی ← پیام حرکتی را از مراکز عصبی به اندام‌های عمل‌کننده می‌برند.
  - مختلط ← این اعصاب در نخاع و برخی اعصاب مغزی قرار دارند که هم دارای تار حسی و هم حرکتی می‌باشند ولی کتاب درسی شما بررسی نکرده است.
- **دستگاه عصبی**
  - مرکزی ← مغز و نخاع ← کنترل فعالیت‌های ارادی و غیر ارادی را انجام می‌دهد.
    - ← شامل بخش‌های اصلی به نام مخ، مخچه، ساقهٔ مغز و نخاع می‌باشد.
  - محیطی ← تمام قسمت‌های بدن را با **بخش مرکزی** دستگاه عصبی یعنی مغز و نخاع مرتبط می‌کند.

انواع یاخته‌های بافت عصبی

بافت عصبی دو نوع یاخته عصبی (*نورون*) و غیرعصبی (*پشتیبان*) دارد.

الف) یاخته‌های عصبی (نورون‌ها)

هر یاخته عصبی از سه قسمت به وجود آمده است:

● **۱) دندریت (دارینه)**

رشته‌هایی هستند که پیام عصبی دریافت کرده را به سمت جسم یاختهٔ عصبی هدایت می‌کنند که سیتوپلاسم اندکی دارند و منشعب هستند (*یا درانتهای خود انشعاب دارند*).

● ۲) جسم یاخته‌ای

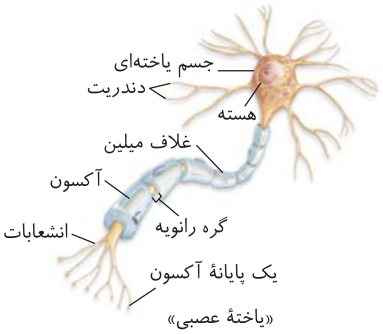
بخش حجیم شامل **هسته و اغلب اندامک‌ها** است که مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم زیادی نیز در آن واقع می‌باشد. جسم یاخته‌ای، پیام عصبی را یا مستقیماً از یاختهٔ عصبی دیگری می‌گیرد و یا از دندریت‌های همان یاختهٔ عصبی گرفته و در نهایت به آکسون همان یاختهٔ عصبی **هدایت** می‌کند. در فصل‌های بعد خواهیم خواند که هسته در جسم یاخته‌ای، بعد از تولد **معمولاً** تقسیم نمی‌شود و رشد یا بزرگ شدن یاخته و بافت عصبی در اثر افزایش حجم آن صورت می‌گیرد. درون جسم یاخته‌ای همانند سایر یاخته‌ها اندامک‌های مختلفی مثل راکیزه‌ها برای ATPسازی یا تنفس یاخته‌ای شبکهٔ آندوپلاسمی و گلژی، برای پروتئین‌سازی و لیپیدسازی و سایر موارد مورد نیاز **سوخت‌وساز یاخته** وجود دارند (*البته براساس شکل کتاب، در انتهای آکسون تعداد زیادی راکیزه نیز وجود دارد که جلوتر بررسی می‌کنیم*).

نگاهی به آینده

جسم یاخته‌ای دستورالعمل ژنی ساخت پروتئین‌ها و سایر مواد متابولیسمی درون یاختهٔ عصبی را صادر می‌کند. هستهٔ این یاخته معمولاً همانندسازی ندارد ولی سایر موارد مثل ساخت رنا و تولید عوامل لازم برای فرایندهای یاخته‌ای را انجام می‌دهد.

● ۳) آکسون‌ها (آسه)

رشته‌هایی هستند که پیام عصبی را از جسم یاخته‌ای به سمت انتهای خود **هدایت** می‌کنند. در انتهای آکسون‌ها (*پایانه آکسونی*) **انشعابات** و **میتوکندری** زیادی وجود دارد. این میتوکندری‌ها انرژی لازم برای برون‌رانی ناقل عصبی و **انتقال** پیام عصبی را فراهم می‌کنند. این عوامل سبب **تحریک** یا **مهار** یاخته بعدی می‌شوند.



«یاختهٔ عصبی»

نکته

هر یاختهٔ عصبی، همواره یک آکسون و یک جسم یاخته‌ای دارد ولی تعداد دندریت متغیر است.

ویژگی‌های یاخته‌های عصبی

الف) تحریک‌پذیری: این ویژگی برای **ایجاد پیام عصبی** به صورت یک جریان الکتریکی **ضعیف** می‌باشد.

ب) هدایت پیام عصبی: سیر پیام عصبی در **یک** یاختهٔ عصبی است که می‌تواند از دندریت به جسم یاخته‌ای و از آنجا به انتهای آکسون **همان یاختهٔ عصبی** باشد.

ج) انتقال پیام عصبی: فعالیتی است که با ارتباطی به نام **سیناپس** صورت می‌گیرد. این عمل از طریق انشعابات انتهای آکسون یک یاختهٔ عصبی و **اغلب** با آزاد کردن ماده‌ای به نام ناقل عصبی صورت می‌گیرد تا یاخته بعدی را تحریک یا مهار کند.

ب) یاخته‌های غیرعصبی در بافت عصبی (پشتیبان‌ها)

این یاخته‌ها وظیفهٔ تولید پیام عصبی و ایجاد جریان الکتریکی **ندارند** ولی یاخته‌های **کوچکی** با توانایی **تقسیم** شدن هستند که در اطراف یاخته‌های عصبی قرار می‌گیرند. **تعداد** این یاخته‌ها **چند برابر** یاخته‌های عصبی می‌باشد و **انواع گوناگونی** دارند.

● وظیفه یاخته پشتیبان (نوروگلیا)

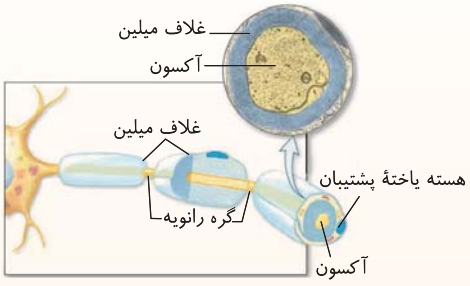
۱) برخی از این یاخته‌ها، **داربست‌هایی** را برای استقرار یاخته‌های **عصبی** ایجاد می‌کنند.

۲) این یاخته‌ها **انواع** گوناگونی دارند، **برخی** سبب **دفاع** از یاخته‌های عصبی می‌شوند و **برخی** در تغذیه و حفظ هم‌ایستایی یا هومئوستازی **مایع اطراف** یاختهٔ عصبی نقش دارند (*می‌توانند میکروب‌های اطراف یاختهٔ عصبی را از بین ببرند یا مقدار طبیعی یون‌های آن را تنظیم کنند*).

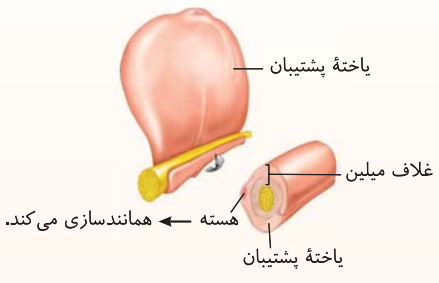
۳) در **بسیاری** از یاخته‌های عصبی، این یاخته‌ها به دور **آکسون‌ها و یا دندریت‌ها** می‌پیچند و به صورت غلافی **عایق** به نام **میلین** برای محافظت از یاخته‌های عصبی درمی‌آیند. **این یاخته‌ها در اطراف جسم یاخته‌ای و انتهای آکسون‌ها وجود ندارند** ولی در **قسمت‌هایی** از آکسون و دندریت تشکیل می‌شوند. قسمت‌های میلین‌دار، عایق و **ناپیوسته** هستند و دارای جریان الکتریکی نمی‌باشند. به قسمت‌هایی در این رشته‌ها که میلین ندارند، **گره رانویه** می‌گویند. در این گره‌ها پیام عصبی به صورت **جهشی** در طول یاختهٔ عصبی **هدایت** می‌شود (*غلاف میلین در حقیقت خود یاختهٔ پشتیبان بوده است که واجد هسته با تمام آن‌های یک جاندار می‌باشد*).

نکته

در ادامه یاد می‌گیرید که یاخته‌های عصبی میلین‌دار، هدایت **جهشی** پیام عصبی بین گره‌های رانویه دارند و نسبت به یاخته‌های عصبی **هم‌قطر** فاقد میلین، سرعت هدایت پیام عصبی در آن‌ها **بیشتر** می‌باشد.



«غلاف میلین»



«چگونگی ساخت آن»

نکته

دقت کنید که هر یاختهٔ عصبی در اطراف خود، نوعی یاختهٔ پشتیبان دارد که باید برای آن هم‌ایستایی انجام دهد. پس فکر نکنید که یاخته‌های عصبی فاقد میلین، یاختهٔ پشتیبان در کنار خود ندارند.

نکته

به دندریت‌ها یا آکسون‌های بلند **تار عصبی** گفته می‌شود که مجموعه آن‌ها در کنار هم توسط **غلاف پیوندی** مشترکی احاطه شده و عصب را ایجاد می‌کند. **در حقیقت عصب مجموعه آکسون‌ها یا دندریت‌ها و یا هر دو با هم در درون یک غلاف پیوندی می‌باشد** یعنی در بخشی که به آن‌ها **عصب** گفته می‌شود، **جسم یاخته‌ای وجود ندارد** (*این مطلب را در گفتار بعد به‌طور کامل‌تری بحث می‌کنیم!*).

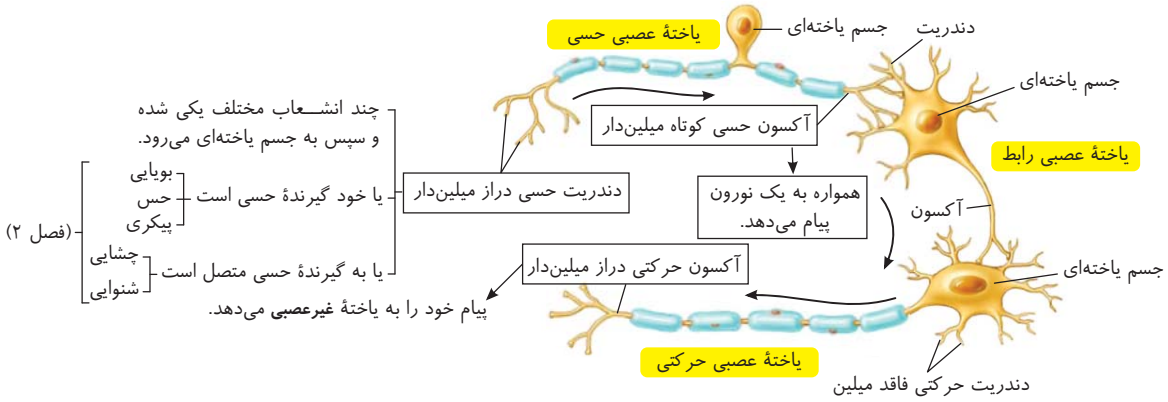
انواع یاخته‌های عصبی از نظر کاری که انجام می‌دهند

A) یاختهٔ عصبی حسی: پیام عصبی را به سوی **مغز و نخاع** یعنی بخش مرکزی دستگاه عصبی می‌آورند. در این یاخته‌های عصبی، از **یک نقطهٔ** جسم یاخته‌ای، هم آکسون و هم دندریت خارج می‌شوند که هر دو میلین دارند ولی معمولاً طول دندریت از آکسون آن بلندتر است. این یاختهٔ عصبی پیام خود را همواره به یاختهٔ عصبی دیگری منتقل می‌کند.

B) یاختهٔ عصبی حرکتی: این یاخته‌ها که دندریت‌های کوتاه و **یک آکسون دراز** دارند، پیام عصبی پردازش شده را از بخش اعصاب مرکزی (*مغز و نخاع*) به سوی برخی اندام‌ها مثل **ماهیچه یا غدد** می‌برند. آکسون اغلب این یاخته‌های عصبی به‌جز در بخش انتهایی خود و گره‌های رانویه، در سایر قسمت‌ها میلین دارند. این یاخته‌ها فقط سبب **تحریک** ماهیچه‌ها و غدد می‌شوند.

C) یاختهٔ عصبی رابط: این یاخته‌ها اندازهٔ **کوچکی** دارند و در **مغز و نخاع** قرار گرفته‌اند که ارتباط دهنده یاخته‌های عصبی حسی و حرکتی می‌باشند.

نکته: هر سه نوع یاختهٔ عصبی برحسب فعالیت و محل خود، می‌توانند میلین‌دار باشند یا نباشند.

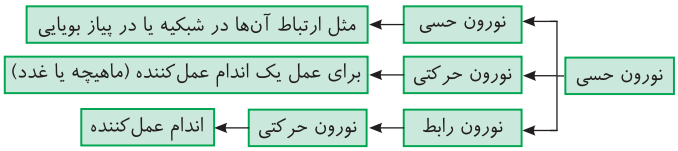


«انواع یاخته‌های عصبی»

نکته

با توجه به شکل بالا، می‌توان دریافت که آکسون‌ها پیام عصبی را از انتهای خود به دندریت یا جسم یاخته‌ای یاختهٔ عصبی بعدی و یا به غدد و ماهیچه می‌توانند منتقل کنند.

● ارتباط نورون‌ها



تحریک‌پذیری و هدایت پیام عصبی در یاخته‌های عصبی

در بدن انسان، یاخته‌های عصبی نیز مانند سایر یاخته‌ها در فضای بین‌یاخته‌ای که قسمتی از **محیط داخلی بدن** می‌باشد قرار دارند. در درونِ یاخته و بیرونِ یاخته مقدار متفاوتی از یون‌ها یا بار الکتریکی وجود دارد. **مثلاً مقدار یون‌های سدیم همواره در بیرونِ یاخته از درون یاخته بیشتر است ولی مقدار یون‌های پتاسیم برعکس آن در درون یاخته بیشتر از بیرون آن می‌باشد.** در نتیجه این اختلاف یون‌ها، بین دو سوی غشای یاخته‌های عصبی و هر یاخته دیگری، **اختلاف پتانسیل الکتریکی** ایجاد می‌شود. این اختلاف پتانسیل الکتریکی درون یاخته نسبت به بیرون آن را با دستگاه‌های بسیار حساس به نام ولت‌متر می‌توان اندازه گرفت که در این دستگاه‌ها دو الکترود یکی درون یاخته و یکی در بیرون آن قرار می‌گیرد.



«اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سوی غشای یاختهٔ عصبی»

نکته

در بررسی اختلاف پتانسیل الکتریکی یاخته‌ها به دو نکته باید توجه کنیم. نکته اول اینکه عددی که در سؤالات مطرح می‌شود، **اختلاف** پتانسیل الکتریکی **درون یاخته به نسبت بیرون یاخته** است و نکته دوم اینکه در این اختلاف **فقط یون‌های مثبت سدیم و پتاسیم** را بررسی می‌کنیم. مثلاً وقتی می‌گوییم اختلاف پتانسیل الکتریکی در حالت (۱) به اندازه ۷۰− میلی‌ولت و در حالت (۲) به مقدار ۳۰+ میلی‌ولت است، حالت اول یعنی جمع بارهای مثبت سدیم و پتاسیم **درون** یاخته، ۷۰ میلی‌ولت از جمع آن‌ها در بیرون یاخته **کمتر** است و در حالت دوم یعنی جمع این یون‌ها در **درون** یاخته ۳۰ میلی‌ولت از بیرون آن بیشتر می‌باشد یا هنگامی که از عدد صفر استفاده می‌کنیم، یعنی جمع یون‌های سدیم و پتاسیم درون و بیرون یاخته با هم برابر است ولی باز هم تکرار می‌کنم که همواره سدیم (*چه در ۷۰− چه در صفر و چه در ۳۰+*) در بیرون یاخته و پتاسیم در درون یاخته از سمت دیگر تراکم بیشتری دارد.

پروتئین‌های انتقال دهنده یون‌ها در غشای یاخته‌ها برای ایجاد پتانسیل‌های غشایی

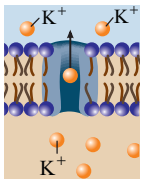
در عرض غشای یاخته‌های عصبی نیز، مولکول‌های پروتئینی سراسری مختلفی برای عبور یون‌های سدیم و پتاسیم وجود دارند که آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

الف) کانال‌های یونی

کانال‌های غشایی، انواعی از پروتئین‌های سراسری در عرض دو لایهٔ فسفولیپید غشا می‌باشند که **بدون صرف انرژی** و **با انتشار تسهیل شده** سعی دارند **در جهت شیب غلظت** یون‌های سدیم را از فضای بین‌یاخته‌ای با تراکم زیاد به درون یاخته بیاورند و یون‌های پتاسیم را نیز **در جهت شیب غلظت** از درون یاخته به بیرون **منتشر** کنند. دقت کنید که هدف نهایی همهٔ این کانال‌ها، برقراری تعادل بین غلظت ماده در دو طرف غشای یاخته می‌باشد که البته هیچ‌گاه فرصت ندارند به هدف نهایی خود برسند.

انواع کانال‌های یونی سدیم و پتاسیم

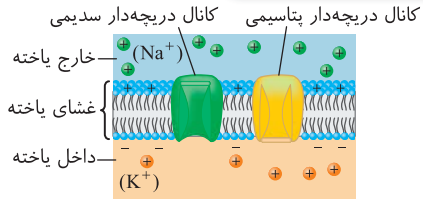
۱) کانال‌های نشتی (*بدون دریچه یا همیشه باز*): این کانال‌ها **همواره باز** هستند و نفوذپذیری بیشتری نسبت به خروج پتاسیم تا ورود سدیم دارند. (*این کانال‌ها اختصاصی عمل می‌کنند و همیشه فعال هستند.*)



«کانال نشتی»

توجه! در اینجا یک اختلاف نظر وجود دارد که این کانال‌های نشتی، هم سدیم و هم پتاسیم را عبور می‌دهند یا برخی با تعداد کم به‌طور اختصاصی فقط سدیم را وارد می‌کنند و برخی با تعداد بیشتر، پتاسیم را به‌طور اختصاصی خارج می‌کنند. البته نظر بنده بر اساس شکل مقابل به گروه دوم نزدیک‌تر است!

۲) کانال‌های دریچه‌دار: این کانال‌ها برای سدیم یا پتاسیم **اختصاصی** هستند و فقط یک نوع یون را از کانال دریچه‌دار خود عبور می‌دهند که می‌توانند **باز و بسته** شوند.



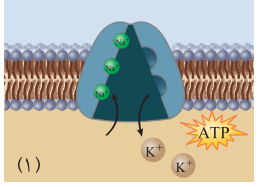
نکته

با توجه به شکل مشاهده می‌کنید که دریچه کانال سدیمی در سطح **خارجی** غشا به سمت فضای بین‌یاخته‌ای و دریچه کانال پتاسیمی در سطح **داخلی** غشا به سمت سیتوپلاسم می‌باشد ولی باز و بسته شدن این دریچه‌ها بدون صرف انرژی می‌باشد (*برای به خاطر سپردن راحت‌تر می‌توانید با خود بگویید دریچه هر کانال، به سمت محلی قرار دارد که یون اختصاصی آن کانال، تراکم بیشتری دارد*).

ب) پمپ سدیم - پتاسیم

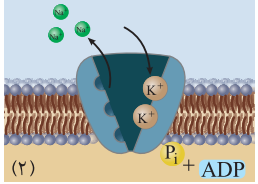
پروتئین سراسری دیگری در عرض غشای یاخته‌ها می‌باشد که هم نقش ترابری دو نوع یون مختلف با **انتقال فعال** دارد و هم نقش آنزیمی در سطح داخلی یاخته با تجزیه (*هیدرولیز*) ATP (*رایج‌ترین انرژی زیستی*) دارد. این پمپ‌ها با هر بار فعالیت در پی هیدرولیز ATP، سبب می‌شوند که ابتدا **سه یون سدیم** در **خلاف** جهت شیب غلظت به سمت **بیرون یاخته** و سپس **دو یون پتاسیم** نیز در جهت **خلاف** شیب غلظت به **داخل یاخته** بیاید.

ترتیب عملکرد پمپ سدیم - پتاسیم



۱) دو یون پتاسیم حاصل از مصرف ATP مرحله قبلی با انتقال فعال وارد یاخته می‌شوند.

۲) سه یون سدیم از داخل یاخته به جایگاه‌های فعال پمپ وصل می‌شوند.



۳) ATP در سطح درونی غشا به ADP و P_i آبکافت می‌شود تا شکل فضایی پمپ تغییر کند.

۴) سه یون سدیم با انتقال فعال خارج می‌شوند و دو یون پتاسیم به پمپ وصل می‌شوند تا دوباره وارد مرحله (۱) شوند.

نکته: این پمپ دو نوع ماده را در دو حالت مختلف و غیرهم‌زمان عبور می‌دهد.

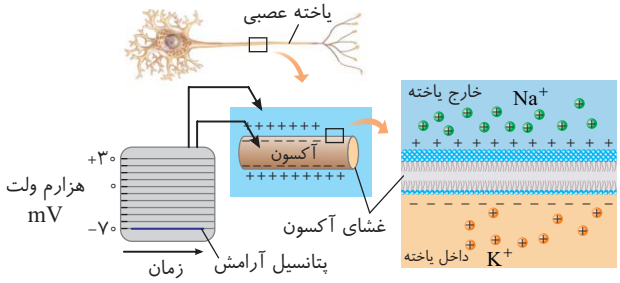
نکته پمپ سدیم - پتاسیم سبب نگهداری شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف یاخته در حد مناسب می‌شود. با توجه به اینکه کانال‌های نشتی همیشه باز می‌باشند، فعالیت دائمی این پمپ برای حفظ پتانسیل‌های غشا ضروری می‌باشد. این پمپ سبب می‌شود که همواره مقدار سدیم در خارج یاخته و مقدار پتاسیم در درون یاخته بیشتر از سطح دیگر یاخته باشد.

نکته تنظیم فعالیت کانال‌ها، پمپ‌ها و باز و بسته شدن آن‌ها سبب ایجاد پیام عصبی در یاختهٔ عصبی می‌شود. دقت کنید که در بین این سه عامل، فقط کانال‌های نشتی تغییر فعالیت ندارند و همواره باز هستند ولی سایر پمپ‌ها و کانال‌ها فعالیت آن‌ها در مقاطع مختلف یاخته، متفاوت است.

پتانسیل‌های غشای یاخته‌های عصبی

الف) پتانسیل آرامش (استراحت)

به حالتی گفته می‌شود که در یاختهٔ عصبی **فعالیت عصبی وجود ندارد** و **جریان یا پیام عصبی** در آن دیده نمی‌شود. در این حالت اختلاف پتانسیل دو طرف غشای یاخته ۷۰- **میلی‌ولت** می‌باشد. یعنی جمع بار یون‌های مثبت داخل آن حدود ۷۰ میلی‌ولت از بیرون آن کمتر است.



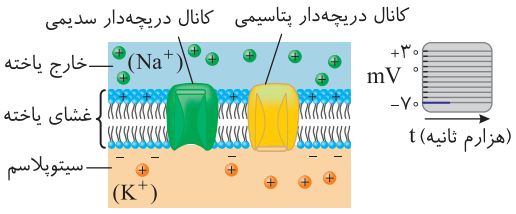
«پتانسیل آرامش»

نکته لازم به ذکر است که یون‌های منفی (*مثل گلر*) و پروتئین‌ها که اغلب بار منفی دارند نیز در اختلاف پتانسیل دو سوی غشا نقش اندکی دارند ولی کتاب درسی فقط اختلاف یون‌های مثبت سدیم و پتاسیم درون و بیرون یاخته را بررسی کرده است.

همان‌طور که گفتیم همواره در حالت طبیعی، تراکم یون‌های سدیم در بیرون یاخته و پتاسیم در درون یاخته زیاد است. **در حالت پتانسیل آرامش یا استراحت در غشای یاخته‌های عصبی، همهٔ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته می‌باشند** (*یادتون هست کجا نشتی‌ها باز بودند؟!*) و این یون‌ها بدون صرف انرژی، فقط می‌توانند از **کانال‌های همیشه باز** نشتی عبور کنند. یادتان می‌آید که گفتیم این کانال‌ها نسبت به خروج K^+ از یاخته نفوذپذیری **بیشتری** نسبت به ورود سدیم دارند!!! پس اگر حالت آرامش یاخته ادامه یابد و یاختهٔ عصبی تحریک نشود، به تدریج **مقدار زیادی پتاسیم** به صورت انتشار و بدون صرف انرژی از یاخته خارج می‌شود و **مقدار کمی** نیز **سدیم** وارد یاخته می‌شود. در نتیجه نسبت مقدار یون‌های مثبت **درون** یاخته به تدریج کمتر و کمتر شده و این اختلاف می‌تواند لحظه به لحظه منفی‌تر شود!!!

دقت کنید که در هنگام پتانسیل آرامش کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی هر دو بسته می‌باشند. پس چه عاملی اختلاف پتانسیل مناسب سدیم و پتاسیم را در هنگام پتانسیل آرامش در حد ۷۰- نگه می‌دارد؟! یا به عبارت دیگر چه عاملی مقدار تراکم یون‌ها را در این حد آرامش حفظ می‌کند؟

برای پاسخ به سؤال قبل باید دقت کنید که پتانسیل آرامش در **همه یاخته‌ها** وجود دارد. در یاخته‌های عصبی به دلیل نیاز به هم‌ایستایی (*هموستازی*) باید اختلاف پتانسیل درون به بیرون آن‌ها در حد ۷۰- حفظ شود. به همین دلیل در غشای **همهٔ** یاخته‌های زنده بدن انسان، **پمپ‌هایی به نام سدیم پتاسیمی** وجود دارد که وقتی این اختلاف به سمت بیشتر از ۷۰ آرامش می‌رود فعال‌**تر** می‌شود و با مصرف و تجزیهٔ بیشتر ATPهای ساخته شده در یاخته‌ها، انرژی مورد نیاز انتقال فعال بیشتری را به دست می‌آورند. با هر بار فعالیت این پمپ، **خروج سه تا یون** Na^+ **و ورود دو تا یون** K^+ **به یاخته** صورت می‌گیرد. این وضعیت و عمل مداوم و بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم سبب می‌شود که شیب غلظت بین دو سوی غشا برای یون‌های Na^+ و K^+ در حد حالت آرامش نگه داشته شود تا در هر لحظه یاختهٔ عصبی **آماده تحریک‌پذیری** یعنی **شروع** ایجاد جریان یا پیام عصبی با نام **پتانسیل عمل** باشد.

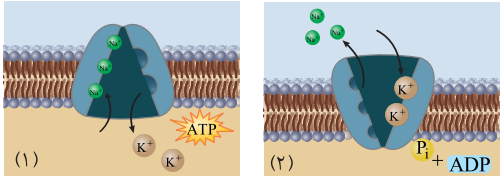


در حالت بالا، کانال‌های نشتی و پمپ‌ها فعالند.

● اگر پمپ سدیم - پتاسیم فعال نشود چه اتفاقی می‌افتد؟

واضح است که **کانال‌های نشتی** سدیم - پتاسیم هیچ‌گاه بسته نمی‌شوند و روند خروج زیاد K^+ و ورود کم Na^+ آن‌ها ادامه دارد. اگر پمپ سدیم - پتاسیم فعال نشود و یاخته تحریک نشود، ادامه وضعیت انتقال یون‌ها با خروج زیاد یون‌های پتاسیم مثبت، ابتدا سبب اختلاف پتانسیل زیاد درون یاختهٔ عصبی نسبت به بیرون می‌شود (*مثلاً به ۱۰۰- می‌رسد*). در این حالت اصطلاحاً می‌گویند یاخته به آرامش زیادی رسیده است و ممکن است این یاخته دیگر تحریک‌پذیری خود را از دست داده باشد (*این پراگراف برای درک کتاب درسی آورده شده است.*) ولی در نهایت کانال‌ها و عمل انتشار تا جایی فعال است که مقدار مادهٔ عبوری در دو سوی غشا برابر شود (*زیست‌شناسی دهم*).

پس از به آرامش رسیدن یاخته‌های عصبی، فعالیت **بیشتر** پمپ سدیم - پتاسیم سبب می‌شود که مقدار شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف غشای یاختهٔ عصبی در حد آرامش حفظ گردد یعنی بیشتر بودن سدیم در بیرون و تراکم زیاد پتاسیم در درون یاخته **همواره** حفظ شود تا هومئوستازی (*هم‌ایستایی*) برقرار شود و یاخته آماده تحریک عصبی و ایجاد پتانسیل عمل شود (*دقت کنید که این مورد از هموستازی را یاختهٔ عصبی انجام می‌دهد نه پشتیبان!*).



«چگونگی کار پمپ سدیم - پتاسیم»

ب) پتانسیل عمل (ایجاد پیام یا جریان عصبی)

پتانسیل آرامش در **همهٔ** یاخته‌های بدن وجود دارد ولی فقط یاخته‌های عصبی و یاخته‌های ماهیچه‌ای در اثر تحریک شدن، قابلیت ایجاد پیام الکتریکی دارند که به آن **پتانسیل عمل** می‌گویند. در اینجا به بررسی این رخداد **در یاختهٔ عصبی** می‌پردازیم.

● پتانسیل عمل

در اثر تحریک یاختهٔ عصبی، به‌طور **ناگهانی** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا تغییر می‌کند. در ابتدا با دستگاه ولت‌متر، مشاهده می‌شود که پتانسیل **درون یاخته** نسبت به بیرون آن **مثبت‌تر** می‌شود. به این پدیده که در ادامه به‌طور مفصل آن را بررسی می‌کنیم، **پتانسیل عمل** می‌گویند. پس از **مدت کوتاهی** دوباره این اختلاف پتانسیل با تغییر وضعیت در کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی غشا به حالت آرامش برمی‌گردد.

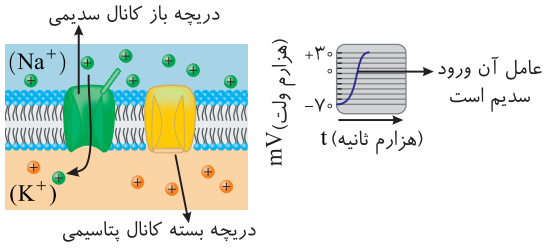
نکته

دقت کنید که پتانسیل عمل در نمودار خود **دو** قسمت **بالا رونده** و **پایین آورنده** دارد که خواهید دید عملکرد هر قسمت در اثر تغییراتی است که در وضعیت کانال‌های **دریچه‌دار** سدیمی و پتاسیمی رخ می‌دهد. این کانال‌های دریچه‌دار با تغییر ولتاژ باز می‌شوند که به آن‌ها کانال‌های اختصاصی دریچه‌دار سدیمی یا پتاسیمی (*یا کانال‌های وابسته*) می‌گویند. **این کانال‌ها در حالت پتانسیل آرامش همواره بسته می‌باشند.**

مراحل پتانسیل عمل

● الف) شروع یا قسمت بالاروی نمودار (از اختلاف پتانسیل ۷۰− تا ۳۰+)

وقتی **غشای** یاختهٔ عصبی با محرک مناسبی **تحریک** شود، ابتدا در محل تحریک، **کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند**. این کانال‌ها همان‌طور که در شکل می‌بینید یک دریچه بیرونی (*دریچه فعال*) در سمت فضای بین‌یاخته‌ای دارند که با تحریک انجام شده، **باز می‌شود** و سدیم‌ها به مقدار بسیار زیادی و با مکانیسم انتشار تسهیل شده یعنی بدون صرف انرژی زیستی وارد یاخته عصبی می‌شوند. **در این حالت تغییری در وضعیت کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی صورت نمی‌گیرد** (*یعنی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌مانند!*). ورود بسیار زیاد سدیم سبب مثبت‌تر شدن داخل یاختهٔ عصبی نسبت به بیرون می‌شود که این اختلاف در هر قسمت از تار عصبی (*یا خود عصبی*) حداکثر تا حدود ۳۰+ می‌رسد و نمودار به سمت بالا می‌رود.



نکته

در این مرحله (*و هر مرحلهٔ دیگری*) کانال‌های نشتی فاقد دریچه سدیمی و پتاسیمی همچنان باز هستند و به فعالیت ورود کم سدیم و خروج بیشتر پتاسیم از غشا ادامه می‌دهند (*پس خروج پتاسیم در این مرحله هم دیده می‌شود اما نه از کانال‌های دریچه‌دار*).

نکته

در این مرحله اختلاف پتانسیل دو سوی غشا ابتدا کم شده و از ۷۰ اختلاف به صفر می‌رسد و دوباره از صفر به ۳۰ اختلاف می‌رسد. پس دوباره این اختلاف زیاد می‌شود.

● ب) قله نمودار پتانسیل عمل

اگر تحریک مناسبی به یاختهٔ عصبی وارد شود، این تحریک می‌تواند اختلاف پتانسیل درون یاخته به بیرون را تا حدود ۳۰+ برساند. وقتی این اختلاف در زمان کوتاهی پس از شروع به حداکثر پتانسیل عمل (*یعنی به ۳۰+*) رسید، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و ورود سدیم را به این کانال متوقف می‌کنند.

چرا فرو بردن سوزن در بدن سبب درد بیشتر در ناحیه می‌شود؟

در یاخته‌های عصبی، قانونی به نام **همه یا هیچ** وجود دارد یعنی اگر شدت تحریک مناسب باشد به حداکثر پتانسیل عمل یعنی به اختلاف ۳۰+ می‌رسد. حال اگر تحریک را بیشتر کنیم، باز هم مقدار و شدت پتانسیل عمل در **یک یاختهٔ عصبی**، حداکثر به اختلاف ۳۰+ می‌رسد و **نمی‌تواند مقدار پتانسیل عمل خود را بالاتر ببرد** ولی با افزایش **شدت** محرک، **تعداد یاخته‌های عصبی بیشتری**، تحریک می‌شوند و **تعداد پتانسیل عمل** در ناحیه بیشتر می‌شود و سبب درک بیشتر و درد شدیدتر می‌شود. **در حقیقت تحریک بیشتر باعث افزایش تعداد پتانسیل عمل می‌شود نه افزایش اختلاف پتانسیل عمل!!**

نکته

اگر اندامی حساس‌تر باشد (*مثل نوک انگشتان و لب‌ها*) **تعداد** یاخته‌های عصبی گیرنده **بیشتری** دارد و پردازش دقیق‌تری برای آن‌ها در قشر مخ صورت می‌گیرد (*فصل ۲*).

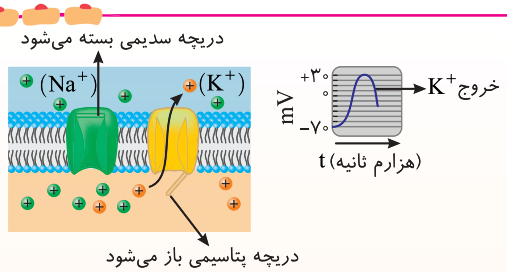
● ج) قسمت پایین‌روی پتانسیل عمل

وقتی در قلهٔ پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شدند، در فاصله کوتاهی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی توسط **تنها دریچه خود** که در قسمت **داخل غشا** (*کانال*) و به **سمت سیتوپلاسم** است باز می‌شوند. در این حالت مقدار **فراوانی** یون‌های پتاسیم در **جهت شیب غلظت** از درون یاخته و از طریق کانال‌های دریچه‌دار خارج می‌شوند.

این خروج یون‌های پتاسیم ابتدا اختلاف را از ۳۰ به صفر می‌رساند و سپس سبب منفی شدن درون یاختهٔ عصبی شده و نمودار با شیب **زیاد** به سمت پایین می‌آید. این اختلاف درون به بیرون یاختهٔ عصبی در صورت بسته نشدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، ممکن است شدیداً حتی از ۷۰− نیز پایین‌تر بیاید و هم‌ایستایی یاخته در مقدار یون‌های سدیم و پتاسیم بیرون و درون یاخته و فشار اسمزی آن به خطر بیفتد.

نکته

در مرحلـه پایین‌روی عمل، یون‌های پتاسیم، بدون صـرف انرژی هم از کانال‌هـای نشـتی فاقد دریچـه و هم از کانال‌هـای دریچه‌دار خارج می‌شـوند ولی سـدیم فقط کمی از طریق کانال فاقد دریچه (نشـتی) وارد یاخته می‌شود. یادتان باشـد که ایـن کانال‌ها چه نشـتی چه دریچه‌دار مشـتی! فقط در جهت یکسـان کردن مقدار یون‌ها در دو سـوی غشـا عمل می‌کنند (*قانون اتشـرکه یادت هسـت اگه خدا بخواد!*).



نکته

در اینجا لازم به یادآوری است که قدر مطلق |−۷۰| یا |+۳۰| یا هر عدد دیگری بیانگر اختلاف پتانسیل درون نسبت به بیرون یاختهٔ عصبی می‌باشد. پس در هنگام قسمت بالاروی پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل درون یاخته نسبت به بیرون، **ابتدا کم** می‌شود و از ۷۰ به صفر می‌رسد. سپس دوباره این اختلاف **زیاد** شده و از صفر به ۳۰ می‌رسد. در قسمت پایین‌رو نمودار پتانسیل عمل نیز اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاختهٔ عصبی ابتدا از ۳۰ به صفر **کم** می‌شود و سپس تا |−۷۰| یعنی ۷۰تا اختلاف آن‌ها **زیاد** می‌شود.

نکته

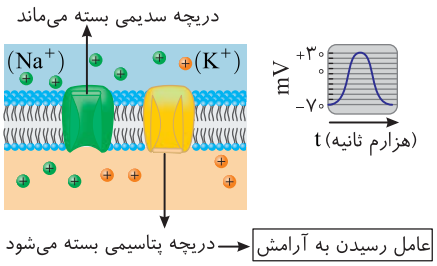
از پتانسـیل آرامش تا حداکثر پتانسـیل عمل، ابتدا اختلاف پتانسـیل درون نسـبت به بیرون یاخته، ۷۰تا کم می‌شود و سپس ۳۰تا زیاد می‌شود ولی در حالت پایین‌رو نمودار، این اختلاف پتانسیل ابتدا ۳۰تا کم شده و سپس ۷۰تا زیاد می‌شود.

چه عاملی سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود؟

تا وقتی کانال دریچه‌دار پتاسیمی باز است هنوز یاخته در مرحله پتانسیل عمل می‌باشد. کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در **مدت کوتاهی** پس از باز شدن، از سمت دریچه خود در بخش سیتوپلاسمی کانال، بسته می‌شوند و مانع خروج فراوان پتاسیم می‌شوند. **این بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود.**

نکته

با دقت در شـکل روبه‌رو متوجه می‌شـوید که در حالت به آرامش رسـیدن غشـا، دریچهٔ مربوط به کانال دریچه‌دار سـدیمی بسـته می‌ماند ولی دریچه پایینی کانال پتاسیمی از حالت باز به بسته درمی‌آید تا پتانسیل آرامش و اختلاف حدود ۷۰− در دو طرف غشا برقرار شود.



نتیجه
- باز شدن کانال دریچه‌دار سدیمی ← سبب تبدیل پتانسیل آرامش به عمل می‌شود.
- بسته شدن کانال دریچه‌دار پتاسیمی ← سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود.

نکته

کانال‌هـای دریچـه‌دار سـدیمی و پتاسـیمی هیچ‌گاه هـر دو هم‌زمان باز نمی‌باشـند ولی در پتانسیل آرامش و یک لحظه در قلهٔ پتانسیل عمل، هر دو نوع هم‌زمان بسته می‌باشند.

چه عاملی سبب تنظیم مقدار یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف یاختهٔ عصبی می‌شود؟

بعد از پایان پتانسـیل عمل به دلیل **خروج فراوان پتاسـیم** مقدار یون‌های سـدیم و پتاسـیم دو طرف یاختهٔ عصبی با حالت آرامش **متفاوت** می‌باشد. در این حالت فعالیت پمپ‌های سدیم و پتاسیم **بیشتر** می‌شود تا با **صرف انرژی** زیستی *ATP*، سبب خروج یون‌های سدیم و ورود پتاسیم شود و غلظت و مقدار آن‌ها و اختلاف پتانسیل دو سمت یاخته را به حالت آرامش برگرداند.

نکته

برای انتشار، انرژی جنبشی مولکول‌های عبوری نقش مهمی دارد ولی برای انتقال فعال انرژی زیستی یا *ATP* نقش بسیار مهمی دارد.

هدایت پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی

ایجاد **پتانسیل عمل** در یاختهٔ عصبی به معنی **ایجاد پیام عصبی** در آن می‌باشد ولی این پیام باید در طول یاختهٔ عصبی **هدایت** شود تا به انتهای آکسون برسد. به جریان پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی که معمولاً از دندریت به سمت جسم یاخته‌ای و از آنجا به سمت انتها یا پایانه‌های آکسون می‌باشد، **هدایت** پیام عصبی می‌گویند.

نکته

لازم بـه یـادآوری اسـت که در هنگام **انتقال** پیام عصبی از انتهای آکسـون نورون قبلی به جسـم یاخته‌ای نورون بعدی، **هدایت** پیـام عصبی در نورون بعدی می‌تواند بدون دخالت دندریت، فقط از جسم یاخته‌ای به آکسون نیز صورت بگیرد که این موضوع را در ادامه در مبحث سیناپس توضیح می‌دهم.

انواع هدایت پیام عصبی در یاخته‌های عصبی
۱) هدایت نقطه به نقطه
۲) هدایت جهشی

نکته

لطفاً دقت کنید که واژهٔ **هدایت** پیام عصبی را فقط برای سیر پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی در نظر می‌گیریم ولی واژهٔ **انتقال** برای سیر پیام عصبی بین دو یاخته می‌باشد.

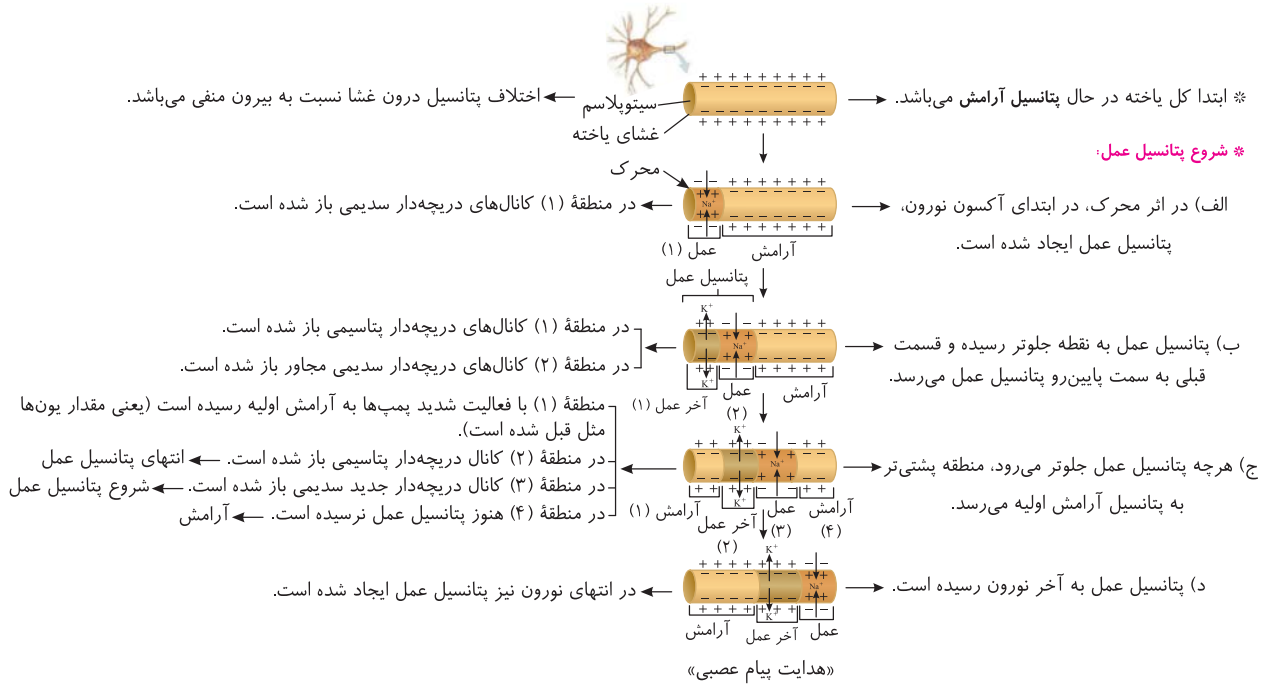
۱) هدایت نقطه به نقطه

در برخی یاخته‌های عصبی، که **فاقد میلین** عایق هستند، کل غشای یاختهٔ عصبی در تماس با محیط می‌باشد و **هر قسمت** آن توانایی ایجاد **پتانسیل عمل** دارد (*همانند یاختهٔ عصبی رابط موجود در مادهٔ خاکستری نخاع*). در این یاخته‌های عصبی، پتانسیل عمل ایجاد شده در یک نقطه، به صورت **نقطه به نقطه** از دندریت به سمت جسم یاخته‌ای و از آنجا به سمت انتهای آکسون **هدایت** می‌شود. در هدایت نقطه به نقطه باید دقت کنید که قسمتی که در پتانسیل عمل است سبب تحریک قسمت جلویی می‌شود، وقتی در قسمت جلویی پتانسیل عمل ایجاد شد، قسمت قبلی با بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی به حالت آرامش درمی‌آید و همین‌طور ادامه می‌یابد تا پیام عصبی به پایانه‌های آکسونی برسند (*در حقیقت هر کانال دریچه‌دار با عمل خود سبب باز شدن کانال دریچه‌دار بعدی می‌شود یعنی اگر تحریک از وسط دندریت شروع شده دیگر پیام به قسمت قبل از آن هدایت نمی‌شود*).

نکته

در هدایت نقطه‌ای نیز وقتی پتانسیل عمل در نقطه‌ای تمام شد، پمپ سدیم - پتاسیم مقدار یون‌های آن منطقه را به حالت آرامش برمی‌گرداند.

به نکات مجاور شکل‌های زیر به ترتیب و با دقت توجه کنید!



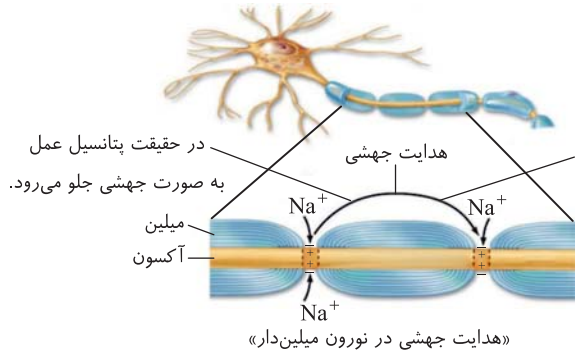
۲) هدایت جهشی پیام عصبی

وقتی سرعت هدایت پیام عصبی را در دو یاختهٔ عصبی **هم‌قطر**، که یکی میلین دارد یکی فاقد میلین است را با هم مقایسه می‌کنیم، مشاهده می‌شود که در **یاختهٔ عصبی میلین‌دار**، پیام عصبی سرعتی (*در حدود چند صد برابر*) بیشتر از یاختهٔ عصبی **هم‌قطر** ولی فاقد میلین دارد.

● چرا سرعت هدایت در تارهای میلین‌دار بیشتر است؟

در ابتدای درسنامه گفتیم که میلین ساختاری **عایق** است که از پیچیدن یاخته‌های پشتیبان به دور **آکسون و دندریت** یاخته‌های عصبی ایجاد می‌شود. این ماده در قسمت‌هایی که قرار می‌گیرد مانع انتقال یون‌ها از یاخته‌های عصبی می‌شود **و به همین دلیل در مناطق میلین‌دار پتانسیل عمل ایجاد نمی‌شود**. در تارهای میلین‌دار، میلین به صورت **منقطع** وجود دارد. در محل‌هایی که میلین تشکیل نشده است، بخش‌هایی به نام **گره رانویه** ایجاد شده است. **در این قسمت‌ها غشای یاختهٔ عصبی در تماس با آب و فضای بیرون یاخته‌ای است.** در گره‌های رانویه پتانسیل عمل ایجاد می‌شود و پیام عصبی درون رشته عصبی از یک گره رانویه به گره دیگر به صورت **جهشی** هدایت می‌شود. در حقیقت پیام عصبی انگار از یک گره به گره دیگر به صورت جهشی می‌پرد و سبب باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و سپس پتاسیمی گره بعدی می‌شود.

در این یاخته‌های عصبی به دلیل هدایت جهشی سرعت هدایت پیام عصبی بسیار بیشتر از یاختهٔ عصبی هم‌قطر فاقد میلین می‌باشد و نیازی به تحریک نقطه به نقطه نمی‌باشد.



«هدایت جهشی در نورون میلین‌دار»

نکته یاخته‌های عصبی حرکتی تحریک‌کنندهٔ ماهیچه **اسکلتی** که مربوط به اعصاب پیکری هستند، همواره میلین‌دار می‌باشند چون سرعت ارسال پیام در ماهیچه اسکلتی اهمیت زیادی دارد (*در انتهای این فصل از اعصاب پیکری و نکات و چندچون آن باخبر می‌شوید!*).

نکته **جسم یاخته‌ای** یاختهٔ عصبی هیچ‌گاه میلین ندارد در نتیجه در جسم یاخته‌ای هر یاختهٔ عصبی هدایت پیام عصبی به صورت **نقطه به نقطه** می‌باشد و غشای آن حاوی پمپ‌ها و کانال‌های یونی فراوانی می‌باشد.

نکته در فعالیت کتاب اشاره شده است که در یاخته‌های عصبی میلین‌دار، در گره‌های رانویه کانال‌های دریچه‌دار **زیادی** وجود دارد ولی در فاصله بین گره‌ها که عایق می‌باشد، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی یا پتاسیمی وجود ندارد و پتانسیل عمل در آن مناطق ایجاد نمی‌شود.

نکته **کاهش یا افزایش** مقدار میلین با تغییر در سرعت **هدایت** پیام عصبی، سبب بیماری می‌شود. در بیماری *MS* یا **مالتیپل اسکلروزیس** به دلیل **از بین رفتن یاخته‌های پشتیبان** میلین‌ساز (*نه هر نوع پشتیبان*) در دستگاه عصبی **مرکزی** (*مغز و نخاع*) و کاهش میلین، ارسال پیام عصبی به درستی صورت نمی‌گیرد. در این بیماری **بینایی و حرکت** فرد مختل شده و فرد دچار **لرزش** و **بی‌حسی** می‌شود. در فصل‌های جلوتر می‌آموزید که این بیماری در اثر فعالیت سیستم ایمنی بدن بر علیه خود بدن به عنوان یک بیماری **خودایمنی** فعال شده است.

انتقال پیام عصبی (سیناپس)

وقتی جریان عصبی یا همان **پتانسیل عمل** به پایانه‌های آکسون یاختهٔ عصبی برسد، این پیام عصبی می‌تواند به **یاخته عصبی، ماهیچه‌ای یا غدد** منتقل شود. به این ویژگی که پیام عصبی (*پتانسیل عمل*) یک یاختهٔ عصبی سبب **تغییر فعالیت الکتریکی** یاختهٔ بعدی شود، **انتقال پیام عصبی** و به این رابطه **همایه** (*سیناپس*) می‌گویند. در سیناپس به‌طور معمول دو یاخته به هم **نمی‌چسبند** و فضایی به نام **فضای همایه‌ای** (*سیناپسی*) بین آن‌ها وجود دارد. به یاختهٔ عصبی که پیام عصبی را به سیناپس می‌آورد، **یاختهٔ پیش‌همایه‌ای** (*سیناپسی*) می‌گویند که همواره یک یاختهٔ عصبی است و به یاختهٔ بعدی که می‌تواند یاختهٔ عصبی، ماهیچه‌ای یا غدد باشد، **یاخته پس‌همایه‌ای** (*سیناپسی*) می‌گویند.

مراحل انتقال پیام عصبی در سیناپس

۱) وجود پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی پیش‌همایه‌ای (سیناپسی)

همواره در سیناپس، اگر یاختهٔ عصبی **پیش‌سیناپسی** دارای **پتانسیل عمل** باشد، آن‌گاه می‌تواند پیام عصبی را تا **پایانه آکسونی** خود هدایت کند.

۲) ساخت و ترشح ناقل عصبی

ناقلین عصبی، پیک‌های شیمیایی **کوتاه‌بردی** (*فصل ۴*) هستند که در یاخته‌های عصبی پیش‌سیناپسی ساخته می‌شوند و درون ریزکیسه‌های کوچکی **ذخیره** می‌شوند. وقتی پیام عصبی در طول آکسون حرکت می‌کند، این ریزکیسه‌های دارای ناقل عصبی در طول سیتوپلاسم آکسون **حرکت** کرده تا به انتهای آکسون برسند. پیام عصبی (*پتانسیل عمل*)، در انتهای آکسون با مصرف انرژی زیستی رایج (*ATP*) و اگزوسیتوز (*برون‌رانی*)، ناقلین عصبی را به **فضای سیناپسی** آزاد می‌کند. در این حالت ابتدا غشای ریزکیسه‌ها به غشای یاختهٔ عصبی **پیش‌سیناپسی** متصل می‌شوند و سپس ناقل عصبی وارد فضای همایه‌ای می‌شود (*اگر پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی وجود نداشته باشد، ناقل عصبی در آن تولید و ذخیره می‌شود و درون ریزکیسه‌های آن در طول آکسون حرکت نمی‌کند و به فضای سیناپسی نیز آزاد نمی‌شود*).

۳) اتصال ناقل عصبی به گیرنده غشایی یاخته پس‌سیناپسی

در غشای یاخته پس‌سیناپسی، **پروتئین‌های گیرنده‌ای** وجود دارند که از نوع پروتئین‌های **سراسری کانالی** می‌باشند. ناقلین عصبی وارد یاخته پس‌سیناپسی نمی‌شوند بلکه به **سطح خارجی گیرنده غشایی** آن‌ها متصل می‌شوند و در صورت تحریکی بودن، سبب باز شدن کانال‌های دریچه‌دار **سدیمی** این گیرنده‌ها می‌شوند. در پی این عمل با ورود سدیم، پتانسیل عمل در یاختهٔ بعدی ایجاد می‌شود.

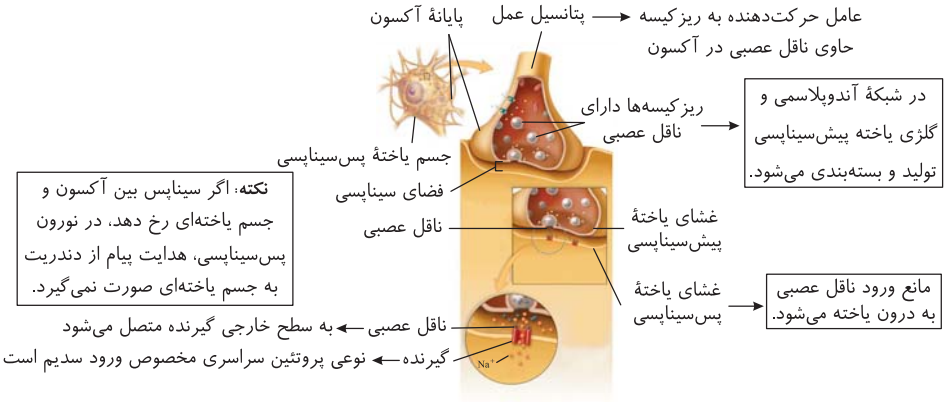
۴) تحریک یا مهار کردن یاخته پس‌سیناپسی

اگر ناقل عصبی از نوع **تحریک‌کننده** بود، سبب **ایجاد پتانسیل عمل** و پیام الکتریکی در یاخته پس‌سیناپسی با **باز** کردن کانال‌های دریچه‌دار **سدیمی** می‌شود که به آن **سیناپس تحریکی** می‌گویند ولی اگر سیناپس از نوع **مهارکننده بود**، برخورد ناقل عصبی به **یاختهٔ عصبی** پس‌سیناپسی سبب **تغییر پتانسیل الکتریکی** آن یاخته در جهت **به آرامش رسیدن** یاختهٔ عصبی پس‌سیناپسی می‌شود و از فعالیت آن یاختهٔ عصبی جلوگیری می‌کند. (*در حقیقت ناقل عصبی از هر نوعی، سبب تغییر در پتانسیل الکتریکی یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.*)

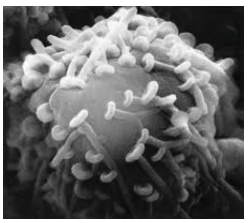
مسیر پیام عصبی در یاختهٔ پیش‌سیناپسی ← برون‌رانی ناقل عصبی در انتهای آکسون یاختهٔ پیش‌سیناپسی ← ناقل عصبی

ناقل عصبی ← مهارکننده ← ایجاد آرامش در یاختهٔ عصبی بعدی می‌شود.

ناقل عصبی ← تحریک‌کننده ← سبب باز شدن کانال سدیمی در یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.
تحریک‌کننده ← ایجاد پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی بعدی می‌شود.
تحریک‌کننده ← ایجاد حالت انقباض در ماهیچه می‌شود.
تحریک‌کننده ← سبب ترشح توسط غدد می‌شود.



«آزاد شدن ناقل عصبی و اثر آن بر یاختهٔ پس‌سیناپسی»



«تصویر سیناپس با میکروسکوپ الکترونی»

نکته در هر دو نوع سیناپس تحریک‌کننده یا مهارکننده، **ناقل عصبی از یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی** ترشح می‌شود و ناقل عصبی همواره سبب **تغییر** فعالیت **الکتریکی** یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.

نکته اگر در یاخته پیش‌سیناپسی پتانسیل عمل ایجاد نشود، از انتهای آکسون آن ناقل عصبی آزاد نمی‌شود. در این حالت به آن سیناپس غیرفعال یا بدون ناقل می‌گویند. (*نمونهٔ آن را در انعکاس‌های حرکت دست بررسی می‌کنیم.*)

نکته دقت کنید که ناقل عصبی مهارکننده یا بازدارنده فقط در سیناپس بین **دو یاختهٔ عصبی** ترشح می‌شود. یعنی در سیناپس بین یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی با غدد یا ماهیچه **فقط** ناقل **تحریک‌کننده** برای ترشح مواد یا انقباض ماهیچه وجود دارد.

● ۵) مراحل پس از پایان انتقال پیام عصبی

تا هنگامی که ناقل عصبی در فضای سیناپسی وجود داشته باشد برحسب اینکه تحریکی یا مهاری باشد، در حال اثر بر یاخته پس‌سیناپسی می‌باشد. در بیشتر موارد، انتقال **بیش از حد** پیام عصبی نتایج ناگواری به بار می‌آورد. به همین دلیل **پس از انتقال پیام عصبی** انجام فعالیت لازم، مولکول‌های ناقل باقی‌مانده **باید از فضای سیناپسی تخلیه شوند** که این کار یا با آندوسیتوز (*درون‌بری*) و جذب دوباره ناقل عصبی (*آندوسیتوز*) به یاخته **پیش‌سیناپسی** صورت می‌گیرد یا **ناقلین عصبی توسط آنزیم‌هایی برون‌یاخته‌ای در فضای سیناپسی تجزیه می‌شوند.**

نکته اگر ناقل عصبی از محل فضای سیناپسی تخلیه نشود، انتقال بیش از حد پیام عصبی رخ داده و امکان انتقال پیام‌های **جدید** در محل سیناپس داده نمی‌شود.

نکته تغییر در میزان **طبیعی** ناقل‌های عصبی سبب بیماری‌ها یا اختلال در کار دستگاه عصبی می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به پارکینسون و آلزایمر اشاره کرد (*بیشتر بدانید*).

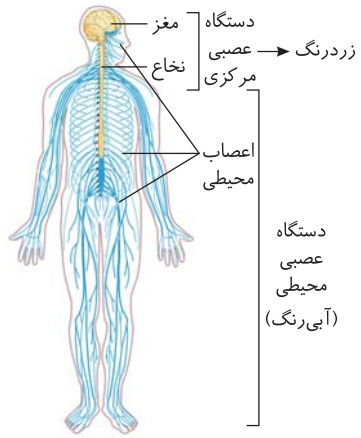
نکته پروتئین گیرندهٔ ناقل عصبی تحریکی در غشای یاختهٔ پس‌سیناپسی، هم نقش گیرندهٔ پیک شیمیایی و هم نقش کانال دریچه‌دار سدیمی برای ایجاد پتانسیل عمل را دارد ولی در عبور پتاسیم نقشی ندارد.

نکته هر ناقل عصبی در سیناپس یاختهٔ عصبی به ماهیچه
۱) توسط یاختهٔ عصبی تولید شده و سپس جذب دوباره یا تجزیه می‌شود.
۲) می‌تواند سبب باز شدن کانال دریچه‌دار سدیمی ماهیچه‌ها شود.
۳) در طول آکسون پیش‌سیناپسی حرکت می‌کند.

درسنامه

گفتار ۲ ساختار دستگاه عصبی

دستگاه عصبی **انسان** دارای دو بخش مرکزی و محیطی می‌باشد که اجزای آن را به صورت کلی در شکل روبه‌رو و نمودار زیر مشاهده می‌کنید. بخش زردرنگ اعصاب مرکزی و بخش‌های آبی مربوط به تارهای محیطی می‌باشند.



«دستگاه عصبی مرکزی و محیطی»

- دستگاه عصبی
  - مرکزی
    - مغز
      - سه بخش اصلی
        - مخ و نیمکره‌های آن ← بزرگ‌ترین قسمت مغز
        - مخچه
        - ساقهٔ مغز
          - کوچک‌ترین قسمت اصلی مغز است.
          - مغز میانی و برجستگی چهارگانه آن
          - پل مغزی
          - بصل‌النخاع ← پایین‌ترین بخش مغز در جمجمه می‌باشد.
      - بخش‌های دیگر مغز (بالای ساقهٔ مغز)
        - تالاموس‌ها
        - هیپوتالاموس
        - سامانهٔ کناره‌ای (لیمبیک) ← لوب بویایی به جلوی آن متصل است (۱۰ بخش از آن نیست).
    - نخاع ← از بصل‌النخاع تا مهره دوم کمر ادامه دارد.
  - محیطی
    - ۱۲ جفت عصب متصل به مغز دارد
      - عصب حسی
      - عصب حرکتی
      - عصب مختلط (دارای هر دو نوع تار عصبی)
    - ۳۱ جفت عصب نخاعی مختلط دارد.
    - دو بخش دارد
      - بخش حسی دارد (حس ویژه و حس پیکری دارد)(فصل ۲) ← پیام را به بخش مرکزی می‌آورد.
      - بخش حرکتی دارد
        - پیکری
          - **فقط** با ماهیچهٔ اسکلتی در ارتباط است.
          - اغلب ارادی است.
          - برخی مسئول انعکاس غیر ارادی است.
        - خودمختار ← ۱۰۰٪ غیر ارادی
          - سمپاتیک (هم‌حس)
          - پاراسمپاتیک (پادهم‌حس)
          - با ماهیچهٔ صاف و قلبی در ارتباط است.
          - با غدد در ارتباط است.

دستگاه عصبی مرکزی

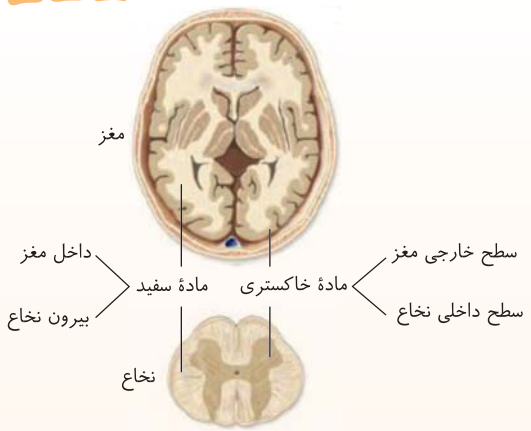
این بخش شامل **مغز و نخاع** می‌باشد که **مراکز نظارت بر فعالیت‌های بدن** می‌باشند. این دستگاه، اطلاعات حسی دریافتی از **محیط و درون بدن** را می‌گیرد و آن را **تفسیر** می‌کند و سپس به آن‌ها پاسخ مناسب می‌دهد.

بخش‌های **ساختاری** دستگاه عصبی مرکزی:
- **بخش خاکستری:** شامل **جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی** و رشته‌های عصبی **بدون میلین** مثل یاخته‌های عصبی رابط و دندریت حرکتی درون آن می‌باشند.
- **بخش سفید:** اجتماع **دندریت‌ها و آکسون‌های** میلین‌دار با سرعت زیاد هدایت پیام عصبی می‌باشند.

نکته در بخش سفید دستگاه عصبی مرکزی، جسم یاخته‌ای وجود ندارد.

نکته با توجه به شکل متوجه می‌شوید که در قسمت‌های مختلف **مخ و مخچه** مادهٔ خاکستری در بخش **خارجی** و مادهٔ سفید در بخش **درونی** می‌باشد ولی در نخاع بخش سفید در قسمت خارجی و بخش خاکستری به شکل پروانه یا حرف H یا X در بخش داخلی می‌باشد.

نکته با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در مغز، علاوه بر قشر خاکستری چین‌خورده، تعدادی اجسام و هسته‌های خاکستری نیز در مادهٔ سفید به صورت پراکنده وجود دارد.



«برش عرضی مغز و نخاع»

محافظ‌های ویژه دستگاه عصبی مرکزی

استخوان‌ها، پرده‌های مننژ، سد خونی - مغزی و **خونی - نخاعی**، سه عامل محافظت‌کننده مغز و نخاع می‌باشد که در ادامه به بررسی ساختار و عملکرد آن‌ها می‌پردازیم.

الف) استخوان‌های محافظ

مغز توسط استخوان‌های **پهن جمجمه** با لبه دندانه‌دار که با مفصل **ثابت** به هم متصل شده‌اند و نخاع با استخوان‌های **نامنظم** ستون مهره‌ها محافظت می‌شوند.

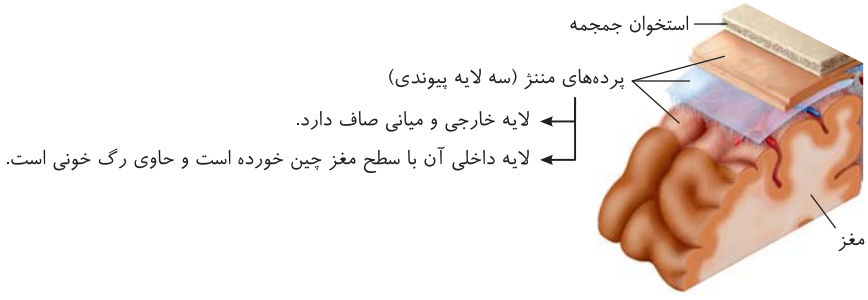
نکته استخوان که حاوی بافت **پیوندی** است **نخستین** و خارجی‌ترین عامل محافظ از دستگاه عصبی مرکزی می‌باشد.



«جمجمه و ستون مهره»

ب) پرده‌های مننژ

پرده‌های مننژ به صورت **سه لایه پیوندی** از **مغز و نخاع** محافظت می‌کنند. این پرده‌ها به ترتیب از **خارج به داخل** سه لایهٔ متصل به استخوان، لایهٔ میانی و لایهٔ متصل به اعصاب مرکزی دارند. **فضای بین پرده‌ها** را مایعی به نام **مایع مغزی - نخاعی** پر می‌کند که مانند یک ضربه‌گیر، از دستگاه عصبی **مرکزی** در مقابل ضربه محافظت می‌کند.



«پرده‌های مننژ»

نکته خارجی‌ترین لایهٔ مننژ از سایر لایه‌ها **قطورتر** است و بدون نفوذ در چین‌خوردگی کوچک مغزی می‌باشد. این لایه از خارج به استخوان متصل است و از داخل در تماس با مایع مغزی - نخاعی می‌باشد.

نکته لایه داخلی مننژ برخلاف لایه خارجی و میانی همراه با چین‌خوردگی‌های مخ چین می‌خورد و صاف نمی‌باشد (البته اگر می‌خواهید بیشتر بدانید، باید بگم که هر سه لایهٔ منژ در شیار عمیق بین دو نیمکره وارد می‌شوند ولی در شیارها و چین‌های هر نیمکره، فقط لایهٔ داخلی وارد شده و چین می‌خورد).

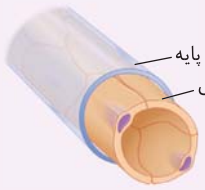
نکته با توجه به شکل می‌توان متوجه شد که لایه داخلی مننژ حاوی رگ‌های خونی می‌باشد.

نکته با توجه به شکل می‌توان دریافت که لایه میانی مننژ در سمت داخلی خود رشته‌های ریز شبیه تار عنکبوت دارد.

● ج) سد خونی - مغزی و خونی - نخاعی

مویرگ‌های موجود در دستگاه عصبی **مرکزی** یک لایه بافت پوششی از نوع پیوسته و **بدون منفذ** دارند. (در کتاب دهم عنوان شده که ممکن است هیچ منفذی نداشته باشند!!) این مویرگ‌ها با یاخته‌های به هم چسبیده می‌توانند ورود و خروج مواد را به شدت تنظیم کنند و در **شرایط طبیعی بسیاری از مواد و میکروب‌ها** نمی‌توانند به دستگاه عصبی مرکزی وارد شوند. این عامل مویرگی با بافت پوششی را **سد خونی - مغزی** و **خونی - نخاعی** می‌گویند که البته مولکول‌هایی مثل O_2 برای تنفس یاخته‌ای و گلوکز و آمینواسید برای تغذیه بافت عصبی و **برخی** داروها از این سد عبور کرده و CO_2 حاصل از متابولیسم نیز از آن خارج می‌شود. (این مویرگ‌ها در لایه داخلی منفذ نیز وجود دارند.)

یادآوری: مویرگ‌های پیوسته دستگاه عصبی مرکزی غشای پایه کاملی دارند و بین یاخته‌های آن‌ها منافذ فراوان و حفره‌های بین‌یاخته‌ای وجود ندارد.



«مویرگ پیوسته»

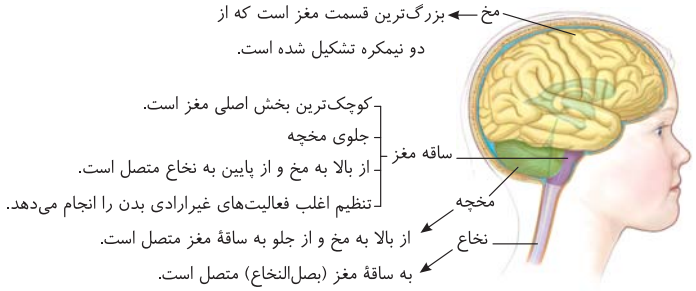
بررسی قسمت‌های مختلف دستگاه عصبی مرکزی

بررسی مغز

مغز درون جمجمه قرار دارد و از سه بخش **اصلی** **مخ، مخچه و ساقهٔ مغز** تشکیل شده است که در ادامه هرکدام را بررسی می‌کنیم.

نکته
در تست‌ها به کلمهٔ بخش **اصلی** مغز دقت کنید چون مناطقی مثل تالاموس‌ها، هیپوتالاموس و لیمبیک یا هیپوکامپ از مناطق مغزی هستند ولی جزء بخش اصلی مغز طبقه‌بندی نمی‌شوند.

نکته
از نظر اندازه: مخ > مخچه > ساقهٔ مغز



«سه بخش **اصلی** مغز»

● A) نکات نیمکره‌های مخ

۱) در انسان، مخ **بیشترین** حجم مغز را تشکیل داده است که دو نیمکرهٔ چپ و راست دارد. این دو نیمکره توسط **یک** شیار **عمیق** از هم جدا شده‌اند.

۲) دو نیمکرهٔ مخ توسط **رابط‌های سفید رنگ** از رشته‌های عصبی **میلین‌دار** به نام رابط پینه‌ای و سه‌گوش (مشت مغزی) به هم متصل هستند.

۳) دو نیمکره به‌طور **هم‌زمان**، از **همه جای بدن**، اطلاعات را دریافت می‌کنند و پس از **پردازش نهایی** آن‌ها سبب **هماهنگی** در فعالیت‌های **بخش‌های مختلف بدن** می‌شوند.

۴) هر نیمکره کارهای **اختصاصی** نیز دارد. **بخش‌هایی** از نیمکرهٔ چپ به توانایی در **ریاضیات** و استدلال مربوطند و نیمکرهٔ راست برای مهارت‌های **هنری** تخصص یافته است.

۵) بخش خارجی نیمکره‌های مخ، قشر خاکستری **نازک** چند میلی‌متری با **سطحی وسیع** دارد که **چین خورده** و دارای **شیارها و شکنج‌های متعددی** می‌باشد.

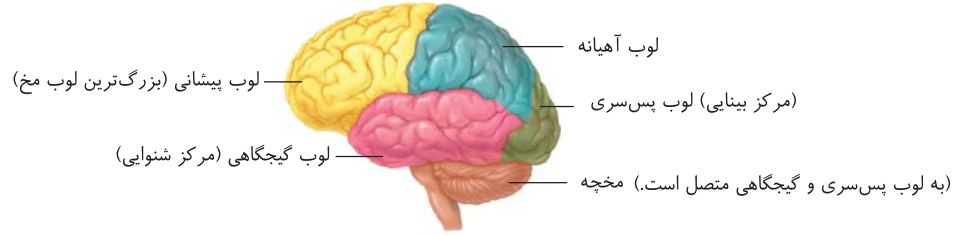
۶) قشر مخ، از جسم یاخته‌ای، رشته‌های بدون میلین و یاخته‌های عصبی رابط تشکیل شده است، ولی قسمت داخل مخ، مادهٔ سفید با رشته‌های عصبی میلین‌دار می‌باشد.

۷) در **قشر مخ** بخش‌ها و یاخته‌های عصبی **حسی، حرکتی و ارتباطی** وجود دارد که بخش‌های ارتباطی، نقش ارتباط بین بخش‌های حسی و حرکتی را دارند.

۸) **قشر مخ** جایگاه **پردازش نهایی** اطلاعات ورودی به **مغز** است که در اثر این پردازش، فعالیت‌های **یادگیری**، **تفکر** و عملکرد هوشمندانه ارادی شکل می‌گیرد.

۹) هر نیمکرهٔ مخ دارای **چهار** لوب پیشانی، آهیانه، گیجگاهی و پس‌سری می‌باشد.

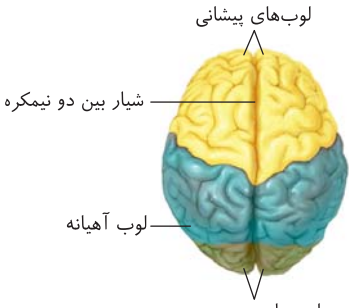
۱۰) در هر نیمکره، لوب **پیشانی** بزرگ‌ترین لوب مغزی است که به **دو** لوب آهیانه و گیجگاهی متصل می‌باشد. لوب پس‌سری مخ که مرکز پردازش **بینایی** است از جلو به دو لوب مغزی آهیانه و گیجگاهی متصل است و از پایین به مخچه متصل می‌باشد. لوب‌های آهیانه و گیجگاهی به **سه** لوب دیگر مخ متصلند. (مخچه نیز از بالا به دو لوب مغزی پس‌سری و گیجگاهی هر نیمکره متصل است.)



«لوب‌های مخ از نیمرخ» ← در این نما، چهار لوب هر نیمکرهٔ مخ به همراه مخچه دیده می‌شود.

۱۱) شیارهای **عمیق** مخ دو نوع می‌باشند. **یکی** بین دو نیمکرهٔ مخ بوده و سبب جدایی دو نیمکره می‌شود. تعدادی نیز در هر نیمکره وجود دارد که سبب ایجاد چهار لوب مختلف در هر نیمکره می‌شود.

۱۲) در تست‌ها دقت کنید که در مخ، فقط **قشر خاکستری** آن سه بخش حسی، حرکتی و رابط دارد و فقط قشر مخ جایگاه پردازش نهایی اطلاعات ورودی به مغز می‌باشد که نتیجهٔ این عمل، فرایندهای یادگیری، تفکر و اعمال هوشمندانه می‌باشد.

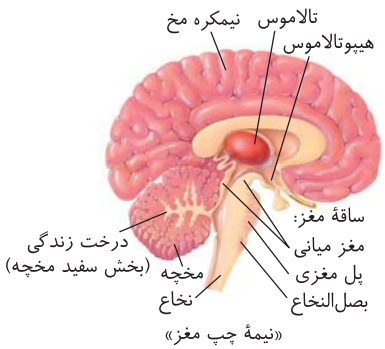


«لوب‌های مخ از بالا»
- از این نما، فقط می‌توانیم پیشانی، آهیانه و پس‌سری به همراه شیار اصلی بین دو نیمکرهٔ مخ را ببینیم.
- در این نما، لوب گیجگاهی مخ و مخچه دیده نمی‌شود.

۱۳) بخش‌های مختلف قشر مخ
- **بخش حسی:** پیام اندام‌های حسی مثل چشم، گوش، بینی و... را دریافت می‌کند.
- **بخش حرکتی:** پیام حرکتی را توسط یاخته‌های عصبی حرکتی به ماهیچه‌ها و غدد می‌فرستد.
- **بخش ارتباطی:** این بخش‌ها بین بخش‌های **حسی و حرکتی** ارتباط برقرار می‌کنند و یاخته‌های عصبی رابط زیادی دارند.

● B) قسمت‌ها و نکات ساقهٔ مغز

این بخش مغز که در **جلوی مخچه** قرار گرفته است از بالا به پایین شامل سه قسمت مغز میانی، پل مغزی و بصل‌النخاع می‌شود. ساقهٔ مغز از بالا به مخ، از پایین به نخاع و از پشت به مخچه متصل است. این بخش، در بین بخش‌های **اصلی** مغز، **کوچک‌ترین** حجم را دارد.



«نیمهٔ چپ مغز»

وظایف بخش‌های مختلف ساقهٔ مغز

۱) مغز میانی: در **بالای پل مغزی** و زیر تالاموس و اپی‌فیز قرار دارد. قسمتی به نام **برجستگی‌های چهارگانه** در تماس با اپی‌فیز دارد. **یاخته‌های عصبی** مغز میانی در فعالیت‌های مختلف **شنوایی**، **بینایی** و **حرکت** نقش دارند. کار این یاخته‌های عصبی **در ارتباط با هم می‌باشد** به همین دلیل با شنیدن صدا می‌توانیم چشم‌ها و سر خود را به سمت منبع صدا برگردانیم.

۲) پل مغزی: مرکزی در زیر مغز میانی و بالای بصل‌النخاع است که در تنظیم فعالیت‌هایی مثل **ترشح بزاق**، **اشک** و **تنفس** نقش دارد. پل مغزی نوعی مرکز تنفسی نیز می‌باشد که با اثر بر **مرکز اصلی تنفس یعنی بصل‌النخاع**، سبب **خاتمه عمل دم** و به **استراحت** رفتن **دیافراگم و ماهیچه‌های بالا برنده قفسه سینه** می‌شوند. این مرکز تنفسی در پل مغزی می‌تواند **مدت زمان دم را تنظیم کند** و به همراه بصل‌النخاع در تنظیم فعالیت اعصاب خودمختار روی **فعالیت قلب** نیز مؤثر باشد (*فصل ۳ و ۴ زیست‌شناسی دهم*).

نکته: پل مغز، هورمونی تولید نمی‌کند ولی در دفاع از چشم (*اشک*)، گوارش نشاسته و ضد عفونی کردن دهان و کمک به بلع (*با تنظیم ترشح بزاق*) نقش دارد.

۳) بصل‌النخاع: پایین‌ترین قسمت مغز در جمجمه می‌باشد که در بالای نخاع قرار دارد. بصل‌النخاع فعالیت‌های حیاتی مثل **تنفس، فشار خون و ضربان قلب** را تنظیم می‌کند و مرکز **انعکاس‌هایی** مثل **عطسه، سرفه و بلع** می‌باشد.

نکته: بصل‌النخاع نیز هورمون‌سازی نمی‌کند ولی مرکز **اصلی** تنفس و ارسال پیام برای شروع فعالیت‌های تنفسی می‌باشد (*این مرکز تحت کنترل ماهیچه‌های نایژه و نایژک‌های درون شش، در توقف فوری دم عمیق نیز نقش دارد*).

یادآوری

نکات بصل‌النخاع (مرتبط با زیست دهم)

الف) هنگام بلع و عبور غذا از حلق، مرکز انعکاس بلع در بصل‌النخاع که فعالیتی غیر ارادی دارد، سبب مهار فعالیت **مرکز تنفسی بصل‌النخاع** شده و راه نای را می‌بندد تا تنفس برای **زمانی کوتاه** متوقف شود.

بلع غذا ← عبور غذا از حلق ← تحریک مرکز انعکاس بلع در بصل‌النخاع ← مهار فعالیت تنفسی بصل‌النخاع ← بسته شدن راه نای با پایین آمدن اپی‌گلوت ← توقف تنفس برای زمان کوتاه

ب) بصل‌النخاع در انعکاس‌های سرفه و عطسه به ترتیب سبب خروج هوا از دهان (*سرفه*) یا بینی و دهان (*عطسه*) می‌شود.

ج) مرکز **اصلی تنفس** برای صدور **پیام‌های حرکتی** به ماهیچه‌های **دمی**، در بصل‌النخاع قرار دارد. در حقیقت بصل‌النخاع سبب شروع دم ولی پل مغزی با اثر بر بصل‌النخاع سبب خاتمه و مدت زمان دم می‌شود.

بصل‌النخاع ← دستور حرکتی شروع دم به دیافراگم و بین‌دنده‌ای خارجی می‌دهد ← عمل دم عادی ← تحریک پل مغز ← به بصل‌النخاع پیام می‌دهد که با عدم ارسال پیام حرکتی، دم را خاتمه دهد

د) مرکز هماهنگی اعصاب خودمختار سمپاتیک (*هم‌حس*) و پاراسمپاتیک (*پادهم‌حس*) مؤثر در تنظیم فعالیت‌های قلب **در بصل‌النخاع و پل مغزی** و در نزدیکی مرکز تنفسی می‌باشد تا با تنظیم فعالیت‌های گوارشی، تنفسی و گردش خون مواد مغذی و اکسیژن را در شرایط خاص برای خون تأمین کنند (*سمپاتیک سبب افزایش قدرت انقباض بطن‌ها و حجم ضربه‌ای قلب می‌شود ولی پاراسمپاتیک سبب کاهش فعالیت گره‌های قلبی و تعداد ضربان‌های قلبی می‌شود*).

C) مخچه

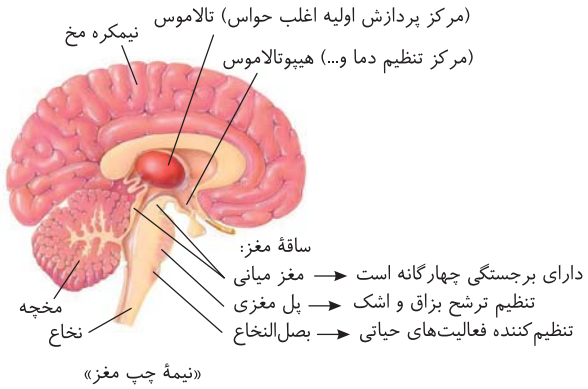
قسمتی در **پشت ساقهٔ مغز** و زیر بخش پسین مخ می‌باشد که بیرون آن خاکستری و داخل آن سفید میلین‌دار می‌باشد. مخچه دارای دو نیمکره با **رابطی** به نام کرمینه در بخش پشتی مغز می‌باشد. این مرکز **به‌طور پیوسته** از بخش‌های دیگر **مغز و نخاع** و اندام‌های حسی (*مثل چشم، گوش، زردپی‌ها، کپسول مفصلی و...*) پیام دریافت می‌کند و پس از بررسی آن‌ها سبب هماهنگی فعالیت‌های ماهیچه‌ای و حرکات بدن در **حالت‌های گوناگون** و البته به کمک نخاع و سایر بخش‌های مغز می‌شود.

نکته مخچه از بالا به لوب‌های پس‌سری و گیجگاهی از هر دو نیمکرهٔ مخ متصل می‌باشد.

نکته مخچه مرکز تنظیم وضعیت بدن و تعادل آن است و با بخش دهلیزی (*نیم‌دایره*) گوش داخلی در ارتباط می‌باشد. از طرفی در فصل بعد می‌خوانیم که مخچه از گیرنده‌های **وضعیتی** از حس پیکری که در ماهیچهٔ اسکلتی، زردپی‌ها و کپسول مفصلی وجود دارند، پیام دریافت می‌کند.

ساختارهای دیگر و غیراصلی مغزی (ساختارهایی به‌جز مخ، مخچه و ساقهٔ مغز)

در بالای ساقهٔ مغز ساختارهای دیگر مغزی مثل تالاموس‌ها، هیپوتالاموس و سامانهٔ لیمبیک وجود دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.



تالاموس‌ها

دو مرکز در زیر رابط پینه‌ای است که با یک رابط نیز به هم متصل هستند. تالاموس‌ها محل **پردازش اولیه** و **تقویت اغلب** پیام‌های **حسی** بدن می‌باشند. **اغلب** پیام‌های حسی بدن ابتدا وارد **تالاموس** می‌شوند و **پردازش اولیه** پیدا می‌کنند و پس از تقویت شدن به سمت بخش‌هایی از **قشر مخ** برای **پردازش نهایی** یا درک کامل فرستاده می‌شوند.

نکته اشکال در تالاموس‌ها، پردازش **اغلب** پیام‌های حسی را دچار اختلال می‌کند (*پیام بویایی به تالاموس‌ها ارسال نمی‌شود*).

● هیپوتالاموس

مرکزی در **زیر تالاموس‌ها** می‌باشد که وظیفهٔ تولید هورمون‌های **آزاد و مهارکننده** و چند هورمون دیگر (*ضد ادراری و اکسی‌توسین*) را بر عهده دارد. این مرکز سبب مرتبط کردن **دستگاه‌های عصبی و هورمونی** و حفظ هومئوستازی یا هم‌ایستایی بدن می‌شود و می‌تواند سبب تنظیم دمای بدن، تعداد ضربان قلب، فشار خون، خواب، گرسنگی و تشنگی شود.

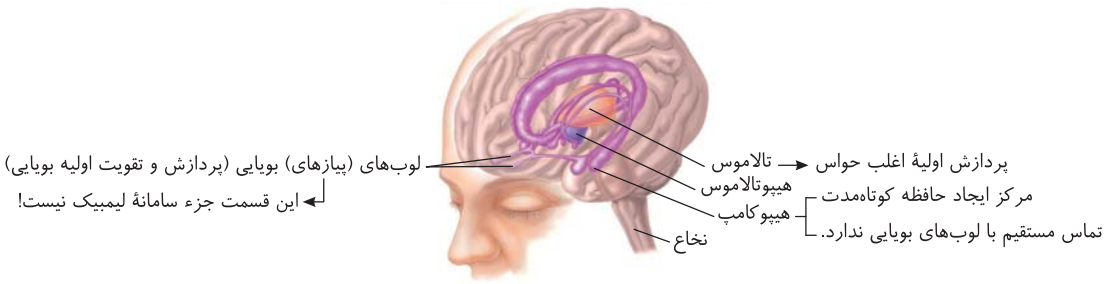
نکته هیپوتالاموس، مرکزی دارای **گیرنده‌های اسمزی** می‌باشد که به غلظت بالای پلاسما (*خون*) حساسند. وقتی این گیرنده‌ها تحریک می‌شوند **مرکز تشنگی** واقع در **هیپوتالاموس** فعال شده و با تولید هورمون ضد ادراری (*ADH*) سبب ترشح بیشتر این هورمون از هیپوفیز پسین به خون می‌شوند تا بازجذب آب را در کلیه افزایش دهند و فشار اسمزی خون تنظیم شود.

نکته بصل‌النخاع و هیپوتالاموس، دو مرکز مغزی هستند که به کمک برخی هورمون‌ها در تنظیم **تعداد ضربان قلب** و **فشار** خون مؤثرند و کار مشترک آن‌ها می‌باشد.

● سامانهٔ کناره‌ای (لیمبیک)

سامانه‌ای شامل هیپوکامپ (*اسبک مغز*) و سایر قسمت‌های مغزی است که در اطراف تالاموس‌ها و هیپوتالاموس قرار دارد. از جلو به لوب**های** بویایی متصل می‌باشد. این سامانه، تالاموس‌ها و هیپوتالاموس را به **قشر مخ** متصل می‌کند چون به این مراکز متصل می‌باشد.

نکته سامانهٔ کناره‌ای در احساساتی مانند ترس، خشم، لذت و نیز حافظه (*به کمک قشر مخ*) نقش دارد.



«سامانهٔ لیمبیک (بخش‌های بنفش رنگ)»

● هیپوکامپ (اسبک مغز)

قسمتی از سامانهٔ لیمبیک در زیر تالاموس‌ها و هیپوتالاموس می‌باشد که در **تشکیل حافظه و یادگیری** نقش دارد. این بخش در **ایجاد حافظه کوتاه‌مدت و تبدیل آن به حافظه بلندمدت** نقش دارد. مثلاً اگر شماره تلفنی را می‌شنویم یا می‌خوانیم ممکن است پس از مدت کوتاهی آن را از یاد ببریم ولی اگر آن را بارها تکرار کنیم، هیپوکامپ ابتدا آن را در حافظه کوتاه‌مدت ثبت کرده و سپس به **کمک قشر مخ** سبب حفظ آن شماره در حافظه بلندمدت می‌شود. حال اگر پس از مدتی هیپوکامپ این فرد آسیب ببیند یا با جراحی برداشته شود، آن شماره تلفن قبلی در ذهن فرد ماندگار است و به یاد فرد می‌آید ولی دیگر نمی‌تواند شماره تلفن **جدیدی** را حفظ کند. این افراد حتی نمی‌توانند نام **افراد جدیدی** که اگر هر روز هم آن‌ها را ببینند در حافظه خود **نگه دارند** و حداکثر نام آن‌ها را برای **چند دقیقه** در ذهن می‌توانند نگه دارند ولی نام افراد قدیمی که قبل از آسیب هیپوکامپ حفظ بوده‌اند را بدون مشکل به یاد می‌آورند. (*به‌طور خلاصه تبدیل حافظه کوتاه‌مدت به بلندمدت آن‌ها دچار اختلال شده است.*)

نکته ایجاد حافظهٔ بلندمدت جدید، برای افرادی که هیپوکامپ آن‌ها برداشته می‌شود و یا این مرکز در آن‌ها آسیب دیده است، دچار اختلال می‌شود.

نکته لوب‌های (*پیازهای*) بویایی به بخش جلویی دستگاه لیمبیک متصلند و در تقویت پیام‌های حسی بویایی نقش دارند. این پیام‌ها ابتدا از گیرنده‌های بویایی به این مرکز می‌آیند و پس از تقویت شدن از راه لیمبیک به قشر مخ می‌رسند (*اسبک مغزی هیپوکامپ، تماس مستقیم با لوب‌های بویایی ندارد*).

اعتیاد

اعتیاد یک **وابستگی همیشگی** به **مصرف یک ماده** یا **انجام یک رفتار** است که **ترک آن** سبب مشکلات **جسمی و روانی** برای فرد می‌شود. اعتیاد علاوه بر آسیب جسمی و روانی فرد مصرف‌کننده می‌تواند سلامت خانواده و دیگر افراد اجتماع آن فرد را نیز در معرض خطر قرار دهد و مشکلاتی مثل ناامنی اجتماعی، خشونت، دزدی، قتل و سایر مواردی را ایجاد کند که همگی در اثر اعتیاد ایجاد شده‌اند.

نکته در حال حاضر اعتیاد به **اینترنت** و بازی‌های رایانه‌ای نیز یک اعتیاد **رفتاری** شایع در دنیا می‌باشد که سلامت خانواده‌ها و افراد دیگر را به خطر انداخته است.

نکاتی در مورد رابطه مواد اعتیادآور و مغز

۱) در **اغلب** افراد، **نخستین تصمیم** برای مصرف مواد اعتیادآور به صورت **اختیاری** بوده است.

۲) استفاده **مکرر** از مواد اعتیادآور سبب **تغییراتی در مغز فرد** می‌شود که میل شدیدی برای مصرف دوباره آن ماده ایجاد می‌کند و فرد دیگر نمی‌تواند با این میل شدید مقابله کند. (*موادی مثل الکل، کوکائین، نیکوتین، هروئین، مورفین و حتی کافئین قهوه اعتیادآور هستند.*)

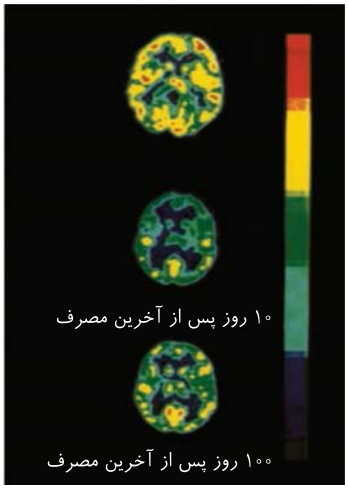
۳) برخی از تغییرات مغزی ایجاد شده در اثر مصرف مواد اعتیادآور به صورت **دائمی** می‌تواند باشد و به همین دلیل حتی سال‌ها بعد از ترک این ماده نیز بیماری اعتیاد **می‌تواند برگشت‌پذیر** باشد.

۴) مواد اعتیادآور بر **سامانهٔ لیمبیک** فرد اثر کرده و موجب **آزاد** شدن **انواع ناقل عصبی** از جمله ناقل عصبی تحریک‌کننده **دوپامین** می‌شود. دوپامین ماده‌ای است که سبب احساس لذت، شادابی و سرخوشی در فرد می‌شود به همین دلیل فرد تمایل دارد که با مصرف مکرر ماده اعتیادآور این حالت سرخوشی را در بدن دوباره تجربه کند. مدتی که از مصرف مواد اعتیادآور بگذرد، تولید دوپامین در بدن **کاهش** می‌یابد و فرد احساس رخوت، کسالت، بی‌حوصلگی و افسردگی می‌کند و دوباره برای به دست آوردن شادابی به سمت مصرف ماده اعتیادآور می‌رود و به تدریج تولید دوپامین توسط بدن کمتر می‌شود و نیاز بدن به مقدار ماده اعتیادآور برای ایجاد دوپامین در **سامانهٔ لیمبیک** بالاتر می‌رود و فرد مجبور است مقدار بیشتری از آن ماده را مصرف کند در این حالت فرد معتاد شده است.

۵) مواد اعتیادآور علاوه بر لیمبیک می‌توانند بر **بخش‌هایی** از **قشر خاکستری مخ** نیز اثر کنند و توانایی **قضاوت، تصمیم‌گیری** و **خودکنترلی فرد** را کاهش دهد که البته این اثرات به ویژه در **مغز نوجوانان اثرات شدیدتری** دارد زیرا مغز آنان در حال رشد می‌باشد.

نکته
با توجه به شکل مقابل، در اثر اعتیاد به کوکائین، مصرف گلوکز توسط یاخته‌های مغزی کاهش می‌یابد. کوکائین به اغلب قسمت‌های مغز آسیب وارد می‌کند و کمترین میزان بهبود مغز نیز پس از ترک این ماده، در بخش جلویی مغز و لوب‌های پیشانی دیده می‌شود.

نکته
مصرف تنباکو سبب می‌شود که نیکوتین و دود آن در سرطان دهان، حنجره و شش‌ها ارتباط مستقیم داشته باشد.



«تصویرها مصرف گلوکز را در مغز فرد سالم و فرد مصرف کننده کوکائین نشان می‌دهند. رنگ‌های آبی تیره و روشن مصرف کم و رنگ زرد و قرمز مصرف بالا را نشان می‌دهند توجه کنید بهبود فعالیت مغز به زمان طولانی نیاز دارد، بخش پیشین مغز بهبود کم‌تری را نشان می‌دهد.»

نکات اعتیاد به الکل (اتانول)

۱) **نوشیدنی‌های الکلی** نیز مواد اعتیادآوری هستند. با اینکه این نوشیدنی‌ها انواع مختلفی با درجات الکل **متفاوتی** دارند ولی همهٔ آن‌ها حتی اگر **کمترین** مقدار اتانول را نیز داشته باشند، بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۲) الکل (*اتانول*) به سرعت در دستگاه گوارش (*در دهان و معده*) جذب شده و وارد خون می‌شود و با عبور از غشای یاخته‌های عصبی بر **بخش‌های مختلف مغز** و **فعالیت عصبی** آن اثر اختلالی دارد.

۳) الکل از سد خونی - مغزی عبور می‌کند.

۴) الکل علاوه بر دوپامین بر فعالیت انواعی از ناقل‌های عصبی تحریک‌کننده و بازدارنده تأثیرگذار می‌باشد.

۵) **اثرات کوتاه‌مدت مصرف الکل:** اختلال در گفتار، کند شدن فعالیت مغز، افزایش زمان واکنش به محرک‌های محیطی، کند شدن فعالیت‌های بدنی می‌باشد و با اثر بر مخچه سبب ناهماهنگی حرکات بدن می‌شود.

۶) **اثرات بلندمدت مصرف الکل:** اختلال در میوز در تولید یاختهٔ جنسی مناسب، مشکلات کبدی (*کبد چرب*)، سکته قلبی و انواع سرطان‌ها می‌باشد.

۷) در سال دوازدهم می‌خوانیم که الکل سبب ایجاد رادیکال آزاد اکسیژن شده و در تخریب راکیزه‌های کبدی و ایجاد بافت‌مردگی در کبد نقش دارد.

تشریح مغز (گوسفند یا گوساله)

۱) بررسی بخش‌های خارجی مغز

برای بررسی بخش‌های بیرونی مغز باید آن را از سطح پشتی و شکمی آن بررسی کنیم.

● الف) مشاهده سطح پشتی مغز

اگر از روی مغز بقایای پرده‌های مننژ را جدا کنیم، می‌توانیم راحت‌تر از سطح **پشتی** آن شیارهای اصلی بین دو نیمکرهٔ آن را مشاهده کنیم. در این سطح می‌توانیم نیمکره‌های مخ و مخچه به همراه کرمینه مخچه را ببینیم و بخش کمی لوب‌های بویایی در قسمت جلویی مغز و کمی نیز نخاع در قسمت عقبی مغز قابل مشاهده است.

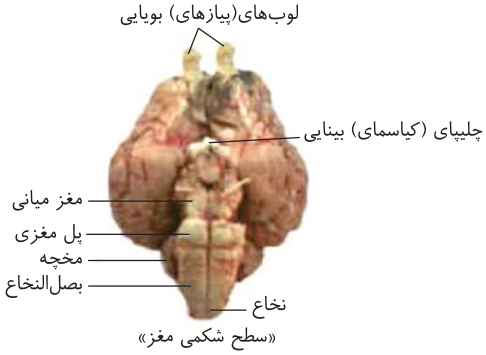


«سطح پشتی مغز»

ب) مشاهده سطح شکمی مغز

اگر مغز را برگردانیم و منتز باقی‌مانده را به آرامی جدا کنیم، می‌توانیم در سطح شکمی از جلو به عقب مغز به ترتیب، لوب‌های بویایی، کیاسمای بینایی، مغز میانی، پل مغزی، بصل‌النخاع و بخش‌های اطراف مخچه و در ادامه، نخاع را مشاهده کنیم.

اجزای ساقهٔ مغز را می‌توانیم در نمای شکمی مغز مشاهده کنیم.



«سطح شکمی مغز»

۲) مشاهده بخش‌های درونی مغز

اگر در حالی‌که سطح **پشتی** مغز روبه‌روی ما قرار دارد، به آرامی دو نیمکرهٔ مخ را کمی از هم جدا کنیم و منتزهای باقی‌مانده را جدا کنیم، یک نوار سفید به نام رابط پینه‌ای که رابط دو نیمکره است را مشاهده می‌کنیم. با جدا کردن رابط پینه‌ای از بخش جلویی، می‌توانیم رابط سه‌گوش ارتباط دهنده دو نیمکره را در زیر رابط پینه‌ای ببینیم.

نکته
فضای بطن‌های ۱ و ۲ مغزی در دو طرف دو رابط نیمکره‌ها یعنی در طرفین رابط پینه‌ای و رابط سه‌گوش قرار دارد که داخل این فضا **اجسام مخطط** قرار گرفته‌اند. شبکهٔ مویرگی ترشح‌کننده مایع مغزی - نخاعی نیز به درون بطن‌های ۱ و ۲، مایع مغزی - نخاعی منتز را ترشح می‌کند.

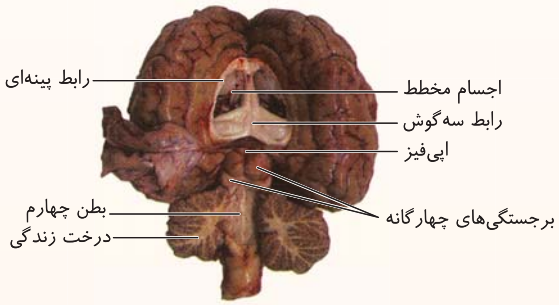
نکته
اگر با اسکالپ به صورت برش طولی در رابط سه‌گوش برش ایجاد کنیم، در زیر آن تالاموس‌ها را می‌بینیم که **دو** تالاموس با **یک رابط** به هم متصل هستند و با فشار **کمی** از هم جدا می‌شوند.

نکته
بطن سوم مغزی در عقب تالاموس‌ها و غدهٔ اپی‌فیز در لبه **پایین** بطن ۳ قرار دارد. در عقب تالاموس، به ترتیب اپی‌فیز، برجستگی‌های چهارگانه از مغز میانی و سپس پل مغزی و بصل‌النخاع قرار گرفته‌اند (از جلو به عقب).





نکته
اگر کرمینه که رابط بین دو نیمکرهٔ مخچه است را در امتداد شیار دو نیمکره برش دهیم، درخت زندگی که بخ **سفید** درون مخچه است را به همراه بطن چهارم مغزی مشاهده می‌کنیم.



نکته
بطن‌های مغزی حاوی مایع مغزی - نخاعی هستند که از طریق بصل‌النخاع از مغز به نخاع می‌رسد.

تجه! در تست‌ها از معادل‌یابی مراکز مختلف مغز انسان، گوسفند و ماهی زیاد سؤال طرح می‌شود و شما نیز سعی کنید بخش‌های مختلف مغز را در این سه جانور معادل‌یابی کنید *(مغز ماهی را در انتهای فصل ۲ می‌خوانید)*.

نخاع

طناب عصبی نخاعی در مهره‌داران به صورت **یک** طناب در **پشت** بدن می‌باشد که **مغز را به دستگاه عصبی محیطی** متصل می‌کند. نخاع همانند مغز جزء دستگاه عصبی مرکزی می‌باشد و توسط استخوان‌ها، منتز و سد خونی - نخاعی محافظت می‌شود.

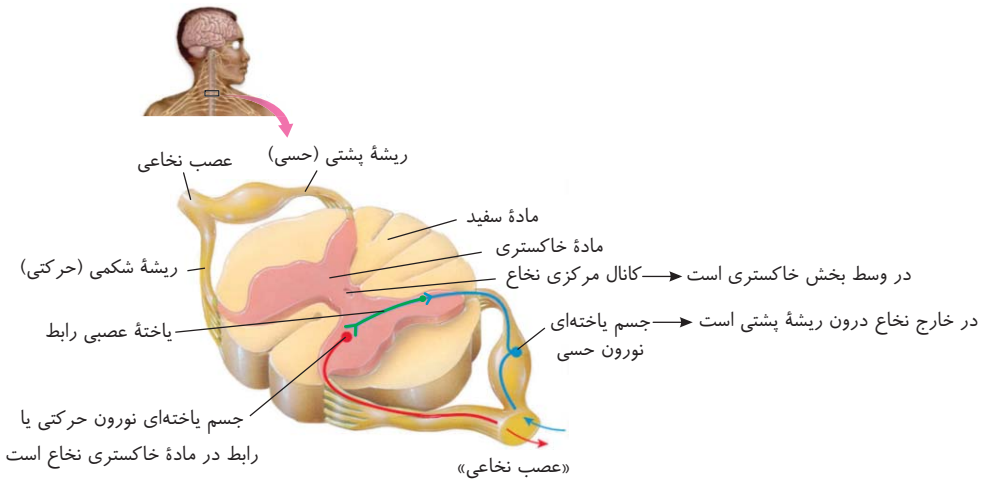
نکته
نخاع از بصل‌النخاع تا مهره **دوم** کمر در اسکلت محوری ادامه دارد. پس دقت کنید که طول ستون مهره‌ها از طول نخاع بیشتر می‌باشد.

نکته
ارتباط مغز و نخاع و مایع مغزی - نخاعی آن‌ها از بصل‌النخاع در پایین‌ترین قسمت مغز صورت می‌گیرد.

اعمال نخاع

۱) نخاع سبب اتصال مغز به دستگاه عصبی **محیطی** می‌شود.

۲) به نخاع **۳۱ جفت** عصب محیطی متصل می‌باشد که هر عصب آن یک ریشهٔ پشتی حسی و یک ریشهٔ شکمی حرکتی دارد. در عصب نخاعی دندریت‌های حسی و آکسون‌های حرکتی درون یک غلاف پیوندی قرار گرفته‌اند.



۳) پیام‌های حسی اغلب اندام‌های بدن از طریق ریشهٔ حسی اعصاب نخاعی به نخاع رسیده و از آنجا به سوی مغز برای پردازش می‌رود.

۴) جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حسی نخاعی در ریشهٔ پشتی خارج نخاع ولی جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حرکتی و یاخته‌های عصبی رابط در مادهٔ خاکستری نخاع واقع می‌باشند.

۵) نخاع، مرکز ارسال پیام‌های حرکتی از مغز به اندام‌ها می‌باشد که ریشهٔ شکمی اعصاب آن مخصوص ارسال این پیام‌ها توسط آکسون‌ها می‌باشد.

۶) نخاع **بدون ارتباط با مغز** مرکز **برخی** انعکاس‌های بدن می‌باشد. انعکاس پاسخ ناگهانی و غیر ارادی ماهیچه‌ها در پاسخ به محرک‌ها می‌باشد.

۷) در وسط مادهٔ خاکستری درون نخاع، یک کانال مرکزی وجود دارد.

دستگاه عصبی محیطی

این دستگاه مسئول ارتباط مغز و نخاع (*دستگاه عصبی مرکزی*) به **بخش‌های دیگر بدن** می‌باشد. در این دستگاه ۴۳ جفت عصب متصل به مغز و نخاع وجود دارد که ۱۲ جفت عصب متصل به مغز و ۳۱ جفت عصب نخاعی سبب ارتباط بین دستگاه عصبی مرکزی به بخش‌های دیگر بدن مثل اندام‌های حس و ماهیچه‌ها می‌شود. این دستگاه دو قسمت **حسی و حرکتی** دارد.

نکته هر عصب مجموعه‌ای از رشته‌های عصبی آکسون یا دندریت می‌باشد که بافت پیوندی دور آن‌ها قرار گرفته است. عصب فاقد جسم یاخته‌ای یاختهٔ عصبی می‌باشد.

نکته دستگاه عصبی محیطی **برخلاف** قشر مخ فاقد بخش **ارتباطی** می‌باشد.

تعریف عصب

عصب مجموعه‌ای از تارها یا رشته‌های عصبی یا همان قسمت‌های دراز یاخته‌های عصبی می‌باشد که دور همه آن‌ها **یک غلاف پیوندی** قرار گرفته است. درون عصب یا غلاف در برگیرنده آن **جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی** وجود ندارد.

انواع اعصاب

۱) **عصب حسی**: اعصابی هستند که پیام را از اندام‌ها به سمت مراکز عصبی می‌آورند. این اعصاب از آکسون‌ها یا دندریت‌های حسی ایجاد شده‌اند و برخی از اعصاب **مغزی** مثل بینایی، شنوایی و بویایی را شامل می‌شوند.

۲) **عصب حرکتی**: اعصابی هستند که از **آکسون‌های حرکتی** ایجاد شده‌اند و پیام حرکتی را به سمت **ماهیچه‌ها و غدد** می‌برند. برخی از اعصاب مغزی فقط تارهای حرکتی دارند.

۳) **عصب مختلط**: مجموعهٔ **آکسون‌های حرکتی و دندریت‌های حسی** هستند که پیام عصبی را دندریت‌های آن به سمت مراکز عصبی حسی و آکسون‌های آن به سمت اندام‌های عمل‌کننده می‌برند. **برخی** از اعصاب متصل به **مغز** و **همهٔ ۳۱ جفت عصب متصل به نخاع** از نوع مختلط هستند (البته نام این اعصاب در کتاب نیامده است ولی داشتن هر دو نوع تار حسی و حرکتی در نخاع بررسی شده است).

الف) بخش حسی دستگاه عصبی محیطی

این بخش پیام‌های عصبی اندام‌های حس مثل چشم‌ها، گوش‌ها، بینی، زبان، دهان، پوست و... را از راه یاخته‌های عصبی حسی به سمت مغز و نخاع می‌آورد که در فصل بعد به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

ب) بخش حرکتی دستگاه عصبی محیطی

این بخش پیام عصبی حرکتی را از **مغز و نخاع** به سوی اندام‌های عمل‌کننده مثل **ماهیچه‌ها و غدد** می‌برد. بخش حرکتی دستگاه عصبی محیطی خود از دو بخش **مجزا و مستقل پیکری و خودمختار** ایجاد شده است که در ادامه به بررسی اعمال آن‌ها می‌پردازیم.

A) بخش حرکتی پیکری دستگاه عصبی محیطی

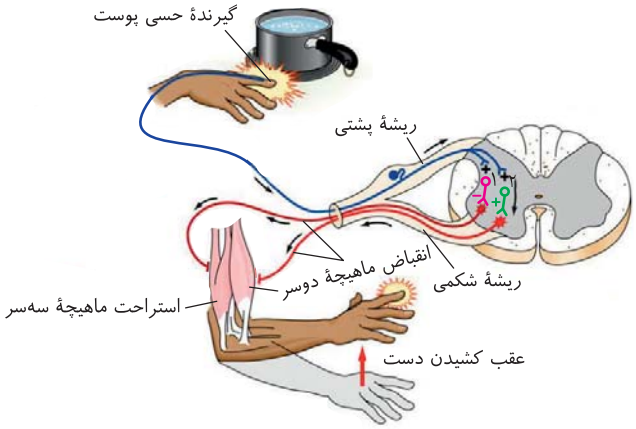
این بخش مسئول تنظیم و انتقال پیام عصبی به **ماهیچه‌های اسکلتی** (مخطط) می‌باشد که بیشتر فعالیت‌های آن به صورت پاسخ ارادی و تحت کنترل قشر مخ می‌باشد ولی مقداری از فرامین مغز و نخاع به‌طور مستقل در تنظیم عمل انعکاس‌ها به صورت پاسخ غیر ارادی ماهیچه اسکلتی می‌باشد.

نکته

مغز پیام حرکتی خود به صورت آگاهانه (ارادی) را هم مستقلاً به ماهیچه‌های سر منتقل می‌کند و هم از راه نخاع به سایر بخش‌های بدن مثل اندام‌ها انتقال می‌دهد.

مسیر انعکاس نخاعی در عقب بردن دست

در قسمت بازوی انسان، ماهیچه **دوسر** در بخش **جلویی** قرار دارد که توسط زردپی‌های خود به کتف و زند زبرین متصل است (فصل ۳) و ماهیچه سه‌سر عقب بازو نیز به کتف و زند زیرین متصل می‌باشد. وقتی انگشتان با جسمی داغ برخورد کنند، انعکاس **نخاعی** سریعی سبب کشیدن دست به عقب همراه بلند شدن ساعد و نزدیک شدن آن به بازو می‌شود. در این انعکاس، انقباض ماهیچه دوسر بازو سبب جلو و بالا بردن ساعد می‌شود که در این حالت ماهیچه سه‌سر به حالت استراحت درآمده است. به‌طور معمول ماهیچه‌ها به صورت جفت و متقابل عمل می‌کنند در شروع این انقباض نیز باید ماهیچه دوسر منقبض شود و سه‌سر به استراحت دربیاید. هر مسیر این انعکاس دارای تعدادی سیناپس می‌باشد که برخی از آن‌ها تحریکی و برخی مهاری می‌باشند. لازم به یادآوری است که مرکز تنظیم این انعکاس فقط در **نخاع** قرار دارد و مغز در ایجاد این فعالیت نقشی ندارد.



«انعکاس عقب کشیدن دست»

نکته

در اعصاب نخاعی، جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حسی در خارج نخاع و در ریشهٔ پشتی می‌باشد ولی جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حرکتی به همراه یاخته‌های عصبی رابط در مادهٔ خاکستری نخاع می‌باشد. دقت کنید که ریشهٔ پشتی و شکمی خارج از نخاع قرار دارند و از اجزای اعصاب محیطی به حساب می‌آیند. هر دو ریشهٔ شکمی و پشتی در هر سمت نخاع، سبب تشکیل یک عصب نخاعی می‌شوند.

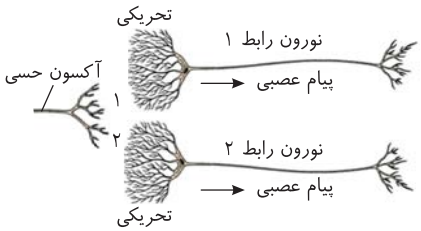
مراحل انعکاس و سیناپس‌های این مسیر در دست

در این قسمت یاخته‌های عصبی و سیناپس‌های **هر مسیر** را بررسی می‌کنیم. دقت داشته باشید که برای این انعکاس تعداد یاخته‌های عصبی و سیناپس‌ها و مسیرهای متعددی ولی به صورت مشابه به صورت زیر وجود دارد.

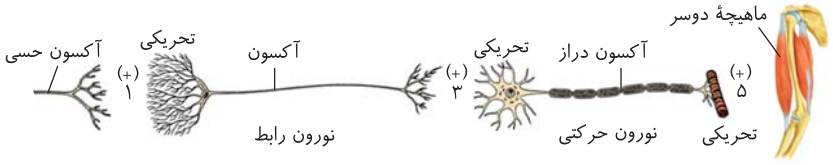
۱) وقتی انگشتان با جسم داغ یا تیزی برخورد می‌کنند، دندریت یاختهٔ عصبی حسی دست فعال شده و در آن پتانسیل عمل ایجاد می‌شود. دندریت دراز این یاخته‌های عصبی از دست تا ریشهٔ پشتی عصب نخاعی ادامه دارد. در ریشهٔ پشتی جسم یاخته‌ای یاختهٔ عصبی حسی در خارج و نزدیک نخاع قرار دارد. آکسون این یاختهٔ عصبی حسی در مادهٔ خاکستری نخاع وارد می‌شود که دوتا پایانه سیناپسی دارد.

۲) پایانه‌های آکسونی یاختهٔ عصبی حسی در مادهٔ خاکستری نخاع، با آزاد کردن ناقل عصبی دو سیناپس تحریک‌کننده برقرار می‌کنند. این دو سیناپس (سیناپس ۱ و ۲) به صورت تحریکی با **دو یاختهٔ عصبی رابط** در مادهٔ خاکستری نخاع برقرار می‌شود و در هر دو یاختهٔ عصبی رابط پتانسیل عمل ایجاد می‌شود.

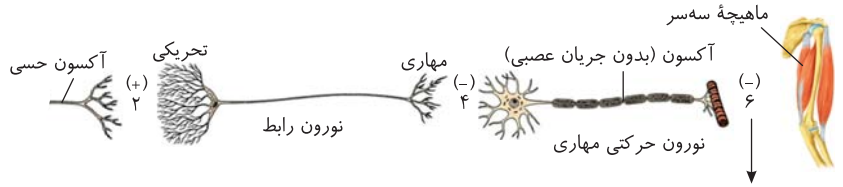




۳) یکی از یاخته‌های عصبی رابط با یاختهٔ عصبی حرکتی مربوط به ماهیچه دوسر جلوی بازو یک سیناپس تحریک (*سیناپس ۳*) دیگر برقرار می‌کند. با ایجاد پیام عصبی در این یاختهٔ عصبی، ریزکیسهٔ حاوی ناقل عصبی در یاختهٔ عصبی حرکتی از طریق ریشهٔ شکمی همان عصب نخاعی از همان سمت نخاع به سمت ماهیچه دوسر حرکت می‌کند و از انتهای آکسون آن به فضای سیناپسی برون‌رانی می‌شود. در آنجا یک سیناپس تحریکی دیگر (*سیناپس ۵*) با ماهیچه دوسر برقرار می‌کند و سبب پتانسیل عمل و انقباض این ماهیچه می‌شود تا دست به صورت ناگهانی به سمت بالا بیاید.



۴) در مادهٔ خاکستری نخاع، یاختهٔ عصبی رابط دیگری وجود دارد که توسط یاختهٔ عصبی حسی تحریک شده است و در آن پتانسیل عمل وجود دارد. این یاختهٔ عصبی رابط از سمت آکسون خود در مادهٔ خاکستری نخاع یک سیناپس مهاری (*سیناپس ۴*) با آزاد کردن ناقل عصبی برقرار می‌کند. این ناقل سبب **عدم ایجاد پیام عصبی** یا پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی حرکتی مربوط به عقب بازو (*ماهیچه سه‌سر*) می‌شود. وقتی در این یاختهٔ عصبی پیام عصبی وجود نداشته باشد از انتهای آن ناقل عصبی ترشح نمی‌شود. این یاختهٔ عصبی حرکتی در انتهای خود با ماهیچه سه‌سر بازو یک سیناپس غیرفعال (*سیناپس ۶*) **بدون** آزاد کردن ناقل عصبی برقرار می‌کند. در این حالت درون ماهیچه سه‌سر بازو (*پشت بازو*) پتانسیل عمل و جریان الکتریکی جدیدی ایجاد نمی‌شود و آرامش این ماهیچه سبب راحتی حرکت دست به سمت بالا می‌شود (*در حقیقت در فصل ۳ می‌آموزید که با عدم تحریک شدن ماهیچه، پروتئین‌های اکتین و میوزین از هم جدا شده و ماهیچه به استراحت درمی‌آید*).

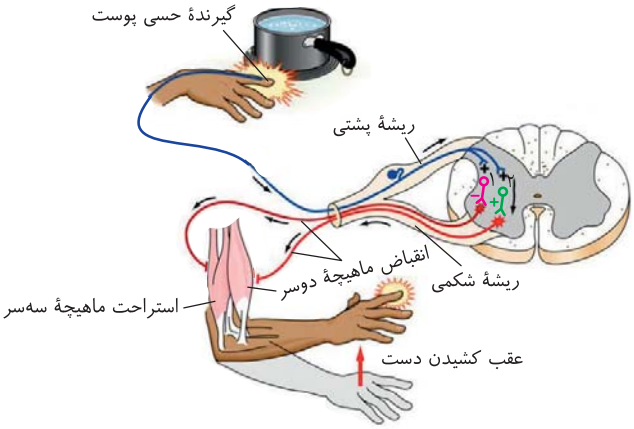


این سیناپس غیرفعال است و بدون توانایی ترشح ناقل عصبی می‌باشد.

نکته در هر مسیر انعکاس دست در کل ۶ سیناپس وجود دارد که ۵تای آن همراه آزاد شدن ناقل عصبی می‌باشد. (*این ۵ تا سیناپس فعال هستند.*)

نکته از ۶ سیناپس ایجاد شده ۴تای آن در مادهٔ خاکستری نخاع بین یاخته‌های عصبی می‌باشد و ۲تای آن بین یاختهٔ عصبی حرکتی با ماهیچه‌های دوسر و سه‌سر بازو می‌باشد.

نکته از ۶ سیناپس ایجاد شده در این مسیر ۴تای آن قدرت آزاد کردن ناقل تحریک‌کننده دارد ولی یکی قدرت تولید ناقل عصبی مهارکننده دارد و یکی هم غیرفعال است و اصلاً ناقلی در آن ترشح نمی‌شود.



«انعکاس عقب کشیدن دست»

سیناپس	محل	نوع	ناقل عصبی	یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی	یاختهٔ پس‌سیناپسی
۱	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حسی	دندریت رابط
۲	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حسی	دندریت رابط
۳	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون رابط	دندریت حرکتی جلوی بازو
۴	مادهٔ خاکستری نخاع	مهارکننده	دارد	آکسون رابط	دندریت حرکتی عقب بازو
۵	ماهیچه دوسر	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حرکتی	ماهیچه دوسر بازو
۶	ماهیچه سه‌سر	غیرفعال	**ندارد**	آکسون حرکتی	ماهیچه سه‌سر

● B) بخش حرکتی خودمختار دستگاه عصبی محیطی

این بخش که ٪۱۰۰ فعالیت‌های آن **غیر ارادی** است و **همواره در بدن فعال** می‌باشد مسئول **تنظیم ناآگاهانه** (غیرارادی) فعالیت‌های ماهیچه‌های **صاف، ماهیچه قلبی و غدد** می‌باشند که شامل دو بخش سمپاتیک (*اعصاب هم‌حس*) و پاراسمپاتیک (*پادهم‌حس*) می‌باشد.

نکته اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک برای **تنظیم فعالیت‌های حیاتی بدن** (*گردش خون و تنفس*) و تنظیم فعالیت‌های گوارشی در شرایط مختلف **معمولاً برخلاف یکدیگر کار** می‌کنند.

نکته اعصاب خودمختار در لولهٔ گوارش با دستگاه عصبی روده‌ای ارتباط دارند و بر عملکرد غدد و لایه‌های ماهیچه‌ای آن‌ها تأثیر می‌گذارند.

● نکات اعمال سمپاتیکی (اعصاب هم‌حس)

۱) بدن را به حالت **آماده‌باش** درمی‌آورند و در هنگام هیجان بر اعصاب پاراسمپاتیک غلبه دارند (*مثل هنگام مسابقه‌ورزشی یا پاسخ دادن به سؤالات در آزمون*).
۲) سبب افزایش فشار خون، ضربان قلب و تعداد تنفس می‌شود.
۳) در نور کم با انقباض ماهیچه‌های شعاعی عنبیه سبب گشاد شدن مردمک می‌شوند (*فصل ۲*).
۴) این اعصاب با گشاد کردن ماهیچه‌های **صاف** سرخرگ‌های غذا دهنده به قلب و ماهیچه اسکلتی سبب خون‌رسانی بهتر به آن‌ها می‌شوند.
۵) سمپاتیک فعالیت دستگاه گوارش را **کاهش** می‌دهد و خون‌رسانی آن‌ها را کم می‌کند. این اعصاب ترشح بزاق و سایر شیره‌های گوارشی را نیز کاهش می‌دهد تا در موقع فعالیت‌های بدنی و هیجانی، خون بیشتر به ماهیچه‌ها و قلب برسد.
۶) اعصاب سمپاتیک در بین یاخته‌های بطنی قلب و گره پیشاهنگ اثر می‌کنند و فعالیت قلب را افزایش می‌دهند که مرکز آن‌ها به همراه پاراسمپاتیک در بصل‌النخاع و پل مغزی و در نزدیکی مرکز تنفسی می‌باشد.
۷) این اعصاب قند خون (*گلوکز*) را به کمک هورمون اپی‌نفرین مرکز فوق کلیه بالا می‌برند تا متابولیسم یاخته‌ها را افزایش دهند (*فصل ۴*).

● نکات اعمال پاراسمپاتیکی (پادهم‌حس)

۱) این اعصاب فقط در دستگاه گوارش نقش فعال‌کننده و تحریکی دارند که با اثر بر شبکهٔ عصبی روده‌ای سبب افزایش ترشحات و حرکات دستگاه گوارش می‌شوند.
۲) پاراسمپاتیک باعث برقراری آرامش در بدن می‌شود و خون‌رسانی به ماهیچه‌های اسکلتی و قلب را کاهش می‌دهد.
۳) پاراسمپاتیک سبب کاهش فشار خون و حجم ضربه‌ای قلب می‌شود و با اثر بر گره‌های قلبی تعداد ضربان قلب را کاهش می‌دهد.
۴) این اعصاب با اثر بر ماهیچه حلقوی عنبیه و انقباض آن‌ها، سبب تنگ شدن مردمک در نور **زیاد** می‌شوند (*فصل ۲*).
۵) پاراسمپاتیک گلوکز آزاد شده از کبد را کاهش می‌دهد و همچنین می‌تواند سبب تحریک انقباض مثانه شود.
۶) حرکات تنفسی را کاهش می‌دهد. مرکز هماهنگی فعالیت‌های تنفسی تحت کنترل اعصاب خودمختار در نزدیکی مرکز تنظیم فعالیت‌های گردش خون قرار دارد.

نکات ترکیبی مهم
- اعصاب پیکری و خودمختار، هر دو در فعالیت و حرکات لولهٔ گوارش مؤثرند.
- اعصاب پیکری بر ماهیچه‌های مخطط دهان، حلق و ابتدای مری و بندارهٔ مخرج اثر می‌گذارند.
- اعصاب خودمختار در تنظیم کار غدد در سراسر لولهٔ گوارش از دهان تا روده مؤثرند.
- انقباض ماهیچه‌های صاف از اواسط مری تا راست‌روده بر عهدهٔ اعصاب خودمختار و شبکهٔ عصبی روده‌ای می‌باشد.
- اعصاب پیکری سبب انقباض ماهیچه‌های اسکلتی می‌شوند ولی تنظیم خون‌رسانی به این ماهیچه‌ها، توسط اعصاب خودمختار و با اثر بر ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ سرخرگ‌ها صورت می‌گیرد.

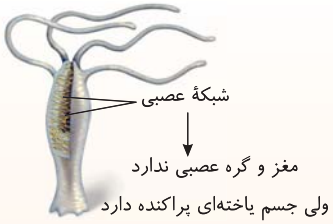
نکات دستگاه عصبی سایر جانوران

۱) شبکهٔ عصبی هیدر

هیدر از مرجانیان با حفرهٔ گوارشی می‌باشد که **ساده‌ترین** ساختار عصبی را به صورت **شبکه عصبی** دارد. در بدن چند لایه‌ای هیدر، شبکهٔ عصبی به صورت **یاخته‌های عصبی پراکنده** در دیواره بدن وجود دارند و با هم در ارتباط هستند ولی هیدر **فاقد مغز، طناب عصبی** و تقسیم‌بندی مرکزی و محیطی می‌باشد. در هیدر جسم‌های یاخته‌ای یاخته‌های عصبی در یک قسمت تراکم پیدا نکرده‌اند و به همین دلیل **گره عصبی** در هیدر وجود ندارد و تحریک **هر نقطه بدن** جانور سبب پخش آن در **همه سطح بدن** آن شده است. در کل بدن هیدر شبکه‌ای از اعصاب، یاخته‌های **ماهیچه‌ای** بدن را تحریک می‌کنند.

نکته

ساختار عصبی هیدر تا حدودی مشابه ساختار دستگاه عصبی روده‌ای لولهٔ گوارش انسان از مری تا مخرج می‌باشد که به صورت شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی پراکنده می‌باشد که در هر دو تحریک یاخته‌ها سبب پخش جریان عصبی در کل آن قسمت می‌شود که در هیدر سبب حرکت کل بدن و در دستگاه عصبی روده‌ای سبب حرکت آن قسمت لوله یا پرز روده می‌شود.



«هیدر»

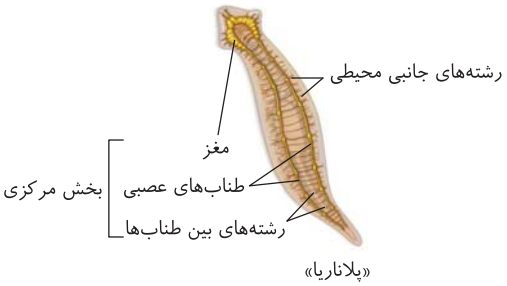
● نکات دیگر از هیدر

الف) این جانور ساده دارای **حفره گوارشی** بوده و از مرجان‌ها می‌باشد که حفره یا کیسه گوارشی آن فقط یک سوراخ ورودی و خروجی برای مواد دارد. در دیواره داخلی این کیسه یاخته‌های ترشح‌کننده آنزیم گوارشی وجود دارد ولی گوارش نهایی غذای آن‌ها درون یاخته‌های سطح داخلی صورت می‌گیرد که **برخی** تاژک‌دار می‌باشند (*سیستم گردش مواد و گوارش هیدر یک‌ان و به صورت حفره گوارشی است*).
ب) تنفس هیدر به صورت انتشار ساده بین یاخته‌ها و محیط انجام می‌شود و سیستم تنفسی ویژه‌ای ندارند.
ج) هیدر آبزی با قدرت دفع آمونیاک می‌باشد.
د) هیدر علاوه بر یاخته‌های تاژک‌دار، حاوی یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای نیز می‌باشد.

۲) دستگاه عصبی در کرم پهن پلاناریا

ایـن جانور **سـاده‌ترین** جانوری اسـت کـه **دسـتگاه** عصبی **مرکـزی و محیطـی** دارد. در دسـتگاه عصبـی مرکزی این جانور **مغز** و **دو طناب عصبی جانبی** به صورت **متصل به هم** وجود دارد. **مغز** پلاناریا در **سر** جانور از **دو گره مجزا** ایجاد شـده اسـت که هر گره تعداد زیـادی **جسم یاختـه‌ای** یاختهٔ عصبی دارد. در هر طرف بـدن جانور یک طناب عصبی جانبی به مغز متصل است. یعنی به هر گره یک طناب عصبی متصل است که از جلو به یک گره مغز متصل اسـت و در عقب بدن در مجاور طناب دیگر می‌باشـد. در این جانـور آزادزی، مغز (*گره‌ها*)، طناب‌های عصبی و رشـته‌های ارتباط دهندهٔ دو طناب، اجزای دستگاه عصبی مرکزی جانور را ایجاد می‌کنند.

در بخش مرکزی دسـتگاه عصبی جانور، **رشـته‌های کوتاه‌تری** نیز بین دو طناب عصبی وجود دارد که سـبب ایجاد **سـاختار نردبان مانندی** شـده‌اند. از هر طناب، رشـته‌های جانبـی نازکـی خارج شـده‌اند کـه به قسـمت‌های مختلف بـدن پیـام می‌دهند. این رشته‌های **نازک**، بخش محیطی دستگاه عصبی جانور را تشکیل می‌دهند.



«پلاناریا»

● نکاتی از پلاناریا

الف) کرم پهنی آزادزی دارای حفرهٔ گوارشی و سیستم گوارشی مشابه حفرهٔ گوارشی هیدر می‌باشد.

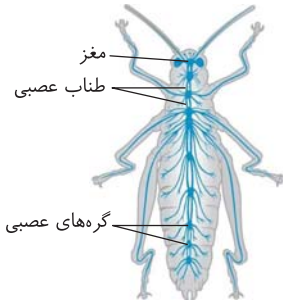
ب) سیستم تنفسی مجزایی ندارند و یاخته‌ها به‌طور مستقیم با محیط تبادل گاز تنفسی می‌کنند.

ج) سیسـتم گردش مواد آن به صورت حفرهٔ گوارشـی مشـابه کیسه‌تنان یا مرجان‌ها می‌باشد ولی انشـعابات حفرهٔ گوارشی این جانور در تمام نواحی بدن وجود دارد و فاصله انتشار مواد تا یاخته آن‌ها بسیار کوتاه شده است.

د) همانند سایر کرم‌های پهن، حرکت کندی دارد و هم بیضه، هم تخمدان و هم رحم داشته و قدرت تولیدمثل جنسی با خودباروری دارد.

۳) دستگاه عصبی حشرات

ایـن گـروه در اعصاب مرکزی خود **یـک مغز از جوش خوردن چند گره** دارنـد و دارای **یک طناب عصبی شکمی** در طول بدن می‌باشند که در **هر بند** یا قطعه از بدن آن‌ها **یک گره** برای تنظیم فعالیت‌های ماهیچه‌های آن بند (*قطعه*) وجود دارد. اعصاب محیطی آن‌ها انشـعاباتی است که از مغز، طناب عصبی و گره عصبی به سمت اندام‌های بدن ادامه یافته‌اند.



«ملخ»

● نکات کلی از بدن حشرات (البته نکات حشرات بسیار زیاد هستند و در اینجا به صورت اجمالی به بررسی ویژگی‌های عمومی آن‌ها می‌پردازیم.)

حشرات، همگی به‌طور مشترک **لولهٔ گوارش** از **دهان تا مخرج** دارند که در ملخ قسمت‌هایی شامل چینه‌دان، پیش‌معده و... نیز دارند. تنفس حشرات به صورت **نایدیسی** با لوله‌های **منشـعب** در تمام نقاط بدن می‌باشـد که **سیسـتم گردش خون آن‌ها در تبادل گازهای تنفسی آن‌ها نقش ندارد.** حشـرات دستگاه گردش خون **باز** همراه **همولنف و قلب لوله‌ای پشتی** دارند که **دریچه‌های منفذدار قلب** آن‌ها در هنگام **استراحت قلب** و خون‌گیری باز می‌شوند. در این جانوران سیستم دفع مواد زائد نیتروژن‌دار آن‌ها که به صورت دفع **اوریک‌اسید** می‌باشد توسط **لوله‌های مالپیگی** و با مخلوط شدن ادرار و مدفوع آن‌ها و خروج از لوله گوارش صورت می‌گیرد. در این جانوران، اسکلت خارجی، لقاح داخلی و چشم مرکب نیز دیده می‌شود.

۴) دستگاه عصبی مهره‌داران

مهره‌داران همانند انسان، همگی دستگاه عصبی مرکزی و محیطی دارند. طناب عصبی آن‌ها یک عدد و به صورت **پشتی** است که بخش **جلویی** برجسته به نام **مغز** دارند. طناب عصبی نخاعی آن‌ها درون سوراخ مهره‌ها و مغز درون جمجمه‌ای استخوانی یا غضروفی جای گرفته است.

نکته در بین مهره‌داران **اندازه نسبی مغز** پستانداران و پرندگان **نسبت به وزن بدن** آن‌ها از بقیه بیشتر است (*دقت کنید که اندازه مغز کروکودیل (خزنده) از مغز پرنده بیشتر است ولی اندازه آن نسبت به وزن بدن در پرنده از کروکودیل بیشتر است*).

نکته طناب عصبی شکمی موجود در بی‌مهرگان برخلاف طناب عصبی پشتی مهره‌داران درون ستون مهره‌ها قرار نگرفته است.

فصل دوم
حواس

درسنامه

گفتار ۱ گیرنده‌های حسی و حواس پیکری

مقدمه:

در ایـن فصل می‌خواهیم ارتباط بین **اثر محرک بر گیرنده‌های حسی و پاسـخ اعصاب به آن‌ها** را بررسـی کنیم کـه چگونه بدن اطلاعات محرک‌ها را دریافت و پس از پردازش به آن پاسخ می‌دهیم.

نکته

وقتی شـخص یک فعالیتی را انجام می‌دهد، هم‌زمان حواس متعددی در حال فعالیت هسـتند. مثلاً همین الان چشـم‌های شـما پیام‌های بینایی خواندن متن کتاب الگو را به **مغز** شما ارسال می‌کند، با ورق زدن صفحه، پوست شما اطلاعات حسی را به نخاع و مغز (*اعصاب مرکزی*) می‌رساند و دستگاه عصبی از وضعیت نشستن یا خوابیدن شما در هنگام خواندن و میزان اکسیژن خون شما مطلع می‌باشد.

تعریف گیرنده حسی

گیرندهٔ حسی، **یاخته** یا **بخشی** از یاخته (*مثل دندریت یک نورون*) می‌باشد که محرک **خاص** خود را شناسایی کرده و آن محرک را دریافت و تشخیص می‌دهد. گیرنده سپس این ویژگی را دارد که اثر محرک را به **پتانسیل عمل** یا پیام عصبی تبدیل می‌کند. اگر گیرنده، یک یاختهٔ عصبی یا بخشی از آن باشد (*مثل گیرنده حواس پیکری و بویایی*) در این صورت پیام عصبی در طول گیرنده **هدایت** می‌شود تا به مراکز عصبی برسد ولی اگر مثل **شنوایی**، **چشایی** گیرنده، نوعی **یاخته غیرعصبی** باشد، این یاخته‌ها باید پیام عصبی را به یاختهٔ عصبی نزدیک خود منتقل کنند تا برای درک به **مراکز عصبی** برسند.

نکته

صدا، فشار (*تماس یا فشار خون*)، اکسیژن، گرما، نور، مزه و بوی مواد شیمیایی از محرک‌های مختلف می‌باشند که هرکدام **گیرندهٔ ویژه‌ای** دارند.

نکته

گیرنده‌های حسـی انسـان **گوناگون** هسـتند ولی برحسـب **نوع محرک**، گیرنده‌های کل حواس در پنج دسـته کلی **مکانیکی** (*فشـار، تماس، وضعیتی کشـش، تعادلی و شـنوایی*)، **شـیمیایی** (*بویایی و چشـایی و برخی گیرنده‌های رگ خونی*)، **دمایی** (*سـرما و گرما*)، **نوری** (*بینایی*) و **درد** (*آسـیب بافتی یا تحریک زیاد سایر محرک‌ها*) تقسیم‌بندی می‌شوند.

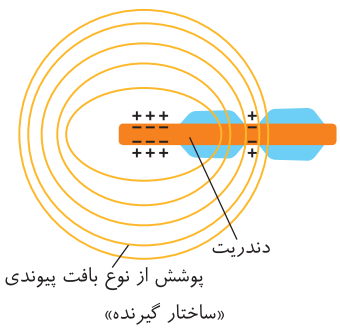
نکته

- **نحوه کار گیرنده‌های حسی**

محرک‌های مختلف با روش‌های گوناگونی مثل تغییر شـکل دادن (*محرک مکانیکی*)، مواد شـیمیایی (*بو و مزه*) و تغییر دما می‌توانند سـبب **تغییر نفوذپذیری غشـای گیرنده‌ها** به یون‌ها شوند، در نتیجه با **تغییر پتانسیل الکتریکی** غشای گیرنده، پیام عصبی را ایجاد می‌کنند.

مثالی از عمل گیرنده فشار در پوست

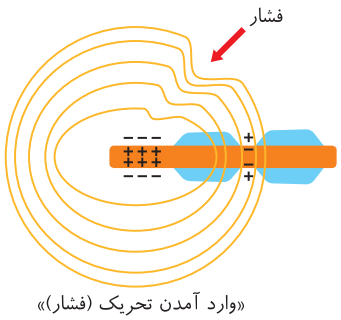
۱) گیرنده فشـار در پوسـت، انتهای **یک دندریت حسی** (*بخشـی از یاختهٔ عصبی*) می‌باشـد که اطراف آن پوششـی **چندلایه‌ای از بافت پیوندی انعطاف‌پذیر** (*پیوندی سـت*) وجود دارد. وقتی محرکی روی آن اثر نکند، این گیرنده عصبـی در گره‌هـای رانویـه خود دارای پتانسـیل آرامش می‌باشـد و کانال‌های دریچه‌دار سـدیم پتاسـیمی آن بسته‌اند. در نتیجه پیام عصبی و پتانسیل عمل در آن وجود ندارد.



نکته

هیچ‌گاه در قسمت **میلین‌دار** یاختهٔ عصبی تغییر پتانسیل الکتریکی رخ نمی‌دهد.

۲) وقتی در اثر فشار محیطی، پوشش‌**های** اطراف گیرنده به اندازه مورد نیاز فشرده شوند، این فشردگی سبب **تغییر شکل** در لایه‌های پیوندی و تغییر پتانسیل الکتریکی در دندریت درون آن شده و سبب باز کردن کانال‌های دریچه‌دار **سدیمی** و سپس پتاسیمی در انتهای دندریت می‌شود. در نتیجه در انتهای دندریت قرار گرفته در پوشش، پتانسیل عمل یا همان پیام عصبی ایجاد می‌شود.

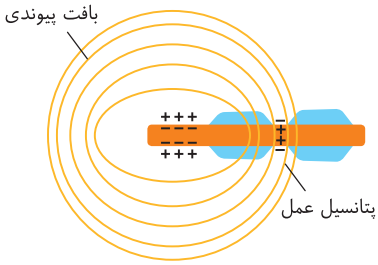


«وارد آمدن تحریک (فشار)»

نکته فشار محیطی سبب **تغییر مکانیکی** در پوشش پیوندی می‌شود. این عمل با تحت فشار قرار دادن و تغییر شکل دندریت، سبب می‌شود که در این دندریت گیرنده، **تغییر پتانسیل الکتریکی** ایجاد شود و پیام از طریق اعصاب محیطی حسی در نهایت به دستگاه عصبی مرکزی منتقل شود.

نکته در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید که در انتهای دندریت پتانسیل عمل ایجاد شده است.

۳) پس از اینکه در نوک دندریتِ درونِ پوشش چندلایه‌ای، فشار، تحریک یا پتانسیل عمل ایجاد شد، این پیام عصبی در یاختهٔ عصبی میلین‌دار به صورت **جهشی** از یک گره رانویه به گره بعدی می‌رود و در یاخته‌های عصبی فاقد میلین **نقطه به نقطه** جلو می‌رود به این ترتیب اثر محرک به صورت پیام عصبی هدایت می‌شود و در انتهای آکسون به کمک سیناپس‌ها در نهایت به دستگاه عصبی مرکزی منتقل و پردازش یا درک می‌شود. مغز پس از درک پیام عصبی، اگر لازم بود به آن **پاسخ حرکتی** مناسب می‌دهد.



«تبدیل اثر محرک به پیام عصبی (هدایت پیام عصبی)»

نکته در انعکاس‌های نخاعی، پیام سیناپس‌ها برای پردازش به مغز منتقل نمی‌شوند.

نکته در اطراف گیرندهٔ حس‌های پیکری پوست (*بهجز درد*) بافت پیوندی وجود دارد که از یاخته‌ها و مادهٔ بین‌یاخته‌ای حاوی رشته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای ایجاد شده است. دقت کنید که بافت پیوندی برخلاف پوششی، اولاً روی غشای پایه نمی‌باشد و ثانیاً یاخته‌های به هم فشرده ندارد.

سازش گیرنده‌ها به محرک‌ها

آیا تا به حال فکر کرده‌اید که چرا پس از مدتی که لباس می‌پوشید، **گیرنده‌های فشار پوستی و خود مغز** دیگر وزن لباس را روی بدن خود درک نمی‌کنند یا اینکه چرا پس از زدن عطر یا احساس بوی غذا، پس از مدتی دیگر بوی غذا و عطر را احساس نمی‌کنید؟ این موضوع **به سازش گیرنده‌ها برمی‌گردد** چون نه مقدار مولکول‌های بو در محیط کم شده‌اند و نه اختلالی در فعالیت گیرنده‌ها ایجاد شده است! در حقیقت با این عمل، مغز خود را کمتر درگیر پیام‌های تکراری کم‌اهمیت می‌کند و انرژی خود را صرف موارد مهم‌تر می‌کند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) برخی گیرنده‌ها مثل گیرنده **درد** با محرک خود سازش پیدا نمی‌کنند و همواره در حالت **هوشیاری** یا **خواب** می‌توانیم محرک درد را تشخیص دهیم. عدم سازش گیرنده‌های درد برای اطلاع از شرایط محیطی لازم می‌باشد که در ادامه بیشتر آن را بررسی می‌کنیم.

۲) **اغلب** گیرنده‌های حسی وقتی مدتی در معرض **محرک ثابتی** قرار می‌گیرند، این محرک برای آن‌ها **عادی** می‌شود و **این گیرنده‌ها پیام عصبی کمتری ایجاد می‌کنند یا اصلاً دیگر پیامی ایجاد نمی‌کنند**. به این پدیده **سازش گیرنده‌ها** می‌گویند.

۳) با توجه به سازش گیرنده‌های حسی نتیجه می‌گیریم که در برخی مواقع، گیرنده با اینکه محرک ویژه خود را در محیط دارد ولی با آن تحریک نمی‌شود. در حقیقت، در سازش، نوع پاسخ تغییر نمی‌کند بلکه شدت پاسخ به محرک عوض می‌شود.

۴) سازش گیرنده‌ها سبب می‌شود تا اطلاعات **کمتری** از محرک‌های **تکراری بی‌اثر** (*مثل وجود لباس روی بدن*) به **مغز** برسد و مغز بتواند بیشتر انرژی خود را برای پردازش اطلاعات مهم‌تری مصرف کند. پس تعداد پیام کمتری برای پردازش به مغز می‌رود.

- گیرنده‌های مهم در بدن انسان برحسب **نوع محرک**
  - **۱) مکانیکی**
    - تماس
      - فشار
        - فشار در پوست
        - گیرنده‌های فشاری موجود در دیواره سرخرگ‌های گردش عمومی خون
      - ارتعاش ← گیرنده شنوایی گوش و برخی گیرنده‌های تماسی در پوست
      - لمس ← تماس با پوست
      - وضعیتی ← کشش در ماهیچهٔ اسکلتی یا درون زردپی و کپسول مفصلی
  - **۲) شیمیایی**
    - چشایی روی زبان و دهان
    - گیرندهٔ حساس به کاهش اکسیژن در آئورت و سرخرگ گردنی
    - گیرندهٔ افزایش کربن دی‌اکسید، یون هیدروژن و کلسیم در جدار رگ‌ها و برخی مراکز عصبی
  - **۳) دمایی**
    - در پوست برای سرما و گرما
    - برخی سیاهرگ‌های بزرگ
  - **۴) نوری** ← گیرنده‌های استوانه‌ای و مخروطی بینایی
  - **۵) درد** ← گیرندهٔ دردی در پوست و اندام‌های داخلی مثل دیوارهٔ سرخرگ‌ها

انواع حواس

حواس مختلف بدن ما برحسب اینکه گیرنده آن‌ها در بدن **پراکنده** باشند یا در **اندام خاصی** تمرکز داشته باشند به دو نوع **حواس پیکری و حواس ویژه** تقسیم می‌شوند. در حواس پیکری (*درد، تماس، وضعیت و دما*)، گیرنده‌ها در **بخش‌های گوناگون بدن پراکنده‌اند** ولی **حواس ویژه** مثل بویایی، بینایی، شنوایی و چشایی دارای گیرنده‌هایی به صورت **متمرکز در اندام‌های خاص** می‌باشند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) گیرنده نوری فقط در چشم و مخصوص حواس ویژه می‌باشد ولی گیرنده دمایی و درد فقط مربوط به حواس پیکری می‌باشد.

۲) گیرنده مکانیکی در گوش برای حس ویژه شنوایی و تعادلی ولی در تماس (*لمس و فشار*) از نوع مربوط به حس پیکری پراکنده در بدن می‌باشد.

۳) گیرنده **شیمیایی** در **زبان، دهان و بینی** مربوط به حس **ویژه** چشایی و بویایی است ولی درون **رگ‌های خونی** که به کلسیم و کمبود O_2 یا زیادی CO_2 و H^+ مربوط می‌باشد در سرخرگ‌ها پراکنده‌اند ولی تحریک این گیرنده‌ها سبب حس خاصی به صورت متمایز در بدن نمی‌شوند. مثلاً اثرات آن‌ها به صورت عمومی درد یا فشار خون در بدن ممکن است با حالات مختلف بروز یابد. به همین دلیل به‌صورت جداگانه در حس پیکری و ویژه قرار نگرفته‌اند.

حواس پیکری

این حواس دارای گیرنده‌های **پراکنده‌ای** در بدن مثل پوست، ماهیچه‌های اسکلتی، زردپی‌ها و... هستند که گیرنده‌های آن‌ها، پس از ایجاد پیام عصبی، اطلاعات **حسی** آن‌ها را به دستگاه عصبی **مرکزی** (*مغز و نخاع*) ارسال می‌کنند.

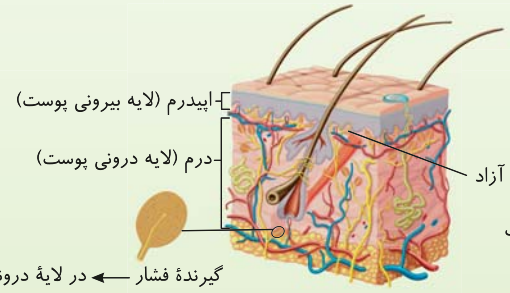
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) حواس پیکری شامل حس تماس (*با گیرندهٔ مکانیکی از نوع لمس، فشار و ارتعاش*)، حس وضعیت (*با گیرندهٔ مکانیکی*)، حس دما (*سرما و گرما*) و حس درد می‌باشند که این دو تا آخری گیرنده ویژهٔ خود را دارند.

۲) ماهیت **همهٔ** گیرنده‌های حواس پیکری از نوع **انتهای دندریت** می‌باشد که به دو دستهٔ زیر تقسیم می‌شوند.

- انواع گیرنده‌های انتهای دندریتی حواس پیکری
  - دندریت با انتهای آزاد
    - در پوست به عنوان گیرنده **درد** هستند.
    - در بخش‌های گوناگون بدن مثل دیواره سرخرگ‌ها نیز گیرنده درد وجود دارد.
    - دندریت درون ماهیچه‌ها، زردپی یا کپسول مفصلی ← گیرنده وضعیتی
  - دندریت‌های درون پوشش پیوندی
    - همراه پوشش کم‌لایه
      - تماسی
        - لمس یا تماسی برخوردی
        - ارتعاش
      - دمایی (*سرما و گرما*)
    - همراه پوشش چندلایه‌ای ← گیرنده تماسی از نوع فشار در عمق پوست

۳) اغلب گیرنده‌های حواس در لایه درونی پوست (*درم*) وجود دارند و فقط تعدادی از گیرنده‌های درد، در اپیدرم یا بخش خارجی پوست قرار دارند.



«گیرنده‌های پوست»

بررسی گیرنده‌های حواس پیکری

الف) تماسی، **ب)** دمایی، **ج)** درد، **د)** وضعیتی

● الف) نکات گیرنده‌های تماسی

۱) حس تماس دارای گیرنده‌های **مکانیکی** می‌باشد که با تغییر وضعیت، **پتانسیل عمل الکتریکی** یا پیام عصبی ایجاد می‌کند.

۲) گیرنده‌های تماسی در **پوست** با **تماس** (*لمس*)، **فشار و یا ارتعاش** تحریک می‌شوند.

۳) تعداد گیرنده‌های تماسی در پوست بخش‌های مختلف بدن، **متفاوت** می‌باشد. بخش‌هایی مانند **لب‌ها و نوک انگشتان** که گیرنده تماسی بیشتری دارند، **حساس‌ترند**.

۴) همهٔ گیرنده‌های پوستی مربوط به حس تماس دارای **پوششی از بافت پیوندی** در اطراف دندریت خود می‌باشد و در لایه درونی پوست (*درم*) قرار گرفته‌اند.
۵) **گیرنده فشار** نوعی گیرنده **تماسی** است که در بخش‌های عمقی‌تر لایه درونی پوست قرار دارد و دور دندریت آن **پوشش پیوندی چندلایه‌ای** وجود دارد.
۶) اپیدرم یا لایه سطحی پوست که حاوی بافت پوششی است به‌طور معمول فاقد گیرنده حواس پیکری از نوع تماسی می‌باشد.

● ب) نکات گیرنده دمایی

۱) این گیرنده‌ها توسط تغییرات دمایی **سرما و گرما** که در سطح بدن (*پوست*) یا **خون** (*رهاک درون بدن*) رخ می‌دهد تحریک می‌شوند.
۲) این گیرنده‌ها دندریت‌های یاخته‌های عصبی حسی هستند که در پوست و برخی سیاهرگ‌های **بزرگ** قرار دارند.
۳) انتهای دندریت‌های گیرنده‌های دمایی پوست، در پوششی **از بافت پیوندی** قرار دارند.
۴) گیرنده‌های دمایی درون بدن (*در برخی سیاهرگ بزرگ*) به تغییرات دمای درون بدن حساسند ولی گیرنده‌های دمایی پوست به تغییرات دمای سطح بدن و محیط حساس می‌باشند.
۵) غدهٔ هیپوتالاموس، بخشی در **بالای ساقهٔ مغز** و نزدیک سامانهٔ لیمبیک می‌باشد که **دمای بدن** را تنظیم می‌کند. هیپوتالاموس از گیرنده‌های دمایی مربوط به حواس پیکری پیام می‌گیرد و به تنظیم دمای بدن می‌پردازد.

● ج) نکات گیرنده‌های درد

۱) این گیرنده‌ها به صورت **دندریت آزاد** می‌باشند و دور آن‌ها غلاف یا پوشش پیوندی **وجود ندارد**.
۲) گیرنده‌های درد در پوست و در بخش‌های گوناگون بدن مثل **دیواره سرخرگ‌ها** وجود دارند.
۳) محرک گیرنده‌های درد **آسیب‌های بافتی** می‌باشند. این **آسیب‌ها** یا در اثر عوامل مکانیکی مثل بریدگی یا ورود جسم تیز به بدن صورت می‌گیرند و یا با **تحریک زیاد سایر گیرنده‌ها** مثل سرما، گرما و فشار **شدید** که باعث آسیب بافتی شود، تحریک می‌شوند.
۴) برخی مواد شیمیایی مثل **لاکتیک اسید** حاصل از تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی که در ورزش و فعالیت شدید در یاخته **ماهیچه‌ای اسکلتی** تجمع می‌یابد نیز سبب تحریک گیرنده درد در ماهیچه‌ها می‌شود.
۵) **گیرنده‌های درد سازش پیدا نمی‌کنند**. این عمل کمک می‌کند تا هنگامی‌که محرک آسیب‌رسان وجود دارد، فرد از آن مطلع شود و پاسخ مناسب به آن دهد.
۶) **درد** برای بدن یک **سازوکار حفاظتی** است. هرگاه **یاخته‌های** بافتی آسیب دیده و تخریب شوند، درد ایجاد شده، سبب ایجاد عکس‌العمل فرد برای از بین بردن عامل درد می‌شود. مثلاً نشستن طولانی می‌تواند سبب آسیب بافت پوست در محل نشیمن‌گاه لگن شود ولی ایجاد درد ناشی از آن سبب تغییر وضعیت **ناخودآگاه** و **غیر ارادی** فرد می‌شود **تا پوست در نقاط تحت فشار تخریب نشود.**

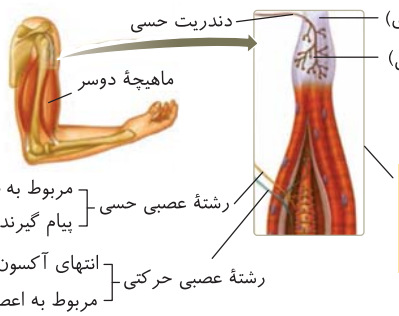
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دیواره سرخرگ‌ها، حاوی گیرنده درد و دیواره برخی سیاهرگ‌های بزرگ، حاوی گیرنده دمایی می‌باشند که هر دو از نوع حس **پیکری** هستند.
۲) سرخرگ‌های کوچک علاوه بر گیرنده درد، حاوی گیرنده **شیمیایی** حساس به زیادی CO_2 نیز می‌باشند. زیادی CO_2 می‌تواند به صورت موضعی با اثر بر ماهیچهٔ این رگ‌ها، سبب گشادی سرخرگ و باز کردن بندارهٔ مویرگی انتهای آن شود تا خون‌رسانی به بافت مجاور زیاد شود.
۳) دیواره سرخرگ‌های گردش عمومی (*مثل آئورت*) گیرنده درد و گیرنده شیمیایی حساس به کمبود O_2 دارند. گیرنده‌های اکسیژنی در هنگام کمبود O_2 به بصل‌النخاع پیام می‌دهند تا آهنگ تنفسی را زیاد کنند.

● د) گیرنده حس وضعیتی

این گیرنده‌ها که مربوط به حس پیکری می‌باشند **در ماهیچه‌های اسکلتی، زردپی** (*بافت پیوندی اتصال دهنده ماهیچه‌ها به استخوان*) **و کپسول پیوندی پوشاننده مفصل‌ها** قرار دارند. این گیرنده‌ها سبب می‌شوند که **مغز** از چگونگی قرارگیری قسمت‌های مختلف بدن نسبت به همدیگر در هنگام سکون و حرکت مطلع شود. گیرنده‌های وضعیتی **درون ماهیچه‌ها** به **تغییرات طول و کشش ماهیچه** حساس می‌باشند. تحریک این گیرنده‌های وضعیتی سبب تولید پیام عصبی شده تا **مغز** از چگونگی **وضعیت ماهیچه مطلع شود.**

مثال: حرکت دادن ساعد دست به سمت بالا سبب تغییر طول و کشش ماهیچه دوسر بازو و تحریک گیرنده‌های کششی یا وضعیتی درون این ماهیچه صورت می‌گیرد.



توجه: با اینکه قسمت پایین این شکل در کتاب درسی نیامده است ولی حتماً به تفاوت رشته‌های مربوط به حس پیکری با اعصاب پیکری دقت کنید.

«گیرنده‌های حس وضعیت در ماهیچهٔ اسکلتی و زردپی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اعصاب حرکتی پیکری با ماهیچه اسکلتی سیناپس برقرار می‌کند تا آن‌ها را منقبض کند. در پی انقباض ماهیچه و کوتاه شدن طول آن، گیرندهٔ وضعیتی تحریک می‌شود تا مغز از وضعیت ماهیچه مطلع شود ولی پس از تحریک گیرندهٔ وضعیتی در حقیقت حس پیکری فعال شده است.

۲) رشته عصبی حرکتی پیکری ← اثر بر ماهیچه دوسر بازو ← بالا رفتن ساعد ← تغییر طول ماهیچه ← تحریک گیرنده وضعیت درون ماهیچه ← ایجاد پیام عصبی ← رشته عصبی حسی ← تشخیص در مغز

۳) دقت کنید که **حس پیکری** را با **اعصاب پیکری** اشتباه نکنید. **اعصاب پیکری** نوعی اعصاب محیطی از نوع **حرکتی** می‌باشند که به **ماهیچه اسکلتی** پیام می‌دهند ولی **حواس پیکری** دارای گیرنده‌های مختلف حسی می‌باشند که دارای **دندریت حسی** هستند. در حقیقت در ماهیچهٔ اسکلتی، عمل حواس پیکری بعد از کوتاه شدن طول ماهیچه در اثر عمل اعصاب پیکری صورت می‌گیرد.

۴) گیرنده‌های وضعیتی همانند بخش تعادل گوش، پیام خود را به مخچه مخابره می‌کنند تا مغز از وضعیت بدن و تعادل آن مطلع شود.

درسنامه

گفتار ۲ حواس ویژه

گیرنده‌های **حواس ویژه** برخلاف حواس پیکری در قسمت‌های **مختلف** بدن پخش **نمی‌باشند** بلکه در **اندام‌های ویژه‌ای** قرار گرفته‌اند که شامل **بینایی، شنوایی، تعادل، بویایی و چشایی** می‌باشد. برخی از این گیرنده‌ها مثل **گیرنده‌های حس بویایی، بخشی از یاخته عصبی هستند** ولی **گیرنده حس‌های شنوایی، تعادلی و چشایی یاخته غیرعصبی می‌باشند.** در مورد گیرندهٔ استوانه‌ای و مخروطی بینایی در ادامه توضیح می‌دهیم.

نکته همهٔ گیرنده‌ها چه یاخته عصبی باشند و چه غیرعصبی، توانایی **تشخیص محرک** را دارند و می‌توانند در صورت تحریک شدن، پیام عصبی ایجاد کنند و سپس آن را به کمک بخش‌های عصبی به مراکز حسی منتقل کنند.

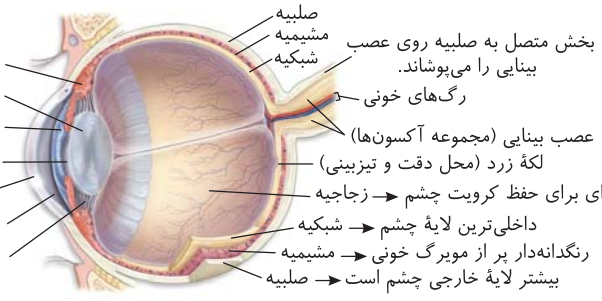
حس بینایی

بینایی کارآمدترین حس انسان است. **بیشتر** اطلاعات محیط اطراف را از راه دیدن و به کمک چشم‌ها دریافت می‌کنیم. چشم‌ها در حفرهٔ **استخوانی** کاسهٔ چشم در **جلوی استخوان پیشانی** قرار گرفته‌اند. **ماهیچه‌های اسکلتی** مختلفی برای اتصال چشم به کاسهٔ چشم و حرکت ارادی چشم وجود دارد (*یادتون باشه که این ماهیچه‌ها نیز چون اسکلتی هستند، واجد گیرندهٔ وضعیتی حس پیکری می‌باشند و از طرفی انقباض آن‌ها نیز تحت کنترل اعصاب پیکری می‌باشد*).

محافظ‌های چشم:
- ۱) پلک‌ها ← به کمک ماهیچه‌های اسکلتی باز و بسته می‌شوند.
- ۲) مژه‌ها
- ۳) بافت چربی روی کرهٔ چشم (*نوعی بافت پیوندی محافظ با ذخیرهٔ انرژی زیاد*)
- ۴) اشک ← مایعی دفاعی حاوی نمک و آنزیم لیزوزیم می‌باشد (*فصل ۵*). فعالیت غدد ترشح‌کنندهٔ آن تحت کنترل اعصاب خودمختار از **پل مغزی** است. **لیزوزیم** با توانایی ضد عفونی کردن سطح خارجی چشم و از بین بردن اغلب باکتری‌ها می‌باشد. اشک در خط اول دفاع غیراختصاصی نقش دارد.

ساختار کرهٔ چشم

چشم دارای سه لایهٔ اصلی می‌باشد که کار اصلی آن دریافت نور بازتابیده شده از اجسام توسط **گیرنده‌های نوری شبکیه** می‌باشد. در شکل زیر از بالا به چشم نگاه می‌کنید و در ادامه به بررسی قسمت‌های مختلف چشم می‌پردازیم. در ابتدا دقت کنید که گیرنده‌های بینایی، نوری که از اجسام **بازتاب** می‌شود را دریافت می‌کنند تا پرتوها را روی شبکیه متمرکز کنند.



نکته

از شکل ساختار کرهٔ چشم می‌توان عنوان کرد که سرخرگ ورودی به چشم در مجاورت سطح داخلی شبکیه و یا درون زجاجیه منشعب می‌شود ولی به عنبیه و قرنیه غذارسانی نمی‌کند و اصلاً انتهای انشعابات آن به عدسی نمی‌رسد.

الف) لایه خارجی

خارجی‌ترین لایه چشم از **صلبیه و قرنیه** تشکیل شده است که **صلبیه پرده پیوندی** محکم سفیدرنگ و **قرنیه پرده شفاف** جلوی چشم می‌باشد. صلبیه محافظت از کرهٔ چشم را بر عهده دارد ولی قرنیه اولین بخشی است که نور از آن عبور می‌کند. به علت انحنای قرنیه، پرتوهای نور شکسته شده و همگرایی پیدا می‌کند تا پس از عبور از زلالیه از مردمک عبور کند. *(با توجه به شکل ساختار کرهٔ چشم ادامه صلبیه روی عصب بینایی هم قرار دارد.)*

نکته

به‌جز در بخش جلوی عدسی، در سایر قسمت‌ها، صلبیه در تماس با مشیمیه و یا عصب بینایی خارج شده از نقطهٔ کور می‌باشد.

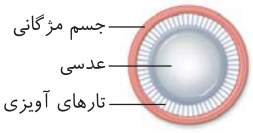
ب) لایه میانی

لایه وسطی چشم از **مشیمیه، جسم مژگانی و عنبیه** تشکیل شده است که:

● مشیمیه

لایه‌ای **رنگدانه‌داری** می‌باشد که پر از مویرگ‌های خونی غذا دهنده به مناطق مختلف چشم می‌باشد. مشیمیه در تماس سطح خود از خارج به صلبیه و از داخل به شبکیه متصل می‌باشد. این لایه در نقطهٔ کور وجود ندارد و از جلو به جسم مژگانی متصل است.

● جسم مژگانی



حلقه‌ای بین مشیمیه و عنبیه می‌باشد که شامل ماهیچه‌های صاف حلقوی به نام ماهیچه‌های مژگانی است. این حلقه از عقب به مشیمیه و از جلو به عنبیه و از اطراف پایین یا بالای خود به تارهای آویزی متصل به عدسی وصل می‌باشد. تحریک اعصاب خودمختار، سبب انقباض ماهیچه‌های صاف جسم مژگانی شده و در پی آن به کمک تارهای آویزی سبب افزایش تحدب و قطر عدسی می‌شود. این عمل سبب **تطابق** چشم شده که در ادامه آن را بررسی می‌کنیم.

نکته

تارهای آویزی از بافت پیوندی می‌باشند و فاقد قدرت انقباض هستند.

● عنبیه

بخش رنگینی در **پشت قرنیه** می‌باشد که **رنگ چشم افراد** را تشکیل می‌دهد. عنبیه دارای ماهیچه‌های **صافی** است که به کمک اعصاب **خودمختار** و به صورت غیر ارادی قطر سوراخ وسط خود یعنی **مردمک چشم** را تنظیم می‌کند.

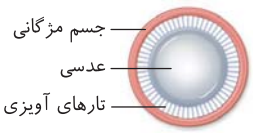
نکته

در نور زیاد، تحریک اعصاب پاراسمپاتیک (پ‌ر‌هم‌حـ‌ر) سبب انقباض ماهیچه‌های **حلقوی** صاف عنبیه شده و مردمک را تنگ می‌کند ولی نور کم، سبب تحریک اعصاب سمپاتیک (هم‌حـ‌ر) شده و با انقباض ماهیچه‌های صاف **شعاعی عنبیه**، سبب گشاد شدن مردمک می‌شود. حتماً به یاد دارید که در سیناپس بین یاختهٔ عصبی و ماهیچه فقط انتقال دهندهٔ عصبی از نوع **تحریکی** نقش دارد ولی برای به استراحت درآمدن آن‌ها نیازی به انتقال دهندهٔ مهاری در سیناپس بین نورون و ماهیچه نمی‌باشد.

نور زیاد ← تحریک اعصاب پاراسمپاتیک ← انقباض ماهیچه‌های حلقوی عنبیه ← تنگ شدن مردمک

نور کم ← تحریک اعصاب سمپاتیک ← انقباض ماهیچه‌های شعاعی عنبیه ← گشاد شدن مردمک

عدسی چشم



در هر چشم یک عدسی **شفاف همگرا** با خاصیت **انعطاف‌پذیری** وجود دارد که توسط رشته‌هایی پیوندی به نام تارهای آویزی به ماهیچه‌های حلقوی جسم مژگانی متصل می‌باشد. عدسی چشم از پشت با زجاجیه و از جلو با زلالیه و عنبیه در ارتباط و اتصال است. لازم به ذکر است که عدسی از دو انتهای خود *(بالا و پایین)* توسط تار آویزی به جسم مژگانی متصل است.

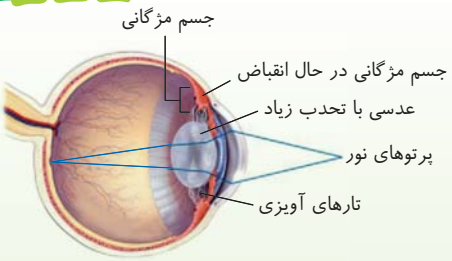
● تطابق

عدسی چشم قادر است همراه با انقباض ماهیچه‌های صاف جسم مژگانی که به وسیلهٔ رشته‌هایی به آن منتقل می‌شود، **تغییر همگرایی** دهد تا همواره در حالت طبیعی، پرتوهای نوری بازتابیده از اجسام دور و نزدیک روی شبکیه قرار بگیرند و متمرکز شوند. دقت کنید که **برای تطابق هیچ‌گاه عدسی چشم واگرایی انجام نمی‌دهد** بلکه با کم و زیاد کردن همگرایی، سبب **واضح** دیدن اجسام دور و نزدیک و قرارگیری تصویر آن‌ها روی شبکیه می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ در چشم سالم برای دیدن اشیاء نزدیک، ماهیچه‌های حلقوی جسم مژگانی از دو سمت بالا و پایین عدسی منقبض شده و به آن فشار می‌آورند. این حالت سبب افزایش **تحدب، کرویت و قطر عدسی می‌شود**. در این حالت، طول عدسی از حالت عادی **کمتر** می‌شود و با همگرایی **بیشتر** پرتوهای نور، سبب قرار گرفتن تصویر واضح روی شبکیه می‌شوند.

اجسام نزدیک ← انقباض ماهیچه مژگانی ↑ ← تحدب عدسی ↑ ← طول عدسی ↓
همگرایی پرتوها ← شکست نور ↑

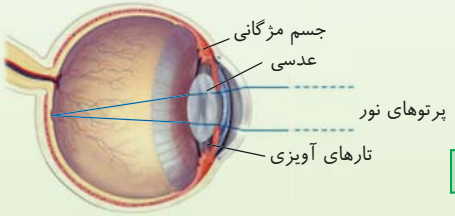


«تطابق برای دیدن اجسام نزدیک»

۲ برای انقباض ماهیچه‌های مژگانی، نیاز به انتقال دهندهٔ عصبی از اعصاب خودمختار می‌باشد.

۳ در فرد سالم، برای دیدن اشیاء دور، جسم مژگانی در حال استراحت می‌باشند. در این حالت **تحدب و قطر عدسی کم ولی طول آن زیادتر** می‌شود تا با کاهش همگرایی پرتوهای نور، تصویر را روی شبکیه قرار دهد.

اجسام دور ← استراحت ماهیچه مژگانی ↑ ← تحدب عدسی ↓ ← طول عدسی ↑ ← شکست نور ↓



«تطابق برای دیدن اجسام دور»

۴ برای به استراحت درآمدن ماهیچه، نیازی به ناقل عصبی نمی‌باشد.

زلالیه

مایعی شفاف و ترشح شده از **مویرگ‌های** چشم می‌باشد که فضای جلوی **عدسی تا قرنیه** را پر می‌کند. این مایع شفاف **مواد غذایی و اکسیژن** را برای **عدسی و قرنیه** فراهم کرده و مواد دفعی آن‌ها (CO_2 و *مواد نیتروژن‌دار*) را جمع کرده و از انتهای مویرگ به آن وارد می‌کند تا از طریق خون به بزرگ سیاهرگ زبرین و سیستم گردش عمومی خون برود.

نکته نور همگرا شده توسط قرنیه، پس از عبور از زلالیه و مردمک به عدسی می‌رسد.

نکته زلالیه با قرنیه، عنبیه، جسم مژگانی، عدسی و تارهای آویزی در تماس می‌باشد.

زجاجیه

ماده ژله‌ای شفافی است که فضای **پشت عدسی** را پر می‌کند و **به چشم حالت کروی** می‌دهد و به‌طور کلی سبب **حفظ کرویت چشم** می‌شود.

نکته زجاجیه به شبکیه، تارهای آویزی و عدسی متصل می‌باشد و انشعابات زیادی از رگ‌های خونی در آن به صورت پراکنده وجود دارد. حجم زجاجیه که فضای پشت عدسی را پر کرده است بسیار بیشتر از زلالیه بوده ولی دقت کنید که زجاجیه وظیفهٔ تغذیه‌ای ندارد.

ج) لایه داخلی

شبکیه داخلی‌ترین لایه چشم با یاخته‌های عصبی و غیرعصبی می‌باشد. **گیرنده‌های نوری استوانه‌ای و مخروطی به همراه یاخته‌های عصبی** در شبکیه وجود دارند. در اینجا چون اختلاف نظر زیاد است، دقت کنید که مبنای حرف ما کتاب درسی است که هم در متن و هم در شکل گیرنده‌های نوری را با یاخته‌های عصبی شبکیه جداگانه در نظر گرفته است. یاخته‌های استوانه‌ای و مخروطی از خارج به داخل بخشی با **مادهٔ حساس به نور**، هسته و در انتها پایانه‌ای دارند که جریان عصبی تولید کرده را به دندریت یاخته‌های عصبی حسی چشم **منتقل** می‌کنند. **آکسون‌های یاخته‌های عصبی چشم** (*یاخته‌های عصبی شبکیه نه گیرنده‌ها*!!) عصب بینایی را تشکیل می‌دهند که از قسمتی از شبکیه به نام نقطهٔ کور خارج می‌شوند. برخی رشته‌های عصب بینایی پس از کیاسمای بینایی به تالاموس نیمکره مقابل رفته و پس از تقویت و پردازش اولیه در تالاموس پیام حس بینایی در نهایت برای پردازش نهایی و **تشخیص** تصویر به **لوب پس‌سری قشر مخ** می‌روند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ محل **تشکیل تصویر** در **شبکیه** می‌باشد ولی محل **تشخیص تصویر** در لوب **پس‌سری قشر مخ** می‌باشد. دقت کنید که **تشخیص نور** توسط گیرنده مخروطی یا استوانه‌ای صورت می‌گیرد که در چشم تعداد گیرنده مخروطی بسیار کمتر از استوانه‌ای می‌باشد.

۲ دقت کنید که یاخته‌های عصبی شبکیه به صورت چندلایه می‌باشند که لایهٔ خارجی به گیرنده‌ها متصلند و آکسون داخلی‌ترین لایهٔ آن‌ها سبب ایجاد عصب بینایی می‌شوند.



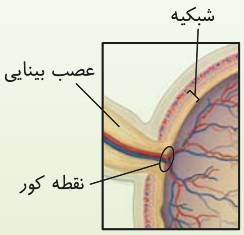
«گیرنده‌های نوری و یاخته‌های عصبی شبکیه»

۳ ماهیچه‌های درون چشم از نوع صاف می‌باشند که تحت تأثیر اعصاب خودمختار هستند ولی ماهیچه‌های اطراف چشم از نوع اسکلتی و تحت کنترل اعصاب پیکری می‌باشند.

۴ نور ورودی به چشم از لایه‌های مجاور هم از یاخته‌های عصبی می‌گذرد تا به گیرنده‌ها برسد و سپس پیام عصبی آن به یاخته‌های عصبی منتقل شود. چند یاختهٔ عصبی در شبکیه با هم سیناپس می‌کنند تا بالاخره عصب بینایی از اجتماع آکسون‌های داخلی‌ترین لایهٔ یاخته‌های عصبی ایجاد شود.

۵ دو منطقه مهم در شبکیه

- **لکهٔ زرد:** منطقه‌ای در شبکیه است که یاخته‌های مخروطی آن از دیگر نقاط بیشتر است و محلی برای دقت و تیزبینی می‌باشد.
- **نقطهٔ کور:** قسمتی از شبکیه می‌باشد که فاقد گیرنده بینایی است. اعصاب و رگ‌های خونی چشم از آن خارج یا وارد می‌شوند. (*اعصاب در اطراف رگ‌های خونی چشم هستند.*)



◀ **سیاهرگ و عصب بینایی** از نقطهٔ کور چشم **خارج** ولی **سرخرگ** به آن **وارد** می‌شود.

۶ با توجه به شکل مقابل می‌بینید که بخش متصل به امتداد صلبیه روی عصب بینایی را نیز می‌پوشاند ولی خود عصب بینایی، ادامهٔ بخش عصبی شبکیه بوده است.

مسیر نور در چشم

پرتوهای نوری بازتابیده شده از اجسام، ابتدا از طریق **قرنیه شفاف** وارد چشم می‌شوند و به دلیل **انحنای** قرنیه، دچار همگرایی یا اولین شکست نور می‌شوند. نور همگرا شده در قرنیه از زلالیه و سوراخ مردمک شفاف عبور کرده تا به عدسی برسد. تحدب و همگرایی عدسی سبب شکست نور شده تا پس از عبور از زجاجیه این پرتوهای نوری روی شبکیه متمرکز شوند و سبب تحریک گیرنده‌های نوری استوانه‌ای و مخروطی شوند.

پرتو نور ← قرنیه ← زلالیه ← مردمک ← عدسی ← زجاجیه ← شبکیه

نکته
مناطق شفاف چشم از خارج به داخل قرنیه، زلالیه، عدسی و زجاجیه می‌باشند که همگی در انکسار یا شکست نور نقش دارند (*اتاک جزئی از چشم نمی‌باشد.*)

یک سؤال خوب:

چرا برگ درختان را اغلب سبز می‌بینیم؟

می‌دانید که نور سفید خورشید ترکیبی از ۷ رنگ مختلف می‌باشد. از طرفی برگ‌ها اغلب پر از کلروپلاست (*سبزدیسه*) همراه رنگیزه کلروفیل می‌باشند. این رنگیزه‌ها نور سبز را منعکس کرده ولی اغلب نورهای دیگر را جذب می‌کنند تا در فتوسنتز از انرژی آن‌ها استفاده کنند. نور سبز بازتابیده شده از برگ درختان به چشم ما برخورد می‌کند و با عبور از قرنیه، زلالیه، مردمک، عدسی و زجاجیه به گیرنده‌های بینایی شبکیه می‌رسند. **این گیرنده‌ها پتانسیل عمل ایجاد می‌کنند** و آن را به یاخته‌های عصبی چشم منتقل می‌کنند تا عصب بینایی از اجتماع آکسون‌ها تشکیل شده و در نهایت به قشر مخ در لوب پس‌سری برسند. در قشر مخ با تشخیص تصویر متوجه سبزی برگ درختان می‌شویم ولی تصویر برگ روی شبکیه ما قرار گرفته است.

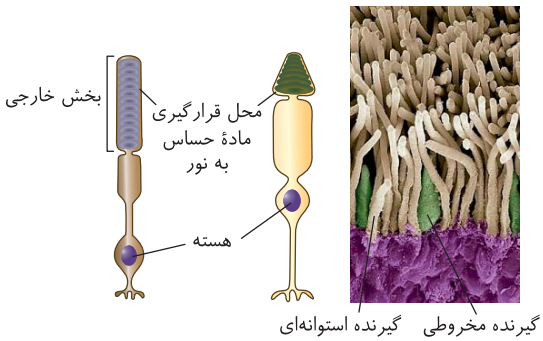
نکته: در حقیقت وقتی جسمی را سفید می‌بینیم، یعنی آن جسم همهٔ پرتوهای نوری را بازتاب کرده است ولی وقتی جسمی را سیاه می‌بینیم یعنی از آن جسم، پرتویی بازتابیده نشده و به چشم ما نرسیده است.

گیرنده‌های بینایی و اعمال آن‌ها

در شبکیه دو نوع گیرنده بینایی وجود دارد. نوع اول استوانه‌ای با تعداد زیاد و نوع دوم مخروطی با تعداد کمتر می‌باشد. هرکدام از گیرنده‌ها ویژگی‌های منحصر به فردی در گرفتن نور و تبدیل آن به پتانسیل عصبی دارند. این یاخته‌ها در بخش خارجی خود بخش‌های استوانه‌ای و مخروطی شکلی دارای ماده حساس به نور می‌باشند که در اثر برخورد نور به شبکیه، این مواد حساس تجزیه می‌شوند و طی واکنش‌هایی که به راه می‌اندازند، پیام عصبی ایجاد می‌کنند.

نکته
ویتامین A نوعی ویتامین محلول در چربی است که برای **ساخته شدن** مادهٔ حساس به نور در انتهای یاخته‌های مخروطی و استوانه‌ای مورد نیاز می‌باشد.

نکته
با توجه به شکل گیرنده‌ها، تراکم مادهٔ حساس به نور و مقدار آن در گیرندهٔ استوانه‌ای از مخروطی بیشتر است.



«گیرنده‌های نوری (رنگ‌های تصاویر واقعی نیستند)»

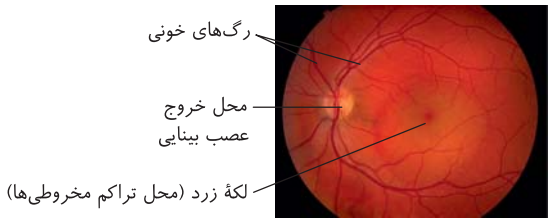
۱) یاخته‌های استوانه‌ای

این یاخته‌ها در انتهای خود به سمت مشیمیه بخشی استوانه‌ای حاوی رنگیزه‌های بینایی یا ماده حساس به نور دارند که در **نور کم** نیز تحریک شده و سبب دیدن اجسام به صورت سیاه سفید می‌شوند. این یاخته‌ها در **اطراف** لکهٔ زرد تراکم بیشتری دارند و در نور کم باعث دیدن اجسام به صورت سیاه سفید می‌شوند.
(اشکال در این یاخته‌ها سبب *شب‌کوری* می‌شود چون فرد برای دید اجسام در شب ناتوان می‌شود.)

نکته
علت عدم فعالیت این یاخته‌ها می‌تواند کمبود ویتامین A یا پیش ماده آن یعنی بتاکاروتن باشد.

۲) یاخته‌های مخروطی

این یاخته‌ها در بخشی از خود که به سمت خارج یا مشیمیه می‌باشد قسمتی مخروط‌مانند دارند که همانند یاخته‌های استوانه‌ای دارای ماده حساس به نور می‌باشند. در یاخته مخروطی این مواد **فقط در نور زیاد** تحریک می‌شوند که **تشخیص رنگ و دید جزئیات اجسام** را امکان‌پذیر می‌کنند. این یاخته‌ها در قسمت لکهٔ زرد که در امتداد محور نوری کرهٔ چشم قرار گرفته‌اند تراکم بسیار زیادی دارند. به دلیل تراکم زیاد یاخته مخروطی در لکهٔ زرد این منطقه در **دقت و تیزبینی** اهمیت زیادی دارد.



«مشاهدهٔ شبکیه از مردمک با دستگاه ویژه»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) ویتامین A برای **ساخت** ماده حساس به نور در انتهای یاخته‌های استوانه‌ای و مخروطی لازم می‌باشد. به همین دلیل کمبود ویتامین A سبب **کاهش قدرت بینایی** می‌شود ولی دقت کنید که برخورد نور به گیرنده‌ها سبب تجزیهٔ این مادهٔ حساس می‌شود.

۲) یاخته‌های استوانه‌ای **حساسیت زیادی** به نور دارند چون **در نور کم نیز** فعال هستند.

۳) **حساسیت** یاخته‌های **مخروطی** به نور از یاخته استوانه‌ای **کمتر** است چون فقط در **نور زیاد** فعالیت خود را انجام می‌دهند.

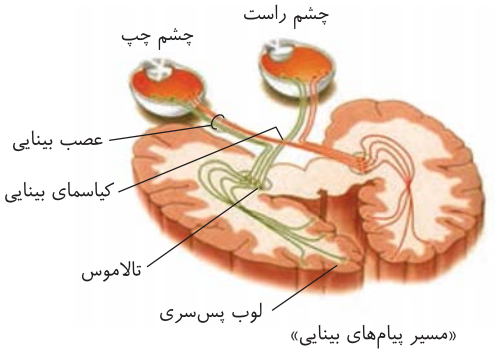
۴) یاخته‌های استوانه‌ای و مخروطی همانند یاخته‌های عصبی منطقه‌ای خاص در وسط یاخته برای استقرار هسته دارند ولی تکرار می‌کنیم و دقت کنید که گیرنده‌های استوانه‌ای و مخروطی چشم را کتاب درسی از یاخته‌های عصبی شبکیه جدا کرده است (البته منابع علوم آن‌ها را نوعی یاختهٔ عصبی تمایزیافته می‌دانند).

۵) ماهیچه‌های درون چشم از نوع صاف هستند که در عنبیه و جسم مژگانی قرار دارند و تحت کنترل اعصاب خودمختار حرکتی منقبض می‌شوند، می‌باشند ولی ماهیچه‌های دور چشم از نوع مخطط اسکلتی هستند و تحت تأثیر اعصاب پیکری می‌باشند.

۶) سه نوع گیرنده مخروطی با حساسیت به نورهای **قرمز، آبی و سبز** در چشم وجود دارد که با تحریک یک یا چند مورد آن‌ها رنگ‌های مختلف اجسام را مشاهده می‌کنیم (از علوم هشتم).

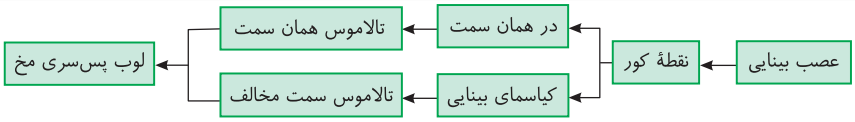
مسیر عصب بینایی در انسان

همان‌طور که گفتیم یاخته‌های استوانه‌ای و مخروطی که گیرنده بینایی هستند، پس از تحریک شدن پیام عصبی تولید می‌کنند و آن را به لایه‌های یاختهٔ عصبی شبکیه منتقل می‌کنند. مجموعه آکسون‌های یاخته‌های عصبی شبکیه تشکیل عصب بینایی می‌دهند. از نقطهٔ کور هر چشم، یک عصب بینایی خارج می‌شود. همهٔ تارهای عصبی موجود در عصب بینایی هر چشم پس از خروج از کرهٔ چشم ابتدا به منطقه‌ای در مغز به نام کیاسمای (چلیپا) بینایی می‌روند. در آنجا **بخشی** از آکسون‌ها به نیمکرهٔ مقابل وارد می‌شوند. سپس به مغز میانی رفته و بعد به **تالاموس** سمت مقابل می‌روند. در تالاموس پردازش اولیه بینایی صورت می‌گیرد و پیام‌های حسی آن تقویت می‌شوند تا برای تشخیص نهایی به قشر مخ در لوب پس‌سری مخ بروند و تصویر تشکیل شده در شبکیه را تشخیص دهند.



«مسیر پیام‌های بینایی»

توجه! در شکل و متن کتاب درسی از ارسال پیام به مغز میانی حرفی نزده است ولی در فصل اول خواندید که یاخته‌های عصبی مغز میانی در فعالیت‌های مختلف از جمله بینایی، شنوایی و حرکت نقش دارند. البته در امتحانات این قسمت از مسیر را از شما نمی‌خواهند.



نکته هر عصب بینایی دارای آکسون‌های متعددی است که بخشی از آن (*یاخته‌های عصبی بخش داخلی هر چشم*) به نیمکرهٔ مقابل و بخشی از آن (*یاخته‌های عصبی بخش خارجی هر چشم*) در نیمکرهٔ هم‌جهت چشم پیام را تشخیص می‌دهد. در حقیقت هر چشم به هر دو تالاموس و هر لوب پس‌سری مربوط به دو نیمکرهٔ مخ پیام ارسال می‌کند.

نکته هر لوب پس‌سری در هر نیمکرهٔ مخ از هر دو چشم پیام حسی دریافت می‌کند.

نکته پیام سمت چپ هر چشم به نیمکره و تالاموس چپ و سمت راست هر چشم به تالاموس و نیمکرهٔ سمت راست مخ پیام می‌دهند.

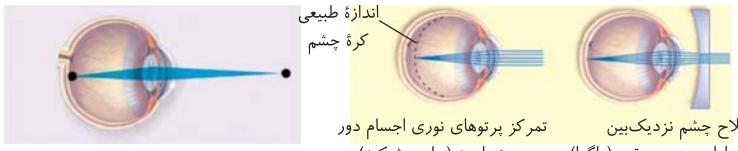
بیماری‌های چشم

شکل ویژه قرنیه، عدسی و کرهٔ چشم، برای دیدن دقیق و درست اجسام لازم و ضروری می‌باشد تا پرتوهای نور به‌طور دقیق همگرایی یابند و روی شبکیه متمرکز شوند. در ادامه به بیماری‌های مختلف چشم از جمله نزدیک‌بینی، دوربینی، آستیگماتیسم، پیرچشمی و برخی آسیب‌ها از جمله آب سیاه و آب مروارید می‌پردازیم.

۱) نزدیک‌بینی

اگر کرهٔ چشم افراد به هر دلیلی، **بزرگ‌تر** از حالت **طبیعی** شود (*یعنی فاصله عدسی تا شبکیه زیاد شده است*) یا **تحدب عدسی** و قدرت شکستن نور در اثر انقباض زیاد جسم مژگانی **زیاد** شود، در این صورت پرتوهای نوری بازتابیده شده از اجسام نزدیک بدون اشکال روی شبکیه می‌افتد ولی پرتوهای اجسام **دور** در **جلوی شبکیه** یعنی در **زجاجیه** قرار می‌گیرند. **در این افراد همگرایی عدسی یا قطر آن زیاد شده است** و فرد قادر به دیدن اجسام **دور** به صورت **واضح نمی‌باشد.**

اصلاح: این افراد باید با استفاده از عینک **واگرا** کاری کنند که همگرایی پرتوهای نوری بازتابیده شده از اجسام دور کم شده و کمی عقب‌تر یعنی روی شبکیه به هم برسند تا در دیدن اجسام دور مشکلی نداشته باشند.



«چشم نزدیک‌بین و اصلاح آن»

۲) دوربینی

اگر کرهٔ چشم **کوچک‌تر** و فاصله عدسی تا شبکیه آن **کمتر** از حد طبیعی شود یا **تحدب، قطر و همگرایی عدسی کم شده باشد یعنی طول عدسی زیادتر شود**، در این حالت تصویر اجسام دور و پرتوهای نوری حاصل از بازتاب آن‌ها دقیقاً روی شبکیه و بدون مشکل قرار می‌گیرد ولی تصویر و پرتوهای نوری بازتابیده شده از اجسام **نزدیک** در **پشت شبکیه** متمرکز شده و قرار می‌گیرد. **به همین دلیل افراد دوربین نمی‌توانند اجسام نزدیک را به وضوح ببینند.**

اصلاح: این افراد باید با استفاده از عینک **همگرا** و افزایش قدرت همگرا کردن پرتوهای نوری سبب قرارگیری پرتوها در نقطه‌ای متمرکز روی شبکیه شوند تا بتوانند اجسام نزدیک را بدون اشکال ببینند.



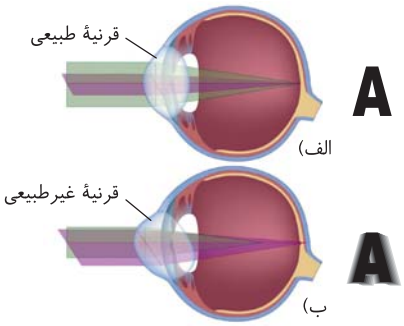
«چشم دوربین و اصلاح آن»

بیماری	علل	تصویر اجسام نزدیک (محل متمرکز شدن پرتوهای نوری اجسام نزدیک)	تصویر اجسام دور (محل متمرکز شدن پرتوهای نوری بازتابیده شده از اجسام دور)	اصلاح
نزدیک‌بینی	۱) کرهٔ چشم بزرگ‌تر شده است. ۲) تحدب عدسی و همگرایی آن زیادتر شده است.	روی شبکیه	جلوی شبکیه	استفاده از عینک واگرا
دوربینی	۱) کرهٔ چشم کوچک‌تر شده است. ۲) تحدب عدسی و همگرایی آن کمتر شده است.	پشت شبکیه	روی شبکیه	استفاده از عینک همگرا

۳) آستیگماتیسم

در این بیماری سطح **قرنیه** یا **عدسی** فرد **کاملاً صاف** و کروی نمی‌باشد و پرتوهای نور وارد شده به چشم به‌طور **نامنظم** به هم رسیده و روی یک نقطه در شبکیه متمرکز نمی‌شوند. **در این افراد از یک جسم تصویر واضحی تشکیل نمی‌شود.**

درمان: باید فرد از عینکی با عدسی **مکمل** استفاده کند تا عدم یکنواختی انحنای آن قسمت‌ها جبران شده و تصویر روی شبکیه متمرکز شود.



«مقایسهٔ تشکیل تصویر در (الف) چشم طبیعی (ب) چشم آستیگمات و تصویری که هر کدام می‌بینند.»

۴) پیرچشمی

با افزایش سن، چشم نیز مانند سایر قسمت‌های بدن دچار اختلالاتی می‌شود. یکی از این اختلالات **کاهش قدرت انعطاف‌پذیری عدسی** می‌باشد که سبب می‌شود جسم مژگانی نتواند عدسی سفت شده را به آسانی تغییر وضعیت دهد در نتیجه تطابق دشوار می‌شود؛ به این بیماری پیرچشمی گفته می‌شود که به کمک **عینک‌های ویژه‌ای** اصلاح می‌شود *(راستی این افراد برای دیدن اجسام نزدیک مشکل دارند و از این نظر مانند افراد مبتلا به دوربینی هستند).*

بررسی تشریح چشم گاو

چشم گاو در بسیاری از مشخصات همانند چشم انسان می‌باشد که نکات آن را در زیر مرور می‌کنیم:

۱) برای تشخیص **بالا و پایین چشم**، باید **فاصله عصب بینایی تا قرنیه** را در نظر بگیریم. سطحی که در آن **فاصله عصب تا روی قرنیه بیشتر** است بالای چشم و سطح دیگر **پایین** چشم است.



«بالا و پایین چشم»

۲) برای تشخیص **چپ** یا **راست بودن** چشم باید چشم را طوری در دست بگیریم که سطح بالایی آن رو به بالا باشد و قرنیه که حالت تخم مرغی دارد باید بخش پهن‌تر آن همیشه به سمت بینی و بخش باریک‌تر آن به سمت گوش باشد.



«چشم راست»

۳) به عصب بینایی چشم دقت کنید که پس از خروج از چشم به سمت **مخالف** خود خم می‌شود تا کیاسمای بینایی را تشکیل دهد.

۴) بافت چربی بین ماهیچه‌های اسکلتی و کرهٔ چشم در خارج کرهٔ چشم قرار دارد که اگر آن را جدا کنیم، می‌توان ماهیچه‌های اسکلتی چشم را مشاهده کرد.

۵) عدسی چشم، محدب‌الطرفین می‌باشد که در دو سطح تفاوت تحدب دارد. در کنار عدسی، جسم مژگانی *(تشکیل ماهیچه‌های صاف)* و تارهای رشته‌ای آویزی می‌باشد که عدسی را احاطه کرده است.

۶) زلالیه حاصل از تشریح در جلوی عدسی کاملاً شفاف نیست چون مقداری از دانه‌های سیاه ملانین از بخش‌های دیگر چشم رها شده و در آن قرار گرفته است.

۷) جسم مژگانی به صورت ماهیچه حلقه‌ای صاف دور عدسی است که در سطح خارجی این دایره عنبیه قرار دارد که از جسم مژگانی نازک‌تر و حاوی ماهیچه‌های صاف حلقوی *(تنگ‌کننده مردمک در نور زیاد به کمک پاراسمپاتیک)* و صاف شعاعی *(گشادکننده مردمک در نور کم به کمک سمپاتیک)* می‌باشد.



«بخش‌های درونی چشم»

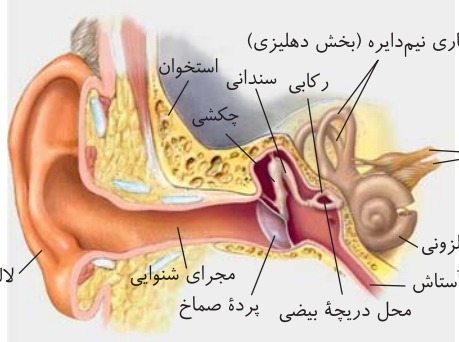
۸) مردمک وسط عنبیه است و تنها یک حفره است و یاخته ندارد که این حفره را زلالیه پر کرده است. جسم مژگانی و عنبیه با هم به لایه‌های چشم در جلو متصل‌اند و اگر آن‌ها را جدا کنیم، قرنیه به صورت شفاف و برآمده در جلوی آن دیده می‌شود.

حس شنوایی و تعادل

گوش‌ها اندام‌هایی هستند که حاوی گیرنده‌های **مکانیکی** برای **شنوایی** و **حفظ تعادل** بدن می‌باشند. این گیرنده‌ها به عنوان گیرنده حواس ویژه **به صورت یاخته مژک‌دار غیرعصبی** در **گوش** درونی قرار دارند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

ساختار گوش

گوش از سه بخش بیرونی، میانی و درونی تشکیل شده است که **کل گوش میانی و درونی به همراه بخش‌هایی از گوش بیرونی در استخوان گیجگاهی قرار دارد.** از همین ابتدا دقت کنید که گوش بیرونی و میانی فقط در فعالیت شنوایی نقش دارند. یعنی این دو بخش در حس تعادل بدن نقشی ندارند.



«بخش‌های تشکیل دهندهٔ گوش»

الف) گوش بیرونی

گوش بیرونی یا خارجی از **لالهٔ گوش و مجرای شنوایی** تشکیل شده است.

● لالهٔ گوش

قسمتی از گوش خارجی می‌باشد که کاملاً خارج از استخوان گیجگاهی قرار دارد و وظیفه **جمع‌آوری امواج صوتی** و انتقال آن به مجرای شنوایی را برعهده دارد.

● مجرای شنوایی

قسمتی از گوش خارجی است که **بیشتر بخش‌های آن** در **خارج از استخوان گیجگاهی** قرار دارد و فقط بخش انتهایی آن درون استخوان پهن گیجگاهی جمجمه قرار دارد. این مجرا صوت را از لالهٔ گوش گرفته و به گوش میانی منتقل می‌کند. در این مجرا **دو عامل** نقش **حفاظتی** دارند یکی مواد ترشح شده از غده‌های برون‌ریز درون مجرا و یکی هم **موهای کرک‌مانند** درون مجرا می‌باشند که وظیفه ممانعت از ورود مواد خارجی به گوش را دارند.

● پردهٔ صماخ

بخش انتهایی مجرای شنوایی **بین گوش بیرونی و میانی** قرار دارد که صدا با برخورد به آن قدرت چند برابر پیدا می‌کند تا به گوش میانی و استخوان‌های کوتاه آن منتقل شود.

نکته بخش انتهایی مجرای شنوایی، پردهٔ صماخ و کل گوش میانی و درونی در استخوان گیجگاهی قرار دارند.

ب) گوش میانی

گوش میانی محفظه **استخوانی پر از هوا** می‌باشد که وظیفه انتقال صدا از گوش بیرونی به گوش درونی را دارد. این بخش **کاملاً در استخوان گیجگاهی** قرار دارد و حاوی سه استخوان کوچک از اسکلت محوری (*فصل ۳*) می‌باشد. این بخش توسط مجرایی به نام شیپور استاش با حلق ارتباط دارد.

● استخوان‌های گوش میانی

هر گوش در بخش **میانی** خود حاوی **سه** استخوان **کوچک** چکشی، سندانی و رکابی می‌باشد. این استخوان‌ها به ترتیب در پشت پردهٔ صماخ تا دریچه بیضی قرار گرفته‌اند به‌طوری که **دسته** استخوان چکشی به پردهٔ صماخ متصل است و با استخوان سندانی مفصل برقرار می‌کند. استخوان سندانی از خارج با چکشی و از داخل با استخوان رکابی مفصل می‌شود و استخوان رکابی از **کف** خود به پرده نازک دریچهٔ بیضی در گوش داخلی متصل می‌شود. صدای برخورد کرده به پردهٔ صماخ سبب لرزش استخوانچه‌های گوش میانی می‌شوند. لرزش آن‌ها سرانجام از راه استخوان رکابی به بخشی از گوش درونی به نام دریچهٔ بیضی می‌رسد.

نکته در گوش میانی و محفظه‌های آن مایع وجود ندارد.

نکته با توجه به شکل گوش ضخامت استخوان چکشی از همه بیشتر و رکابی از همه کمتر است.

● شیپور استاش

مجرایی مرتبط با گوش میانی می‌باشد که در حقیقت رابط **حلق به گوش میانی** می‌باشد (*این مجرا در هنگام صحبت کردن، بلع، خمیازه، عطسه و سرفه باز می‌شود*) تا هوا از راه حلق به بخش پشتی پردهٔ صماخ برسد و **فشار هوای** دو طرف **پردهٔ صماخ** متوازن و یکسان شود. ضمن این عمل، پردهٔ صماخ می‌تواند به خوبی صدای وارد شده را مثل برخورد دست به یک طبل چند برابر کند. در این حالت پردهٔ صماخ به خوبی می‌لرزد و سبب تحریک استخوانچه‌های گوش میانی می‌شود.

نکته گوش میانی و بیرونی فقط در حس شنوایی گوش نقش دارند ولی در عمل حس تعادل اثری ندارند.

نکته در هنگام عفونت گلو، ممکن است به دلیل پر شدن شیپور استاش از خلط، تشدید صدا و عمل پردهٔ صماخ به درستی انجام نشود.

ج) گوش درونی

گوش درونی قسمتی **پر از مایع** می‌باشد که دو قسمت ویژه مجزا **حلزونی** در پایین و **دهلیزی** در بالا به ترتیب برای **شنوایی و تعادل** دارد. در نهایت عصب گوش دو قسمت یا دو نوع آکسون (*به تعداد زیاد از هر نوع*) دارد که یکی برای تشخیص صدا به لوب گیجگاهی مخ می‌رود و دیگری برای **حفظ تعادل** به **مخچه** می‌رود.

نکته

بخش حلزونی ویژه بخش شنوایی و بخش دهلیزی ویژه بخش تعادلی برای گوش درونی می‌باشند.

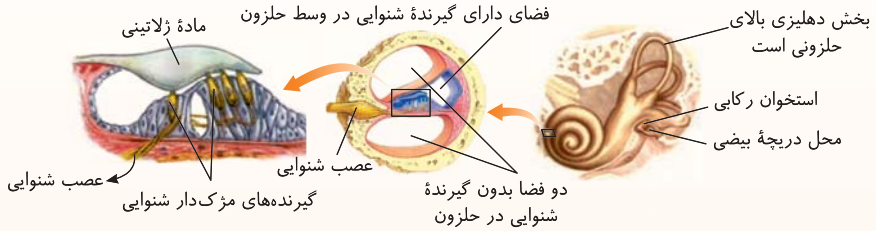
● ۱) بخش شنوایی گوش درونی

همان‌طور که گفتیم، گوش بیرونی و میانی وظیفه انتقال صدا را به گوش درونی دارند. صدای جمع‌آوری شده توسط لالهٔ گوش، ابتدا وارد مجرای شنوایی می‌شود. این صدا ابتدا در انتهای این مجرا، پردهٔ صماخ را مرتعش می‌کند و می‌لرزاند. **دسته استخوان چکشی** که به **پردهٔ صماخ** متصل می‌باشد با لرزش پردهٔ صماخ به ارتعاش درمی‌آید و به دنبال آن استخوان سندانی و رکابی را نیز می‌لرزاند. **کف استخوان رکابی** به **دریچه‌ای پرده‌ای نازک** به نام **دریچهٔ بیضی** در ابتدای گوش درونی متصل می‌شود که لرزش استخوان رکابی باعث لرزیدن دریچهٔ بیضی می‌شود.

در پشت دریچهٔ بیضی گوش درونی، بخشی به نام **حلزون گوش** وجود دارد که درون حلزون گوش را مایعی پر کرده است. **لرزش دریچهٔ بیضی سبب به لرزه در آمدن مایع درون حلزون گوش** می‌شود. در بخش حلزونی هر گوش، **یاخته‌های مژک‌دار** و غیرمژک‌دار قرار دارند که مژک‌دارها همان **گیرنده‌های مکانیکی شنوایی با ماهیت غیرعصبی** در انسان می‌باشند. مژک‌های این یاخته‌ها در **تماس** با **پوشش ژلاتینی** می‌باشند. لرزش مایع **درون** بخش حلزونی سبب لرزش پوشش ژلاتینی و در پی آن لرزش و **خم شدن مژک‌های** یاخته‌های گیرنده می‌شود. وقتی مژک‌ها خم شدند، **کانال‌های یونی سدیمی** این یاخته‌ها باز می‌شوند و در اثر تحریک این یاخته‌های گیرنده، پتانسیل عمل یا پیام عصبی ایجاد می‌شود. این پیام توسط بخش شنوایی عصب گوش ابتدا به مغز میانی می‌رود و سپس در تالاموس پردازش اولیه شده و تقویت می‌شود. در نهایت بخش تقویت شده در تالاموس برای پردازش نهایی به **لوب گیجگاهی قشر مخ** می‌رود تا صدا را تشخیص دهد.

نکته

بیشتر یاخته‌های بخش حلزونی از بافت پوششی با فضای بین‌یاخته‌ای کم به وجود آمده‌اند که در بین آن‌ها تعداد کمی از یاخته‌های گیرنده‌های شنوایی مژک‌دار قرار دارند. دقت کنید که مژک گیرنده‌ها در بخش حلزونی با مادهٔ ژلاتینی در تماس نمی‌باشد بلکه با **پوشش** محفظه‌ای در اتصال است که درون آن مادهٔ ژلاتینی قرار دارد.



«یاخته‌های مژک‌دار حلزون گوش»

نکته

مادهٔ ژلاتینی حلزون گوش درونی روی یاخته‌های معمولی پوششی و یاخته‌های گیرنده را پوشانده است ولی بیشتر یاخته‌های زیر آن فاقد مژک و فاقد خاصیت گیرندگی می‌باشند. دقت کنید که دندریت‌ها فقط به یاخته‌های مژک‌دار که گیرنده هستند متصل می‌باشند و از طرفی یاخته‌های فاقد مژک اندازه و شکل متفاوتی دارند.

● ۲) بخش تعادلی گوش درونی

در گوش درونی، بخشی به نام **دهلیزی** وجود دارد که مخصوص **تعادل بدن** می‌باشد. این بخش در هر گوش از سه مجرای عمود بر هم در سه جهت فضا به نام مجاری نیم‌دایره تشکیل شده است. **درون مجاری نیم‌دایره تعدادی یاخته‌های مژک‌دار گیرنده تعادلی به همراه مادهٔ ژلاتینی وجود دارد. حرکت سر** به عنوان **محرک**، سبب حرکت مایع درون مجرا و سپس خم کردن پوشش ژلاتینی **درون** مجاری نیم‌دایره به یک طرف می‌شود. این اعمال **سبب خم شدن مژک‌های یاخته‌های گیرنده تعادلی** می‌شود. خم شدن مژک‌ها سبب تحریک یاخته گیرنده و ایجاد پیام عصبی در آن می‌شود. این یاخته‌های غیرعصبی که گیرنده مکانیکی بخش تعادلی (*دهلیزی*) گوش درونی هستند، پیام عصبی را به یاخته عصبی حسی تعادلی گوش درونی منتقل می‌کنند. آکسون این یاخته‌های عصبی حسی، شاخه دهلیزی یا تعادلی عصب شنوایی را تشکیل می‌دهند که پیام را به مغز و به ویژه قسمت **مخچه** برای حفظ تعادل می‌برند و فرد را از موقعیت سر آگاه می‌کند. دقت کنید که مغز (*مخچه*) برای حفظ تعادل علاوه بر گوش درونی، از گیرنده‌های وضعیتی یا کششی ماهیچه‌ها، زردپی، مفاصل و... نیز اطلاعاتی دریافت می‌کند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) جهت حرکت سر در بدن با جهت حرکت مادهٔ ژلاتینی و مژک‌های گیرنده مکانیکی بخش تعادلی گوش متفاوت می‌باشد. وقتی فرد حرکت ندارد این مادهٔ ژلاتینی و مژک‌ها حرکتی ندارند.

۲) حرکت سر ← حرکت مایع درون مجرای نیم‌دایره ← خمش مادهٔ ژلاتینی به یک طرف ← خمش مژک یاخته‌های گیرنده تعادلی ← تحریک گیرنده تعادلی

۳) برخی یاخته‌های مجرای نیم‌دایره، مژک دارند و به مادهٔ ژلاتینی متصل هستند ولی اغلب آن‌ها مژک ندارند و با توجه به شکل کتاب، این یاخته‌ها به جای تماس با پوشش ژلاتینی با مایع درون مجرای نیم‌دایره در تماس هستند.

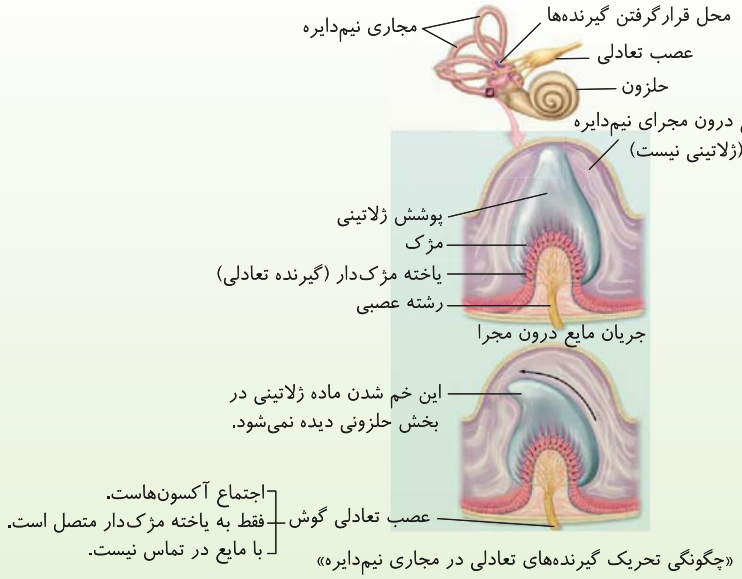
۴ از هر گوش یک عصب خارج می‌شود که این عصب یک شاخه حلزونی شنوایی و یک شاخه دهلیزی تعادلی دارد.

۵ در بخش حلزونی گوش، مادهٔ ژلاتینی روی یاخته‌های مژک‌دار و غیرمژک‌دار قرار گرفته است ولی در بخش دهلیزی یا تعادلی، مادهٔ ژلاتینی فقط روی یاخته‌های مژک‌دار قرار گرفته است. از طرفی بسیار دقت کنید که مژک یاخته‌های گیرنده در بخش حلزونی به پوشش ژلاتینی متصل است ولی در بخش تعادلی، مستقیماً درون مادهٔ ژلاتینی قرار دارد.

۶ مادهٔ ژلاتینی قسمت دهلیزی گوش برخلاف مادهٔ ژلاتینی بخش حلزونی دارای حرکت و خمش لازم برای تحریک مژک‌ها می‌باشد. در بخش حلزونی، پوشش حاوی مادهٔ ژلاتینی به لرزه درمی‌آید ولی خم نمی‌شود.

در بخش حلزونی: لرزش مایع حلزونی ← خمش مژک‌ها

در بخش دهلیزی: حرکت مایع مجرای نیم‌دایره ← خم کردن مادهٔ ژلاتینی به یک طرف ← خمش مژک‌ها



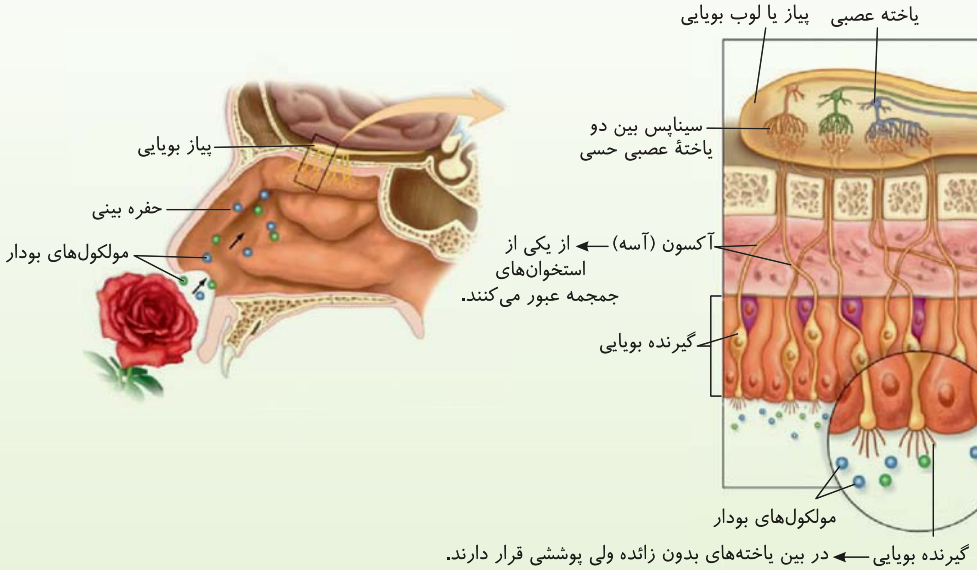
«چگونگی تحریک گیرنده‌های تعادلی در مجاری نیم‌دایره»

حس بویایی

گیرنده‌های بویایی نوعی **یاختهٔ عصبی** حسی در **سقف حفره بینی** هستند که دندریت‌های آویزان آن‌ها به صورت **زائده‌دار** از استخوان بینی به سمت پایین در **مخاط بینی** خارج شده‌اند. این گیرنده‌ها همان دندریت‌ها و زائدهٔ آن‌ها هستند که در برابر **محرک‌های شیمیایی** مثل مولکول‌های **بودار هوای تنفسی** که در **مخاط بینی** حل شده‌اند تحریک می‌شوند. این دندریت‌ها پیام عصبی ایجاد می‌کنند و با هدایت خود سبب می‌شوند، آکسون‌های آن‌ها با عبور از استخوان جمجمه، پیام‌های بویایی را به پیاز بویایی (*لوب بویایی*) متصل به بخش جلویی سامانهٔ لیمبیک ببرند. در پیاز بویایی اولین سیناپس انجام شده و سرانجام این پیام‌های تقویت شده به قشر مخ برای تشخیص بوی مواد شیمیایی می‌روند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ بویایی تنها حسی است که پیام‌های آن به **تالاموس** نمی‌رود و در تالاموس پردازش اولیه و تقویت نمی‌شود بلکه پیام آن‌ها در لوب (*پیاز*) بویایی پردازش اولیه می‌یابد. پس آسیب در تالاموس برخلاف آسیب در پیاز بویایی یا همان بخش متصل به جلوی سامانهٔ لیمبیک، سبب اختلال در بویایی نمی‌شود.



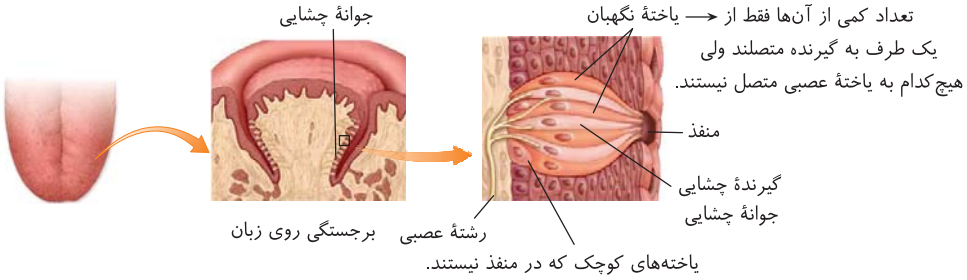
«گیرنده‌های بویایی»

۲ دندریت، جسم یاخته‌ای و ابتدای آکسون‌های گیرنده بویایی در بین یاخته‌های پوششی سقف حفره بینی قرار دارند و ادامهٔ آکسون آن‌ها از استخوان جمجمه عبور کرده تا به پیاز بویایی برسند. دقت کنید که یاخته‌های پوششی اطراف گیرنده‌ها (*که تعداد بیشتری هم دارند*)، ماهیت یاختهٔ عصبی ندارند و با مولکول‌های بو تحریک نمی‌شوند.

۳ مرکز پردازش نهایی حس بویایی در جلوی نیمکره‌های مخ در بخش گیجگاهی قرار دارد (*از علوم هشتم*).

حس چشایی

گیرنده‌های چشایی همانند بویایی از نوع **شیمیایی** می‌باشند. ولی یاخته‌های **غیرعصبی** هستند که در **جوانه‌های چشایی در دهان و برجستگی‌های زبان** قرار دارند. هر جوانه چشایی تعدادی گیرنده چشایی متصل به دندریت حسی و تعدادی یاخته نگهبان دارد. ذرات غذا که دمای مناسبی داشته باشند و در بزاق حل شده باشند از راه **منافذ جوانه چشایی** به یاخته‌های گیرنده چشایی برخورد کرده و با تحریک آن یاخته‌های غیرعصبی، سبب **ایجاد پیام عصبی** می‌شوند. یاخته‌های گیرنده (*غیرعصبی*) پیام عصبی ایجاد کرده و آن را به یاخته‌های عصبی حسی منتقل می‌کنند تا از طریق عصب چشایی پس از عبور از تالاموس پردازش اولیه و تقویت شوند و سپس به قشر مخ برای تشخیص مزه مورد نظر بروند.



«گیرنده‌های چشایی زبان»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در جوانهٔ چشایی، یاخته‌های گیرنده برخلاف نگهبان‌ها به دندریت متصل می‌باشند.
۲) حس **بویایی** در **درک مزه غذا** تأثیر دارد. به همین دلیل است که وقتی سرماخوردگی و گرفتگی بینی داریم مزه غذاها را **به درستی** تشخیص نمی‌دهیم.
۳) در هر جوانه تعدادی یاختهٔ کوچک وجود دارد که در منفذ قرار ندارند ولی همانند سایر یاخته‌های پوششی به غشای پایه متصل‌اند.
۴) انتهای یاخته‌های استوانه‌ای گیرندهٔ موجود در جوانهٔ چشایی به منفذ ورود مزه غذا متصل می‌باشند.
۵) انسان قادر است پنج مزه **اصلی** شیرینی، شوری، ترشی، تلخی و مزه اومامی (*لذیذ*) را احساس کند. اومامی کلمه‌ای ژاپنی به معنای لذیذ است که برای وصف کردن یک مزه لذیذ متفاوت با چهار مزه دیگر به کار می‌بریم (*مانند عصاره گوشت*). (*غذاهای دارای آمینواسید گلوتامات اغلب مزه لذیذ اومامی دارند.*)

پردازش نهایی اطلاعات حسی در مغز

شاید سؤالی به ذهنتان آمده باشد که همواره ما می‌گوییم فلان حس بینایی یا چشایی، پیام عصبی خود را به مغز می‌دهد. حالا مغز از کجا می‌فهمد که این پیام عصبی بینایی که **ماهیت یکسانی** با پیام عصبی چشایی دارد با هم چه تفاوتی دارند که یکی را می‌بینید و یکی را می‌چشید؟
پاسخ این است که هر بخش از مغز به‌طور ویژه پیام حسی را از یک **حس خاص** دریافت می‌کند، پس گیرنده‌های هر بخش بدن، پیام‌های حسی را به **بخش ویژه‌ای در مغز** می‌فرستند که در آنجا مخصوص بینایی، چشایی، بویایی، شنوایی، تعادل یا پیکری می‌باشد و آن حس را در قشر خاکستری خود تشخیص می‌دهد. مثلاً پردازش نهایی اطلاعات بینایی در لوب پس‌سری و بر اساس کتاب هشتم شنوایی در لوب گیجگاهی قشر مخ می‌باشد.

یادآوری چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) مغز **یک شیار** بین دو نیمکره دارد که توسط آن به دو نیمکرهٔ چپ و راست تقسیم می‌شود ولی در هر نیمکره **شیارهای عمیق** وجود دارد که سبب ایجاد چهار بخش یا چهار لوب پس‌سری، گیجگاهی، آهیانه و پیشانی در هر نیمکره می‌شود. (*مثلاً یک شیار عمیق، دو لوب پیشانی و آهیانه را از هم جدا می‌کند.*)



«لوب‌های مخ از بالا»



«لوب‌های مخ از نیمرخ»

۲) در هر نیمکره سه شیار عمیق وجود دارد:
۱) برای جدا کردن لوب پیشانی از آهیانه
۲) برای جدا کردن لوب آهیانه از گیجگاهی
۳) برای جدا کردن لوب پس‌سری از آهیانه و گیجگاهی
۳) لوب پیشانی بزرگ‌ترین بخش هر نیمکره می‌باشد که همانند لوب پس‌سری به لوب‌های آهیانه و گیجگاهی متصل می‌باشد ولی دو لوب آهیانه و گیجگاهی هرکدام به سه لوب هر نیمکره متصل می‌باشند.
۴) مخچه در پشت و پایین مغز به لوب‌های پس‌سری و گیجگاهی متصل می‌باشد.
۵) دقت کنید که هر نیمکرهٔ مخ از چهار لوب تشکیل شده است ولی لوب بویایی جزئی از لوب‌های مخ نمی‌باشد ولی جزء لوب‌های مغزی تقسیم‌بندی می‌شود.
۶) اگر لوب‌های مخ را از بالا نگاه کنیم، مخچه و لوب‌های گیجگاهی دیده نمی‌شوند ولی در نمای نیم‌رخ، شیارهای اصلی بین دو نیمکره مشاهده نمی‌شوند.

درسنامه

گفتار ۳ گیرنده‌های حسی جانوران

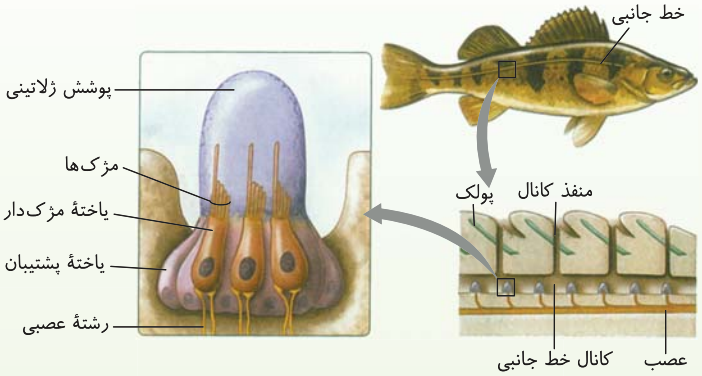
انسـان قادر به دریافت و درک هر محرک موجود در محیط **نمی‌باشـد**. مثلاً به غیر از پرتوهای مرئی نور، نمی‌تواند پرتوهای دیگر مانند فرابنفش و فروسـرخ را برای بینایی دریافت کند چون گیرندهٔ ویژه آن‌ها را ندارد و باید به کمک **دسـتگاه‌های خاصی** آن‌ها را دریافت کند. **برخی جانوران** در بدن خود **گیرنده‌های ویژه‌ای** برای دریافت این محرک‌ها دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها و سایر گیرنده‌های حسی در جانوران پست‌تر از انسان می‌پردازیم.

گیرنده‌های مکانیکی خط جانبی ماهی

ماهی‌ها در **زیر پوست** دو سوی جانبی بدن خود ساختاری **کانال مانند** به نام خط جانبی دارند. این کانال‌ها توسط **سوراخ‌هایی** با محیط بیرون در ارتباط می‌باشند. در هر کانال ساختارهایی مجزا وجود دارند که هر ساختار شامل **یاخته‌های مژک‌دار و بدون مژکی می‌باشد که روی آن‌ها مادهٔ ژلاتینی** وجود دارد. وقتی آب موجود در کانال در اثر حرکت اجسام و جانوران (*تکان یا تکانِ آب*) یا بازتاب آبِ برخورد کرده به اجسام ساکن به ارتعاش درمی‌آید، ارتعاش آب از راه منافذ کانال‌ها که در بین پولک‌ها قرار دارند، سـبب حرکت مادهٔ ژلاتینی شـده و به دنبال آن، تحریک یاخته‌های مژک‌دار صورت می‌گیرد. این یاخته‌ها گیرنده‌های مکانیکی حاوی مژک‌هایی با طول متفاوت در مادهٔ ژلاتینی می‌باشـند که از طرف دیگر خود به تعدادی رشـتهٔ عصبی متصلند. یاخته‌های مژک‌دار پیام عصبی ایجاد کرده و آن را توسط یاخته‌های عصبی متصل به خود از راه مستقیم یا طناب عصبی پشتی، به سر جانور برای پردازش منتقل می‌کنند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) گیرنده خط جانبی ماهی همانند گیرنده شنوایی و تعادلی گوش انسان یاختهٔ مژک‌دار، مادهٔ ژلاتینی و گیرنده‌هایی با ماهیت مکانیکی دارد.



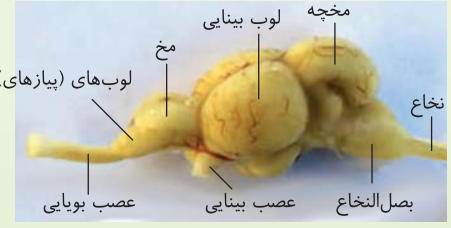
«ساختار خط جانبی در ماهی»

۲) یک عصب حاصل از یک کانال زیرپوسـتی ماهی، از رشـته‌های چند منفذ مجاور ایجاد می‌شـود. لطفاً دقت کنید که هم یاختهٔ مژک‌دار و هم غیرمژک‌دار با مادهٔ ژلاتینی در تماس هستند ولی دندریت‌ها فقط به یاخته‌های مژک‌دار (*گیرنده‌ها*) متصلند.

۳) در کنار یاخته‌های مژک‌دار خط جانبی ماهی، **تعداد بیشـتری** یاخته‌های پشـتیبان بدون مژک نیز وجود دارند که همانند یاخته مژک‌دار با مادهٔ ژلاتینی در تماس می‌باشـند ولی دندریت حسـی فقط به یاخته مژک‌دار متصل است. از طرفی دقت کنید که ماهی برخلاف پلاناریا، فاقد طناب عصبی جانبی می‌باشد. لطفاً کانال یا خط جانبی را با طناب عصبی اشتباه نگیرید. ماهی مانند هر مهره‌داری حاوی **یک طناب عصبی پشتی** (*نخاع*) می‌باشد.

۴) حرکت آبِ اطراف ماهی ← حرکت آب موجود در کانال زیر پوست ماهی می‌شود. ← سبب حرکت ماده ژلاتینی می‌شود. ← سبب تحریک یاخته مژک‌دار متصل به ماده ژلاتینی می‌شود. ← ایجاد پیام عصبی

۵) در شـکل مقابـل مغز ماهی را مشـاهده می‌کنید که لوب بویایی این جانور نسـبت به کل مغز، بزرگ‌تر از لوب‌های (*پیازهای*) بویایی انسان می‌باشد. این لوب‌ها در جلوی سر برای دریافت پیام‌های عصبی از گیرنده‌های بویایی وجود دارند. با توجه به شـکل، عصب بویایی از جلوترین بخش به مغز جانور وارد می‌شود.



۶) بصل‌النخاع و مخچه در سطح عقبی لوب بینایی ماهی قرار دارند ولی مخ و لوب بویایی در جلوی لوب بینایی می‌باشند (*در حقیقت مخ ماهی بین لوب بینایی و لوب‌های بویایی قرار گرفته است*).

۷) در سطح پشتی مغز ماهی، لوب بینایی بزرگ وجود دارد که این لوب بین مخچه و مخ قرار گرفته است. در زیر لوب بینایی، عصب بینایی به آن متصل است.

۸) عصـب بوییـی از سـطح جلوی مغز سـبب تحریک لوب بویایی جلوی مغز می‌شـود ولی عصب بینایی از بخش زیرین مغز وارد شـده و به لـوب بینایی یا همان پس‌سری می‌رود.

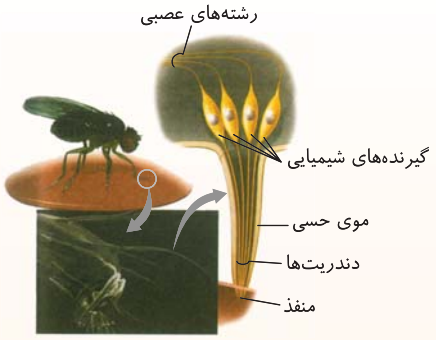
گیرنده‌های شیمیایی در پای مگس

روی پاهای مگس **موهای حسی** وجود دارد که حاوی دندریت تعدادی یاختهٔ عصبی به عنوان **گیرنده‌های شیمیایی** برای تشخیص مزه‌ها می‌باشند. جانور قبل از خوردن یک ماده غذایی، ابتدا به کمک این گیرنده‌ها انواع مولکول‌ها را تشخیص داده و در مغز مزهٔ آن را درک می‌کند تا به خوردن آن بپردازد.

نکته درون موی حسی پای مگس تعداد زیادی دندریت گیرندهٔ شیمیایی وجود دارد ولی جسم‌های یاخته‌ای و آکسون‌های آن‌ها در خارج موی حسی وجود دارند.

نکته هر پای مگس تعداد زیادی موی حسی و درون هر موی حسی تعدادی گیرنده شیمیایی از جنس یاخته عصبی وجود دارد.

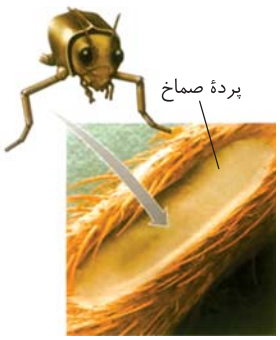
نکته دقت داشته باشید که مگس، از حشرات با طناب عصبی **شکمی** می‌باشد که در هر بند بدن آن یک گرهٔ عصبی در طناب آن وجود دارد. در شکل مقابل اجتماع جسم یاخته‌ای گیرنده‌های شیمیایی یک گرهٔ عصبی به حساب نمی‌آید و آن را با گرهٔ عصبی موجود در طناب عصبی جانور اشتباه نگیرید.



«گیرندهٔ شیمیایی در مگس»

گیرنده‌های مکانیکی صدا در پا (جیرجیرک)

روی **پاهای جلویی** جیرجیرک **یک محفظه هوا** وجود دارد که **پردهٔ صماخ** دارای گیرنده‌های **مکانیکی** جانور روی آن کشیده شده است. امواج صوتی سبب لرزش این پرده می‌شوند. پس از لرزش پردهٔ صماخ، گیرنده‌های مکانیکی پشت پرده نیز تحریک شده و پیام را از راه طناب عصبی شکمی به مغز جانور می‌دهد. حتماً به یاد دارید که در حشرات مغز از چند گرهٔ به هم جوش‌خورده ولی طناب عصبی شکمی دارای تعدادی گرهٔ مجزا می‌باشد.



«گیرندهٔ امواج صوتی در جیرجیرک»

نکته

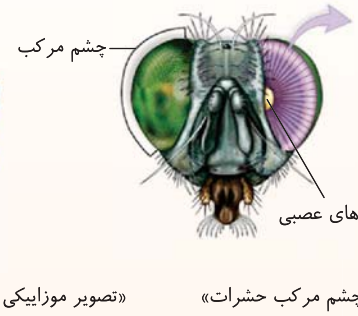
پردهٔ صماخ جیرجیرک
- **همانند** پردهٔ صماخ انسان
  - در پشت آن محفظهٔ هوا وجود دارد.
  - سبب تحریک گیرندهٔ مکانیکی می‌شود.
  - با صدا به لرزش درمی‌آید.
- **برخلاف** پردهٔ صماخ انسان ← به یاختهٔ گیرندهٔ شنوایی متصل است.

گیرنده‌های نوری در چشم مرکب حشرات

حشرات دارای چشم مرکب می‌باشند. در این چشم واحدهای بینایی زیادی وجود دارد که هر واحد بینایی **یک قرنیه**، **یک عدسی و تعدادی گیرنده نوری** مجزا دارد. هر واحد بینایی **تصویر کوچکی** از جسم و میدان بینایی دیده شده را ایجاد می‌کند. چون تصویر یک جسم توسط واحدهای بینایی متعددی تشکیل شده است دستگاه عصبی جانور که حاوی مغز از جوش خوردن چند گره می‌باشد، این اطلاعات را یکپارچه کرده و تصویر موزاییکی برای جانور تشکیل می‌دهد.

نکته در هر واحد بینایی حشرات، رشته‌های عصبی به یاخته‌های گیرنده نوری متصل می‌باشند. در این واحدها قرنیه و عدسی به هم متصلند و زلالیه و زجاجیه وجود ندارد.


«تصویر موزاییکی در مقایسه با تصویری که چشم انسان می‌بیند»



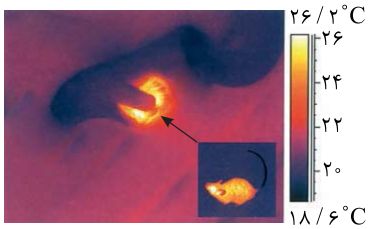
«چشم مرکب حشرات»



نکات گیرنده پرتوهای فرابنفش و فروسرخ

۱) چشم مرکب برخی حشرات گیرنده‌هایی دارند که قادر است پرتوهای فرابنفش را نیز دریافت کند و توسط مغز جانور آن تصویر پردازش می‌شود مثلاً برخی حشرات مانند زنبورها قادرند با تشخیص پرتوهای فرابنفش، گرده‌افشانی گل‌ها را انجام دهند.

۲) برخی مارها همانند **مار زنگی** در **جلوی سر و زیر هر چشم** خود سوراخی حاوی گیرنده‌های **پرتو فروسرخ** دارند. این گیرنده‌ها پرتوهای فروسرخ **تابیده شده** (نه *بازتابیده شده*!) از بدن شکار خود را دریافت می‌کنند و محل شکار را به خوبی برای صید کردن آن تشخیص می‌دهند. این گیرنده‌ها نیز در مار زنگی گیرنده **دمایی** می‌باشند که به بینایی جانور کمک می‌کنند.



«تصویر مار در حال شکار که با دوربین حساس به پرتوهای فروسرخ گرفته شده است»



«محل گیرندهٔ فروسرخ در مارزنگی»

فصل سوم
دستگاه حرکتی

درسنامه

در این فصل می‌خواهیم به بررسی اجزای اندام‌های حرکتی و ساختار آن‌ها به همراه روش‌های محافظت از آن‌ها و همچنین آسیب‌های احتمالی آن‌ها بپردازیم.

با توجه به اینکه تصور زندگی کردن بدون استفاده از دست‌ها و پاها برای همه ما بسیار سخت می‌باشد، مهندسان و محققین در سال‌های اخیر با مطالعه دقیق ساختار ماهیچه‌ها، مفاصل و استخوان‌ها، به همراه **پیشرفت در علوم مربوطه**، توانسته‌اند **اندام‌های پیچیده مصنوعی** را جایگزین بخش‌های آسیب‌دیده یا ناقص کنند. برخی از این ساختارهای مصنوعی حتی کارایی بالاتری از اعضای طبیعی دارند و بدین دلیل استفاده از آن‌ها در مسابقات مهمی از جمله پاراالمپیک با قوانین سخت‌گیرانه‌ای همراه است چون باعث غلبه بر افرادی با اندام عادی نیز شده است.



«فردی که با پای مصنوعی در المپیک با افراد سالم مسابقه داد.»

گفتار ۱ استخوان‌ها و اسکلت

یادآوری

از **علوم هشتم** به یاد دارید که برای حرکت بدن به **دستگاه عصبی** (برای ایجاد پیام حرکتی)، **ماهیچه‌ها و استخوان** نیازمندیم که **مجموعه ماهیچه‌ها و اسکلت بدن دستگاه حرکتی بدن را ایجاد می‌کنند.**

اسکلت بدن بخش زنده‌ای از بافت **پیوندی** شامل **استخوان‌ها، غضروف‌ها و مفاصل اتصالی و ارتباطی بین آن‌ها** می‌باشد. به یاد دارید که اغلب استخوان‌های بدن، ابتدا به صورت **غضروفی** ساخته شده‌اند و سپس همراه با رشد، جذب مواد معدنی مثل کلسیم و فسفر را انجام داده‌اند و به بافت پیوندی سخت استخوانی تبدیل شده‌اند. استخوان‌ها سبب حفاظت از برخی اندام‌ها، حرکت به کمک ماهیچه‌ها و فرم‌دهی به بدن و ذخیره مواد معدنی به همراه **ساخت یاخته‌های خونی در مغز قرمز** خود می‌شوند.

نکته **ران** درازترین استخوان بدن و **استخوانچه‌های** گوش میانی (چکش، سندانی و رکابی)، **کوچک‌ترین** استخوان‌های بدن هستند.

نکته از کتاب سال دهم به یاد دارید که استخوان، غضروف و هر نوع بافت پیوندی دارای نوعی ماده زمینه‌ای است که این ماده زمینه‌ای را یاخته‌های همان بافت پیوندی می‌سازند. این ماده زمینه‌ای در بافت استخوانی پر از **مواد آلی پروتئینی و مواد معدنی پرکلسیم** می‌باشد.

اسکلت بدن

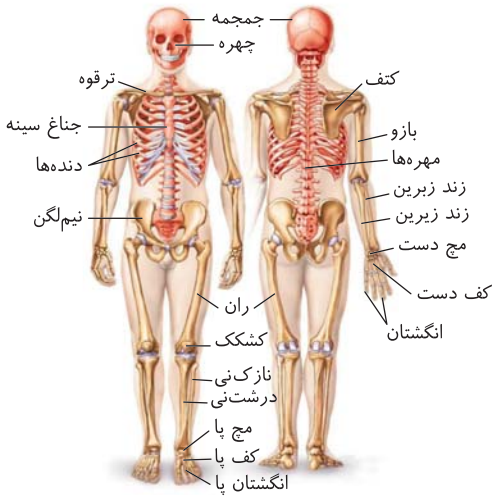
اسکلت بدن انسان شامل **استخوان‌ها، غضروف‌ها و مفاصل ارتباطی** آن‌ها می‌باشد. پس بافت **استخوانی** که نوعی بافت **پیوندی** با **ماده زمینه‌ای سخت پرتراکم** می‌باشد، بخشی از اسکلت انسان را تشکیل می‌دهد.

انواع اسکلت انسان

۱) **محوری** (مرکزی): این اسکلت محور بدن را تشکیل می‌دهد که در استخوان‌ها و مفاصل موجود در **سر، ستون مهره‌ها و قفسه سینه** دیده می‌شود. این اسکلت از بخش‌هایی مثل مغز، نخاع، قلب و شش‌ها محافظت می‌کند و بخش‌هایی از آن در جویدن، شنیدن، صحبت کردن و **مقداری نیز در حرکات بدن** مؤثرند.

۲) **جانبی**: این اسکلت شامل استخوان‌ها، مفاصل و غضروف‌های موجود در اندام‌های حرکتی یعنی در **دست‌ها و پاها** می‌باشد که به نسبت اسکلت محوری، **نقش بیشتری در حرکات بدن** دارد.

نکته: استخوان‌های موجود در شانه یعنی کتف و ترقوه و استخوان‌های لگن نیز مربوط به اسکلت **جانبی** می‌باشند.



«اسکلت انسان»

اعمال استخوان‌ها

در جدول زیر به‌طور کلی اعمال اسـتخوان‌ها در اسـکلت بدن مشـخص شده است که هم در حفاظت و پشـتیبانی از اندام‌ها و شکل‌دهی به بدن نقش دارد، هم به کمک انقباض ماهیچه‌های اسکلتی متصل به آن‌ها در حرکت بدن و نیز در تولید یاخته‌های خونی توسط مغز قرمز استخوان و ذخیره مواد معدنی و حتی در اعمال حسی مثل شنوایی و اعمال گفتاری و جویدن نقش دارند.

وظیفه	توضیح
پشتیبانی	استخوان‌ها شکل بدن را تعیین می‌کنند و نیز چارچوبی را ایجاد می‌کنند تا ساختارها بر روی آن مستقر شوند و به علت جاذبه زمین بر روی هم جمع نشوند.
حرکت	اتصال ماهیچه‌های **اسکلتی** به استخوان‌ها و انقباض آن‌ها باعث انتقال نیروی ماهیچه به استخوان و حرکت آن می‌شود.
حفاظت اندام‌های درونی	استخوان‌های موجود در اسکلت محوری، بخش‌های حساسی مانند نخاع، قلب، مغز، شش‌ها را احاطه می‌کند.
تولید یاخته‌های خونی	**بسیاری** از استخوان‌ها دارای مغز قرمز هستند که این بافت یاخته‌های خونی را تولید می‌کنند.
ذخیره مواد معدنی	استخوان‌ها محل ذخیره مواد معدنی مانند فسفات و کلسیم هستند.
کمک به شنیدن، تکلم و اعمال دیگر	استخوان‌های کوچک گوش در شنیدن و استخوان‌های آرواره در تکلم و جویدن نقش دارند.

انواع استخوان‌ها و ساختار آن‌ها

در انسان و سایر مهره‌داران، اشکال متفاوتی از استخوان دراز، کوتاه، پهن و نامنظم و دو نوع بافت استخوانی فشرده (*متراکم*) و اسفنجی (*حفره‌دار*) وجود دارد.

انواع استخوان‌ها از نظر شکل

دراز
مانند استخوان‌های ران، بازو، زند زیرین و زبرین، درشت‌نی و نازک‌نی



«استخوان ران»

کوتاه
مانند استخوان‌های مچ



«استخوان‌های مچ دست»

پهن
مانند استخوان‌های جمجمه



«استخوان جمجمه»

نامنظم
مانند استخوان‌های ستون مهره‌ها



«استخوان مهره»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ اسـتخوان‌های بدن، اندازه و نظم متفاوتی دارند، مثلاً سـتون مهره‌ها اسـتخوان‌های نامنظمی دارند یا اسـتخوان‌های گوش میانی **بسیار کوچک** ولی استخوان لگن **بزرگ پهن** می‌باشد.

۲ استخوانچه‌های کوچک گوش میانی جزء اسکلت **محوری** به حساب می‌آیند.

۳ استخوان بزرگ با دراز متفاوت است مثل استخوان لگن که از نوع پهن ولی بزرگ می‌باشد ولی استخوان دراز طول زیادی دارد (*مثل ران*).

۴ **انواع ساختار بافتی استخوان‌ها**
- **فشرده** (*متراکم*): بافتی دارای واحدهایی به نام سامانهٔ هاورس در تنهٔ استخوان دراز می‌باشد که از استوانه‌هایی هم‌مرکز، با تیغه‌های اسـتخوانی تشـکیل شده اسـت. هر اسـتوانه حاوی یاخته‌های اسـتخوانی و فضای بین‌یاخته‌ای شامل مادهٔ زمینه‌ای (*مواد معدنی و پروتئین*) و کلاژن می‌باشد که کلاً در اطراف یک مجرا قرار گرفته‌اند.
- **اسـفنجی** (*حفره‌ای*): بافتی دارای یاخته‌هایی با قرارگیری به صورت میله‌ها و صفحات اسـتخوانی دارای حفره‌هایی با مغز استخوان می‌باشد.

۵ هر اسـتخوان از **دو نوع** بافت اسـتخوانی فشـرده (*متراکم*) و اسـفنجی (*نرم*) با **میزان مختلف و محل قرارگیری مختلف** تشـکیل شـده اسـت که در ادامه به بررسی بافت‌های استخوانی در هر نوع استخوان می‌پردازیم.

۶ دقت کنید که کلاژن قسمتی از مادهٔ زمینه‌ای بافت استخوانی نمی‌باشد.

بررسی ساختار استخوان‌های دراز (ران)

هر استخوان دراز از دو سر و یک طول یا تنه تشکیل شده است. در هر قسمت **مقدار و نوع** بافت استخوانی متفاوتی وجود دارد.

بررسی ساختار تنه (طول) استخوان دراز

● الف) خارجی‌ترین قسمت تنه

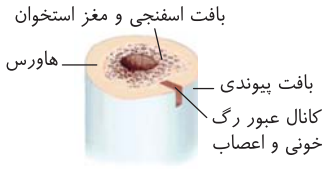
خارج تنه استخوان دراز را بافتی از جنس **پیوندی** احاطه کرده است که **رگ‌ها و اعصاب** توسط منافذ و سوراخ‌های موجود در این سطح به درون استخوان غذارسانی می‌کنند و یا با بیرون استخوان توسط مجاری منتهی به این منافذ ارتباط برقرار می‌کنند.

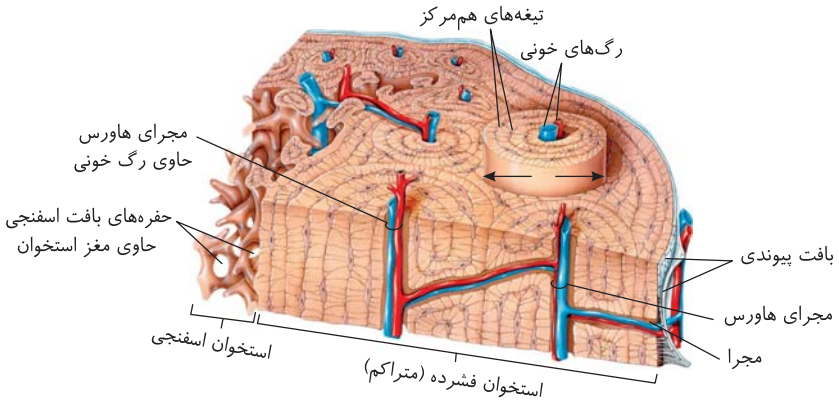
● ب) لایه میانی (اصلی) تنه

بافت استخوانی فشرده متراکم به صورت واحدهایی به نام سامانه یا سیستم هاورس این قسمت را تشکیل داده‌اند. این بخش قطورترین بخش تنهٔ استخوان دراز است که در **هر سامانهٔ هاورس** یاخته‌های استخوانی **منظم** در کنار هم سبب تشکیل تیغه‌هایی به صورت **استوانه‌ها یا حلقه‌های هم‌مرکزی** شده‌اند. بین این یاخته‌ها را فضای بین‌یاخته‌ای، حاوی مادهٔ زمینه‌ای و رشته‌های کلاژن پر کرده است. این مادهٔ زمینه‌ای از پروتئین‌ها به همراه مواد معدنی مثل فسفات و کلسیم تشکیل شده‌اند. در وسط هر سامانهٔ هاورس یک مجرای هاورس وجود دارد که پر از **اعصاب و رگ‌های خونی و لنفی** می‌باشد. **این اعصاب و رگ‌ها ارتباط بافت زنده را با بیرون برقرار می‌کنند** (*دقت کنید که فضای بین‌یاخته‌ای این قسمت حاوی رشته‌های پروتئینی کلاژن و مادهٔ زمینه‌ای از مواد پروتئینی و معدنی ایجاد شده است.*)

● ج) درونی‌ترین لایه

داخلی‌ترین قسمت تنه استخوان دراز از بافت **اسفنجی نرم** همراه با مغز استخوان تشکیل شده است دقت کنید که مغز استخوان درون حفره‌های بافت اسفنجی و در حقیقت در مجرای مرکزی وسط تنه استخوان دراز قرار دارد. **اطراف این بافت اسفنجی را سیستم‌ها یا سامانه‌های هاورس پر کرده‌اند** و اطراف میله‌ها و صفحات این بافت را مغز استخوان پر کرده است.





«ساختار بخشی از تنهٔ یک استخوان دراز و اجزای آن»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در مجرای **مرکزی** تنه استخوان‌های دراز، مغز قرمز استخوان به تدریج در دوران خردسالی به مغز زرد استخوان تبدیل می‌شود که بیشتر از چربی (*نوعی بافت پیوندی*) تشکیل شده است در این زمان قادر به ساخت یاخته خونی نمی‌باشد ولی در صورت **کم‌خونی‌های شدید** مثل آسیب مخاط معده و کمبود فاکتور داخلی و... مغز زرد می‌تواند دوباره به مغز قرمز تبدیل شود و گویچه‌سازی کند.

۲) هر یاخته بافت متراکم استخوان، یک هسته دارد و دارای انشعاباتی به صورت کانال (*بخشی از یاخته و دارای سیتوپلاسم*) می‌باشد که مادهٔ زمینه‌ای در اطراف آن‌ها تراکم و فشردگی ایجاد کرده است. این یاخته‌ها در سامانهٔ هاورس روی تیغه‌های استوانه‌ای متحدالمرکزی قرار گرفته‌اند ولی در بافت اسفنجی این یاخته‌ها به صورت نامنظم قرار گرفته‌اند.



۳) هر سامانهٔ هاورس، تعدادی حلقه یا استوانه متحدالمرکز دارد ولی فقط یک کانال **مرکزی** یا مجرای هاورس برای قرارگیری رگ‌های خونی و اعصاب دارد. (*دقت کنید که منافذ عرضی نیز در کانال‌ها برای ورود رگ‌ها وجود دارند.*)

۴) هر دو نوع ساختار استخوانی، دارای رگ‌های خونی می‌باشند.

۵) با توجه به شکل، انشعابات رگ‌های خونی بین مجرای دو سامانهٔ هاورس مجاور، با هم در ارتباط خونی می‌باشند.

بررسی ساختار دو انتهای برآمدهٔ استخوان‌های دراز

دو سر استخوان دراز به صورت دو انتهای برآمده می‌باشند که از خارج غضروفی در سطح مفصلی خود دارد. قسمت **اعظم** درون سر استخوان دراز توسط بافت **اسفنجی** پر شده است. در بافت استخوانی اسفنجی، تیغه‌هایی به صورت میله‌ها و صفحه‌های استخوانی **نامنظم** قرار دارند. این صفحات و میله‌ها از کلاژن و کلسیم تشکیل شده‌اند و بین آن‌ها **تعدادی فضاهای** (حفرات) چندوجهی نامنظم ایجاد شده است. در این فضاها، رگ‌ها و **مغز استخوان** به صورت یک **بافت پیوندی نرم** وجود دارد. مغز استخوان در هر قسمتی که از نوع **مغز قرمز** باشد، محل **تشکیل یاخته‌های خونی** می‌باشد.

نکته
در بالغین حفره بین تیغه‌های اسفنجی در تنه استخوان، حاوی مغز زرد پر از بافت چربی در مجرای مرکزی می‌باشد.

تشکیل و تخریب استخوان‌ها

در دوران **جنینی**، استخوان‌ها از بافت‌های **نرمی** تشکیل می‌شوند و اغلب آن‌ها ابتدا به صورت غضروفی نرم بوده‌اند. **به تدریج** و با افزوده شدن نمک‌های کلسیمی، بافت استخوانی سخت‌تر و محکم‌تر می‌شود. همان‌طور که گفتیم، وظیفه ساخت مادهٔ زمینه‌ای استخوان بر عهده یاخته‌های استخوانی است. این یاخته‌ها **از دوران جنینی تا اواخر سن رشد**، مادهٔ زمینه‌ای از پروتئین و نمک‌ها (کلسیم و فسفر) **ترشح** می‌کنند و سبب افزایش حجم و تراکم توده استخوانی می‌شوند. هر چه سن بالاتر می‌رود، فعالیت یاخته‌های استخوانی نیز **کمتر** می‌شود و به تدریج از ضخامت و تراکم توده استخوانی کاسته می‌شود.

نکته
دقت کنید که تغییرات استخوانی در **تمام مراحل طول عمر** در حال انجام شدن است و تحت تأثیر عواملی این تغییرات بیشتر یا کمتر می‌شود.

عواملی مؤثر در افزایش استحکام استخوان‌ها

۱) عوامل محیطی

در اثر فعالیت‌های بدنی مثل **ورزش و افزایش وزن**، استخوان‌ها نیز **ضخیم و محکم‌تر** می‌شوند ولی اگر از استخوان‌ها **کمتر استفاده کنیم** یا دچار تحرک کم در زندگی شویم، استخوان‌ها و مادهٔ زمینه‌ای آن‌ها ظریف‌تر و شکننده‌تر می‌شوند (مانند استخوان فضانوردان که در محیط بی‌وزنی چگالی استخوان آن‌ها کاهش می‌یابد.)

۲) اثر عوامل هورمونی (با مطالب مرتبط با هورمون‌ها در فصل ۴)

الف) هورمون رشد: از هیپوفیز پیشین ترشح می‌شود و با تأثیر بر استخوان‌ها، سبب رشد قد و بدن می‌شود (در حقیقت تولید یاخته‌های خونی و رسوب کلسیم در استخوان‌ها را بالا می‌برد).

ب) هورمون‌های پاراتیروئیدی: با افزایش تجزیه مادهٔ زمینه‌ای استخوان، سبب کاهش استحکام استخوان و خارج کردن کلسیم آن می‌شود و کلسیم خون را بالا می‌برند. زیادی این هورمون سبب **پوکی استخوان** و **تخریب و کاهش حجم استخوان** می‌شود و استخوان را ضعیف و شکننده می‌کند.

ج) هورمون‌های جنسی و کلسی‌تونین مترشحه از تیروئید: این هورمون‌ها، برعکس هورمون‌های پاراتیروئیدی مانع برداشت کلسیم از مادهٔ زمینه‌ای استخوان شده و سبب افزایش تراکم مادهٔ زمینه‌ای و ضخامت استخوان می‌شوند (در حقیقت کلسیم خون را کم می‌کنند).

نکته
استخوان‌ها در پاسخ به علائم هورمونی مثل کلسی‌تونین و هورمون جنسی ساخته شده و متراکم می‌شوند و در اثر زیادی هورمون‌های پاراتیروئیدی تخریب و کم‌تراکم می‌شوند.

۳) اثر مواد غذایی

ویتامین D، کلسیم و فسفر سبب افزایش استحکام استخوان‌ها می‌شود، پس کمبود ویتامین D (کاهش نور خورشید)، کمبود کلسیم و فسفر در غذا همانند عمل مصرف نوشیدنی‌های **الکلی و دخانیات** سبب **جلوگیری از رسوب کلسیم در استخوان‌ها** شده و در مرد و زن پوکی استخوان ایجاد می‌کند.

نکته
مصرف **نوشابه‌های گازدار** نیز در **کاهش تراکم استخوان** نقش دارد.

نکته
به‌طور معمول توده استخوانی زنان تراکم کمتری از مردان هم‌سن دارد. از سنین ۲۰ تا ۵۰ سالگی کاهش تراکم استخوانی در مردان بیشتر از زنان می‌باشد ولی بعد از سن ۵۰ سالگی و شروع یائسگی زنان کاهش تراکم استخوان در زنان سرعت بیشتری می‌گیرد.



«مقایسهٔ استخوان طبیعی با استخوان دچار پوکی»

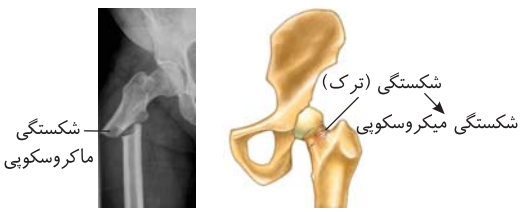
انواع شکستگی استخوان‌های بدن

الف) شکستگی میکروسکوپی

استخوان‌های بدن به‌طور **پیوسته** در اثر **حرکات معمول** بدن دچار شکستگی میکروسکوپی می‌شوند که ما از آن‌ها بی‌خبر هستیم و زود ترمیم می‌شوند.

ب) شکستگی ماکروسکوپی

برخی شکستگی‌ها در اثر **ضربه یا برخورد** ایجاد می‌شوند که در این حالت **یاخته‌های نزدیک** محل شکستگی با تقسیم شدن و ساخت یاخته‌های جدید سبب بهبودی استخوان پس از **چند هفته** می‌شوند.



«شکستگی ناشی از صدمه در سر استخوان ران (راست) و تصویر رادیوگرافی از استخوان شکستهٔ ران (چپ)»

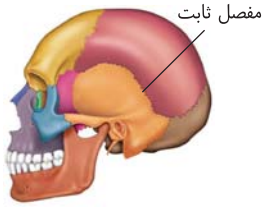
مفصل

مفصل‌ها، محل اتصال استخوان‌ها با هم می‌باشند که به دو نوع ثابت و متحرک تقسیم‌بندی می‌شوند.

انواع مفصل‌ها از نظر حرکت استخوان‌ها

الف) مفصل ثابت

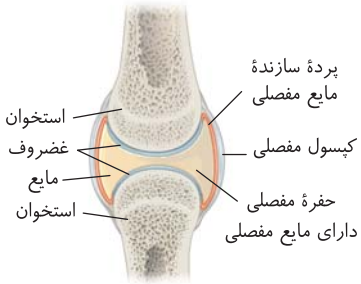
- در این مفصل‌ها دو استخوان در محل اتصال **فاقد هرگونه حرکتی** می‌باشند.
- در این مفاصل غضروف بین استخوان و مایع مفصلی وجود ندارد.
- این مفاصل در استخوان‌های جمجمه که با **لبه‌های دندانه‌دار** در هم فرو رفته‌اند و محکم شده‌اند دیده می‌شوند.



«مفصل ثابت در استخوان‌های جمجمه»

ب) مفصل متحرک

- **بیشتر** مفصل‌ها را شامل می‌شود.
- **سر استخوان**، در محل این مفصل‌ها توسط بافت غضروفی پوشیده شده است (*زانو، انگشتان و ران به نیم‌لگن*).
- استخوان‌ها در **محل مفصل‌ها** توسط یک **کپسول با بافت پیوندی رشته‌ای** احاطه شده‌اند که پر از **مایع مفصلی** است.
- در این مفاصل، **مایع مفصلی و سطح صیقلی غضروف‌ها** به استخوان‌ها تا سالیان متمادی اجازه حرکت می‌دهند و بدون اصطکاک زیاد در کنار هم لیز می‌خورند.



«بخش‌های تشکیل دهنده مفصل»

- مایع مفصلی از پرده‌ای در زیر کپسول مفصلی به فضای بین دو استخوان در مجاور غضروف‌ها ترشح می‌شود. این پرده از دو انتهای خود به غضروف‌های دو استخوان مختلف متصل است.
- در این مفاصل علاوه بر کپسول مفصلی، رباط‌ها و زردپی‌ها نیز در کنار هم ماندن استخوان‌ها مؤثرند.
- مفصل متحرک سه نوع اصلی گوی و کاسه‌ای، لولایی و لغزنده دارد.

نکته
در مفصل‌های متحرک علاوه بر کپسول مفصلی، رباط و زردپی نیز به کنار هم ماندن استخوان‌ها کمک می‌کنند. رباط‌ها و زردپی‌ها هر دو از بافت پیوندی **محکم رشته‌ای** می‌باشند. رباط، دو استخوان را در محل مفصل به هم متصل می‌کند ولی زردپی سبب اتصال ماهیچه اسکلتی به استخوان و انتقال انقباض تارهای آن به استخوان برای حرکت می‌شود (*درون کپسول مفصلی، زردپی و ماهیچهٔ اسکلتی، گیرندهٔ حس پیکری از نوع وضعیتی وجود دارد*).

نکته
غشای مفصلی یا پردهٔ سازنده مایع مفصلی زیر کپسول مفصلی، **تولیدکننده مایع مفصلی** می‌باشد.

نکته
سطح غضروفی سر استخوان‌ها در محل مفصل در اطراف به پردهٔ سازنده مایع مفصلی متصلند.

انواعی مهم از مفصل‌های متحرک

گوی و کاسه‌ای

- در بیشتر جهات حرکت می‌کند.
- در شانه بین بازو و کتف دیده می‌شود.
- در لگن بین ران و نیم‌لگن مشاهده می‌شود.



«ران با لگن»

لولایی

- در دو جهت حرکت می‌کنند.
- آرنج و زانو
  - آرنج: زند زیرین با بازو مفصل می‌شود.
  - زانو: ران با درشت‌نی مفصل می‌شود.



«بازو با زند زیرین»

لغزنده

- حرکت کمی دارد.
- استخوان‌های مچ دست و یا در محل اتصال دنده به ستون مهره‌ها یا بین خود ستون مهره‌ها دیده می‌شود.



نکته
در اثر کارکرد زیاد از مفاصل، ضربات، آسیب و یا برخی بیماری‌های بافتی، ممکن است **بخش صیقلی غضروف‌ها**، تخریب شوند ولی در اغلب موارد بدن دوباره آن‌ها را ترمیم می‌کند. اگر سرعت تخریب آن‌ها از سرعت ترمیم بیشتر باشد، در این صورت می‌تواند سبب ایجاد **بیماری‌های مفصلی** شود.

نکته
نقرس یکی از بیماری‌های مفصلی است که در اثر رسوب اوریک اسید در مفاصل ایجاد می‌شود. در این بیماری، التهاب و درد در محل مفاصل وجود دارد.

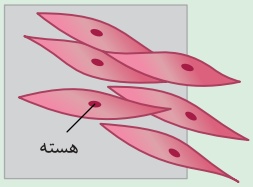
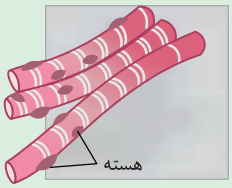
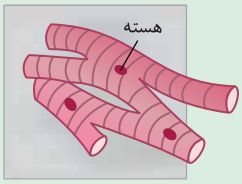
درسنامه

گفتار ۲ ماهیچه و حرکت

یادآوری

در بدن انسان و سایر مهره‌داران، سه نوع ماهیچه اسکلتی (*ارادی* = *مخطط*)، ماهیچه قلبی غیر ارادی و ماهیچه صاف غیر ارادی وجود دارد که بیشترین مقدار وزن بدن را تشکیل می‌دهند. ویژگی‌های آن‌ها را در جدول زیر مشاهده می‌کنید.

مقایسهٔ انواع ماهیچه‌های بدن

ماهیچهٔ صاف	ماهیچهٔ مخطط اسکلتی	ماهیچهٔ قلبی
یاخته رشته‌ای دوکی‌شکل دارد.	یاخته رشته‌ای استوانه‌ای‌شکل دارد.	یاخته منشعب استوانه‌ای با صفحات ارتباطی (*درهم*) بینابینی می‌باشد.
یاختهٔ غیرمخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.
فاقد واحدهای انقباضی منظم می‌باشد.	واحدهای انقباضی منظم کنار هم دارد.	واحدهای انقباضی منظم کنار هم دارد.
یاختهٔ تک‌هسته‌ای دارد.	یاختهٔ چندهسته‌ای دارد.	عموماً تک‌هسته‌ای و برخی دوهسته‌ای دارد.
انقباض غیر ارادی دارد.	انقباض ارادی دارد.	انقباض غیر ارادی دارد.
انقباض کند و طولانی دارد.	انقباض تند و کوتاه دارد.	انقباض تند و کوتاه دارد.
تحت کنترل اعصاب خودمختار است.	تحت کنترل اعصاب پیکری می‌باشد.	انقباض ذاتی دارد ولی با اعصاب خودمختار هم تحریک می‌شود.
 «یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف»	 «یاخته‌های ماهیچه‌ای اسکلتی»	 «یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی»

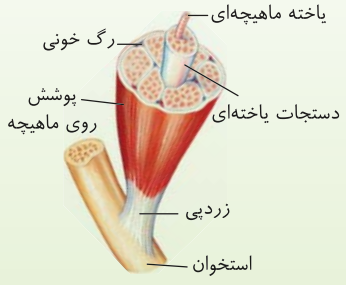
چندنکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ انسان تنها به کمک اسکلت خود که شامل استخوان‌ها، غضروف و مفاصل می‌باشد، قادر به حرکت نیست. حرکت یک اندام در اثر اتصال و همکاری **ماهیچه‌ها و استخوان‌های** آن اندام می‌باشد. در حقیقت ماهیچه‌ها از استخوان به عنوان **تکیه‌گاه** و محل اتصال خود استفاده کرده و نیروی انقباض خود را به استخوان منتقل کرده تا سبب حرکت اندام شوند.

۲ یاخته‌های ماهیچه اسکلتی به صورت دراز و نازک از طول کنار هم قرار گرفته‌اند که چندهسته‌ای می‌باشند. بین این یاخته‌های ماهیچه‌ای و اطراف هر چند یاخته ماهیچه‌ای را یک **بافت پیوندی** پوشانده است که به هرکدام **یک دسته** یاخته ماهیچه‌ای می‌گویند. بین هر دسته با دسته دیگر **رگ خونی** وجود دارد و دور همهٔ دستجات درون یک ماهیچه، **یک پوشش پیوندی** قرار دارد.

۳ مجموعه بافت پیوندی بین رشته‌های ماهیچه‌ای و رشته‌های روی ماهیچه، در دو انتهای ماهیچه ادامه یافته و طناب سفیدی به نام زردپی یا تاندون می‌سازند که **معمولاً** به استخوان متصل می‌شوند.

۴ وقتی همه یاخته‌های ماهیچه با هم منقبض می‌شوند معمولاً ماهیچه کوتاه‌تر و ضخیم‌تر می‌شود. این عمل به کمک نقش انتقال انقباض‌ها توسط زردپی باعث حرکت استخوان می‌شوند.



«ساختار ماهیچه اسکلتی»

ویژگی ماهیچه‌های اسکلتی

در انسان بیش از ۶۰۰ ماهیچه **اسکلتی** وجود دارد که **بسیاری** از حرکات بدن در نتیجهٔ **انقباضات** آن‌هاست. این ماهیچه‌ها همواره فقط در اثر تحریکات و پیام‌های اعصاب حرکتی **پیکری** محیطی به انقباض درمی‌آیند.

نکته رگ‌های خونی غذا دهنده به ماهیچه‌های اسکلتی حاوی ماهیچه **صاف** هستند که توسط فعالیت اعصاب خودمختار سمپاتیک گشاد شده تا خون‌رسانی به ماهیچه‌های اسکلتی و قلبی را در هنگام آماده‌باش زیاد کنند.

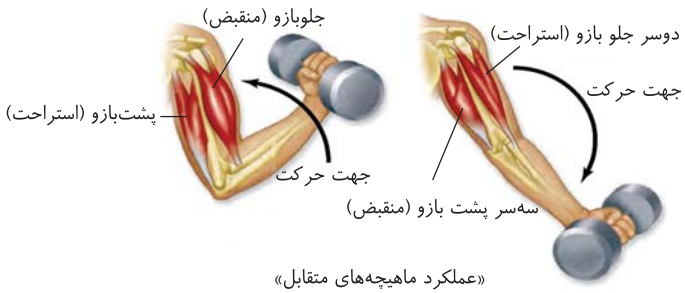
نکته دقت کنید که ماهیچه‌های اسکلتی در اثر **انقباض** خود **فقط** باعث **کشیده شدن** استخوان می‌شوند و به اصطلاح ماهیچه نمی‌تواند با انقباض خود، سبب هل دادن یک استخوان یا اندام شود. به همین دلیل **بسیاری** از ماهیچه‌های اسکلتی به صورت **جفت** سبب حرکت اندام‌های متصل به آن می‌شوند. این جفت ماهیچه‌ها عکس یکدیگر عمل می‌کنند به‌طوری که وقتی یکی منقبض و مشغول کشیدن استخوان است، ماهیچه دیگر در استراحت می‌باشد.



«ماهیچه‌های اسکلتی بدن انسان»

مثال ۱: **ماهیچه دوسر بازو (جلوی بازو) در اثر تحریک شدن با اعصاب پیکری منقبض شده، سبب جلو و بالا رفتن ساعد شده که در این حالت ماهیچه سه‌سر بازو (در عقب بازو) در حال استراحت (پتانسیل آرامش) می‌باشد و برعکس وقتی ساعد به حالت اول برمی‌گردد ماهیچه سه‌سر بازو منقبض و دوسر به استراحت درمی‌آید تا ساعد به سمت پایین بیاید.**

مثال ۲: **ماهیچه چهارسر روی ران با انقباض خود ساق پا را به جلو یا بالا می‌آورد ولی این ماهیچه نمی‌تواند ساق پای خم شده را به پایین هل دهد. برای پایین آمدن ساق پا باید ماهیچه دوسر عقب ران منقبض شود تا پا به سمت پایین بیاید.**



«عملکرد ماهیچه‌های متقابل»

نکته برخی ماهیچه‌های اسکلتی با انقباض خود سبب حرکت استخوان نمی‌شوند. مثلاً اسفنکتر مخرج و ابتدای مری یا ماهیچه‌های ارادی اطراف چشم از نوع ارادی هستند ولی انقباض آن‌ها سبب حرکت استخوان نمی‌شود.

نکته ماهیچه‌های اسکلتی با اعصاب **پیکری** در ارتباط هستند. این اعصاب اغلب پیام ارادی را از قشر مخ به ماهیچه اسکلتی می‌فرستند و ماهیچه به صورت ارادی منقبض می‌شود. در برخی موارد نیز مثلاً در برخی **انعکاس‌ها**، اعصاب پیکری به صورت غیر ارادی سبب انقباض ماهیچه‌های اسکلتی می‌شوند.

نکته ماهیچه‌ها با **انقباض** خود در ایجاد حرارت بدن (*با تولید انرژی*) و حفظ شکل و حالت بدن (*به کمک استخوان*) مؤثر می‌باشند.

وظیفه ماهیچه	توضیح
حرکات ارادی	ماهیچه‌ها با اتصال به استخوان‌ها باعث ایجاد حرکت ارادی می‌شوند.
کنترل دریچه‌های بدن	ماهیچه‌های اسکلتی نوعی کنترل ارادی برای دهان، مخرج و پلک‌ها ایجاد می‌کنند.
حفظ حالت بدن	ماهیچه‌ها با اتصال به استخوان‌ها و انقباض خود باعث اتصال استخوان‌ها به هم و نگهداری بدن به صورت قائم می‌شوند.
ارتباطات	حرکات ماهیچه‌های اسکلتی امکان بیان مطالب با نوشتن، رسم و ایجاد حالات چهره برای نشان دادن احساسات مختلف می‌شوند.
حفظ دمای بدن	فعالیت‌های سوخت‌وساز در یاخته‌های ماهیچه‌ای باعث ایجاد گرمای زیادی می‌شود که می‌تواند در حفظ دمای مناسب بدن اثرگذار باشد.

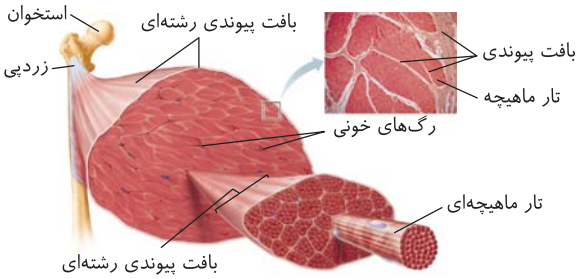
ساختار ماهیچه اسکلتی

همان‌طور که در قسمت یادآوری ذکر کردیم، هر ماهیچه از تعدادی دسته ماهیچه‌ای تشکیل شده است. درون هر دسته ماهیچه‌ای، تعدادی یاخته یا تار ماهیچه‌ای چندهسته‌ای قرار گرفته است که در فاصله بین تارها **بافت پیوندی** و در دور همهٔ تارها نیز یک غلاف از بافت پیوندی رشته‌ای (محکم) وجود دارد. **این غلاف‌های دور هر دسته ماهیچه‌ای به همراه غلاف دور کل ماهیچه، در دو سر ماهیچه به هم می‌پیوندند و زردپی‌ها را ایجاد می‌کنند.** زردپی طناب یا نواری محکم از بافت پیوندی رشته‌ای است که معمولاً یک ماهیچهٔ اسکلتی را به دو استخوان **مختلف** متصل می‌کند. با انقباض **همهٔ** تارهای ماهیچه‌ای، کل ماهیچه به **اندازه کمی کوتاه‌تر** می‌شود ولی همین تغییر کم سبب انتقال **نیروی زیادی** از طریق **زردپی‌ها به دو استخوان مختلف** شده و سبب **جابه‌جایی زیاد** دو استخوان و نزدیک شدن آن‌ها به هم می‌شود.

مثلاً در انقباض ماهیچه دوسر جلوی بازو که **یک زردپی** آن به استخوان **زند زبرین** و **دو** زردپی دیگر آن به **بازو** و **کتف** متصل است، با کوتاه شدن یک سانتی‌متری ماهیچه دوسر بازو، ساعد دست بالا آمده و به بازو متصل می‌شود.

نکته

در هر ماهیچه، **رگ‌های خونی** در بین **دسته‌های ماهیچه‌ای** وجود دارند و بین تارهای ماهیچه‌ای نیز بافت پیوندی با یاخته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای وجود دارد.

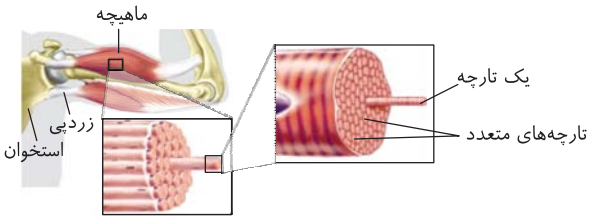


«ساختار ماهیچهٔ اسکلتی»

ساختار تار یا یاخته ماهیچه‌ای ماهیچه اسکلتی

به هر یاخته ماهیچه مخطط (*اسکلتی*)، یک تار ماهیچه‌ای می‌گویند. هر یاختهٔ آن‌ها از به هم پیوستن چند یاختهٔ جنینی حاصل شده است به همین علت یاخته‌های استوانه‌ای چند هسته‌ای می‌باشند و پس از تولد بیشتر با افزایش حجم رشد می‌کنند. در فاصلهٔ بین هر تار با تار کناری، نوعی بافت **پیوندی** وجود دارد.

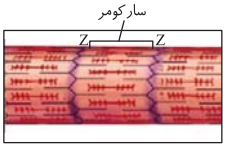
در شکل روبه‌رو یک تار ماهیچه‌ای جدا شده را از درون یک دسته تار ماهیچه‌ای مشاهده می‌کنید.



«یک تار ماهیچه‌ای»

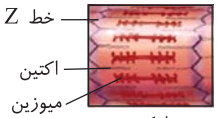
درون هر تار ماهیچه‌ای، تعداد زیادی **تارچه ماهیچه‌ای** وجود دارد که به صورت رشته‌هایی **موازی و طولی** کنار هم **درون یک تار** قرار دارند. در اطراف هر تارچه شبکه آندوپلاسمی پرکلسیمی دیده می‌شود. در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم، تعداد **زیادی** میتوکندری برای تنفس یاخته‌ای و *ATP*سازی مورد نیاز ماهیچه وجود دارد.

در شکل روبه‌رو یک تارچهٔ جدا شده را از بین کل تارچه‌های درون یک تار ماهیچه‌ای مشاهده می‌کنید.



«قسمتی از ساختار یک تارچه عضلانی»

سارکومر: درون هر تارچه ماهیچه‌ای، واحدهای تکراری با ظاهر خط‌خطی یا مخطط وجود دارد که به هر واحد آن **سارکومر** یا واحد انقباضی می‌گویند. این واحدهای تکراری سبب مخطط شدن ظاهر تار ماهیچه‌ای شده‌اند. در دو انتهای هر سارکومر، خطی به نام خط *Z* که از جنس پروتئین می‌باشد وجود دارد.



«سارکومر»

در هر سارکومر که **واحد انقباضی تارچه‌ها** می‌باشند، به خطوط *Z*، پروتئین‌های رشته‌ای اکتین نازک متصل هستند. **اکتین‌ها** از یک طرف به خط *Z* متصلند و از یک طرف به **درون سارکومر** کشیده شده‌اند. رشته‌های پروتئینی ضخیم‌تر که در وسط سارکومر و در بین رشته‌های اکتین وجود دارند را **میوزین** می‌گویند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

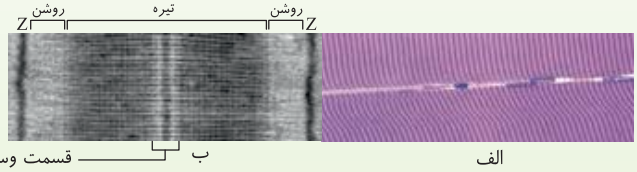
۱ واحد ساختاری ماهیچه اسکلتی را تار ماهیچه‌ای می‌گویند ولی واحد ساختاری هر تار ماهیچه‌ای را تارچه‌های آن تشکیل می‌دهد.

۲ دو نوع رشته پروتئینی اکتین و میوزین که قطر متفاوتی دارند با آرایش خاصی کنار هم قرار گرفته‌اند و سبب ظاهر مخطط تارچه‌ها و تارهای ماهیچه‌ای می‌شوند.

۳ در یک سارکومر به فاصلهٔ بین هر خط *Z* تا قسمتی که فقط پروتئین‌های اکتین وجود دارند، بخش یا نوار روشن می‌گویند. نوار روشن فاقد پروتئین‌های میوزین می‌باشد. در وسط هر سارکومر به فاصله‌ای که حاوی کل طول پروتئین‌های میوزین است که قسمتی از اکتین‌ها نیز در لابه‌لای آن وجود دارند، نوار یا بخش تیره می‌گویند.

۴ در بخش تیره سارکومر، پروتئین اکتین و میوزین ولی در بخش‌های روشن آن فقط پروتئین اکتین تا خط *Z* وجود دارد.

۵ در وسط هر نوار تیره، قسمتی وجود دارد که فاقد اکتین می‌باشد و فقط دارای بخش وسطی پروتئین میوزین می‌باشد. مشاهده خواهید کرد که طی انقباض ماهیچه، طول این قسمت و بخش‌های روشن هر سارکومر تغییر می‌کند.



«تصویر میکروسکوپی از ساختار ماهیچه مخطط (الف) و سارکومر (ب)»

۶ در هر سارکومر، دو بخش روشن کناری حاوی اکتین و یک بخش تیره مرکزی حاوی اکتین و میوزین وجود دارد.

۷ در بخش تیرهٔ سارکومر، پروتئین‌های میوزین (*رشته‌های ضخیم*) در لابه‌لای اکتین‌ها (*رشته‌های نازک*) قرار گرفته‌اند. هر میوزین یک بخش به نام دم در بخش وسط نوار تیره سارکومر دارد و یک انتها به نام سر به سمت یک خط *Z* دارد. سرهای میوزین در دو طرف لابه‌لای اکتین‌ها می‌باشند و با تجزیهٔ *ATP*، قدرت اتصال به اکتین‌ها برای شروع انقباض ماهیچه دارند.



«بخش‌های مختلف مولکول میوزین»

مکانیسم انقباض ماهیچه اسکلتی

ماهیچه‌های اسکلتی توسط یاخته‌های عصبی **حرکتی** موجود در اعصاب **پیکری** تحریک می‌شوند. وقتی **پتانسیل عمل** یا همان **پیام عصبی** به انتهای آکسون یاختهٔ عصبی حرکتی می‌رسد، **ناقل شیمیایی** ساخته شده در **این یاخته‌های عصبی** با مکانیسم **برون‌رانی** وارد فضای سیناپسی می‌شود. ناقل عصبی آزاد شده به گیرنده‌های اختصاصی خود در **غشای یاخته ماهیچه‌ای** متصل می‌شود. این گیرنده‌ها که کانال سدیمی نیز می‌باشند باز شده و عبور سدیم از آن‌ها به درون یاخته، سبب ایجاد پتانسیل عمل یا ایجاد یک موج الکتریکی در طول غشای یاخته ماهیچه‌ای می‌شود (*دقت کنید که ناقل عصبی در محل سیناپس، وارد یاخته ماهیچه‌ای نمی‌شود*). غشای یاخته ماهیچه‌ای دارای **منافذی** می‌باشد که به **درون یاخته** گسترش یافته‌اند، این ساختارها به **غشای شبکه آندوپلاسمی یاخته ماهیچه‌ای** متصل هستند و این شبکه‌های آندوپلاسمی **پر از یون کلسیم** برای انقباض ماهیچه می‌باشند. در اثر تحریک غشای یاخته ماهیچه‌ای و ایجاد جریان الکتریکی، ساختارها سبب آزاد شدن کلسیم از شبکه آندوپلاسمی به داخل **تارچه‌ها** می‌شوند.

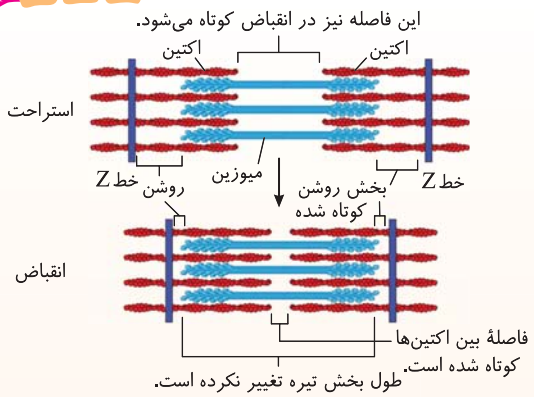
نکته

برای انقباض ماهیچه، **سدیم** وارد **تار** ماهیچه‌ای و **کلسیم** وارد **تارچهٔ** ماهیچه‌ای می‌شود.

همان‌طور که گفتیم در حالت عادی در یک سارکومر رشته‌های اکتین از یک طرف به خط Z متصلند و از طرف دیگر قسمت آزاد در سارکومر دارند. سرهای رشته‌های قطور میوزین که بین اکتین‌ها هستند با مصرف انرژی می‌توانند ضمن تغییر شکل به اکتین‌ها متصل شوند. با اتصال سرهای پروتئین‌های میوزین به اکتین و **تغییر شکل آن‌ها**، سرهای میوزین با کشیدن اکتین‌ها به سمت داخل، سبب نزدیک شدن دو خط Z در سارکومر به هم شده و با کوتاه شدن سارکومرها سبب انقباض تارهای ماهیچه‌ای و کاهش کل طول ماهیچه می‌شوند.

نکته

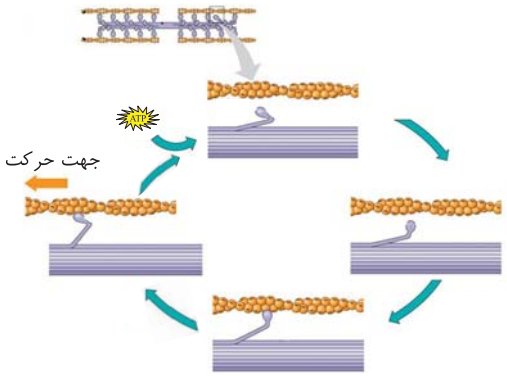
وقتی یک تار ماهیچه‌ای منقبض می‌شود و خطوط Z به هم نزدیک می‌شوند، فاصله بین رشته‌های اکتین دو طرف یک سارکومر کم شده و طول قسمت روشن بین خط Z تا سر میوزین کم می‌شود ولی همان‌طور که در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید طول بخش تیره وسط سارکومر و طول پروتئین‌های اکتین و میوزین تغییر نمی‌کند. در این حالت قسمت وسط بخش تیره که فقط حاوی بخش مرکزی یا دم میوزین‌ها بود **تقریباً** ناپدید می‌شود.



«طرح ساده‌ای از انقباض سارکومرها»

نقش میوزین در انقباض ماهیچه

انقباض ماهیچه مانند هر فرایند زیستی دیگری به **انرژی زیستی** نیازمند است که این انرژی از **هیدرولیز** ATP توسط سر میوزین به دست می‌آید. در حقیقت سرهای میوزین‌ها تا وقتی که انرژی آن‌ها برای اتصال **پل‌های سر میوزین** به **اکتین** تأمین نشود، سبب شروع انقباض ماهیچه نمی‌شوند. برای انقباض ماهیچه ابتدا ATP تجزیه شده و سپس سر میوزین با تغییر شکل به رشته‌های اکتینی متصل می‌شود سپس سبب کشیده شدن رشته‌های اکتین متصل به دو خط Z یک سارکومر به سوی هم می‌شود و سارکومر کوتاه می‌شود. **این حالت شبیه پارو زدن می‌باشد که از دو طرف خطوط Z به هم نزدیک می‌شوند.** دوباره سر میوزین به اکتین متصل می‌شود. سپس سر میوزین به حالت اولیه برمی‌گردد و با هیدرولیز یک ATP دیگر، دوباره به اکتین‌های جلوتر متصل می‌شود. این لیز خوردن و جدا شدن سرهای میوزین **صدها بار در ثانیه** تکرار می‌شود و یک ماهیچه اسکلتی منقبض می‌شود تا استخوانی را با حرکت کششی تکان دهد.

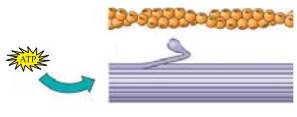


«نحوه انقباض ماهیچه»

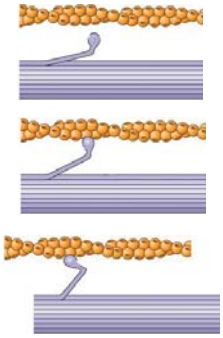
نکته

هم‌زمان با تغییر طول ماهیچه، گیرنده‌های **وضعیتی** حس پیکری در درون ماهیچه اسکلتی تحریک شده تا پیام وضعیت بدن را به مغز ارسال کنند.

خلاصه واکنش انقباض ماهیچه اسکلتی



۱) رسیدن پیام عصبی به انتهای آکسون حرکتی پیکری سبب تحریک یاخته ماهیچه‌ای شده، ابتدا با ورود سدیم به تار، پیام عصبی به صورت یک موج در طول غشای تار ایجاد می‌شود. سپس یون کلسیم با انتشار تسهیل شده از شبکهٔ آندوپلاسمی وارد تارچه می‌شود. این کلسیم‌ها شروع‌کننده مکانیسم انقباض ماهیچه می‌باشند و تا وقتی وجود دارند این انقباض ادامه خواهد یافت. سرهای میوزین دارای قدرت استفاده از انرژی می‌باشند.



۲) با مصرف انرژی حاصل از تجزیهٔ ATP، سر میوزین تغییر وضعیت (*تخلص*) می‌دهد.

۳) در این موقع سرهای میوزین دو طرف یک سارکومر، از دو طرف رشته‌های اکتین را به سمت درون سارکومر می‌کشند و به هم نزدیک می‌کنند. با این کار طول سارکومر و ماهیچه کوتاه می‌شود و دو خط Z به هم نزدیک می‌شوند. طول دو قسمت روشن کناری سارکومر کوتاه شده ولی طول بخش تیره سارکومر و اندازه پروتئین‌های اکتین و میوزین تغییری نمی‌کند.

۴) در آخر دوباره سر میوزین از اکتین جدا شده و ATP دیگری به آن وصل می‌شود. دوباره با مصرف انرژی این مسیر بارها تکرار می‌شود و سر میوزین به بخش جلوتر از اکتین‌ها متصل شده تا در نهایت کل ماهیچه منقبض شود.

نکته تحریک گیرندهٔ وضعیتی درون ماهیچه اسکلتی با تغییر شکل سر میوزین و کوتاه شدن سارکومر آغاز می‌شود.

توقف انقباض ماهیچه

به یاد دارید که شروع مکانیسم انقباض ماهیچه با رسیدن پیام عصبی و آزاد شدن یون‌های کلسیم از شبکهٔ آندوپلاسمی همراه می‌باشد (*فقط برای اینکه مطالب را بهتر بفهمیم باید بگم که این یون‌های کلسیم سبب برداشتن نوعی پروتئین از روی اکتین می‌شوند تا سرهای میوزین با مصرف انرژی قدرت اتصال به اکتین را پیدا کنند و انقباض انجام شود*). این مکانیسم پشت سر هم تا وقتی که پیام عصبی از اعصاب پیکری صادر می‌شود و کلسیم فراوان در تارچه وجود دارد انجام می‌شود و ماهیچه منقبض می‌باشد. با توقف پیام عصبی در اعصاب پیکری، ناقل عصبی به فضای سیناپسی وارد نمی‌شود و این یون‌های کلسیم سریعاً با مکانیسم **انتقال فعال** از تارچه به شبکه آندوپلاسمی برمی‌گردند (*حال در اثر فقدان کلسیم کافی، دوباره پروتئین‌های مهاری به اکتین‌ها متصل می‌شوند و محل اتصال سرهای میوزین را می‌پوشانند*). در این حالت ماهیچه و سارکومر تا رسیدن پیام عصبی بعدی در استراحت می‌مانند (*مطالب درون پرانتز فقط برای فهم بهتر در این پاراگراف بود*).

نکته کمبود کلسیم در تارچه و عدم قدرت مصرف انرژی توسط سر میوزین سبب عدم انقباض ماهیچه می‌شوند.

توقف انقباض ماهیچه در یک نگاه

توقف ارسال پیام عصبی انقباض ماهیچه ← بازگشت سریع کلسیم با **انتقال فعال** از تارچه به شبکه آندوپلاسمی ← عدم توانایی اتصال سر میوزین به اکتین ← استراحت ماهیچه تا رسیدن پیام عصبی بعدی

نکته مهم ماهیچه برای به انقباض درآمدن نیاز به فرمان عصبی تحریک‌کننده دارد ولی برای به استراحت درآمدن ماهیچه نیازی به ارسال پیام عصبی مهارکننده نمی‌باشد. فقط کافی است که پیام عصبی تحریک‌کننده دیگر صادر نشود.

منابع انرژی برای انقباض ماهیچه‌ها

۱) سوختن گلوکز

بیشتر انرژی لازم برای انقباض ماهیچه‌ها از سوختن درون یاخته‌ای **گلوکز** یا همان تنفس یاخته‌ای تأمین می‌شود. ماهیچه‌ها جایگاه ذخیره‌کننده **گلیکوژن** نیز می‌باشند که در موقع نیاز و فعالیت ماهیچه‌ای تحت تأثیر هورمون‌ها (*اپی‌نفرین*)، گلیکوژن آن‌ها به گلوکز تبدیل شده ولی فقط تا **چند دقیقه** می‌تواند با سوختن **کامل** گلوکز، در تنفس هوازی (*به کمک اکسیژن*)، ATP مورد نیاز خود را به دست بیاورد (*طی واکنش تنفس هوازی، از سوختن گلوکز، علاوه بر ATP مقداری CO_2 و آب نیز تولید می‌شود*).

۲) اسیدهای چرب

اگر فعالیت ماهیچه‌ای **طولانی**مدت شود و از چند دقیقه عبور کند، ماهیچه‌ها از **اسیدهای چرب موجود در خون** انرژی‌زایی می‌کنند و ATP لازم را به دست می‌آورند.

۳) کرآتین فسفات

این ماده نیز برای تولید انرژی زیستی به صورت ATP، درون یاخته **ماهیچه‌ای** استفاده می‌شود. بدین صورت که در موقع نیاز ماهیچه به انرژی، کرآتین فسفات **به سرعت** تجزیه شده و فسفات خود را از دست می‌دهد. فسفات آزاد شده به ADP متصل می‌شود و سبب ساخت ATP لازم برای اتصال به سر میوزین و تکرار انقباض تار ماهیچه می‌شود (*مولکول کرآتین حاصل از این تجزیه، درون ماهیچه به ماده دفعی نیتروژن‌دار کرآتینین تبدیل می‌شود که این ماده از طریق خون به کلیه‌ها می‌رسد و همراه ادرار دفع می‌شود*).

CP (کرآتین فسفات) ← (موقع نیاز انرژی، ماهیچه‌ای، درون یاخته ماهیچه)

- C (کرآتین) ← (در ماهیچه) کرآتینین ← خون ← کلیه ← ادرار
- P_i (گروه فسفات) + ADP ← ATP ← تأمین انرژی انقباض ماهیچه

● **۴) لاکتیک اسید**

ماهیچه‌های اسکلتی اندام‌هایی هستند که علاوه بر اینکه به کمک اکسیژن، طی تنفس **هوازی** و سوختن **کامل گلوکز** می‌توانند CO_2 و آب به دست بیاورند و مقدار **زیادی** نیز ATP تولید کنند، این ماهیچه‌ها، در نبود **اکسیژن** نیز می‌توانند با تجزیه گلوکز طی تنفس بی‌هوازی یا **تخمیر** (*لاکتیکی*) در سیتوپلاسم خود ATP **کمی** تولید کنند. دقت کنید که واکنش‌های تنفسی **بی‌هوازی** در ماهیچه که طی ورزش و فعالیت بدنی شدید حاصل می‌شوند، مقدار زیادی **اسید لاکتیک** در ماهیچه **تولید و جمع‌آوری** می‌کنند. **تجمع اسید لاکتیک** در ماهیچه سبب درد ماهیچه‌ای و گرفتگی ماهیچه می‌شود ولی **پس از استراحت**، اسید لاکتیک که مقدار زیادی انرژی در خود ذخیره دارد، **به تدریج تجزیه** می‌شود و علاوه بر اینکه اثرات درد و گرفتگی ماهیچه‌ای کاهش می‌یابد با مکانیسم‌هایی که در کتاب درسی بحث نشده‌اند، می‌توانند مقدار زیادی انرژی به صورت ATP ایجاد کنند.

انواع یاخته‌های بافت ماهیچه‌ای اسکلتی

در ماهیچه اسکلتی، بر اساس **سرعت انقباض** یعنی سرعت تغییر و تبدیل ATP به ADP توسط سرهای میوزین، دو نوع یاخته ماهیچه **سریع** (*تند*) **و کند** وجود دارد. **بسیاری از ماهیچه‌های اسکلتی بدن هر دو نوع یاخته را دارند.**

الف) تارهای ماهیچه‌ای کند (قرمز)

تارهایی با رنگدانهٔ قرمز میوگلوبین **زیاد** می‌باشند. میوگلوبین رنگدانه قرمز پروتئینی (*با یک رشتهٔ پلی‌پپتید*) شبیه هموگلوبین (*هموگلوبین چهار رشتهٔ پلی‌پپتید دارد*) گویچهٔ قرمز است که درون سیتوپلاسم یاخته ماهیچه‌ای می‌تواند مقداری اکسیژن را ذخیره کند. میوگلوبین زیاد در این تارها موجب می‌شود اکسیژن زیادی در یاخته ذخیره گردد و تارهای کند **بیشتر** انرژی خود را به روش تنفس **هوازی** به دست آورند. این تارها دیرتر خسته می‌شوند و دیرتر به کمبود انرژی گرفتار می‌شوند. اغلب در ورزش‌های طولانی‌مدت مثل دوی ماراتن یا شنای استقامتی در مسافت طولانی استفاده می‌شوند و کاربرد دارند. تعداد میتوکندری این تارها **زیاد** می‌باشد، همچنین به علت داشتن مقدار زیادی میوگلوبین، قرمزتر از تارهای دیگر هستند و با ورزش بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود.

نکته

در زیست دوازدهم می‌خوانید که طی تنفس هوازی، پیرووات حاصل از تجزیهٔ گلوکز به **الکترون‌دهی** می‌پردازد تا مقدار زیادی ATP تولید شود.

ب) تارهای ماهیچه‌ای تند (سفید)

این تارها به نسبت نوع کند، میوگلوبین **کمتری** دارند و ذخیره اکسیژن آن‌ها بسیار کم است. این تارها **بیشتر** انرژی خود را از **تنفس بی‌هوازی** (*تخمیر لاکتیکی*) به دست می‌آورند و تجمع اسید لاکتیک و خستگی آن‌ها از تارهای کند بیشتر می‌باشد (*چون ذخیرهٔ اکسیژن کمی دارند و میتوکندری آن‌ها نیز کمتر از تارهای کند می‌باشد، در نتیجه زود خسته می‌شوند و زود انرژی خود را از دست می‌دهند*). تارهای تند مسئول انجام انقباضات سریع مثل دو سرعت یا بلند کردن وزنه هستند. در افراد **کم**تحرک بیشتر ماهیچه‌ها دارای تارهای **تند** می‌باشند به همین دلیل در فعالیت‌های بدنی زود خسته می‌شوند.

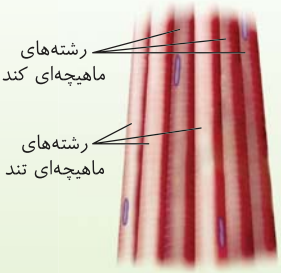
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در زیست دوازدهم می‌خوانید که در تخمیر لاکتیکی که نوعی تنفس بی‌هوازی است، پیرووات‌های حاصل از تجزیهٔ گلوکز، به **الکترون‌گیری** می‌پردازند.

۲) در افراد ورزشکار بیشتر بخش‌های ماهیچه آن‌ها دارای تارهای کند و با انرژی زیاد می‌باشند ولی افراد کم‌تحرک بیشتر دارای تارهای تند در ماهیچه‌های خود می‌باشند (*البته بسته به نوع ورزش خرد می‌تواند تارهای تند (دوی سرعت) یا کند (دوی ماراتن) بیشتری داشته باشد*).

۳) با ورزش کردن، می‌توان تارهای نوع تند (*سفید*) را با تولید میوگلوبین بیشتر به تارهای کند (*قرمز*) تبدیل کرد و ذخایر انرژی را بالا برد.

۴) تارهای تند و کند فقط مربوط به ماهیچه‌های اسکلتی می‌باشند. دقت کنید که منظور از ماهیچه با انقباض کند همان ماهیچه **صاف** و ماهیچه با انقباض تند مربوط به ماهیچه‌های مخطط قلبی و اسکلتی می‌باشد.



«تارهای ماهیچه‌ای تند و کند»

نکات حرکت در جانوران دیگر

A) جانوران **حداقل** در بخشی از زندگی خود می‌توانند از جایی به جای دیگر منتقل شوند.

B) شیوه‌های حرکتی در جانوران به صورت‌های متنوع شنا کردن، پرواز کردن، دویدن، خزیدن و... می‌باشد.

C) با وجود تفاوت در شیوه حرکتی جانوران، **اساس حرکت** همانند اساس تولیدمثل در همهٔ جانوران مشابه می‌باشد و بدین صورت است که اولاً باید جانور نیرویی در خلاف جهت حرکت وارد کند و ثانیاً باید از ساختارهای **اسکلتی** (*اسکلت داخلی یا خارجی و آب‌آبستی*) و ماهیچه‌های بدن استفاده بگیرد.

D) انواع اسکلت در جانوران

- **آب‌ایستایی (هیدروستاتیک)**
  - **۱)** تجمع مایع در بدن سبب شکل‌گیری اسکلت می‌شود.
  - **۲)** مثلاً در عروس دریایی دیده می‌شود.
  - **۳)** در ایـن جانـوران خروج پرفشـار آب از بدن سـبب حرکت جانور به سـمت مخالف می‌شود (*مانند خروج هوا از بادکنک که سبب حرکت بادکنک به سمت مخالف می‌شود*).
- **اسکلت بیرونی**
  - **۱)** در حشرات و سخت‌پوستان دیده می‌شود.
  - **۲)** اسکلت به **حرکت و حفاظت** از جانور کمک می‌کند (*مانند نقش اسکلت محوری انسان*).
  - **۳)** با افزایش اندازه جانور اسکلت بیرونی نیز بزرگ‌تر و ضخیم‌تر می‌شود.
  - **۴)** بزرگ شدن این اسکلت به دلیل افزایش وزن سبب محدودیت در حرکت جانور می‌شود.
  - **۵)** اندازه این جانوران از حد خاصی بیشتر نمی‌شود.
- **اسکلت درونی**
  - **۱)** در همهٔ مهره‌داران دیده می‌شود.
  - **۲)** به‌جز در ماهی‌های غضروفی مثل کوسـه‌ماهی و سـفره‌ماهی که اسکلت داخلی آن‌ها فقط غضروف دارد، سایر مهره‌داران اسکلت داخلی، حاوی استخوان به همراه غضروف هستند.
  - **۳)** ساختار استخوان آن‌ها بسیار شبیه استخوان‌های انسان می‌باشد.

فصل چهارم
تنظیم شیمیایی

درسنامه

در این فصل می‌خواهیم به بررسی نقش **مواد شیمیایی** انتقال دهنده پیام در بدن بپردازیم و با نحوه ارتباط بین یاخته‌ها، دستگاه درون‌ریز و پیک‌های شیمیایی آشنا شویم.

نکته

در بـدن جانـداران **پریاخته‌ای**، **یاخته‌ها نمی‌توانند مستقل از یکدیگر باشند** چون بین آن‌ها تقسیم کار صورت گرفته اسـت. از طرفـی در فصل ۱ آموختیم که اعصاب و انشعابات آن که یکی از دستگاه‌های ارتباطی بدن می‌باشند با تک‌تک یاخته‌ها ارتباط ندارند. در این فصل با ارتباط شیمیایی بین یاخته‌ها آشنا می‌شویم و متوجه می‌شویم که مولکول‌هایی مثل هورمون‌ها و سایر پیک‌های شیمیایی بخش مهمی از فرایندهای ارتباطی بدن را انجام می‌دهند. این مولکول‌های شیمیایی، گیرنده‌هایی اختصاصی دارند که باید با برخورد به آن‌ها سبب پاسخ جاندار شوند.

نکته

غدد و یاخته‌های درون‌ریز، تولیدکننده هورمون‌ها هستند و **همانند** دستگاه عصبی، نقش مهمی در **تنظیم فعالیت‌های بدن** دارد.

گفتار ۱ ارتباط شیمیایی در بدن انسان

ارتبـاط بین نقاط مختلف بدن انسـان توسـط یاخته‌های عصبی (*یاخته‌های عصبی*) و **برخی مولکول‌ها** صـورت می‌گیرد. در این گفتار به بررسـی مولکول‌هایی می‌پردازیم که سبب ارتباط و انتقال پیام بین نقاط مختلف **دور و نزدیک** در بدن انسان می‌شوند. به این مولکول‌ها، پیک شیمیایی می‌گویند.

تعریف پیک شیمیایی

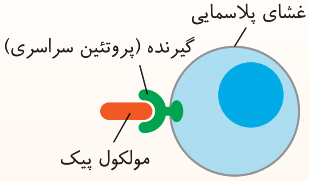
مولکول‌هایـی کـه سـبب **انتقال پیام** از یک نقطه بدن به نقطه دیگر می‌شـوند را پیک شـیمیایی می‌گویند. **انتقـال دهنده‌های عصبی و هورمون‌هـا** دو نوع اصلی از پیک‌های شیمیایی می‌باشند.

یاختهٔ هدف

یاخته‌ای اسـت که پیام را دریافت می‌کند و حاوی **گیرنده اختصاصی** برای پیک شـیمیایی می‌باشد. پیک شیمیایی با شناسایی گیرنده اختصاصی خود که می‌تواند در سطح غشا یا درون یاختهٔ هدف باشد، **فقط** بر روی یاختهٔ هدف خود اثر می‌گذارد و پیام را اشتباهی به یاخته دیگر بدن منتقل نمی‌کند.

نکته

اغلب گیرنده‌های اختصاصی پیک‌های شـیمیایی، **پروتئین‌های سراسری غشایی** می‌باشند. این گیرنده‌ها فقط در غشای یاخته‌های هدف وجود دارند و برخورد پیک شیمیایی به آن‌ها سبب تغییر در آن‌ها و تغییر در فعالیت یاختهٔ هدف می‌شود.



نکته

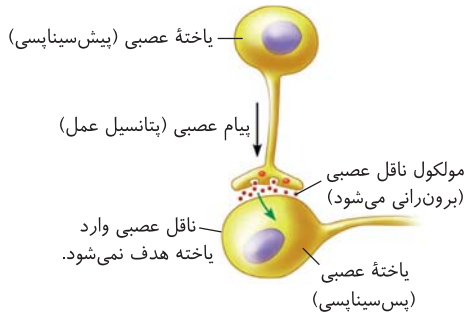
دقـت کنیـد که هورمون‌هـا جنس‌های مختلـف پروتئینی یـا لیپیدی دارند ولـی گیرندهٔ هر هورمونی سـاختار پروتئینی دارد (*بیشتر بدانید*).

انواع پیک‌های شیمیایی برحسب مسافت اثر

پیک‌های شیمیایی (*مانند ناقل عصبی و هورمون*) برحسب **مسافتی** که از **یاخته سازنده تا یاختهٔ هدف** طی می‌کنند به دو گروه **کوتاه‌بُرد** و **دوربُرد** تقسیم می‌شوند.

الف) پیک‌های کوتاه‌بُرد

این پیک‌ها بین **یاخته‌های نزدیک** به همدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و فاصله یاخته تولیدکننده پیک تا یاختهٔ هدف **حداکثر چند یاخته** می‌باشد. **ناقلین عصبی** که در یاخته پیش‌سیناپسی ساخته و به فضای سیناپسی ترشح می‌شوند نوعی از پیک‌های **کوتاه‌برد** هستند. این ناقلین بر غشای یاخته پس‌سیناپسی اثر می‌کنند ولی وارد یاخته پس‌سیناپسی نمی‌شوند و گیرنده آن‌ها به صورت پروتئین سراسری اختصاصی در غشای یاختهٔ هدف وجود دارد.



نکته

پیک‌های شیمیایی کوتاه‌برد، فقط ناقلین عصبی نیستند بلکه برخی مواد که روی عمل یاخته‌های مجاور اثر می‌کنند نیز در این گروه قرار می‌گیرند (*مانند مواد هیستامین و ایکوزانوئیدها که در فصل بعد می‌خوانید*).

ناقل عصبی سبب فعال یا غیرفعال شدن یاختهٔ هدف می‌شود
- فعال‌کننده ← در یاختهٔ هدف پتانسیل عمل ایجاد می‌کند (*سبب ورود سدیم می‌شود*).
- مهارکننده ← مانع ایجاد پتانسیل عمل در یاختهٔ هدف می‌شود (*فقط در سیناپس بین دو یاختهٔ عصبی ترشح می‌شود*).

نکته

وجود پتانسیل عمل سبب ساخت و هدایت ناقل عصبی در یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی می‌شود.

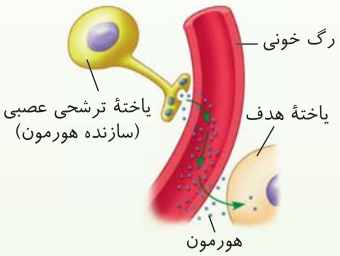
ب) پیک‌های دوربُرد (هورمون‌ها)

اگر پیک شیمیایی، پس از ساخته شدن در یاخته، **ابتدا** از راه آب میان‌بافتی وارد **خون** شود تا پیام خود را **به اندام یا بافت دیگری** در فاصله دور ببرد، به آن‌ها پیک‌های دوربرد می‌گویند که همان هورمون‌ها می‌باشند.

نکاتی مهم در بررسی تست‌ها

۱) برخی هورمون‌ها می‌توانند روی اندام یا بافت محل تولید خود نیز اثر کنند مثلاً هورمون **گاسترین که در معده** ساخته می‌شود و روی **معده** نیز اثر می‌کند ولی دقت کنید که گاسترین تولید شده در یاخته‌های نزدیک پیلور ابتدا به خون می‌رود و با جریان خون و طی مسافت طولانی دوباره روی معده اثر می‌گذارد.

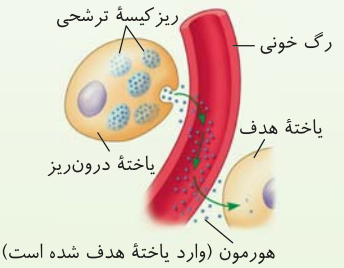
۲) یاخته‌های عصبی، هم می‌توانند پیک کوتاه‌برد مثل انتقال دهنده عصبی بسازند و در فضای سیناپسی ترشح کنند و هم می‌توانند پیک دوربرد یا همان هورمون بسازند و آن را به خون ترشح کنند. در هر صورت، پیک شیمیایی ابتدا وارد مایع بین‌یاخته‌ای از محیط داخلی می‌شود.



۳) **انتقال دهنده عصبی** همواره روی غشای یاختهٔ هدف گیرنده **اختصاصی** دارد ولی هورمون می‌تواند روی غشا یا درون یاختهٔ هدف گیرنده داشته باشد (*در شکل روبه‌رو هورمون وارد یاخته شده است*).

۴) محل تولید ناقل عصبی و هورمون می‌تواند یکسان و در یک یاختهٔ عصبی باشد ولی ناقل عصبی به فضای سیناپسی و هورمون در نهایت به خون وارد می‌شود (*مثل غددی در مغز که بافت عصبی دارند و هورمون ترشح می‌کنند*).

۵) همان‌طور که در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید اغلب هورمون‌ها برای سیر مسیر خود از یاخته سازنده به یاختهٔ هدف، حداقل دوبار باید از آب میان‌بافتی عبور کنند. یک‌بار برای انتقال از یاخته سازنده به خون و یک‌بار برای خروج از خون تا رسیدن به یاختهٔ هدف.



۶) در یاختهٔ عصبی، برای به **حرکت** درآمدن ریزکیسهٔ حاوی ناقل عصبی، حتماً باید پیام عصبی در یاختهٔ عصبی به صورت **پتانسیل عمل** ایجاد شده باشد. این پیام در انتهای آکسون سبب اگزوسیتوز (*برون‌رانی*) ناقل عصبی می‌شود ولی نمی‌توان با قاطعیت گفت که **خروج هورمون** از ریزکیسه‌های یاخته عصبی و غیرعصبی نیاز به تحریک الکتریکی ندارد.

۷) هر هورمونی می‌تواند از غشای یاخته‌های رگ خونی (*سنگفرشی ساده*) و یاخته سازنده خود به راحتی عبور کند ولی فقط روی یاختهٔ هدف خود اثر می‌گذارد و سبب تغییر فعالیت آن می‌شود.

۸) مایع بین‌یاخته‌ای، اولین بخش از محیط داخلی است که هر پیک شیمیایی به آن وارد می‌شود.

۹) مقایسهٔ هورمون با انتقال دهنده عصبی:

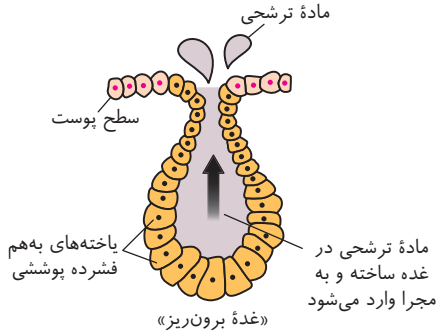
هورمون	انتقال دهنده عصبی
از یاختهٔ عصبی یا هر یاخته درون‌ریز ترشح می‌شود.	از انتهای آکسون نورون‌ها ترشح می‌شود.
اثر کند و طولانی دارد.	اثر تند و کوتاه‌مدت دارد.
بر بافت یا اندام **مجاور** مؤثر است.	بر **یاخته**‌های مجاور مؤثر است.
به خون وارد می‌شود.	به فضای سیناپسی وارد می‌شود.

غده‌های بدن

همان‌طور که در زیست دهم آموختید غده‌ها **معمولاً** از بافت‌های **پوششی** با فضای بین‌یاخته‌ای کم به وجود آمده‌اند که روی غشای پایه‌ای از پروتئین‌ها و هیدرات‌های کربن قرار گرفته‌اند و قدرت ترشح ماده دارند. در بدن دو نوع غدهٔ برون‌ریز و درون‌ریز وجود دارد که به بررسی آن‌ها می‌پردازیم (*دقت کنید که برخی غده‌های ترشح‌کنندهٔ هورمون‌ها نیز ماهیت عصبی دارند*).

الف) غده‌های برون‌ریز

این غده‌ها حاوی یاخته‌های **پوششی** می‌باشند که ماده ترشحی خود را می‌سازند و به **مجرای ویژه** خود وارد می‌کنند. مجرای این غدد به سطح بدن (*غده‌های عرق*) یا به درون حفرات بدن (*مثل غدد بزاقی، برون‌ریز لوزالمعده، ترشحی مجرای شنوایی گوش خارجی و...*) راه دارد و ترشحات خود را به آن مناطق می‌ریزند.

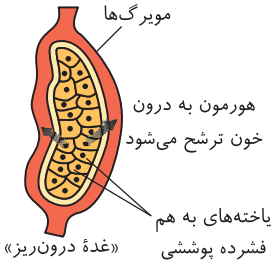


نکته

یاخته‌های تشکیل دهندهٔ غده‌های برون‌ریز، مانند هر یاختهٔ دیگری، گازهای تنفسی O_2 و CO_2 را با خون مبادله می‌کنند. پس در این قسمت ما فقط در مورد مواد ترشحی این غده در حال بررسی هستیم که وارد مجاری خاص آن می‌شود.

ب) غده‌های درون‌ریز

غده‌هایی فاقد مجرای مشخص می‌باشند که هورمون می‌سازند و آن‌ها را وارد خون می‌کنند که در ادامه به‌طور کامل به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.



نکته

هر دو نوع غدهٔ برون‌ریز و درون‌ریز **اغلب** حاوی یاخته‌های پوششی به هم فشرده می‌باشند که روی غشای پایه‌ای از رشته‌های پروتئینی و گلیکوپروتئینی قرار گرفته‌اند. البته دقت کنید که برخی غدد درون‌ریز هورمون‌ساز مثل غدد مغزی و یا بخش مرکزی غدهٔ فوق‌کلیه از بافت عصبی تشکیل شده است.

دستگاه درون‌ریز

در بدن انسان، به مجموعه یاخته‌های **درون‌ریز** پراکنده و کل غدد درون‌ریز و هورمون‌های ساخته شده توسط آن‌ها، **دستگاه درون‌ریز** می‌گویند.

نکته

دستگاه درون‌ریز به همراه دستگاه عصبی، فعالیت‌های بدن را تنظیم می‌کنند و نسبت به محرک‌های **درونی و بیرونی** پاسخ می‌دهند.

نکته

در بدن انسان، هورمون‌ها از **یاخته‌های درون‌ریز به خون** ترشح می‌شوند. این یاخته‌های درون‌ریز مجرای مشخصی برای خروج فراورده خود ندارند و هورمون ساخته شده را به خون وارد می‌کنند. در بدن انسان برحسب پراکنده یا مجتمع بودن این یاخته‌ها دو نوع یاخته درون‌ریز پراکنده و غده‌ای وجود دارد. مثلاً گروه ویژه‌ای از یاخته‌های کبد و کلیه‌ها که به تولید هورمون اریتروپویتین مبادرت می‌کنند.

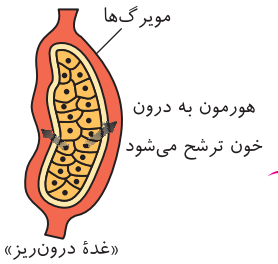
انواع یاخته‌های درون‌ریز

● ۱) یاخته‌های درون‌ریز پراکنده

در برخی مواقع کار اصلی یک اندام تولید و ترشح هورمون نمی‌باشد. در این صورت این اندام یاخته‌هایی به صورت **پراکنده** دارد که هورمون می‌سازند و آن‌ها را به خون ترشح می‌کنند. در این حالت چون یاخته‌های هورمون‌ساز در یک‌جا تمرکز ندارند غدهٔ درون‌ریزی ایجاد نشده است. مثلاً در معده و روده که کار اصلی آن‌ها به ترتیب هضم و جذب مواد غذایی است، یاخته‌های درون‌ریزی وجود دارند که در سمت معده هورمون گاسترین و در سمت دوازدهه، هورمون سکرتین می‌سازند ولی **نمی‌توان** معده یا روده را به صورت یک غدهٔ درون‌ریز دانست (*توجه داشته باشید که معده و روده نیز غددی در لایهٔ مخاطی دارند و آن غدد می‌توانند یاخته‌های پراکندهٔ درون‌ریز داشته باشند اما به آن‌ها غدهٔ درون‌ریز گفته نمی‌شود*).

● ۲) یاخته‌های درون‌ریز متمرکز = غدهٔ درون‌ریز

در بیشتر موارد هورمون‌ها در **یاخته‌های متمرکز** ساخته می‌شوند که **اجتماع** آن‌ها را یک **غدهٔ درون‌ریز** می‌دانیم. کار اصلی غدهٔ درون‌ریز تولید هورمون می‌باشد، مثلاً غدد لوزالمعده، تیموس، تخمدان و... انواعی از غدد درون‌ریز می‌باشند. یاخته‌های این غدد، هورمون مخصوص خود را می‌سازند و آن را از راه آب میان‌بافتی به رگ خونی اطراف غده می‌رسانند.



نکته

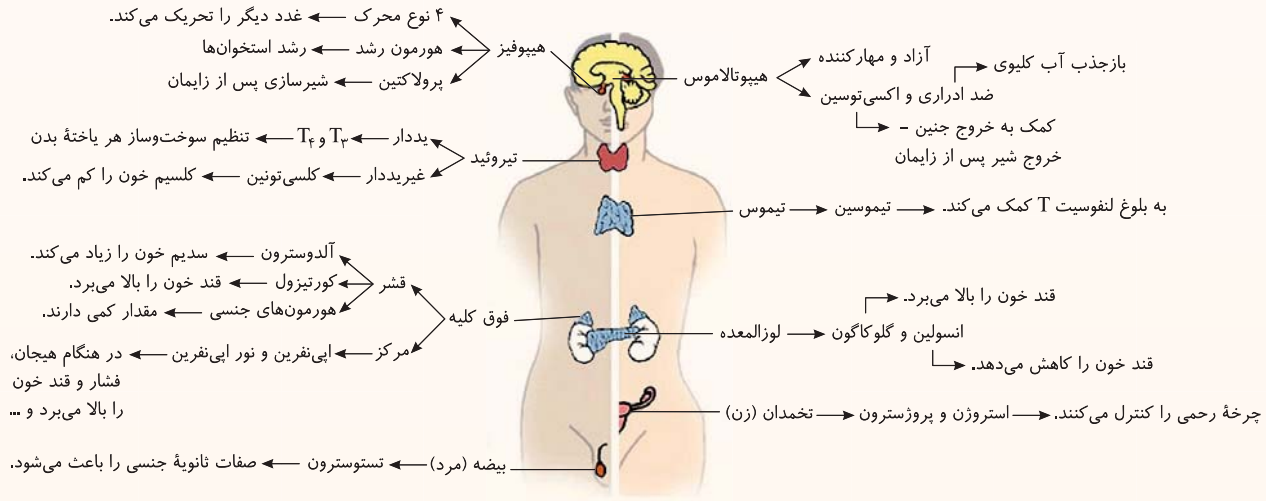
دقت کنید که تولید هورمون، کار **اصلی** غدد درون‌ریز می‌باشد ولی این غدد در کارهای دیگر بدن نیز نقش دارند. مثلاً لوزالمعده در ترشح آنزیم نیز علاوه بر تولید هورمون مؤثر است.

غدد درون‌ریز	غدد برون‌ریز
از یاخته‌های بافت پوششی بر روی غشای پایه و یا بافت عصبی ایجاد شده‌اند.	از یاخته‌های بافت پوششی بر روی غشای پایه ایجاد شده‌اند.
مجرای مشخصی برای خروج فراورده خود ندارند.	مجرای مشخصی برای خروج فراورده خود به سطح بدن یا درون حفرات بدن دارند.
محصول خود (*هورمون*) را وارد خون می‌کنند.	محصول خود (*مثل آنزیم، عرق و...*) را به سطح بدن یا حفرات بدن می‌ریزند.

نکته

غدد درون‌ریز بدن شامل موارد زیر می‌باشند:

غدهٔ درون‌ریز	محل	هورمون‌ها
هیپوتالاموس	بالای ساقهٔ مغز زیر تالاموس	آزادکننده‌ها مهارکننده‌ها ضد ادراری (*ADH*) اکسی‌توسین
هیپوفیز	زیر هیپوتالاموس	رشد - پرولاکتین - محرک تیروئید - محرک فوق کلیه - محرک جنسی (*FSH* و *LH*) (*در بخش پیشین هورمون می‌سازد.*)
اپی‌فیز	بالای برجستگی‌های چهارگانهٔ مغز میانی	تنظیم ریتم شبانه‌روزی را انجام می‌دهد.
تیروئید	**جلوی نای** در ناحیهٔ گردن به صورت سپرمانند	هورمون‌های تیروئیدی یددار (T_4 و T_3) و هورمون غیریددار کلسی‌تونین
پاراتیروئید	پشت غدهٔ تیروئید	بالابرندهٔ کلسیم خون با اثر بر کلیه، استخوان و فعال کردن ویتامین *D*
تیموس	پشت جناغ جلوی نای	تیموسین
فوق کلیه	چسبیده به بالای هر کلیه	بخش قشری: هورمون‌های آلدوسترون، کورتیزول و هورمون‌های جنسی استروژن، پروژسترون و تستوسترون می‌سازد. بخش مرکزی: اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین می‌سازد.
لوزالمعده	زیر معده و موازی با آن	انسولین - گلوکاگون
بیضه	کیسهٔ بیضه خارج حفرهٔ شکمی	تستوسترون
تخمدان‌ها	طرفین حفره شکمی	استروژن - پروژسترون



«تعدادی از غدد درون‌ریز»

درسنامه

گفتار ۲ غدد درون‌ریز اصلی در انسان

غدد درون‌ریز مجموعه‌ای از یاخته‌های **درون‌ریز متمرکز** می‌باشند که چون اغلب بافت پوششی دارند، مانند هر بافت پوششی روی **غشای پایه‌ای** از **گلیکوپروتئین و پروتئین** قرار گرفته‌اند. این غدد برای تنظیم فعالیت‌های بدن، هورمون می‌سازند ولی **مجرای مشخصی** برای خروج فراورده خود یا همان هورمون ندارند. هورمون ساخته شده خود را با مکانیسم‌های مختلف خارج کرده تا از راه آب میان‌بافتی به خون برسند.

یادآوری: هورمون هم از غدد درون‌ریز با یاخته‌های هورمون‌ساز متمرکز و هم از یاخته‌های پراکنده درون‌ریز هورمون‌ساز به خون ترشح می‌شوند.

نکته دستگاه درون‌ریز به وسیله هورمون‌ها فعالیت‌های بدن را تنظیم می‌کند.

نکته مویرگ خونی و لنفی اطراف غدد درون‌ریز از نوع منفذدار می‌باشد که منافذ زیاد یاخته‌ای برای عبور هورمون‌ها به همراه غشای پایهٔ ضخیم دارند.

بررسی غدد درون‌ریز مهم در انسان

هیپوتالاموس

مرکزی در زیر تالاموس‌ها می‌باشد که علاوه بر اینکه تنظیم هم‌ایستایی بدن مانند دمای بدن، تعداد ضربان قلب، فشار خون، خواب، گرسنگی و تشنگی را انجام می‌دهد، با تولید هورمون‌هایی و به کمک غدهٔ هیپوفیز مسئول تنظیم کار **اغلب** غدد درون‌ریز مهم بدن می‌باشد. **این غده به همراه تالاموس در بالای ساقهٔ مغز قرار دارند و هر دو توسط سامانهٔ لیمبیک به قشر مخ متصل می‌شوند.**

نکته هیپوتالاموس هورمون‌های آزاد و مهارکننده برای تنظیم تولید هورمون‌های هیپوفیز **پیشین** ترشح می‌کند و هورمون‌های ضد ادراری (*آنتی دیورتیک*) و اکسی‌توسین را برای ذخیره شدن در هیپوفیز پسین می‌سازد. در جدول زیر با انواع هورمون‌های این مرکز مغزی آشنا می‌شوید.

هورمون	محل تولید	بافت هدف	نقش هورمون
آزادکننده‌ها	هیپوتالاموس	هیپوفیز پیشین	محرک ترشح ۶ هورمون مختلف از هیپوفیز پیشین می‌باشد.
مهارکننده‌ها	هیپوتالاموس	غدهٔ هیپوفیز پیشین	ترشح ۶ هورمون از هیپوفیز پیشین را کم یا متوقف می‌کند.
ضد ادراری	جسم یاخته‌ای یاخته‌های غدهٔ هیپوتالاموس	از طریق دسته‌های آکسونی ابتدا به غدهٔ هیپوفیز پسین می‌رود و ذخیره می‌شود تا از آنجا از طریق خون به کلیه‌ها برسد.	از هیپوفیز پسین وارد خون شده و سبب افزایش بازجذب آب از کلیه‌ها می‌شود.
اکسی‌توسین	جسم یاخته‌ای یاخته‌های غدهٔ هیپوتالاموس	از طریق دسته‌های آکسونی ابتدا به غدهٔ هیپوفیز پسین می‌رود و ذخیره می‌شود تا در موقع زایمان یا شیر دادن روی رحم یا غدد شیری اثر کند.	از هیپوفیز پسین وارد خون شده و سبب افزایش انقباضات رحم در زایمان و غدد شیری برای خروج شیر می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ ارتباطی بین هورمون‌های هیپوتالاموسی و بخش میانی هیپوفیز در نظر نمی‌گیریم.

۲ هورمون‌های ضد ادراری (*آنتی دیورتیک* = *ADH*) و اکسی‌توسین پس از ساخته شدن در جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی هیپوتالاموسی از راه دسته‌های آکسونی که به هیپوفیز پسین متصل است، وارد هیپوفیز پسین می‌شوند و در پایانه آکسونی ذخیره می‌شوند. هورمون ضد ادراری در هنگام فشار اسمزی بالای خون (*پلاسما*) و هورمون اکسی‌توسین در موقع زایمان یا شیر دادن از هیپوفیز پسین وارد خون شده و فعالیت خود را انجام می‌دهند.

۳ دقت کنید که دو هورمون ضد ادراری و اکسی‌توسین، **نمی‌توانند** از **محل تولید خود** یعنی از هیپوتالاموس وارد خون شوند بلکه ابتدا در هیپوفیز پسین ذخیره شده و سپس در **موقع لزوم** از آنجا به خون می‌ریزند.

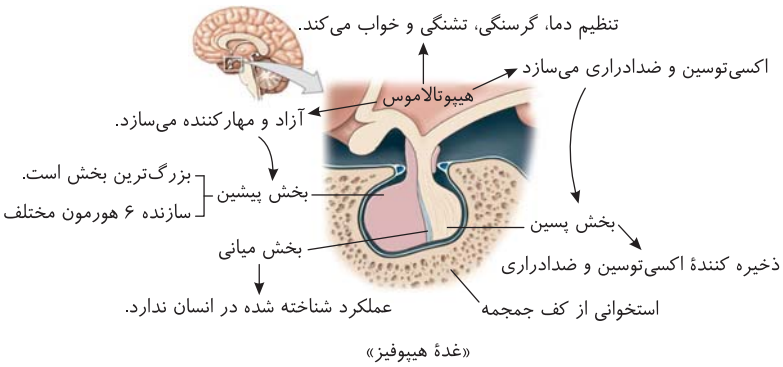
۴ هیپوتالاموس با غدهٔ هیپوفیز پیشین از راه خونی ولی با هیپوفیز پسین از راه عصبی ارتباط دارد.

۵ غدهٔ هیپوتالاموس به کمبود آب پلاسما یا همان افزایش فشار اسمزی خون حساس است. این مرکز حاوی **گیرنده‌های اسمزی** و **مرکز تشنگی** نیز می‌باشد. از طرفی **هورمون ضد ادراری** می‌سازد تا با افزایش جذب آب سبب کاهش فشار اسمزی پلاسما و غلیظ شدن ادرار شود.

۶ هیپوتالاموس هم به‌طور مستقیم چون مرکز تشنگی است و هم به‌طور غیرمستقیم با واسطه محصول خود یعنی هورمون ضد ادراری در **تنظیم آب** بدن مؤثر است. علاوه بر آن این غده با تولید هورمون آزادکننده و اثر بر هیپوفیز پیشین سبب تولید هورمون محرک قشر غدهٔ فوق کلیه برای تنظیم آب بدن می‌شود. (ترشح و تنظیم مقدار *هورمون آلدوسترون* تولید شده در قشر غده فوق کلیه تحت کنترل هورمون آزاد و مهارکننده *هیپوتالاموس* می‌باشد تا مقدار سدیم و حجم آب پلاسما را تنظیم کند.)

غدهٔ هیپوفیز

این غده که تقریباً به اندازهٔ **یک نخود** می‌باشد، به کمک **ساقه‌ای** به هیپوتالاموس متصل از آن آویزان می‌باشد. غـدهٔ هیپوفیـز در **یک گودی** واقـع در **اسـتخوانی** از **کف جمجمه** جای گرفته اسـت و حاوی سـه بخش پیشـین (A)، میانـی (B) و پسـین (C) می‌باشـد کـه به ترتیب فعالیت‌های آن و هورمون‌های آن‌ها را بررسی می‌کنیم.



«غدهٔ هیپوفیز»

نکته
بخش پیشین هیپوفیز، بزرگ‌ترین و بخش میانی آن، کم‌حجم‌ترین قسمت هیپوفیز را تشکیل داده‌اند.

A) بخش پیشین غدهٔ هیپوفیز (هیپوفیز پیشین)

این بخش از راه **خونی** و تحت کنترل هورمون‌های **آزاد و مهارکننده** هیپوتالاموسی، ۶ نوع هورمون مختلف تولید می‌کند. دوتای آن‌ها یعنی **هورمون رشد و پرولاکتین** مسـتقیماً روی بافت هدف خود اثر می‌کنند. چهارتای دیگر نیز **هورمون محرک** می‌باشـند که سـبب تنظیم فعالیت و ترشح هورمون از غدد تیروئید، فوق کلیه و غدد جنسی (*بیضه‌ها و تخمدان*) می‌شوند.

هورمون‌های تولید شونده در غدهٔ هیپوفیز پیشین ← ۶ هورمون مختلف

- هورمون رشد ← اثر بر استخوان‌ها و رشد بدن
- پرولاکتین ← اثر بر غدد شیری و تولیدمثل
  - در تعادل آب، ایمنی و فرایند تولیدمثلی (*مردان*) مؤثر است.
  - پس از زایمان سبب تولید شیر در غدد شیری زنان می‌شود.
- محرک تیروئیدی ← اثر بر غدهٔ تیروئید ← ترشح هورمون‌های تیروئید ← تنظیم سوخت‌وساز همهٔ یاخته‌های بدن
- محرک فوق کلیه ← اثر بر فوق کلیه ← ترشح هورمون‌های غده فوق کلیه
- محرک جنسی *FSH* ← اثر بر بیضه یا تخمدان ← تنظیم ترشح هورمون‌های جنسی و گامت‌زایی
- محرک جنسی *LH* ← اثر بر بیضه یا تخمدان ← تنظیم ترشح هورمون تستوسترون و جنسی زنانه

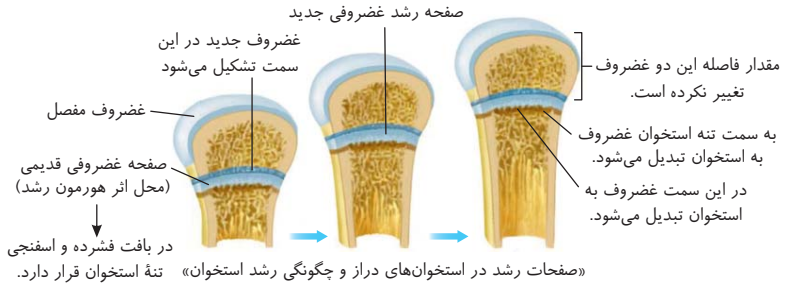
نکته
غـدهٔ هیپوتالامـوس و هیپوفیـز روی فعالیت غدد پاراتیروئیدی، لوزالمعده، تیموس، اپی‌فیز و یاخته‌های درون‌ریز معده و روده یا ترشـح اریتروپویتین از کبد و کلیه‌ها اثری ندارند.

بررسی هورمون‌های مترشحه از غدهٔ هیپوفیز پیشین

۱) هورمون رشد (سوماتوتروپین)

این هورمون پلی‌پپتیدی تحت اثر هورمون آزادکننده، از هیپوفیز پیشـین وارد خون می‌شـود و تا چند سال **بعد از بلوغ** سبب **رشد طولی استخوان‌های دراز** می‌شود و تا این سنین باعث **افزایش اندازه قد** فرد می‌شود.

همان‌طـور که در فصـل قبل گفتیم اسـتخوان‌ها در دوران جنینـی ابتـدا بـه صـورت **غضروفی** تشـکیل شـده‌اند و بـه تدریـج اسـتخوانی شـده‌اند ولـی در اسـتخوان‌های دراز تـا چند سـال **پـس از سـن بلوغ**، در **نزدیـکی** محل اتصال دو سـر اسـتخوان به تنه، **دو** قسمت غضروفی به نام **صفحات رشد** باقی می‌مانند. در این صفحات، تعداد یاخته‌های **غضروفی** با تقسیم میتوز، زیاد می‌شـود و به تدریج به سمت **خارج** یعنی به سمت دو سر استخوان، یاخته‌های **غضروفی** جدید می‌سازند ولی به سمت داخل یا تنه استخوان، یاخته‌های غضروفی قدیمی طی تمایز به یاخته‌های استخوانی تبدیل می‌شوند. در نتیجه این صفحه رشد در منطقه بالاتر باقی می‌ماند و به تدریج بر مقدار بافت استخوانی تنه استخوان و طول استخوان افزوده می‌شود. رشد استخوان سبب افزایش طول قد در فرد می‌شود. **چند سال** که از دوران بلوغ فرد گذشت، این صفحات رشد غضروفی، کاملاً به صورت استخوانی درمی‌آیند و دیگر هورمون رشد روی **رشد طولی** آن‌ها مؤثر نمی‌باشد و رشد استخوان و فرد به صورت طولی متوقف می‌شود که به اصطلاح می‌گوییم **صفحات رشد بسته شده‌اند.**



«صفحات رشد در استخوان‌های دراز و چگونگی رشد استخوان»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ با افزایش رشد طولی استخوان، فاصله بین صفحه رشد غضروفی تا سر استخوان دراز و غضروف مفصلی آن ثابت باقی می‌ماند ولی بر مقدار طول بخش استخوانی **تنه** افزوده می‌شود. از طرفی دقت کنید که این صفحات رشد در **نزدیکی** دو سر استخوان **دراز** یعنی در حقیقت در **تنهٔ** استخوان قرار دارند (*نه در خمت برآمده*).

۲ اثر هورمون رشد بر استخوان‌های کوتاه و پهن نقشی در رشد **قدی** فرد ندارد ولی این هورمون روی **رشد طبیعی** هر استخوانی مؤثر است.

۳ همهٔ استخوان‌ها، در ابتدای دوران جنینی که تشکیل می‌شوند غضروفی هستند ولی در تنهٔ استخوان‌های دراز صفحات رشد، غضروفی باقی می‌مانند و دقت کنید که این صفحات به صورت غضروفی از ابتدا بوده‌اند و تا **چند سال بعد از سن بلوغ** آخرین قسمتی هستند که همواره تمایز می‌یابند و به استخوان تبدیل می‌شوند.

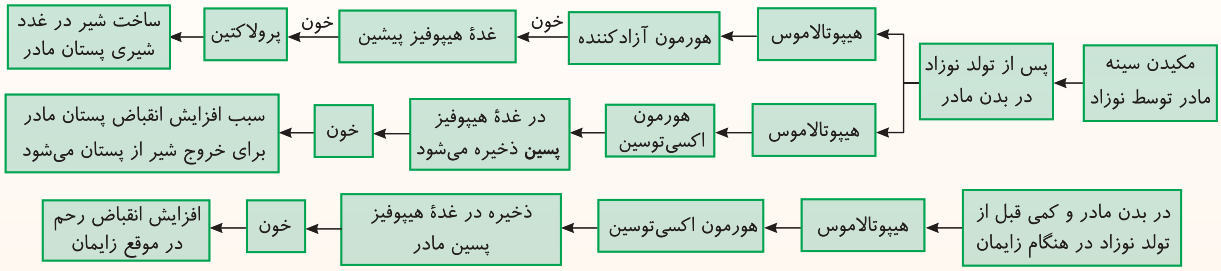
۴ به‌طور طبیعی برخی از بافت‌های پیوندی مثل غضروف به استخوان قابل تبدیل به هم می‌باشند.

۲) پرولاکتین

پرولاکتین هورمونی است که در بخش **پیشین** غدهٔ هیپوفیز ساخته و وارد خون شده و **پس از تولد نوزاد**، **غدد شیری مادر را** برای تولید شیر تحریک می‌کند. برخلاف تصور قدیمی که کار پرولاکتین را فقط تولید شیر می‌دانستند در حال حاضر این هورمون را در کمک به **دستگاه ایمنی** و **حفظ تعادل آب** نیز مؤثر می‌دانند.

نکته هورمون پرولاکتین در **مردان** علاوه بر کمک به ایمنی و حفظ تعادل آب، سبب تنظیم فرایندهای **دستگاه تولیدمثل** نیز می‌شود.

نکته هورمون پرولاکتین سبب شیرسازی و ورود شیر به غدد شیری می‌شود ولی هورمون اکسی‌توسین با افزایش انقباض غدد شیری سبب خروج شیر از پستان‌ها می‌شود. دقت کنید که مکانیسم ترشح هر دوی این هورمون‌ها در اثر مکیدن نوزاد، نوعی بازخوردی یا خودتنظیمی **مثبت** می‌باشد.



۳) هورمون محرک تیروئیدی

این هورمون پروتئینی (*پلی‌پپتیدی*) با اثر بر **غدهٔ تیروئید** (*سپردیس*) و ترشح هورمون‌های آن روی سوخت‌وساز بدن (*تنظیم تنفس یاخته‌ای*) مؤثر است (*دقت کنید که کتاب درسی، هورمون محرک تیروئیدی را مؤثر در فعالیت‌های غدهٔ تیروئید دانسته‌است، پس مجبوریم در تنظیم تولید گلوکز تونین و گلبول خون نیز آن را مؤثر بدانیم*).

۴) هورمون محرک فوق کلیه

این هورمون روی فعالیت غدهٔ فوق کلیه و تنظیم هورمون‌های مترشحه از آن اثر دارد.

نکته دقت کنید که در کتاب درسی یازدهم، هورمون محرک فوق کلیه را روی غدهٔ فوق کلیه مؤثر دانسته است و متأسفانه فرقی بین بخش قشری و مرکزی آن قائل نشده است.

۵ و ۶) هورمون‌های محرک جنسی (*FSH* و *LH*)

دو هورمون *FSH* و *LH* را خیلی در تست‌ها دقت کنید. این دو، **هورمون محرک جنسی** هستند و در تنظیم کار و ترشح هورمون از غدد جنسی **بیضه و تخمدان** مؤثرند.

نکته **هورمون‌های محرک جنسی** (*FSH* و *LH*) سبب تنظیم ترشح **هورمون‌های جنسی** استروژن، پروژسترون و تستوسترون از **غدد جنسی** بیضه یا تخمدان در مرد یا زن همچنین فعالیت‌های دیگر می‌شوند که به‌طور مفصل در فصل ۷ بررسی می‌کنیم.

نکته **هورمون محرک فوق کلیه** نیز سبب تنظیم ترشح **مقدار کمی** هورمون‌های جنسی **استروژن، پروژسترون و تستوسترون** از بخش قشری غدهٔ فوق **کلیه هر دو جنس مرد و زن** می‌شود ولی این هورمون محرک روی غدد جنسی اثری ندارد.

نکته هورمون‌های آزادکننده و مهارکننده هیپوتالاموس و هورمون‌های محرک فوق کلیه و محرک جنسی (*FSH* و *LH*) از غدهٔ هیپوفیز پیشین در تنظیم ترشح هورمون‌های جنسی (*استروژن، پروژسترون و تستوسترون*) مؤثرند.

B) بخش میانی غدهٔ هیپوفیز (هیپوفیز میانی)

در انسان عملکرد بخش میانی غدهٔ هیپوفیز، به خوبی شناخته نشده است و این غده تحت کنترل و ارتباط با هورمون‌های هیپوتالاموس نمی‌باشد.

C) بخش پسین غدهٔ هیپوفیز (هیپوفیز پسین)

بخش پسین هیپوفیز، قادر به **ساخت** هورمون نمی‌باشد ولی آکسون‌های (*آسه‌های*) یاخته‌های عصبی هیپوتالاموسی در مجاورت آن قرار دارند. **دو هورمون اکسی‌توسین و ضد ادراری از انتهای آکسون وارد بخش پسین غدهٔ هیپوفیز می‌شوند.**

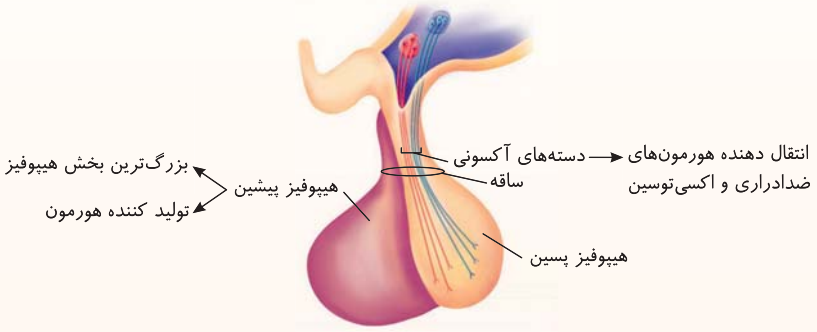
در موقع لزوم، مثل موقع زایمان و خروج شیر از غدد شیری (*برای هورمون اکسی‌توسین*) یا افزایش فشار اسمزی پلاسما (*برای هورمون ضد ادراری*)، این دو هورمون، از بخش پسین هیپوفیز، **وارد خون** می‌شوند. هورمون اکسی‌توسین انقباضات ماهیچه‌های صاف رحم و غدد شیری را زیاد می‌کند ولی هورمون ضد ادراری سبب بازجذب **آب** از کلیه‌ها می‌شود.

نکته

اکسی‌توسین باعث خروج شیر از غدد شیری می‌شود ولی پرولاکتین سبب پر شدن و تولید شیر در غدد شیری می‌شود پس کم‌کاری بخش پسین هیپوفیز می‌تواند در انقباضات رحم و خروج شیر از بدن اشکال ایجاد کند.

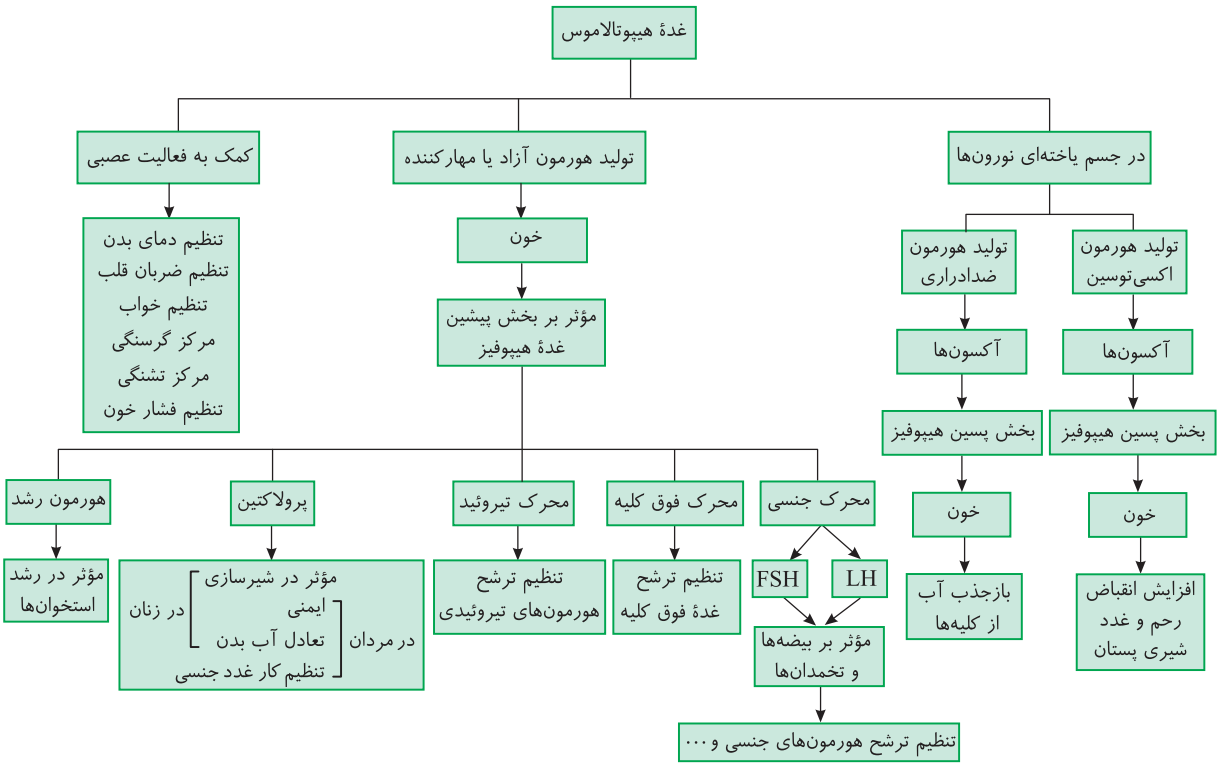
نکته

یاخته‌های عصبی هیپوتالاموسی که با بخش پسین هیپوفیز در ارتباط هستند، همانند **یاخته‌های عصبی حرکتی**، آکسون درازی دارند.



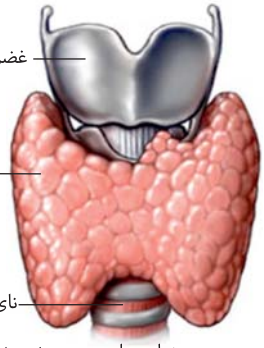
«ارتباط بخش پسین با هیپوتالاموس»

خلاصه فعالیت غدهٔ هیپوفیز و هیپوتالاموس



غدهٔ تیروئید (سپردیس)

این غده **در جلوی گردن و نای و در زیر حنجره** به شکل یک سپر واقع شده است. غدهٔ تیروئید هورمون‌های تیروئیدی دی‌آمینواسیدی یددار (T_3 و T_4) و هورمون بدون ید کلسی‌تونین را به خون ترشح می‌کند.



هورمون تیروئیدی ← تنظیم سوخت‌وساز بدن در هر یاخته
هورمون کلسی‌تونین ← مانع بالا رفتن کلسیم خون ← مؤثر بر استخوان

از این نما غدد پاراتیروئیدی ← نمای جلویی ← از نمای جلویی به صورت سپر می‌باشد.
مشخص نیستند.

«غدهٔ سپردیس»

نکته

به این نکته در تست‌ها دقت کنید چون خیلی در کنکورهای چند سال اخیر تکرار شده است:
وقتی در تستی عنوان می‌کند هورمون‌های مترشحه از غدهٔ تیروئید، منظور طراح هم هورمون‌های T_3 و T_4 تیروئیدی برای تنظیم تجزیهٔ گلوکز و انرژی در دسترس و هم هورمون کلسی‌تونین برای تنظیم کلسیم خون می‌باشد ولی وقتی در تست می‌گوید **هورمون‌های تیروئیدی!!** منظور طراح کلسی‌تونین نیست و فقط هورمون‌های یددار T_3 و T_4 مدنظر می‌باشد که مسئول متابولیسم و تنفس یاخته‌ای بدن هستند.

نکات هورمون‌های تیروئیدی (T_3 و T_4)

الف) برای بیشتر بدانید فقط بهتون میگم که: این هورمون‌ها در غدهٔ تیروئید به صورت T_3 و T_4 ساخته شده و وارد خون می‌شوند و در مجاورت بافت هدف از خون خارج می‌شوند. هورمون T_4 در مجاورت یاختهٔ هدف به صورت T_3 درآمده و همراه سایر هورمون‌های T_3 بر یاختهٔ هدف تأثیر می‌گذارد.

ب) هورمون‌های تیروئیدی (T_3 و T_4) در سوخت‌وساز بدن از جمله **تجزیه گلوکز در تنفس یاخته‌ای** و تولید ATP، به عنوان رایج‌ترین انرژی زیستی در دسترس یاخته مؤثر می‌باشند. این هورمون‌ها در **همه یاخته‌های بدن گیرنده دارند** و بافت هدف آن‌ها به دلیل تنفس یاخته‌ای و تجزیه گلوکز در سراسر یاخته‌های بدن پراکنده می‌باشد. *(هر یاخته زنده‌ای جزو بافت هدف هورمون‌های یدار تیروئیدی T_3 و T_4 می‌باشد.)*

نکته

در زیست دوازدهم می‌خوانید که این هورمون با توجه به نسبت ATP به ADP در بدن، سبب انجام یا مهار واکنش‌های تنفس هوازی یاخته‌ای می‌شود.

ج) هورمون تیروئیدی T_3 در دوران **جنینی و کودکی** برای **نمو و ایجاد دستگاه عصبی مرکزی** *(مغز و نخاع)* مؤثر و لازم می‌باشد. پس فقدان یا کم‌کاری غدهٔ تیروئید در این دوران می‌تواند سبب اختلال در نمو دستگاه عصبی و عقب افتادگی ذهنی و جسمی جنین، نوزاد یا کودک شود *(بیماری کرتینیسم)*.

د) گواتر به معنی بزرگ شدن غدهٔ تیروئید می‌باشد. یکی از دلایل گواتر این است که اگر مقدار **ید** در غذا کافی نباشد در این صورت هورمون تیروئیدی (T_3 و T_4) **به اندازهٔ کافی** ساخته نمی‌شود. پایین بودن این دو هورمون در خون با خودتنظیمی منفی *(بزخوردی منفی)*، سبب افزایش هورمون آزادکننده هیپوتالاموسی و سپس افزایش هورمون محرک تیروئیدی **از بخش پیشین غدهٔ هیپوفیز** می‌شود. هورمون **محرک** تیروئیدی سبب اثر بر غدهٔ تیروئید شده و رشد این غده را بیشتر می‌کند **تا بتواند ید بیش‌تری را به سوی خود جذب کند.** در این حالت به غدهٔ تیروئید بزرگ شده، گواتر می‌گویند. *(در حقیقت گواتر در اثر فعالیت شدید غدهٔ تیروئید ایجاد می‌شود.)*

ه) با توجه به اینکه **ید** در **غذاهای دریایی** به مقدار **فراوانی** وجود دارد ولی این عنصر در فراورده‌های **کشاورزی و دامی** به مقدار ید در خاک بستگی دارد. در مناطقی مثل ایران و بسیاری از کشورهای دیگر مقدار ید در خاک **کم** می‌باشد و بدون استفاده از غذاهای دریایی نمی‌توان ید مورد نظر بدن را تأمین کرد *(البته استفاده از نمک یددار می‌تواند ید مورد نیاز بدن را تأمین کند)*.

هورمون کلسی‌تونین

نوعی هورمون **غیریددار** می‌باشد که توسط غدهٔ تیروئید ساخته شده و وارد خون می‌شود تا کلسیم خون را تنظیم کند. در حقیقت این هورمون زمانی که کلسیم خون در خوناب یا پلاسما یک فرد بالا باشد، مقدارش بالا می‌رود تا از برداشت کلسیم از استخوان جلوگیری کند تا کلسیم اضافی به‌طور غیرمستقیم و بدون اثر مستقیم این هورمون از راه‌های دیگر مثل ادرار از بدن دفع شود. **پس این هورمون کلسیم خون را کاهش می‌دهد و مانع پوکی استخوان می‌شود.**

زیادی کلسیم خوناب ← افزایش ترشح کلسی‌تونین ← ممانعت از برداشت کلسیم استخوان ← طبیعی شدن کلسیم خون

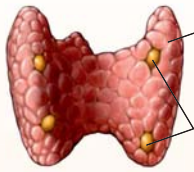
کمبود کلسیم خوناب ← کاهش ترشح کلسی‌تونین ← افزایش برداشت کلسیم از استخوان ← طبیعی شدن کلسیم خون

غدد پاراتیروئید

چهار غده پاراتیروئید در گردن و در پشت غدهٔ تیروئید قرار گرفته‌اند که با ساخت و ترشح هورمون پاراتیروئیدی به خون سبب افزایش کلسیم خون (*پلاسما*) می‌شوند.

نکته

هورمون پاراتیروئیدی و کلسی‌تونین تیروئیدی، روی هم‌ایستایی یا تنظیم مقدار کلسیم خون نقش دارند. در هنگام **بالا** بودن **کلسیم** خون، مقدار هورمون **کلسی‌تونین** بالا می‌رود تا برداشت کلسیم از مادهٔ زمینه‌ای استخوان را کم کند. هنگامی که کلسیم خون مقدار **کمتر از حد نرمال** دارد، مقدار ترشح هورمون غدد **پاراتیروئیدی** بالا می‌رود تا با اثر بر استخوان‌ها، کلیه‌ها و فعال کردن ویتامین *D* مقدار کلسیم پلاسما (*خون*) را بالا برده تا به حد نرمال برساند. در این حالت مقدار کلسی‌تونین کاهش می‌یابد.



«غده‌های پاراتیروئید»

اثرات هورمون پاراتیروئیدی:

- **اثر بر استخوان**: این هورمون، کلسیم **مادهٔ زمینه‌ای استخوان** را جدا کرده و وارد پلاسما می‌کند (*زیادی آن می‌تواند منجر به پوکی استخوان شود*).
- **اثر بر کلیه**: در هنگام کاهش کلسیم خوناب، هورمون‌های غدد پاراتیروئیدی سبب افزایش **بازجذب** کلسیم از کلیه‌ها شده و مقدار کلسیم خون را تنظیم می‌کنند.
- **اثر بر ویتامین *D***: هورمون پاراتیروئیدی می‌تواند **شکل ویتامین *D*** را به صورتی تغییر دهد که اثر این ویتامین در روده سبب افزایش جذب کلسیم شده و کلسیم خوناب را بالا ببرد.

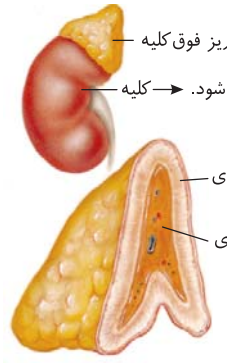
نکته

تنظیم مقدار یون کلسیم برای **انعقاد خون** در روند ایجاد لخته و همچنین برای **انقباض ماهیچه‌های بدن و استحکام استخوان‌ها** نقش بسیار مهمی دارد.

کمبود کلسیم خون ← سبب کاهش کلسی‌تونین می‌شود ← اثر مهاری آن روی ممانعت از برداشت کلسیم استخوان کاهش می‌یابد.
کمبود کلسیم خون ← سبب افزایش هورمون پاراتیروئیدی می‌شود ← برداشت کلسیم از مادهٔ زمینه‌ای استخوان زیاد می‌شود.
→ کلسیم خون زیاد شده تا به حد نرمال برسد.

غده‌های فوق کلیه

دو غده درون‌ریز در دو طرف بدن چسبیده به بالای هر کلیه وجود دارند. هرکدام از غدد فوق کلیه از **دو بخش مستقل** قشری و مرکزی با کارها و هورمون‌های مختلف تشکیل شده‌اند که آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم.



«غدهٔ فوق‌کلیه»

۱) بخش مرکزی غدهٔ فوق کلیه

این بخش اثراتی شبیه عصب سمپاتیک (*هم‌حس*) برای شرایط **آماده باش و تنش محیطی** ایجاد می‌کند. بخش مرکزی غدهٔ فوق کلیه ساختار **عصبی** دارد و غده‌ای با ساختار پوششی نمی‌باشد. این بخش در شرایط تنش محیطی، به صورت آنی با تولید دو هورمون **اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین** باعث تغییراتی مثل افزایش ضربان قلب (*اثر بر ماهیچهٔ گرهی قلب*)، فشار خون، گلوکز خوناب (*انرژی در دسترس بدن*↑) و گشاد کردن نایژک‌ها در شش‌ها می‌شود و بدن را برای **پاسخ‌های کوتاه‌مدت** به تنش‌ها آماده می‌کند.

نکته

کار اعصاب در مقایسه با هورمون‌ها، سریع‌تر و کم‌دوام‌تر می‌باشد. پس در هنگام تنش‌های محیطی ابتدا اعصاب سمپاتیک و سپس بخش **مرکزی** غدهٔ فوق کلیه با تولید هورمون‌ها نقش ایفا می‌کنند.

نکته

اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین تنها هورمون‌هایی هستند که مشترکاً هم قند خون، هم فشار خون و هم هوارسانی به حبابک‌های ششی را زیاد می‌کنند.

۲) بخش قشری غدهٔ فوق کلیه

این بخش از غدهٔ فوق کلیه می‌تواند توسط هورمون **کورتیزول** خود به تنش‌های **طولانی**‌مدت و عوارض آن‌ها پاسخ دهد و بدن را برای مقابله با تنش‌های مهم مثل غم از دست دادن نزدیکان مقاوم‌تر می‌کند.

نکته
در پاسخ به تنش‌های محیطی، بخش قشری پاسخ **دیر**پای بادوام ولی بخش مرکزی پاسخ کوتاه‌مدت آنی می‌دهد در حالی که پاسخ عصب سمپاتیک از هر دوی آن‌ها سریع‌تر و کم‌دوام‌تر می‌باشد.

● **از نظر سرعت پاسخ به تنش‌های محیطی:**

اعصاب سمپاتیک < بخش مرکزی غدد فوق کلیه < بخش قشری غدد فوق کلیه

هورمون‌های بخش قشری غدهٔ فوق کلیه:

- **کورتیزول:** این هورمون در تنش‌های **طولانی‌مدت** با **افزایش گلوکز خون** و انرژی در دسترس بدن سبب پاسخ دیرپا می‌شود ولی اگر این تنش‌ها طولانی‌تر و بادوام‌تر شود، زیادی این هورمون می‌تواند **سبب تضعیف یا سرکوب سیستم ایمنی** نیز بشود (*چون باعث تجزیه پروتئین‌ها از جمله پادتن‌ها می‌شود و احتمال بیماری خیز در فرد زیاد می‌شود*).
- **آلدوسترون:** این هورمون سبب افزایش بازجذب سدیم از کلیه‌ها شده و با افزایش فشار اسمزی خوناب در پی فعالیت آن، کلیه‌ها با بازجذب آب، حجم و فشار خون را به حد طبیعی برمی‌گردانند.
- **هورمون‌های جنسی:** در هر **دو جنس** مرد و زن، مقداری از همهٔ هورمون‌های جنسی استروژن، پروژسترون و تستوسترون به خون ترشح می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) هورمون‌های بخش مرکزی فوق کلیه (*اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین*)، **هم قند خون و هم فشار خون** را بالا می‌برند ولی در بین هورمون‌های بخش قشری، آلدوسترون **فقط فشار خون** را بالا می‌برد و کورتیزول **فقط قند خون** را بالا می‌برد.

۲) هر هورمونی که قند خون را بالا می‌برد، در حقیقت انرژی در دسترس یاخته‌ها یعنی گلوکز را برای تنفس یاخته‌ای و تولید *ATP* بالا می‌برد.

۳) هورمون‌های رشد، اپی نفرین، نوراپی‌نفرین، کورتیزول و گلوکاگون قند خون یعنی گلوکز خون و انرژی در دسترس بدن را بالا می‌برند ولی انسولین برعکس آن‌ها عمل می‌کند و گلوکز پلاسما را کاهش می‌دهد.

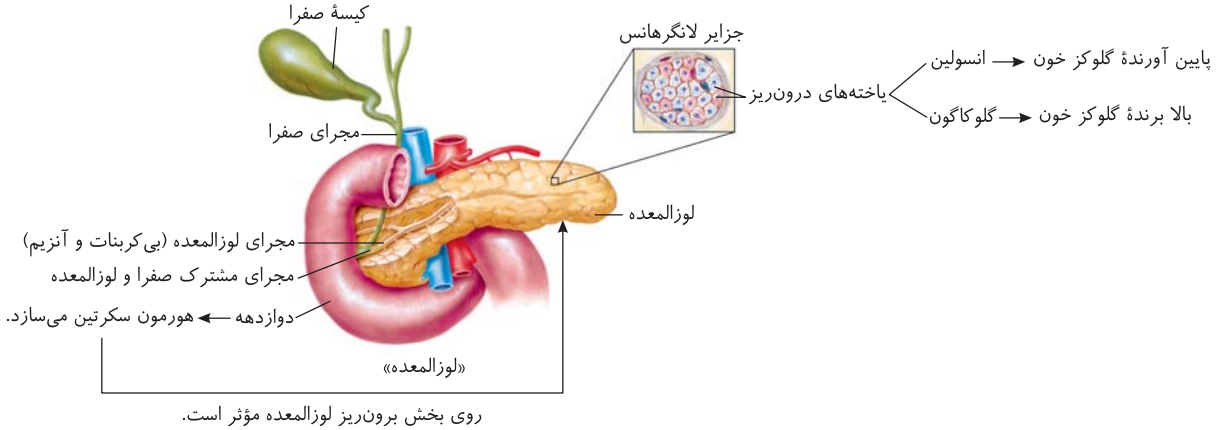
۴) مقدار ترشح هورمون‌های جنسی بخش قشری غدهٔ فوق کلیه **بسیار کمتر** از غدد جنسی بیضه و تخمدان می‌باشد ولی در غدهٔ فوق کلیه یک زن یا یک مرد علاوه بر هورمون‌های جنسی مربوط به آن فرد، هورمون جنسی مربوط به جنسیت دیگر نیز ترشح می‌شود.

۵) دقت کنید که هورمون‌های محرک جنسی روی ترشح هورمون‌های جنسی مترشحه از غدد فوق‌کلیه تأثیری ندارند.

مثال: در یک زن
- غدد ترشح‌کننده استروژن و پروژسترون ← دو تخمدان و دو غدهٔ فوق کلیه
- غدد ترشح‌کننده تستوسترون ← بخش قشری دو غدهٔ فوق کلیه

غدهٔ لوزالمعده

همان‌طور که در زیست دهم خواندید غدهٔ لوزالمعده یا پانکراس در **پشت** معده قرار گرفته است. این غده دارای یک بخش برون‌ریز با مجاری مشخص برای خروج فراورده خود یعنی **آنزیم‌های گوارشی و بیکربنات می‌باشد. لوزالمعده** همچنین دارای یک بخش درون‌ریز به نام **جزایر لانگرهانس** می‌باشد. جزایر لانگرهانس به صورت مجموعه‌ای از یاخته‌های **مترکز درون‌ریز** در بین بخش‌های برون‌ریز لوزالمعده قرار دارد که هورمون‌های **گلوکاگون و انسولین** را برای تنظیم قند خون به درون خون ترشح می‌کند.



روی بخش برون‌ریز لوزالمعده مؤثر است.

نکات بخش برون‌ریز لوزالمعده

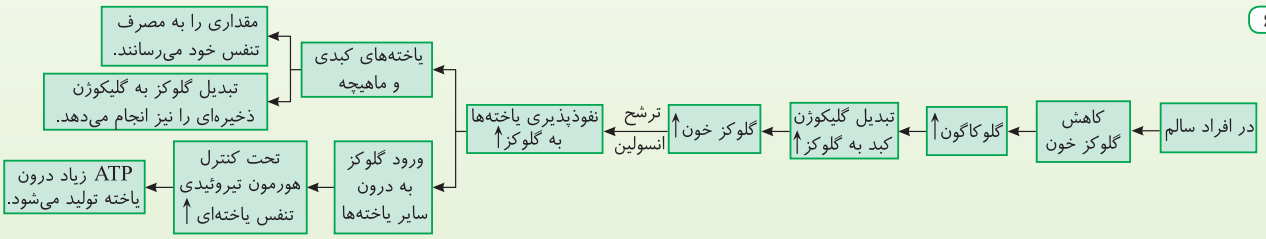
۱) آنزیم‌های مؤثر بر **گوارش شیمیایی** همه نوع مواد غذایی را به همراه بیکربنات زیادی وارد **دوازدهه** می‌کنند.
۲) پروتئاز مترشحه از آن مانند سایر آنزیم‌های گوارشی، قوی و متنوع هستند ولی برخلاف آن‌ها به صورت **غیرفعال** وارد روده شده و سپس فعال می‌شود.
۳) در بین آنزیم‌های گوارشی پانکراس، فقط آمیلاز آن قدرت تولید مونومر یا مونوساکارید ندارد و حداکثر می‌تواند مالتوز دی‌ساکاریدی را از یک پلی‌ساکارید (نشاسته) جدا کند.
۴) تحریک غدد برون‌ریز لوزالمعده در اثر هورمون گوارشی سکرتین، سبب **افزایش** ترشح **بیکربنات لوزالمعده به دوازدهه** می‌شود.
۵) مجرای خروجی اصلی از بخش برون‌ریز لوزالمعده، در نهایت با مجاری صفراوی مشترک شده و به دوازدهه وارد می‌شوند.
۶) بیکربنات مترشحه از لوزالمعده، سبب خنثی کردن اسید معده در دوازدهه می‌شود. به این ترتیب هم دیوارهٔ دوازدهه را از اثر اسیده معده حفظ می‌کند و هم محیط مناسب برای فعالیت آنزیم‌های درون رودهٔ باریک را فراهم می‌کند.

نکات بخش درون‌ریز لوزالمعده

۱) این بخش به صورت مجموعه‌ای از یاخته‌های پوششی کنار هم به صورت یک غده به نام جزایر لانگرهانس در **بین بخش برون‌ریز** وجود دارد. (*اطراف جزایر لانگرهانس یاخته‌های غدد برون‌ریز قرار دارد ولی خود این جزایر از یاخته‌های درون‌ریز ایجاد شده‌اند.*)
۲) جزایر لانگرهانس، بخش درون‌ریز هستند و مجرای مشخصی برای خروج فراورده خود ندارد.
۳) بخش درون‌ریز لوزالمعده برای تنظیم کننده قند خون دو هورمون ترشح می‌کند. انسولین کاهنده گلوکز خون و گلوکاگون افزاینده قند خون (*گلوکز خون*) ترشح می‌کند.
۴) انسولین و گلوکاگون از یاخته‌های درون‌ریز **متفاوتی** از جزایر لانگرهانس لوزالمعده به خون ترشح می‌شوند.
۵) هورمون گلوکاگون با تجزیه گلیکوژن به گلوکز از مقدار ذخایر هیدرات کربنی **کبد** کم کرده و به مقدار گلوکز خون یا انرژی در دسترس تنفس یاخته‌ای می‌افزاید. این هورمون در پاسخ به **کاهش گلوکز خون**، ترشح می‌شود و قند یا گلوکز خون را بالا می‌برد.
۶) هورمون انسولین مهم‌ترین هورمون تنظیم‌کننده قند خون می‌باشد چون در مقابل مقدار زیادی هورمون افزاینده قند خون، انسولین تنها هورمون **کاهنده قند خون** می‌باشد. **وقتی گلوکز خون زیاد باشد، ترشح انسولین بالا رفته و نفوذپذیری هر یاخته بدن را به گلوکز افزایش می‌دهد.** وقتی گلوکز به **درون یاخته‌ها** وارد شود **تنفس یاخته‌ای** زیاد شده و مقدار **تولید ATP** یا انرژی یاخته‌ای بالا می‌رود و **قند خون کاهش می‌یابد.** از طرفی انسولین، گلوکز خون را در کبد و ماهیچه که وارد می‌کند مقدار اضافه بر نیاز آن‌ها را دوباره به ذخایر گلیکوژنی تبدیل می‌کند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) انسولین، انرژی در دسترس بدن یعنی گلوکز خون را کاهش می‌دهد ولی نفوذپذیری یاخته‌ها به گلوکز را زیاد می‌کند تا قند خون کم شود.
۲) انسولین با اثر بر ماهیچه و کبد، سبب ورود گلوکز به آن‌ها شده و این اندام‌ها گلوکز را برحسب نیاز خود تجزیه کرده و اضافی آن را به صورت گلیکوژن ذخیره می‌کنند ولی در سایر یاخته‌ها گلوکز ورودی فقط به مصرف تنفس یاخته‌ای می‌رسد و ذخیره نمی‌شود.
۳) هورمون‌های گلوکاگون، کورتیزول، اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین و هورمون رشد، قند خون را بالا می‌برند.
۴) ترشح هورمون‌های انسولین و گلوکاگون، توسط هیپوتالاموس و هیپوفیز کنترل **نمی‌شود**.
۵) هورمون‌های تیروئیدی و انسولین روی هر یاخته‌ای اثر می‌کنند (*این هورمون‌ها در هر یاخته بدن گیرنده اختصاصی دارند*). انسولین سبب افزایش نفوذپذیری یاخته‌ها به گلوکز می‌شود ولی هورمون تیروئیدی برحسب نیاز یاخته به *ATP*، مقدار تجزیهٔ گلوکز یا تنفس یاخته‌ای را تنظیم می‌کند.
۶)



۷) اگر هورمون انسولین وجود نداشت، گلوکزهای خون قدرت ورود به یاخته‌های بدن را نداشتند در این صورت گلوکز اضافی پلاسما وارد ادرار می‌شد. این حالت سبب غلیظ شدن ادرار و در پی آن افزایش حجم و آب ادرار می‌شود که سبب ایجاد بیماری دیابت شیرین خواهد شد.

دیابت

در انسان دو نوع بیماری دیابت شیرین و دیابت بی‌مزه وجود دارد که ویژگی مشترک هر نوع دیابتی **زیاد بودن حجم ادرار** می‌باشد.

انواع دیابت

۱) دیابت بی‌مزه

همان‌طور که در سال قبل دیدید در این نوع دیابت، هورمون **ضد ادراری** از غدهٔ هیپوتالاموس ترشح نمی‌شود و بازجذب آب به مقدار مناسب از کلیه‌ها صورت نمی‌گیرد به همین دلیل فرد ادرار رقیق زیادی از بدن خارج می‌کند. در ادامه، فرد احساس تشنگی زیادی دارد تا آب از دست رفته را برای توازن آب و یون بدن تنظیم کند.

نکته

در بیماری دیابت بی‌مزه، **مقدار قند خون** مشکلی ندارد و مشکل اصلی بدن، دفع آب اضافی می‌باشد. در این بیماری غدهٔ هیپوتالاموس در تولید **هورمون ضد ادراری** مشکل دارد و بازجذب آب از کلیه به خوبی صورت نمی‌گیرد در حالی‌که این بیماری به مقدار ترشح هورمون **آزاد و مهارکننده هیپوتالاموسی** وابسته نمی‌باشد.

● ۲) دیابت شیرین

اگر **به هر دلیلی**، یاخته‌های بدن نتوانند گلوکز را از خون بگیرند و در تنفس یاخته‌ای از آن *ATP* به دست بیاورند، مقدار گلوکز خون افزایش می‌یابد. وقتی گلوکز خون بالا برود، غلظت و فشار اسمزی خون نیز بالا می‌رود و به دنبال آن برای برقراری فشار اسمزی مناسب پلاسما، جذب آب از روده نیز افزایش می‌یابد و این افزایش حجم و فشار خون سبب خروج گلوکز و به دنبال آن آب زیاد از ادرار می‌شود.

نکته

در حالت عادی نباید در ادرار فرد سالم، گلوکز وجود داشته باشد. اگر به هر دلیلی، گلوکز در ادرار فرد ایجاد شود به معنی ایجاد بیماری دیابت شیرین در فرد می‌باشد.

علائم دیابت شیرین (مرض قند)

در این بیماران علائمی مثل زیادی حجم ادرار، افزایش قند خون، پیدایش قند در ادرار و تشنگی به همراه نوشیدن زیاد وجود دارد.

نکته

دقت کنید که **افزایش قند در ادرار** عبارت درستی برای بیماران دیابتی نیست چون در حالت عادی، در ادرار یک فرد **سالم** گلوکزی وجود ندارد. پس **پیدایش** قند در ادرار از علائم دیابت شیرین می‌باشد **نه افزایش** قند در ادرار!!!

نکته

در حالت عادی هورمون انسولین **نفوذپذیری یاخته‌ها به گلوکز** را زیاد می‌کند. یاخته می‌تواند از این گلوکز برای تنفس یاخته‌ای استفاده کند و یا در ماهیچه و کبد، با تولید گلیکوژن، مقدار ذخایر بدن را زیاد کند.

علت بیماری دیابت شیرین و عوارض آن

در بیماری دیابت شیرین به دلیل عدم قدرت یاخته‌ها در پذیرش گلوکز و نیاز آن‌ها به *ATP* یا انرژی زیستی، **ابتدا** ذخایر **گلیکوژنی** بدن به گلوکز تبدیل شده **ولی چون نفوذپذیری یاخته‌ها به گلوکز کم شده است**، بیشتر این گلوکز از ادرار دفع می‌شود در حالی‌که باید از این گلوکز برای تولید *ATP* در تنفس یاخته‌ای استفاده کرد. وقتی ذخایر گلیکوژنی بدن رو به اتمام می‌گذارد و گلوکزها از ادرار دفع می‌شوند، بدن مجبور می‌شود برای تولید انرژی مورد نیاز خود ابتدا از **چربی** و سپس در موارد شدیدتر از **پروتئین‌های** خود برای **تولید انرژی** استفاده کند. با شروع تولید انرژی از چربی‌ها و سپس پروتئین‌ها، **کاهش وزن** در بدن آغاز می‌شود. **پس از قند**، در ابتدا **چربی‌ها** برای ایجاد انرژی به مصرف می‌رسند و در اثر **تجزیه چربی‌ها**، محصولات **اسیدی** تولید می‌شود که سبب پایین آوردن *pH* خون می‌شود. تغییر در *pH* سبب غیرفعال شدن آنزیم‌های بدن و در ادامه در صورت عدم درمان سبب به اغما رفتن و مرگ فرد می‌شود. **پس از قندها و چربی‌ها**، بدن برای به دست آوردن انرژی به سمت **خودسوزی** یعنی مصرف **پروتئین‌ها** می‌رود. پروتئین‌های بدن یعنی کلاژن‌ها، پادتن‌ها و سایر پروتئین‌های دفاعی در ایجاد اسکلت بدن و مقاومت بدن مؤثرند. سوء استفاده از پروتئین‌ها و تجزیه آن‌ها به منظور ایجاد انرژی سبب کاهش مقاومت بدن در مقابل عوامل بیماری‌زا و صدها مشکل دیگر می‌شود. در این موقع با کم شدن پروتئین‌های خون، موارد خیز یا ادم در فرد مشاهده می‌شود.

نکته

چون مقاومت ایمنی یا دفاعی بدن یک فرد دیابتی کاهش یافته است، این افراد باید **بهداشت** خود را بیش از پیش رعایت کنند و مراقب **زخم‌ها و سوختگی‌ها** (*هرچند کوچک*) برای ورود عوامل بیگانه به بدن باشند.

- انواع دیابت شیرین
  - **دیابت نوع ۱**
    - ۱) در این بیماری تولید و ترشح انسولین **متوقف می‌شود یا کاهش** می‌یابد و مقدار انسولین کافی نیست.
    - ۲) یک بیماری **خود ایمنی** می‌باشد.
    - ۳) دستگاه ایمنی فرد یاخته‌های تولیدکننده انسولین در جزایر لانگرهانس لوزالمعده را از بین می‌برد.
    - ۴) برای کنترل بیماران باید **تزریق انسولین** صورت بگیرد.
    - ۵) اغلب در سنین پایین‌تر از ۴۰ سال ایجاد می‌شود.
  - **دیابت نوع ۲**
    - ۱) تولید انسولین در این بیماری هیچ اختلالی ندارد و انسولین به مقدار کافی در خون وجود دارد.
    - ۲) گیرنده‌های یاخته‌ها به انسولین پاسخ نمی‌دهند و گلوکز در اختیار یاخته‌ها قرار نمی‌گیرد.
    - ۳) اغلب از حدود سن ۴۰ سال به بعد رخ می‌دهد.
    - ۴) می‌تواند در اثر چاقی یا عدم تحرک که زمینه بیماری را دارند در سنین بالای ۴۰ سال رخ دهد.

نکته

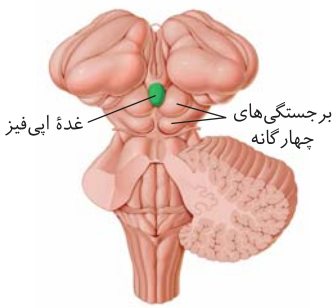
دیابت نوع ۱ در اثر تخریب یاخته‌های درون‌ریز انسولین‌ساز لوزالمعده رخ می‌دهد ولی دیابت نوع ۲ در اثر اشکال در گیرنده انسولین در یاخته‌های هدف رخ داده است. در هر صورت در هر دو مورد، ورود گلوکز به یاخته‌ها و تنفس یاخته‌ای کاهش می‌یابد.

نکته

کاهش ترشحات بخش برون‌ریز لوزالمعده، سبب می‌شود که کمبود لیپاز آن در تجزیهٔ چربی‌های رودهٔ باریک اختلال ایجاد شود. از طرفی کاهش ترشحات بخش درون‌ریز و انسولین آن، سبب افزایش مصرف و تجزیهٔ چربی‌ها می‌شود.

غدهٔ اپی‌فیز

غـده‌ای منفـرد درون مغز در بالای **برجستگی‌های چهارگانه** مغـز میانی یا در حقیقت بالای سـاقهٔ مغز می‌باشد. این غده، **هورمون ملاتونین** می‌سازد. تولید هورمون ملاتونین در پاسخ به تاریکی مثلاً در شب به حداکثر و در نزدیک ظهر به حداقل خود می‌رسد.



«جایگاه غدهٔ اپی‌فیز»

نکته
غـدهٔ اپی‌فیز انسـان وظیفه تولید هورمون ملاتونیـن دارد. وظیفه این **هورمون** در انسـان به خوبی مشخص نیست ولی به نظر می‌رسد سبب تنظیم و در ارتباط **با ریتم‌های شبانه‌روزی** باشد.

نکته
در مغـز گوسـفند، غـدهٔ اپی‌فیز در لبهٔ پایین بطن سـوم قـرار دارد که در عقب آن برجسـتگی‌های چهارگانه وجود دارد.

غدهٔ تیموس

غده‌ای در جلوی نای و پشـت جناغ می‌باشـد که به کمک **هورمون تیموسـین** مترشحه خود در تمایز برخی لنفوسیت‌ها (*لنفوسیت T*) و ایمنی یاخته‌ای نقش دارد که ضد ویروس، سرطان، بافت پیوند شده و برخی باکتری‌ها می‌باشد. این غده در دوران کودکی و نوزادی فعالیت زیادی دارد اما به تدریج از فعالیت آن کاسته می‌شود و اندازهٔ آن تحلیل می‌رود (*فصل ۵*). این غده در مسیر مجرای لنفی بزرگ سمت چپ بدن قرار گرفته است (*دهم*).

غدد جنسی

در زنان دو غده تخمدان با قدرت تولید هورمون‌های جنسـی اسـتروژن و پروژسـترون و در مردان دو عدد بیضه با قدرت تولید هورمون جنسـی تستوسـترون می‌باشـد که در فصل تولیدمثل (*فصل ۷*) آن‌ها را بررسـی می‌کنیم. این غدد تحت کنترل مسـتقیم هورمون‌های محرک جنسـی *FSH* و *LH* از هیپوفیز پیشین می‌باشند و به‌طور غیرمستقیم تحت کنترل هورمون آزادکننده و مهارکنندهٔ هیپوتالاموسی قرار می‌گیرند.

نکات اعمال هورمون‌ها روی یاخته‌ها

۱) همان‌طـور کـه ملاحظـه کردید **یک یاختـه** می‌تواند تحت تأثیر **چنـد نوع هورمون مختلف** بـرای فعالیت‌های گوناگون قرار بگیرد. مثلاً اسـتخوان‌ها تحت تأثیر هورمون رشد، T_3 و T_4 تیروئیدی، کلسی‌تونین، پاراتیروئیدی، انسولین و یا هورمون‌های جنسی مثل تستوسترون (*فصل ۷*) قرار می‌گیرند.

۲) ممکن است **چند یاخته متفاوت**، پیام **یک نوع هورمون** را دریافت کنند. مثلاً هورمون پاراتیروئیدی روی کلیه‌ها و استخوان اثر می‌کند یا هورمون‌های تیروئیدی و انسولین روی نفوذپذیری غشای یاخته‌های متفاوت برای جذب گلوکز از خون و تنظیم تجزیهٔ آن عمل می‌کنند.

۳) هورمون‌ها همواره پیکی برای پیام خود هسـتند و اثر خود در یاختهٔ هدف را براسـاس پیام پیک خود اعمال می‌کنند. براسـاس **نوع هورمون** و **نوع یاختهٔ هدف**، پیام هورمون به عملکرد خاصی تفسیر می‌شود.

مثال برای فهم بهتر: هورمون پاراتیروئیدی سـبب افزایش کلسـیم خون می‌شـود. این هورمون وقتی به کلیه‌ها می‌رسد، آنزیمی ایجاد می‌کند که سبب فعال شدن آنزیم‌هایی دیگر برای بازجذب کلسیم از کلیه می‌شود ولی در استخوان، آنزیمی را فعال می‌کند که سبب تجزیه استخوان شده و کلسیم را آزاد می‌کند. همین هورمون در رودهٔ باریک با فعال کردن ویتامین *D* به مقصود خود می‌رسد.

تنظیم مقدار هورمون‌ها در بدن

مقدار ترشـح هورمون‌ها در بدن انسـان **خیلی کم** می‌باشد. اما همین مقدار کم تأثیر بسیار مهمی در تنظیم فعالیت‌های بدن دارد. اگر همین مقدار کم هورمون‌ها به هر دلیلی تغییر جزئی کند، اثرات قابل ملاحظه‌ای در بدن ایجاد می‌کنند. پس باید مقدار هورمون‌ها در بدن به صورت بسیار دقیق تنظیم شود و در مواقعی ثابت، کم یا زیاد شود.

نکته
در برخی موارد اعصاب، مقدار ترشح هورمون‌ها را کنترل می‌کنند ولی مهم‌ترین روش برای تنظیم مقدار هورمون‌های بدن، **روش بازخوردی یا خودتنظیمی** ترشح هورمون‌هاست.

روش بازخوردی (خودتنظیمی)

روش رایجی برای تنظیم ترشـح هورمون‌هاسـت که مقدار یک هورمون یا مقدار تأثیر هورمون در بدن سـنجیده می‌شـود و با توجه به نیاز بدن مقدار همان هورمون در بدن کم یا زیاد می‌شود یا تغییر نمی‌کند.

این روش به دو نوع بازخوردی منفی (*خودتنظیمی منفی*) و بازخوردی مثبت (*خودتنظیمی مثبت*) تقسیم‌بندی می‌شود.

● الف) روش بازخوردی منفی (خودتنظیمی منفی)

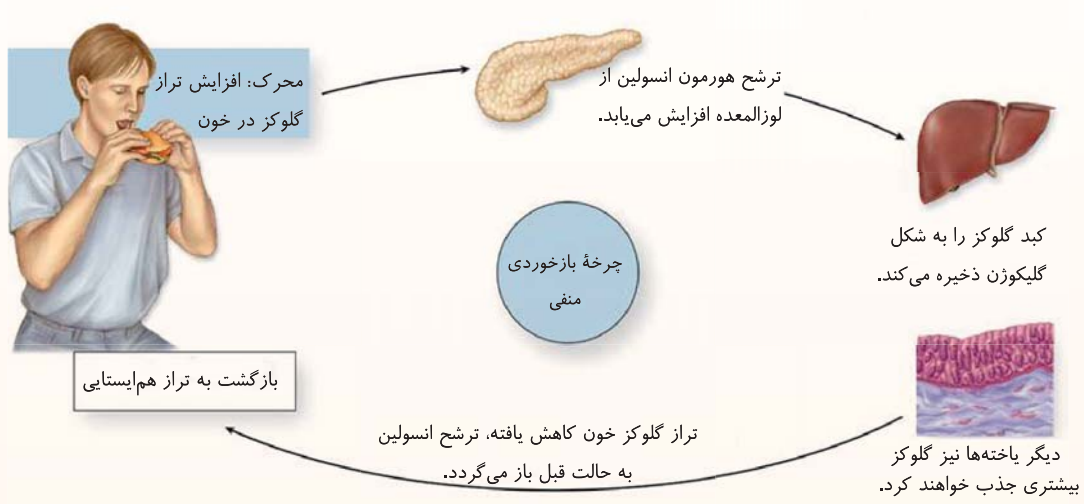
تنظیم مقدار **اغلب هورمون‌ها** در خون با روش **بازخوردی منفی** کنترل می‌شوند. بدن در این روش، مقدار یک هورمون یا تأثیر آن را می‌سنجد. اگر مقدار آن‌ها **بالاتر** از حد مورد نیاز بدن بود، سبب **کاهش** ترشح هورمون مربوطه می‌شود و اگر مقدار آن هورمون از حد طبیعی مورد نیاز بدن **کمتر** بود، سبب تحریک ترشح دستگاه درون‌ریز برای ترشح بیشتر آن هورمون می‌شود. این مکانیسم سبب می‌شود تا مقدار هورمون مورد نظر همواره در خون در حد مورد نیاز باقی بماند (به هر حال در این مکانیسم مقدار هورمون با مقدار قبل از بازخوردی سیر برعکس دارد).

مثالی از روش بازخوردی منفی برای تنظیم هورمون انسولین

می‌دانیم که وظیفه هورمون انسولین، پایین آوردن قند خون یا همان گلوکز خون می‌باشد. بعد از خوردن غذا به تدریج مقدار گلوکز خون بالا می‌رود. در این حالت لوزالمعده شروع به افزایش تولید انسولین کرده تا با اثر بر **کبد** و ماهیچه‌ها، گلوکز اضافی را از خون گرفته و به گلیکوژن ذخیره‌ای تبدیل کند و با اثر بر سایر یاخته‌های بدن قدرت جذب گلوکز آن‌ها را زیاد کرده تا تنفس یاخته‌ای و انرژی‌زایی افزایش یابد و بدین صورت مقدار قند خون پایین آمده و به حد طبیعی برسد. حالا که مقدار قند خون طبیعی شد، بدن آن را می‌سنجد و از اینجا به بعد با مکانیسم بازخوردی **منفی**، **مانع ترشح بیشتر** انسولین از لوزالمعده می‌شود.

نکته

به این کم شدن ترشح انسولین بعد از نرمال شدن قند خون، تنظیم بازخوردی یا خودتنظیمی منفی می‌گویند. در حقیقت بالا رفتن انسولین برای تنظیم قند خون، نوعی بازخوردی منفی نمی‌باشد. بلکه عمل آن هورمون را نشان می‌دهد ولی وقتی مقدار قند خون به حد طبیعی رسید، بدن با بازخوردی منفی، نمی‌گذارد مقدار انسولین از حد مورد نظر بالاتر برود. چون در این صورت مقدار قند خون به پایین‌تر از مقدار مورد نیاز یاخته‌ها می‌رسد.



«تنظیم بازخورد گلوکز با بازخورد منفی»

مثالی از بازخوردی منفی گلوکاگون

می‌دانیم که هورمون گلوکاگون، سبب افزایش گلوکز خون می‌شود. وقتی قند خون کم شود به‌طور طبیعی ترشح گلوکاگون از لوزالمعده زیاد شده تا با تجزیه گلیکوژن‌های **کبد**، مقدار گلوکز یا قند خون و انرژی در دسترس یاخته‌ها را بالا ببرد. وقتی مقدار قند خون طبیعی شد و بدن آن را سنجید حالا با مکانیسم بازخوردی **منفی**، مانع افزایش بیشتر ترشح گلوکاگون می‌شود.

نکته

در اینجا نیز دقت کنید که وقتی یک هورمون در حال انجام وظیفه خود می‌باشد، ترشح آن در بدن نوعی مکانیسم بازخوردی به حساب نمی‌آید ولی وقتی فعالیت هورمون سبب تنظیم عمل آن شد، سپس بدن با مکانیسم بازخوردی منفی مقدار ترشح آن را کاهش یا افزایش می‌دهد. مثلاً وقتی قند خون پایین است، ترشح زیاد گلوکاگون مکانیسم بازخوردی منفی نمی‌باشد ولی وقتی قند خون، از مقدار کم به مقدار طبیعی رسید، حالا بدن با تنظیم بازخوردی **منفی مانع ادامه** ترشح **زیاد** گلوکاگون می‌شود.

● ب) روش بازخوردی مثبت (خودتنظیمی مثبت)

در این روش که به **مقدار کمی** در بدن صورت می‌گیرد، افزایش مقدار یک هورمون یا تأثیر آن، باز هم بدن را وادار به افزایش ترشح همان هورمون می‌کند تا بدن به دلیل بیماری یا یک شرایط ویژه از حالت نرمال خارج شود.

نکته

مکانیسم بازخوردی مثبت در حالت‌های **غیرعادی** بدن انسان نیز صورت می‌گیرد که به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌کنیم.

۱) بازخوردی مثبت تنظیم LH در دوره جنسی زنان

در فصل ۷ می‌آموزید که در وسط دوره جنسی زنان و در هنگام تخمک‌گذاری با اینکه ترشح زیاد استروژن و در پی آن مقدار LH در حال افزایش می‌باشد ولی بدن باز هم با مکانیسم بازخوردی مثبت، استروژن بالا، مقدار LH خون را نیز بالاتر می‌برد تا سبب تکمیل میوز ۱ در تخمدان و پاره شدن فولیکول برای تخمک‌گذاری شود (این فرایند حالت خاص و یک روز در ماه برای تخمک‌گذاری می‌باشد).

۲) بازخوردی مثبت اکسی‌توسین در هنگام زایمان

هنگامی که خانم بارداری دچار دردهای زایمان می‌شود، هورمون اکسی‌توسین در خون زیاد می‌شود تا انقباضات رحم زیاد شود و جنین سریع خارج شود ولی با اینکه انقباضات زیاد و زیادتر می‌شود ولی بدن با بازخوردی مثبت روی هیپوتالاموس اثر کرده و باز هم تولید اکسی‌توسین را زیاد کرده تا انقباضات بیشتر و با فاصله کمتر صورت بگیرند و جنین سریع‌تر از بدن خارج شود و نوزاد متولد شود.

۳) بازخوردی مثبت اکسی‌توسین و پرولاکتین با مکیدن سینه مادر توسط نوزاد

بعد از زایمان هورمون پرولاکتین بالا می‌رود تا شیرسازی در غدد شیری انجام شود ولی مکیدن نوزاد سبب سیستم بازخوردی مثبت شده و هم سبب افزایش ترشح اکسی‌توسین برای خروج شیر و هم افزایش پرولاکتین برای ساخت شیر می‌شود.

هورمون	محل تولید	اندام هدف	محرک تولید	اثر در بدن
آزادکننده	هیپوتالاموس	هیپوفیز پیشین	کاهش هورمون‌های غدهٔ هیپوفیز پیشین **یا** اثر آن‌ها	زیادی ترشح هورمون‌های هیپوفیز پیشین
مهارکننده	هیپوتالاموس	هیپوفیز پیشین	افزایش هورمون‌های هیپوفیز پیشین یا اثر آن‌ها	کم کردن ترشح هورمون‌های هیپوفیز پیشین
اکسی‌توسین	هیپوتالاموس	رحم یا غدد شیری	شروع فرایند زایمان یا مکیدن نوزاد	افزایش انقباضات رحم - خروج شیر از غدد شیری
ضد ادراری (*ADH*)	هیپوتالاموس	کلیه‌ها	افزایش فشار اسمزی پلاسما	افزایش بازجذب آب از کلیه‌ها
هورمون رشد	هیپوفیز پیشین	استخوان‌ها	نیاز بدن به رشد	رشد استخوان‌ها و قد انسان تا چند سال پس از بلوغ
پرولاکتین	هیپوفیز پیشین	در زنان غده شیری، سیستم ایمنی و تنظیم آب بدن در مردان سیستم ایمنی، تولیدمثلی و تنظیم آب	نیاز به تولید شیر در زنان پس از زایمان	تولید شیر در غدد شیری زن تنظیم فعالیت تولیدمثلی در مردان حفظ تعادل آب و ایمنی بدن در زنان و مردان
محرک تیروئیدی	هیپوفیز پیشین	غدهٔ تیروئید	کمبود هورمون تیروئیدی	افزایش هورمون‌های یددار غدهٔ تیروئیدی
محرک فوق کلیه	هیپوفیز پیشین	غده‌های فوق کلیه	کمبود هورمون‌های غدهٔ فوق کلیه یا اثر آن‌ها	زیادی ترشح هورمون‌های غدهٔ فوق کلیه
محرک جنسی *LH* و *FSH*	هیپوفیز پیشین	بیضه‌ها یا تخمدان‌ها	کمبود هورمون‌های جنسی	محرک ترشح هورمون‌های جنسی
هورمون‌های تیروئیدی T_3 و T_4	غدهٔ تیروئید	کل یاخته‌های بدن	کمبود سوخت‌وساز بدن	افزایش سوخت‌وساز و تنفس یاخته‌ای بدن
کلسی‌تونین	غدهٔ تیروئید	استخوان	افزایش کلسیم پلاسما	مانع از تجزیه استخوان می‌شود و کلسیم خون را کم می‌کند.
هورمون‌های پاراتیروئیدی	۴ غدهٔ پاراتیروئید	استخوان کلیه‌ها ویتامین *D*	کاهش کلسیم پلاسما	افزایش برداشت کلسیم مادهٔ زمینه‌ای استخوان افزایش بازجذب کلسیم از کلیه‌ها تغییر ویتامین *D* برای جذب کلسیم در روده ← کلسیم خون ↑
اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین	مرکز غدهٔ فوق کلیه	اثر عمومی در بدن	تنش محیطی کوتاه‌مدت	افزایش ضربان قلب و فشار خون ↑ و قند خون ↑ و گشاد کردن نایژک‌ها
آلدوسترون	قشر غدهٔ فوق کلیه	کلیه‌ها	کمبود سدیم پلاسما یا کمبود حجم آب پلاسما	افزایش بازجذب سدیم و افزایش فشار خون
کورتیزول	قشر غدهٔ فوق کلیه	اثر عمومی بر کل بدن	تنش‌های محیطی طولانی و مهم	افزایش قند خون و کاهش عمل سیستم ایمنی

هورمون	محل تولید	اندام هدف	محرک تولید	اثر در بدن
هورمون‌های جنسی هر دو جنس	قشر فوق کلیه	اثر عمومی	نیاز به هورمون جنسی	تحریک گامت‌سازی و صفات ثانویهٔ جنسی می‌دهند.
گلوکاگون	لوزالمعده (جزایر لانگرهانس)	کبد	قند خون پایین	تجزیه گلیکوژن کبد به گلوکز را زیاد می‌کند و قند خون را بالا می‌برد. (انرژی در دسترس بدن را زیاد می‌کند.)
انسولین	لوزالمعده (جزایر لانگرهانس)	کل بدن	افزایش قند خون	نفوذپذیری یاخته‌ها به گلوکز را بالا می‌برد و گلوکز خون یا انرژی در دسترس بدن را کم می‌کند.
ملاتونین	اپی‌فیز	معلوم نیست	تاریکی	تنظیم ریتم شبانه‌روزی
تیموسین	غدهٔ تیموس	سیستم ایمنی	نیاز به بلوغ لنفوسیت‌ها	بلوغ و تمایز لنفوسیت‌های T
گاسترین	یاخته درون‌ریز معده نزدیک پیلور	یاخته‌های کناری و اصلی غدد معده	نیاز به اسید و آنزیم معده	محرک ترشح اسید معده و آنزیم پپسینوژن
سکرتین	یاخته‌های درون‌ریز دوازدهه	بخش برون‌ریز لوزالمعده	کاهش آنزیم‌ها و بیکربنات رودهٔ باریک	محرک ترشح آنزیم‌ها و بیکربنات از لوزالمعده به رودهٔ باریک
اریتروپویتین	کبد و کلیه‌ها	مغز قرمز استخوان	کاهش گویچه قرمز	محرک تولید هموگلوبین و گویچه قرمز

کاهش فعالیت غدهٔ	عوارض
هیپوتالاموس و هیپوفیز	نامنظم شدن ترشح هورمون‌های محرک، رشد بدن و پرولاکتین هیپوفیز پیشین - افزایش دفع آب از ادرار - اشکال در خروج شیر و جنین از بدن - روی تنظیم سدیم خون، قند خون، سوخت‌وساز بدن، فعالیت‌های جنسی، خواب، گرسنگی، فشار اسمزی، فشار خون، زنش قلب، هیجانات بدن، مقاومت با شرایط ناگوار مؤثر است.
تیروئید	۱) مقدار تجزیهٔ گلوکز و انرژی‌زایی یاخته، تنفس یاخته‌ای و واکنش‌های محتاج ATP در بدن دچار اختلال می‌شود. ۲) مقدار کلسیم خون زیاد می‌شود و برداشت کلسیم از استخوان‌ها افزایش یافته و سبب پوکی استخوان می‌شود.
پاراتیروئید	تنظیم کلسیم خون همانند کلسی‌تونین اختلال می‌یابد. کم‌کاری این غدد سبب کاهش کلسیم خون می‌شود. در حقیقت، کم‌کاری این غدد در تنظیم کلسیم خون، انعقاد خون، تولید لخته، فعال کردن ویتامین D، تراکم استخوان و مکانیسم انقباض ماهیچه‌ها و کار قلب و رگ‌ها اختلال ایجاد می‌کند.
مرکز فوق کلیه	نمی‌تواند در مقابل هیجانات و تنش‌های کوتاه‌مدت آنی واکنش افزایش قند، فشار خون و هوارسانی به شش‌ها را انجام دهد.
قشر فوق کلیه	نمی‌تواند در تنش‌های طولانی‌مدت سبب افزایش قند خون شود و پاسخ دیرپا به نیازهای عاطفی دهد. نمی‌تواند سبب تنظیم سدیم بدن شود و مقدار زیادی از سدیم را به دلیل کمبود آلدوسترون، وارد ادرار می‌کند.
لوزالمعده	سبب اختلال در قند خون، هیدرولیز غذا در دوازدهه و عدم تنظیم pH مناسب برای فعالیت آنزیم‌های روده می‌شود.
اپی‌فیز	اختلال در تنظیم ریتم شبانه‌روزی رخ می‌دهد.
تیموس	اختلال در بلوغ لنفوسیت‌های T رخ می‌دهد. مبارزهٔ بدن در مقابل ویروس و سرطان کاهش می‌یابد.

نکات ارتباط شیمیایی در جانوران دیگر

۱) در جانوران، ارتباط شیمیایی علاوه بر اینکه در **ارتباط بین یاخته‌ها** و اندام‌های خود جاندار نقش دارد سبب **ارتباط با افراد دیگر** محیط نیز می‌شود.

۲) فرومون نوعی ماده **شیمیایی** است که در **جانوران مختلفی** از یک فرد ترشح می‌شود تا در فرد یا افراد دیگری از **هم‌گونه‌های** خود، **پاسخ رفتاری** مناسب ایجاد کند (سبب کمک در زندگی گروهی می‌شود).

۳) **زنبورها** با ترشح فرومون به **هم‌گونه‌های** خود اطلاع یا هشدار می‌دهند که شکارچی در محیط آن‌ها وجود دارد.

۴) **مارها** از فرومون برای **جفت‌یابی** استفاده می‌کنند.

۵) **گربه‌ها** از **فرومون‌ها** برای **تعیین قلمرو** خود استفاده می‌کنند.

۶) فرومون همواره در هر جانوری توسط گیرنده‌های **شیمیایی** تشخیص داده می‌شود.

فصل پنجم
ایمنی

درسنامه

در این فصل می‌خواهیم به بررسی توانایی بدن انسان در **مقابله با عوامل بیماری‌زا** بپردازیم و اینکه چگونه مانع ورود میکروب‌ها به بدن می‌شویم و چگونه آن‌ها را بی‌اثر می‌کنیم یا چگونه از بروز اثر آن‌ها پیشگیری می‌کنیم.

نکته

پس از اختراع میکروسکوپ و شناسایی میکروب‌ها مشخص شد که این عوامل بسیار ریز می‌توانند بدن انسان را بیمار کنند. ابتدا **نظریه میکروبی بیماری‌ها** در قرن نوزدهم داده شد که بیان کرد میکروب‌های به این ریزی می‌توانند سبب بیماری‌زایی در بدن بزرگی مثل انسان یا سایر جانوران غول‌پیکر شوند.

- خطوط دفاعی بدن
  - خط اول دفاعی بدن (*ورود ممنوع*)
    - پوست
    - مخاط
  - خط دوم دفاعی بدن (*واکنش عمومی سریع*)
    - بیگانه‌خوارها
    - گویچه‌های سفید
    - پروتئین‌ها
    - پاسخ التهابی
    - تب

    دفاع غیراختصاصی می‌باشند و در مهره‌دار و بی‌مهره وجود دارد.
  - خط سوم دفاعی بدن (*دفاع اختصاصی*) ← به کمک لنفوسیت‌های B و T می‌باشد. ← مخصوص مهره‌داران می‌باشد.

نکته

در بدن انسان و سایر مهره‌داران، ایمنی به صورت دفاع غیراختصاصی و دفاع اختصاصی وجود دارد. دفاع غیراختصاصی که در همه جانوران وجود دارد، **می‌تواند در خط اول دفاعی مانع ورود عوامل به بدن و در خط دوم، یاخته و عوامل خودی را از عوامل بیگانه تشخیص دهد** و با طیف وسیعی از عوامل بیگانه مقابله کند ولی **بین عوامل بیگانه نمی‌تواند تفاوتی قائل شود** و به نوع آن عامل بیگانه کاری ندارد. پس دفاع غیراختصاصی دو خط اول دفاعی و دوم دفاعی دارد که در ادامه هرکدام از آن‌ها را در قالب یک گفتار جداگانه بررسی می‌کنیم.

نکته

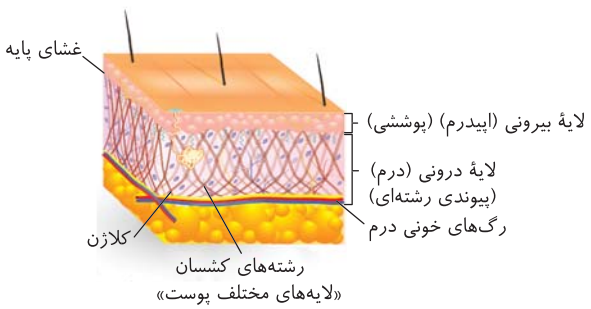
دفاع **اختصاصی** مخصوص **مهره‌داران** می‌باشد که همان خط یا سد سوم دفاعی است که به‌طور آهسته‌تر و پس از دو سد اولیه دفاع غیراختصاصی شروع به فعالیت می‌کند. هر عامل این دفاع، به‌طور اختصاصی در بین همه عوامل بیگانه **فقط یک نوع میکروب خاص را می‌تواند شناسایی کند** و فقط با آن مبارزه کند ولی بر انواع میکروب‌های دیگری اثر ندارد. (*دفاع اختصاصی وقتی وارد عمل می‌شود که میکروب از دو سد غیراختصاصی در امان مانده باشد.*)

گفتار ۱ نخستین خط دفاعی: ورود ممنوع

در بدن انسان، **پوست و مخاط**، دو سد محکم برای ممانعت از ورود میکروب‌ها به بخش‌های درونی می‌باشند. همان‌طور که می‌دانید، **جلوگیری از ورود میکروب‌ها**، بهترین راه در امان ماندن فرد از اثر مضر میکروب‌ها می‌باشد که در این خط دفاعی بدن از آن استفاده می‌کند. در ادامه به بررسی نقش‌ها و اثرات پوست سالم و لایه‌های مخاطی بدن انسان در دفاع غیراختصاصی می‌پردازیم.

بررسی پوست

پوست یک **اندام** حسی و دفاعی می‌باشد که دو **لایهٔ بیرونی و درونی** دارد. هر دو لایه **پوست سالم** از ورود میکروب‌ها و عوامل بیگانه به بدن جلوگیری می‌کنند. از طرفی ترشحاتی دارند که آن‌ها نیز به از بین بردن میکروب‌ها کمک می‌کنند.



«لایه‌های مختلف پوست»

۱) بررسی لایه‌های پوست

● الف) لایه بیرونی پوست (اپیدرم)

لایه یا قسمت خارجی پوست، خود از چندین لایه یاخته به هم فشرده پوششی سنگ‌فرشی (چندلایه‌ای) ایجاد شده است که فضای بین‌یاخته‌ای بسیار اندکی دارند. خارجی‌ترین لایه بخش بیرونی پوست **یک لایه یاخته مرده** (شاخی) دارد که میکروب‌ها به آن **می‌چسبند**. این لایه مرده **به تدریج** می‌ریزد و با ریختن آن **میکروب‌های متصل به آن** نیز از بدن جدا می‌شوند و لایه جدید دیگری جای آن را پر می‌کند (سرعت تقسیم یاخته در بخش پوششی پوست بسیار زیاد است). **داخلی‌ترین** یاخته‌های قرار گرفته در این لایه **روی غشای پایه‌ای** متشکل از شبکه‌ای از رشته‌های **پروتئینی و گلیکوپروتئینی** قرار گرفته‌اند. این غشای پایه حد فاصله لایه بیرونی و درونی پوست می‌باشد که البته با لایهٔ مردهٔ سطحی فاصله دارد.

● ب) لایه درونی پوست (درم)

لایه درونی پوست برخلاف لایه بیرونی، حاوی بافت **پیوندی رشته‌ای** محکمی می‌باشد. فضای بین‌یاخته‌ای آن بیشتر از بافت پوششی است ولی رشته‌هایی به طرز **محکم** در بین یاخته‌ها به هم تابیده شده‌اند که لایه‌ای **محکم و بادوام** را ایجاد کرده‌اند. **این لایه** اگر سالم باشد، **عملاً سدی محکم و غیرقابل** نفوذ برای ورود عوامل بیگانه می‌باشد. در این لایه هم رشته‌های محکم کلاژن و هم رشته‌های کشسان وجود دارند.

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) **چرم** ماده‌ای است که از بخش **درونی** پوست جانوران ساخته می‌شود (یعنی از بافت پیوندی رشته‌ای ایجاد شده است).

۲) در لایه داخلی پوست (درم)، رشته‌های کلاژن و رشته‌های کشسان در مادهٔ زمینه‌ای به طرز محکمی به هم تابیده شده‌اند.

۳) رگ‌های خونی زیادی به همراه برخی گیرنده‌های حسی مثل فشار، در لایه درونی پوست (درم) وجود دارند.

۴) در فصل ۲ آموختید که اغلب گیرنده‌های حس پیکری در لایه درونی پوست (درم) قرار دارند که به غیر از گیرنده درد، سایر آن‌ها دارای پوشش پیوندی در اطراف دندریت خود می‌باشند.

۲) ترشحات پوست

پوست علاوه بر اینکه به کمک لایه‌های یاخته‌ای آن سدی برای جلوگیری از ورود عوامل بیگانه ایجاد می‌کند حاوی غددی با بافت پوششی نیز می‌باشد. این غدد مواد ترشحی دفاعی مثل مواد **چرب و عرق** نیز به سطح پوست ترشح می‌کنند تا برخی از میکروب‌ها را از بین ببرند.

● الف) ترشح مادهٔ چربی پوست

سطح پوست را ماده‌ای **چرب** می‌پوشاند که به علت داشتن **اسیدهای چرب**، خاصیت اسیدی در سطح پوست ایجاد می‌کند. محیط اسیدی و pH کم، محیط مناسبی برای زندگی و رشد **میکروب‌های بیماری‌زا** نمی‌باشد چون اغلب آنزیم‌های آن‌ها در این pH از بین می‌روند.

نکته باکتری‌های تولیدکنندهٔ جوش صورت، تمایل زیادی برای زندگی در این غدد دارند که تجمع آن‌ها در پوست نوجوانان شایع می‌باشد.

نکته غدد چربی پوست، آنزیم لیزوزیم ترشح نمی‌کند.

● ب) عرق

عرق ماده‌ای ترشحی در **سطح پوست** می‌باشد که همانند اشک چشم، حاوی **نمک و آنزیم لیزوزیم** می‌باشد. **نمک نیز همانند چربی پوست** محیط نامناسبی برای رشد باکتری‌های بیماری‌زا ایجاد می‌کند و از طرفی **لیزوزیم‌های** موجود در عرق، سبب **مرگ** باکتری‌های **بیماری‌زا** می‌شوند.

نکته میکروب‌های مفید مختلفی در حالت معمولی در سطح پوست بدن ما زندگی می‌کنند که با شرایط مختلف مانند اسید حاصل از چربی‌ها یا با نمک موجود در عرق پوست سازگاری حاصل کرده‌اند. این عوامل با میکروب‌های **بیماری‌زای** سطح پوست برای به دست آوردن غذا و مواد حیاتی رقابت می‌کنند و **اغلب** پیروز می‌شوند. **این میکروب‌ها از تکثیر میکروب‌های بیماری‌زا جلوگیری می‌کنند** و برای بدن ما بیماری‌زا نمی‌باشند. لازم به ذکر است که دستگاه ایمنی اختصاصی و غیراختصاصی بدن نیز علیه آن‌ها واکنشی نشان نمی‌دهد چون اصلاً وارد محیط داخلی بدن نمی‌شوند.

بررسی مخاط دفاعی

در سطح بدن سوراخ‌ها و مجاری وجود دارند که پوست، روی آن‌ها را نپوشانده است و میکروب‌ها به آسانی می‌توانند از این سوراخ‌های تنفسی، گوارشی، منافذ ادراری و تناسلی عبور کنند و وارد بدن شوند (چون پوست همه جای بدن را نپوشانده است). سطح درونی **مجاری** تنفسی، گوارشی، ادراری و تناسلی را **مخاطی** پوشانده است که عوامل دفاعی متفاوتی برای جلوگیری از ورود میکروب‌ها به بخش‌های عمقی‌تر دارد.

نکته دقت کنید که **مجاری** دستگاه‌های تنفسی، ادراری، تناسلی و گوارشی حاوی مخاط در **سد اول دفاعی** می‌باشند ولی **غدد موجود در آن‌ها** مثل لوزالمعده، کبد، بیضه، تخمدان و ... حاوی این لایه مخاطی دفاعی نیستند.

مخاط دفاعی

لایه داخلی یا مخاطی مجاری تنفسی، گوارشی، ادراری و تناسلی حاوی یک **بافت پوششی با آستری از بافت پیوندی** می‌باشد. یاخته‌های پوششی این قسمت نیز مانند هر قسمت **پوششی** دیگری به هم چسبیده‌اند و سدی برای نفوذ میکروب‌ها ایجاد می‌کنند. یاخته‌های ترشح‌کنندهٔ این مخاط، ماده چسبناکی به نام **مادهٔ مخاطی** ترشح می‌کنند که از یک طرف میکروب‌ها را به دام می‌اندازند تا از پیش‌روی آن‌ها به قسمت‌های عمقی‌تر جلوگیری کند و از طرفی دیگر این مادهٔ مخاطی نیز همانند عرقِ روی پوست، آنزیم **لیزوزیم** برای کشتن باکتری بیماری‌زا دارد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اشک چشم که تحت کنترل پل مغزی ترشح می‌شود حاوی نمک و لیزوزیم می‌باشد و از قرنیه و صلبیهٔ چشم محافظت می‌کند.

۲) غدد عرق، بزاقی، اشک، مخاطی و چربی پوست، همگی فضای بین‌یاخته‌ای اندک داشته و همانند غدد معدی در خط اول دفاعی بدن مؤثرند. در بین آن‌ها فقط غدد چربی، قدرت تولید و ترشح لیزوزیم ندارد.

۳) **لیزوزیم** در سد اول دفاع غیراختصاصی، هم در **عرق** روی پوست و **اشک** چشم و هم در **مادهٔ مخاطی** وجود دارد.

۴) دستگاه‌های دارای مادهٔ مخاطی دفاعی (*گوارش، تنفس، دفع ادرار و تناسلی*) علاوه بر مادهٔ مخاطی، هرکدام عوامل دفاعی دیگری نیز برای مبارزه با میکروب دارند که شامل موارد زیر می‌باشند:

A) عطسه، سرفه، استفراغ، خارج کردن خلط، دفع مدفوع و ادرار از عوامل مهم در جهت خارج کردن میکروب‌های مجاری دستگاه‌های تنفسی، گوارشی و ادراری می‌باشند که در سد اول دفاع غیراختصاصی نقش دارند.

B) **مخاط مژک‌دار** موجود در مجرای **تنفسی** از **بینی تا نایژک مبادله‌ای** با زنش خود سبب انتقال میکروب‌ها به سمت حلق و ایجاد خلط می‌شوند که یا آن را به صورت ارادی از راه دهان خارج می‌کنیم و یا با انعکاس بلع آن را وارد دستگاه گوارش کرده تا توسط **اسید معده** میکروب‌های آن به همراه میکروب‌های غذا از بین بروند (*ترشحات مخاطی بخش هادی تنفس، لایه‌ای با ضخامت متفاوت ایجاد می‌کنند*).

C) **بزاق** لوله گوارش آنزیم لیزوزیم برای از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا دارد.

D) اسید معده، ماده‌ای است که میکروب‌های درون غذا و خلط وارد شده به لولهٔ گوارش را از بین می‌برد.

۵) **ساقهٔ مغز** با فعالیت پل مغزی (*ترشح بزاق و اشک*) و **بصل‌النخاع** (*بلع، عطسه و سرفه*) در سد اول دفاع غیراختصاصی نقش دارد.

درسنامه

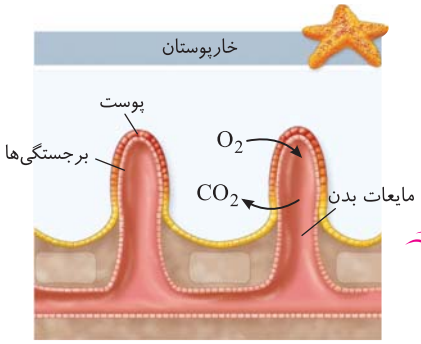
گفتار ۲ خط دوم دفاعی غیراختصاصی؛ واکنش‌های عمومی اما سریع

هر میکروبی از هر نوعی هنگام **ورود** به بدن باید با **خط اول دفاعی** یعنی **پوست و لایه‌های مخاطی** روبه‌رو شود. در یک بدن سالم این عوامل دفاعی **بدون** توجه به نوع میکروب و در حد توان خود که بسیار هم توان زیادی است مانع ورود میکروب به بدن می‌شوند **اما** اگر میکروبی توانست از سد اول دفاع غیراختصاصی (*پوست و لایه‌مخاطی*) عبور کند، حالا **سد دومی** که باز هم **غیراختصاصی** است سعی می‌کند آن را شناسایی کند و از بین برده یا بی‌اثر کند. این سد نیز همانند سد اول با اغلب عوامل بیگانه مبارزه می‌کند که در ادامه به بررسی عوامل مختلف این سد همچون یاخته‌های بیگانه‌خوار، گویچه‌های سفید، پروتئین‌های دفاعی، پاسخ‌های التهابی و تب می‌پردازیم.

نکته
مهم‌ترین **تفاوت** این خط دفاعی با خط قبلی در این است که این خط توانایی **تشخیص** یاخته و عوامل خودی را از عوامل بیگانه دارد و فقط بر علیه عوامل بیگانه مبارزه می‌کند ولی تفاوتی بین عوامل بیگانه قائل نمی‌شود و به همین دلیل غیراختصاصی است. در حقیقت عوامل دفاعی این سد، بیگانه‌ها را براساس ویژگی‌های **عمومی** آن‌ها شناسایی می‌کند.

مشاهدات ایلیا مچنیکوف (*Metchnikoff*)

مچنیکوف جانورشناسی بود که برای اولین بار یاخته‌های **بیگانه‌خوار** را کشف کرد. وی مشاهده کرد که **یاخته‌هایی شبیه آمیب** در درون بدن **لارو ستاره دریایی** می‌توانند **حرکت کنند و مواد اطراف خود را بخورند**. او خرده‌های ریزی از خارهای گل رز را به **زیر پوست** لارو ستاره دریایی وارد کرد و تا صبح فردا مشاهده کرد که یاخته‌های آمیبی اثری از این میکروب‌های عبور کرده از پوست جانور باقی نگذاشتند. او این یاخته‌ها را **بیگانه‌خوار** یا فاگوسیت‌کننده نامید و با مطالعاتی دربارهٔ نحوهٔ دفاع بدن در مقابل میکروب‌ها جایزه نوبل را نیز دریافت کرد.



«ساده‌ترین آبشش در ستارهٔ دریایی»

نکته
ستارهٔ دریایی جانوری **بی‌مهره** از گروه خارتنان و دارای دفاع غیراختصاصی است. از سال دهم به یاد دارید که این جاندار ساده‌ترین آبشش‌ها را به صورت پراکنده و کوچک در زیر همهٔ قسمت‌های پوست خود دارد. این برجستگی‌ها از زیر با هم در ارتباط هستند.

خودی و بیگانه

دستگاه ایمنی هر فرد در شرایط طبیعی، **یاخته‌های خودی و میکروب‌های مفید** خود را می‌شناسد. این دستگاه **تنها** در برابر غیرخودی‌ها یا بیگانه‌ها پاسخ یا واکنش نشان می‌دهد. دفاع غیراختصاصی در سد دوم خود (*بیگانه‌خوارها، گویچه‌های سفید، پروتئین‌ها، پاسخ التهابی و تب*) سازوکارهایی دارد که **بیگانه‌ها** را براساس **ویژگی‌های عمومی آن‌ها** شناسایی می‌کند و **نمی‌تواند یک میکروب را از بین سایر میکروب‌ها تشخیص دهد** به همین دلیل به آن دفاع **غیراختصاصی** می‌گویند. در حالی که در خط اول مانع ورود هر عامل خودی یا ناخودی می‌شود.

نکته
دقت کنید که همهٔ عوامل خط دوم دفاع اختصاصی انسان یعنی بیگانه‌خوارها، گویچهٔ سفید، التهاب، تب و پروتئین‌ها، پاسخ **عمومی اما سریع** ایجاد می‌کنند.

انواع سدهای دومین بخش دفاع غیراختصاصی

۱) بیگانه‌خوارها در دفاع غیراختصاصی

بیگانه‌خوارها یاخته‌های دفاعی **متنوعی** هستند که در **همه جای بدن** انسان حضور دارند. از آن‌ها می‌توان به **درشت‌خوارها**، **یاخته‌های دندریتی**، **ماستوسیت‌ها** و **نوتروفیل‌ها** اشاره کرد که در ادامه به بررسی نکات هرکدام از آن‌ها در مورد این فصل می‌پردازیم:

● **الف) درشت‌خوارها**

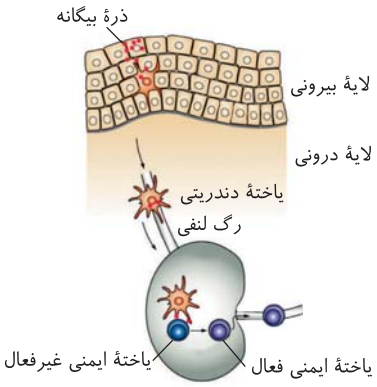
۱) منشأ آن‌ها از یاخته **مونوسیتی** خونی است که از رگ خونی خارج و با تغییر شکل حجیم شده‌اند. (*منشأ میلوئیدی از مغز استخوان دارند.*)
۲) مسئول بیگانه‌خواری باکتری‌ها، یاخته‌های مرده یا بقایای آن‌ها و ذرات گرد و غبار می‌باشد.
۳) در حبابک‌های **شُشی** مسئول بیگانه‌خواری باکتری‌ها و ذرات گرد و غبار فرار کرده از یاخته‌های مخاط مژک‌دار می‌باشند که توانایی حرکت نیز دارند ولی جزء یاخته‌های **دیواره حبابک** طبقه‌بندی **نمی‌شوند**.
۴) درشت‌خوارهای موجود در **کبد** و **طحال**، گویچه‌های قرمز مرده تخریب شده را پاکسازی می‌کنند.
۵) این یاخته‌ها پس از عمل اینترفرون نوع ۲، پادتن‌ها (*نوع اختصاصی*)، پرفورین‌ها و آنزیم‌های مرگ برنامه‌ریزی شده و پروتئین‌های مکمل نیز به تکمیل دفاع کمک می‌کنند.
۶) این یاخته‌ها در التهاب به همراه یاخته‌های دیوارهٔ مویرگ، توانایی تولید **پیک شیمیایی** برای فراخوان گویچه‌های سفید به ناحیه دارند.

● ب) نکات یاخته‌های بیگانه‌خوار دندریتی (دارینه‌ای)

۱) هر یاخته آن‌ها **انشعابات دندریت‌مانند** برای اتصال به میکروب دارند.

۲) در بخش‌هایی از بدن مثل **پوست، لولهٔ گوارش و تنفس** که با محیط بیرون در ارتباطند به فراوانی یافت می‌شوند (*در شکل مقابل می‌بینید که این یاخته‌ها در اپیدرم پوست و بافت غشای پایه نیز قرار دارند*).

۳) یاخته‌های دندریتی در رگ‌های لنفی نیز وجود دارند. وقتی عامل بیگانه درون پوست یا مخاط به این یاخته برخورد می‌کند، درون این بخش‌ها عوامل بیگانه توسط این یاخته‌های بیگانه‌خوار دندریتی، بیگانه‌خواری می‌شوند ولی برخی از قسمت‌های **سطحی** این میکروب‌ها در سطح یاخته‌های دندریتی باقی می‌مانند. یاخته‌های دندریتی که در سطح خود قسمتی از عامل بیگانه را دارند، وارد رگ‌ها و گره‌های لنفی می‌شوند. در ادامه درون رگ‌های لنفی، این بیگانه‌خوارها می‌توانند پس از اتصال یاختهٔ ایمنی غیرفعال به آن‌ها سبب ایجاد یاخته نوع فعال شوند و میکروب برای آن‌ها نیز شناخته شده شود. در حقیقت این یاخته‌های دندریتی برخورد کرده به میکروب به نزدیک‌ترین گره لنفاوی می‌رسند و با اتصال سطح حاوی میکروب خود به یاخته‌های ایمنی غیرفعال سبب فعال شدن آن‌ها و شناسایی نوع میکروب به‌طور اختصاصی نیز می‌شوند.



«نحوهٔ عملکرد یاخته‌های دندریتی»

نکته
منشأ درشت‌خوارها و یاخته‌های دندریتی، از **مونوسیت‌های** خارج شده از رگ خونی می‌باشد پس این بیگانه‌خوارها منشأ **میلوئیدی** در مغز استخوان دارند و فاقد دانه در سیتوپلاسم خود می‌باشند که البته هستهٔ یک‌قسمتی خمیده نیز دارند.

● ج) نکات ماستوسیت‌ها

۱) این یاخته‌ها نیز مانند یاخته‌های بیگانه‌خوار دندریتی در بخش‌هایی از بدن **که با محیط بیرون در ارتباطند**، مثل پوست، لوله گوارش و تنفس به فراوانی یافت می‌شوند.

۲) این یاخته‌ها ماده‌ای به نام **هیستامین** تولید می‌کنند که در موقع التهاب و حساسیت‌ها، از آن‌ها آزاد می‌شوند. هیستامین نوعی پیک شیمیایی **کوتاه‌برد** است که سبب گشاد کردن رگ‌ها و افزایش نفوذپذیری آن‌ها می‌شود. **گشاد** شدن رگ‌ها سبب **افزایش** جریان خون در ناحیه شده و قرمزی و گرما را به ناحیه می‌آورد. عوامل دفاعی خون نیز طی این عمل به ناحیه کشانده می‌شوند تا دفاع را کامل‌تر کنند.

۳) نفوذپذیری بیشتر رگ‌ها نیز که در اثر هیستامین رخ می‌دهد بیشتر شده و سبب خروج بیشتر خوناب (*پلاسما*) به خارج از رگ می‌شود. همان‌طور که می‌دانید **خوناب پر از پروتئین‌های دفاعی است** و این ویژگی نیز به **دفاع بدن** در خارج از خون (*در بافت‌ها*) کمک می‌کند.

۴) این یاخته‌ها، طی **التهاب**، اولین یاخته‌های بافتی هستند که **آسیب** می‌بینند و با تولید و آزاد کردن هیستامین سبب شروع فرایند پاسخ موضعی می‌شوند.

۵) ماستوسیت‌ها یاختهٔ بافتی هستند و به همراه یاختهٔ خونی بازوفیل در موقع حساسیت‌ها (*از بین بردن تحمل ایمنی*) با تولید هیستامین سبب قرمزی و آب‌ریزش بینی می‌شوند.

نکته
دقت کنید که یاخته‌های دندریتی و ماستوسیت‌ها خود در مجاور محیط بیرون قرار ندارند ولی در بخش‌هایی قرار دارند که آن بخش‌ها مثل اپیدرم پوست یا مخاط لولهٔ گوارش با محیط بیرون **در ارتباط** می‌باشند.

● د) نوتروفیل

نوعی یاخته خونی از نوع گویچه‌های سفید می‌باشد که دارای **هسته‌ای چندقسمتی با سیتوپلاسمی حاوی دانه‌های روشن ریز** با منشأ میلوئیدی از مغز استخوان می‌باشد. این یاخته‌ها توانایی **بیگانه‌خواری** دارند و قادرند از رگ خونی خارج شده و با میکروب‌ها مبارزه کنند. ویژگی‌های این یاخته را در قسمت گویچهٔ سفید نیز بررسی می‌کنیم.

نکته
همهٔ بیگانه‌خوارها توانایی حرکت و انجام عمل **بیگانه‌خواری** (*زره‌خواری*) دارند. یعنی با صرف انرژی می‌توانند طی فرایند درون‌بری، بیگانه‌خواری کنند و در سد دوم دفاع غیراختصاصی به‌کار بروند ولی دقت کنید که هر یاخته بیگانه‌خواری از نوع یاخته درشت‌خوار نمی‌باشد و بین بیگانه‌خوارها نیز، فقط نوتروفیل، یک نوع **یاختهٔ خونی** است.

نکته
نوتروفیل در خط دوم دفاع غیراختصاصی، هم در بیگانه‌خواری، هم به عنوان گویچهٔ سفید بودن در دفاع خون و هم در فرایند التهاب اثر دارد. از طرفی در اثر آلوده شدن به ویروس نیز می‌تواند مانند هر یاختهٔ دیگری، اینترفرون نوع ۱ بسازد (*جلوتر بررسی می‌شود*).

۲) گویچه‌های سفید در دفاع غیراختصاصی

گویچه‌های سفید خون یاخته‌های **دفاعی بدن** می‌باشند که در جریان بیماری‌های **میکروبی**، تعداد آن‌ها **افزایش** می‌یابد (*بین تعداد آن‌ها و مقدار میکروب در بدن رابطه مستقیم وجود دارد*). این یاخته‌های خونی **همگی تک‌هسته‌ای** هستند و ژنوم خطی هسته و حلقوی در راکیزه‌های خود با تنفس هوازی دارند.

خاصیت تراگذری (دیاپدز)

گویچه‌های **سفید** درون بخش یاخته‌ای **خون** قرار دارند ولی میکروب‌ها **علاوه بر خون**، در خارج از رگ خونی و در **همه جای بدن** وجود دارند. دانشمندان با پیشرفت در زمینه رنگ‌آمیزی و کار با میکروسکوپ متوجه شدند که **همهٔ** گویچه‌های سفید قادرند از **دیواره مویرگ‌های خونی** خارج شوند و **وارد بافت‌ها** شوند و در آنجا نیز با عوامل بیماری‌زا مبارزه کنند. به فرایند عبور گویچه‌های **سفید** از دیواره مویرگ‌های خونی، تراگذری یا دیاپدز می‌گویند. این ویژگی در **نوتروفیل‌ها و مونوسیت‌ها** بیشتر از سایر گویچه‌های سفید دیده می‌شود ولی در **همه گویچه‌های سفید خون** (*جزء تفوسیت‌ها*) ویژگی **دیاپدز** یا **تراگذری** وجود دارد.


«تراگذری گویچهٔ سفید»

انواع گویچه‌های سفید خون
(در خون و بافت وجود دارند و همگی تک‌هسته‌ای دفاعی می‌باشند.)

دارای سیتوپلاسم دانه‌دار

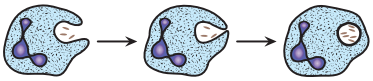
یاخته‌هایی با **یک** هستهٔ چندقسمتی و سیتوپلاسم دانه‌دار می‌باشند که از یاخته بنیادی **میلوئیدی مغز استخوان** منشأ گرفته‌اند و همگی فقط تنفس هوازی دارند.

انواع

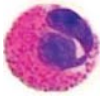
۱) نوتروفیل‌ها



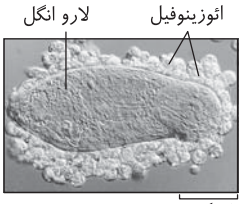
A) نیروهای واکنش **سریع** در مقابل عوامل بیماری‌زا هستند.
B) قدرت تراگذری (دیاپدز) سریع و بیگانه‌خواری قوی برای نابودی میکروب‌های بافتی دارند.
C) در خون و بافت با عامل بیماری‌زا مقابله می‌کنند ولی مواد دفاعی **زیادی** را حمل نمی‌کنند (یعنی مواد دفاعی کمی را حمل می‌کنند).
D) هستهٔ چندقسمتی و سیتوپلاسم با دانه‌های **روشن ریز** ولی به مقدار کم دارند و به همین دلیل **چابک** می‌باشند.
در التهاب و بیگانه‌خواری در دفاع غیراختصاصی نقش دارد.


«بیگانه‌خواری نوتروفیل‌ها»

۲) ائوزینوفیل‌ها

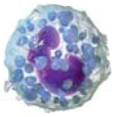


A) هستهٔ **دوقسمتی دمبلی** و سیتوپلاسمی با **دانه‌های روشن دفاعی درشت** دارند.
B) قدرت بیگانه‌خواری انگل‌ها را **ندارند**.
C) محتویات دانه‌های **روشن** خود را روی عوامل بزرگ‌تر مثل انگل‌ها (کرم‌ها) می‌ریزند.
D) در عفونت‌های انگلی مقدار آن‌ها زیاد شده و دور لارو انگل‌ها می‌توانند قرار بگیرند.
اندازهٔ آن‌ها کمتر از ۱۵ میکرومتر است.



«ائوزینوفیل‌ها لارو انگل را احاطه کرده‌اند.»

۳) بازوفیل‌ها


«بازوفیل»

A) هسته دوقسمتی روی هم افتاده با سیتوپلاسم همراه دانه‌های تیره دارند.
B) در حساسیت‌ها به همراه ماستوسیت‌ها هیستامین ترشح می‌کنند.
C) قدرت تولید و ترشح **هپارین** برای **ممانعت** از انعقاد خون دارند (مانع تشکیل ترومبین و فیبرین می‌شود).

فاقد سیتوپلاسم دانه‌دار
(هسته یک‌قسمتی دارند.)

۱) مونوسیت‌ها



A) منشأ آن‌ها از یاخته بنیادی **میلوئیدی** مغز استخوان می‌باشد.
B) هسته تکی خمیده یا لوبیایی و سیتوپلاسم بدون دانه دارد.
C) قدرت تراگذری و خروج از رگ خونی دارد.
D) پس از خروج از رگ تغییر شکل می‌یابند و به **درشت‌خوارها و یاخته‌های دندریتی** (یاخته‌های غیرخونی) که **هر دو بیگانه‌خوارند** تبدیل می‌شوند.

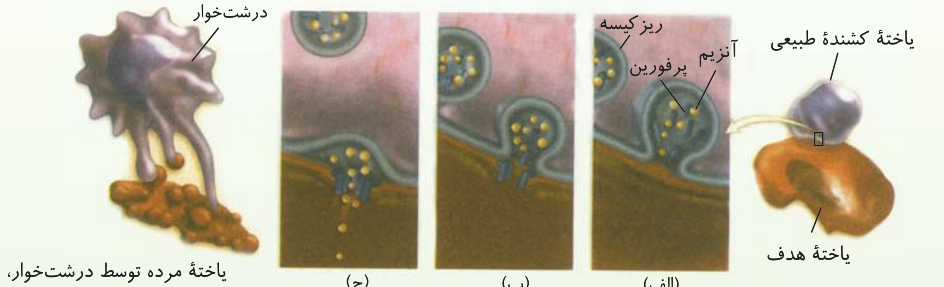
۲) لنفوسیت‌ها



A) منشأ آن‌ها با سایر گویچه‌های خونی متفاوت است و از یاخته **بنیادی لنفوئیدی مغز استخوان** منشأ می‌گیرند.
B) هسته تکی گرد یا بیضی و سیتوپلاسم بدون دانه دارند.
C) انواعی که در دفاع **غیراختصاصی** نقش دارند ← **یاخته کشندهٔ طبیعی** هستند ←
یاخته‌های سرطانی و آلوده به ویروس را نابود می‌کنند ← این گروه پروتئین **پرفورین** ترشح می‌کنند که سبب ایجاد منفذ در غشای یاخته سرطانی یا آلوده به ویروس می‌شوند و سپس آنزیمی برای **مرگ برنامه‌ریزی شده** وارد یاخته هدف می‌کنند.
D) آن‌ها که در دفاع اختصاصی نقش دارند
- *B* ← تولید پادتن می‌کنند.
- *T* ← تولید پرفورین می‌کنند.

چند نکته در بررسی تست‌ها برای لنفوسیت‌های کشنده طبیعی

۱) با توجه به شکل زیر مشاهده می‌کنید که پرفورین و آنزیم مرگ برنامه‌ریزی شده، توسط ریزکیسهٔ مشترکی از یاختهٔ لنفوسیتی با برون‌رانی خارج می‌شوند. ابتدا پرفورین سبب ایجاد منافذ در غشای یاختهٔ سرطانی یا آلوده به ویروس می‌شود و سپس آنزیم مرگ برنامه‌ریزی شده از این منافذ بدون درون‌بری وارد یاختهٔ هدف می‌شود. پس از مرگ برنامه‌ریزی شده نیز، **درشت‌خوارها** همهٔ آن‌ها را با بیگانه‌خواری از بین می‌برند.



«نحوهٔ عملکرد یاختهٔ کشندهٔ طبیعی»

۲) درشت‌خوارها تنها بیگانه‌خواری هستند که پس از عمل پرفورین و آنزیم‌های ایجادکننده مرگ برنامه‌ریزی شده می‌توانند یاختهٔ مرده را بیگانه‌خواری کنند.

۳) در ادامه می‌خوانیم که این یاخته‌ها به همراه لنفوسیت *T* علاوه بر قدرت تولید و ترشح اینترفرون نوع ۱، می‌توانند در مبارزه با سرطان‌ها به تولید اینترفرون نوع ۲ نیز بپردازند.

۴) دقت کنید که یک ریزکیسهٔ لنفوسیت کشنده طبیعی، هم حاوی پرفورین و هم حاوی آنزیم کشندهٔ طبیعی می‌باشد که هر دو را برون‌رانی می‌کند ولی پرفورین در غشای یاخته فقط منافذ ایجاد می‌کند و وارد سیتوپلاسم یاختهٔ هدف نمی‌شود در حالی که آنزیم‌های مرگ برنامه‌ریزی پس از عمل پرفورین و بدون صرف انرژی وارد یاخته بیگانه می‌شوند.

۵) لنفوسیت‌های کشنده طبیعی برخلاف لنفوسیت‌های دفاع اختصاصی، یاخته خاطره ایجاد نمی‌کنند و حافظه ندارند. این لنفوسیت‌ها برخلاف سایر لنفوسیت‌ها، **انواع مختلف** گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارند و با میکروب‌ها و عوامل متنوعی مبارزه می‌کنند.

۳) پروتئین‌ها در خط دوم دفاع غیراختصاصی

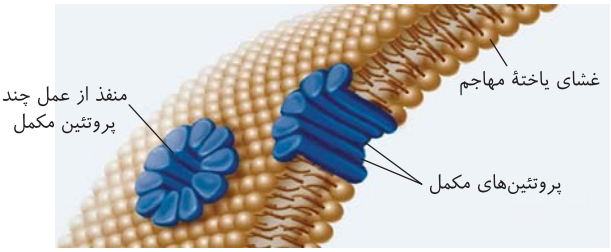
علاوه بر یاخته‌ها، پروتئین‌هایی مثل **پروتئین‌های مکمل و اینترفرون‌ها** نیز در **سد دوم دفاع غیراختصاصی** نقش دارند. *(در سد اول دفاع غیراختصاصی نیز پروتئین لیزوزیم نقش دارد.)*

● نکات پروتئین‌های مکمل

۱) پروتئین‌هایی **محلول** در پلاسمای خون هستند که **فشار اسمزی خون** را بالا می‌برند.

۲) این پروتئین‌ها در فرد **سالم** به صورت **غیرفعال** در خون وجود دارند پس در یاخته‌های **سالم** ساخته و ترشح شده‌اند.

۳) در فردی که میکروب در خون او وارد شده است برخورد پروتئین مکمل به **غشای** میکروب‌ها سبب **فعال** شدن پروتئین مکمل می‌شود. این پروتئین فعال شده همانند زنجیر می‌تواند سایر پروتئین‌های مکمل را نیز فعال کند تا تعداد پروتئین‌های مکمل فعال در خون زیاد شود.



«نحوهٔ عملکرد پروتئین‌های مکمل»

۴) پروتئین‌های مکمل فعال شده، به صورت دسته جمعی و به کمک یکدیگر **ساختارهایی و منافذی** را روی **غشای میکروب‌ها** ایجاد می‌کنند که سبب خارج شدن مواد درون یاخته می‌شود و آن را از بین می‌برد.

۵) پروتئین مکمل علاوه بر اینکه با ایجاد منفذ در یاخته بیگانه، سبب مرگ آن می‌شود، **اتصال این پروتئین‌ها به یاخته مرده سبب کمک به پاکسازی آسان‌تر آن ناحیه توسط یاخته‌های بیگانه‌خوار می‌شود.**

۶) پروتئین **مکمل** باید روی **غشای میکروب** مهاجم اثر کند **پس روی ویروس، سم و سایر عوامل بدون غشا اثری ندارد.**

۷) این پروتئین‌ها محلول در پلاسما هستند، پس قادرند علاوه بر خون در مایع بین بافتی نیز وارد شوند و به **دفاع غیراختصاصی** بپردازند.

۸) پروتئین مکمل **همانند** پرفورین سبب ایجاد منافذ در غشا می‌شود ولی **برخلاف** آن روی غشای میکروب اثر دارد نه یاختهٔ سرطانی!

۹) در ادامه می‌خوانید که این پروتئین‌ها در التهاب و در عمل کمک به پادتن‌ها نیز وارد فعالیت می‌شوند.

نکات اینترفرون‌ها

۱) انواعی پروتئین در سد دوم دفاع غیراختصاصی می‌باشند که برخلاف پروتئین مکمل، تنها در زمان نیاز از یاخته سازندهٔ خود ترشح می‌شوند تا در خط دوم به صورت عمومی و سریع عمل کنند.

۲) اینترفرون دو نوع دارد، نوع یک (۱) و نوع دو (۲)

۳) اینترفرون **نوع یک** (۱) از **یاخته آلوده به ویروس** ترشح می‌شود و روی خود **یاخته آلوده و یاخته‌های سالم** مجاور اثر کرده و آن‌ها را در برابر ورود ویروس‌های دیگر نیز مقاوم می‌کند (*در حقیقت اینترفرون نوع ۱ از هر یاختهٔ آلوده به ویروس مثل لنفوسیت B و T، پوشش و ... ترشح می‌شود*).

۴) اینترفرون نوع دو (۲) از **برخی لنفوسیت‌ها** مانند **یاخته‌های کشنده طبیعی در دفاع غیراختصاصی و لنفوسیت T دفاع اختصاصی** ترشح می‌شوند ولی در هر دو مورد پاسخی **غیراختصاصی** برای فعال کردن **درشت‌خوارها** (*نه همهٔ بیگانه‌خوارها!*) دارد. این نوع اینترفرون نقش مهمی در مبارزه علیه **یاخته‌های سرطانی** دارند که توسط درشت‌خوارها خورده شده و از بین می‌روند.

چند نکتهٔ مهم

۱) اینترفرون نوع ۱ از یاختهٔ **آلوده** ترشح می‌شود ولی اینترفرون نوع ۲ از لنفوسیت‌های کشنده و *T* **سالم** در مقابل سرطان یا یاختهٔ آلوده به ویروس ترشح می‌شود.

۲) لنفوسیت *T* در برخورد با میکروب
- اگر آلوده به ویروس شود ← اینترفرون نوع ۱ می‌سازد ← دفاع غیراختصاصی
- اگر به یاختهٔ سرطانی یا آلوده به ویروس برخورد کند
  - اینترفرون نوع ۲ می‌سازد ← **دفاع غیراختصاصی**
  - تکثیر شده یا پرفورین می‌سازد ← **دفاع اختصاصی** ← سبب فعالیت درشت‌خوارها می‌شود.
    - با این مکانیسم‌ها درشت‌خوارها را فعال می‌کنند.

۳) پروتئین مکمل و اینترفرون نوع ۲ از یاخته‌های سالم ترشح می‌شوند.

۴) فعالیت اینترفرون نوع ۱، برخلاف سایر موارد ایمنی، سبب فعال شدن بیگانه‌خوارها نمی‌شود.

۵) در ادامه بررسی پروتئین‌ها برای کمک به دفاع غیراختصاصی لازم به ذکر است که از سال دهم فصل ۴ به یاد دارید که آلبومین نیز پروتئینی در پلاسما می‌باشد که در حمل بعضی داروها مثل پنی‌سیلین مؤثر است و در دفاع بدن نقش دارد.

۴) پاسخ التهابی در دفاع غیراختصاصی

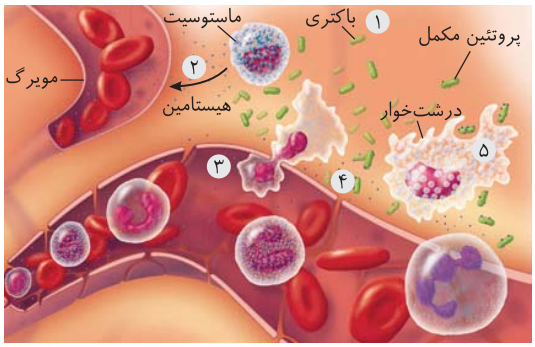
التهاب یک **پاسخ موضعی** به دنبال آسیب بافتی است. مثلاً اگر پوست بدن زخم یا بریده شود، دیگر **سد اول** دفاعی **نمی‌تواند** مانع ورود عوامل بیگانه شود. **در این حالت آسیب بافتی سبب تحریک گیرنده درد می‌شود** و از طرفی با مراحلی که به آن اشاره خواهیم کرد علاوه بر درد سبب **قرمزی، تورم و گرما** نیز در ناحیه موضعی می‌شود که نشانه‌های التهاب می‌باشند.

کارهای مثبت التهاب
- از بین بردن میکروب در ناحیه
- جلوگیری از انتشار میکروب
- تسریع بهبودی

مراحل ایجاد التهاب

۱) وقتی پوست دچار زخم یا بریدگی می‌شود، **جسم آلوده** سبب ورود مقدار **زیادی** عامل بیگانه (*میکروب و...*) به **فضای میان‌بافتی** می‌شود. در این حالت یاخته‌های **بیگانه‌خوار قدیمی** آن ناحیه با میکروب‌ها مبارزه می‌کنند و از طرفی این بیگانه‌خوارها سبب تولید پیک شیمیایی کوتاه‌برد غیرعصبی برای جلب توجه گویچه‌های سفید خون به ناحیه می‌شوند.

۲) پیک شیمیایی **آزاد شده** از یاخته‌های بیگانه‌خوار ماستوسیتی **آسیب‌دیده**، هیستامین می‌باشد که با اثر بر رگ خونی سبب **گشادی آن‌ها و ورود خون زیاد** به ناحیه می‌شود (*سبب قرمزی و گرما می‌شود*) و نفوذپذیری غشای رگ خونی به عوامل پلاسمایی و گویچه‌های سفید را زیاد می‌کند و با خروج خوناب زیاد، ناحیه شروع به تورم، قرمزی و گرما در ناحیه می‌کند (*هیستامین پیک کوتاه‌برد مؤثر بر یاخته‌های سنگ‌فرش سازهٔ مویرگ‌ها می‌باشد*).



«مراحل التهاب»

۳) علاوه بر هیستامین، خود یاخته‌های سنگ‌فرشی دیوارهٔ **مویرگ‌ها** و **درشت‌خوارها** نیز قادر به تولید پیک‌های شیمیایی کوتاه‌برد برای جلب توجه بیشتر گویچه‌های سفید به ناحیه می‌شوند (*پس تولید پیک شیمیایی، هم توسط یاخته‌های دفاعی و هم توسط یاخته‌های غیردفاعی پوشش مویرگ‌ها صورت می‌گیرد*).

۴) یاخته‌های دفاعی خون یعنی گویچه‌های سفید مثل نوتروفیل و مونوسیت‌ها که در گردش خون می‌باشند با تراگذری (*دیاپدز*) از خون خارج می‌شوند تا به همراه بیگانه‌خوارهای قدیمی به مبارزه با عوامل بیگانه بپردازند. نوتروفیل‌ها به بیگانه‌خواری و مونوسیت‌ها به تغییر شکل برای ایجاد درشت‌خوارها می‌پردازند.

۵) پس از پاکسازی ناحیه آسیب‌دیده، کم‌کم التهاب فروکش می‌کند و قطر رگ و تورم بافتی از بین می‌رود. البته ممکن است در حین مبارزهٔ التهابی، مقداری گویچه‌های سفید ابتدا کشته شوند و چرک سفیدرنگی نیز ایجاد شود.

چند نکتهٔ مهم در مورد التهاب

۱) گویچه‌های سفید خارج شده از خون، نوتروفیل‌ها و مونوسیت‌ها هستند که نوتروفیل‌ها به عنوان نیروهای واکنش سریع وارد مبارزه می‌شوند و شروع به بیگانه‌خواری می‌کنند ولی مونوسیت‌ها باید ابتدا با تغییر شکل و افزایش حجم به یاخته‌های درشت‌خوار تبدیل شوند تا به بیگانه‌خواری بپردازند.

۲) یاخته‌های بیگانه‌خوار قدیمی موجود در مایع میان‌بافتی (*مثلاً ماستوسیت‌ها*) اولین یاخته‌هایی هستند که با میکروب‌های ورودی مبارزه می‌کنند.

۳) پس از خروج نوتروفیل و مونوسیت از مویرگ‌ها، پروتئین مکمل نیز از رگ خارج شده و به فضای میان‌بافتی می‌رود. این پروتئین‌ها ابتدا فعال شده و سپس وارد عمل می‌شوند و به غشای باکتری متصل شده و منافذ ایجاد می‌کنند. در نهایت ماکروفاژها یا همان درشت‌خوارهای بافتی با تولید پیک شیمیایی، باکتری‌ها را بیگانه‌خواری می‌کنند.

۴) یاخته‌های بیگانه‌خوار موجود در خارج خون یا آن‌هایی مثل نوتروفیل که از رگ خارج شده‌اند، دوباره قدرت برگشت به رگ خونی ندارند.

۵) در التهاب و رفع آن، هم بیگانه‌خوارها، هم گویچهٔ سفید و هم پروتئین مکمل نقش دارد و از بین بیگانه‌خوارها، فقط بیگانه‌خوار دندریتی معمولاً نقشی ندارد.

۶) ترتیب عمل بیگانه‌خوارها در التهاب ← ۱) ماستوسیت، ۲) نوتروفیل، ۳) درشت‌خوارها

۵) تب در دفاع غیراختصاصی

با ورود برخی میکروب‌ها به بدن، **برخی از ترشحات آن‌ها به غدهٔ هیپوتالاموس** می‌رسد. این مرکز مغزی دمای بدن را بالا می‌برد تا فعالیت میکروب‌ها در دماهای بالا با تجزیه آنزیم‌های آن‌ها، کاهش یابد. **در حقیقت تب یکی از نشانه‌های بیماری‌های میکروبی است که نشان دهنده مقاومت بدن با عامل بیماری‌زا می‌باشد.** چون دمای بالا سبب عدم فعالیت اغلب میکروب‌ها می‌شود، تب نیز در دفاع غیراختصاصی مؤثر است.

نکته

تب و دمای بالای بدن تا حد کمی می‌تواند سبب غیرفعال شدن آنزیم‌ها و فعالیت‌های متابولیکی اغلب عوامل بیماری‌زا شود ولی اگر دمای بدن یا تب از حد خاصی بالاتر رود، بسیار خطرناک است چون این دمای بالا سبب غیرفعال شدن آنزیم‌های بدن انسان نیز می‌شود و فعالیت‌های متابولیکی فرد نیز مختل می‌شود.

گفتار ۳ سومین خط دفاعی: دفاع اختصاصی

در این گفتار در نظر داریم به نوعی از ایمنی بدن بپردازیم که **فقط با یک نوع میکروب خاص مبارزه می‌کند**. در حقیقت این دفاع در بین عوامل بیگانه فرق می‌گذارد و فقط به یک نوع عامل به صورت اختصاصی حمله می‌کند. آن عامل که معمولاً بیگانه است، قطعاً از **سد اول و دوم دفاعی** که مربوط به دفاع غیراختصاصی بوده است عبور کرده و گرفتار **خط سوم دفاعی** یا **دفاع اختصاصی** شده است. این دفاع به کمک انواعی از **لنفوسیت‌ها** و یاخته یا مواد محصول آن‌ها انجام می‌شود و کندتر از خطوط قبلی می‌باشد. لنفوسیت‌ها یاخته خونی سفید تک‌هسته‌ای گرد یا بیضی با سیتوپلاسم بدون دانه می‌باشند. همان‌طور که می‌دانید منشأ لنفوسیت‌ها از یاخته‌های **بنیادی لنفوئیدی** در مغز استخوان می‌باشد و با منشأ سایر یاخته‌های خونی متفاوت می‌باشد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ در زیست دهم خواندیم که علاوه بر مغز استخوان، گرهٔ لنفی و اندام‌های لنفی مثل طحال، تیموس و آپاندیس نیز اندام لنفی هستند و به همین دلیل می‌توانند به تولید یاختهٔ دفاعی بپردازند (*راستی یاخته‌های خونی را مغز استخوان می‌سازد نه یاخته‌های استخوانی!*).

۲ در ابتدا دقت کنید که دفاع اختصاصی در هر حالتی به سرعت دفاع غیراختصاصی عمل نمی‌کند.

۳ همان‌طور که در درسنامه قبل دیدید نوعی از لنفوسیت‌ها به نام **یاخته کشندهٔ طبیعی** در دفاع غیراختصاصی نقش دارند که **یاخته سرطانی و آلوده به ویروس** را نابود می‌کنند ولی دفاع لنفوسیت‌ها از نوع اختصاصی، به کمک **لنفوسیت‌های *B* و *T*** می‌باشد.

۴ دقت کنید که تولید اینترفرون‌ها توسط لنفوسیت‌ها نوعی دفاع غیراختصاصی به حساب می‌آید و در تست‌ها تا اسم لنفوسیت *B* و *T* را دیدید سریع فقط به دفاع اختصاصی فکر نکنید.

شناسایی میکروب‌ها توسط لنفوسیت‌ها

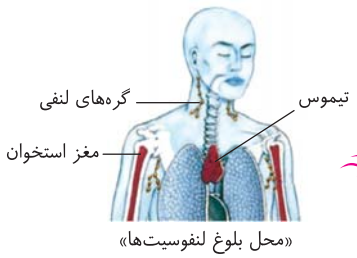
در سطح عوامل بیگانه مولکول‌هایی به نام **آنتی‌ژن** (*پادگن*) وجود دارند که باید توسط گیرنده‌های سطح لنفوسیت‌های *B* و *T* شناسایی شوند. هر گیرنده لنفوسیتی ساختاری **مکمل** (*نه همانند!!*) با آنتی‌ژن دارد و **اختصاصی می‌باشد**. یعنی هر لنفوسیت این خط دفاعی فقط به یک نوع آنتی‌ژن متصل می‌شود و آن را شناسایی می‌کند.

نکته

هر لنفوسیتی از نوع *B* بالغ یا *T* بالغ در سطح خود **تعداد زیادی گیرنده آنتی‌ژنی یکسان** و مشابه دارد که فقط به یک نوع آنتی‌ژن متصل می‌شود و آن را شناسایی می‌کند. دقت کنید که در این گفتار در حال بحث در مورد گیرندهٔ آنتی‌ژنی هستیم وگرنه مثلاً هر یاخته‌ای گیرندهٔ هورمونی مخصوص به خود را دارد (*یادتون نرفته که هر یاختهٔ زندهٔ بدن گیرندهٔ اختصاصی برای هورمون تیروئیدی دارد؟*).

انواع لنفوسیت‌های دفاع اختصاصی

دو نوع لنفوسیت *B* و *T* در دفاع اختصاصی کاربرد دارند. هر دو نوع در **مغز استخوان** تولید می‌شوند، و چون در ابتدا نابالغ هستند، توانایی شناسایی عامل بیگانه را ندارند یعنی هنوز فاقد گیرنده آنتی‌ژنی **فعال** یا تمایزیافته می‌باشند. برخی مثل لنفوسیت *B* در همان مغز استخوان و برخی مانند لنفوسیت *T* در تیموس **بالغ** می‌شوند و توانایی تشخیص عامل بیگانه را پیدا می‌کنند.



«محل بلوغ لنفوسیت‌ها»

نکته

وقتی می‌گوییم لنفوسیتی بالغ شده است، یعنی گیرنده‌های آنتی‌ژنی آن توانایی شناخت آنتی‌ژن اختصاصی را دارد.

نکته

آنتی‌ژن همان پادگن به زبان پارسی! است که با اجازهٔ شما بنده از همان آنتی‌ژن در کتاب استفاده می‌کنم.

لنفوسیت *B*

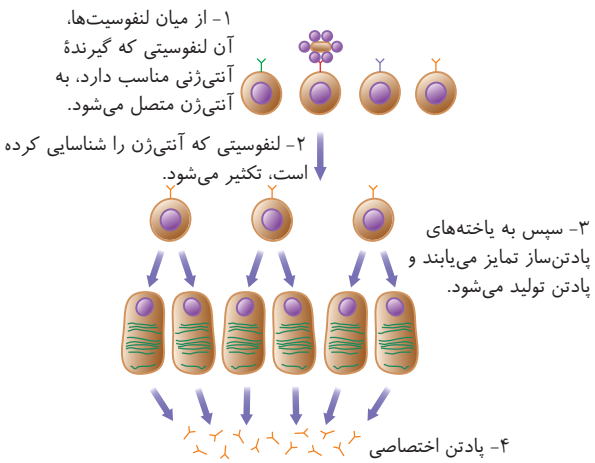
ساخت و بلوغ لنفوسیت *B*

این یاخته‌ها توسط یاخته‌های بنیادی **لنفوئیدی** مغز استخوان **ابتدا** به صورت **نابالغ** تولید می‌شوند. لنفوسیت‌های *B* نابالغ قدرت شناسایی عامل غیرخودی (*بیگانه*) را ندارند. در همان مغز استخوان که سازنده لنفوسیت *B* بودند، یاخته‌های *B* نابالغ به یاخته‌های *B* بالغ با توانایی شناسایی عامل بیگانه غیرخودی اختصاصی تبدیل می‌شوند. (*یعنی لنفوسیت B نابالغ در حالت طبیعی بدن نباید وارد سیستم گردش خون عمومی بدن شود.*)

یاخته لنفوئیدی بنیادی مغز استخوان ← ساخت لنفوسیت B نابالغ ← در همان مغز استخوان به لنفوسیت B بالغ تبدیل می‌شوند. ← سپس به صورت بالغ وارد مویرگ خونی منفذدار می‌شود.

● نحوه عمل لنفوسیت B بالغ شده

انـواع لنفوسـیت‌های B بالغ شـده، **از مغز استخوان وارد خون** می‌شـوند و در خـون و لنف بـه جریـان درمی‌آیند. همان‌طور که در شـکل مقابـل می‌بینید، ایـن یاخته‌هـا به صـورت گرد و با هسـتهٔ مرکزی تکی گرد یا بیضی هسـتند. در محیط داخلی بدن، در اثر برخورد گیرنده‌های اختصاصی لنفوسـیت‌های B بالـغ بـه سـطح میکروب‌هـا یـا آنتی‌ژن‌های محلـول مثـل ویروس‌ها یا سـم میکروب‌هـا، آن لنفوسـیت B بالـغ **به سرعت** تکثیـر (*میتوز*) می‌شـود. از یک طرف یاخته‌های لنفوسـیتی B خاطره می‌سـازند و از طرفی لنفوسیت‌های B عمل‌کنندهٔ زیادی به نام یاختهٔ پادتن‌ساز (*پلاسموسیت*)، ساخته می‌شوند. این یاخته‌ها پادتن‌هایی که سـاختاری همانند گیرنده سـطح لنفوسـیت B دارند را ترشـح می‌کنند در حالی‌که **خود یاخته‌های پادتن‌سـاز، فاقـد گیرنده آنتی‌ژنی می‌باشـند**. پادتن‌های آزاد شـده همراه مایعات بین‌یاخته‌ای، خون و لنف به گـردش درمی‌آینـد و هرجا با همان میکروب خـاص برخورد کردند یا آن را **نابود** و یا **بی‌اثر** می‌کنند.



«نحوهٔ عملکرد لنفوسیت B»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ دقت کنید که پلاسموسیت‌ها (*یاخته‌های پادتن‌ساز*) دارای یک هستهٔ گرد یا بیضی در یک سمت یاخته می‌باشند ولی شکل یاختهٔ آن‌ها نیز بیضی‌مانند است، پس هستهٔ مرکزی ندارند.

۲ آنتی‌ژن‌ها به گیرنده سطح لنفوسیت B بالغ متصل می‌شوند ولی به یاخته پادتن‌ساز متصل نمی‌شوند چون این یاخته‌ها فاقد گیرنده آنتی‌ژنی می‌باشند.

۳ یاخته‌هـای پادتن‌سـاز مثـل هر یاختـه دیگر بدن گیرنده‌هـای مختلفی مثل گیرنده هورمـون دارند ولی فاقد **گیرنده آنتی‌ژنی** می‌باشـند. ایـن یاخته‌ها حجیم‌تر از یاخته‌های اولیه و خاطره می‌باشند و فاقد قدرت میتوز هستند و همواره در مرحلهٔ G_0 باقی می‌مانند.

۴ پادتن‌ها مولکول‌هایی با **دو** جایگاه اتصال به آنتی‌ژن خاص میکروبی هسـتند که از جنس **پروتئین** و شـبیه حرف Y انگلیسی می‌باشند.



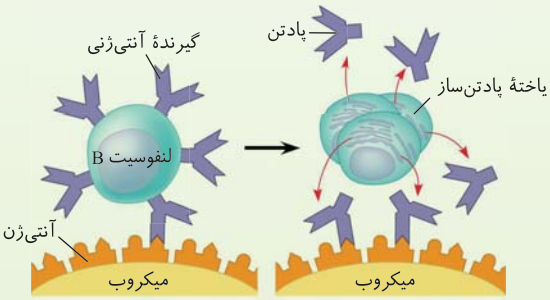
«مولکول پادتن»

۵ انواع پروتئین‌های هم‌شکل (*در لنفوسیت‌های B*)
- **۱)** نوعی که به غشای لنفوسیت B متصل هستند و گیرنده آنتی‌ژن می‌باشند.
- **۲)** پادتن ترشحی که توسط یاخته پادتن‌ساز ترشح می‌شود.

۶ هر لنفوسیت B در اثر برخورد با آنتی‌ژن اختصاصی خود تکثیر شده و به یاختهٔ پادتن‌ساز و یا لنفوسیت B خاطره تبدیل می‌شـود. لنفوسـیت اولیه و خاطره حاوی گیرنده‌هایی آنتی‌ژنی مشـابه هسـتند ولی یاختهٔ پادتن‌سـاز، تنها یاختهٔ لنفوسیتی است که گیرندهٔ آنتی‌ژنی ندارد ولی پادتن ترشحی خود را وارد خون یا لنف می‌کند.

۷ دقت کنید که پلاسموسـیت یا یاختهٔ پادتن‌سـاز نیز نوعی لنفوسـیت B ولی بدون گیرندهٔ آنتی‌ژنی به حسـاب می‌آید. این یاخته هستهٔ کناری دیپلوئید دارد که حاوی همهٔ ژن‌های یک جاندار کامل است. مثلاً ژن ساخت پرفورین و پادتن دارد که ژن پادتن‌ساز آن برخلاف پرفورین‌ساز فعال می‌باشد.

۸ در ایمنی همراه لنفوسـیت B، دو نوع پروتئین Yشکل پروتئینی یکسان وجود دارد و در حقیقت عامل بیگانه (*غیرخودی*) دوبار به دسـتگاه ایمنی برخورد می‌کند. گیرندهٔ اول همان گیرنده آنتی‌ژن در غشای لنفوسیت B بالغ می‌باشد. نوع دیگر، پادتن است که از یاختهٔ پادتن‌سـاز حاصل از تقسـیم لنفوسـیت B ترشح می‌شـود. در حقیقت این دو نوع پروتئین، سـاختاری مشـابه هم دارند که هر دو مکمل آنتی‌ژن خاصی هستند. اولی به غشـای لنفوسـیت B متصل است و دومی در خون و لنف و مایع بافتی محلول می‌باشد و فشار اسمزی آن محیط‌ها را بالا می‌برد.



«هر لنفوسیت فقط یک نوع گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارد که پس از تبدیل به پادتن‌ساز، پادتنی مشابه با گیرندهٔ خود ترشح می‌کند.»

۹ یاختهٔ پادتن‌ساز یا همان پلاسموسیت، توانایی شناسایی آنتی‌ژن را ندارد ولی محصول ژن آن (*پادتن*) واجد این توانایی می‌باشد.

۱۰ با توجه به شـکل مشاهده می‌شـود که هر پادتن به برخی آنتی‌ژن‌های یک میکروب متصل می‌شـود. یعنی یک میکروب می‌تواند آنتی‌ژن‌های متنوع داشته باشد و توسط لنفوسیت‌ها و پادتن‌های متنوعی شناخته شود.

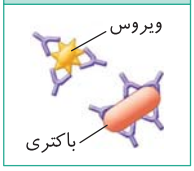
۱۱ هر عامل بیماری‌زا می‌تواند مولکول‌های آنتی‌ژنی متفاوتی داشـته باشـد ولی هر لنفوسـیت دفاع اختصاصی (*T* و *B*) فقط یک نوع پادتن علیه یک نوع آنتی‌ژن (*پادتن*) می‌تواند داشته باشد. اگر پادتن سطح لنفوسیت B با یک نوع از انواع آنتی‌ژن‌های سطح عامل بیگانه مکمل شود، مکانیسم دفاع اختصاصی با لنفوسیت B برای تولید پادتن و از بین بردن میکروب شروع می‌شود که در ادامه آن را بررسی می‌کنیم.

انواع راه مقابله پادتن‌ها با عوامل بیگانه

۱) بی‌اثر کردن آنتی‌ژن
۲) نابود کردن آنتی‌ژن

الف) راه‌هایی که پادتن با بی‌اثر کردن میکروب، سبب افزایش قدرت بیگانه‌خواری در درشت‌خوارها می‌شود.

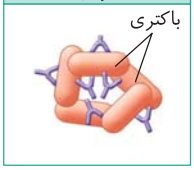
۱) خنثی‌سازی عامل بیگانه

خنثی‌سازی


در ایـن روش پادتن‌هـای متعدد یکسـان به دور **یک ویـروس یا باکتری خاص** قـرار می‌گیرند و آن را آماده بیگانه‌خواری توسـط درشت‌خوارها می‌کنند.

در عمل خنثی‌سازی، پادتن‌های متنوع، هم ویروس و هم باکتری را می‌توانند خنثی کنند ولی ویروس‌ها یا باکتری‌ها را به هم متصل نمی‌کنند. در این روش آنتی‌ژن بی‌اثر می‌شود تا سپس توسط درشت‌خوارها بیگانه‌خواری شود.

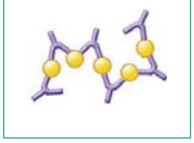
۲) به هم چسباندن میکروب‌ها

به هم چسباندن میکروب‌ها


در ایـن روش پادتن‌هـای مشـابه به دور میکروب‌های یکسـان پیچیده‌اند و سـبب اتصـال عوامل میکروبی به هم می‌شـوند. در ایـن روش نیـز، آنتـی‌ژن بی‌اثـر شـده و کل مجموعـه پادتـن و میکروب‌هـا، آمـاده ذره‌خـواری یـا بیگانه‌خواری توسـط درشت‌خوارها می‌شوند.

نکته
در ایـن روش یـک پادتـن می‌تواند از دو جایگاه اتصال آنتی‌ژنی خود، به دو آنتی‌ژن مشـابه از **دو میکروب** و یا به دو آنتی‌ژن مشابه از **یک میکروب** متصل شود. این عمل نیز در نهایت سبب فعالیت درشت‌خوارها به عنوان جاروبرقی بدن می‌شود.

۳) رسوب دادن آنتی‌ژن‌های محلول

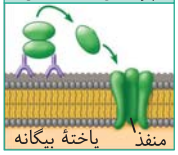
رسوب دادن آنتی‌ژن‌های محلول


در این روش هر پادتن توسط دو جایگاه آنتی‌ژنی خود به دو آنتی‌ژن مشابه از دو عامل بیگانهٔ مجاور هم متصل می‌شود و سبب رسـوب دادن آنتی‌ژن‌های محلول می‌شـوند. سـپس در پی بی‌اثر شـدن عامل بیگانه، کل مجموعه آماده بیگانه‌خواری توسط درشت‌خوارها می‌شود. در این روش نیز همانند روش اول (*خنثی‌سازی*) عوامل بیگانه به هم متصل و چسبیده نمی‌شوند.

نکته
در هر سـه روش بالا ابتدا آنتی‌ژن یا میکروب فوق، **بی‌اثر** می‌شـوند و ترکیب آنتی‌ژن - پادتن در نهایت سـبب می‌شـوند کـه **درشت‌خوارها** (*نوتروفیل‌ها و ماکروفاژها*) در اطراف دم‌های پادتنی و عوامـل بیگانه قرار بگیرند و همهٔ آن‌هـا را به صورت دفاع غیراختصاصی بیگانه‌خواری کنند. دقت کنید که بیگانه‌خوارها به گیرندهٔ آنتی‌ژنی پادتن‌ها متصل نمی‌شوند.

ب) راه‌هایی که پادتن سبب فعال شدن پروتئین‌های مکمل می‌شود ← میکروب قبل از بیگانه‌خواری نابود می‌شود.

نابودی یاخته


فعال کردن پروتئین‌های مکمل


در ایـن روش پادتن‌هـا از دو جایگاه اتصال خود به پادگن‌های (*آنتی‌ژن‌های*) مشـابه از غشـای یاخته بیگانه متصل می‌شـوند و سـپس سبب فعال شدن **پروتئین‌های مکمل** می‌شـوند. مجموعه این پروتئین‌ها به قسـمت دیگر پادتن (*رم*) متصل شـده و با همکاری همدیگر سـبب ایجاد منفذ در منطقه نزدیک در **غشـای** همان یاخته بیگانه می‌شـوند. خارج شـدن محتویات عامل بیگانه سبب مرگ آن عامل می‌شود و یاخته غیرخودی نابود می‌شود. **در این روش بیگانه‌خواری یاخته تخریب شده مستقیماً در اثر عمل پادتن صورت نمی‌گیرد** ولی در مبحث قبل گفتیم که پروتئین‌های مکمل نیز فعالیت بیگانه‌خوارها را زیاد می‌کنند. لازم به ذکر است که در این روش یاختهٔ بیگانه برخلاف سه روش قبل، **نابود** می‌شود و سپس توسط بیگانه‌خوارها بلعیده می‌شود. لازم به یادآوری است که کتاب درسی همواره واژهٔ درشت‌خوار را معرفی کرده است ولی پس از عمل پروتئین مکمل این واژه را به‌طور کلی برای همهٔ بیگانه‌خوارها به کار برده است.

نکته
پادتن‌های آزاد شـده از فعالیت لنفوسـیت‌های B (*یعنی از یاخته پادتن‌سـاز*) یا در نهایت سبب **بیگانه‌خواری پادتن و عامل بیگانه** توسط درشت‌خوارها می‌شوند و یا سـبب **فعال شـدن پروتئین‌های مکمل** و نابود کردن عامل بیماری‌زا می‌شـوند. در این حالت نیز در گفتار قبل دیدید که پس از فعالیت پروتئین مکمل، یاخته‌های بیگانه‌خوار (*از هر نوعی از جمله درشت‌خوار*) مثل جاروبرقی همه را می‌بلعند.

پادتن به عنوان دارو

سرم همان پلاسما یا خونابی است که عوامل اصلی مورد نیاز در لخته شدن مثل فیبرینوژن را از آن جدا کرده‌ایم. سرم در حقیقت مایعی پر از **پادتن** می‌باشد که باعث مصونیت **اختصاصی به یک بیماری خاص** در یک **دوره کوتاه‌مدت** می‌شـود. مثلاً اگر در فردی زخم شـدیدی ایجاد شود، احتمال نفوذ و فعالیت باکتری عامل کزاز در آن ناحیه زیاد می‌شـود. **سرم حاوی پادتن ضد کزاز از بروز بیماری کزاز جلوگیری می‌کند** یا مثلاً پادزهر سـم مار که بعد از مارگزیدگی اسـتفاده می‌شود می‌تواند سم مار را **خنثی** کند. این عوامل سرمی سبب ایجاد ایمنی اکتسابی می‌شود چون از محیط بیرون این ایمنی به بدن اضافه شده است و نوع ایمنی **غیرفعال** می‌باشد چون پس از مدتی این پادتن در بدن تمام می‌شود و ایمنی علیه آن عامل بیماری‌زا به‌طور دائمی در بدن وجود ندارد.

نکته

سرم، دفاع اختصاصی غیرفعال (*بدون حافظه*) اکتسابی می‌دهد. علت اکتسابی بودن، گرفتن پادتن از فرد دیگر است ولی چون در بدن شخص گیرنده **یاخته خاطره** وجود ندارد، ایمنی غیرفعال یا غیردائمی ایجاد می‌کند. از طرفی به دلیل اینکه دارای پادتن می‌باشد ایمنی **اختصاصی** می‌دهد.

نکته

لنفوسیت‌های B در برخورد با آنتی‌ژن
- اگر آلوده به ویروس شوند ← اینترفرون نوع ۱ می‌سازند ← دفاع غیراختصاصی می‌دهند.
- اگر پادتن ایجاد کند ← تکثیر شده‌اند و دفاع اختصاصی می‌دهند.

لنفوسیت T

لنفوسیت‌های T نیز در **دفاع اختصاصی** شرکت می‌کنند و در مغز استخوان توسط **یاخته‌های بنیادی لنفوئیدی** به صورت نابالغ ساخته می‌شوند. این یاخته‌های T نابالغ ابتدا وارد مویرگ خونی اطراف مغز استخوان شده و از طریق **خون** به غدهٔ تیموس در جلوی نای و پشت جناغ می‌رسند، در آنجا از خون وارد تیموس شده و بالغ می‌شوند تا قدرت شناسایی **نوع خاصی از یاخته غیرخودی** را پیدا کنند. لنفوسیت‌های T بالغ شده دوباره وارد مویرگ منفذدار خونی یا لنفی می‌شوند تا در دفاع اختصاصی شرکت کنند.

نکته

تیموس غده‌ای درون‌ریز با توانایی تولید هورمون تیموسین می‌باشد. این غدهٔ درون‌ریز در جلوی نای و پشت جناغ وجود دارد. در دوران **نوزادی و کودکی** فعالیت زیادی دارد ولی به تدریج پس از کودکی همراه با رشد انسان، از فعالیت آن کاسته می‌شود و اندازه آن تحلیل می‌رود. پس نتیجه می‌گیریم که **حفظ** لنفوسیت‌های T بالغ بسیار مهم می‌باشد.

نکته

از زیست دهم به یاد دارید که تیموس به عنوان یک اندام لنفی بوده و توانایی ترشح هورمون نیز دارد. دقت کنید که غدهٔ تیموس برای لنفوسیت T، فقط به کمک هورمون **تیموسین** خود، توانایی بالغ کردن و تمایز این لنفوسیت‌ها (T) را دارد. این غدد درون‌ریز لنفی در مسیر مجرای لنفی قطور سمت چپ بدن قرار دارد و لنف خود را وارد سیاهرگ تحت ترقوه‌ای چپ می‌کند. از طرفی این غده پشت جناغ و در جلوی دهلیزهای قلبی می‌باشد.

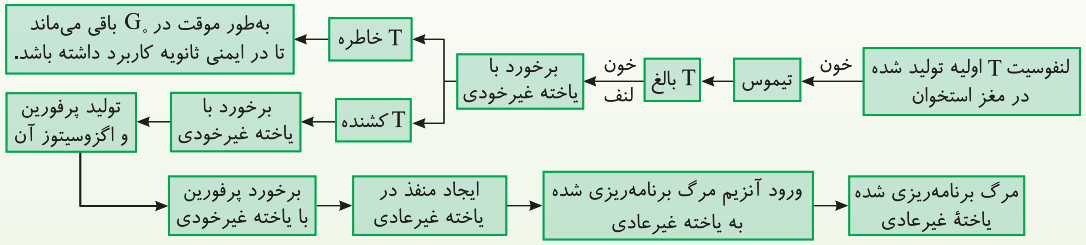
● نحوه عمل لنفوسیت T بالغ شده

لنفوسیت‌های T بالغ شده، **در خون و لنف متحرکند** و به یاخته‌های سرطانی، یاخته‌های آلوده به ویروس و یا یاخته‌های پیوند شده از فرد بیگانه حمله می‌کنند که به آن، ایمنی **یاخته‌ای** گفته می‌شود (*دقت کنید که این لنفوسیت‌ها و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها مستقیماً به ویروس برخوردی ندارند*).

لنفوسیت‌های T پس از برخورد به یاخته‌های گفته شده (*سرطانی یا آلوده به ویروس یا پیوند شده*) **ابتدا تکثیر** می‌یابند و به یاخته‌های **T خاطره و T کشنده** (*لنفوسیت عمل‌کننده*) تبدیل می‌شوند. لنفوسیت‌های T کشنده همانند T اولیه بالغ گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارند و به یاختهٔ **هدف** متصل می‌شوند و ماده‌ای پروتئینی به نام **پرفورین** ترشح می‌کنند. سپس پرفورین نیز به یاخته **غیرعادی** برخورد کرده و **همانند پروتئین مکمل** در غشای آن‌ها **منفذ** ایجاد می‌کند. سپس از طریق این منافذ یا حفرات یاخته‌ای، آنزیمی به درون یاخته بیگانه وارد شده و سبب مکانیسم **مرگ برنامه‌ریزی شده** می‌شود و یاختهٔ هدف را از بین می‌برد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در مکانیسم عمل لنفوسیت B، برای از بین بردن یا بی‌اثر کردن عامل بیگانه، آنتی‌ژن بار اول به گیرندهٔ غشایی خود یاختهٔ لنفوسیت B و بار دوم به پادتن‌های ترشحی متصل می‌شود ولی در مکانیسم عمل لنفوسیت T، باید آنتی‌ژن مورد نظر سه بار به ترتیب به T بالغ، T کشنده و پرفورین برخورد کند تا از بین برود.



۲) دقت کنید که لنفوسیت T
- اگر آلوده به ویروس شود ← بدون تکثیر به تولید اینترفرون نوع ۱ می‌پردازد ← دفاع غیراختصاصی
- اگر به یاختهٔ آلوده به ویروس برخورد کند ← ابتدا تقسیم می‌شود ← پرفورین می‌سازد ← دفاع اختصاصی
- اگر به یاختهٔ سرطانی برخورد کنند
  - اینترفرون نوع ۲ بسازند ← دفاع غیراختصاصی
  - پرفورین‌سازی کنند ← دفاع اختصاصی

۳) نوعی از لنفوسیت‌ها به نام یاخته کشنده طبیعی وجود دارد که در سد دوم دفاع غیراختصاصی فعالیت می‌کند و همانند لنفوسیت T قدرت اتصال به یاخته‌های سرطانی یا آلوده به ویروس **متنوع** و تولید پرفورین و آنزیم مرگ برنامه‌ریزی شده دارد. در حقیقت باید بدانیم که گیرنده‌های آنتی‌ژنی لنفوسیت کشنده طبیعی برخلاف لنفوسیت T کشنده، اختصاصی و یکسان نمی‌باشند.

۴) آنفلوانزای پرندگان در اثر نوعی **ویروس** به وجود می‌آید که انسان را نیز مانند برخی گونه‌های دیگر بیمار می‌کند. این ویروس به **شش‌ها** حمله می‌کند و سبب پاسخ **بیش از حد معمول دستگاه ایمنی** می‌شود و تولید انبوه و بیش از حد لنفوسیت T می‌شود که به بافت‌های خودی نیز آسیب می‌رساند. در این بیماری یاخته‌های آسیب‌دیدهٔ شش به تولید اینترفرون نوع ۱ ولی لنفوسیت‌های کشندهٔ طبیعی و لنفوسیت‌های T به تولید پرفورین و آنزیم مرگ برنامه‌ریزی شده می‌پردازند.

۵ دقت کنید که بیگانه‌خوارها، یاخته‌های دفاع **غیراختصاصی** هستند که در تکمیل کار لنفوسیت‌های B و T در دفاع اختصاصی نقش بسیار مهمی دارند. در حقیقت این یاخته‌ها در جای‌جای بدن وجود دارند و پس از عمل سایر عوامل دفاعی مانند یک جاروبرقی همواره فعال، با شناسایی و تشخیص عوامل بیگانه از خودی، به بیگانه‌خواری این عوامل بیگانهٔ اصلی یا احاطه شده توسط پادتن و یا نابود شده توسط پروتئین مکمل و پرفورین می‌پردازند. در پی فعالیت لنفوسیت‌ها اگر واژهٔ پروتئین مکمل در سؤال نبود، همواره در انتها **درشت‌خوارها** سبب بیگانه‌خواری نهایی می‌شوند.

۶ بیگانه‌خوارها در سد دوم و سوم دفاعی نقش دارند ولی کار یا دفاع آن‌ها **همواره غیراختصاصی** است.

پاسخ‌های اولیه و ثانویه در ایمنی اختصاصی

همان‌طور که متوجه شدید، دفاع اختصاصی به کمک انواعی از لنفوسیت‌ها صورت می‌گیرد و نیازمند زمان برای ساخت، بلوغ، فعال شدن لنفوسیت‌ها، تکثیر و ساخت پادتن یا پرفورین حاصل از آن‌ها می‌باشد. پس به نسبت دفاع غیراختصاصی نمی‌تواند **دفاع سریعی** باشد. البته همه این موارد در صورتی است که میکروب یا عامل بیگانه بار اولی باشد که به بدن حمله کرده است ولی اگر **همان میکروب** دوباره به بدن حمله کند، دفاع اختصاصی حاوی یاخته‌های B **یا** T **خاطره‌ای** می‌باشد که نسبت به **دفاع اختصاصی** قبل **دفاع سریع‌تر و قوی‌تری** را بروز می‌دهد. در ادامه می‌خواهیم به بررسی عمل دفاع اختصاصی در بارهای دوم به بعد در مواجه با میکروب قدیمی بپردازیم و ببینیم بدن در مقابله با میکروب مشابه که از دفاع غیراختصاصی جان سالم به در برده است و دوباره حمله کرده است چه عکس‌العملی نشان می‌دهد.

نکته

همواره سرعت دفاع اختصاصی از غیراختصاصی **کمتر** است و دقت کنید که در این دفاع، در صورت برخورد ثانویه به آنتی‌ژن تکراری، سرعت واکنش نسبت به بار اول این دفاع بیشتر می‌شود ولی باز هم سرعت آن از دفاع غیراختصاصی سدهای اول و دوم کمتر است.

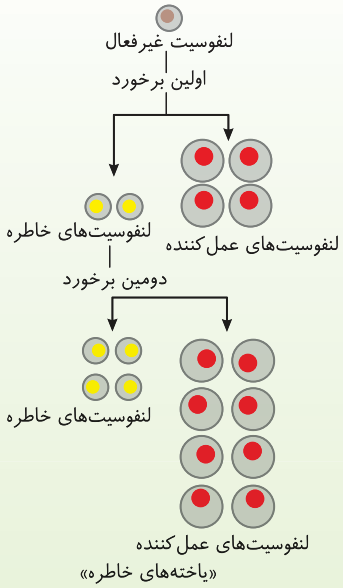
ایمنی ثانویه در دفاع اختصاصی

همان‌طور که گفتیم در دفاع اختصاصی وقتی آنتی‌ژن سطح عامل بیگانه برای بار اول وارد بدن می‌شود، پس از اتصال به لنفوسیت‌های B یا T سبب تکثیر آن‌ها می‌شوند. طی این تکثیر با تمایز، از یک طرف **یاخته‌های خاطره** و از طرف دیگر برحسب نوع ایمنی و میکروب، یاخته‌های لنفوسیتی عمل‌کننده به نام پادتن‌ساز یا لنفوسیت T کشنده (*تولیدکننده پرفورین*) ساخته می‌شود.

دستگاه ایمنی به دلیل داشتن **یاخته‌های لنفوسیت خاطره** دارای **حافظه** می‌باشند. یعنی وقتی دوباره همان آنتی‌ژن بیماری‌زا وارد بدن شود، لنفوسیت خاطره **که تا مدت‌ها در خون باقی می‌ماند**، آن را شناسایی می‌کند. در بارهای بعد که **همان آنتی‌ژن** وارد بدن می‌شود این بار لنفوسیت‌های B یا T خاطره با **سرعت بیشتری** تکثیر می‌شوند و تعداد بیشتری یاخته خاطره و یاخته عمل‌کننده از نوع T کشنده یا یاخته پادتن‌ساز می‌سازند و خیلی سریع‌تر عامل بیگانه را از بین می‌برند که به آن **ایمنی ثانویه** می‌گویند.

چند نکتهٔ هم در بررسی تست‌ها

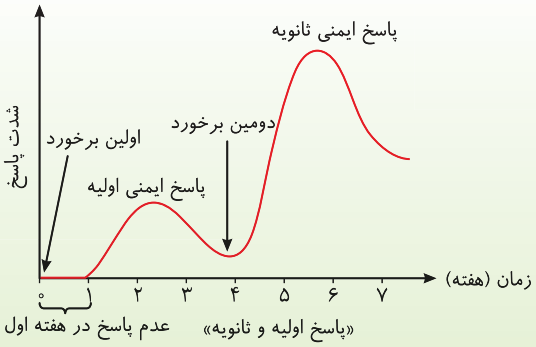
۱ در مکانیسم عمل لنفوسیت‌های T و B پس از برخورد لنفوسیت اولیه با آنتی‌ژن ابتدا تکثیر می‌شوند و علاوه بر یاخته‌های خاطره می‌توانند لنفوسیت‌های عمل‌کننده‌ای مثل لنفوسیت T کشنده یا یاخته پادتن‌ساز بسازند که پروتئین‌های دفاعی ترشح می‌کنند. در حقیقت لنفوسیت‌های عمل‌کننده در اینجا همان یاخته‌های T کشنده یا یاخته‌های پادتن‌ساز می‌باشند.



- لنفوسیت‌های
  - اولیه
    - B
      - گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارند، تقسیم می‌شوند.
      - در مغز استخوان تولید و بالغ می‌شود ولی پادتن ترشح نمی‌کند.
    - T
      - گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارند و تقسیم می‌شوند.
      - در مغز استخوان تولید و در تیموس بالغ می‌شود.
      - پرفورین تولید نمی‌کند ولی اینترفرون نوع ۱ و ۲ می‌سازد.
  - خاطره ← B و T
    - گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارند.
    - تقسیم سریع‌تری از نوع اولیه دارند.
    - در محل برخورد با میکروب تولید شده‌اند.
    - پرفورین یا پادتن نمی‌سازند.
  - عمل‌کننده
    - پلاسموسیت ← گیرندهٔ آنتی‌ژنی و تقسیم ندارد ← پادتن ترشح می‌کند (*البته در مقابله با ویروس، اینترفرون نوع ۱ می‌سازد*).
    - T کشنده ← گیرندهٔ آنتی‌ژنی دارد ولی تقسیم نمی‌شود ← پرفورین، آنزیم مرگ برنامه‌ریزی و اینترفرون نوع ۱ و ۲ می‌سازد.

۲ اگر در نمودار روبه‌رو دقت کنید در **هفته اول** پس از برخورد نخستین آنتی‌ژن به دفاع اختصاصی، **پاسخی ایجاد نمی‌شود** ولی بعد **دو هفته** حداکثر پاسخ ایمنی اولیه صورت می‌گیرد و سپس دوباره سطح ایمنی کاهش می‌یابد. در برخورد دوم با **همان** میکروب، در هفته اول پاسخ ایمنی زیاد است ولی باز هم حداکثر پاسخ ایمنی ثانویه بعد از دو هفته ایجاد می‌شود. باز هم تکرار می‌کنم که هر دوی این پاسخ‌ها، سرعت عمل کمتری از خطوط دفاعی اول و دوم دارند.

۳ با دقت به بخش‌های بعد از قله‌های نمودار متوجه می‌شوید که پس از برخورد ثانویه همیشه مقدار زیادی لنفوسیت خاطره در بدن باقی می‌ماند.



واکسن

واکسن محلولی حاوی میکروب **ضعیف شده** یا کشته شده یا **آنتی‌ژن** یا **سم** میکروب خنثی شده است که برای **پیشگیری** از یک بیماری خاص به بدن تزریق می‌کنند. در اثر وارد شدن واکسن به بدن، ایمنی اولیه **اختصاصی فعال** می‌شود و **یاخته لنفوسیت خاطره** ایجاد می‌شود. از طرفی برحسب نوع میکروب یاخته‌های پادتن‌سازی در محیط داخلی تولید می‌شوند که پادتن‌ها و یاخته‌های خاطره‌ای برای از بین رفتن آنتی‌ژن بیماری‌زا ایجاد می‌کنند. واکسن با استفاده از **حافظه‌دار بودن، دفاع اختصاصی** بدن را به حالت آماده‌باش درمی‌آورد و **ایمنی فعالی** توسط لنفوسیت‌های خاطره ایجاد می‌کند. اگر بار بعد همان میکروب به صورت قوی یا ضعیف وارد بدن شود، **یاخته‌های خاطره** با تکثیر خود سبب تولید تعداد زیادی یاختهٔ پادتن‌ساز و یاخته خاطره قبلی می‌شوند و پادتن زیادی ایجاد می‌کنند تا آنتی‌ژن وارد شده را به سرعت از بین ببرند.

نکته

بر حسب نکات کتاب درسی، فعالیت واکسن در ارتباط با لنفوسیت B خاطره، پادتن و یاخته‌های پادتن‌ساز می‌باشد و اثری مستقیم روی لنفوسیت T ندارد.

نکته

در زیست دوازدهم می‌خوانیم که تولید واکسن از دو راه صورت می‌گیرد.

- روش قدیمی ← با مهندسی ژنتیک می‌باشد
  - مانند شکل‌های زیر می‌باشد.
  - مقداری آنتی‌ژن سطحی را جدا کرده و واکسن ایجاد می‌کنیم.
  - میکروب را ضعیف و غیرفعال کرده و واکسن ایجاد می‌کنیم.
- روش جدید ← با مهندسی ژنتیک می‌باشد
  - ژن تولید آنتی‌ژن خاص را جدا کرده
  - توسط باکتری آن آنتی‌ژن را ایجاد کرده
  - واکسن را توسط باکتری ایجاد می‌کنیم.



۱- هر میکروبی آنتی‌ژن‌های سطحی مخصوص به خود را دارد.

۲- از میکروب کشته شده، غیرفعال شده یا آنتی‌ژن‌های آن به عنوان واکسن استفاده می‌شود.

۳- پادتن و لنفوسیت خاطره تولید می‌شود.

۴- وقتی میکروب واقعی به بدن وارد شود، یاختهٔ خاطره و پادتن‌ها آمادگی مقابله با آن را دارند.

«نحوهٔ عملکرد واکسن»

انواع ایمنی

۱) **ایمنی ذاتی:** دفاعی است که از قبل از تولد در بدن انسان وجود دارد مثل اسید میکروب‌کش معده.
ایمنی اکتسابی: دفاعی است که پس از تولد در اثر عوامل خارجی مثل واکسن یا سرم یا ورود یک بیماری واگیر وارد بدن انسان می‌شود.

۲) **غیرفعال:** این ایمنی در اثر تزریق عوامل ایمنی‌زا مثل تزریق پادتن با سرم صورت می‌گیرد که به دلیل نداشتن یاخته خاطره، اثر آن دائمی نمی‌باشد.
فعال: این ایمنی در اثر ورود میکروب و ساخت یاخته خاطره در بدن صورت می‌گیرد و مدت زیادی یا دائمی در بدن باقی می‌ماند.

نکته سرم، دفاع یا ایمنی اکتسابی **غیرفعال** می‌دهد چون حافظه و خاطره ندارد ولی اغلب واکسن‌ها (*در صورت دریافت کامل*) و بیماری‌های واگیر دفاع اکتسابی فعال (*دائمی*) می‌دهند چون سبب ایجاد لنفوسیت‌های خاطره می‌شوند.

نکته پادتن‌هایی که قبل از تولد از بند ناف وارد جنین می‌شوند دفاع ذاتی (*طبیعی*) غیرفعال و آن‌ها که پس از تولد با شیر مادر وارد نوزاد می‌شوند دفاع اکتسابی غیرفعال می‌دهند.

اختلال در دستگاه ایمنی

دستگاه ایمنی در اثر عوامل اکتسابی محیطی (*ویروس ایدز*)، حساسیت‌ها و یا بیماری‌های خودایمنی دچار اختلال در فعالیت می‌شود که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۱) نقص ایمنی اکتسابی (ایدز)

ایدز همان بیماری نقص ایمنی اکتسابی در اثر آلوده شدن به نوعی ویروس به نام *HIV* می‌باشد. این ویروس به **نوع خاصی** از **لنفوسیت‌های T** به نام **T کمک‌کننده** یا *T helper* حمله می‌کند و آن‌ها را از پای درمی‌آورد. چون این نوع لنفوسیت *T* در فعالیت **لنفوسیت‌های B و انواع دیگر لنفوسیت‌های T** مؤثر می‌باشد. در نتیجه فردی که به *HIV* مبتلا می‌شود، **کل عملکرد سیستم ایمنی اختصاصی** آن دچار نقص می‌شود. در حقیقت ویروس *HIV* با از بین بردن این نوع از لنفوسیت، عملکرد سایر **لنفوسیت‌های B و T** و مراحل ایمنی آن‌ها را دچار اشکال می‌کند.

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) افراد مبتلا به ویروس *HIV* به دلیل اینکه دستگاه ایمنی اختلال یافته‌ای دارند، حتی اگر **به کم‌خطرترین** بیماری‌های واگیر نیز مبتلا شوند ممکن است از بین بروند. پس دقت کنید که ویروس *HIV* سبب ضعف در **کل** سیستم ایمنی می‌شود ولی علت مستقیم مرگ فرد، ابتلا شدن به یک عفونت و بیماری ثانویه می‌باشد (*به فرد مبتلا به ایدز نباید هورمون کورتیزول تزریق کرد چون ضعف دستگاه ایمنی آن تشدید می‌شود*).

۲) در دوازدهم می‌خوانید که ویروس ایدز نوعی ویروس *RNA*دار است که با رونویسی معکوس، تولید *DNA* می‌کند که برای این کار از امکانات یاخته‌های لنفوسیت *T* انسانی استفاده می‌کند.

۳) از وقتی که ویروس ایدز به روش‌های مختلفی وارد بدن فرد می‌شود، ممکن است بین **۶ ماه تا ۱۵ سال** این بیماری نهفته باقی بماند یعنی در فرد هیچ علامتی از ایدز و نقص سیستم ایمنی مشاهده نشود و **سالم باشد** ولی این فرد در این مدت، **ناقل** بیماری است و از راه‌های مختلف می‌تواند سبب انتشار ویروس و بیماری ایدز به سایر افراد جامعه شود.

۴) تنها راه آگاهی از آلودگی یک فرد به ویروس ایدز، آزمایش مخصوص پزشکی به روش‌های مختلف می‌باشد. در اولین نوع آزمایش، پادتنی که یاخته‌ها علیه این ویروس ترشح کرده‌اند را در بدن می‌سنجند که حداقل **بعد از دو هفته** از ورود ویروس به بدن مقدار این پادتن به مقدار قابل سنجش می‌رسد. (*آزمایش‌های رایج پزشکی نمی‌تواند وجود ویروس ایدز را در بدن تشخیص دهد.*)

۵) در اثر ابتلا به ویروس *HIV*
- لنفوسیت *T* کمک‌کنندهٔ آلوده، به تولید اینترفرون نوع **۱** می‌پردازد ← این اینترفرون روی یاخته‌های سالم و آلوده اثر دارد.
- لنفوسیت‌های *T* و کشندهٔ طبیعی دیگر ← تولید پرفورین و آنزیم مرگ برنامه‌ریزی شده می‌کنند ← تا لنفوسیت *T* کمک‌کننده، یاخته‌های آلوده شده را از بین ببرند.

● راه‌های انتقال ایدز

ویروس *HIV* از طریق رابطه جنسی آلوده، خون، استفاده از اشیاء حاوی خون آلوده (*مثل سرنگ یا تیغ مشترک، خالکوبی و سوراخ کردن گوش با سوزن مشترک*) و مایعات بدن منتقل می‌شود. دقت کنید که مادر آلوده به *HIV* می‌تواند در جریان **بارداری**، **زایمان** و **شیردهی** ویروس را از راه بند ناف یا لوله گوارش به فرزند خود منتقل کند.

● عواملی که انتقال ویروس ایدز توسط آن‌ها ثابت نشده است

عواملی مثل دست دادن، روبوسی کردن، نیش حشرات، آب و غذا، ترشحات بینی، بزاق، خلط، عرق و اشک یا ادرار و مدفوع برای انتقال ایدز مثمرثمر نمی‌باشند و تاکنون انتقال بیماری توسط آن‌ها ثابت نشده است.

نکته تاکنون **درمانی** برای ایدز یافت نشده است.

نکته بهترین راه مقابله با ایدز، **پیشگیری** در عوامل انتقال دهنده و **افزایش آگاهی عمومی** است.

نکته این شکل ویروس‌ها را در حال خروج از یاخته آلوده نشان داده است که ۲۰۰ میلیون از آن‌ها را می‌توان در علامت نقطه (.) جای داد.



«HIV ویروس مسبب ایدز. در این شکل، ویروس با رنگ قرمز نشان داده شده است. ویروس‌ها در حال آزاد شدن از یاخته آلوده‌اند. این ویروس چنان ریز است که نزدیک به ۲۰۰ میلیون عدد از آن‌ها را می‌توان در نقطهٔ پایان این جمله جای داد.»

۲) حساسیت‌ها (آلرژی)

در اطراف بدن و درون بدن ما **مواد بی‌خطر و میکروب‌های مفید زیادی** وجود دارند که معمولاً بدن توسط دفاع **غیراختصاصی** آن‌ها را از عوامل **مضر و بیگانه** شناسایی می‌کند و به آن‌ها پاسخی نمی‌دهد (*مثلاً در لوله گوارش میکروب‌های مفیدی وجود دارند که سیستم ایمنی کاری به کار آن‌ها ندارد*). **به عدم پاسخ دستگاه ایمنی در برابر عامل‌های خارجی تحمل ایمنی می‌گویند.** در افراد مختلف ممکن است، دستگاه ایمنی به برخی از این **مواد بی‌خطر** واکنش نشان دهد و پاسخ ایمنی ایجاد کند. در چنین حالتی می‌گوییم این فرد به آن ماده حساسیت دارد و سیستم ایمنی آن به عوامل محیطی پاسخ بیش از حد می‌دهد. به ماده حساسیت‌زا که بی‌خطر می‌باشد آلرژن یا همان ماده حساسیت‌زا می‌گویند.

نکته عواملی مثل دانه گرده گیاهان یا مواد شوینده و... می‌توانند باعث ایجاد حساسیت در افراد مختلف شوند.

نکته در حساسیت‌ها، مادهٔ حساسیت‌زا سبب تحریک ماستوسیت‌های بافتی و بازوفیل‌های خونی می‌شود. این یاخته‌ها با پاسخ سیستم ایمنی **و ترشح هیستامین** سبب گشاد کردن عروق خونی و افزایش نفوذپذیری دیواره آن‌ها شده و علائم شایعی مثل قرمزی چشم و یا آب‌ریزش بینی و... ایجاد می‌کنند.

۳) بیماری‌های خودایمنی

اگر دستگاه ایمنی طوری اختلال عملکردی پیدا کند که برخی یاخته‌های **خودی** را به عنوان عامل بیگانه (*غیرخودی*) شناسایی کند و به آن‌ها حمله‌ور شود به این نوع بیماری‌ها **خودایمنی** می‌گویند.

دو مثال از بیماری‌های خودایمنی

- **دیابت نوع ۱:** در این بیماری دستگاه ایمنی به یاخته‌های تولیدکننده **انسولین** در بخش **درون‌ریز** لوزالمعده (*جزایر لانگرهانس*) حمله می‌کنند و با از بین بردن آن‌ها فرد دچار کمبود انسولین و بالا رفتن قند خون می‌شود که کنترل بیماری این افراد با تزریق انسولین می‌باشد. این نوع دیابت اغلب زمینهٔ ارثی دارد و در سنین پایین‌تر از ۴۰ سال مشاهده می‌شود.
- **مالتیپل اسکلروزیس (*MS*):** در این بیماری خودایمنی بدن به **میلین‌های** اطراف یاخته‌های عصبی **مغز و نخاع** حمله می‌کند و میلین **قسمت‌هایی** از آن‌ها را از بین می‌برد. در این افراد هدایت پیام عصبی کند می‌شود و ارتباط دستگاه عصبی مرکزی با بقیه بدن (*اعصاب محیطی*) مختل می‌شود (*در MS محصول یاخته غیرعصبی پشتیبان مورد حمله سیستم ایمنی قرار می‌گیرد ولی هدایت پیام عصبی در یاخته‌های عصبی مغز و نخاع مختل می‌شود*). افراد مبتلا به بیماری *MS* ممکن است در بینایی و حرکت آن‌ها اختلال ایجاد شود و فرد احساس لرزش و بی‌حسی کند.

نکات ایمنی در جانوران دیگر

۱) همهٔ **جانوران** از اسفنج‌ها و کیسه‌تنان تا انسان‌ها، در بدن خود **دفاع غیراختصاصی** دارند ولی **دفاع اختصاصی** ویژه **مهره‌داران** می‌باشد.

۲) در بی‌مهرگان با اینکه دفاع اختصاصی وجود ندارد ولی **سازوکارهایی** مشابه ایمنی اختصاصی دیده می‌شود مثلاً در مگس میوه، مولکولی پیدا شده است که به صدها شکل مختلف دفاعی درمی‌آید و آنتی‌ژن‌های مختلف را شناسایی می‌کند. دقت کنید که این ویژگی مگس میوه نیز نوعی دفاع غیراختصاصی است.

۳) مطالعه دانشمندان در مورد **دستگاه ایمنی بی‌مهرگان**، شباهت زیادی با **مهره‌داران** را نشان داده است که این مطالعات سبب درک بهتر نحوه، تکامل و پیدایش **ایمنی اختصاصی** می‌شود.

فصل ششم
تقسیم یاخته

درسنامه

همان‌طور که در علوم سال هشتم آموختید در بدن انسان میلیاردها یاخته وجود دارد. در صورتی که زندگی جدید در انسان با تشکیل یاخته‌ای به نام تخم (زیگوت) آغاز می‌شود و پس از چند ماه از جنین یک نوزاد با چند میلیارد یاخته ایجاد می‌شود و سپس در یک فرد بالغ صدها میلیارد یاخته دیده می‌شود.

یادآوری

از علوم هشتم به یاد دارید که:

۱) **ژن‌ها** از طریق تولید **پروتئین‌ها** سبب ایجاد صفات مختلف در افراد مختلف می‌شوند.

۲) *DNA* درون هسته یوکاریوت‌ها و سیتوپلاسم باکتری‌ها، دارای اطلاعات وراثتی در بخش‌هایی به نام ژن می‌باشند که از یاخته به یاخته دیگر با تقسیم میتوز و از نسل به نسل دیگر با تولیدمثل منتقل می‌شوند.

۳) **بیشتر** صفات ارثی، مانند رنگ چشم به صورتی فعال می‌شوند که یک صفت تحت کنترل **چند ژن** می‌باشد که با هم کار می‌کنند.

۴) *DNA* درون یاخته، رشته‌هایی به نام **کروموزوم** می‌سازد که در هر جاندار تعداد مشخصی وجود دارد.

۵) کروموزوم‌ها در یاخته‌های **در حال تقسیم** و با استفاده از **میکروسکوپ** دیده می‌شوند.

۶) تفاوت بین افراد **یک گونه** علاوه بر **عوامل ژنتیکی** به **عوامل محیطی** نیز بستگی دارد مثلاً رنگ گل‌های گیاه ادریسی در خاک اسیدی به صورت آبی و در خاک خنثی به صورت صورتی می‌باشد.

۷) در **بسیاری** از صفات، **ژن‌ها به کمک عوامل محیطی** در جاندار بروز می‌کنند.

۸) می‌توان با استفاده از ژن انسانی در یک جاندار ساده مثل باکتری، محصول انسانی مثل هورمون انسولین ایجاد کرد.

۹) در تقسیم میتوز از یک یاخته، در نهایت دو یاختهٔ مشابه ایجاد می‌شود ولی در تقسیم میوز تعداد کروموزوم یاخته‌های حاصل نصف تعداد کروموزوم یاخته اولیه است.

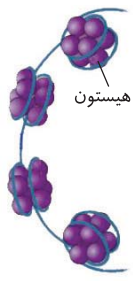
گفتار ۱ بررسی کروموزوم (فام‌تن)

کروموزوم، ماده وراثتی بدن جانداران می‌باشد که از **DNA** (دِ‌ان‌اِی) **و پروتئین** به وجود آمده است. از نظر جنس، کروموزوم‌ها همانند ویروس‌ها و ریبوزوم، از اسیدهای نوکلئیک و پروتئین تشکیل شده‌اند و عامل انتقال صفات یعنی ژن‌ها در کروموزوم قرار گرفته‌اند.

نکته

در سال بعد به‌طور کامل می‌خوانید که ژن‌ها دستورالعمل فعالیت خود را ابتدا با ساخت مولکولی به نام *RNA* انجام می‌دهند. درون یاخته سه نوع *RNA* اصلی به نام *mRNA* ، *tRNA* و *rRNA* وجود دارد که *mRNA* دستورالعمل ساخت پروتئین‌ها و صفات مختلف را به محل ساخت پروتئین منتقل می‌کند.

در هر کروموزوم **یوکاریوتی**، در اغلب مناطق آن مولکول *DNA* حدود دو دور در اطراف ۸ مولکول پروتئینی به نام هیستون پیچیده قرار گرفته است و واحدهایی تکرار شونده به نام نوکلئوزوم (هِستُن) را ایجاد کرده است. نوکلئوزوم‌ها سبب استحکام کروموزوم می‌شوند. در نوکلئوزوم *DNA* و پروتئین وجود دارد ولی بین دو نوکلئوزوم فقط رشته *DNA* وجود دارد.



«پیچیدن دنا به دور هیستون‌ها»

نکته

در یاخته‌های یوکاریوتی، کروموزوم‌های هسته به صورت خطی وجود دارند ولی مقدار کمی *DNA* به صورت حلقوی نیز درون میتوکندری و کلروپلاست وجود دارد ولی واژه نوکلئوزوم و هیستون فقط مخصوص واحدهای تکرار شونده در کروموزوم خطی هسته می‌باشد و پروکاریوت‌ها فاقد هسته، هیستون و کروموزوم خطی می‌باشند.

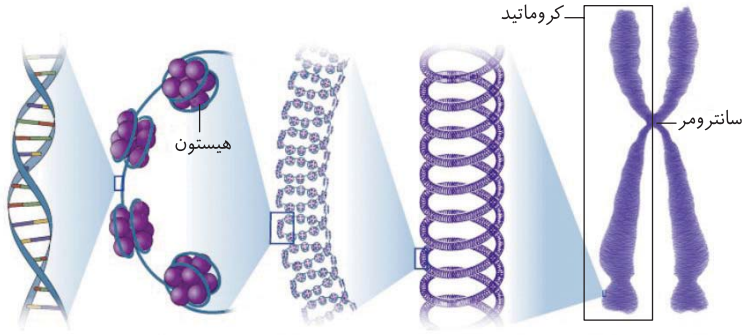
زندگی یاختهٔ یوکاریوتی

یک یاخته زنده یا در مرحله اسـتراحت و یا در مرحله تقسـیم می‌باشـد (*برخی یاخته‌ها بعد از تولد تقسـیم نمی‌شـوند و همواره در مرحله اسـتراحت باقی می‌مانند مثل یاخته‌های عصبی که هسته دارند و یا گویچه قرمز بالغ که هسته ندارد.*)

وضعیت کروموزوم‌ها در مراحل مختلف زندگی یاخته

در ابتـدا دقـت کنید که یاختـه در طی زندگـی خود دو مرحلهٔ استراحت (*اینترفاز*) و تقسیم دارد که جلوتر به‌طور کامل در مورد آن مطلب می‌آموزید.

هنگامـی کـه یاخته **در حال اسـتراحت** می‌باشـد و تقسـیم را شـروع نکـرده اسـت کروموزوم‌هـای آن بـه صـورت **رشـته‌های نوکلئوپروتئینی** همراه با هیستون ولی **با فشردگی** بسـیار **کم** می‌باشند. این رشته‌ها به صورت **توده‌ای دراز و نازک و در هم رفته** قرار دارند که به آن‌ها **کروماتین** (*خامینه*) می‌گوینـد کـه از همدیگـر قابل رؤیـت و تفکیـک از هم نیسـتند. **قبـل** از اینکه یاخته وارد مرحله تقسـیم شـود، به تدریـج مولکول *DNA* و تعداد رشـته‌های کروماتینی آن، ابتدا **دو برابر** و سپس با شروع تقسیم **به هم فشرده‌تر، ضخیم و کوتاه‌تر** می‌شوند.



«مراحل فشرده شدن کروموزوم»

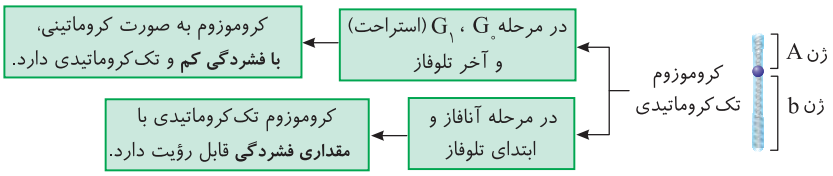
نکـته

خـود مولکـول دنا فشـردگی آنچنانی ندارد بلکه دو رشـتهٔ مارپیچی خالص از نوکلئوتیدها می‌باشـد. در حقیقت فشـردگی دنا در اثـر ورود پروتئین‌ها و ایجاد نوکلئوزوم‌ها صورت می‌گیرد.

اجزای هر کروموزوم

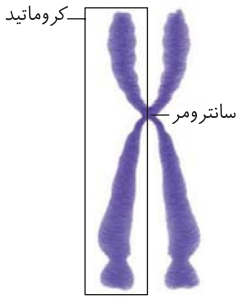
۱) کروموزوم تک‌کروماتیدی

هر کروموزوم، هم در بخش‌هایی از زمان اسـتراحت (*اینترفاز*) و هم در بخش‌هایی از مراحل انتهای تقسـیم یاخته می‌تواند حاوی یک مولکول *DNA* یا یک بخش باشد که به آن‌ها **کروموزوم تک‌کروماتیدی** گفته می‌شود (*در ادامه می‌خوانیم که یاخته در مراحل G_0 و G_1 استراحت (اینترفاز)، مراحل آنافاز، تلوفاز تقسیم و مرحلهٔ تقسیم سیتوپلاسم، حاوی کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی است*).



۲) کروموزوم مضاعف (دوکروماتیدی)

پیش از شـروع تقسـیم یاختـه، یعنی از اواسـط مرحله اسـتراحت (*مرحلـه S اینترفاز*) رشـته‌های کروماتینی تک‌کروماتیدی شروع به همانندسازی و دو برابر شدن مولکول *DNA* و اجزای آن می‌کنند به‌طوری که در آخر مرحله *S* اینترفاز، هر کروماتین از دو بخش شبیه به هم به نام **کروماتید** (*خامینک*)های خواهری تشکیل شده است. در حالت عادی کروماتیدهای خواهری یک کروموزوم از نظر **محتوای ژنی** و دستورالعمل کاملاً یکسـان می‌باشـند و توسـط **پروتئین‌هایی** در محلـی به نام **سـانترومر** به هم متصلند. بـه دو کروماتید یک کروموزوم (*کروماتین*) که در محل سانترومر به هم متصلند، کروماتیدهای **خواهری** می‌گویند. هر کروماتید خواهری یک مولکول *DNA* و دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی دارد که دستورالعمل ژن‌های **دو کروماتید** خواهری کاملاً مشابه و یکسان می‌باشد. مثلاً اگر یک کروماتید دستورالعمل *A* از یک ژن دارد، کروماتید خواهری متصل به آن نیز در همان ژن باید دستورالعمل *A* داشته باشد.

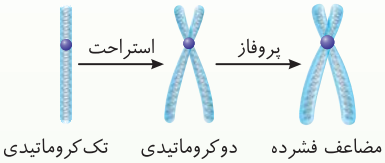


«کروموزوم دوکروماتیدی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) هر *RNA* و *DNA* از واحدهای تکرار شونده‌ای به نام نوکلئوتید تشکیل شده‌اند که *RNA* حاوی یک رشته و *DNA* حاوی دو رشته نوکلئوتیددار با تعداد زیادی نوکلئوتید متصل به هم می‌باشند.

۲) کروماتین‌ها، قبل از شروع تقسیم یاخته یعنی در مرحله استراحت، **مضاعف و دوکروماتیدی** می‌شوند ولی شروع فشرده شدن زیاد و قابل رؤیت شدن آن‌ها با میکروسکوپ در هنگام شروع تقسیم یاخته در مرحله پروفاز می‌باشد.



۳) کروموزوم تک‌کروماتیدی در هسته به عنوان یک کروموزوم (*کروماتید*) بوده و یک سانترومر، یک مولکول *DNA* و دو رشته نوکلئوتیددار دارد ولی کروموزوم دوکروماتیدی یک کروموزوم بوده که حاوی یک سانترومر، دو کروماتید، دو مولکول *DNA* و چهار رشته نوکلئوتیددار می‌باشد. (*دقت کنید که برای ایشرضر واژه کروماتین صحیح است ولی به اصطلاح به آن کروموزوم تک‌کروماتیدی یا مضاعف نیز می‌گویند.*)

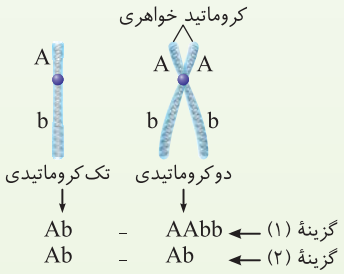
۴) در هسته یوکاریوت‌ها، همواره
- تعداد کروموزوم = تعداد سانترومر
- تعداد کروماتید = تعداد مولکول *DNA*
- تعداد رشته نوکلئوتیددار *DNA* = مولکول *DNA*×۲

مثال: برای هسته یاخته‌ای با ۴۶ کروموزوم در حالت تک‌کروماتیدی و دوکروماتیدی جدول زیر را پر کنید.

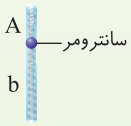
تعداد	کروموزوم	سانترومر	کروماتید	مولکول *DNA*	رشته نوکلئوتیددار در کروموزوم
تک‌کروماتیدی	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۹۲
دوکروماتیدی	۴۶	۴۶	۹۲	۹۲	۱۸۴

مثال: کروموزومی در حالت تک‌کروماتیدی و مضاعف ژن‌های مقابل را دارا می‌باشد، کدام گزینه فرمول ژنتیکی (ژنوتیپ) فرد دارای این کروموزوم‌ها را به‌طور صحیح نشان می‌دهد؟

پاسخ: گزینهٔ (۲) صحیح می‌باشد.

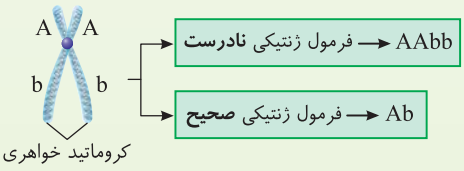


۵) وقتی کروموزومی تک‌کروماتیدی است فرمول ژنتیکی آن مشخص و واضح است و همان ژن‌های روی کروموزوم را برای آن می‌نویسیم که به صورت *Ab* می‌باشند.

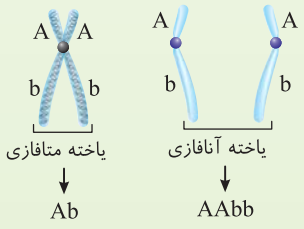


◀ کروموزوم مقابل دارای یک مولکول *DNA* می‌باشد.

۶) تا هنگامی که دو کروماتید یک کروموزوم به هم متصل هستند، این دو مولکول *DNA* مشابه را به عنوان **یک کروموزوم** مضاعف حساب می‌کنیم و فرمول ژنتیکی یا ژنوتیپ آن به صورت *Ab* می‌باشد و نباید دو دستورالعمل ژنی یکسان آن‌ها را متفاوت بنویسیم (*البته این کروموزوم دو ژن A و دو ژن b دارد ولی فرمول ژنتیکی آن تا هنگامی که کروماتیدها به هم متصلند، یکی از هر نوع ژن آن را در بر می‌گیرد*).

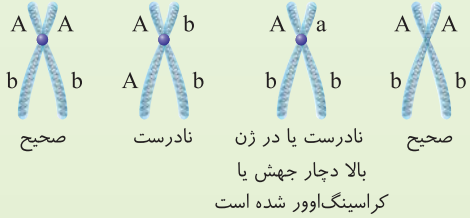


ولی وقتی در انتهای تقسیم (*مرحله آنافاز*) این دو کروماتید خواهری از هم جدا شدند، دیگر هرکدام یک کروموزوم مستقل جداگانه به حساب می‌آیند و **یاخته در کل این دو کروموزوم جدا شده حاوی آن‌ها** فرمول ژنتیکی ***AAbb*** دارد ولی هر کروموزوم (*چه تک‌کروماتیدی و چه دوکروماتیدی*) فرمول *Ab* دارند.



۷) در حقیقت با جدا شدن دو کروماتید خواهری، تعداد ژن‌های درون یاخته زیاد نمی‌شود ولی تعداد کروموزوم‌ها، سانترومرها و دستورالعمل مستقل ژنی (*الل‌ها*)، دو برابر می‌شوند.

۸) همواره دو کروماتید خواهری محتوای ژنتیکی یکسانی دارند مگر اینکه جهشی در حین همانندسازی *DNA* رخ داده باشد یا طی میوز یاخته دچار فرایند کراسینگ‌اوور شده باشد که جلوتر می‌خوانیم.



انواع یاخته‌های بدن جاندار

اغلب جانداران پریاخته‌ای در بدن خود دو نوع یاخته پیکری (*غیرجنسی*) و یاخته جنسی دارند. **در هر گونه** تعداد معینی کروموزوم در هر هستهٔ یاخته‌های پیکری جاندار وجود دارد، این یاخته‌ها تقسیم می‌شوند و بدن پریاخته‌ای جاندار را می‌سازند مثلاً یاخته پیکری انسان و درخت زیتون ۴۶ کروموزوم دارند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) برخی گونه‌های **مختلف**، می‌توانند **تعداد کروموزوم یکسانی** داشته باشند مثلاً تعداد کروموزوم در هسته یاخته پیکری انسان و درخت زیتون هر دو ۴۶ عدد می‌باشد ولی آن‌چه که تفاوت دو جاندار را در **گونه‌های مختلف** یا **حتی یک گونه** ایجاد می‌کند **نوع ژن‌ها** و **دستورالعمل ژن‌های** آن‌هاست.

۲) به **تعداد کروموزوم‌های** یک جاندار در هر هستهٔ یاخته‌های پیکری آن‌ها **عدد کروموزومی** می‌گویند. مثلاً عدد کروموزومی انسان و درخت زیتون برابر ۴۶ می‌باشد.

۳) افراد **دو گونه مختلف، نوع ژن‌ها و نوع دستورالعمل ژنی** متفاوتی با هم دارند ولی در بین افراد **یک گونه** تفاوت در نوع دستورالعمل ژن‌ها می‌باشد. مثلاً سال آینده می‌خوانید همهٔ انسان‌ها در جفت کروموزوم ۲۳ خود ژن تولید پروتئین انعقاد خون (*فعال‌کننده پروترومبیناز*) را دارند ولی اگر این ژن دستورالعمل مناسبی داشته باشد، فرد سالم است ولی اگر دستورالعمل نادرستی را منتقل کند، ممکن است فرد به بیماری کشنده هموفیلی مبتلا باشد.

۴) روی یک کروموزوم می‌تواند تعداد زیادی ژن و توالی‌های تنظیمی و بین‌ژنی قرار داشته باشد (*دوازدهم*).

۵) تعداد کروموزوم‌های جانداران یوکاریوتی (*عدد کروموزومی*) مختلف از ۲ تا بیش از ۱۰۰۰ تا متغیر می‌باشد ولی باکتری‌ها یک *DNA* حلقوی اصلی به عنوان ماده ژنتیکی خود دارند.

۶) در قسمت‌های جلوتر یک نکتهٔ بسیار مهم را یاد می‌گیرید که در زنبورها، جنس نر و ماده نوع ژن و ترتیب یکسانی دارند ولی تعداد کروموزوم در ماده‌ها دو برابر نرها می‌باشد.

مجموعه‌های کروموزومی یا نمادهای یاخته‌های مختلف

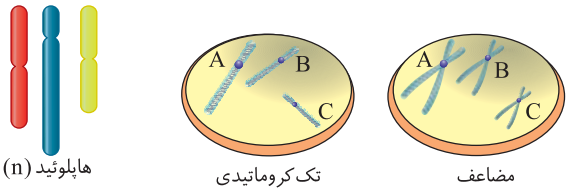
مجموعه کروموزوم‌های یاخته‌های مختلف جانداران را می‌توان با فرمول $Xn=Y$ به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. در این فرمول Y تعداد کروموزوم‌های یاخته یا عدد کروموزومی می‌باشد، X تعداد مجموعه کروموزومی می‌باشد و n بیانگر تعداد کروموزوم‌های هر مجموعه می‌باشد که اندازه و ساختار متفاوتی دارند.

در ادامه به بررسی انواع یاخته‌ها می‌پردازیم.

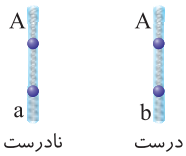
الف) یاخته‌های هاپلوئیدی (n کروموزومی = تک‌لاد)

این یاخته‌ها **در یاخته‌های جنسی جانوران** و هر یاخته بخش هاپلوئیدی گیاهان طبیعی دیده می‌شوند. البته یاخته‌های پیکری برخی جانداران مثل **قارچ‌ها و برخی آغازیان** نیز هاپلوئیدند و **یک مجموعه کروموزومی** دارند.

مثال: در مورد یک یاخته $n=۳$ توضیح دهید.



پاسخ: این یاخته دارای ۳ کروموزوم، ۳ سانترومر و تعداد زیادی ژن می‌باشد که برحسب مرحله چرخه یاخته‌ای می‌تواند تک‌کروماتیدی یا دوکروماتیدی باشد. این یاخته **یک مجموعه کروموزوم دارد** که کروموزوم‌های آن مجموعه، **طول، شکل و اندازه متفاوتی** دارند. در این یاخته هر ژن یک دستورالعمل دارد و چون هم‌پوشانی یا روابط بین دستورالعمل‌های مختلف یک صفت بین آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد، هر دستورالعملی که در هر ژن آن وجود دارد را بروز می‌دهند. مثلاً در این یاخته نباید در مورد ژنی هم دستورالعمل A (*بارز*) و هم نهفته (a) وجود داشته باشد.



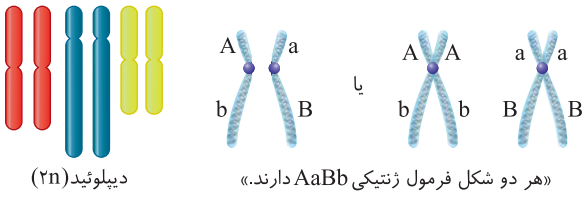
نکته در یاخته هاپلوئید، **کروموزوم همتا** (*هومولوگ*) **وجود ندارد** و هر یاخته **حداکثر یک کروموزوم جنسی** و **تعدادی** کروموزوم **غیرجنسی** دارد.

نکته در گونه‌های هاپلوئید (n)، صفت نهفته (a) از سایر یاخته‌های $۲n$ ، $۳n$ و... **بیشتر بروز می‌کند** چون ژنی که دستورالعمل نهفته (a) دارد قطعاً آن ویژگی را بروز می‌دهد ولی در یاخته و جاندار $۲n$ ، ممکن است با کروموزوم دارای دستورالعمل A هم‌پوشانی شود و بروز نیابد که در ادامه بیشتر به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

صفت بارز A بروز می‌دهد ⟵ یاخته دیپلوئید دارای A و a صفت نهفتهٔ a بروز می‌دهد ⟵ یاخته هاپلوئید دارای a

ب) یاخته‌های دیپلوئیدی ($2n$ کروموزومی = دولاد)

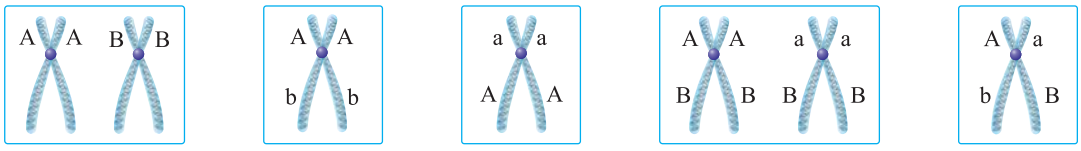
یاخته‌هـای دیپلوئیدی یا $2n$ کروموزومی، همان یاخته‌های **پیکری** بدن انسـان و سـایر جانوران و همچنین یاخته‌های مرحله دیپلوئیدی گیاهان می‌باشـند. **در این یاخته‌ها هر کروموزوم، دارای یک کروموزوم شـبیه از نظر اندازه، طول و سـاختار می‌باشد** کـه ژن‌هـا و صفات مشـابهی را حمـل می‌کنند. بـه ایـن **دو کروموزوم** در یاخته، کروموزوم‌های **همتا یا هومولوگ** می‌گویند. **دو کروموزوم همتا ژن‌های مربوط به ویژگی مشـابهی را در جایگاه‌های روبه‌روی هم دارند ولی دسـتورالعمل بـروز این ژن‌ها می‌تواند مشابه یا متفاوت باشد.** در حقیقت هر یک از کروموزوم‌های همتا را از یک والد خود دریافت کرده‌اند. مثلاً براساس کتاب دوازدهم در بدن ما دو کروموزوم شمارهٔ ۱ وجود دارد که هر دو دارای دستورالعمل ایجاد گروه خونی Rh می‌باشند. حال ممکن است که یک نفر دو دستورالعمل dd مشابه در دو کروموزوم همتای خود داشته باشـد و Rh منفی شـود ولی فرد دیگری دو دسـتورالعمل متفاوت D و d را از والدین خود به ارث برده باشـد و دارای Rh مثبت شـود. کروموزوم‌های یاخته‌های دیپلوئید، دوتا دوتا با هم همتا یا هومولوگ می‌باشند. این یاخته **برای هر ژن دو دستورالعمل دارد** و حداکثر دو کروموزوم جنسی و تعدادی کروموزوم غیرجنسی دارد.



«هر دو شکل فرمول ژنتیکی AaBb دارند.»

دیپلوئید(۲n)

مثال: اگر (A یا a) دسـتورالعمل ژن‌های ایجادکننده نوع نرمه‌گوش و (B و b) دسـتورالعمل ژن مو در آوردن روی بند انگشـتان باشـند و هر دو ژن روی کروموزوم شماره یک انسان واقع شده باشد، چند مورد زیر، قرارگیری آن‌ها را روی کروموزوم‌های مضاعف انسان به‌طور صحیح نشان می‌دهد؟


(الف) (ب) (ج) (د) (هـ)

۱) ۲ مورد **۲)** ۳ مورد **۳)** صفر مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ: فقط موارد (ب) و (د) صحیح می‌باشند بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح می‌باشد.

نکته دقـت کنیـد که ایـن دو ژن به صورت **پیوسـته** روی یک کروموزوم قـرار دارند. در کروموزوم‌های مضاعف، دسـتورالعمل‌های قرار گرفتـه در کروماتیدهای خواهری باید کاملاً مشابه و در جایگاه یکسان باشند و دو کروموزوم همتا نیز باید در مناطق یکسانی، دستورالعمل‌های هر ژن را داشته باشند.

بررسی موارد:

الف) نادرست است. در یک کروموزوم مضاعف، دو کروماتید خواهری باید دستورالعمل ژنی **مشابه** داشته باشند (A و a نباید در دو کروماتید خواهری وجود داشته باشد).
ب) درسـت اسـت. در **یک جفت کروموزوم** همتا دستورالعمل ژن‌های روبه‌روی هم می‌تواند مشابه یا متفاوت باشد اما باید از نظر جایگاه قرارگیری ژن‌های صفت مورد نظر، یکسـان باشـند. / ج) نادرسـت است. دستورالعمل یک ژن (A و a) نمی‌تواند زیر هم روی یک کروموزوم باشند بلکه با ژن‌های صفات دیگر می‌توانند روی یک کروموزوم پیوسـته قرار بگیرند. / د) درسـت اسـت. هر کروموزوم یک دستورالعمل از ژن اول و یک دستورالعمل از ژن دوم دارد. / هـ) نادرست است. این دو ژن روی یک کروموزوم هستند نه روی کروموزوم‌های مستقل جدا از هم!

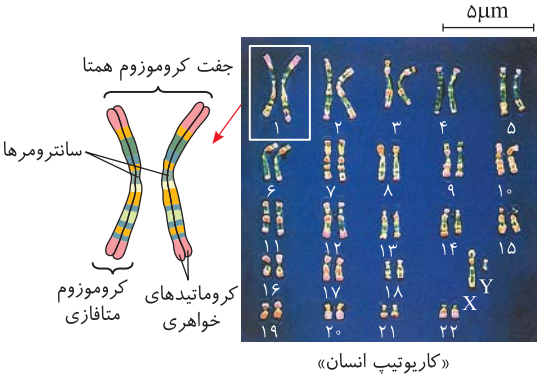
نکته یاخته‌های بدنی یا پیکری انسـان دیپلوئید با ۴۶ کروموزوم می‌باشـند که در مردان دارای دو کروموزوم جنسـی X و Y **غیرهمتا** و ۴۴ کروموزوم غیرجنسـی (۲۲ نوع) می‌باشند. در زنان هر یاخته پیکری دارای دو کروموزوم جنسی X همتا یا هومولوگ و ۴۴ کروموزوم غیرجنسی می‌باشند.

نکته ۴۴ کروموزوم غیرجنسـی مرد و زن سـاختار یکسـانی دارند که ۲۲ جفت کروموزوم همتا یا هومولوگ می‌باشـند. مردان در جفت شـماره ۲۳ یا کروموزوم‌های جنسی خود یک کروموزوم X بزرگ و یک Y کوچک دارند در حالی‌که زنان هر دو کروموزوم جنسی آن‌ها همتا به صورت XX بزرگ می‌باشند. پس مردان در هستهٔ هر یاختهٔ پیکری خود ۲۴ **نوع** کروموزوم ولی زنان ۲۳ **نوع** کروموزوم دارند.

نکته انسان و بعضی جانداران کروموزوم‌های جنسی دارند که در تعیین جنسیت نقش دارند.

● کاریوتیپ

تصویـری از ردیـف کردن کروموزوم‌هـای **مضاعف** با حداکثر فشـردگی یک جاندار برحسب اندازه، شـکل و محل قرارگیری سانترومرها می‌باشد. معمولاً کاریوتیپ را در **مرحله‌ای از تقسـیم** که کروموزوم‌ها به کوتاه‌ترین، قطورترین و فشـرده‌ترین حالت می‌رسند (یعنی مرحلهٔ متافاز) انجام می‌دهند. با کاریوتیپ می‌توانیم تعداد کروموزوم‌ها و برخی ناهنجاری‌های کروموزومی (مثل نشانگان داون) را بررسی کنیم.

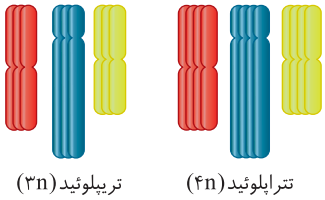


«کاریوتیپ انسان»

نکته در کاریوتیـپ به‌جز جفت کروموزوم آخر که کروموزوم‌های جنسـی هسـتند، سـایر کروموزوم‌هـا را برحسـب انـدازه از بزرگ‌تریـن (جفت ۱) بـه کوچک‌تریـن (جفت ۲۲ در انسان) ردیف می‌کنند.

نکته هر جفت کروموزوم همتا، اندازه و شکل مشابهی دارند و محل قرارگیری سانترومر آن‌ها روبه‌روی هم می‌باشد پس جفت کروموزوم جنسی X و Y با هم همتا نمی‌باشند.

ج) یاخته یا جاندار پلی‌پلوئید یا چندلادی (Xn کروموزومی)



برخی یاخته‌ها (*مثل اندوخه‌دانه* ۳n) و یا برخی گیاهان (*مثل گندم زراعی* ۶n) می‌توانند در حالت عادی و بـه دلایل متفاوت ژنی یا اشـکالات تقسـیم یاختـه، دارای **بیـش از دو مجموعـه کروموزوم** باشـند که به آن‌ها **پلی‌پلوئید** می‌گویند.

مثال: یاخته اندوخته دانه ذرتی ۳۰ کروموزوم دارد و یاختهٔ جنسـی آن ۱۰ کروموزومی بوده اسـت. این یاخته و قسمت‌های مختلف گیاه را توضیح دهید.

پاسخ: وقتی یاختهٔ جنسی آن که هاپلوئید است ۱۰ کروموزوم دارد پس ($n=10$) بوده است. در فصل ۸ می‌خوانیم که اندوخته یا آندوسپرم دانه غلات (*گندم، جو و ذرت*) به صورت ۳n یا تریپلوئید می‌باشد پس اندوخته ۳n=۳۰ بوده است یعنی ۳۰ کروموزوم دارد، ۳ مجموعه کروموزومی دارد که کروموزوم‌ها سه‌تا سه‌تا با هم همتا هستند. برای هر ژن، سه دستورالعمل دارند و هر مجموعه آن ۱۰ کروموزوم غیرهمتا دارد.

بخش‌های ذرت	مرحله	نوع یاخته‌ها	تعداد کروموزوم یا سانترومر	تعداد مجموعه کروموزومی	تعداد کروموزوم هر مجموعه	تعداد دستورالعمل (الل) هر ژن
هاپلوئیدی	تولیدکننده یاختهٔ جنسی	گرده، یاختهٔ جنسی، هر هسته دانه گرده	$n=10$	۱	۱۰ غیرهمتا	۱
دیپلوئیدی	اصلی رشد گیاه	تخم (*زیگوت*)، اندام‌های مختلف، هاگدان	$2n=20$	۲	۱۰ غیرهمتا	۲
تری‌پلوئیدی	اندوخته دانه (*آندوسپرم*)	یاخته اندوخته‌دار دانه	$3n=30$	۳	۱۰ غیرهمتا	۳

مثال: گندمی زراعی با یاخته‌های پیکری ریشه به صورت ۶n=۴۲ مفروض می‌باشد، در مورد هسته یاختهٔ جنسی، یاخته نگهبان روزنه و یاخته اندوخته‌دار دانه آن جدول زیر را پر کنید. (این جداول و سؤالات برای درک مطلب لازم است با اینکه می‌دانیم که سؤالات عددی در کنکور طرح نمی‌شود.)

گندم ۶n	تعداد کروموزوم	تعداد مجموعه کروموزومی	تعداد کروموزوم هر مجموعه	تعداد مولکول DNA	تعداد رشته نوکلئوتیددار DNA هسته
هسته یاختهٔ جنسی	۳n=۲۱	۳	۷ تا غیرهمتا (n)	همواره تک‌کروماتیدی است و ۲۱ مولکول DNA دارد.	۴۲
یاخته نگهبان روزنه	۶n=۴۲	۶	۷ تا غیرهمتا (n)	تک‌کروماتیدی ← ۴۲ دوکروماتیدی ← ۸۴	۸۴ ← ۱۶۸ ←
یاخته اندوخته در دانه	۹n=۶۳ اندوخته دانه در گیاه ۲n به صورت ۳n و در گیاه ۶n به صورت ۹n می‌باشد.	۹	۷ تا غیرهمتا (n)	تک‌کروماتیدی ← ۶۳ دوکروماتیدی ← ۱۲۶	۱۲۶ ← ۲۵۲ ←

نکته

در هر جاندار دارای تولیدمثل جنسی، هم یاخته پیکری (*غیرجنـس*) و هم یاخته جنسی دارای کروموزوم جنسی و غیرجنسی می‌باشد. مثلاً در انسان یاخته پوست ۴۶ کروموزوم دارد که ۲ تای آن جنسی و ۴۴ تا غیرجنسی است. یاخته زاینده بیضه و تخمدان نیز همانند یاخته پوست می‌باشد. اسپرم و تخمک که یاختهٔ جنسی جنسی فرد هستند و هاپلوئید می‌باشند دارای ۲۳ کروموزوم هستند که به‌طور معمول در خانم‌های بالغ همواره ۲۲ کروموزوم غیرجنسی و یک کروموزوم X جنسی دارند. در آقایان بالغ هر اسپرم دارای ۲۲ کروموزوم غیرجنسی و یک کروموزوم جنسی X یا Y می‌باشد.

نکته

دقت کنید که دو کروموزوم همتا از یک نوع هسـتند. پس در تخمک یک زن که یاخته‌ای هاپلوئید با ۲۳ کروموزوم اسـت، ۲۳ نوع کروموزوم غیرهمتا نیز وجود دارد ولی در یاختهٔ پیکری این زن که ۲n=۴۶ است، نیز ۲۳ **نوع** کروموزوم یافت می‌شود.

یاخته پیکری انسان
2n = ۴۶
(۲۲ جفت) کروموزوم غیرجنسی دارد.
۲ کروموزوم جنسی دارد.
xy یا xx

گامت‌های طبیعی انسان

نصف اسپرم‌ها و همه تخمک‌ها ۲۲ کروموزوم غیرجنسی و یک کروموزوم جنسی x دارند.

$\frac{1}{2}$ اسپرم‌ها دارای ۲۲ کروموزوم غیرجنسی و یک کروموزوم جنسی y می‌باشند.

نکته

به‌طور معمول در یک گونه، تعداد کروموزوم افراد نر و ماده با هم برابر است ولی به دلیل اینکه کروموزوم X از Y بزرگ‌تر است تعداد ژن‌های موجود در یاخته ۲n جاندار XX از جاندار XY هم گونه خود بیشتر است.

چرخه یاخته‌ای (سلولی)

در **اغلب** موارد، زندگی یک یاخته دو مرحله **استراحت و تقسیم** دارد. در یوکاریوت‌ها مراحل استراحت یاخته معروف به **اینترفاز**می‌باشد که **در اغلب** یاخته‌ها سه مرحله G_1، S و G_2 دارد. مرحله **تقسیم یاخته** (M) دو قسمت **تقسیم هسته** (*میتوز*) **و تقسیم سیتوپلاسم** را دربر می‌گیرد که روی هم به آن تقسیم یاخته یا مرحله M می‌گویند.

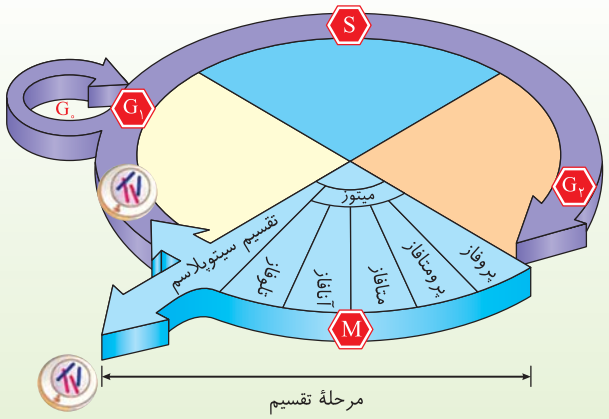
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ هرگاه از این چرخه سؤال آمد، منظور یاختهٔ یوکاریوتی بوده است.

۲ چرخه یاخته‌ای وقتی معنی دارد که یاخته قدرت تقسیم شدن داشته باشد و به دنبال آن، یاخته‌های حاصل نیز دوباره قدرت تقسیم شدن داشته باشند. **یک چرخه یاخته‌ای از پایان یک تقسیم تا پایان تقسیم بعدی می‌باشد** که شامل **اینترفاز و تقسیم یاخته** است.

۳ اینترفاز یا مرحله بین دو تقسیم یاخته حاوی سه مرحلهٔ G_1، S و G_2 می‌باشد ولی مرحلهٔ تقسیم یاخته، یک مرحلهٔ تقسیم هسته (*با مراحل پروفاز، پرومتافاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز*) که اغلب در انتها یک مرحله تقسیم سیتوپلاسم نیز دارد.

۴ در یاخته‌های مختلف، مدت هر مرحله چرخه یاخته‌ای با یاخته‌های دیگر متفاوت است.



«مراحل مختلف چرخهٔ یاخته»

بررسی کلی مراحل چرخه یاخته‌ای

اینترفاز

مرحله‌ای بین دو تقسیم یاخته‌ای می‌باشد که یاخته **بیشتر مدت زندگی** خود را در این مرحله می‌گذراند. در سراسر این مرحله کروموزوم‌ها به صورت رشته‌های **باریک در هم و شبکه کروماتینی** قرار گرفته‌اند که **قابل رؤیت نمی‌باشند.**

نکته مرحله اینترفاز سه مرحله G_1، S و G_2 دارد که کارهایی مثل رشد، ساخت مواد مورد نیاز و کارهای معمول یاخته‌ها را انجام می‌دهد.

نکته برخی یاخته‌ها بعد از تقسیم شدن به‌طور **موقت یا دائمی** تقسیم نمی‌شوند و به مرحله‌ای به نام G_0 وارد می‌شوند. **در مرحله** G_0 کروموزوم‌ها به صورت **تک‌کروماتیدی** قرار دارند. مثلاً یاخته‌های عصبی و گویچه قرمز بالغ بعد از تولد تقسیم نمی‌شوند و در مرحله G_0 متوقف می‌شوند.

نکته لنفوسیت‌های خاطره به‌طور موقت در G_0 قرار می‌گیرند ولی پلاسموسیت‌ها، اغلب یاخته‌های عصبی، ماهیچهٔ اسکلتی و گویچه‌های خونی (*بجز لنفوسیت‌ها*)، پس از تولد **دائماً** در مرحلهٔ G_0 قرار می‌گیرند.

● مرحله G_1

بیشترین زمان در بین مراحل چرخه زندگی در مرحله G_1 می‌باشد. در این مرحله یاخته تازه از چرخه قبل خارج شده است و کروموزوم‌ها **تک‌کروماتیدی** می‌باشند. یاخته‌ها رشد کرده و اندامک‌های مختلف خود را می‌سازند.



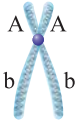
کروموزوم G_1 تک‌کروماتیدی

نکته آخر مرحلهٔ G_1، پروتئین‌هایی به عنوان نقاط وارسی برای **بررسی سلامت مولکول DNA هسته** وجود دارند. در صورت عدم سلامت مادهٔ ژنتیکی، با مکانیسم مرگ برنامه‌ریزی شده، فرایند مرگ یاخته‌ای صورت می‌گیرد (*گفتار بعد*).

نکته یاخته‌هایی که به‌طور **موقت یا دائمی** (*مثل یاخته‌های عصبی*) تقسیم نمی‌شوند معمولاً در مرحله G_1 متوقف می‌شوند و به مرحله G_0 می‌رسند که در همین صفحه به آن‌ها پرداختیم.

● مرحله S

در این مرحله **کروماتین‌های تک‌کروماتیدی** که حاوی یک مولکول DNA هستند با همانندسازی مولکول DNA سبب ایجاد کروماتین مضاعف یا دوکروماتیدی می‌شوند که حاوی دو کروماتید خواهری کاملاً مشابه می‌باشند که از سانترومر مشترک به هم متصلند ولی هنوز با فشردگی کم بوده و کروماتینی می‌باشند (*تعداد ژن‌ها در این مرحله دو برابر می‌شود*).



کروموزوم دوکروماتیدی
مرحله S

● مرحله G_2

این مرحله **کوتاه‌ترین مرحله اینترفاز است** که یاخته طی این مرحله **آماده تقسیم** می‌شود. در این مرحله ساخت پروتئین‌ها (*عوامل ساخت دوک*) و عوامل مورد نیاز تقسیم و اندامک‌هایی مثل میتوکندری و کلروپلاست افزایش می‌یابد و یاخته آماده تقسیم می‌شود.

نکته آخر مرحله G_2 نقطه بازرسی وارسی دارد که یاخته آماده شده برای ورود به تقسیم یاخته را بررسی می‌کند. مثلاً در این مرحله بررسی می‌شود که تمهیدات لازم برای تولید دوک تقسیم آماده باشد.

نکته در کل مرحله اینترفاز (G_1، S و G_2) کروموزوم‌ها به صورت کروماتینی یا کروموزوم مضاعف با فشردگی بسیار کم می‌باشند.

نکته به‌طور معمول در اینترفاز مدت زمان G_1 از S و مدت زمان مرحله S از G_2 بیشتر می‌باشد.

مرحله تقسیم یاخته

بعد از اینترفاز مرحله تقسیم یاخته آغاز می‌شود که به تدریج کروموزوم‌های مضاعف به فشردگی بیشتر درمی‌آیند. این مرحله دو قسمت میتوز یا تقسیم هسته با ۵ مرحله (*پروفاز، پرومتافاز، متافاز، آنافاز، تلوفاز*) و تقسیم سیتوپلاسم دارد.

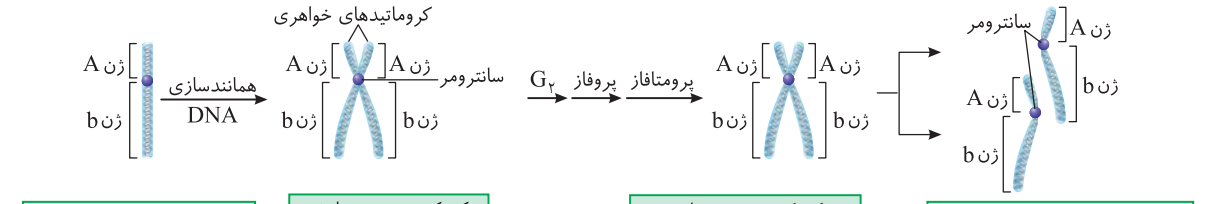
نکته چرخه یاخته شامل اینترفاز و تقسیم است که ۵ مرحله دارد. اینترفاز سه مرحله G_1، S و G_2 و تقسیم یاخته یا مرحله M دو قسمت تقسیم هسته و سیتوپلاسم دارد. پس در تست‌ها دقت کنید که اگر در سؤالی گفت در مرحلهٔ اول چرخهٔ یاخته‌ای، منظور مرحلهٔ G_1 نمی‌باشد بلکه منظور کل اینترفاز در هر سه مرحلهٔ G_1، S و G_2 می‌باشد.

جدول بررسی کروموزوم یاخته $2n=46$ در اینترفاز

مرحله	شکل کروموزوم	کروماتید	نقطه وارسی (معرفی شده در کتاب)	تعداد کروموزوم = سانترومر	تعداد کروماتید = مولکول DNA	رشته نوکلئوتیددار DNA
G_1	کروماتینی با فشردگی کم	تک‌کروماتیدی	دارد	۴۶	۴۶	۹۲
S	کروماتینی با فشردگی کم	دوکروماتیدی	ندارد	۴۶	۹۲	۱۸۴
G_2	کروماتینی با فشردگی کم	دوکروماتیدی	دارد	۴۶	۹۲	۱۸۴

● نکات تکمیلی

۱) دوکروماتیدی بودن یا مضاعف بودن کروماتین‌ها یا کروموزوم‌ها از وسط استراحت (*ایترفاز در مرحله S*) تا آخر مرحله متافاز تقسیم (*میتوز*) ادامه دارد ولی در مرحله آنافاز تقسیم، دو کروماتید خواهری از هم جدا شده و دیگر هرکدام یک **کروموزوم** دختری تک‌کروماتیدی به حساب می‌آیند.



۲) با توجه به شکل‌های بالا مشاهده می‌کنید که کروموزوم **تک‌کروماتیدی یا دوکروماتیدی** برحسب **نوع مرحله** چرخه یاخته می‌تواند به صورت **فشردگی کم کروماتینی یا فشرده کروموزومی** باشند.

۳) کروموزوم‌ها در مرحلهٔ متافاز، در وسط یاخته با حداکثر فشردگی به صورت شکل روبه‌رو قرار می‌گیرند.

۴) در جانوران (*به‌جز زنبور نر*)، یاخته‌های جنسی (*گامت‌ها*) معمولاً نصف تعداد کروموزوم یاخته زاینده یا اولیه خود را دارند. در گیاهان عادی، هر قسمت مربوط به بخش هاپلوئیدی یعنی گرده نارس، گرده رسیده، اندام‌های جنسی و یاخته‌های جنسی دارای یاخته یا یاخته‌های هاپلوئیدی می‌باشند.

۵) گامت، معمولاً قدرت لقاح و تشکیل یاخته تخم (*زیگوت*) دارد ولی در **گیاهان**، یاخته حاصل از میوز، قدرت انجام تقسیم میتوز دارد. البته در فصل بعد می‌خوانیم که در زنبور ماده، برخی تخمک‌ها قدرت تقسیم شدن دارند و طی بکرزایی به تولید زنبور نر می‌پردازند.



«ساختار یک کروموزوم دوکروماتیدی»

درسنامه

گفتار ۲ میتوز (رشتمان)

همان‌طور که در گفتار قبل گفتیم، چرخهٔ یاخته‌ای شامل دو مرحله است. مرحلهٔ اول استراحت یا اینترفاز بود که سه مرحله یا زیرمرحلهٔ G_1، S و G_2 آن را بررسی کردیم. در این گفتار به مرحلهٔ دوم یا تقسیم می‌پردازیم که خود دو مرحلهٔ تقسیم هسته (*میتوز*) و تقسیم سیتوپلاسم دارد. می‌دانیم که همهٔ انسان‌ها در ابتدا یک یاختـه تخـم (*زیگوت*) به صورت $2n=46$ بوده‌اند. یاخته تخم در اثر لقاح دو یاختهٔ جنسـی نر و ماده (*اسـپرم و تخمک*) کـه هرکدام ۲۳ کروموزوم تک‌کروماتیدی داشته‌اند ایجاد شده است و ابتدا ۴۶ کروموزوم **تک‌کروماتیدی** دارد. این یاخته تخم در اثر تقسیم شدن، بدن جاندار اصلی با میلیاردها یاخته مشابه می‌سازد.

میتوز

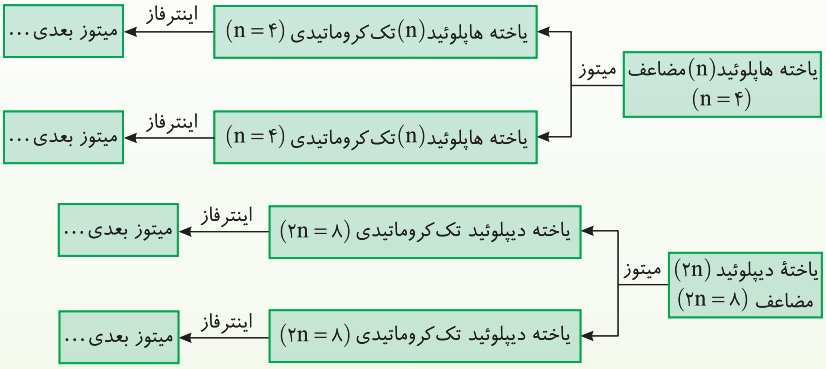
فرایندی است که طی آن **هستهٔ** یاختهٔ یوکاریوتی با کروموزوم‌های دوکروماتیدی (*مضاعف*)، **بدون کاهش عدد کروموزومی** به دو هستهٔ مشابه ولی **تک**کروماتیدی تبدیل می‌شـود. بعد از میتوز، یاخته **معمولاً** وارد مرحلهٔ تقسـیم سیتوپلاسـم می‌شود تا یاخته‌های مجزا ایجاد شوند و دوباره پس از طی اینترفاز وارد میتوز بعدی می‌شود. به همین ترتیب تعداد زیادی یاخته مشابه ایجاد می‌شود تا بدن جاندار پریاخته‌ای ایجاد شود.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱ تقسـیم میتوز در هر یاخته‌ای از نظر هاپلوئید یا دیپلوئید بـودن، می‌تواند صورت بگیرد و همواره در حالت عادی دو یاخته مشابه ایجاد می‌کند.

۲ یاخته‌های فاقد هسـته مثل گویچه قرمز بالغ و یاخته آبکش بالغ گیاهان قدرت میتوز ندارند.

۳ برخـی یاخته‌هـای هسـته‌دار تمایـز یافته مثل یاخته‌های عصبی نیـز بعد از تولد میتوز ندارند و بـا افزایش حجم رشـد می‌کنند. ایـن یاخته‌ها در مرحلـهٔ G_0 می‌ماننـد و همانندسـازی DNA و کروموزوم مضاعف تشکیل نمی‌دهند.

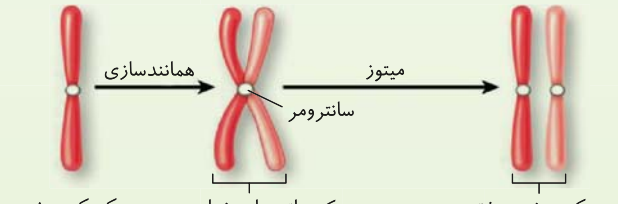


۴ برخی یاخته‌ها مثل یاخته پادتن‌ساز سیستم ایمنی، درشت‌خوارها و... نیز هسته دارند و پس از تمایز میتوز نمی‌کنند.

۵ تقسـیم میتوز دارای ۵ مرحله پروفاز، پرومتافاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز می‌باشـد که در ادامه آن‌ها را به‌طور مفصل بررسـی می‌کنیم. البته میتوز فرایندی پیوسـته می‌باشد ولی زیست‌شناسان برای سادگی فهم، آن را به مرحله‌هایی تقسیم‌بندی می‌کنند.

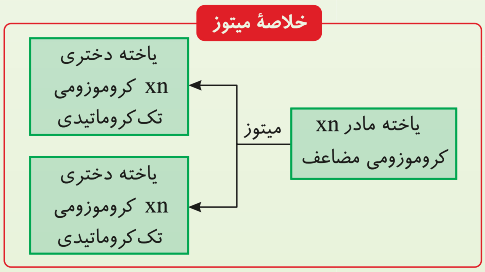
۶ به یاخته اولیه‌ای که می‌خواهد میتوز کند، یاخته مادر می‌گویند و به دو یاختهٔ حاصل از تقسیم میتوز آن، یاخته‌های دختری اطلاق می‌شود. DNA موجود در کروموزوم‌های این یاخته، در مرحله S اینترفاز همانندسازی کرده و کروموزوم مضاعف دوکروماتیدی ایجاد می‌کنند. طی میتوز این کروموزوم‌ها فشرده‌تر شده و در وسط یا استوای یاخته به خط می‌شوند و توسط عواملی به نام دوک (*در ادامه می‌خوانیم!*) حرکت کرده و از هم جدا می‌شوند و به صورت تک‌کروماتیدی به دو یاخته دختری می‌رسند.

۷ دو کروماتید خواهری تا وقتی گفته می‌شـود که توسـط سـانترومر به هم متصل باشـند ولی وقتی این دو کروماتید از هم جدا شـدند، به هرکدام یک کروموزوم دختری با سانترومر مخصوص به آن نام می‌بریم.



«طرح ساده‌ای از تقسیم کروموزوم‌ها و جدا شدن کروماتیدهای خواهری در میتوز»

خلاصهٔ میتوز



۸ یاخته(*های*) حاصل از میتوز
- همواره تک‌کروماتیدی است.
- برخی وارد اینترفاز می‌شوند و دوباره میتوز می‌کنند (*اغلب یاخته‌های پیکری انسان*).
- برخی ممکن است در اندام جنسی، پس از اینترفاز، میوز کنند.
- برخی می‌توانند مثل اسپرم زنبور، یاختهٔ جنسی باشند و لقاح کنند (*فصل ۷*).
- در گیاهان، یاختهٔ جنسی حاصل میتوز است و لقاح می‌کند (*فصل ۸*).

دوک

درون یاخته‌های یوکاریوتی، اسکلت یاخته‌ای از رشته‌ها و ریزلوله‌های **پروتئینی** تشکیل شده است که **باعث استحکام یاخته** می‌شود. این اسکلت از دو نوع مختلف پروتئین تشکیل شده است. یک نوع ریزرشته‌های زیر غشای یاخته و یک نوع ریزلولهٔ سیتوپلاسم هستند. از طرف دیگر ساختاری از ریزلوله‌های پروتئینی به نام **دوک** در **هنگام تقسیم یاخته** ایجاد می‌شود که سبب **حرکت و جدا شدن صحیح کروموزوم‌ها** طی تقسیم می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دوک تقسیم، مجموعه‌ای از ریزلوله‌های پروتئینی می‌باشد که در هنگام تقسیم یاخته در **سیتوپلاسم** پدیدار می‌شود. **هر رشته** دوک از **یک** ریزلوله پروتئینی تشکیل شده است که از یک طرف در یک قطب یاخته و از طرف دیگر، **گروهی از آن‌ها** به سانترومر کروموزوم‌ها متصل می‌شوند و گروهی نیز به صورت آزاد بین دو کروموزوم قرار دارند. کوتاه شدن رشته‌های دوک سبب جدایی کروماتیدهای خواهری هر کروموزوم مضاعف شده که در این حالت به آن‌ها کروموزوم‌های دختری گفته می‌شود.

۲) دوک تقسیم در مرحله اینترفاز (G_1، S و G_2)، تلوفاز میتوز و تقسیم سیتوپلاسم وجود ندارد.

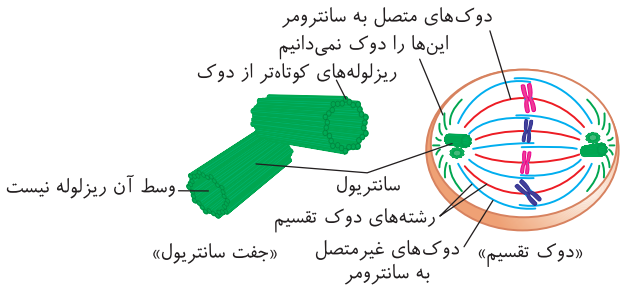
۳) دوک، رشته‌ای پروتئینی است. واحدهای سازنده آن، اغلب در مرحله G_2 و در ریبوزوم تولید می‌شوند ولی سازماندهی آن‌ها و رشته‌ای شدن آن‌ها در جانوران توسط سانتریول‌ها و در سایر یوکاریوت‌ها توسط عوامل موجود در هر قطب یاختهٔ بدون سانتریول صورت می‌گیرد. دقت داشته باشید که شروع تشکیل دوک با شروع تقسیم یاخته همراه می‌باشد.

۴) با توجه به شکل‌ها می‌بینیم که یک‌سری ریزلوله هم به‌جز دوک‌ها در اطراف سانتریول‌ها هستند که آن‌ها را دوک نمی‌نامند.

سانتریول (میانک)

سانتریول ساختاری پروتئینی در **یاخته‌های جانوری** است که ساخته شدن رشته‌های دوک تقسیم را سازماندهی می‌کند.

هر سانتریول از ۹ دسته ریزلوله پروتئینی ۳ تایی یعنی از ۲۷ ریزلوله پروتئینی در اطراف هسته یاخته تشکیل شده است. در **هر قطب یاخته** جانوری در حال تقسیم، **یک جفت سانتریول** به صورت دو جسم استوانه‌ای عمود بر هم (*لوله عمود بر هم*) وجود دارد که این سانتریول‌ها قبل از شروع تقسیم یاخته یعنی در مرحله G_2 اینترفاز دو برابر شده‌اند. اگر در شکل دقت کنید، دسته‌های سه‌تایی ریزلوله‌های سانتریولی به هم متصلند و مانند یک دایرهٔ **توخالی** قرار گرفته‌اند ولی در وسط دایرهٔ آن‌ها، ریزلوله وجود ندارد.



چند نکتهٔ مهم

۱) یاخته‌های گیاهی (*یا دقیق‌تر: گیاهان دانه‌دار*) با اینکه سانتریول ندارند ولی در مراحل تقسیم یاخته، دوک تشکیل می‌دهند.

۲) ریزلوله‌های تشکیل دهنده سانتریول از دوک **کوچک‌تر** هستند.

۳) هر جفت سانتریول دارای ۱۸ دسته لوله کوچک (*میکروتوبول*) پروتئینی ۳ تایی متصل به هم می‌باشد یعنی ۵۴ ریزلوله دارد ولی یاخته در حال تقسیم دارای دو جفت یا ۴ عدد سانتریول با ۱۰۸ ریزلوله کوچک پروتئینی می‌باشد.

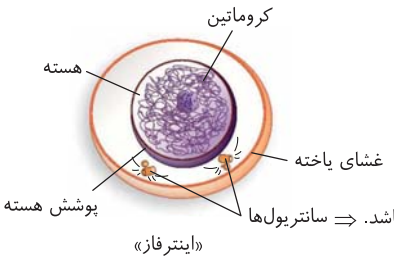
۴) در مراحل تقسیم میتوز، سانتریول‌ها از هم جدا می‌شوند ولی مضاعف نمی‌شوند بلکه این عمل **قبل از** شروع تقسیم در مرحله **اینترفاز** صورت می‌گیرد.

کلاً یک یاخته جانوری در حال تقسیم:
- ۴ سانتریول دارد.
- ۳۶ دسته ۳ تایی لوله‌چه پروتئینی دارد.
- ۱۰۸ لولهٔ کوچک پروتئینی در سانتریول‌ها دارد.
- تعداد زیادی دوک با ریزلوله‌های پروتئینی دارد.

بررسی چرخه یاخته‌ای یاخته $2n=4$ با فرمول ژنتیکی $AaBb$ (در دو صفت)

مرحله اینترفاز

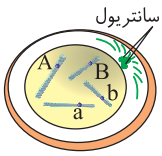
بیشتر زمان زندگی یاخته در این مرحله صرف می‌شود. کروماتین‌ها کمی فشرده بوده ولی قابل تفکیک از همدیگر نمی‌باشند و غشای هسته همواره وجود دارد. این مرحله ۳ قسمت G_1، S و G_2 دارد.



شکل در مرحله G_2 با دو جفت سانتریول می‌باشد. ⇐

● الف) مرحله G_1

این مرحله شروع یک چرخهٔ یاخته‌ای است. در این مرحله یاخته تازه از تقسیم هسته و سیتوپلاسم فارغ شده است. یاخته $2n=4$ مورد نظر ما دارای چهار کروماتین تک‌کروماتیدی به شکل رشته کروماتینی با فشردگی کم می‌باشد. یاختهٔ مورد نظر رشد می‌کند و مدت **زمان زیادی** از اینترفاز را در G_1 می‌گذراند. اگر یاختهٔ جانوری در حال بررسی باشد، دارای یک جفت سانتریول در اطراف هسته می‌باشد.



«ژنوتیپ: AaBb»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ اگر یاخته‌ای به‌طور موقت یا دائمی تقسیم نشود، در مرحله G_1 متوقف شده و به‌طور موقت یا دائمی وارد مرحله G_0 می‌شود و دیگر تقسیم نمی‌شود.

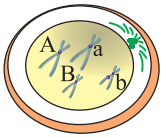
۲ لنفوسیت خاطره به‌طور موقت به G_0 می‌رود ولی پلاسموسیت‌ها، بیگانه‌خوارها و اغلب یاخته‌های عصبی و یاختهٔ ماهیچهٔ اسکلتی پس از تولد کاملاً در G_0 می‌مانند.

۳ آخر مرحله G_1 علامت‌ها یا نشانه‌هایی برای بازرسی به نام نقطهٔ وارسی برای بررسی **سلامت DNA** یاخته وجود دارد. اگر DNA آن سالم نباشد و این نقص اصلاح نشود، مرگ یاخته‌ای به صورت برنامه‌ریزی شده اتفاق می‌افتد.

● ب) مرحله S

در این مرحله کروماتین‌های تک‌کروماتیدی با همانندسازی و دو برابر کردن مقدار DNA به صورت مضاعف یا دوکروماتیدی ولی با فشردگی کم درمی‌آیند *(کروماتین دو برابر می‌شود)*. یاخته همچنان یک جفت سانتریول دارد.

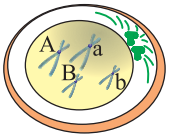
در سال دوازدهم می‌خوانیم که در این مرحله دو آنزیم دنابسپاراز و هلیکاز مهم‌ترین نقش را در ساخت DNA دارند. در این مرحله تعداد ژن‌های یاخته نیز دو برابر می‌شود ولی تعداد سانترومر تغییر نمی‌کند.



«ژنوتیپ: AaBb»

● ج) مرحله G_2

کوتاه‌ترین مرحله اینترفاز است که طی آن یاخته با **افزایش** ساخت اندامک‌ها و پروتئین‌سازی، مضاعف کردن **سانتریول‌ها** و آماده‌سازی عوامل لازم برای تقسیم یاخته‌ای، آماده مرحله بعد یعنی تقسیم یاخته‌ای می‌شود. کروموزوم‌ها به صورت کروماتین‌های مضاعف با فشردگی کم و غیرقابل رؤیت وجود دارند.



«ژنوتیپ: AaBb
دو جفت سانتریول دارد»

نکته آخر این مرحله نیز یک **نقطه وارسی** برای بررسی عوامل لازم میتوز و ساخت رشته دوک وجود دارد تا به یاخته اجازه ورود به تقسیم را بدهد.

نکته بسیار بسیار دقت کنید که پروتئین دوک در مرحلهٔ G_2 تولید می‌شود ولی رشتهٔ دوک در مرحلهٔ پروفاز تقسیم ایجاد می‌شود *(لطفاً این دو تا رو با هم اشتباه نکنید)*.

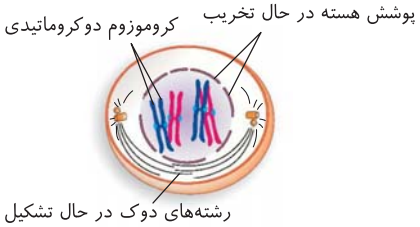
مرحله تقسیم هسته (میتوز)

این مرحله که به صورت پیوسته صورت می‌گیرد دارای ۵ قسمت پروفاز، پرومتافاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز می‌باشد که طی آن کروموزوم‌های مضاعف شده به تدریج فشرده *(قطور)* و کوتاه و قابل رؤیت می‌شوند و دوک تقسیم ایجاد می‌شود و در نهایت دو هسته دختری با عدد کروموزومی یاخته مادر ولی به صورت تک‌کروماتیدی ایجاد می‌شود.

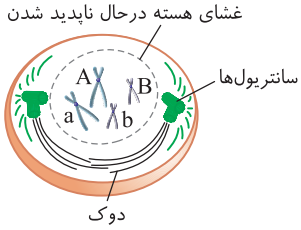
بررسی مراحل میتوز (رشتمان)

● الف) پروفاز

این مرحله **شروع تقسیم یاخته بوده که با فشرده‌تر شدن کروماتین‌ها** همراه می‌باشد. در پروفاز به تدریج که کروماتین‌ها فشرده‌تر، ضخیم و کوتاه‌تر می‌شوند، زیر میکروسکوپ **نوری** قابل رؤیت نیز می‌شوند که به آن‌ها کروموزوم می‌گویند. در اغلب یوکاریوت‌ها، **غشای هسته** به تدریج شروع به تخریب و تجزیه شدن می‌کند و جفت سانتریول‌ها از هم جدا شده، بین آن‌ها رشته‌های دوک در اطراف هسته آغاز به شکل‌گیری می‌کنند.



«پروفاز»



«AaBb»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

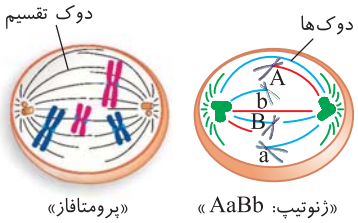
۱) یاخته‌های گیاهی با اینکه سانتریول ندارند ولی دوک تقسیم را در خارج هسته تشکیل می‌دهند.

۲) یاخته $2n=4$ در پروفاز دارای ۸ کروماتید و مولکول *DNA* و ۱۶ رشته نوکلئوتیددار در *DNA* می‌باشد.

۳) پروفاز تنها مرحله‌ای است که ابتدای آن کروماتین و غشای هسته وجود دارد ولی در انتهای آن کروموزوم‌ها در هسته‌ای با غشای در حال تجزیه وجود دارند.

ب) پرومتافاز

در این مرحله که **بعد از تشکیل دوک** آغاز می‌شود، غشای هسته و شبکهٔ آندوپلاسمی کاملاً **تجزیه** شده‌اند و دوک‌ها خود را به کروموزوم‌های خطی درون سیتوپلاسم رسانده‌اند. برخی دوک‌ها به سانترومر کروموزوم‌های فشرده شده متصل می‌باشند و برخی نیز از یک طرف درون یاخته آزاد هستند.



«پرومتافاز» «ژنوتیپ: AaBb»

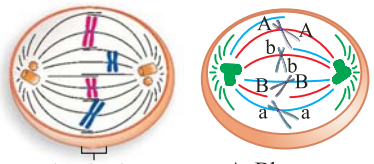
نکته
در مرحله پرومتافاز شروع اتصال دوک به سانترومر کروموزوم دیده می‌شود ولی شروع تشکیل دوک در مرحله پروفاز بوده است. در این مرحله غشای هسته و شبکهٔ آندوپلاسمی وجود ندارد و کروموزوم‌ها به همراه عوامل درون هسته وارد سیتوپلاسم شده‌اند.

ج) متافاز

در این مرحله، کروموزوم‌های مضاعف با حداکثر فشردگی به کوتاه‌ترین و قطورترین حالت خود در وسط سطح استوایی یاخته می‌رسند که از دو طرف به دوک متصل‌اند.

نکته
متافاز بهترین مرحله برای نمایش **کاریوتیپ** کروموزوم‌ها و مشاهده ساختار کروموزوم‌ها می‌باشد.

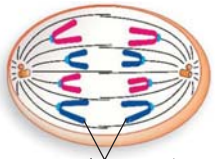
نکته
در آخر مرحله متافاز **نقطه وارسی** سبب بررسی اتصال کروموزوم‌ها به دوک می‌شوند و اینکه کروموزوم‌ها در وسط یاخته قرار گرفته باشند.



بخش استوایی یاخته «متافاز» «ژنوتیپ: AaBb»

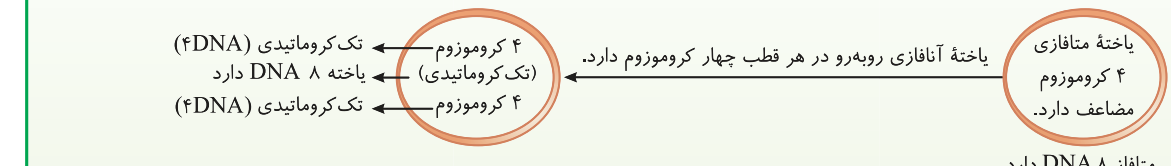
د) آنافاز

در این **مرحله پروتئین‌های اتصالی** سانترومر در کروماتیدهای خواهری متصل به هم، **تجزیه** می‌شوند و از طرفی رشته‌های دوک از دو طرف **کوتاه** شده و کروموزوم‌ها به سمت دو قطب یاخته یا سانتریول‌ها حرکت می‌کنند. در این حالت دو کروماتید یک کروموزوم از هم جدا شده و از این‌جا به بعد به هر کروماتید یک **کروموزوم دختری تک‌کروماتیدی فشرده** می‌گویند.


کروموزوم‌های دختری «آنافاز»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در مرحله آنافاز تعداد کروموزوم و سانترومر درون یاخته دو برابر می‌شود ولی تعداد ژن‌ها، مولکول *DNA* و رشته نوکلئوتیددار دنای آن‌ها تغییر نمی‌کند.



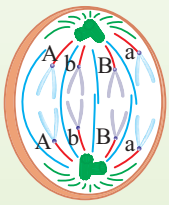
۲) در مرحله آنافاز **هر قطب** یاخته فرمول ژنتیکی همانند یاخته اولیه را دارد ولی خود یاخته دو برابر یاختهٔ شروع‌کنندهٔ میتوز، کروموزوم دارد.

۳) در این مرحله، درون یاخته به جای $2n=4$ کروموزوم، به تعداد $4n=8$ کروموزوم وجود دارد که هر قطب به اندازه $2n=4$ کروموزوم ماده وراثتی دارد. یاخته از هر جایگاه ژن ۴ دستورالعمل دارد که دوتا دوتا به هم مشابهند و در دو قطب یاخته واقع شده‌اند.

۴) در زیست دوازدهم می‌آموزید که به دستورالعمل‌های یک ژن که روی دو کروموزوم همتا قرار گرفته‌اند، واژهٔ دگره یا الل گفته می‌شود. مثلاً A و a دو الل یک جایگاه ژنی از یک صفت می‌باشند. در آنافاز این الل‌ها نیز دو برابر می‌شوند.

۵) در این مرحله فقط ریزلوله‌هایی کوتاه می‌شوند که به سانترومر کروموزوم‌ها متصلند.

۶) کروماتیدهای خواهری در مرحلهٔ *S* اینترفاز طی همانندسازی ایجاد می‌شوند و در مرحلهٔ آنافاز از هم جدا شده و سبب ایجاد کروموزوم دختری می‌شوند.



دو جفت سانتریول دارد.
هر قطب ژنوتیپ AaBb دارد.

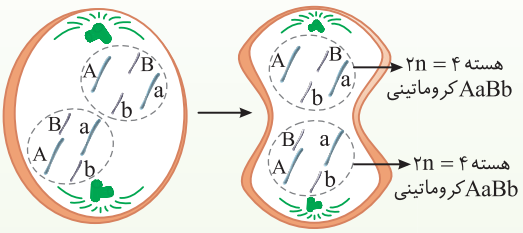
● ه) تلوفاز

در این مرحله رشته‌های دوک تجزیه شده و با تخریب شدن از بین می‌روند. دوباره غشای هسته در اطراف هر قطب یاخته به دور کروموزوم‌ها تشکیل می‌شود. کروموزوم‌ها از حالت فشردگی و قطور خارج شده و دوباره به تدریج در این مرحله **شروع به باز شدن** می‌کنند و مثل مرحله اینترفاز به صورت کروماتین درمی‌آیند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

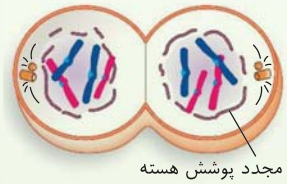
۱ در تلوفـاز برخـلاف پروفاز، ابتدا کروموزوم وجود دارد که در سیتوپلاسـم دو قطب یاخته قرار گرفته‌اند ولی در انتهای این مرحله، کروماتین ایجاد می‌شـود که درون غشای هسته وجود دارند.

۲ یاخته در آخر مرحله تلوفاز دو هسته $2n=4$ با مقدار DNA مشابه $AaBb$ دارد. دقت کنید که یاختهٔ تلوفازی، یک یاختهٔ دوهسـته‌ای با هسـته‌های کاملاً مشـابه می‌باشد که اطراف هر هستهٔ جانوری یک جفت سانتریول وجود دارد.



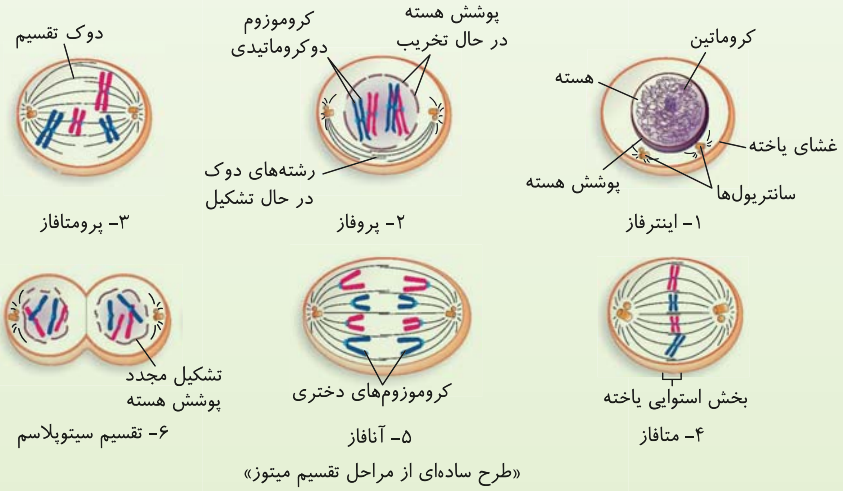
۳ دقـت کنیـد کـه یاختـه در مرحلهٔ تلوفـاز دارای دو هسـته مشـابه بـا کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی می‌باشد که هرکدام به اندازه یاخته مادر اولیه کروموزوم دارد.

۴ در دو مرحلهٔ پروفاز و تلوفاز میتوز، هم کروماتین و هم کروموزوم وجود دارد. در پروفاز کروماتین‌های مضاعف با فشـرده شدن به کروموزوم مضاعف تبدیل می‌شوند ولی در تلوفاز، کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی با باز شدن، به کروماتین‌های تک‌کروماتیدی تبدیل می‌شوند.


تشکیل مجدد پوشش هسته

«تقسیم سیتوپلاسم»

۵ تمام مراحل اینترفاز و میتوز در یاخته جانوری و گیاهی مشابه هم می‌باشند، فقط اولاً در یاخته جانوری برخلاف گیاهـی **سـانتریول** وجـود دارد و ثانیاً در یاخته گیاهی تمام موارد چرخه یاخته‌ای در فضای محاصره شـده از دیواره یاخته‌ای قرار می‌گیرد. البته تقسیم سیتوپلاسم یاختهٔ گیاهی و ایجاد صفحهٔ بین‌یاخته‌ای نیز از آنافاز شروع می‌شود.



«طرح ساده‌ای از مراحل تقسیم میتوز»

● چند نکتهٔ کلیدی برای شناسایی مراحل میتوز

- وجود غشای هسته: پروفاز، تلوفاز
- دوکروماتیدی بودن کروموزوم‌ها: پروفاز، پرومتافاز، متافاز
- تک‌کروماتیدی بودن: آنافاز، تلوفاز
- شروع به:
  - فشرده شدن کروماتین‌ها ← پروفاز
  - باز شدن کروموزوم‌ها ← تلوفاز
  - تشکیل دوک ← پروفاز
  - تجزیهٔ غشای هسته و شبکهٔ آندوپلاسمی ← پروفاز
  - کوتاه شدن دوک ← آنافاز
  - تخریب دوک ← تلوفاز
  - تجزیهٔ پروتئین سانترومری ← آنافاز
  - دو برابر شدن سانترومرها ← آنافاز
- بیشترین:
  - فشردگی کروموزوم ← متافاز
  - طول دوک ← پرومتافاز

تقسیم سیتوپلاسم

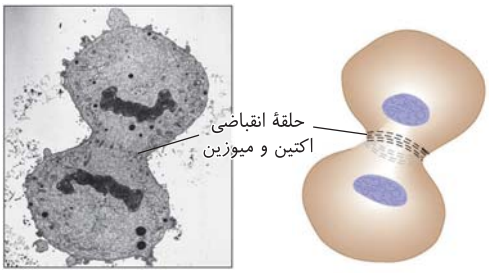
معمولاً آخرین مرحله چرخه یاخته‌ای، تقسیم سیتوپلاسم می‌باشد که بعد از مرحلهٔ تلوفاز و تقسیم هسته رخ می‌دهد. این مرحله در برخی یاخته‌ها مثل تعداد کمی از یاخته‌های ماهیچه قلبی صورت نگرفته است و یاخته دوهسته‌ای ایجاد کرده‌اند (دقت کنید که در دوران جنینی غشای بین یاخته‌های ماهیچهٔ اسکلتی از بین می‌رود و با ادغام چند یاخته، یاخته‌های چند هسته‌ای ایجاد می‌شوند یعنی قبلاً تقسیم سیتوپلاسم صورت گرفته است). به‌طور کلی، پس از پایان مراحل میتوز، هسته و سایر اجزای یاخته‌ای (اندامک‌ها و ساختارها) بین دو یاخته تقسیم می‌شوند و اغلب به مقدار تقریباً مساوی به هر سمت یاخته می‌رسند. پس از این عمل دو یاخته با تکمیل تقسیم سیتوپلاسم از هم جدا می‌شوند.

نکته

در برخی چرخه‌های یاخته‌ای، تقسیم سیتوپلاسم، به صورت **نامساوی** صورت می‌گیرد مثل تولید یاختهٔ جنسی در زنان یا ایجاد یاخته‌های زایشی و رویشی دانه گرده گیاهان و یا تولید یاخته باقی‌مانده از میوز پارانشیم خورش نهاندانگان و یا اولین تقسیم تخم $2n$ در نهاندانگان که همگی همراه تقسیم سیتوپلاسم نامساوی می‌باشند (این تقسیمات را در فصل‌های جلوتر بررسی می‌کنیم).

تقسیم سیتوپلاسم در یاخته‌های جانوری

در یاخته‌های جانوری پس از پایان تلوفاز، فرورفتگی غشایی در وسط یاخته ایجاد می‌شود. این فرورفتگی در اثر عمل **یک حلقه انقباضی** از جنس پروتئین‌های انقباضی اکتین و میوزین است که همانند یک **کمربند از طرفی به سمت داخل غشا متصل است، یعنی در سیتوپلاسم** یاخته قرار می‌گیرد و به تدریج تنگ‌تر شده تا در نهایت دو یاخته از هم جدا شوند.



«تقسیم سیتوپلاسم در یک یاختهٔ جانوری»

نکته

حلقه انقباضی در سطح داخلی غشای یاخته تشکیل می‌شود.

نکته

دقت کنید که هر یاختهٔ جانوری که قدرت تقسیم دارد، برای ایجاد حلقهٔ انقباضی، قادر به تولید **اکتین و میوزین** می‌باشد و این موضوع را با انقباض سارکومرها و اکتین و میوزین آن‌ها در یاختهٔ ماهیچهٔ اسکلتی اشتباه نگیرید.

تقسیم سیتوپلاسم در یاخته‌های گیاهی

همان‌طور که گفتیم در یاخته جانوری، یک کمربند انقباضی در سیتوپلاسم یاخته ایجاد می‌شود که سبب فرورفتگی از وسط یاخته می‌شود ولی چون در اطراف غشای پلاسمایی یاخته گیاهی، **دیواره** وجود دارد، دیگر تشکیل کمربند انقباضی در این یاخته‌های دیواره‌دار کارآمد نمی‌باشد. در یاخته‌های گیاهی از وقتی کروموزوم‌ها در **آنافاز** به قطبین می‌روند و هنوز دوک وجود دارد، ریزکیسه‌های غشاداری که در دستگاه **گلژی** ساخته می‌شوند، به صورت جدا از هم در بخش میانی یاخته ایجاد می‌شوند. سپس، در آخر مرحله تلوفاز ساختاری به نام **صفحه یاخته‌ای** با **به هم پیوستن این ریزکیسه‌های کوچک** ایجاد می‌شود. این ریزکیسه‌ها در **درون** خود پیش‌سازهای پکتینی تیغه میانی و دیواره یاخته‌ای هستند و در اطراف آن غشای یاخته قرار دارد. این ریزکیسه‌ها در وسط یاخته به تدریج به دنبال هم می‌آیند و با تشکیل هسته‌ها در تلوفاز، یک صفحه یاخته‌ای منفذدار با ریزکیسه‌های بزرگ‌تر می‌سازند. در نهایت این صفحه یاخته‌ای به صورت **یک ریزکیسه بزرگ** درمی‌آید. پس از اینکه این ریزکیسه از دو طرف کاملاً به دیواره یاخته مادری متصل شد، دو یاخته جدید را از هم جدا می‌کند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

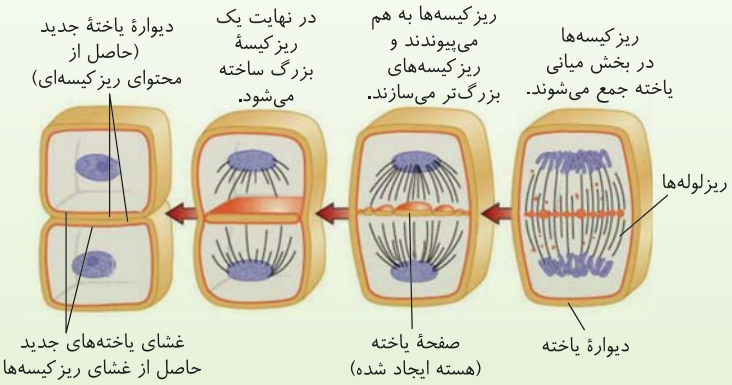
۱ در هنگام تشکیل دیواره یاخته‌ای، ساختارهای **لان** و **پلاسمودسم** نیز برای ارتباط یاخته‌ای پایه‌گذاری می‌شوند. دقت داشته باشید که همواره در دو طرف دیواره، غشای یاخته وجود دارد.

۲ غشای ایجاد شده در بین دو یاخته همان غشای ریزکیسه‌های سازنده دیواره یاخته‌ای بوده‌اند که به تازگی ساخته شده‌اند.

۳ در گیاهان تا هنگامی که در تقسیم سیتوپلاسم یک کیسه بزرگ دیواره‌ای تشکیل شود هنوز ریزلوله‌هایی در وسط یاخته بین کروموزوم‌ها قرار دارد.

۴ در یاخته‌هایی از گیاه مثل تخم اصلی $2n$ که تقسیم سیتوپلاسم نامساوی دارند، صفحهٔ یاخته‌ای بیشتر به سمت یک یاخته ایجاد می‌شود.

۵ در مسیر دیواره‌سازی در گیاهان ابتدا تعداد زیادی ریزکیسه با اندازه کوچک در وسط یاخته وجود دارد و به تدریج با اتصال آن‌ها به هم از تعداد ریزکیسه‌ها کم شده ولی حجم آن‌ها افزایش می‌یابد. در انتها و قبل از اتصال دیواره جدید به دیواره مادری فقط یک ریزکیسه حاوی پیش‌سازهای تیغه میانی و دیواره یاخته و غشا بوده و سپس یک دیواره که در دو طرف آن غشای یاخته‌ای است در بین دو یاخته جدید ایجاد می‌شود.



«تقسیم سیتوپلاسم در یاختهٔ گیاهی»

جدول مراحل چرخه یاخته‌ای

یاخته ($2n=4$ $AaBb$)	عدد کروموزومی (فرضی)	ژنوتیپ (فرضی)	وضعیت کروموزومی	سانتریول (جانوران)	فشردگی کروموزوم	تعداد کروموزوم = تعداد سانترومر	تعداد کروماتید = تعداد مولکول DNA	تعداد رشته نوکلئوتیددار DNA	نقاط وارسی (اصلی)
G_1, G_0	$2n=4$	$AaBb$	کروماتین	۲	کم	۴	۴	۸	**دارد**
S	$2n=4$	$AaBb$	کروماتین	۲	کم	۴	۸	۱۶	ندارد
G_2	$2n=4$	$AaBb$	کروماتین	۴	کم	۴	۸	۱۶	**دارد**
پروفاز	$2n=4$	$AaBb$	**کروماتین و کروموزوم**	۴	دارد	۴	۸	۱۶	ندارد
پرومتافاز	$2n=4$	$AaBb$	کروموزوم	۴	دارد	۴	۸	۱۶	ندارد
متافاز	$2n=4$	$AaBb$	کروموزوم	۴	حداکثر فشردگی دارد	۴	۸	۱۶	**دارد**
آنافاز	$4n=8$ (هر قطب $2n=4$)	هر قطب $AaBb$ کل یاخته = $AAaaBBbb$	کروموزوم	۴	دارد	۸	۸	۱۶	ندارد
کل یاخته تلوفازی	دو تا هسته $2n=4$	هر هسته $AaBb$	**کروموزوم و در آخر کروماتین**	۴	ابتدا دارد در انتها کم می‌شود.	۸	۸	۱۶	ندارد
هر هسته تلوفاز	$2n=4$	$AaBb$	در آخر کروماتین	۲	ابتدا دارد در انتها کم می‌شود.	۴	۴	۸	ندارد
هر یاخته دختر	$2n=4$	$AaBb$	کروماتین	۲	بسیار کم	۴	۴	۸	ندارد

تنظیم مقدار تقسیم یاخته‌ای

در این قسمت می‌خواهیم به بررسی عواملی بپردازیم که سبب **کم یا زیاد یا متوقف کردن تقسیم** در یک یاخته می‌شوند. مثلاً می‌خواهیم ببینیم چرا یاخته‌های عصبی دستگاه عصبی **به ندرت** تقسیم می‌شوند. چرا یاخته‌های مریستمی گیاهان یا یاخته بنیادی مغز استخوان انسان که سرعت تقسیم بسیار زیادی دارند، در برخی شرایط **نامساعد** یا افزایش بیش از حد تعداد یاخته‌ها از مقدار تقسیم خود **می‌کاهند یا آن را متوقف** می‌کنند؟ در آخر به دنبال این هستیم که عوامل تنظیم‌کننده سرعت و تعداد تقسیم یاخته را بررسی کنیم و به دنبال این باشیم که چرا در ایجاد یاخته‌های سرطانی، تنظیم تقسیم یاخته‌ها به هم می‌خورد؟

عوامل شیمیایی تنظیم تقسیم یاخته‌ای

تنظیم سرعت تقسیم یاخته‌ها می‌تواند در اثر **عوامل محیطی یا مواد شیمیایی** تغییر کند. مثلاً از سال قبل به یاد دارید که اگر مقدار اکسیژن محیط و اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها کم شود عواملی مثل **هورمون اریتروپویتین** (پیک شیمیایی دورریز) در کبد و کلیه‌ها بیشتر تولید می‌شود که با اثر بر **مغز استخوان**، تولید گویچه قرمز را زیاد می‌کند تا اکسیژن کم موجود در محیط را نیز جذب کند.

پروتئین‌های تنظیم‌کننده تقسیم یاخته‌ای

در یاخته، **انواعی از پروتئین‌ها** وجود دارند که با **فرایندهای متنوع** سبب **افزایش** تقسیم یاخته‌ای یا در شرایط خاصی **مانع** تقسیم یاخته‌ای می‌شوند. (*همانند پدال گاز و ترمز ماشین عمل می‌کنند.*)

مثال: در گیاهان اگر محلی دچار زخم شود، نوعی عامل رشد ایجاد می‌شود که به کمک تقسیم بافت پارانشیمی، ایجاد یک توده یاخته‌ای برای ممانعت از نفوذ میکروب به محل آسیب‌دیده می‌کند یا مثلاً نوعی دیگر از عامل رشد در پوست زیر محل زخم انسان تولید می‌شود که با افزایش سرعت تقسیم، سرعت بهبود زخم را افزایش می‌دهد.

نکته

از زیست **دهم** به یاد دارید که وقتی گیاه **زخمی** می‌شود، تقسیم یاخته‌های **پارانشیمی** سبب **ترمیم زخم** می‌شود. البته بافت‌های آسیب‌دیده گیاه، هورمون اتیلن نیز که نوعی ماده شیمیایی است ترشح می‌کنند که در فصل انتهایی این کتاب به آن می‌پردازیم.

نکته

یاخته‌های مغز استخوان یا مریستم گیاهان
- در شرایط مساعد
  - معمولاً تقسیم سریع دارند.
  - در افزایش بیش از حد یاخته‌ها ← سرعت تقسیم خود را کاهش داده یا متوقف می‌کنند.
- در شرایط نامساعد محیطی ← سرعت تقسیم خود را کاهش داده یا متوقف می‌کنند.

نقاط وارسی تنظیم چرخه یاخته‌ای

همان‌طور که بارها ذکر کردیم در چرخه یاخته‌ای، سه نقطه وارسی اصلی در **آخر** مراحل G_1، G_2 و **متافاز** وجود دارد که اعمال مراحل خود را کنترل می‌کنند و به یاخته اطمینان می‌دهند که **مرحله قبل** کامل شده و **عوامل لازم برای مرحله بعد آماده شده‌اند.** (*تکرار می‌کنم که نقاط وارسی متعددی در چرخهٔ یاخته‌وجود دارد ولی کتاب درسی و سؤالات تستی فقط این سه نقطه را بررسی می‌کنند.*)

● انواع نقاط وارسی اصلی و نکات آن

۱) نقطه وارسی **انتهای** G_1، یاخته را از **سلامت** *DNA* خود و آمادگی آن برای همانندسازی در مرحلهٔ *S* مطلع می‌کند. اگر *DNA* یاخته آسیب‌دیده باشد و این آسیب اصلاح نشود، **فرایند مرگ یاخته‌ای** به صورت برنامه‌ریزی شده اتفاق می‌افتد تا یاخته اختلال‌دار در بدن زیاد نشود.

نکته

از فصل قبل (*ایمنی*) به یاد دارید که **مرگ یاخته‌ای** فرایندی است که در نوع برنامه‌ریزی شده آن، لنفوسیت‌های کشنده طبیعی و لنفوسیت *T* نقش دارند. لنفوسیت کشنده طبیعی در دفاع غیراختصاصی (*سد دوم*) ولی لنفوسیت *T* در دفاع اختصاصی یعنی در سد سوم مؤثر هستند. در هر دو سد دفاعی پرفورین و آنزیم تخریب‌کننده اجزای یاخته‌ای فعال می‌شوند (*البته ممکن است یک یاخته قصد مرگ برنامه‌ریزی داشته باشد ولی کتاب در مورد لنفوسیت صحبت کرده است.*).

۲) نقطه وارسی **انتهای مرحله** G_2، عوامل تولیدکنندهٔ دوک تقسیم یعنی **سانتریول‌ها** را فراهم می‌کند تا ساخته شدن دوک در شروع میتوز به درستی انجام شود و سایر **عوامل لازم برای میتوز** یعنی **شروع تقسیم هسته** را بررسی می‌کند. در حقیقت این نقطه وارسی اجازه ورود یاخته به مرحله تقسیم و فشرده شدن کروماتین را می‌دهد (*دقت کنید که در این مرحله هنوز دوک به صورت رشته‌های ایجاد نشده است ولی عوامل مورد نیاز برای تشکیل شدن آن فراهم شده است.*).

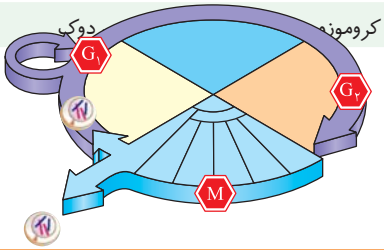
۳) نقطه وارسی **آخر متافاز**، اتصال کروموزوم‌های قطور به دوک تقسیم و قرارگیری آن‌ها **در استوای یاخته** را بررسی می‌کند و اجازهٔ جدا شدن کروماتیدها از هم در مرحله آنافاز را صادر می‌کند.

نکته

در مراحل دارای سه قسمت نقاط وارسی اصلی، یاخته با تولید و فعال کردن **پروتئین‌هایی** بر عملکرد تقسیم خود و چرخه یاخته‌ای نظارت و کنترل می‌کند.

نقطه وارسی	اطمینان از کامل شدن	آماده بودن عوامل لازم
انتهای G_1	سلامت *DNA* G_1 و رشد یاخته	برای همانندسازی *DNA* در *S*
انتهای G_2	همانندسازی *DNA* و تولید سانتریول	برای تولید دوک و مراحل تقسیم
انتهای متافاز	قرارگیری کروموزو... دوک	برای جدا شدن کروموزوم‌ها در آنافاز

نقطهٔ وارسی(G_1) یاخته را از سلامت **دنا** مطمئن می‌کند. اگر **دنا** آسیب دیده باشد و اصلاح نشود، فرایندهای **مرگ یاخته‌ای** به راه می‌افتد.

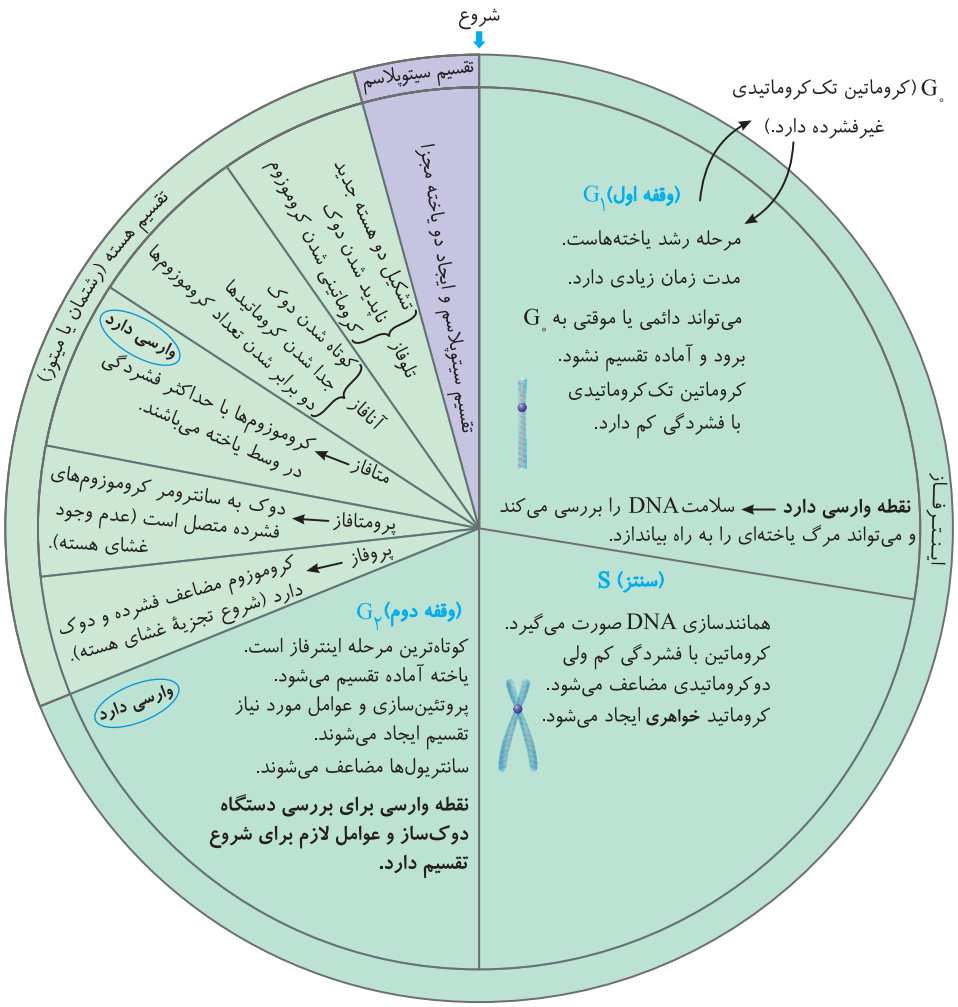


اگر پروتئین‌های سازندهٔ دوک تقسیم یا عوامل لازم برای میتوز فراهم نباشد، نقطهٔ وارسی(G_2) اجازهٔ عبور یاخته از این مرحله را نمی‌دهد.

نقطهٔ وارسی متافازی برای اطمینان از این موضوع است که کروموزوم‌ها به‌صورت دقیق به رشته‌های دوک متصل و در وسط یاخته آرایش یافته‌اند.

«نقاط وارسی در چرخهٔ یاخته»

چرخهٔ یاخته‌ای در یک نگاه



نکته

چرخهٔ یاخته، در کل دو مرحلهٔ اول (*ایشرخز*) و دوم (*تقسیم*) دارد ولی هرکدام از آن‌ها دارای مراحل کوچک‌تری مثل G_1، G_2 و میتوز، تقسیم و ... سیتوپلاسم می‌باشند.

اختلالات در سرعت تقسیم یاخته‌ای

یاخته‌های بدن طی تقسیم شدن زیاد می‌شوند و با مرگ یاخته‌ای کاهش می‌یابند.

تومور

اگر در بخشی از بدن یا بافت، **تعادل** بین تقسیم یاخته و مرگ یاخته به نفع تقسیم یاخته به هم بخورد سبب **ایجاد تومور** می‌شود. **هر نوع تومور** توده‌ای است که در اثر **تقسیمات تنظیم نشده**، غیرعادی و کنترل نشده ایجاد شده است که به دو نوع خوش‌خیم و بدخیم تقسیم‌بندی می‌شود.

● **الف) تومور خوش‌خیم**

نوعی از تومورها هستند که **معمولاً** آنقدر بزرگ نمی‌شوند که به **بافت‌های مجاور** خود آسیب برسانند. در این تومورها **رشد کمی** دیده می‌شود و یاخته‌ها در جای خود می‌مانند و در بدن منتشر نمی‌شوند. در **برخی موارد** اگر اندازه این تومورها از حدی بزرگ‌تر شود می‌تواند سبب اختلال در اعمال طبیعی اندام شود.

مثال: لیپوما نوعی از انواع تومورهای خوش‌خیم است که با افزایش یاخته‌های چربی و تشکیل توده یاخته‌ای در افراد ایجاد می‌شود که در افراد بالغ متداول می‌باشد (دوستان کنکوری همین کلمهٔ بالغ بسیار مهم است و از آن به سادگی عبور نکنید. می‌تواند در تست اعلام کند افرادی یا محدودهٔ سنی که شیوع این تومور زیاد است ... و از آن حتی در تولید صفحات رشد، بلوغ جنسی و ... سؤال طرح کند).



«تومور خوش‌خیم، لیپوما در نزدیکی آرنج»

ب) تومور بدخیم (سرطان)

این تومور در اثر **رشد بسیار زیاد** یاخته‌ها و **حمله** آن‌ها به **بافت‌های مجاور** صورت می‌گیرد. این گروه قدرت **متاستاز** (دگرنشینی) دارند یعنی قسمتی از یاخته‌های تومور جدا شده و می‌تواند از راه خون یا **اغلب از راه لنف** به نواحی دیگر بدن بروند و در آنجا نیز پس از استقرار رشد کرده و تومور ایجاد کنند. در نتیجه **متاستاز** تومور بدخیم، فعالیت اندام‌های مختلف بدن مختل می‌شود.

مثال: ملانومـا نوعی تومور بدخیم به صـورت خال رنگی یا همان یاخته‌های رنگدانه‌دار پوسـت می‌باشد (دقت کنید که لیپوما قدرت متاستاز ندارد).



«ملانوما: نوعی تومور بدخیم یاخته‌های رنگدانه‌دار پوست»

مثال:

سرطان

همان تومورهای **بدخیم** می‌باشند که علت اصلی آن **از کنترل خارج شدن چرخه یاخته‌ای** در اثر **برخی تغییرات در مادهٔ ژنتیک** یاخته می‌باشد.

نکته

اشکال در نقاط وارسی می‌تواند یاخته را بدون کنترل به مرحله بعدی ببرد و در نتیجه یاخته‌های نامناسب در بدن ایجاد کند. ازدیاد این یاخته‌ها می‌تواند سبب سرطان شود.

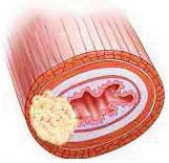
مراحل رشد و متاستاز یاخته سرطانی

۱) وقتی یاخته‌ای سرطانی می‌شود (*تومور بدخیم*) می‌تواند به یاخته‌های دیگر **آن بافت حمله** کند. مثلاً در شکل مقابل می‌بینید که یاخته سرطانی مخاط به سایر یاخته‌ها و زیر مخاط نیز حمله کرده است ولی این رشد فراگیر در کل دیواره نبوده است و هنوز وارد لنف نیز نشده است.



«یاختهٔ سرطانی شروع به تهاجم به یاخته‌های بافت می‌کند.»

۲) پس از مدتی یاخته‌های تومور سرطانی، در بافت و لایه‌های مجاور **گسترش** می‌یابند ولی در این مرحله هنوز به **دستگاه لنفی** مجاور ورود پیدا نکرده‌اند و متاستازی آغاز نشده است.



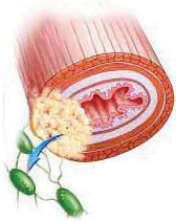
«یاخته‌های تومور در بافت گسترش می‌یابند، ولی هنوز به دستگاه لنفی مجاور راه پیدا نکرده‌اند.»

۳) برخی یاخته‌های سرطانی به بخش‌های **لنفی مجاور** محل ایجاد و تکثیر خود وارد می‌شوند تا در بدن پخش شوند (*متاستاز*) و در همین حال اندازهٔ تومور سرطانی در محل اولیه بزرگ‌تر می‌شود.

نکته

متاستاز سرطان از مرحله **سوم** و با ورود یاخته سرطانی به **قسمت لنف از محیط داخلی** بدن آغاز می‌شود.

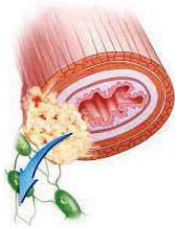
◀ **لازم به یادآوری است که:** محیط داخلی بدن = آب میان‌بافتی + خون + لنف



«یاخته‌های سرطانی به بخش‌های لنفی مجاور محل تکثیر خود، دسترسی پیدا می‌کنند.»

۴) یاخته‌های سـرطانی از طریق **لنف** به بافت‌های **دورتر** بدن می‌روند و در آنجا ابتدا **مستقر** شـده و سـبب سـرطانی شدن یاخته‌های آن اندام یا بافت آن می‌شوند و به همین ترتیب از راه لنف، به اندام مجاور سایر اندام‌های دورتر متاستاز می‌کنند.

◀ به همین دلیل اسـت که شـاید بارها شنیده‌اید که فلان شخص سرطان مری در بالای دیافراگم دارد ولی آن سرطان در کبد و طحال که در زیر دیافراگم هستند نیز پخش شده است.



«یاخته‌های سرطانی از راه لنف به بافت‌های دورتر می‌روند و پس از استقرار موجب سرطانی شدن آن‌ها می‌شوند.»

تشخیص و درمان سرطان

روش‌های **متعدد** و گاه **ترکیبی از روش‌ها** برای تشخیص و درمان سرطان‌ها وجود دارد.

روش‌های تشخیصی برای سرطان

● بیوپسی یا بافت‌برداری

روشی است که در آن **همه یا بخشی** از بافت سرطانی یا مشکوک به سرطان برداشته و بررسی می‌شود.

نکته
آزمایش خون و **بررسی آنتی‌ژن‌های خاص** به شناسایی سرطان کمک می‌کند.

● روش‌های رایج درمان سرطان

۱) **جراحی** ← برداشتن بافت سرطانی می‌باشد.

۲) **شیمی‌درمانی** ← با استفاده **از برخی داروها** سبب **سرکوب تقسیم** یاخته‌های سرطانی در **همه جای بدن** می‌شود.

۳) **پرتودرمانی** ← در این روش یاخته‌هایی که سرطانی شده‌اند و سرعت تقسیم بالایی دارند، **به‌طور مستقیم** تحت اثر **پرتوهای قوی** قرار می‌گیرند تا جلوی تقسیم آن‌ها گرفته شود.

نکته
در روش‌های پرتودرمانی و شیمی‌درمانی ممکن است یاخته‌های **مغز استخوان**، **فولیکول مو** و **پوشش مخاط دستگاه گوارش** آسیب ببینند.

نکته
شیمی‌درمانی هر نوع سرطانی، سبب **مرگ** یاخته‌های پوشش لوله گوارش، فولیکول مو و مغز استخوان شده و از عوارض جانبی آن‌ها می‌توان به **ریزش مو**، **تهوع** و **خستگی** اشاره کرد.

نکته
بعضی افرادی که تحت تأثیر **پرتودرمانی** با تابش‌های **شدید** یا **شیمی‌درمانی قوی** شده‌اند ممکن است مغز استخوان خود را از دست بدهند و برای ساخت یاخته‌های خونی باید برای آن‌ها **پیوند مغز استخوان** انجام داد.

عوامل مؤثر در سرطان‌زایی

الف) عوامل وراثتی

ب) عوامل محیطی

● الف) عوامل وراثتی

همان‌طور که بارها گفتیم تنظیم چرخه یاخته‌ای و مرگ یاخته‌ها با **پروتئین‌ها و نقاط وارسی** می‌باشد. از آنجا که هر پروتئینی در اصل از روی ژن، رمزگردانی و ساخته می‌شود، پس واضح است که **اشکال در ژن‌ها** (جهش) سبب عدم تولید پروتئین مناسب و کافی شده است و ایجاد سرطان می‌کند. در حال حاضر ژن‌های زیادی در بروز سرطان شناسایی شده‌اند و **بیشتر علت** سرطان در برخی جوامع **مسأله وراثتی** می‌باشد.

● ب) عوامل محیطی

عوامل محیطی همانند تابش‌های فرابنفش، مواد شیمیایی موجود در برخی آلاینده‌های محیطی، دخانیات و دود خودروها با تغییر در ساختار *DNA* می‌توانند سرطان‌زایی کنند. همچنین **برخی** ویروس‌ها، پرتوها، مواد شیمیایی مثل غذای دودی شده (*گوشت و ماهی*)، قرص‌های ضد بارداری، نوشیدنی‌های الکلی نیز در بروز سرطان مؤثرند.

نکته
در زیست دوازدهم می‌آموزید که سدیم نیتریتی که به مواد گوشتی مثل سوسیس و کالباس می‌زنند تا دوام آن را زیاد کنند به خودی خود سرطان‌زا نیست ولی در شرایطی می‌تواند به موادی تبدیل شود که آن مواد سرطان‌زا می‌باشند.

انواع مرگ یاخته‌ای

● الف) مرگ تصادفی

در اثر عوامل محیطی مثل **مصرف الکل یا بریدگی**، یاخته‌ها یا حتی بافت‌ها می‌توانند آسیب ببینند و از بین بروند که به این حالت بافت‌مردگی (*Necrosis*) و مرگ تصادفی یاخته‌ای می‌گویند. مثلاً در زیست دوازدهم می‌خوانیم که مصرف الکل به تدریج سبب نکروز کبدی و بافت‌مردگی آن می‌شود.

● ب) مرگ برنامه‌ریزی شده (*Apoptosis*)

در این نوع مرگ یاخته‌ای، یک سری فرایندهای دقیق و برنامه‌ریزی شده در برخی یاخته و در شرایط خاص ایجاد می‌شود. این فرایندها با رسیدن علائمی به **یاخته** آغاز می‌شوند و طی **چند ثانیه**، **پروتئین‌های تخریب‌کننده‌ای** در یاخته فعال می‌شوند که شروع به تجزیه اجزای یاخته و مرگ آن می‌کنند.

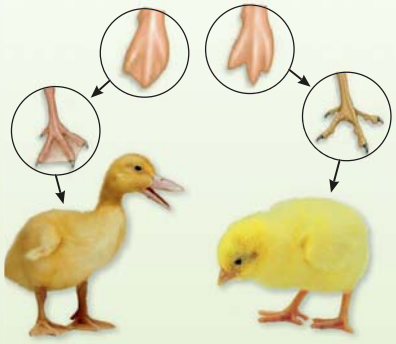
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ مرگ برنامه‌ریزی شده می‌تواند در اثر یاخته‌های لنفوسیت کشنده طبیعی و لنفوسیت T رخ می‌دهد که در هر دو یاخته ابتدا پرفورین سبب ایجاد منفذ در یاخته مورد نظر شده و سپس آنزیم‌های درونی فعال شده در یاخته سبب مرگ سریع یاخته می‌شوند.

۲ مرگ برنامه‌ریزی شده در **بعضی یاخته‌ها** و در **شرایط خاص** ایجاد می‌شود.

۳ **حذف یاخته‌های اضافی** در پرده‌های بین انگشتان جنین نمونه‌ای از مرگ برنامه‌ریزی شده برای نمو جاندار می‌باشد که مثلاً در برخی پرندگان وجود دارد و در برخی انجام نمی‌شود پس مرگ برنامه‌ریزی شده نباید قطعاً برای یک یاخته آسیب‌دیده صورت بگیرد بلکه می‌تواند یاخته‌های سالم اضافی را نیز برای تمایز از بین ببرند.

۴ اگر مدت زمان زیادی در معرض پرتوهای نور خورشید که حاوی **اشعه فرابنفش** هستند قرار بگیریم، ممکن است آسیب به DNA یاخته‌های پوست در اثر آفتاب سوختگی ایجاد شود و یاخته‌های سرطانی با سرعت تقسیم زیاد به وجود بیایند. بدن در این شرایط پروتئین‌هایی می‌سازد که با از بین بردن یاخته‌های آسیب‌دیده پوستی آن‌ها را حذف کرده و با مرگ برنامه‌ریزی شده مانع ایجاد سرطان در بدن می‌شود. در واقع نور خورشید آن‌ها را نمی‌کشد، خود یاخته‌هایی هستند که فداکاری و خودکشی می‌کنند تا اگر سرطانی شدند، بقیه آسیب نبینند.



«حذف پرده‌های میانی انگشتان در دوران جنینی برخی پرندگان در اثر مرگ برنامه‌ریزی شده»

درسنامه

گفتار ۳ میوز و تولیدمثل جنسی

یادآوری

از علوم هشتم به یاد دارید که:

- وجود یک والد برای آن کافی است.
- فرزند کاملاً شبیه والد خود می‌باشد و همه ژن‌های آن را دارد.
- در جانداران پریاخته‌ای و تک‌یاخته‌ای رخ می‌دهد.

انواع تولیدمثل

غیرجنسی

- این تولیدمثل فاقد تقسیم میوز و ایجاد یاختهٔ جنسی و یاخته زیگوت می‌باشد.

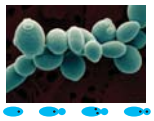
انواع:

۱) دو نیم شدن در باکتری‌ها (*تقسیم دوتایی*)



باکتری در حال دو نیم شدن

۲) **جوانه زدن:** در قارچ مخمر نان دیده می‌شود.



یاخته‌های مخمر و جوانه‌های متصل به آن‌ها

۳) **قطعه‌قطعه شدن:** در سیب‌زمینی و خزه دیده می‌شود.



از هر قطعهٔ خزه، خزهٔ دیگری رشد می‌کند.

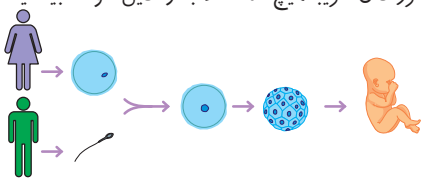
۴) **هاگزایی:** در اغلب قارچ‌ها دیده می‌شود.



مراحل رشد کپک

جنسی

- در برخی جانداران نوع خودلقاحی و بکرزایی آن با یک والد صورت می‌گیرد.
- در **اغلب** موارد وجود دو والد (*نر و ماده*) لازم می‌باشد.
- به تقسیم میوز، تولید یاختهٔ جنسی و ایجاد زیگوت نیازمند است.
- در این تولیدمثل هسته‌های دو یاخته جنسی (*یاختهٔ جنسی*) با هم ترکیب می‌شوند.
- در جانداران تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای دیده می‌شود.
- فرزندان تقریباً هیچ‌گاه کاملاً به والدین خود شبیه نیستند و به‌طور معمول ٪۵۰ ژن‌های هر والد خود را به ارث می‌برند.



(یاخته تخم از ترکیب دوگامت نر و ماده ایجاد می‌شود)

تقسیم میوز (کاستمان)

نوعی تقسیم برای یاخته‌های زوج n زایشی می‌باشد ($2n$، $4n$، $6n$ و ...) که ویژه تولیدمثل **جنسی** بوده و همواره دو مرحله تقسیم متوالی دارد. محصول نهایی میوز در گیاهان و برخی جلبک‌ها یاخته‌ای به عنوان **هاگ** می‌باشد که اسم آن در کتاب شما ذکر نشده است ولی در جانوران یاختهٔ جنسی ایجاد می‌کند.

نکته

یاخته حاصل از میوز، دیگر هیچ‌گاه توانایی میوز کردن دوباره را ندارد بلکه اگر در گیاهان باشد، وارد چرخهٔ میتوز می‌شود ولی اگر یاختهٔ جنسی باشد (*بجز برخی تخمک‌ها در بکرزایی*)، لقاح می‌کند.

نکته

در فصل بعد می‌خوانید که در زنبور عسل ماده، یاخته‌های تخمک حاصل از میوز:
- یا لقاح می‌کنند و زنبور ماده ایجاد می‌کنند.
- یا میتوز کرده و با بکرزایی به زنبور نر تبدیل می‌شوند.

اینترفاز قبل از میوز

در تقسیم میوز نیز همانند میتوز، قبل از شروع تقسیم یک مرحله اینترفاز، سه قسمت G_1، S و G_2 وجود دارد. همانند چرخهٔ حاوی میتوز، کروماتین‌ها در مرحله S مضاعف می‌شوند و ماده ژنتیکی یاخته دو برابر می‌شود. لازم به ذکر است که **در بین تقسیم میوز ۱ و ۲ اینترفاز و دو برابر شدن ماده ژنتیکی وجود ندارد.**

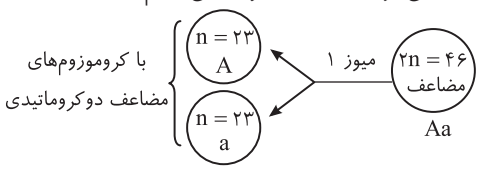
میوز

میوز دارای دو مرحله کلی میوز ۱ و ۲ می‌باشد که هرکدام حاوی مراحل پروفاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز می‌باشند (*میوز خاصّ مرحلهٔ پروماتافاز می‌باشد*).

بررسی کلی میوز یاخته $2n$

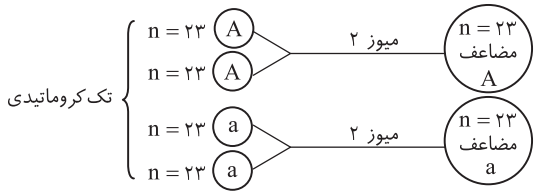
میوز ۱

در این مرحله **کاهش عدد کروموزومی** رخ می‌دهد.
از یاخته زاینده دیپلوئید $(2n)$ با کروموزوم‌های مضاعف در نهایت دو یاخته هاپلوئید (n) با کروموزوم‌های مضاعف ایجاد می‌شود که غالباً از نظر ژنتیکی با هم متفاوتند.



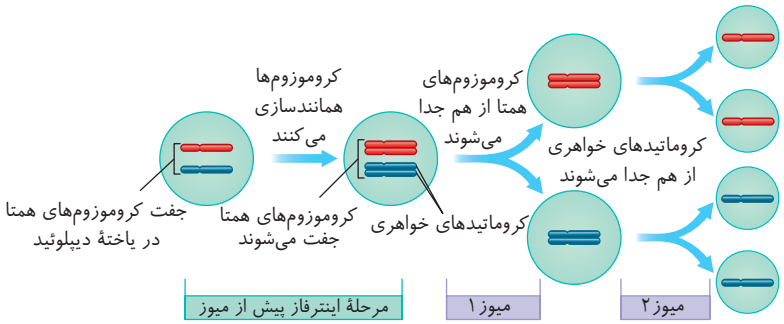
میوز ۲

این مرحله بسیار شبیه میتوز در دو یاخته هاپلوئید می‌باشد.
در پایان این مرحله مجموعاً چهار یاخته هاپلوئید تک‌کروماتیدی ایجاد می‌شود.
یاخته‌های حاصل دوبه‌دو به هم شبیه هستند.
در صورت انجام گرفتن کراسینگ‌اوور، هر چهار یاخته می‌توانند با هم متفاوت باشند. (*کراسینگ‌اوور را در سال بعد می‌خوانیم.*)
یاخته‌های حاصله حتی اگر زوج آن باشند دیگر قدرت انجام میوز دیگری را ندارند ولی در گیاهان قدرت میتوز دارند و در جانوران اگر یاختهٔ جنسی شوند قدرت لقاح دارند.
در جانوران، فقط در زنبور ماده برخی یاخته‌های حاصل از میوز یعنی برخی تخمک‌های آن‌ها قدرت میتوز و ساخت زنبور نر هاپلوئید را دارند (*بکرزایی فصل بعد*).



خلاصه کل میوز

در تقسیم میوز، معمولاً از یک یاخته $2n$ مضاعف در نهایت چهار یاخته n تک‌کروماتیدی که دوبه‌دو به هم شبیه‌اند ایجاد می‌شود. **البته لازم به توجه است که مثلاً اگر یاخته اولیه به صورت مثلاً $6n$ باشد، یاخته‌های حاصله $3n$ تک‌کروماتیدی خواهند شد** چون میوز در یاخته‌های مربوط به تولیدمثل جنسی که زوج n کروموزومی باشند، رخ می‌دهد. به‌طور مثال در بدن انسان، فقط اسپرماتوسیت اولیه و اووسیت اولیه قدرت میوز دارند یا در گیاهان گل‌دار، یکی از یاخته‌های پارانشیم خورش تخمک یا هر یاختهٔ کیسهٔ گرده، قدرت میوز دارند.



«طرح ساده‌ای از تقسیم میوز»

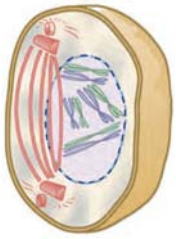
نکته
در میوز ۱ و ۲ پس از تقسیم هسته باید تقسیم سیتوپلاسم رخ دهد. البته قبل از شروع تقسیم میوز ۱ نیز همانند میتوز، فقط یک مرحلهٔ اینترفاز رخ می‌دهد.

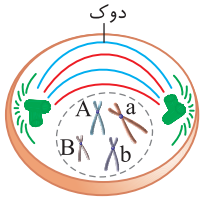
بررسی مراحل میوز ۱ یاخته $(AaBb)\ 2n=4$

میوز ۱

● پروفاز ۱

در این مرحله همانند پروفاز میتوز، وقایعی مثل فشرده شدن کروموزوم‌ها، جدا شدن جفت سانتریول‌ها، از بین رفتن تدریجی غشای هسته و شبکهٔ آندوپلاسمی متصل به آن و تشکیل دوک صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که تمامی وقایع مرحله پرومتافاز میتوز، مثل ایجاد طویل‌ترین دوک، ناپدید شدن غشای هسته و اتصال دوک به سانترومر کروموزوم‌های مضاعف فشرده نیز در این مرحله رخ می‌دهد.





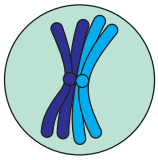
«اول پروفاز ۱»

نکته

در میوز مرحله پرومتافاز وجود ندارد.

● تشکیل تتراد

مهم‌ترین تفاوت میتوز و میوز، در وسط مرحله **پروفاز میوز ۱** اتفاق می‌افتد. در این مرحله هر دو کروموزوم **همتا** (هومولوگ) از **طول** کنار هم قرار می‌گیرند و ضمن فشرده شدن، ساختار **چهارکروماتیدی** دو سانترومری به نام تتراد تشکیل می‌دهند. هر تتراد حاوی دو کروموزوم مضاعف، دو سانترومر، چهار کروماتید و مولکول دنا و ۸ رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید می‌باشد.


«طرح ساده‌ای از یک تتراد»

نکته

تشکیل تتراد به فشرده شدن کروموزوم‌ها نیز کمک می‌کند. تترادها از ناحیه سانترومر از دو طرف به دوک متصل می‌شوند (به هر تتراد دو رشته دوک از دو قطب یاخته متصل می‌شود). در حقیقت به هر سانترومر آن‌ها یک دوک متصل است.

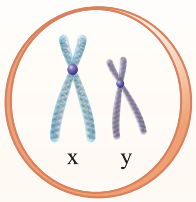
نکته

همواره در هر میوز، تعداد تتراد با نصف تعداد کروموزوم یاخته اولیه برابر است. یعنی اگر یاخته‌ای $2n=48$ باشد، به تعداد ۲۴ عدد تتراد و اگر $4n=48$ باشد، باز هم ۲۴ عدد تتراد تشکیل می‌دهد. چون تتراد قرارگیری طولی دو کروموزوم مضاعف به صورت ۴ کروماتید و مولکول DNA و ۸ رشته نوکلئوتیددار می‌باشد.

مثال: می‌دانید چرا گونه‌های مختلف اگر هم بتوانند در برخی حالات با هم لقاح کنند و بچه‌دار شوند، فرزند آن‌ها در اغلب موارد عقیم خواهد بود؟

پاسخ: کروموزوم‌های **دو گونه** مختلف **شکل و ساختار متفاوتی** دارند (خب اگر تعداد یکی نبود). حال اگر دو گونه مختلف مثل اسب $(2n)$ و الاغ $(2n)$ با هم آمیزش کنند، فرزندی از آن‌ها به نام قاطر $(2n)$ ایجاد می‌شود که یک مجموعه از کروموزوم اسب و یک مجموعه از کروموزوم الاغ را دارد. این فرزند زیستا بوده، با میتوز رشد می‌کند و حتی می‌تواند از والد خود نیز بزرگ‌تر شود ولی فرزندی نازا یا عقیم است و قدرت تولید یاختهٔ جنسی و تولیدمثل جنسی برای ایجاد نسل بعد را ندارد. دلیل نازایی آن این است که چون کروموزوم‌های آن همتا یا همولوگ نیستند و نمی‌توانند در مرحله پروفاز ۱ همدیگر را پیدا کرده و تتراد تشکیل دهند، به همین دلیل جدا شدن کروموزوم و تشکیل یاختهٔ جنسی در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و عقیم هستند (دقت کنید که قاطر گونه جدیدی نیست بلکه دو رگگیای نازا ولی زیستا با قدرت میتوز می‌باشد).

نکته



با توجه به تعریف تتراد که جفت شدن **طولی** کروموزوم‌های **همتا** می‌باشد، در جانوران نری که کروموزوم جنسی X و Y دارند جفت کروموزوم جنسی آن‌ها با هم همتا نمی‌باشند و ساختار یکسانی ندارند. آیا آن‌ها نیز تتراد تشکیل می‌دهند؟ البته در پاسخ به این سؤال بین مدرسین اختلاف نظر وجود دارد ولی نظر من با توجه به متن کتاب درسی این است که این دو کروموزوم غیرهمتا، در پروفاز ۱ همدیگر را پیدا می‌کنند و آرایشی **شبیه** تتراد ایجاد می‌کنند ولی نباید آن را با توجه به تعریف کتاب، تتراد بدانیم بلکه فقط یک آرایش تترادگونه دارند. چون کتاب درسی تتراد را قرارگیری **طولی** کروموزوم‌های **همتا** معرفی کرده است. پس در تقسیم میوز، افراد XX همواره یک ساختار چهارکروماتیدی با کروموزوم‌های همتا بیشتر از افراد XY هم‌گونه خود تشکیل می‌دهند ولی تعداد انواع آرایش تترادی آن‌ها که می‌توانند در استوای متافاز ۱ قرار بگیرند یکسان است.

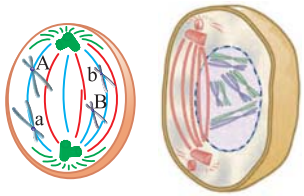
⚠ **خطر:** توجه کنید که اگر در تست‌ها مثلاً برای تعداد تتراد مرد سؤال کرد اگر جواب ۲۲ درگزینه‌ها نبود همان ۲۳ را بزنید!! که البته خداروشکر قراره سؤالات عددی اصلاً مطرح نشه!!!

مثال: به‌طور طبیعی مردان ..... و زنان ..... ساختار چهارکروماتیدی با کروموزوم‌های همتا در ..... تشکیل می‌دهند.

۱) ۲۲ - ۲۲ - کروموزوم‌های غیرجنسی یاخته پوست
۲) ۲۲ - ۲۳ - یک میوز یاخته زاینده جنسی
۳) ۲۳ - ۲۲ - یک میوز
۴) ۲۲ - ۲۳ - کروموزوم‌های غیرجنسی یاخته زاینده جنسی

پاسخ: گزینهٔ (۲) صحیح است. مرد و زن هر دو دارای ۴۶ کروموزوم می‌باشند که ۴۴تای آن غیرجنسی مشابه هم‌دیگر می‌باشند و در میوز که مخصوص یاخته زاینده جنسی است در این کروموزوم‌های غیرجنسی ۲۲ تتراد تشکیل می‌دهند. مردان دارای دو کروموزوم جنسی X و Y غیرهمتا می‌باشند که در پروفاز ۱ کنار هم می‌آیند ولی تتراد به حساب نمی‌آیند ولی زنان جفت کروموزوم جنسی همتا XX دارند که یک تتراد علاوه بر ۲۲ تتراد کروموزوم‌های غیرجنسی خود تشکیل می‌دهند.

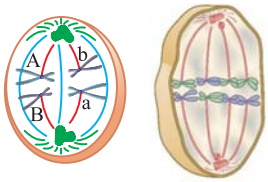
● **شکل نهایی پروفاز ۱ یاخته $2n=4$ (فرض کنید دو صفت با دستورالعمل $AaBb$ را بررسی می‌کنیم.)**



یاخته	ژنوتیپ	کروموزوم = سانترومر	تتراد	کروماتید = DNA	رشته نوکلئوتیددار DNA
$2n=4$	$AaBb$	۴	۲	۸	۱۶

● **متافاز ۱**

در این مرحله تترادها به هر آرایشی که تمایل دارند در استوای یاخته به حداکثر فشردگی **کنار هم** قرار می‌گیرند که فقط **برخی** رشته‌های دوک به سانترومر آن‌ها متصل می‌باشند. در این مرحله **برحسب نوع قرارگیری تترادها در استوای متافاز ۱، نوترکیبی و یاخته‌های جنسی متنوع در آخر میوز به وجود می‌آید** که در مورد آن جلوتر توضیح می‌دهم (ولی دقت کنید که هر میوز فقط یک حالت آرایش تتراد برای قرارگیری همهٔ کروموزوم‌های آن در وسط یاختهٔ متافاز ۱ دارد).

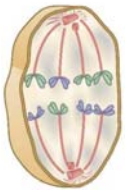


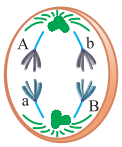
نکته
قرارگیری متنوع تترادها در استوای متافاز ۱ میوز، باعث می‌شود که بدون ایجاد جهش، هر میوز بتواند یاختهٔ جنسی جدید و متنوعی نسبت به میوز قبلی ایجاد کند. این مرحله زمینه‌ساز تنوع در جمعیت‌ها و خانواده‌ها می‌شود که بقای یک گونه را می‌افزاید.

یاخته	ژنوتیپ	کروموزوم	کروماتید	رشته نوکلئوتیددار
$2n=4$	$AaBb$	۴	۸	۱۶

● **آنافاز ۱**

در این مرحله رشته‌های دوکی که به سانترومرهای کروموزوم‌های همتا متصلند از دو طرف به سمت قطب یاخته **کوتاه‌تر** می‌شوند و برخلاف میتوز کروموزوم‌های **همتا** را به سوی قطبین یاخته می‌برند. در این حالت هر قطب یاخته نصف تعداد کروموزوم یاخته اولیه را دارد ولی همچنان کروموزوم‌ها، مضاعف و فشرده می‌باشند و عدد کروموزومی کل یاخته تغییری نکرده است.





$\Rightarrow$ عدد کروموزومی هر قطب $n=2<\begin{matrix}Ab\\aB\end{matrix}$

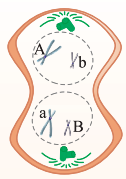
عدد کروموزومی یاخته $2n=4\,(AaBb)$

نکته
دقت کنید که در آنافاز میوز ۱ سانترومرهای قدیمی تتراد از هم جدا می‌شوند و جدا شدن کروموزوم‌ها از هم با تجزیه پروتئین اتصالی سانترومری که در آنافاز میتوز بود صورت **نمی‌گیرد** ولی مکانیسم کوتاه شدن دوک آن‌ها همانند آنافاز میتوز است.

یاخته	کروموزوم	کروماتید = DNA	رشته نوکلئوتیددار در DNA
$2n=4$	۴= سانترومر	۸	۱۶

● **تلوفاز ۱**

در این مرحله **وقایع عکس پروفاز ۱ اتفاق می‌افتد** یعنی **دوک‌ها از بین می‌روند** و دوباره **دو تا غشای هسته** در اطراف کروموزوم‌های مضاعف **هر قطب یاخته** تشکیل می‌شود. در این مرحله یک یاخته با **دو هسته هاپلوئید** مضاعف $(n=2)$ ایجاد می‌شود که هرکدام **یک جفت سانتریول** دارند و کروموزوم‌ها برخلاف تلوفاز میتوز به صورت مضاعف می‌باشند ولی هر هسته به تعداد نصف یاخته اولیه کروموزوم دارد.





نکته
یاخته موجود در مرحله تلوفاز ۱ تا قبل از تقسیم سیتوپلاسم به همان تعداد یاخته اولیه شروع‌کننده تقسیم، کروموزوم و ماده وراثتی دارد ولی در دو هسته این مواد وراثتی به صورت نصف نصف پخش شده‌اند.

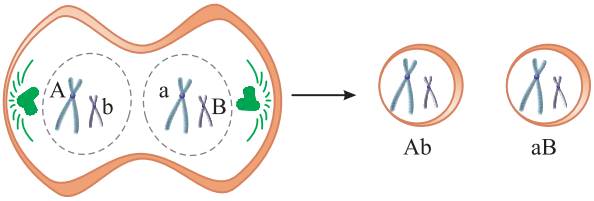
نکته
در پایان این مرحله معمولاً غشای یاخته چین می‌خورد و تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود و نتیجه میوز ۱ ایجاد دو یاخته با کاهش عدد کروموزومی می‌باشد.

هر هسته	کروموزوم = سانترومر	کروماتید = DNA	رشته نوکلئوتیددار در DNA
$n=2$	۲ (Ab, aB)	۴	۸

کل یاخته تلوفاز ۱	کروموزوم = سانترومر	کروماتید = DNA	رشته نوکلئوتیددار در DNA
$2n=4$ $(AbBb)$	۴	۸	۱۶

وقفه بین میوز ۱ و ۲

پس از پایان تلوفاز ۱، اولین مرحلهٔ میوز نیز تمام می‌شود و **معمولاً** با تقسیم سیتوپلاسم برحسب نوع جاندار به صورت صفحه یاخته‌ای در گیاهان یا کمربند انقباضی در جانوران، دو یاخته هاپلوئیدی مضاعف با **فرمول ژنتیکی متفاوت** ایجاد می‌شود و در بین میوز ۱ و ۲ کروموزوم‌ها و DNA، همانندسازی نمی‌کنند. فقط در یاخته‌های جانوری سانتریول‌ها در این وقفه دوباره مضاعف می‌شوند.

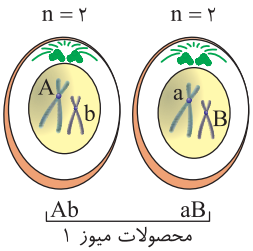


نکته
در فصل بعد می‌خوانیم که محصول میوز ۱ در مردان، دو یاخته با هسته و سیتوپلاسم هم‌حجم به نام اسپرماتوسیت ثانویه می‌باشد که ۲۳ کروموزوم مضاعف دارند. در زنان، میوز ۱ با تقسیم **سیتوپلاسم نامساوی** همراه می‌باشد و یک اووسیت ثانویه $n=۲۳$ مضاعف با سیتوپلاسم حجیم‌تر و یک گویچه قطبی اول $n=۲۳$ مضاعف با سیتوپلاسم کم‌حجم ایجاد می‌شود. (دقت کنید که هسته اووسیت ثانویه و گویچه قطبی اول کاملاً مشابه هم می‌باشند و ۲۳ کروموزوم مضاعف دارند.)

نکته
مهم‌ترین اتفاق در بین دو مرحله میوز ۱ و ۲ یاخته‌های جانوری، مضاعف شدن یا همانندسازی **سانتریول‌های** هر یاخته حاصل از میوز ۱ می‌باشد.

میوز ۲

این مرحله بسیار شبیه مراحل میتوز می‌باشد و یاخته‌های حاصل از میوز ۱ از چهار مرحله پروفاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز عبور می‌کنند و از هر یاخته میوز ۱ در نهایت دو یاخته مشابه ایجاد می‌شود که هرکدام حاوی کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی می‌باشند که نصف یاخته شروع‌کننده میوز کروموزوم دارند.

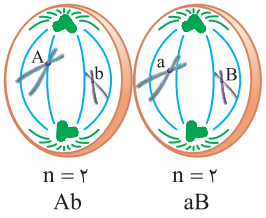


بررسی مراحل میوز ۲ یاخته $۲n=۴$ اولیه با فرمول $AaBb$

● پروفاز ۲

همانند پروفاز و پرومتافاز میتوز سانتریول‌ها از هم جدا شده و دوک در سیتوپلاسم تشکیل می‌شود. غشای هسته به تدریج ناپدید شده و رشته‌های دوک‌ها به کروموزوم‌ها متصل می‌شوند.





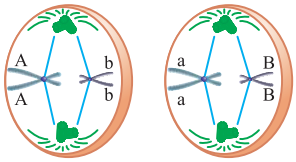
نکته
فعالیت‌هایی که در **پروفاز و پرومتافاز** میتوز رخ داده است در **پروفاز میوز ۲** نیز رخ می‌دهد و دقت کنید که میوز ۱ و ۲ فاقد مرحله‌ای به نام پرومتافاز می‌باشند.

● متافاز ۲

کروموزوم‌های مضاعف بدون حالت تترادی با حداکثر فشردگی در استوای یاخته به دوک متصل می‌شوند (همانند متافاز میتوز).

هر یاخته (پروفاز ۲ و متافاز ۲)	کروموزوم = سانترومر	کروماتید = DNA	رشته نوکلئوتیددار DNA
$n=۲$	۲	۴	۸

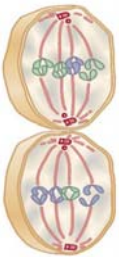


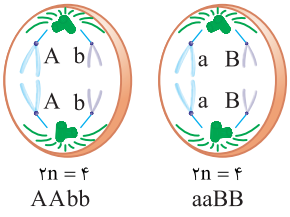


نکته
یاخته‌های حاصل در مراحل پروفاز ۲ و متافاز ۲ به دو صورت Ab و aB وجود دارند.

● آنافاز ۲

در این مرحله با کوتاه شدن رشته‌های دوک‌ها و عمل **تجزیه پروتئین‌های اتصالی در سانترومر**، کروماتیدهای خواهری از هم جدا شده و هر یاخته دو برابر مرحله متافاز ۲ دارای کروموزوم می‌شود. هر قطب هاپلوئید تک‌کروماتیدی است ولی هر یاخته $۲n$ کروموزوم تک‌کروماتید دارد که در همه صفات خالص ($AAbb$ یا $aaBB$) می‌باشد (البته در آینده با فرایندی به نام کراسینگ اوور آشنا می‌شوید که نکات جدید را به همراه خود خواهد داشت! فعلاً بر خیال!).

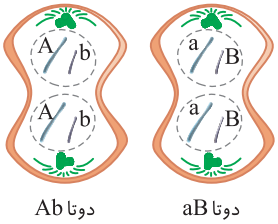




● تلوفاز ۲

در این مرحله رشته‌های دوک‌ها از بین رفته و دور کروموزوم‌های هر قطب یک غشای هسته تشکیل می‌شود (حریاخته دو هسته‌ای می‌باشد). دو رشته‌های یاخته حاصل قبل از تقسیم سیتوپلاسم یا دو هسته Ab و یا دو هسته aB دارند.

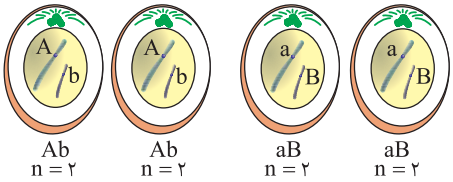




نکته
اگر یاختهٔ شروع‌کنندهٔ میوز، $۴n$ و بیشتر باشد، یاخته‌های انتهای تقسیم، همگی در حالت عادی حاوی کروموزوم‌های همتا می‌باشند.

تقسیم سیتوپلاسم

پس از پایان تلوفاز ۲ تقسیم سیتوپلاسم رخ می‌دهد و در نهایت چهار یاخته تک‌کروماتیدی که دوبه‌دو به هم شبیه می‌باشند ایجاد می‌شود (دو یاخته Ab و دو یاخته aB).



نکته یاخته‌های حاصل از میوز، قطعاً با هر عدد کروموزومی که باشند، دیگر توانایی انجام میوز بعدی را ندارند ولی در گیاهان محصول میوز، یاخته یا یاخته‌هایی می‌باشند که قدرت رشد یا میتوز با ورود به اینترفاز دارند. در جانوران، محصول میوز یاخته‌های جنسی می‌باشند که معمولاً قدرت لقاح دارند.

نکته یک میوز کامل در مردان ۴ اسپرم یا یاختهٔ جنسی نر هم‌اندازه ایجاد می‌کند ولی در زنان یک یاختهٔ جنسی ماده (تخمک) بزرگ و سه گویچه قطبی کوچک ایجاد می‌شود. (دقت کنید که همهٔ هسته‌های حاصله تعداد کروموزوم برابر دارند ولی تفاوت ممکن است در حجم سیتوپلاسم یاخته‌های حاصله اتفاق بیفتد.)

نکته در تست‌ها دقت کنید که مثلاً اگر گیاهی مثل گل مغربی، تتراپلوئید یا $4n$ بود، یاخته‌های حاصل از میوز آن به صورت $2n$ و حاوی کروموزوم‌های همتا می‌باشد، ولی این یاخته‌ها با اینکه $2n$ هستند، ولی بار دیگر قدرت میوز بعدی و ایجاد یاختهٔ n را ندارند.

تفاوت‌های میتوز با میوز

۱) برای میتوز یاخته جانوری، سانتریول‌ها یک‌بار در اینترفاز مضاعف و همانندسازی می‌شوند ولی برای میوز سانتریول‌ها دو مرحله مضاعف شدن دارند. یک‌بار قبل از شروع میوز ۱ برای یاخته زاینده اولیه (در اینترفاز) و یک‌بار بین دو مرحله میوز ۱ و ۲ که برای دو یاخته حاصل از میوز ۱ صورت می‌گیرد. (یعنی برای میوز در سه یاخته سانتریول‌ها مضاعف می‌شوند. یاخته‌ای که وارد میوز ۱ می‌شود و دو یاخته‌ای که وارد میوز ۲ می‌شوند.)

۲) در پروفاز ۱ میوز برخلاف پروفاز میتوز، تتراد تشکیل می‌شود.

۳) در متافاز ۱ میوز برخلاف متافاز میتوز، آرایش کروموزوم‌های تترادی در استوای یاخته و در دو لایه قرار می‌گیرند (اما در میتوز به دلیل نبود تتراد، کروموزوم‌ها تنها کنار هم و در یک لایه هستند و روی هم قرار نمی‌گیرند).

۴) در آنافاز ۱ میوز برخلاف آنافاز میتوز، کروموزوم‌های همتا مضاعف از هم جدا می‌شوند و پروتئین‌های اتصالی سانترومر تجزیه نمی‌شوند. در این مرحله از میوز ۱، عدد کروموزومی یاخته برخلاف میتوز، دو برابر نمی‌شود.

۵) در تلوفاز ۱ میوز برخلاف تلوفاز میتوز، هر هسته دچار کاهش عدد کروموزومی می‌شود و هنوز دارای کروموزوم مضاعف می‌باشد.

نکته دو مرحله آخر هر تقسیم میتوز و میوز (آنافاز ۲ و تلوفاز ۲) کروموزوم‌ها تک‌کروماتیدی می‌باشند.

یاخته $2n$	کروموزوم = سانترومر	کروماتید = مولکول DNA	رشته نوکلئوتیددار DNA	فشردگی کروموزومی
G_1	$2n$ تک‌کروماتیدی	$2n$	$4n$	زیادی ندارد
S	$2n$ مضاعف	$4n$	$8n$	**ندارد**
G_2	$2n$ مضاعف	$4n$	$8n$	**ندارد**
پروفاز ۱	$2n$ مضاعف	$4n$	$8n$	دارد
متافاز ۱	$2n$ مضاعف	$4n$	$8n$	دارد
آنافاز ۱	$2n$ مضاعف	$4n$	$8n$	دارد
هر هسته تلوفاز ۱ (اسپرماتوسیت و اووسیت ثانویه یا اولین گویچه قطبی)	n مضاعف	$2n$	$4n$	دارد
هر یاخته پروفاز ۲	n مضاعف	$2n$	$4n$	دارد
هر یاخته متافاز ۲	n مضاعف	$2n$	$4n$	دارد
هر یاخته آنافاز ۲	$2n$ تک‌کروماتیدی	$2n$	$4n$	دارد
هر یاخته تلوفاز ۲ (اسپرماتید یا تخمک یا دومین گویچه قطبی) (گرده نارس گیاهان)	n تک‌کروماتیدی	n	$2n$	در آخر فشردگی **کمی** دارد.

جهش

هر گونه تغییر در ماده ژنتیکی یاخته را **جهش** می‌گویند. این جهش می‌تواند سبب تغییر در **یک نوع نوکلئوتید ژن** باشد که به آن جهش ژنی می‌گویند که در سال بعد آن را مطالعه می‌کنیم. ولی نوعی دیگر نیز **جهش کروموزومی** است که می‌تواند تغییر در **ساختار** یک کروموزوم یا تغییر در **تعداد** کروموزوم‌ها باشد (*تغییر در ساختار کروموزوم را در سال آینده بررسی می‌کنیم*).

تغییر در تعداد کروموزوم

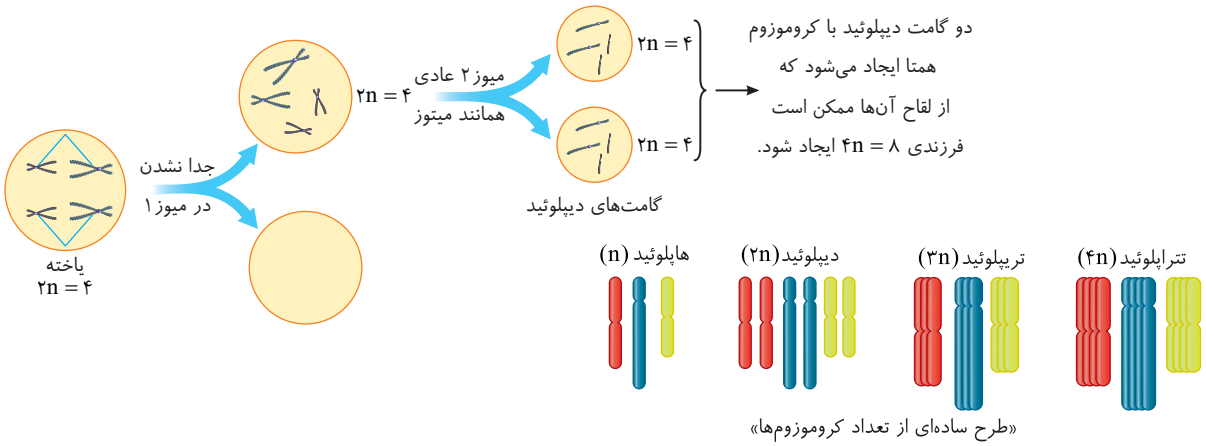
با اینکه تقسیم یاخته‌ای با دقت زیاد انجام می‌شود ولی **به ندرت** ممکن است در روند جدا شدن کروموزوم‌ها در **میتوز یا میوز** اشتباهاتی رخ دهد و در نتیجه تعداد یک یا چند کروموزوم بیشتر به یک یاخته برسد.

نکته

اشکال در تقسیم میتوز سبب می‌شود خود فرد دچار مشکل شود (*در ضمن، ایراد یک یاخته‌بین میلیاردها یاخته به‌چشم نمی‌آید و تأثیری هم ندارد*) ولی اشکال در تقسیم میوز می‌تواند سبب اشکال در یاختهٔ جنسی و تولید فرزند و اشکال در نسل بعد شود. به همین دلیل **اختلالات میوزی اهمیت بیشتری دارند**. از اختلالات تغییر در تعداد کروموزوم‌ها، دو نوع پلی‌پلوئیدی شدن (*چند لادی شدن*) و با هم ماندن کروموزوم‌ها را بررسی می‌کنیم.

۱) تغییر در تعداد از نوع پلی‌پلوئیدی شدن (چند لادی شدن)

اگر در مرحلهٔ **آنافاز میتوز یا میوز**، **همه** کروموزوم‌ها بدون اینکه از هم جدا شوند به یک یاخته بروند (*تکرار می‌کنم: همهٔ کروموزوم‌ها نه برخی!*)، یاخته دیگر فاقد کروموزوم می‌شود. به یاخته‌ای که همه کروموزوم‌های یاخته اولیه را گرفته است، **پلی‌پلوئید** (*چند لاد*) می‌گویند.



«طرح ساده‌ای از تعداد کروموزوم‌ها»

نکته

به صورت **مصنوعی** یا در اثر **تخریب رشته‌های دوک** می‌توان یاخته پلی‌پلوئیدی در آزمایشگاه ایجاد کرد.

نکته

گندم زراعی $6n$ و موز $3n$ جانداران پلی‌پلوئید هستند که موزهای $3n$ دارای دانه‌های ریز نارس می‌باشند. البته در سال بعد نیز یک مورد به نام گل مغربی $4n=28$ می‌خوانید که از جهش طبیعی در طبیعت ایجاد و سبب گونه‌زایی شده است.

۲) تغییر در تعداد از نوع با هم ماندن کروموزوم‌ها

در این حالت فقط **یک یا چند کروموزوم** در مرحله **آنافاز** (*میتوز یا میوز*) از هم جدا نمی‌شوند و یاخته‌های حاصل **کمبود یا افزایش** در یک یا چند کروموزوم دارند.

مثال: اگر در اثر میوز انسان، جفت کروموزوم‌های ۳ و ۲۱ جدا نشوند، اسپرم‌هایی با چند کروموزوم ایجاد می‌شوند؟ و در اثر لقاح با تخمک عادی چه زیگوت‌هایی ایجاد می‌کنند؟

پاسخ: در این حالت نیمی از اسپرم‌ها دو کروموزوم اضافی و نیم دیگر، دو کروموزوم کم دارند. در حالت عادی اسپرم انسان ۲۳ کروموزوم دارد پس در این حالت یک نوع اسپرم‌های ۲۵ کروموزومی و نوعی هم اسپرم‌های ۲۱ کروموزومی حاصل می‌شوند. در مورد قسمت دوم سؤال نیز کافی است این اسپرم‌ها را با تخمکی عادی که ۲۳ کروموزوم دارد آمیزش دهید که تخم‌های ۴۸ یا ۴۴ کروموزومی ایجاد می‌کنند.

نمونه معروف با هم ماندن کروموزوم‌ها (نشانگان داون)

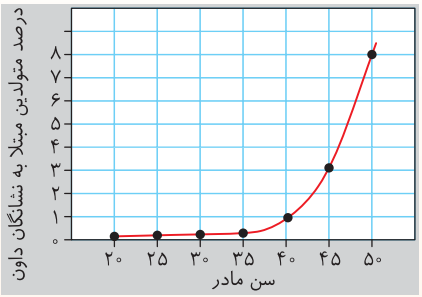
نشانگان به معنی یک بیماری با نشانه‌های مختلف می‌باشد. اگر در اثر تقسیم میوز پدر یا **اغلب مادر** در مرحلهٔ آنافاز **I** میوز، جفت کروموزوم ۲۱ آن‌ها جدا نشود، اسپرم یا تخمک حاصله یک کروموزوم ۲۱ بیشتر می‌تواند داشته باشد. این حالت به دلیل شرایط خاص یاختهٔ جنسی‌گذاری زنان، بیشتر در اثر اختلال در میوز مادر رخ می‌دهد و با **افزایش سن مادر** احتمال این اختلال بیشتر می‌شود. زیگوت حاصله از آن‌ها ۴۷ کروموزوم دارد یعنی یک کروموزوم غیرجنسی **جفت شماره ۲۱** (*تریزومی ۲۱*) را اضافه دارند. این بیماری ربطی به پسر یا دختر شدن فرد ندارد و احتمال ابتلا در فرزند دختر و پسر یکسان است. این افراد درجات مختلفی از عقب افتادگی ذهنی و جسمی دارند.


تریزومی
«کاریوتیپ یک فرد مبتلا به داون. آیا می‌توانید جنسیت این فرد را تشخیص دهید؟»

نکته دخانیات، الکل و مجاورت با پرتوهای مختلف و آلودگی‌ها از عوامل محیطی هستند که در روند جدا شدن کروموزوم‌ها در هر دو جنس در میتوز و میوز و ایجاد یاختهٔ جنسی مناسب اختلال ایجاد می‌کنند.

نکته در افراد مبتلا به نشانگان داون فقط جفت کروموزوم‌های ۲۱ به صورت تریزومی درآمده‌اند ولی سایر کروموزوم‌ها به صورت دیپلوئید و دوتایی می‌باشند.

نکته با توجه به نمودار احتمال تولد فرزند داون از مادر ۴۵ ساله ۳٪ ولی در مادر ۴۰ ساله ۱٪ می‌باشد ولی در یک زن ۲۵ ساله تقریباً احتمال تولد فرزند مبتلا به نشانگان داون یک هزارم می‌باشد.



تست‌های شکلی

در حل این تست‌ها ابتدا به داشتن یا نداشتن سانتریول دقت کنید. اگر یاخته مورد نظر سانتریول داشت سؤال در مورد جانوران بوده است.

برای پاسخ دادن به تست‌های شکلی

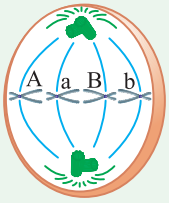
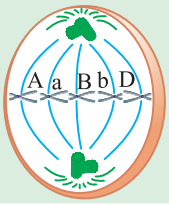
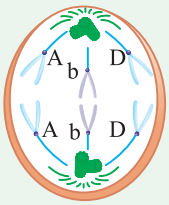
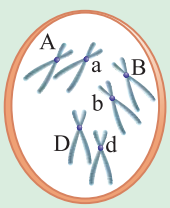
۱) علائم مختلف شناسایی: برای **پروفاز**؛ حالت‌های از بین رفتن تدریجی غشا، شروع تشکیل دوک، جدا شدن جفت سانتریول‌ها و پخش و پلا بودن کروموزوم‌های مضاعف در یاخته را در نظر بگیرید، برای **متافاز**؛ در استوا بودن کروموزوم‌های مضاعف مهم است، برای **آنافاز**؛ جدا شدن کروموزوم‌ها و به قطبین رفتن آن‌ها و برای تلوفاز دوباره‌سازی غشای هسته بدون وجود دوک است.

۲) اگر **آرایش تترادی** دیدید مربوط به **پروفاز I یا متافاز I میوز** است و اگر در **دو قطب**، کروموزوم **مضاعف** دیدید **آنافاز I** است.

۳) اگر یاخته شروع کنندهٔ تقسیم را به صورت n ، $3n$ ، $5n$ و... دیدید مربوط به میتوز است و میوز ۲ در همهٔ مراحل مانند میتوز می‌باشد.

۴) داشتن سانتریول مربوط به جانوران و عدم آن در گیاهان دیده می‌شود.

شکل‌های زیر مفروض‌اند. در هر مورد به سؤالات خواسته شده پاسخ دهید.

شکل یاخته	مربوط به گیاه یا جانور	عدد کروموزومی	ژنوتیپ (فرمول ژنتیکی)	مرحلهٔ تقسیم	عدد کروموزومی یاخته مادر	انواع یاخته حاصل از آن
	جانور سانتریول‌دار	$2n=4$	$AaBb$	متافاز میتوز متافاز میوز ۲	$2n=4$ $4n=8$	۱ نوع (دو قطب مشابه) ۱ نوع
	جانور سانتریول‌دار (فرضی)	$2n=5$	$AaBbD$	متافاز میتوز متافاز میوز ۲	$2n=5$ $4n=10$	۱ نوع (دو قطب مشابه) ۱ نوع
	جانور سانتریول‌دار	$2n=6$ هر قطب $n=3$	دو قطب AbD $(AAbbDD)$	آنافاز میتوز آنافاز میوز ۲	$n=3$ $2n=6$	۱ نوع (دو قطب مشابه) ۱ نوع
	گیاه بدون سانتریول	$2n=6$	$AaBbDd$	پروفاز میوز ۱ (تتراد دارد) ولی کروموزوم‌ها در وسط یاخته نیستند.	$2n=6$	توانایی ایجاد $2^3=8$ نوع یاختهٔ جنسی را دارد ولی در هر تقسیم ۲ نوع یاخته می‌دهد (دوازدهم).

فصل هفتم
تولیدمثل

درسنامه

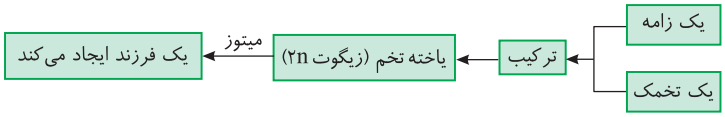
در این فصل در مورد دستگاهی از بدن انسان و سایر جانوران بحث می‌کنیم که اگر درست کار نکند یا بخشی از آن را خارج کنیم، زندگی فرد به خطر نمی‌افتد. دستگاه تولیدمثل تولید یاختهٔ جنسی (گامه) می‌کند و در **بقای نسل** اثر دارد.

یادآوری

انواع **تولیدمثل**
- **غیرجنسی** ← وجود یک والد کافی است و فرزند کاملاً شبیه والد می‌باشد
  - دو نیم شدن (باکتری‌ها)
  - جوانه زدن (مخمرها و ...)
  - قطعه‌قطعه شدن (برخی آغازیان)
  - هاگزایی (خزه‌ها)
- **جنسی** ← به‌جز در موارد مثل **بکرزایی و خودلقاحی** در سایر موارد وجود **دو والد الزامی** است. فرزند چون نصف ژن‌های هر والد را می‌گیرد هیچ‌گاه **کاملاً** شبیه والدین نمی‌باشد.

انواع **لقاح** در تولیدمثل جنسی
- **لقاح خارجی** ← ترکیب زامه (یاختهٔ جنس نر) و یاختهٔ جنسی ماده (تخمک) در خارج بدن ماده و در آب صورت می‌گیرد. (در اغلب ماهی‌ها، دوزیستان و اغلب بی‌مهرگان آبزی دیده می‌شود.)
- **لقاح داخلی** ← در ۹۹ درصد حالات، زامه درون بدن والد ماده با تخمک ترکیب شده و یاخته تخم می‌سازد. (در خزندگان، پرندگان، پستانداران و بی‌مهرگان خشکی‌زی و حتی برخی آبزی‌ها وجود دارد.)

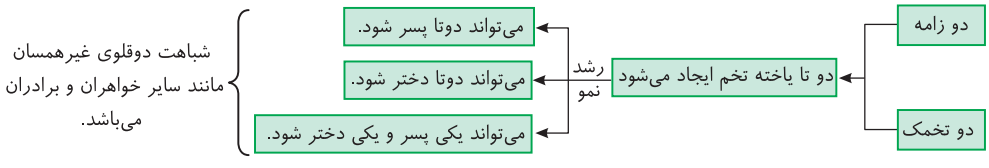
لقاح عادی:



تولید دوقلوی همسان:



تولید دوقلوی غیرهمسان:

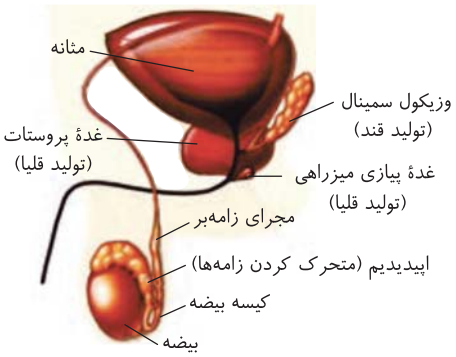


گفتار ۱ دستگاه تولیدمثلی مرد

این دستگاه از دو قسمت **غدد و مجاری تناسلی** به وجود آمده است که وظیفه یا کار **اصلی** آن **تولید یاخته جنسی نر یعنی زامه‌ها** (اسپرم‌ها) می‌باشد. البته وظایف دیگری مانند **ایجاد محیط مناسب برای نگهداری از زامه‌ها**، **انتقال زامه‌ها به خارج از بدن و تولید هورمون جنسی مردانه** (تستوسترون) را نیز برعهده دارد.

غدد دستگاه تناسلی مرد:
- ۱) یک جفت بیضه ← تولید زامه ← از هنگام بلوغ
  - تولید هورمون جنسی تستوسترون ← از دوران جنینی
- ۲) یک جفت وزیکول سمینال ← تولید مادهٔ قندی
- ۳) یک عدد پروستات ← تولید مادهٔ قلیایی
- ۴) یک جفت غدد پیازی میزراهی ← تولید مادهٔ قلیایی

مجاری دستگاه تناسلی مرد:
- ۱) یک اپیدیدیم روی هر بیضه (دور در کل بدن) ← متحرک کردن زامه
- ۲) دو مجرای زامه‌بر (زامه‌ها را از کیسهٔ بیضه وارد شکم می‌کند.)
- ۳) یک میزراه در کل بدن (مجرای مشترک ادرار و زامه)



«اندام‌های دستگاه تولیدمثل در مرد (مثانه جزء آن نیست)»

بررسی بیضه‌ها

یک جفت بیضه مهم‌ترین قسمت دستگاه تناسلی مرد می‌باشد که بعد از تولد درون کیسهٔ بیضه می‌باشند. کیسهٔ بیضه در **خارج حفرهٔ شکمی و چسبیده به پایین شکم** می‌باشد. بیضه‌ها دارای لوله‌های زامه‌ساز و یاخته‌های بینابینی می‌باشند که به ترتیب سبب زامه‌سازی و ساخت هورمون جنسی تستوسترون می‌شوند.

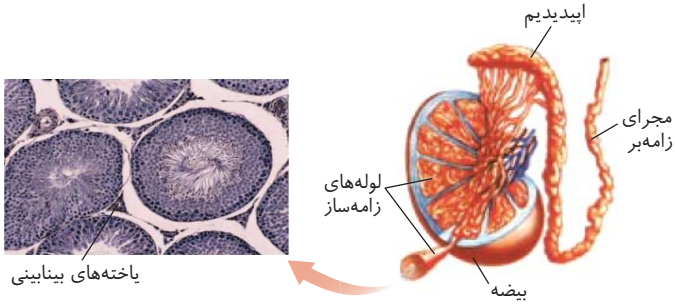
تنظیم دمای بیضه‌ها

ساخت، تمایز و فعالیت زامه‌ها در حدود **سه درجه** پایین‌تر از دمای عادی بدن انجام می‌شود. برای اینکه دمای اطراف بیضه‌ها در این دما (حدود $34^{\circ}C$) قرار گیرد، برای این عمل، هم بیرون بودن بیضه از حفرهٔ شکمی مهم است و هم اینکه شبکه‌ای از **رگ‌های کوچک** در کیسهٔ بیضه‌ها به تنظیم این دما کمک می‌کند.

◀ دمای کیسهٔ بیضه برای ساخت زامه مناسب، فعالیت بیضه‌ها و تمایز صحیح زامه‌ها ضروری می‌باشد.

ساختار درون بیضه‌ها

بیشتر فضای درون بیضه‌ها از لوله‌های **پرپیچ‌وخم** زامه‌ساز تشکیل شده است که در لابه‌لای لوله‌ها، تعدادی یاخته‌های **درون‌ریز** بینابینی وجود دارد.



درون لوله‌های زامه‌ساز از هنگام **بلوغ تا آخر عمر** زامه‌سازی صورت می‌گیرد. همان‌طور که در ادامه توضیح می‌دهم برای زامه‌سازی تمام مراحل **میتوز**، **میوز** و **تمایز**، درون **لولهٔ زامه‌ساز بیضه** صورت می‌گیرد. مراحل این تقسیم‌ها از جدار لولهٔ زامه‌ساز شروع می‌شود و در وسط لوله میوز ۲ و تمایز زامه پایان می‌پذیرد.

در بین لوله‌های زامه‌ساز، یاخته‌های بینابینی **درون‌ریزی** وجود دارد که از **دوران جنینی تا آخر عمر** هورمون **تستوسترون** می‌سازند و وارد خون می‌کنند. این هورمون سبب ایجاد صفات ثانویه جنسی مردانه می‌شود. از سن بلوغ به بعد با افزایش این هورمون، هم زامه‌سازی آغاز می‌شود و هم صفاتی مثل ریش و سبیل درآوردن، بم شدن بیشتر صدا و ... صورت می‌گیرد.

نکته
از فصل ۴ به یاد دارید که صفحات استخوانی، چند سال پس از بلوغ از حالت غضروفی درمی‌آیند. یعنی این عمل در پسران، پس از شروع ساخت زامه صورت می‌گیرد.

مراحل زامه‌زایی (اسپرماتوژنز!)

در دیوارهٔ لوله‌های زامه‌ساز بیضه، یاخته‌های **زاینده‌ای** به نام زامه‌زا ($2n=46$) وجود دارد. این یاخته‌ها که **به سطح دیوارهٔ** مجرای لوله‌ها متصل هستند ابتدا **میتوز** می‌کنند. از دو یاخته حاصل، یکی به صورت زامه‌زا یا لایه زاینده فعال در دیوارهٔ لوله باقی می‌ماند و یکی متصل به آن به عنوان زامیاخته اولیه ($2n=46$) به سمت درونی‌تر لوله می‌رود. زامیاخته اولیه **طی تمایز ژنی، قادر به انجام میوز** می‌شود. این یاخته‌ها میوز ۱ را درون لوله به سمت وسط لوله انجام می‌دهند، تترادها و کراسینگ‌اوورهای خود را انجام می‌دهند و در انتهای میوز ۱ به دو یاخته ۲۳ کروموزومی مضاعف (دوکروماتیدی) و **متصل به هم** به نام زامیاخته ثانویه تبدیل می‌شوند. هرکدام از زامیاخته‌های ثانویه میوز ۲ خود را درون لوله انجام می‌دهند و در نهایت از هر زامیاخته **اولیه**، چهار یاخته ۲۳ کروموزومی تک‌کروماتیدی (بدون تگرگ) **متصل به هم**، به نام **زامیاختک** ایجاد می‌شود. (در هر میوز، بدون کراسینگ‌اوور دو نوع (X دار و Y دار) و حداکثر با کراسینگ‌اوور که در سال دوازدهم می‌خوانیم، چهار نوع زامیاختک می‌تواند ایجاد شود.)

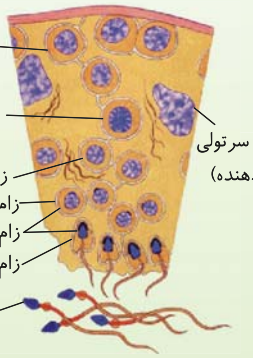
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ به دلیل اینکه تعداد زیادی یاخته زاینده تقسیم می‌شوند، تعداد زامه تولید شده در بدن یک مرد بالغ بسیار زیاد است.

۲ زامه‌یاختک‌ها در ابتدا وسیله حرکتی یا تاژک ندارند ولی به دلیل تولید زیاد به سمت وسط لولهٔ زامه‌ساز رانده می‌شوند و در حین این حرکت درون لولهٔ زامه‌ساز، طی تمایز **ابتدا از هم جدا شده** و تاژک‌دار می‌شوند. سپس مقدار **زیادی** از سیتوپلاسم خود را از دست داده و هستهٔ آن فشرده می‌شود و در سر زامه به صورت مجزا قرار می‌گیرد. در این حالت تاژک‌دار که هستهٔ آن فشرده شده است، در وسط لوله به صورت زامه با شکل کشیده درمی‌آیند که مراحل تمایز آن‌ها را در شکل زیر نیز می‌توانید مشاهده کنید.

۳ زامه از تقسیم سیتوپلاسم یاختهٔ قبل از خود ایجاد نشده است. پس برای ایجاد آن از زامه‌یاختک، کمربند انقباضی ایجاد نمی‌شود. از طرفی زامه‌یاختک و زامه دارای دو سانتریول هستند چون دیگر تقسیم نمی‌شوند.

۴ به شکل زیر و نکات آن دقت کنید.



- زامه‌زا (۲n مضاعف میتوزدهنده)
  - متصل به دیوارهٔ لولهٔ زامه‌ساز
  - متصل به زامه‌یاختهٔ اولیه ۲n
- زامه‌یاخته اولیه (۲n مضاعف میوزدهنده)
  - متصل به زامه‌زا ۲n
  - متصل به زامه‌یاختهٔ ثانویه n
- زامه‌یاخته ثانویه (n مضاعف میوزدهنده)
  - متصل به زامه‌یاختهٔ اولیه ۲n
  - متصل به زامه‌یاختک n
- n تک‌کروماتیدی
  - زامه‌یاختک بدون تاژک
  - زامه‌یاختک
  - زامه‌یاختک تاژک‌دار
- زامه
  - به یاخته‌ای متصل نیست
  - طی تمایز ایجاد شده است نه تقسیم سیتوپلاسم

هستهٔ یاختهٔ سرتولی (۲n میتوزدهنده)
- بزرگ‌ترین یاخته‌های درون لولهٔ زامه‌ساز است.
- وظیفه تمایزدهندگی مراحل زامه‌سازی، پشتیبانی، تغذیه و بیگانه‌خواری برای زامه‌ها را دارد و دارای گیرنده اختصاصی هورمون FSH می‌باشد
- بیگانه‌خواری ویژه در مردان است.

یاخته‌های سرتولی و تمایز زامه‌ها

در **دیوارهٔ لولهٔ زامه‌ساز**، علاوه بر لایه زاینده زامه‌ساز، یاخته‌هایی بزرگ دیپلوئید پیکری به نام **سرتولی** وجود دارند. این یاخته‌ها تحت تأثیر هورمون محرک فولیکولی ***FSH*** (*محرک جسم از هیپوفیز پیشین*) ترشحاتی از نوع پیک شیمیایی **کوتاه‌برد** به درون لولهٔ زامه‌ساز می‌ریزند. به‌طور معمول این یاخته‌ها به یاختهٔ دیگری اتصال ندارند. ترشحات آن‌ها سبب جدا شدن زامه‌یاختک‌ها از هم، تولید تاژک، از دست دادن مقدار زیادی از سیتوپلاسم زامه‌یاختک و فشرده شدن هستهٔ آن در قسمت سر زامه می‌شود. در این حالت زامهٔ تاژک‌دار، دارای حالت کشیده می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

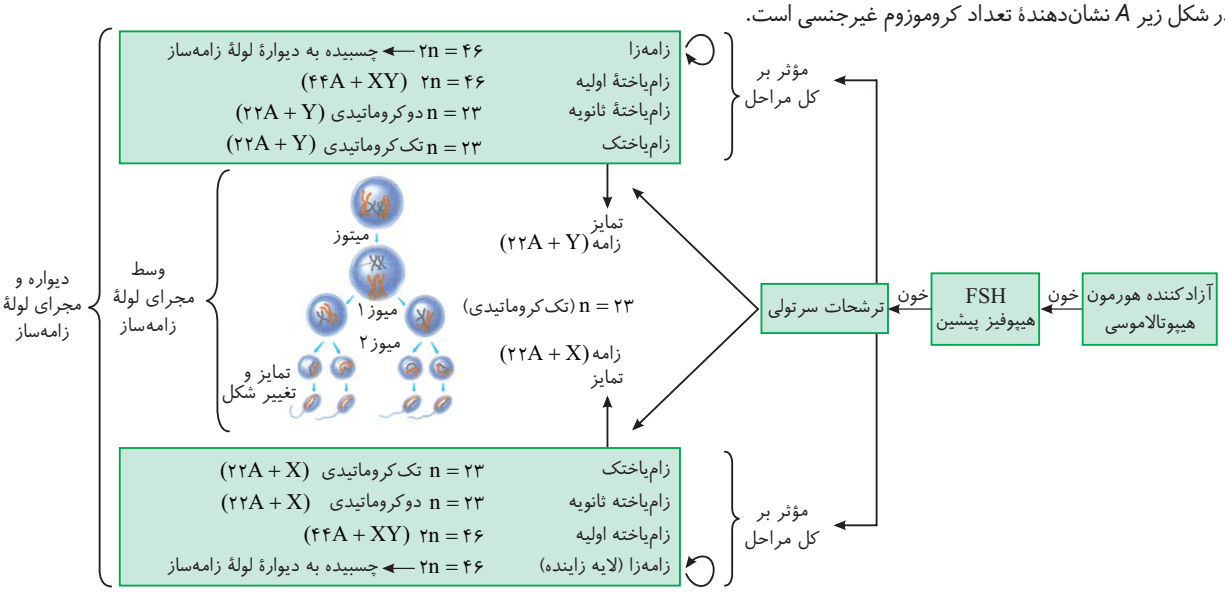
۱ ترشحات یاخته‌های سرتولی به عنوان پیک شیمیایی کوتاه‌برد، سبب تمایز و تغییرات زامه‌یاختک برای تبدیل به زامه می‌شوند. البته این یاخته در همهٔ مراحل زامه‌سازی از زامه‌زا تا ایجاد و تمایز زامه نقش دارد.

مراحل تمایز زامه‌یاختک به زامه:

جدا شدن زامه‌یاختک‌ها ← تاژک‌دار شدن زامه‌یاختک‌ها ← از دست دادن مقدار زیادی از سیتوپلاسم ← فشرده شدن هسته در سر به‌صورت مجزا ← ایجاد زامه به‌صورت یاخته‌ای با حالت کشیده

۲ یاخته‌های سرتولی علاوه بر کمک به تمایز زامه‌ها، همه مراحل زامه‌زایی، پشتیبانی، تغذیه و بیگانه‌خواری باکتری‌ها از اطراف یاخته‌های جنسی (*زامه‌ها*) را نیز انجام می‌دهند. این یاخته‌ها برخلاف یاخته‌های مسیر زامه‌سازی، معمولاً به یاختهٔ دیگری متصل نیستند و قدرت تقسیم میوز نیز ندارند.

◀ در شکل زیر *A* نشان‌دهندهٔ تعداد کروموزوم غیرجنسی است.



نکته

به دلیل مضاعف بودن کروموزوم‌ها، تعداد ژن‌ها در زامه‌یاخته ثانویه، دو برابر زامه‌یاختک و زامهٔ حاصل از آن می‌باشد ولی تعداد و انواع الل‌ها یا دستورالعمل ژن‌ها در آن‌ها یکسان می‌باشد (البته بحث برابری تعداد ژن‌های X با Y نیست).

ساختار زامه (اسپرماتوزوئید)

زامه تمایز یافته دارای سه قسمت **سر، تنه و دم** می‌باشد.

الف) سر زامه

بیشتر فضای درون سر زامه از یک هسته با ۲۳ کروموزوم تک‌کروماتیدی اشغال شده است. مقدار **کمی** سیتوپلاسم دارد و یک کیسه پر از آنزیم در جلوی هستهٔ به نام آکروزوم (*تراگ‌تن*) دارد که مثل کلاه روی **بخشی** از هسته قرار گرفته است. موقع لقاح، وقتی زامه به مامیاختهٔ ثانویه نزدیک می‌شود و به لایهٔ خارجی آن برخورد می‌کند، کیسهٔ سر زامه پاره شده و آنزیم‌های خارج شده از آکروزوم می‌توانند سبب نفوذ زامه در لایهٔ داخلی حفاظت‌کننده مامیاخته شوند.

ب) تنه یا قطعهٔ میانی زامه

قسمتی پر از راکیزه (*میتوکندری*) می‌باشد که با تنفس یاخته‌ای **هوازی** مقدار **زیادی** *ATP* برای فعالیت و حرکت زامه فراهم می‌کند.

نکته

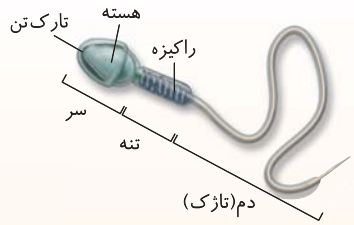
تمام مراحل تنفس هوازی زامه بعد از عمل قندکافت (*گلیکولیز*) در قسمت تنهٔ زامه یعنی درون میتوکندری‌ها رخ می‌دهد (*مراحل تنفس یاخته‌ای را در سال بعد می‌خوانیم*).

ج) دم زامه

قسمت تاژک‌دار و غشادار می‌باشد که به کمک انرژی حاصل از بخش تنه، سبب حرکت زامه می‌شود. دقت کنید که قسمت انتهایی دم زامه فاقد غشا می‌باشد.

نکته

زامه‌ها در وسط لولهٔ زامه‌ساز به صورت تاژک‌دار می‌باشند ولی این زامه‌های موجود در بیضه قدرت حرکت فعال ندارند بلکه چون به مقدار زیاد ساخته می‌شوند پشت سر هم همدیگر را به جلوتر می‌رانند تا از لوله‌های زامه‌ساز بیضه به سمت مجرای **اپیدیدیم** رفته و در آنجا پس از ۱۸ ساعت، تحت تأثیر ترشحات پیک شیمیایی **کوتاه‌برد** این مجرا، قدرت تحرک و بارور نمودن مامیاخته و تخمک را به دست بیاورند.



«ساختار زامهٔ انسان»

نکته

آکروزوم دور **قسمتی** از هستهٔ زامه را فراگرفته است و **اندامکی غشادار** می‌باشد.

اندام‌های کمکی یا ضمیمه دستگاه تناسلی مرد

نکته

بیضه‌ها و اجزای درون آن‌ها مثل لولهٔ زامه‌ساز، یاخته‌های بینابینی و سرتولی همگی با هم به عنوان اندام اصلی یا قسمت اصلی دستگاه تولیدمثل مرد هستند. سایر بخش‌های دستگاه تناسلی مرد، اندام‌های غده‌ها و مجراهای کمکی یا ضمیمه‌ای برای خروج زامه از بدن و نگهداری آن دارند که به ترتیب آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

- دستگاه تناسلی مرد
  - اندام اصلی ← دو عدد بیضه
    - لوله‌های زامه‌ساز
      - یاخته‌های زاینده ← مراحل زامه‌سازی را انجام می‌دهند.
      - یاخته‌های سرتولی
        - در انجام همهٔ مراحل زامه‌سازی مؤثر هستند.
        - تمایز یاخته‌های مراحل زامه‌سازی را انجام می‌دهند.
      - یاخته‌های بینابینی لوله‌ها ← تحت تأثیر *LH* به تولید هورمون جنسی تستوسترون می‌پردازند.
  - اندام‌های ضمیمه (کمکی)
    - غدد
      - وزیکول سمینال ← ۲ عدد
      - پروستات ← ۱ عدد
      - پیازی میزراهی‌ها ← ۲ عدد
    - مجاری
      - اپیدیدیم ← ۲ عدد
      - زامه‌بر ← ۲ عدد
      - میزراه ← ۱ عدد

۱) اپیدیدیم یا برخاگ (دو عدد)

مجاری لوله‌ای **پرپیچ‌وخم و طویل** هستند که در خارج و روی **هر بیضه** ولی درون کیسهٔ بیضه می‌باشند. این مجاری **زامه‌های تاژک‌دار تمایز یافته** را از لوله‌های زامه‌ساز می‌گیرند که این زامه‌ها قادر به حرکت نیستند ولی بعد از حداقل **۱۸ ساعت** که در این مجرا قرار بگیرند و ذخیره شوند تحت تأثیر ترشحات (*پیک کوتاه‌برد*) این قسمت، زامه‌ها توانایی تحرک و بارور نمودن تخمک را پیدا می‌کنند و در حقیقت بالغ می‌شوند.

۲) لولهٔ زامه‌بر (دو عدد)

لوله‌ای **طویل و بدون پیچ‌وخوردگی** است که زامه‌های متحرک را از اپیدیدیم روی هر بیضه گرفته و پس از خروج از کیسهٔ بیضه، وارد **محوطه** یا **حفرهٔ شکمی** می‌شود. این دو لولهٔ زامه‌بر در حفرهٔ شکمی از **کنار و پشت مثانه** عبور کرده و در **زیر** مثانه درون پروستات با میزراه یکی می‌شوند. پس از اینکه در پروستات دو مجرای زامه‌بر با **میزراه** عبور دهنده ادرار یکی می‌شوند، بعد از آن، میزراهِ درون آلت تناسلی مرد، مجرای مشترک عبور زامه و ادرار می‌باشد که **مایعات منی** حاوی زامه از بدن مرد خارج می‌کند.

مسیر عبور زامه: لولهٔ زامه‌ساز بیضه ← اپیدیدیم ← مجرای زامه‌بر ← پروستات ← میزراه

نکته ابتدای مجرای زامه‌بر در کیسهٔ بیضه و انتهای آن در محوطهٔ شکمی می‌باشد تا در نهایت به پروستات برسد.

نکته اپیدیدیم **همانند** یاخته‌های سرتولی، پیک‌های شیمیایی **کوتاه‌برد** ترشح می‌کنند که در اپیدیدیم سبب متحرک کردن زامه‌های تمایز یافته می‌شوند.

بررسی غدد دستگاه تناسلی مرد

۱) یک جفت بیضه (غدد اصلی)

همان‌طور که گفتیم وظیفه تولید و تمایز زامه‌ها و تولید هورمون جنسی تستوسترون را بر عهده دارد. زامه‌های **تاژک‌دار** غیرمتحرک از بیضه‌ها به اپیدیدیم‌ها رانده می‌شوند. بیضه‌ها به عنوان غدهٔ درون‌ریز، هورمون **تستوسترون** بیشتری را وارد **خون** می‌کنند تا افزایش آن سبب صفات ثانویه جنسی مردانه شود.

نکته در بدن یک مرد، علاوه بر بیضه‌ها که مقدار زیادی تستوسترون می‌سازند، غدد فوق کلیه نیز از بخش قشری خود مقدار اندکی هورمون تستوسترون را وارد خون می‌کنند.

۲) یک جفت وزیکول سمینال

یک **جفت** غدهٔ **برون‌ریز** ترشحی می‌باشند که **مایعی غنی از فروکتوز** را به درون **لولهٔ زامه‌بر** وارد می‌کنند. در حقیقت وقتی هر مجرای زامه‌بر از کنار و پشت مثانه عبور می‌کند، مجرای خروجی یک غدهٔ **برون‌ریز** وزیکول سمینال به آن متصل می‌شود. مایعی که این غدد به زامه‌ها می‌دهند حاوی **قند** است که طی فرایند **تنفس یاخته‌ای**، زامه‌ها می‌توانند مقدار زیادی **انرژی** از آن‌ها برای فعالیت‌های زیستی خود به دست بیاورند.

نکته قند ترشحی از غدد وزیکول سمینال سبب تولید ATP زیادی در میتوکندری‌های بخش تنهٔ زامه می‌شوند. این ATPها سبب حرکت و فعالیت‌های زیستی زامه‌ها می‌شوند.

نکته ترکیبی با زیست دوازدهم

تولید ATP به دو صورت در بدن انسان رخ می‌دهد:
- ATP پیش‌ماده‌ای ← در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و چرخهٔ کربس بسترهٔ راکیزه
- ATP اکسایشی ← در واکنش‌های مربوط به غشای درونی راکیزه

۳) یک عدد غدهٔ پروستات

غده‌ای در **زیر مثانه** می‌باشد که دو مجرای زامه‌بر به میزراه متصل می‌شوند. این غده در انسان **با حالتی اسفنجی** می‌باشد که مایعی شیری‌رنگ و قلیایی را به مجاری مشترک ادرار و زامه ترشح می‌کند. این مایع به خنثی کردن اسید مسیر عبور زامه تا رسیدن به یاختهٔ جنسی ماده در دستگاه تناسلی مرد و زن کمک می‌کند.

نکته دقت کنید که در زنان برخلاف مردان مجرای ادراری و تناسلی همواره مجزا می‌باشد. یعنی میزراه زن فقط مجرای عبور ادرار است در حالی که میزراه مرد بعد از پروستات مجرای مشترک عبور ادرار و زامه می‌باشد.

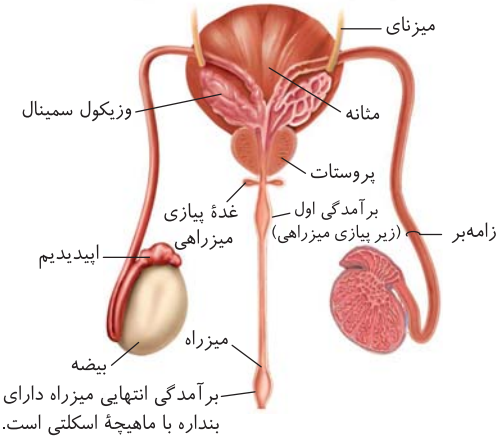
نکته در تست‌ها لطفاً دقت داشته باشید که **میزراه** را با **میزنای** اشتباه نگیرید. میزنای مجرایی است که ادرار تشکیل شده در هر کلیه را وارد مثانه می‌کند ولی میزراه، مجرای مشترک برای عبور ادرار و زامه از زیر مثانه می‌باشد.

۴) یک جفت غدهٔ پیازی میزراهی

این دو غدهٔ برون‌ریز کوچک، در زیر پروستات **و متصل به دو طرف میزراه** می‌باشند. این غدد همانند پروستات ترشحات قلیایی دارند که سبب خنثی کردن مواد اسیدی میزراه **مرد** می‌شوند و حرکت زامه را آسان می‌کنند.

نکته به ترشحات ۵ عدد غدهٔ **برون‌ریز** (*سه نوع*) وزیکول سمینال (۲ *عدد*)، پروستات (۱ *عدد*) و پیازی میزراهی (۲ *عدد*) به همراه زامه‌ها **مایع منی** گفته می‌شود.

نکته به‌جز بیضه‌ها به سایر غدد و مجاری خارج از بیضه **اندام‌های ضمیمه یا کمکی** می‌گویند.

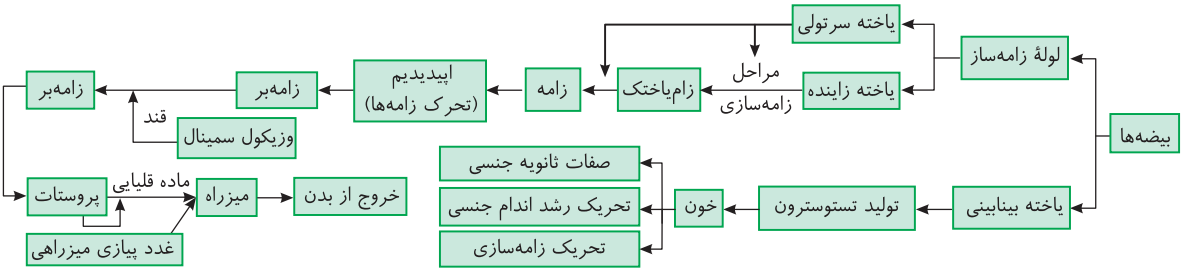


«مسیر عبور زامه (از نمای پشتی مثانه)»

نکته

میزراه دارای دو برآمدگی و دو بنداره می‌باشد
- برآمدگی‌ها
  - یکی زیر غدد پیازی میزراهی
  - یکی در انتهای منفذ خروج ادرار
- بنداره
  - داخلی
    - در محل اتصال مثانه به میزراه می‌باشد.
    - تحت کنترل اعصاب خودمختار منقبض می‌شود.
    - از ماهیچهٔ صاف حلقوی می‌باشد.
  - خارجی
    - در محل خروج ادرار و زامه می‌باشد.
    - از ماهیچهٔ مخطط ارادی با آرایش حلقوی ایجاد شده است.
    - تحت کنترل اعصاب پیکری به انقباض درمی‌آید و تنگ می‌شود.

● **خلاصه دستگاه تناسلی مرد**

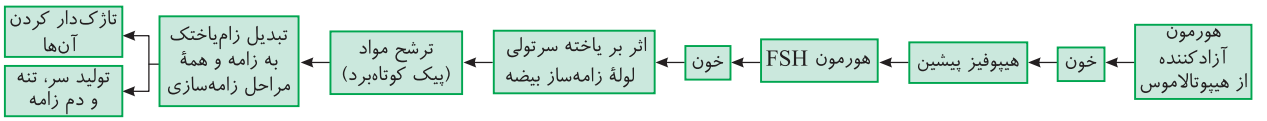


تنظیم هورمونی اعمال بیضه‌ها

در فصل هورمون‌ها خواندیم که هورمون آزادکننده غدهٔ هیپوتالاموس، سبب ترشح هورمون‌های محرک جنسی *FSH* و *LH* از هیپوفیز پیشین می‌شود. این دو هورمون در حقیقت از فعالیت آن‌ها در جنس ماده نام‌گذاری شده‌اند که به *FSH* هورمون محرک فولیکولی و به *LH* هورمون لوتئینی کننده (*رشد جسم زرد*) می‌گویند. در مردان با اینکه فولیکول و جسم زرد وجود ندارد ولی این دو هورمون در فعالیت دستگاه تناسلی مرد **ضروری** دارند.

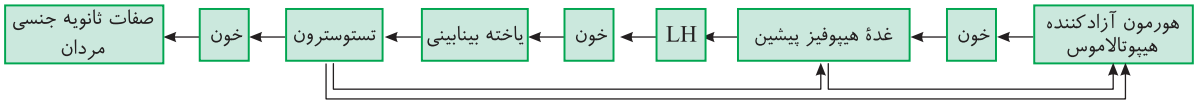
الف) نقش هورمون *FSH* در مردان

این هورمون روی یاخته‌های **سرتولی** دیوارهٔ لولهٔ زامه‌ساز اثر کرده و با تحریک آن‌ها سبب تسهیل **تمایز مراحل زامه‌زایی** مخصوصاً در تبدیل زام‌یاختک به زامه می‌شود.



ب) نقش هورمون *LH* در مردان

این هورمون با تحریک یاخته‌های بینابینی بیضه‌ها، ترشح و تولید هورمون تستوسترون را در مرد زیاد می‌کند.



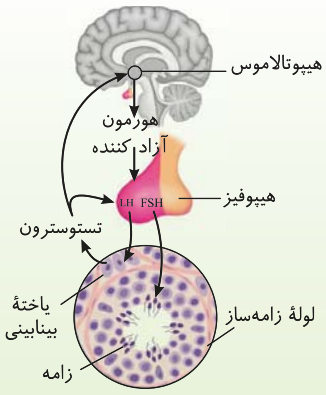
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) میزان ترشح هورمون *LH* به کمک سازوکارهای بازخوردی منفی (*خودتنظیمی منفی*) برحسب نیاز به مقدار تستوسترون خون تنظیم می‌شود ولی دقت کنید که تستوسترون‌های تولیدی از بخش قشری غدهٔ فوق کلیه تحت تأثیر *LH* قرار نمی‌گیرند. در حقیقت *LH* فقط روی تولید تستوسترون از **بیضه‌ها** مؤثر می‌باشد.

۲) هورمون *FSH* در روز به‌طور تقریباً یکسان به تولید تعداد زیادی زامه می‌پردازد (*البته با اثر بر یاخته‌های سرتولی*).

بازخوردی منفی
- تستوسترون ↑ ← آزادکننده ↓ ← *LH* ↓ ← مقدار تستوسترون مناسب می‌شود.
- تستوسترون ↓ ← آزادکننده ↑ ← *LH* ↑ ← مقدار تستوسترون مناسب می‌شود.

اعمال تستوسترون
- تحریک رشد اندام‌های جنسی و زامه‌زایی (*این‌ها صفات اولیهٔ جنسی هستند*).
- بروز صفات ثانویهٔ جنسی
  - بم شدن صدا
  - روییدن مو در صورت و قسمت‌های دیگر
  - رشد ماهیچه‌ها و استخوان‌ها



«تنظیم فعالیت دستگاه تولیدمثل در مرد»

۳) هورمون تستوسترون، یاختهٔ سرتولی، هورمون‌های محرک جنسی (*FSH*، *LH*) و عمل کیسهٔ بیضه در زامه‌زایی مؤثر می‌باشند.

درسنامه

گفتار ۲ دستگاه تولیدمثلی زن

این دستگاه شامل رحم با بافت ماهیچه‌ای **صاف** و لایه داخلی پوششی، لولهٔ رحم (*فالوپ*، *لولهٔ تخم‌بر*) با بافت ماهیچه‌ای صاف که در سطح داخلی بافت پوششی مژک‌دار دارد، دوتا تخمدان در نزدیکی لولهٔ رحم، گردن رحم و واژن در نزدیکی سطح بدن به وجود آمده است.

وظایف کلی دستگاه تناسلی زن

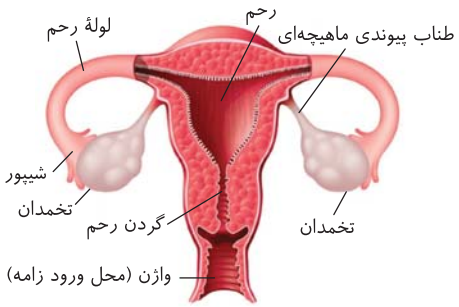
۱) تولید یاخته جنسی ماده (*تخمک*)
- میتوز مامه‌زا در تخمدان **جنین**
- آغاز میوز ۱ در تخمدان جنین و ادامهٔ آن در فرد بالغ
- میوز ۲ در ابتدای لولهٔ رحم در صورت وجود زامه

۲) انتقال یاخته‌های جنسی ماده به سوی رحم ← از طریق لولهٔ رحم در صورت عدم لقاح

۳) ایجاد شرایط مناسب برای لقاح زامه با تخمک ← در ابتدای لولهٔ رحم در اواسط دورهٔ جنسی

۴) حفاظت و تغذیه جنین (*در صورت تشکیل*) ← در جدار ماهیچه‌ای رحم

۵) تولید هورمون جنسی زنانه ← استروژن و پروژسترون از تخمدان



«دستگاه تولیدمثل در زن»

بررسی تخمدان‌ها

دو غدهٔ جنسی ماده هستند که **درون** محوطهٔ شکمی در نزدیکی لولهٔ رحم قرار دارند. این غدد به کمک طنابی از جنس بافت **پیوندی - ماهیچه‌ای** به دیوارهٔ خارجی رحم (*در بالای گردن رحم*) متصل می‌باشند.

تخمدان‌ها برخلاف بیضه‌ها فاقد لوله‌های **پیچ در پیچ** می‌باشند ولی **همانند** آن‌ها هورمون‌های جنسی را تحت اثر هورمون‌های محرک جنسی تولید می‌کنند و وارد خون می‌کنند. درون هر تخمدان **در دوران جنینی** (*قبل از تولد*) تعداد بسیار زیادی فولیکول (*انبانک*) وجود دارد که هر فولیکول، **یک** یاخته مرکزی به نام **مامه‌زا** دارد و تعداد زیادی یاخته **پیکری** غذا دهنده در اطراف آن وجود دارد (*فولیکول دوران جنینی مجموعه‌یک یاخته‌مرکزی مامه‌زا یا مام‌یاختهٔ اولیه ۲n در حال تقسیم به‌علاوه تعداد زیادی یاخته‌پیکری ۲n برای غذادهی به یاخته‌زاینده می‌باشد*).

هر مامه‌زا فولیکول تخمدان، در دوران **جنینی** طی میتوز، یک مامه‌زا و یک مام‌یاختهٔ اولیه می‌سازد. سپس این مام‌یاخته تقسیم میوز ۱ خود را آغاز کرده و پس از تشکیل تتراداها و انجام کراسینگ‌اوورها در پروفاز ۱ متوقف می‌شود. به این حالت **توقف اولیه** گفته می‌شود. **یاختهٔ مام‌یاختهٔ اولیه** متوقف شده در پروفاز ۱ دیپلوئید با کروموزوم‌های به هم فشرده مضاعف (*کروماتیدی*) می‌باشد. این فولیکول‌ها در دوران نوزادی (*مام‌یاختهٔ اولیه به‌علاوه یاخته‌های پیکری تغذیه‌ای اطراف*) به مقدار حدود یک میلیون عدد در هر تخمدان دختر متولد شده وجود دارند ولی **تعداد اندکی** از آن‌ها پس از تولد تقسیم میوز خود را **ادامه** می‌دهند و تخمک ایجاد می‌کنند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) پس از تولد، تعداد فولیکول تخمدان زیاد نمی‌شود ولی به **دلایل نامعلوم** تعداد زیادی از آن‌ها از بین می‌روند.

۲) پس از میتوز مامه‌زا، دو یاخته حاصل یکی مامه‌زا می‌باشد و یکی به مام‌یاخته اولیه درون فولیکول تبدیل می‌شود.

۳) دقت کنید که فولیکول درون تخمدان
- در دوران جنینی ← حاوی مامه‌زا و مام‌یاختهٔ اولیه در حال تقسیم و یاخته‌های غذا دهنده می‌باشد.
- در دوران نوزادی ← حاوی مام‌یاختهٔ اولیه متوقف شده از تقسیم میوز ۱ می‌باشد.
- در نیمه اول دوره‌های جنسی ← حاوی مام‌یاختهٔ اولیه در حال میوز ۱ و یاخته‌های غذا دهنده می‌باشد.
- فولیکول بالغ ← حاوی یاخته مام‌یاختهٔ ثانویه، اولین جسم قطبی و یاخته‌های غذا دهنده می‌باشد.
- در نیمه دوم دوره‌های جنسی ← به عنوان جسم زرد یا سفید با یاخته‌های پیکری می‌باشد.

رحم

اندامی کیسه‌مانند و گلابی‌شکل از **ماهیچه‌های صاف** می‌باشد که انقباضات آن تحت کنترل اعصاب **خودمختار** می‌باشد. این اندام در حفرهٔ شکمی واقع می‌باشد که جنین در دوران بارداری درون دیوارهٔ داخلی آن رشد می‌کند.

دیوارهٔ داخلی رحم از **بافت پوششی و رگ‌های خونی** تشکیل شده است که تحت تأثیر هورمون‌های جنسی استروژن و پروژسترون رشد می‌کند ولی در دوران قاعدگی دچار ریزش و در دوران بارداری دچار رشد می‌شود.

لولهٔ رحم (لولهٔ تخم‌بر یا لولهٔ فالوپ)

بخش **پهن و بالای رحم** از **دو** طرف به **دو** لوله با ماهیچه‌های صاف متصل می‌شود. در سطح داخلی **تمام طول** این لوله‌ها یاخته پوششی **مژک‌دار** وجود دارد. در نزدیک تخمدان یعنی در انتهای هر لولهٔ رحم، **بخشی شیپور‌مانند زائده‌دار** با زوائد انگشت‌مانند وجود دارد که با زنش مژک‌های **لایه مخاطی داخلی** خود سبب حرکت مام‌یاخته ثانویه (*حاصل میوز ۱*) خارج شده از تخمدان به سمت رحم می‌شود.

نکته
اگر لقاح صورت نگیرد، حرکت لولهٔ رحم و مژک‌های آن سبب ورود مام‌یاختهٔ ثانویه به رحم و خروج آن با عادت ماهیانه می‌شود ولی اگر لقاح صورت گرفته باشد، سبب حرکت تخم از لولهٔ رحم به رحم برای جایگزینی در جدار رحم می‌شود.

گردن رحم

بخش ماهیچه‌ای **پایین رحم** است که باریک‌تر شده و همانند یک گردن به واژن متصل می‌شود. گردن رحم به داخل واژن باز می‌شود.

واژن

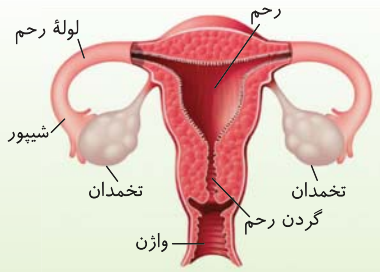
نزدیک‌ترین بخش دستگاه تناسلی ماده به سطح بدن می‌باشد که از یک طرف سبب ورود یاخته‌های جنسی نر (*زامه*) شده و از طرف دیگر به گردن رحم متصل می‌باشد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) واژن علاوه بر محل ورود زامه، **محل خروج خون قاعدگی و در هنگام زایمان طبیعی محل خروج جنین** می‌باشد.

۲) دستگاه تناسلی زن برخلاف مرد، قسمتی در خارج از سطح بدن ندارد و دارای مجرای ادرار و تناسلی مجزایی می‌باشد (*میزراه زنان فقط مجرای خروج ادرار می‌باشد*).

۳) ماهیچه‌های دستگاه تناسلی زن، همگی از نوع **صاف** می‌باشند و فاقد تارهای ماهیچه‌ای **تند و کند** می‌باشند. دقت کنید که ماهیچه‌های صاف قدرت انقباض کندی دارند ولی تقسیم‌بندی تار ماهیچه‌ای تند یا کند (*سفید یا قرمز*) مربوط به ماهیچه مخطط اسکلتی است.



«دستگاه تولیدمثل در زن»

دورهٔ جنسی زنان

دختران از حدود سن ۹ تا ۱۱ سالگی بالغ می‌شوند. نشانه بلوغ در دختران، عادت **ماهیانه دورهٔ** جنسی آن‌هاست. این دوره تحت کنترل هورمون‌های آزادکننده غدهٔ هیپوتالاموس، هورمون‌های محرک جنسی هیپوفیز پیشین (*FSH و LH*) و همچنین به‌طور مستقیم در رحم تحت کنترل هورمون‌های جنسی **استروژن و پروژسترون** آزاد شده از تخمدان می‌باشد. در رحم به‌طور متوسط حدود ۷ روز اول این دوره، همراه با خون‌ریزی یا همان عادت ماهیانه یا قاعدگی (*خونروش*) می‌باشد. دلیل خون‌ریزی تخریب بافت پوششی جدار داخل رحم و رگ‌های خونی آن می‌باشد که مخلوطی **از خون و بافت‌های تخریب شده** (*اغلب پوششی*) از بدن دفع می‌شود.

نکته
بلوغ جنسی یعنی ایجاد دوره‌های جنسی همراه با عادت ماهیانه، که ابتدا به صورت **نامنظم** آغاز شده ولی کم‌کم منظم می‌شود.

نکته
مهم‌ترین شاخص **کارکرد صحیح** دستگاه تولیدمثلی زن، نظم عادت ماهیانه یا شروع بلوغ جنسی می‌باشد.

نکته
دورهٔ جنسی که هر ماه رخ می‌دهد، علاوه بر فعالیت دوره‌ای رحم، یک دوره تخمدانی نیز دارد که طی آن هر ماه معمولاً یک فولیکول رشد می‌کند و معمولاً یک تخمدان فعال می‌باشد. یک تخمک به صورت مام‌یاختهٔ ثانویه از یک تخمدان در وسط دورهٔ جنسی آزاد می‌شود که در ادامه آن را بررسی می‌کنیم.

یائسگی

معمولاً در زنان تا حدود سنین ۴۵ تا ۵۰ سالگی دوره‌های جنسی انجام می‌شود که زنان از شروع بلوغ تا این زمان قدرت بارور شدن دارند. در این سنین **به دلیل از کار افتادن تخمدان‌ها** که زودتر از سایر **دستگاه‌های** بدن پیر می‌شوند، عادت ماهیانه متوقف می‌شود و فرد دیگر قادر به تخمک‌گذاری و بارور شدن نمی‌باشد. به این پدیده **یائسگی** می‌گویند که در نتیجه آن دوره باروری و تولیدمثلی زنان در طول عمر حدود ۳۰ تا ۳۵ سال می‌شود.

نکته تغذیه نامناسب، کار زیاد و سخت، فشار روحی و جسمی سبب بلوغ دیرتر و یائسگی زودرس می‌شود و از طول دوره بارور شدن یک زن می‌کاهد یعنی دیرتر بالغ و زودتر یائسه می‌شوند.

نکته دقت کنید که تیموس، **غده‌ای** است که قبل از تخمدان از فعالیت آن کاسته می‌شود و اندازهٔ آن تحلیل می‌رود ولی در کتاب عنوان شده است که کار **دستگاه** تناسلی زنان زودتر از سایر دستگاه‌ها متوقف می‌شود.

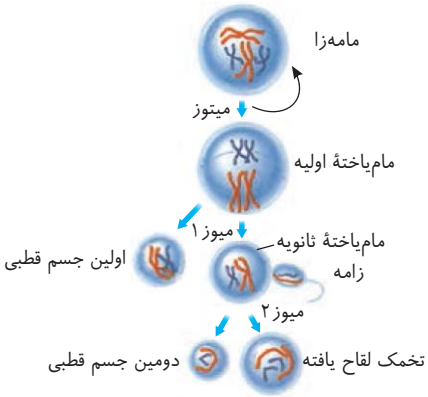
بررسی کلی مراحل تخمک‌زایی (اووژنز)، چرخهٔ تخمدانی و چرخهٔ رحمی

در اینجا ابتدا به صورت کلی به مراحل تخمک‌زایی و چرخهٔ تخمدانی و رحمی می‌پردازیم ولی در نهایت به‌طور دقیق و جزئی همه این مراحل را در روزهای مختلف دورهٔ جنسی با هم بررسی می‌کنیم.

۱) بررسی مراحل تخمک‌زایی (اووژنز)

همان‌طور که در بررسی مراحل تولید زامه مشاهده کردید، مراحل زامه‌سازی در مردان **بسیار سریع** و به تعداد فراوان رخ می‌دهد. در زنان، مدت زمان مراحل تخمک‌گذاری بسیار طولانی بوده و از قبل از تولد آغاز می‌شود ولی ممکن است تا یائسگی ادامه یابد یعنی یک مرحله تخمک‌زایی می‌تواند حدود ۴۵ تا ۵۰ سال طول بکشد و از طرفی تعداد تخمک‌های زنان نیز محدود و بسیار کمتر از زامه‌ها می‌باشد.

در دوران **جنینی**، درون فولیکول‌های تخمدان، یاخته زاینده دیپلوئیدی به نام **مامه‌زا** ($2n=46$) وجود دارد که میتوز کرده و یک مامه‌زا به همراه یک مام‌یاختهٔ اولیه ایجاد می‌کند. مام‌یاختهٔ اولیه که از همان دوران جنینی، میوز ۱ خود را آغاز می‌کند و در مرحلهٔ پروفاز ۱ متوقف می‌شود. هر مام‌یاختهٔ اولیه حاوی ۲۳ تتراد می‌باشد که درون **هستهٔ** یاخته پراکنده‌اند. نوزاد دختری که متولد می‌شود **در هر تخمدان** خود حدود یک میلیون فولیکول دارد که در همهٔ آن‌ها یک مام‌یاختهٔ اولیه و در اطراف آن تعدادی یاخته $2n$ پیکری غذا دهنده وجود دارد. از **شروع بلوغ** و دوره‌های جنسی، هر ماه، معمولاً یک فولیکول که از همه **رشد بیشتری** داشته است، تقسیم میوزی خود را از روز اول دوره **ادامه** می‌دهد و تا حدود روز چهاردهم دورهٔ جنسی (*وسط دوره*) میوز ۱ خود را تمام می‌کند و دو یاخته با **سیتوپلاسم** نامساوی ایجاد می‌کند که یکی مام‌یاختهٔ ثانویه و دیگری اولین جسم قطبی می‌باشد. هر دو این یاخته‌ها، هسته مشابه و هم‌اندازه‌ای با ۲۳ کروموزوم دوکروماتیدی (*مضاعف*) دارند **ولی سیتوپلاسم و اندامک‌های مام‌یاختهٔ ثانویه از جسم قطبی بسیار بیشتر است.** در نیمه یا وسط دورهٔ جنسی، مام‌یاختهٔ ثانویه از تخمدان خارج می‌شود ولی چون وسیله حرکتی (*مثل تازک زامه*) ندارد، این یاخته به کمک حرکات زوائد انگشت‌مانند و مژک‌های انتهای لولهٔ رحم، حرکت کرده و به درون لولهٔ رحم هدایت می‌شود. در این حالت مام‌یاختهٔ ثانویه تا مدت کوتاهی قدرت تحریک شدن برای شروع میوز ۲ را دارد. اگر طی این مدت **زامه به مام‌یاختهٔ ثانویه** برخورد کند، **فرایند لقاح** آغاز می‌شود به این صورت که زامه توسط آنزیم‌های آزاد شده از کیسه آکروزومی سر خود در حال تجزیه لایه‌های چسبناک اطراف مام‌یاخته می‌باشد. سپس مام‌یاختهٔ ثانویه نیز سریعاً میوز ۲ خود را در **لولهٔ رحم** انجام می‌دهد و با تکمیل میوز خود با تقسیم سیتوپلاسم نامساوی یک تخمک ۲۳ کروموزومی تک‌کروماتیدی با سیتوپلاسم و اندامک‌های زیاد و یک جسم قطبی دوم کوچک می‌سازد. این تخمک قدرت لقاح و ترکیب هستهٔ خود با هستهٔ زامه را دارد تا اولین یاخته فرزند یعنی تخم یا زیگوت را بسازد. (*دقت کنید که بیشتر عوامل سیتوپلاسمی تخم مثل راکیزه‌ها را تخمک مادر تأمین می‌کند.*)



«مراحل تخمک‌زایی»

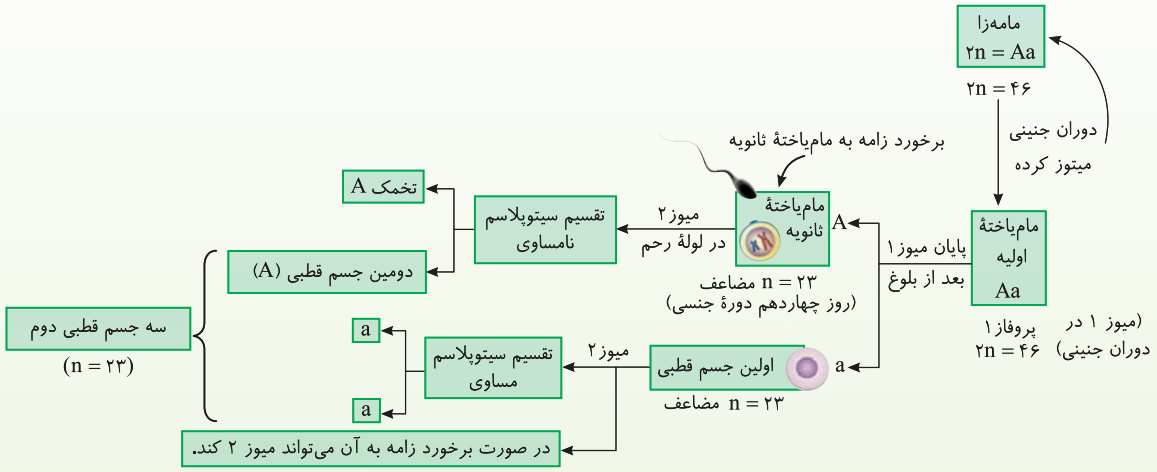
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اگر زامه به مام‌یاختهٔ ثانویه برخورد نکند، میوز ۲ آن انجام نمی‌شود و این مام‌یاختهٔ ثانویه به همراه جسم قطبی اول با قاعدگی یا خون‌ریزی ماهیانه بعدی وارد رحم شده و از راه واژن دفع می‌شود.

۲) میوز ۱ زنان در تخمدان و میوز ۲ آن‌ها برای تولید تخمک در لولهٔ رحم صورت می‌گیرد. در هر دورهٔ جنسی قطعاً میوز ۱ اتمام می‌یابد ولی شروع میوز ۲ بستگی به وجود یاختهٔ جنسی نر یا زامه دارد.

۳) میوز ۱ زنان یک تقسیم با تقسیم **سیتوپلاسم** نامساوی است ولی میوز ۲، دو تقسیم همانند میتوز دارد. تقسیمی که مام‌یاختهٔ ثانویه انجام می‌دهد، همراه با تقسیم **سیتوپلاسم** نامساوی ولی هستهٔ مساوی است که یک تخمک و یک جسم قطبی ثانویه می‌سازد ولی تقسیم میوز ۲ که جسم قطبی اول انجام می‌دهد، همراه با تقسیم **سیتوپلاسم** و هستهٔ مساوی است که در نهایت دو جسم قطبی دوم حاصل از آن به همراه جسم دیگر سبب ایجاد سه جسم قطبی دوم کوچک به همراه یک تخمک با سیتوپلاسم و اندامک زیاد می‌شود. زیاد بودن سیتوپلاسم و اندامک‌ها در تخمک به تأمین نیازهای **مراحل اولیه رشد و نمو جنین** کمک می‌کند.

۴ **مراحل تخمک‌زایی در یک نگاه:**



۵ در حالت عادی و در صورت میوز ۲ مام‌یاختهٔ ثانویه و جسم قطبی اول، در نهایت از سه جسم قطبی دوم، یکی ($\frac{۱}{۳}$ *آن‌ها*) فرمول ژنتیکی کاملاً مشابه با تخمک دارد. مثلاً در شکل می‌بینید که وقتی فرمول ژنتیکی مامه‌زا $۲n$ به صورت Aa است در نهایت یک تخمک A و یک جسم قطبی دوم A و دو جسم قطبی دوم به صورت a ایجاد می‌شود.

۶ **به ندرت** ممکن است زامه برخورد کرده با جسم قطبی نیز سبب شروع فرایند لقاح شود ولی تقسیم یاختهٔ حاصل از آن‌ها، **توده‌ای یاخته‌ای بی‌شکل** است که پس از مدتی از بدن **دفع** می‌شود.

۷ تمام مراحل میوز و تخمک‌سازی زنان تحت تأثیر مستقیم هورمون‌های محرک جنسی (*FSH* و *LH*) می‌باشند که در ادامه آن‌ها را در چرخه تخمدانی بررسی می‌کنیم.

۸ نوسانات چهار هورمون در ایجاد وقایع دوره‌های جنسی رحم و تخمدان مؤثرند دوتای آن‌ها به نام هورمون‌های محرک جنسی یا *FSH* و *LH* می‌باشند که سبب ایجاد چرخه تخمدانی و تخمک‌گذاری می‌شوند. طی چرخه تخمدانی، از یاخته‌های پیکری فولیکول درون تخمدان، دو هورمون جنسی استروژن و پروژسترون ترشح می‌شوند که سبب تغییراتی در جدار رحم و ایجاد دوره رحمی می‌شوند و رحم را آماده باروری و پذیرش جنین می‌کنند.

نوسانات *FSH* و *LH* ← سبب تنظیم دورهٔ جنسی تخمدانی می‌شوند.

نوسانات استروژن و پروژسترون ← سبب تنظیم دوره رحمی و وقایع رحم می‌شوند.

۲) چرخه جنسی یا چرخه تخمدانی

تخمدان دارای یک چرخه جنسی ۲۸ روزه می‌باشد که به‌طور **غیرمستقیم** تحت کنترل هورمون‌های آزادکننده هیپوتالاموسی و به‌طور **مستقیم** تحت تأثیر هورمون‌های محرک جنسی *FSH* و *LH* می‌باشد. به ۱۴ روز اول دوره تخمدانی نیمه انبانکی (*فولیکولر*) و به ۱۴ روز دوم آن نیمه جسم زردی یا نیمه لوتئالی می‌گویند.

همان‌طور که گفتیم **هر تخمدان** در بدو تولد حاوی حدود یک میلیون فولیکول می‌باشد. هر فولیکول بعد از تولد یک یاخته دیپلوئید مرکزی زایشی به نام مام‌یاختهٔ اولیه (*متوقف شده در پروفاز ۱*) و تعدادی لایه یاخته‌ای اطراف از نوع پیکری دارد. بعد از سن بلوغ **بروز تغییرات هورمونی** سبب می‌شود که فولیکول‌های درون تخمدان‌ها شروع به رشد کنند. به‌طور معمول در هر دورهٔ جنسی، فقط یک فولیکولی که رشد آن از همه بیشتر است و فقط در یک تخمدان چرخه تخمدانی را آغاز می‌کند. یاخته زایشی درون آن میوز ۱ خود را از روز اول دوره **ادامه** می‌دهد.

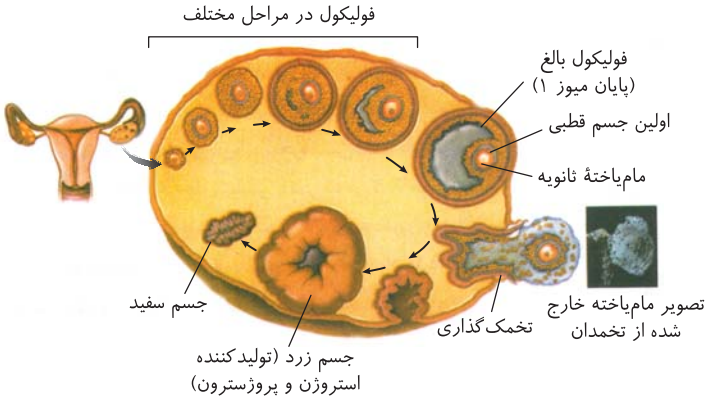
از شروع هر دورهٔ جنسی، تحت تأثیر *FSH* به تدریج لایه‌های یاخته‌ای پیکری اطراف مام‌یاخته در فولیکول **تکثیر یافته و افزایش حجم** می‌یابند. این عمل از یک سو سبب ایجاد فضا و شرایط مناسب برای **رشد و نمو مام‌یاخته** می‌کند و از سوی دیگر همراه با رشد فولیکول سبب تولید هورمون **استروژن** توسط یاخته‌های اطراف ترشح می‌شود (*استروژن سبب رشد رحم می‌شود*). هرچه فولیکول بزرگ‌تر و **حجیم‌تر** شود، تولید استروژن آن نیز **بیشتر** می‌شود. تا حدود وسط دورهٔ جنسی تحت تأثیر مقدار کمی *FSH* که حاوی گیرنده در یاخته‌های پیکری فولیکول می‌باشد، فولیکول رشد کرده و میوز ۱ خود را ادامه می‌دهد ولی در روز ۱۴ دورهٔ جنسی، افزایش **زیاد استروژن**، با بازخوردی **مثبت** سبب بالا رفتن ناگهانی *FSH*، *LH* و تکمیل میوز ۱ می‌شود. فولیکول بالغ چسبیده به دیواره تخمدان، تحت تأثیر افزایش ***LH***، پاره شده و سبب آزاد شدن مام‌یاختهٔ ثانویه به **محوطهٔ شکمی** می‌شود. این مام‌یاختهٔ ثانویه به همراه جسم قطبی اول و تعداد کمی یاخته‌های فولیکولی غذا دهندهٔ اطراف به درون لولهٔ رحم کشیده می‌شوند.

نکته یاخته‌های فولیکولی چسبیده به مام‌یاخته در ادامه مسیر در لوله فالوپ به تغذیه و محافظت از مام‌یاخته کمک می‌کنند.

نکته در چهارده روز اول دورهٔ جنسی، افزایش **اندک** استروژن (*تا قبل از روز ۱۴*)، از آزاد شدن *FSH* و *LH* با سیستم بازخوردی **منفی** ممانعت می‌کند.

نکته در حوالی **روز ۱۴**، بالا رفتن زیاد استروژن با بازخوردی **مثبت** سبب افزایش *FSH* و *LH* شده ولی بالا رفتن ***LH*** عامل اصلی تخمک‌گذاری می‌باشد.

از روز ۱۴ دوره بـه بعـد (*نیمـه لوتئال*)، بـه باقی‌مانـدهٔ فولیکول در تخمدان کـه دیگر فقط توده‌ای از یاخته‌های پیکـری دارد، **جسم زرد** می‌گویند. جسـم زرد تحت تأثیر هورمون *LH* قرار می‌گیرد و ضمن افزایش فعالیت ترشحی، دو هورمون جنسی، استروژن و پروژسترون را به خون ترشـح می‌کند. این دو هورمون سـبب می‌شـوند که رحم رشـد کند و در صـورت بارداری، آمـادهٔ جایگزینی جنین شـود. در صـورت عدم بارداری، از وسـط دورهٔ لوتئال، جسـم زرد شـروع به تحلیـل رفتن می‌کند و به تدریج به جسـمی غیرفعال به نام جسـم سـفید تبدیل می‌شـود که دیگر قادر به ترشـح مقدار قابل ملاحظه اسـتروژن و پروژسترون نمی‌باشـد. به دنبال این عمل قطر آندومتر رحم کم شده و پایداری آن از بین می‌رود. از روز ۲۸ دورهٔ جنسی، با قاعدگی و ریزش رحم، دورهٔ جنسی جدید آغاز می‌شود.



«تخمدان و تغییرات آن در دورهٔ جنسی»

توقف‌های تخمک‌گذاری

- توقف اول
  - **شروع:** از دوران جنینی در پروفاز ۱ مام‌یاختهٔ اولیه
  - **پایان:** شروع دورهٔ جنسی آن فولیکول و ادامهٔ میوز ۱ آن
- توقف دوم
  - **شروع:** پایان میوز ۱ و ایجاد مام‌یاختهٔ ثانویه
  - **پایان:** برخورد زامه به مام‌یاختهٔ ثانویه و شروع مکانیسم لقاح

نکته

در صورت بارداری جسم زرد تا مدتی به فعالیت خود ادامه می‌دهد تا جدار رحم و جنین (*رویان*) جایگزین شده را حفظ کند.

۳) چرخهٔ رحمی

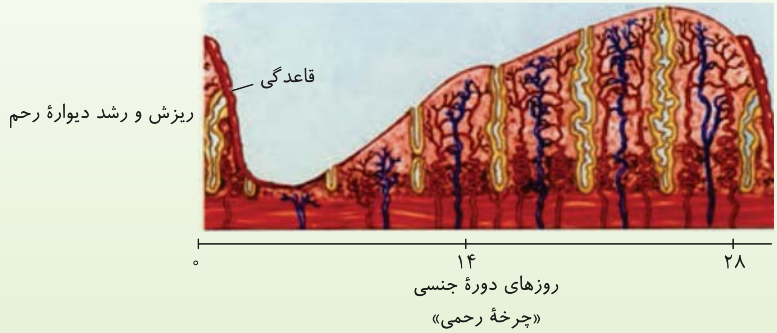
این چرخه تحت کنترل مقدار هورمون‌های **اسـتروژن و پروژسـترون تخمدان**، دارای یک دوره ۲۸ روزه می‌باشـد که بدن را آماده پذیرش جنین می‌کند. این دوره با قاعدگی یا **عادت ماهیانه** شروع می‌شود که به‌طور متوسط ۷ روز طول می‌کشد. در این ۷ روز جدار داخلی رحم و رگ‌های خونی تخریب شده از بدن خارج می‌شوند. از حدود اواخر قاعدگی همراه با شروع افزایش ترشح استروژن، جدار داخلی رحم شروع به رشد و نمو کرده و ضخامت آن زیاد شده، حاوی حفرات، چین‌خوردگی‌ها و اندوخته خونی زیادی می‌شـود. رشـد جدار داخلی رحم تا بعد از نیمه دورهٔ جنسـی تا اواخر دورهٔ لوتئال ادامه می‌یابد. البته تحت کنترل اسـتروژن، **سرعت** رشد رحم در روزهای بعد از قاعدگی در **نیمه اول** دورهٔ جنسی از نیمه دوم بیشتر می‌باشد. در نیمه دوم دورهٔ جنسی پروژسترون بالا به همراه استروژن که از جسم زرد ترشح می‌شوند، سبب افزایش فعالیت‌های ترشحی جدار داخلی رحم در حال رشد شده ولی **سرعت** رشد آن کمتر از نیمه اول دورهٔ جنسی می‌باشد (*حداکثر ضخامت رحم چند روز قبل از پایان دورهٔ جنسی می‌باشد*). فعالیت ترشـحی **رحم** در این نیمه بیشتر شده و سبب می‌شـود که اگر در نیمه دورهٔ جنسی زامه باعث تکمیل میوز ۲ مام‌یاخته شده بود و لقاح صورت گرفته بود، جنین در حدود انتهای هفتهٔ اول نیمهٔ لوتئال دوره (*روزهای ۲۰ یا ۲۱*) در **یکی** از فرورفتگی‌های جدار رحم **جایگزین** شود. اگر لقاح صورت گرفته باشد، دورهٔ جنسی بعدی و قاعدگی شروع نمی‌شود. رحم ابتدا به کمک جسم زرد و سپس کوریون و جفت، همراه با رشد جنین به رشد خود ادامه می‌دهد. در این حالت جایگزینی که شامل نفوذ جنین به درون رحم مادر و ایجاد رابطه خونی و تغذیه‌ای با مادر می‌باشد، کامل می‌شود.

اگر لقاح صورت نگرفته بود، در هفتهٔ دوم نیمهٔ لوتئال، با تحلیل جسم زرد و کم شدن هورمون‌های استروژن و پروژسترون، قطر جدار داخلی رحم شروع به کاهش کرده و از روز ۲۸ قاعدگی یا خون‌ریزی شروع می‌شود که در حقیقت آغاز دورهٔ جنسی بعد می‌باشد. مام‌یاختهٔ ثانویه لقاح نکرده نیز با این قاعدگی جدید از بدن دفع می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) کاهش قطر رحم در ۷ روز اول دوره در ابتدای نیمهٔ فولیکولی و روزهای انتهایی نیمهٔ لوتئالی می‌باشد ولی خون‌ریزی فقط در ۷ روز اول دوره مشاهده می‌شود.

۲) در نیمه اول دورهٔ جنسـی، هورمون اسـتروژن سـبب رشد جدار داخلی رحم می‌شود ولی در نیمه دوم دورهٔ جنسـی هورمون‌های استروژن و پروژسترون در **رشد بیشتر رحم و فعالیت ترشحی** آن مؤثرند. در هنگام قاعدگی و انتهای دورهٔ جنسی، مقدار هورمون‌های استروژن و پروژسترون در خون بسیار کم می‌باشد.



«چرخهٔ رحمی»

۳) هورمون‌های استروژن، *FSH* و *LH* در روز ۱۴ به حداکثر خود می‌رسند ولی پروژسترون فقط در نیمهٔ دوم دورهٔ جنسی (*نیمهٔ لوتئال*) ترشح می‌شود.

بررسی ترکیبی وقایع رحم و تخمدان در اثر هورمون‌های مختلف در کل ۲۸ روز

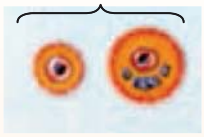
در اینجا می‌خواهیم کل ۲۸ روز دورهٔ جنسی در تخمدان و رحم را با اثر هورمون‌های مختلف مغزی و تخمدانی در روزهای مختلف دوره‌ها بررسی کنیم.

● ۷ روز اول (دوره قاعدگی یا عادت ماهیانه)

در این روزها مقدار **ترشح هورمون‌های استروژن و پروژسترون کم می‌باشد**. در نتیجه آن ریزش آندومتر رحم همراه با خون‌ریزی (*در اثر تخریب آندومتروگ‌های خونی*) وجود دارد. در اثر کمبود هورمون‌های جنسی، پیامی با خودتنظیمی (*بازخوردی*) منفی به هیپوتالاموس می‌رود و ترشح هورمون آزادکننده آن بالا می‌رود. این هورمون سبب اثر بر هیپوفیز پیشین شده و **ترشح FSH و LH خون را ابتدا کمی بالا می‌برد**. این دو هورمون و مخصوصاً FSH سبب رشد فولیکول حجیم از **یکی از تخمدان‌ها** می‌شود و میوز ۱ آن ادامه می‌یابد.

نکته

در هفت روز اول مهم‌ترین وقایع مربوط به **رحم** می‌باشد که با خون‌ریزی یا عادت ماهیانه به نام قاعدگی همراه است ولی رشد فولیکول و ادامه میوز ۱ تخمدان از همان روز اول هم‌زمان با شروع قاعدگی در رحم صورت می‌گیرد.



تغییرات در تخمدان

● روزهای ۷ تا ۱۴ دورهٔ جنسی (هفته دوم نیمه اول دوره)

این روزها که **هفته دوم نیمه اول دورهٔ جنسی** (*نیمه فولیکولی*) را شامل می‌شوند، حاوی فعالیت‌هایی هستند که طی آن ابتدا تا حدود وسط دوره مقدار ترشح استروژن از یاخته‌های اطراف فولیکول در حال **رشد، اندکی زیاد می‌شود** که رشد سریع رحم را سبب می‌شود. افزایش **اندک** استروژن با سیستم تنظیم بازخوردی **منفی**، از آزاد شدن FSH و LH ممانعت می‌کند. در این حالت میوز ۱ نیز در تخمدان ادامه می‌یابد و کامل می‌شود.

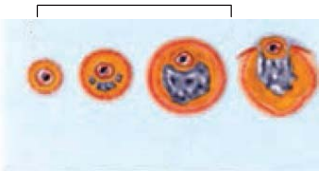
در روزهای منتهی به وسط دورهٔ جنسی و روز تخمک‌گذاری، مقدار استروژن ترشحی از تخمدان به یک‌باره افزایش ناگهانی می‌یابد و رحم نیز با افزایش آن رشد می‌کند. در اثر افزایش استروژن، بالا رفتن ناگهانی FSH و LH انجام شده و سبب تکمیل میوز ۱ در تخمدان می‌شود. بالا رفتن **LH**، که اینجا در وسط دوره با بازخوردی مثبت بوده است، عامل اصلی است که سبب می‌شود فولیکول **بالغ** چسبیده به دیواره تخمدان پاره شده تا مام‌یاختهٔ ثانویه و اولین جسم قطبی به همراه تعدادی یاخته پیکری اطراف به حفرهٔ شکمی وارد شود. این مام‌یاختهٔ آزاد شده به کمک حرکت زائده‌های ابتدای لولهٔ رحم وارد لولهٔ رحم می‌شود. به باقی‌مانده یاخته‌های پیکری فولیکول درون تخمدان، **جسم زرد** می‌گویند.

نکته

در هفته دوم نیمه اول دورهٔ جنسی
- در ابتدا ← بازخوردی منفی ← افزایش **کم** استروژن مانع افزایش بیشتر FSH و LH می‌شود.
- در انتها ← بازخوردی مثبت ← زیادی مقدار استروژن سبب افزایش FSH و LH می‌شود ← بالا رفتن LH عامل اصلی تخمک‌گذاری می‌شود.

نکته

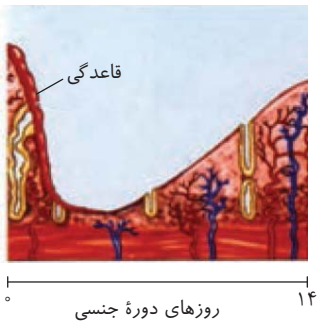
حداکثر مقدار استروژن در وسط دورهٔ جنسی است که با خودتنظیمی مثبت (*بازخوردی مثبت*) سبب حداکثر مقدار آزادکننده هیپوتالاموسی و FSH و LH هیپوفیز در روز چهاردهم می‌باشد (*در وسط دورهٔ جنسی به‌جز پروژسترون سایر هورمون‌های FSH و LH و استروژن به حداکثر خود رسیده‌اند. در حقیقت در بین هورمون‌های جنسی و محرک جنسی، ابتدا استروژن، سپس FSH و LH و در انتها در نیمهٔ دوم دوره، پروژسترون به حداکثر میزان خود می‌رسد*).



تغییرات در تخمدان

● روز چهاردهم (وسط دورهٔ جنسی)

در این روز با اثر ویژهٔ LH، تخمک‌گذاری صورت می‌گیرد و مام‌یاختهٔ ثانویه از تخمدان خارج شده تا وارد لولهٔ رحم شود. اگر تا چند ساعت، زامه به مام‌یاختهٔ ثانویه برخورد کند، میوز ۲ در لولهٔ رحم زن صورت می‌گیرد. تخمک به همراه جسم‌های قطبی ایجاد می‌شود تا عمل لقاح و ترکیب هسته‌ها بین زامه و تخمک صورت گیرد و **تخم در لولهٔ رحم تشکیل شود**. دقت کنید که اندازهٔ هستهٔ جسم‌های قطبی و تخمک‌ها مشابه و یکسان هستند ولی سیتوپلاسم تخمک از سایر جسم‌ها حجیم‌تر است.



ریزش و رشد دیوارهٔ رحم
روزهای دورهٔ جنسی

نکته

فرایند لقاح از لحظه برخورد زامه به مام‌یاختهٔ ثانویه آغاز می‌شود ولی عمل لقاح در هنگام ترکیب هسته‌های زامه و تخمک می‌باشد.

نکته

بعد از نیمهٔ دورهٔ جنسی، به باقی‌مانده فولیکول بالغ درون تخمدان که مام‌یاخته خود را از دست داده است و فقط یاخته پیکری دارد، جسم زرد می‌گویند که در صورت بارداری **تا چند هفته** همانند یک غدهٔ درون‌ریز برای ترشح بیشتر **پروژسترون** در تخمدان باقی می‌ماند ولی در صورت عدم بارداری فقط **تا چند روز** به تولید هورمون‌های جنسی ادامه می‌دهد.

● نیمه دوم دورهٔ جنسی (نیمه لوتئال)

در این نیمه جسم زردِ درون تخمدان، شروع به ترشح زیاد پروژسترون و مقداری استروژن می‌کند. به تدریج این دو هورمون رشد رحم را افزایش می‌دهند و حفرات خونی و چین‌خوردگی‌های رحم را بیشتر می‌کنند.

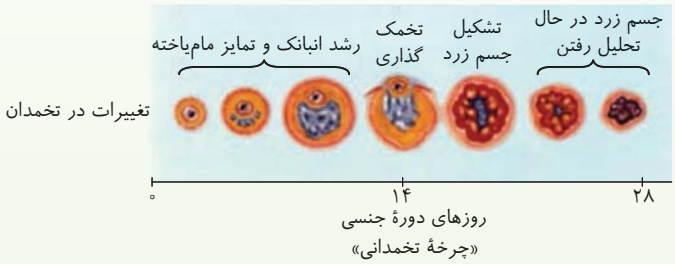
هرچه از روز چهاردهم جلوتر می‌رویم، بالا بودن این دو هورمون جنسی، علاوه بر رشد رحم سبب یک مکانیسم بازخوردی **منفی** می‌شود تا مقدار هورمون آزادکننده هیپوتالاموس و *FSH* و *LH* (محرک‌های جنسی) هیپوفیز کم شوند. **کم شدن *FSH* و *LH* در نیمه دوم دورهٔ جنسی سبب عدم رشد فولیکول دیگر و تخمک‌گذاری دیگری در تخمدان می‌شود.**

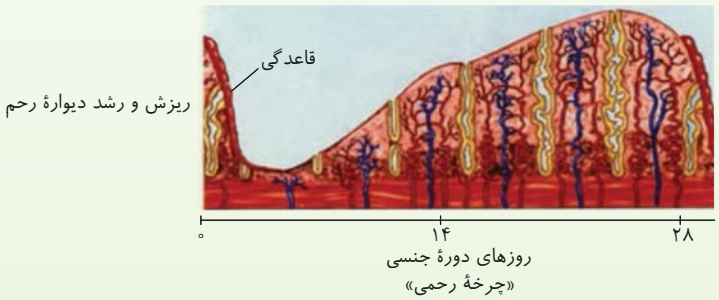
اگر بارداری رخ داده باشد، پس از دو هفته، جسم زرد مادر در اثر هورمون *HCG* کوریون جنین، تا مدتی با ترشح پروژسترون بیشتر، سبب افزایش قطر رحم و فعالیت‌های ترشحی آن شده تا جنین فضای کافی برای رشد در جدار داخلی رحم داشته باشد.

اگر لقاح صورت نگرفته باشد در وسط نیمهٔ لوتئال (*اواسط چهارده روز دوم*)، جسم زرد شروع به تحلیل رفتن می‌کند و مقدار پروژسترون و استروژن ترشحی آن کاهش می‌یابد. مقدار این دو هورمون جنسی در خون تا روزهای نزدیک به انتهای دوره سبب رشد رحم می‌شود، ولی جسم زرد در تخمدان در حال تحلیل و تبدیل به جسمی غیرفعال به نام جسم سفید می‌باشد. به تدریج مقدار استروژن و پروژسترون پایین آمده و جدار رحم با ناپایدار شدن، شروع به تخریب و کاهش قطر می‌کند. در روز ۲۸ که آخر دورهٔ جنسی می‌باشد، خون‌ریزی و دورهٔ بعدی آغاز می‌شود. در آخر دورهٔ جنسی با کاهش استروژن و پروژسترون، مکانیسم بازخوردی منفی سبب افزایش هورمون آزادکننده هیپوتالاموسی و در پی آن افزایش *FSH* و *LH* هیپوفیز پیشین می‌شود. این واقعه سبب **شروع دورهٔ جنسی جدید با خون‌ریزی رحم به عنوان عادت ماهیانه یا قاعدگی** می‌باشد.

نکات بسیار مهم در بررسی تست‌ها

۱) وسط دورهٔ جنسی
- اگر لقاح صورت نگرفته باشد ← جسم زرد تا حدود دو هفته استروژن و پروژسترون می‌سازد ← سپس به جسم سفید تبدیل می‌شود.
- اگر لقاح صورت گرفته باشد:
  - تا دو هفته استروژن و پروژسترون می‌سازد.
  - پس از دو هفته تحت تأثیر *HCG* کوریون، تا چند هفته که تولید جفت کامل شود به ترشح پروژسترون برای حفظ رحم می‌پردازد.
  - دیگر تا هنگام زایمان مقدار محرک‌های جنسی *FSH* و *LH* بالا نمی‌رود تا تخمک‌گذاری مجددی انجام نشود.





۲) جسم زردِ غیرفعال شده و تحلیل رفته یا همان جسم سفید، همواره در تخمدان باقی می‌ماند و تجمع آن‌ها باعث از کار افتادن تخمدان‌ها در سن حدود ۴۵ تا ۵۰ سالگی می‌شود که به آن یائسگی گفته می‌شود.

۳) مهم‌ترین اثر *FSH* در نیمه **اول** دورهٔ جنسی برای رشد فولیکول و ترشح استروژن می‌باشد ولی مهم‌ترین اثر *LH* در **وسط دوره** برای تخمک‌گذاری و در نیمه **دوم** دوره برای رشد جسم زرد و ترشح پروژسترون زیاد و مقداری استروژن می‌باشد.

۴) در هنگام ریزش جدار رحم در ابتدا و انتهای دورهٔ جنسی، مقدار استروژن و پروژسترون خون **کم** است ولی مقدار *FSH* و *LH* با بازخوردی منفی در حال صعود می‌باشد.

۵) به‌جز تخمدان، قشر غدهٔ فوق کلیه زنان نیز قادر به ترشح مقدار **کمی** هورمون‌های جنسی استروژن، پروژسترون و تستوسترون می‌باشد. پس کل ترشح هورمون‌های جنسی مرد و زن از هر غده‌ای تحت کنترل هورمون‌های هیپوفیز و هیپوتالاموس می‌باشد که تفاوت آن‌ها را در نکتهٔ بعد به دقت بررسی کنید.

۶) دو نوع هورمون آزادکنندهٔ هیپوتالاموس
- اگر سبب ترشح هورمون محرک فوق کلیه از هیپوفیز پیشین شود ← ترشح استروژن، پروژسترون و تستوسترون در زنان و مردان را زیاد می‌کند.
- اگر سبب ترشح هورمون محرک جنسی *FSH* و *LH* شود ← ترشح استروژن و پروژسترون در زنان را زیاد می‌کند.

۷) در چهارده روز اول دورهٔ جنسی
- میوز ۱ و رشد فولیکول همراه مام‌یاخته در تخمدان ادامه دارد.
- فقط استروژن از تخمدان ترشح می‌شود.
- رحم ابتدا ریزش و سپس به سرعت رشد می‌کند.

۸ در چهارده روز دوم دورهٔ جنسی
- جسم زرد تخمدان ابتدا به حداکثر رشد رسیده و در صورت عدم باروری تحلیل رفته و به جسم سفید تبدیل می‌شود.
- جسم زرد تخمدان به ترشح پروژسترون و استروژن می‌پردازد.
- جدار رحم تا هنگام تحلیل جسم زرد به حداکثر قطر خود می‌رسد و سپس کاهش قطر پیدا می‌کند.

۹ اگر لقاح صورت گرفته باشد، جسم زرد تا مدتی (*چند هفته*) به فعالیت خود ادامه می‌دهد تا با ترشح **هورمون‌های جنسی زنانه**، جدار رحم و جنین جایگزین شده در آن را حفظ کند.

۱۰ جسم‌های قطبی دوم، زام‌یاختک، زامه و تخمک، هرکدام دو سانتریول دارند چون وارد تقسیم نمی‌شوند ولی مام‌یاخته‌ها، زام‌یاخته‌ها، مامه‌زاها و زامه‌زاهایی که وارد تقسیم می‌شوند، دارای چهار سانتریول می‌شوند.

جدول خلاصه دورهٔ جنسی

روزها		مقدار هورمون جنسی	اثر بر رحم	اثر بر هیپوفیز	رشد فولیکول تخمدان
۷ روز اول		کمبود استروژن و پروژسترون	کاهش و ریزش جدار رحم و خون‌ریزی قاعدگی	محرک بر ترشح *FSH* و *LH* با بازخوردی منفی	رشد فولیکول تخمدانی و ادامه میوز ۱
هفتهٔ دوم از نیمهٔ اول دورهٔ جنسی (۷ تا ۱۴)		ابتدا ← افزایش **اندک** در مقدار استروژن	رشد سریع جدار رحم پایان خون‌ریزی	ممانعت از ترشح *FSH* و *LH* با بازخوردی منفی	ادامه رشد و میوز فولیکول در تخمدان
		نزدیک تخمک‌گذاری ← افزایش زیاد استروژن	رشد جدار رحم	زیادی ترشح *FSH* و *LH* با بازخوردی مثبت در حوالی روز ۱۴	پایان میوز ۱ و تولید فولیکول بالغ دارای مام‌یاختهٔ ثانویه و جسم قطبی اول
روز ۱۴		استروژن بالا	رشد رحم	حداکثر *LH*	پاره شدن فولیکول تخمدان و تخمک‌گذاری
نیمهٔ دوم دورهٔ جنسی (*لوتئال*)	هفتهٔ اول (۲۱-۱۴)	ترشح پروژسترون و استروژن از جسم زرد	رشد رحم و فعالیت ترشحی	کاهش *FSH* و *LH* و عدم رشد فولیکول دیگر تخمدانی	رشد جسم زرد و رسیده شدن آن
	هفتهٔ دوم (۲۸-۲۱)	در انتهای آن استروژن و پروژسترون کم می‌شود.	به حداکثر رسیدن رحم و سپس شروع ریزش جدار رحم از انتهای این هفته	افزایش *FSH* و *LH* با بازخوردی منفی در انتهای این هفته	جسم زرد در زن غیرباردار شروع به تحلیل رفتن کرده و به جسم سفید تبدیل می‌شود.
آخر دوره اگر لقاح صورت گرفته باشد		افزایش هورمون جنسی پروژسترون به دلیل عمل *HCG* کوریون جنین	رشد و حفظ رحم و جسم زرد تخمدانی	کاهش *FSH* و *LH*	فولیکول دیگری در تخمدان رشد نمی‌کند.

نکات شکل مقابل

۱ هیپوتالاموس با ترشح هورمون آزادکننده **مستقیماً** سبب تنظیم ترشح هورمون *FSH* و *LH* از هیپوفیز پیشین می‌شود.

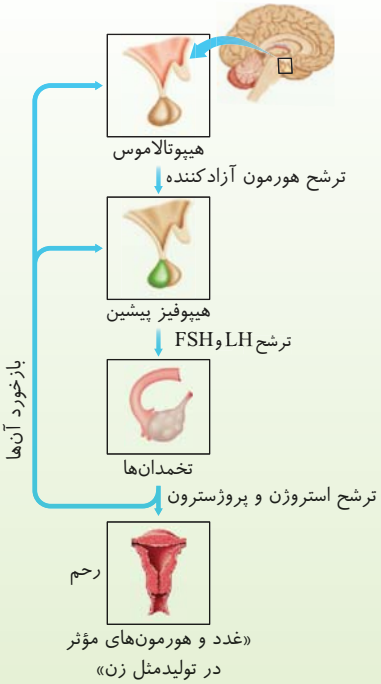
۲ هورمون‌های محرک جنسی *FSH* و *LH* **مستقیماً** در تنظیم ترشح مقدار هورمون‌های جنسی استروژن و پروژسترون تخمدان مؤثرند.

۳ هورمون‌های جنسی استروژن و پروژسترون تخمدان **مستقیماً** در رشد رحم مؤثرند.

۴ مقدار ترشح استروژن و پروژسترون با اثر بازخوردی روی هورمون‌های هیپوتالاموس و هیپوفیز پیشین اثر گذاشته و مقدار آن‌ها را تنظیم می‌کنند.

۵ استروژن و پروژسترون، روی رحم، هیپوفیز پیشین و هیپوتالاموس گیرندهٔ هورمونی اختصاصی دارند.

۶ وجود تستوسترون در خون زنان یا استروژن و پروژسترون در خون مردان، حاصل فعالیت غدد فوق کلیوی می‌باشد (*نه غدد جنسی!*).



درسنامه

گفتار ۳ رشد و نمو جنین

به‌طور کلی زندگی انسان قبل از تولد در دو قسمت تخم و تقسیمات آن در لولهٔ رحم (*یاخته اولیه و چند میتوز بعد از آن*) و جنین (*از جایگزینی در رحم تا زایمان*) تقسیم‌بندی می‌شود.

مراحل لقاح و تشکیل تخم $2n=46$

مام‌یاخته ثانویه آزاد شده از تخمدان که هسته‌ای با ۲۳ کروموزوم مضاعف (*دوکروماتیدی*) دارد، دارای دو لایه در اطراف خود می‌باشد. لایه **خارجی**، باقی‌مانده یاخته‌های پیکری ۴۶ کروموزومی **فولیکول** می‌باشد و فعالیت زیستی دارد ولی لایه **داخلی** به صورت لایه‌ای **ژله‌ای شفاف** اطراف غشای مام‌یاخته را فراگرفته است که فاقد یاخته و فعالیت زیستی می‌باشد. مام‌یاخته‌ها به کمک حرکت زوائد انگشت‌مانند انتهای شیپوری لولهٔ رحم، انقباضات لولهٔ رحم و زنش مژک‌های دیوارهٔ لولهٔ رحم به سمت رحم حرکت می‌کند. مایع منی وارد شده به رحم حاوی میلیون‌ها زامه می‌باشد که وقتی به سمت مام‌یاخته ثانویه در لولهٔ رحم می‌روند با حرکت خود و شنا کردن جلو رفته ولی **تعداد کمی** از آن‌ها موفق می‌شوند که به مام‌یاخته ثانویه برسند. این زامه‌ها باید برای ورود به مام‌یاخته ثانویه از دو لایه اطراف عبور کنند (*لایه خارجی یاخته‌ای همراه با فعالیت زیستی است ولی لایه داخلی نقش محافظتی دارد*). زامه‌هایی که به لایه خارجی (*یاخته‌های فولیکولی*) برخورد می‌کنند، با فشار از بین یاخته‌های این لایه عبور می‌کنند و در حین این عبور، کیسهٔ آکروزومی آن‌ها پاره می‌شود. آنزیم‌های آن‌ها برای هضم لایه داخلی اطراف مام‌یاخته شروع به فعالیت کنند (*تا این لحظه هنوز فرایند لقاح آغاز نشده است*). از بین زامه**هایی** که به مام‌یاختهٔ ثانویه حمله کرده‌اند و آکروزوم آن‌ها پاره شده است، **اولین زامه‌ای** که از هر دو لایه خارجی عبور کند و به **غشای مام‌یاختهٔ ثانویه** برسد **فرایند لقاح را آغاز می‌کند**. وقتی اتصال غشای زامه که ۲۳ کروموزوم تک‌کروماتیدی دارد، با غشای مام‌یاختهٔ ثانویه که ۲۳ کروموزوم دوکروماتیدی دارد، انجام شد، به تدریج **غشای** این دو یاخته با هم ادغام می‌شوند. در این حالت فقط سر زامه به تخمک نفوذ کرده و هستهٔ آن به سیتوپلاسم مام‌یاخته وارد می‌شود. در این حالت با تغییراتی که در غشای مام‌یاختهٔ ثانویه ایجاد می‌شود، پوششی به نام جدار لقاحی دور آن‌ها تشکیل می‌شود که این جدار از نفوذ سایر زامه‌ها به درون مام‌یاخته جلوگیری می‌کند. این پوشش در اثر اگزوسیتوز ریزکیسه‌هایی از مام‌یاخته صورت می‌گیرد که مواد آزاد شده از آن‌ها با **تغییر در لایهٔ ژله‌ای** داخلی مام‌یاخته سبب ایجاد یک جدار لقاحی می‌شود. این جدار مانع نفوذ سایر زامه‌ها به لایهٔ داخلی می‌شود البته سایر زامه‌ها می‌توانند از لایهٔ خارجی، عبور کنند ولی در ورود به سیتوپلاسم مام‌یاخته ناکام می‌مانند.

چند نکته در بررسی تست‌ها

۱) تعداد بسیار زیادی زامه وارد لولهٔ رحم می‌شود، تعداد کمی به مام‌یاخته می‌رسد ولی در حالت عادی فقط یکی از لایه داخلی ژله‌ای آن عبور می‌کند.

۲) تا این زمان، با اینکه غشای دو یاخته با هم ادغام شده است ولی هنوز تقسیم میوز۲ مام‌یاخته ثانویه آغاز نشده است.

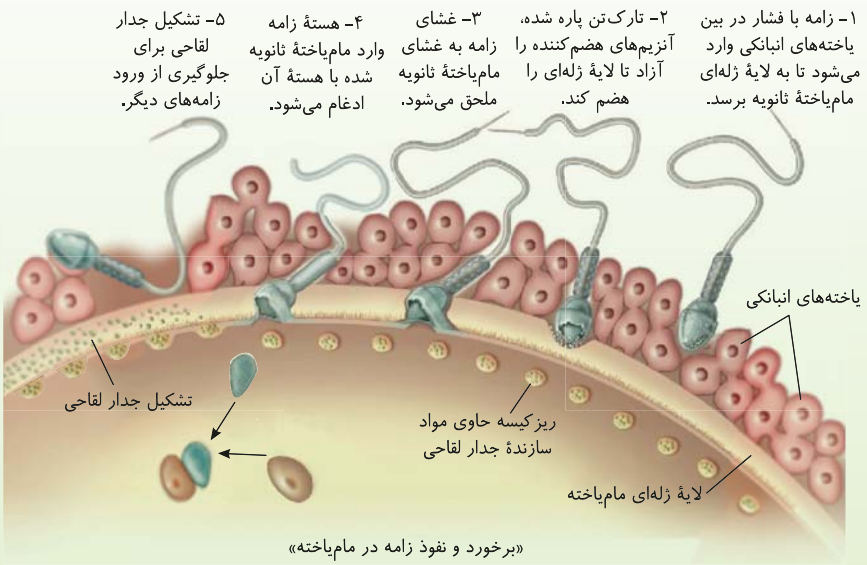
وقتی سر زامه وارد مام‌یاختهٔ ثانویه شود، هستهٔ زامه در مام‌یاخته رها می‌شود. در این حالت، خیلی سریع تقسیم میوز۲ مام‌یاختهٔ ثانویه درون لولهٔ رحم تکمیل می‌شود و به تخمک با ۲۳ کروموزوم تک‌کروماتیدی تبدیل می‌شود. برای این کار غشای هستهٔ مام‌یاخته تخریب و دوباره در تلوفاز ۲ تشکیل می‌شود. پس از پایان میوز۲، ابتدا غشای هسته جدید تخمک و زامه ادغام شده و دو مجموعه کروموزومی تک‌کروماتیدی زامه و تخمک با هم مخلوط می‌شوند. پس از ادغام کروموزوم‌ها، هسته یاخته تخم $2n=46$ **تک‌کروماتیدی** ایجاد می‌شود. دقت داشته باشید که بیشتر سیتوپلاسم از جمله راکیزه‌ها و تنفس یاخته‌ای یاخته تخم (*زیگوت*) را تخمک مادر تأمین کرده است (*پس تنفس یاخته‌های خود و ATP سازی خود را مدیون مادر خود هستیم*).

۳) فقط هستهٔ درون سر زامه وارد تخمک می‌شود، پس تقریباً تمام اندامک‌های تخم به‌جز هسته از تخمک والد ماده به ارث رسیده است ولی هسته حاصل ادغام ژن‌های زامه و تخمک می‌باشد (*در حقیقت ژنوم خطی یاخته‌های زامه و تخمک تشکیل می‌دهند ولی ژنوم سیتوپلاسمی زیگوت را دنای حلقوی میتوکندری‌های تخمک مادر ایجاد می‌کنند*).

۴) به‌طور معمول تشکیل تخم یا زیگوت در لولهٔ فالوپ در حدود روز ۱۴ یا ۱۵ دورهٔ جنسی صورت می‌گیرد. در حالی‌که مادر از باردار شدن خود اطلاعی ندارد.

۵) فرایند لقاح از برخورد **غشای** زامه به **غشای** مام‌یاختهٔ ثانویه (*نه لایهٔ داخلی مام‌یاخته*) آغاز می‌شود و با تولید جدار لقاحی و زیگوت یا تخم پایان می‌یابد. در تست‌ها دقت کنید که لایه‌های مام‌یاخته جزء خود یاختهٔ مام‌یاخته‌ای ثانویه به حساب نمی‌آیند.

۶ جدار لقاحی پس از ورود هسته زامه به سیتوپلاسم مام‌یاخته و با برون‌رانی ریزکیسه‌های درون مام‌یاخته ایجاد می‌شود. این جدار لقاحی سبب تغییراتی در سطح **لایهٔ ژله‌ای** مام‌یاخته می‌شود به‌طوری که زامه دیگری قدرت ورود و عبور از این مام‌یاخته را ندارد.



«برخورد و نفوذ زامه در مام‌یاخته»

وقایع پس از لقاح

اولین تقسیم میتوز یاخته تخم، در حدود **۳۶ ساعت پس از لقاح** در **لولهٔ رحم** آغاز می‌شود و سپس با تقسیمات بعدی به تدریج ۲، ۴، ۸ و... یاخته‌ای شده و به صورت یک **تودهٔ توپر** یاخته‌ای به نام **مورولا** در لولهٔ رحم به سمت رحم حرکت می‌کنند. تقسیمات میتوزی در لولهٔ رحم همراه با رشد حجمی در اینترفاز نمی‌باشد به همین دلیل مجموعه حجم یاخته‌های هر قسمت در لولهٔ رحم با حجم همان یاخته اولیه زیگوت (تخم) برابر است. یعنی در طول لولهٔ رحم **تعداد یاخته‌ها زیاد می‌شود** ولی یاخته‌های **کوچک** ایجاد می‌شوند (*مورولا حاوی یاخته‌های بنیادی جنینی می‌باشد که تمام جنین و پرده‌های اطراف آن را می‌سازد*). تودهٔ یاخته‌ای توپر مورولا وقتی به **رحم** می‌رسد به صورت یک کرهٔ **توخالی** درمی‌آید که درون آن **پر از مایعات** می‌باشد در این حالت به این کرهٔ توخالی رحم، **بلاستوسیست** می‌گویند. در بلاستوسیست **یک لایه خارجی یاخته‌ای** در اطراف به نام **تروفوبلاست** وجود دارد که ابتدا برون‌شامه یا کوریون جنین را می‌سازد و سپس به همراه قسمتی از جدار داخلی رحم مادر، در تشکیل جفت دخالت دارد و از طرفی **یک توده یاخته‌ای داخلی** در یک سمت کره وجود دارد که همانند مورولا حاوی یاخته‌های بنیادی جنینی می‌باشد. تروفوبلاست پس از مدتی با ترشح آنزیم‌های هضم‌کننده در وسط **نیمهٔ لوتئالی**، سبب تخریب یاخته‌های جدار رحم می‌شود تا حفره‌ای برای **جایگزینی بلاستوسیست در رحم** ایجاد کند. توده یاخته‌ای داخلی، درون بلاستوسیست واقع می‌باشند که یاخته‌هایی تمایز نیافته با توانایی تقسیم بالا و تخصصی شدن به نام **یاخته‌های بنیادی** می‌باشند. یاخته‌های بنیادی ابتدا به لایه‌های زاینده جنینی تبدیل می‌شوند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ مورولا در **لولهٔ رحم** ولی بلاستوسیست (*بلاستولا*) در **رحم** تشکیل می‌شود.

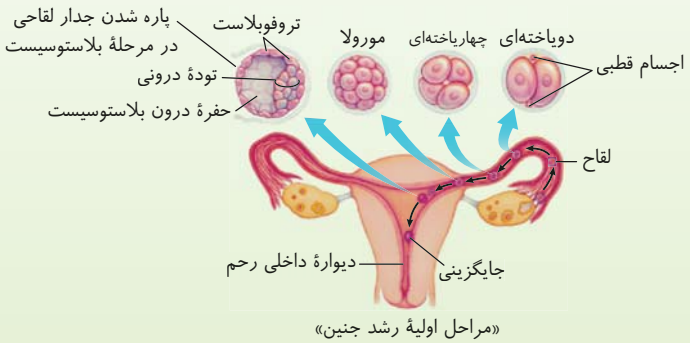
۲ در مرحلهٔ مورولا و بلاستولا، سرعت تقسیم یاخته‌ها زیاد است و به همین دلیل **تعداد** نقاط لازم برای شروع **همانندسازی** دنای یاخته‌ها افزایش می‌یابد.

۳ تولید بلاستوسیست، تروفوبلاست و توده یاخته درونی آن در فضای درون رحم و قبل از جایگزینی تشکیل می‌شوند.

۴ **لایه‌های زاینده جنینی** که هرکدام منشأ بافت‌ها و اندام‌های تخصص‌یافته مختلف بدن می‌باشند، از توده داخلی درون بلاستوسیست با یاخته‌های بنیادی تخصص‌یافته شکل می‌گیرند.

توده یاخته‌ای درونی بلاستوسیست ← لایه‌های زاینده جنینی ← منشأ بافت‌ها و اندام‌های مختلف می‌شوند

۵ با توجه به شکل مقابل، جدار لقاحی در مرحلهٔ بلاستوسیست پاره می‌شود ولی در مرحلهٔ مورولا این جدار همچنان اطراف یاخته‌ها وجود دارد.



«مراحل اولیهٔ رشد جنین»

۶ با توجه دقیق در اولین تقسیم تخم و ایجاد دو یاخته می‌بینیم که دو یاخته ریز دیگر نیز درون جدار لقاحی وجود دارد که همان اجسام قطبی هستند.

جایگزینی جنین در رحم

بلاستوسیست تشکیل شده در حفرهٔ رحم مادر، ابتدا به دیواره جدار داخلی رحم متصل می‌شود. لایه بیرونی یا **تروفوبلاست** آن آنزیم‌هایی برای هضم یاخته‌های جدار رحم مادر ترشح کرده و سبب تخریب آن‌ها و ایجاد حفره‌ای در جدار رحم برای جایگزینی بلاستوسیست می‌شود. **بعد** از جایگزینی، توده یاخته درونی درون رحم ابتدا به **سه** لایه زاینده جنینی تبدیل می‌شوند تا هرکدام بافت‌ها و اندام‌های جنین را در طی ۹ ماه دوره حاملگی ایجاد کنند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) وقتی بلاستوسیست درون رحم جایگزین می‌شود یاخته‌های جنینی آن ابتدا مواد غذایی خود را از بافت‌های هضم شده رحم مادر به دست می‌آورند تا وقتی که **تروفوبلاست** با **تشکیل جفت**، ارتباط غذایی بین مادر و جنین تشکیل شود تا قبل از این مرحله، غذای یاخته‌های جنینی از همان اندوختهٔ غذایی تخمک مادر تأمین می‌شده است.

۲) از تولید تخم تا موقع زایمان **نقش غذادهندگی** به ترتیب بر عهدهٔ عوامل زیر می‌باشد:
۱) سیتوپلاسم تخمک (تا قبل از جایگزینی) ← ۲) یاخته‌های جدار رحم تخریب شدهٔ مادر در رحم (در موقع جایگزینی تا تولید جفت) ← ۳) جفت به کمک بند ناف (از آخر ماه اول)

۳) در مراحل تکوین جنین، **ابتدا** بلاستوسیست همراه با تروفوبلاست و لایه یاخته‌ای داخلی (یاخته‌های بنیادی) در فضای رحم تشکیل می‌شود و **سپس** تروفوبلاست با **ترشح آنزیم**، زمینه **جایگزینی** بلاستوسیست را در رحم فراهم می‌کند.

۴) پرده‌های محافظت‌کننده از جنین که **مهم‌ترین** آن‌ها کوریون (برون‌شیمه‌جنین) و آمنیون (درون‌شیمه‌جنین) می‌باشند نیز در همین مرحله یعنی پس از جایگزینی جنین در رحم (هم‌زمان با تشکیل لایه‌های زاینده) تشکیل می‌شوند. این پرده‌ها از یاخته‌های **جنینی** ایجاد شده‌اند. در دوران بارداری، آمنیون سبب **حفاظت و تغذیه جنین** می‌شوند ولی کوریون در تولید جفت و بند ناف به کمک جدار داخلی رحم مادر نقش دارد (دقت کنید که آمنیون و کوریون، همهٔ پرده‌های اطراف جنین نیستند بلکه دو تا از آن‌ها و مهم‌ترین آن‌ها هستند که هر دو در تغذیه و محافظت از جنین نقش دارند).

۵) در چند روز اول پس از لقاح و جایگزینی تا هنگامی که جفت تشکیل نشده است، یاخته‌های کوریونی، هورمونی به نام ***HCG*** ترشح کرده و به خون مادر وارد می‌کنند که سبب **حفظ جسم زرد تخمدانی** و تداوم **ترشح هورمون پروژسترون** از آن می‌شود. پروژسترون و *HCG* باعث **حفظ قطر جدار رحم شده** و **مانع قاعدگی و تخمک‌گذاری** مجدد می‌شود.

۶) هورمون *HCG* از یاخته‌های **کوریونی** جنین، تولید شده و وارد خون **مادر** می‌شود یعنی یاخته درون‌ریز قبل از سایر یاخته‌ها در بخش جنینی ایجاد می‌شود (این عمل نشان می‌دهد که در حین بارداری، هورمون جنینی وارد خون مادر می‌شود).

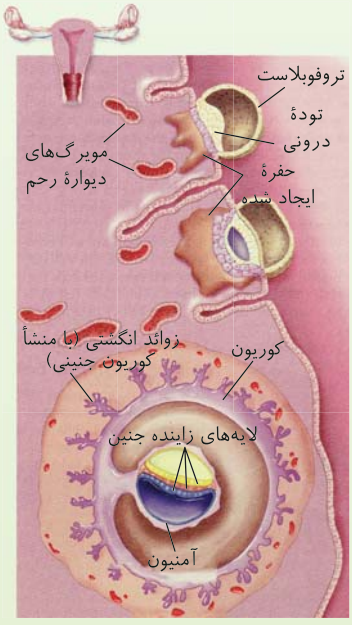
۷) اساس تست‌های بارداری که از حدود هفته **دوم** حاملگی مثبت می‌شوند مقدار هورمون *HCG* خون **مادر** می‌باشد که در صورت حاملگی، مقدار بالایی به دلیل ترشح از لایه کوریونی جنین دارد.

۸) اگر *HCG* تولید نشود، **جسم زرد** از بین می‌رود و کاهش پروژسترون سبب عدم رشد رحم می‌شود و در نهایت جنین سقط می‌شود.

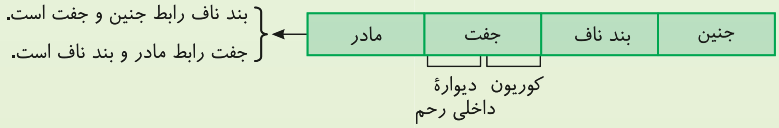
۹) کوریون، حاوی زوائد انگشتی در سمت بیرونی خود یعنی به سمت جدار داخلی رحم مادر می‌باشد که کاملاً دور جنین را فراگرفته است. این لایه خارجی‌ترین بخش جنینی است و حاوی یاخته‌های درون‌ریز هورمون‌ساز می‌باشد. با توجه به شکل مقابل متوجه می‌شوید که کوریون به جدار رحم مادر نزدیک‌تر است تا به لایه‌های زایندهٔ جنینی! البته در قسمتی نیز کوریون کاملاً به لایه‌های جنینی متصل است.

۱۰) با توجه به شکل مقابل، آمنیون برخلاف کوریون در ابتدا به‌طور کامل دور سه لایهٔ زاینده را فرا نگرفته است.

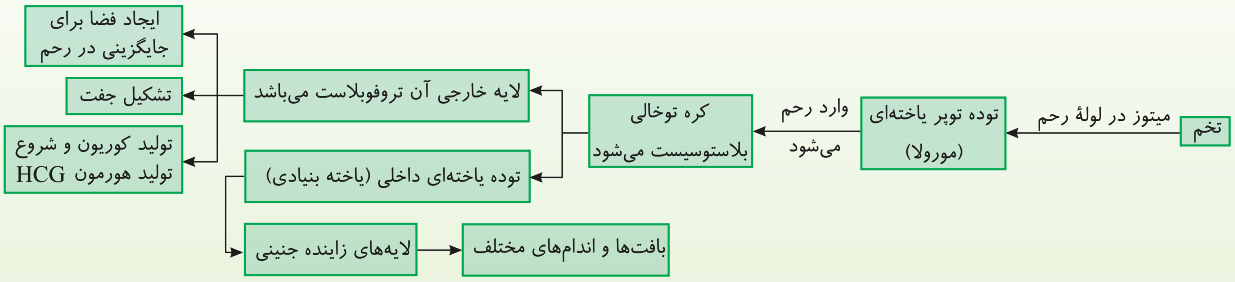
۱۱) جفت رابط بین بند ناف و دیوارهٔ رحم است که از تعامل بخشی از کوریون و آندومتر ایجاد شده است. در بخش‌های جلوتر آن را بررسی می‌کنیم.



«جایگزینی جنین در رحم»



۱۲ پرده‌های کوریون و آمنیون و بند ناف منشأ جنینی دارند ولی در هنگام زایمان از جنین یا نوزاد جدا می‌شوند. دقت کنید که آمنیون برخلاف کوریون دور همهٔ قسمت‌های لایه‌های زاینده قرار ندارد.



۱۳ یاخته‌های بنیادی جنینی
- مورولا ← می‌توانند به پرده‌های محافظت‌کنندهٔ جنین و جنین کامل تبدیل شوند.
- تودهٔ یاختهٔ درونی بلاستوسیست ← فقط می‌تواند به جنین تبدیل شود. / پرده‌های محافظت‌کننده را نمی‌سازد.

تشکیل بیش از یک جنین

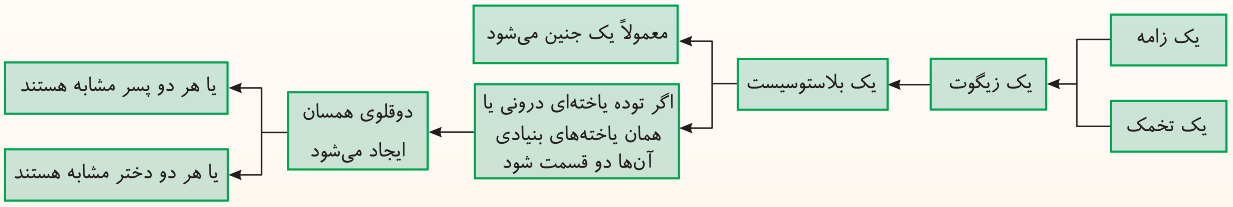
الف) دوقلوی همسان

در حالت عادی، هر ماه یک مام‌یاختهٔ ثانویه از یکی از تخمدان‌ها آزاد می‌شود و اگر زامه به آن برخورد کند، یک تخم و یک بلاستوسیست تشکیل می‌دهد. اگر در ابتدای دورهٔ جنینی، مورولا یا توده داخلی یاخته‌ای بلاستوسیست به دو یا چند قسمت تقسیم شود، در این حالت ممکن است بیش از یک جنین ایجاد شود. این جنین‌ها قطعاً همسان با یک جنسیت و فرمول ژنتیکی مشابه می‌باشند چون منشأ آن‌ها یک یاخته تخم (زیگوت) بوده است. اگر به هر دلیلی جنین‌های حاصل از تقسیم یک توده یاخته‌ای از هم جدا نشوند، **دوقلوهای به هم چسبیده** ایجاد می‌شوند.


«دوقلوهای همسان»

نکته

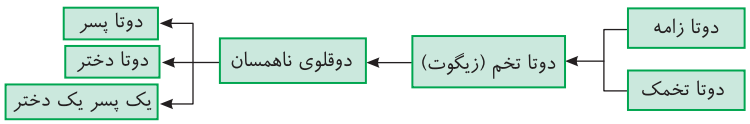
دوقلوی همسان باید قبل از اینکه لایه‌های زاینده ایجاد شوند، یاخته‌های درونی آن‌ها به دو قسمت تقسیم شوند یعنی یاخته‌های بنیادی یا توده یاخته درونی دو تا شود تا دوقلوی همسان ایجاد شود.



ب) چندقلوهای ناهمسان

اگر در یک دورهٔ جنسی، تخمدان‌ها بیش از یک مام‌یاختهٔ ثانویه آزاد کنند و لقاح نیز توسط آن‌ها صورت بگیرد، در صورت کامل شدن مرحله رشد و نمو، تخم‌های حاصله، دوقلو یا چندقلوهای ناهمسان با جنسیت‌های مشابه یا غیرمشابه ایجاد می‌شوند که شباهت و تفاوت‌های آن‌ها مانند سایر خواهران و برادران آن خانواده می‌باشد چون فرمول ژنتیکی و تخم ایجادکننده آن‌ها متفاوت می‌باشد.


«دوقلوهای ناهمسان»



نازایی

اگر در زنان یا مردان به دلایل مختلف یاخته جنسی ایجاد نشود یا به دلایلی یاخته‌های جنسی آن‌ها لقاح موفقی انجام ندهند، فرد یا آن خانواده نازا یا نابارور می‌باشند. در حال حاضر با روش‌ها و تکنولوژی‌های مختلف بعضی از ناباروری‌ها را برطرف می‌کنند.

جفت

جفت اندام مبادله مواد بین خون مادر و جنین است. این اندام یک منشأ مادری به نام جدار داخلی رحم و یک منشأ جنینی از کوریون دارد. تا هفته **دوم** لقاح، جسم زرد با ترشح پروژسترون به حفظ جنین و رحم کمک می‌کند ولی پس از آن جفت از تعامل کوریون جنین و جدار داخلی رحم مادر شروع به تشکیل شدن می‌کند. تمایز جفت از **هفته دوم بعد از لقاح** (ماه اول) **تا هفته دهم** (ماه سوم) ادامه دارد. در این زمان ترکیبات مختلف برحسب نیاز و با قدرت نفوذپذیری از کوریون عبور کرده و به کمک دو سرخرگ نازک با خون تیره و یک سیاهرگ قطور بند ناف با خون روشن، مواد را بین مادر و جنین مبادله می‌کنند.

در بخش جنینی یا قسمت کوریونی جفت، بند ناف ایجاد می‌شود. در حقیقت، بند ناف رابط بین **جفت و جنین** می‌باشد. در بند ناف دو سرخرگ نازک با خون تیره و یک سیاهرگ **قطور** حاوی خون روشن وجود دارد. سرخرگ‌های بند ناف، خون تیره تبادل کرده در بافت‌های جنین را به جفت می‌دهند تا پس از عبور مواد زائد از کوریون، از طریق سیاهرگ رحمی به بدن مادر منتقل شود. پس از تبادل گازها در شش‌های مادر، خون روشن از سرخرگ رحمی مادر و عبور از بخش کوریونی جفت، به سیاهرگ قطور بند ناف با خون روشن رسیده تا از این طریق به جنین و یاخته‌های آن برساند.

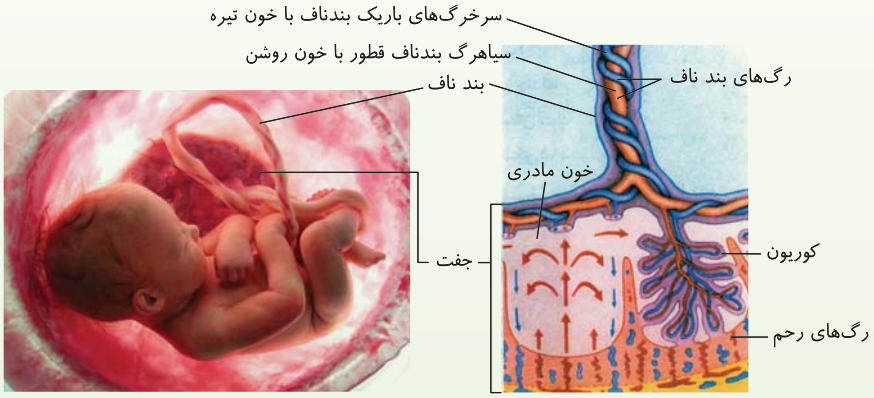
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ به‌طور معمول، **مواد مغذی، اکسیژن و بعضی از پادتن‌ها** از طریق جفت و سیاهرگ بند ناف با خون روشن از مادر به جنین منتقل می‌شود. مواد دفعی جنین از طریق دو سرخرگ بند ناف از طریق جفت به مادر منتقل شده تا تصفیه شوند.

۲ کوریون خارجی‌ترین لایه جنین است که مانع مخلوط شدن خون مادر و جنین می‌شود. خون بیرون بخش انگشتی کوریون مربوط به مادر ولی خون درون کوریون مربوط به جنین است.

ترتیب عوامل:

جنین ← بندناف (رابط جنین و جفت) ← جفت (رابط بندناف و دیوارهٔ رحم) ← جدار داخلی رحم ← ادامهٔ بدن مادر



«جفت و ارتباط آن با مادر و جنین»

۳ عوامل بیماری‌زا و موادی مانند نیکوتین، کوکائین (*تغییر دهندهٔ فعالیت سیناپس‌ها*) و الکل می‌توانند از جفت عبور کرده و از مادر به جنین برسند و سبب سوء رشد و نمو جنین شوند.

۴ مواد مورد نیاز جنین با انتشار یا انتقال فعال بین دو طرف کوریون از مادر به جنین منتقل می‌شود و مواد زائد نیز از همین راه برمی‌گردد.

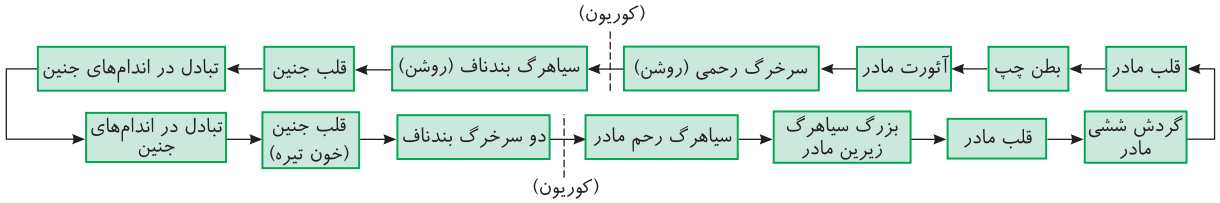
۵ سیاهرگ بند ناف، همانند سیاهرگ‌های ششی و مویرگ کلافکی نفرون‌ها حاوی خون روشن می‌باشند.

۶ با توجه به اثر اغلب داروها در رشد جنین، در دوران بارداری باید از مصرف هر ماده دارویی بدون اجازه پزشک متخصص خودداری کرد.

۷ بند ناف در بخش **جنینی** جفت ایجاد می‌شود. به همین دلیل سرخرگ‌ها و سیاهرگ آن را برحسب قلب جنین نامگذاری کرده‌اند. سرخرگ‌های بند ناف از رگ‌های متصل به قلب جنین خون تیره را دریافت کرده و سیاهرگ بند ناف خون روشن را به سمت قلب جنین منتقل می‌کند. (*شش جنین قدرت تبادل گاز تنفس ندارد و با اولین گریه‌ها از تولد فعال می‌شود.*)

۸ مادران باردار با توجه به دوره‌های جنسی ممکن است تا **هفته چهارم** از حاملگی خود مطلع نباشند.

● خلاصه مسیر جریان خون مادر و جنین



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ در هفتهٔ **دوم** پس از لقاح، **هم‌زمان** با شروع تشکیل جفت، یاخته‌های توده درونی بلاستوسیست، تشکیل سه لایهٔ زاینده‌ای را می‌دهند که از رشد و تمایز آن‌ها بافت‌های مختلف جنین ایجاد می‌شوند.

۲ در ماه اول رشد جنین، ابتدا رگ‌های خونی و روده شروع به **نمو** می‌کنند و سپس جوانه‌های دست و پا ظاهر می‌شوند. در انتهای ماه اول (*هفتهٔ چهارم*)، اندام‌های اصلی **شروع** به تشکیل شدن (*نمو*) می‌کنند و ضربان قلب آغاز می‌شود.

۳ در طی ماه دوم (*از هفتهٔ چهارم تا هشتم*)، همهٔ اندام‌ها **شکل مشخص** می‌گیرند.

۴ شروع ضربان قلب (*آخر ماه اول*) قبل از شکل‌گیری کامل قلب در ماه دوم آغاز می‌شود.

۵ در انتهای سه ماه اول، اندام‌های **جنسی** مشخص می‌شوند و با سونوگرافی قابل تشخیص هستند و جنین دارای ویژگی‌های بدنی قابل تشخیص می‌شود ولی دقت کنید که جنسیت جنین در بدو لقاح مشخص شده است که *XX* یا *XY* می‌باشد.

۶ سرعت **رشد** جنین در **سه‌ماههٔ** دوم و سوم بسیار زیاد است و اندام‌های آن **شروع به عمل** یا نمو می‌کنند و در انتهای سه‌ماههٔ سوم، قادر به خروج از بدن مادر می‌باشد.

۷ اندام‌های جنسی
- انتهای ماه اول ← شروع به تشکیل شدن یا نمو می‌کنند.
- ماه دوم ← شکل مشخص می‌گیرند.
- انتهای ماه سوم ← با سونوگرافی مشخص می‌شوند.
- سه‌ماههٔ دوم و سوم ← رشد سریع کرده و عمل آن‌ها شروع می‌شود.

سونوگرافی (صوت‌نگاری)

روشی با استفاده از **امواج صوتی با فرکانس بالا** می‌باشد. این امواج **برخلاف** امواج اشعه *X* رادیولوژی برای جنین مضر نمی‌باشد. امواج سونوگرافی به کمک دستگاهی به درون بدن منتقل می‌شود و **بازتاب آن** سبب ایجاد یک **تصویر ویدیویی** می‌شود. این تصاویر برحسب **ابعاد و رنگ**، تصاویر مختلف ایجاد می‌کنند که تشخیص بارداری در ماه اول، اندازه‌گیری ابعاد جنین در تعیین سن آن، جنسیت و سالم بودن جنین از لحاظ حرکتی و عملکرد اندام‌هایی مثل قلب و ... را بررسی می‌کند.

نکته متخصصین زنان و زایمان در پیش‌بینی زمان تولد، **۲۸۴ روز** را به زمان شروع آخرین قاعدگی (*اولین روز آخرین قاعدگی*) اضافه می‌کنند که در حقیقت ۹ ماه کامل یا ۲۷۰ روز مدت بارداری است که ۱۴ روز قبل از بارداری از شروع اولین روز آخرین قاعدگی را به آن اضافه می‌کنند.

تولد و زایمان

به‌طور معمول حدود ۹ ماه که از بارداری گذشت، به‌طور طبیعی سر جنین به سوی پایین یعنی گردن رحم و واژن فشار می‌آورد. این فشار **کیسهٔ آمنیون** را پاره می‌کند تا به صورت **ناگهانی** و یک مرتبه، مایع درون‌شامه‌ای به بیرون ترشح شود. این علامت نشانهٔ نزدیک بودن زایمان است (*پارگی آمنیون*). در این حالت هورمون‌ها و به خصوص اکسی‌توسین پلاسمای مادر بالا رفته و با اثر بر ماهیچه‌های دیوارهٔ رحم سبب شروع انقباضات ماهیچهٔ رحمی می‌شود که با دردهای زایمان همراه می‌باشد. **دفعات و شدت** این انقباضات به تدریج بیشتر شده و به هم نزدیک‌تر می‌شود. پزشکان برای سرعت دادن به خروج جنین از بدن مادر، تمایل دارند که اکسی‌توسین را به مادر تزریق کنند و **دردهای زایمان** بیشتری ایجاد کنند و با **بازخوردی مثبت** سبب خروج جنین شوند. دهانهٔ رحم با **هر بار انقباض**، بیشتر باز شده و سر جنین را بیشتر به سمت خارج هدایت می‌کند و با افزایش این انقباضات ترشح اکسی‌توسین با بازخوردی **مثبت** بالا رفته و سبب می‌شود نوزاد آسان‌تر و زودتر از رحم خارج شود. به‌طور طبیعی ابتدا سر و سپس بقیه بدن نوزاد خارج می‌شود. بعد از خروج نوزاد، هنوز زایمان خاتمه نیافته است بلکه بعد از آن انقباضات رحمی **ادامه** می‌یابد تا بند ناف و جفت و اجزای مرتبط با آن‌ها از رحم خارج شوند.

نکته هورمون اکسی‌توسین علاوه بر تأثیر در زایمان، سبب انقباض، ماهیچه‌های صاف غدد شیری شده و خروج شیر را آسان می‌کند.

نکته پس از تولد، مکیدن سینهٔ مادر توسط نوزاد، سبب واکنش بازخوردی **مثبت** در **تولید** هورمون پرولاکتین و **تولید** شیر می‌شود و از طرفی اکسی‌توسین نیز با همین مکانیسم بازخوردی مثبت، **خروج** شیر را از غدد شیری آسان‌تر و بیشتر می‌کند.

نکته علاوه بر زایمان طبیعی و خروج نوزاد از واژن، نوعی دیگر از زایمان با عمل جراحی به نام **سزارین** وجود دارد که پزشکان به‌جز در موارد خاص، آن را توصیه نمی‌کنند.

نکته دقت کنید که در مکانیسم زایمان، هورمون‌های مختلفی نقش اساسی دارند که اکسی‌توسین یکی از آن‌هاست.

درسنامه

گفتار ٤ تولیدمثل در جانوران

در جانوران مختلف **اساس تولیدمثل جنسی** به صورت مشابه می‌باشد و با **تولید یاختهٔ جنسی** در اثر تقسیم میوز (*بجز زنبور نر*) و برخورد آن‌ها به هم برای تشکیل تخم می‌باشد ولی چگونگی انجام آن به صورت لقاح خارجی یا داخلی، مراحل آن و حفاظت و تغذیه جنین تفاوت‌هایی دارند که برخی از آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

نکته همواره در تست‌ها دقت کنید که زنبور نر، تنها جانوری در کتاب‌های درسی می‌باشد که یاخته‌های جنسی یا زامه‌های خود را با **میتوز** ایجاد می‌کند.

لقاح خارجی

این نوع لقاح در آبزیان مثل اغلب ماهی‌ها، دوزیستان و بی‌مهرگان آبزی صورت می‌گیرد که طی آن، دو والد **تعداد زیادی** یاختهٔ جنسی (*زامه و تخمک*) را **هم‌زمان** وارد آب می‌کنند تا احتمال برخورد آن‌ها و تشکیل تعداد زیادی تخم در آب صورت بگیرد. در این گروه‌ها به دلیل اینکه دوره جنینی **کوتاه** است، **اندوخته غذایی تخمک** آن‌ها **مقدار کمی** دارد. در این جانوران **تخمک** حاوی **دیواره‌ای چسبناک و ژله‌ای** می‌باشد که پس از لقاح سبب چسباندن یاخته‌های جنسی به هم و محافظت از تخم در برابر عوامل محیطی می‌شود. این لایه ژله‌ای سپس به عنوان **غذای اولیه** مورد استفاده جنین قرار می‌گیرد (*این دیواره با دیوارهٔ یاختهٔ گیاهی متفاوت است*).

نکته عوامل متعددی مثل دمای محیط، طول روز، آزاد کردن مواد شیمیایی توسط نر یا ماده و یا بروز برخی رفتارها مثل رقص عروسی در ماهی‌ها سبب آزاد شدن هم‌زمان یاخته‌های جنسی نر و ماده در گونه‌های دارای تولیدمثل جنسی می‌شود.

نکته برخی ماهی‌ها مثل اسبک‌ماهی و برخی بی‌مهرگان آبزی، لقاح داخلی و اندام‌های تخصص‌یافته تولیدمثلی دارند.


«رقص عروسی ماهی‌ها»

لقاح داخلی

این لقاح مخصوص جانوران خشکی‌زی و برخی آبزی‌ها مثل اسبک‌ماهی است. این لقاح نیازمند **دستگاه تولیدمثلی با اندام‌های تخصص‌یافته جنسی** می‌باشد که به‌جز در اسبک‌ماهی، زامه‌ها وارد دستگاه تولیدمثلی فرد ماده شده و تخم همراه با عمل لقاح در بدن فرد ماده صورت می‌گیرد.

نکته اسبک‌ماهی، نوعی خاص از جانوران آبزی می‌باشد که جنس **ماده**، تخمک خود را وارد حفره‌ای در بدن جنس نر می‌کند. **لقاح داخلی در بدن نر صورت گرفته** و جنس نر ابتدا جنین‌ها را در بدن خود نگه می‌دارد و پس از طی مراحل رشد و نمو، **نوزادان** متولد می‌شود (*تخم گذار نیستند*).

تولیدمثل جنسی در جانوران با وجود یک والد

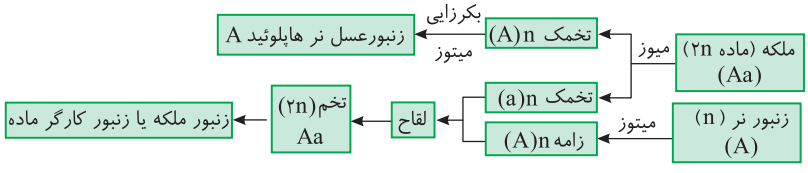
به‌طور معمول تولیدمثل جنسی نیازمند عمل جفت‌یابی می‌باشد. جانورانی که حرکت کندی دارند و یا به صورت تنها زندگی می‌کنند برای جفت‌یابی و تولیدمثل مشکلات بسیاری دارند. برای **بقای نسل آن‌ها** رفع این مشکل به **دو صورت دوجنسی یا هرمافرودیت بودن** یا توانایی **بکرزایی** کردن برطرف شده است.

الف) بکرزایی

نوعی تولیدمثل **جنسی** است که همانند **خودلقاحی کرم پهن** وجود یک والد کافیست. این عمل در جانورانی مثل زنبورعسل و برخی مارها دیده می‌شود. در این روش فرد ماده توانایی تولیدمثل جنسی با فرد نر را دارد ولی **گاهی اوقات** می‌تواند به تنهایی تولیدمثل کند که دو حالت دارد.

A) تقسیم تخمک بدون لقاح

این روش در **زنبورهای عسل** شایع است. زنبورعسل ماده حاوی یاخته‌های پیکری به صورت دیپلوئید ($2n$) کروموزومی و نر آن واجد هر یاختهٔ هاپلوئید (n) می‌باشد. ملکه و زنبور کارگر ماده ($2n$) می‌باشند که حاصل لقاح زامه و تخمک بوده‌اند **ولی زنبور نر هاپلوئید است** و حاصل بکرزایی از تخمک ملکه می‌باشد. در این گونه، ملکه ($2n$) قدرت میوز و تولید تخمک‌های متنوع هاپلوئید دارد. برخی از این تخمک‌ها بدون لقاح می‌توانند **میتوز** کنند و یک زنبور عسل نر (n) ایجاد کنند. **زنبور نر با روش میتوز، زامه‌های خود را ایجاد می‌کند** که کاملاً ژنوتیپ والد نر را دارند. این زامه‌ها اگر با برخی تخمک‌های ملکه برخورد کنند می‌توانند تخم ($2n$) ایجاد کنند و بدون بکرزایی به تولید ملکه یا زنبور ماده کارگر بیانجامد.

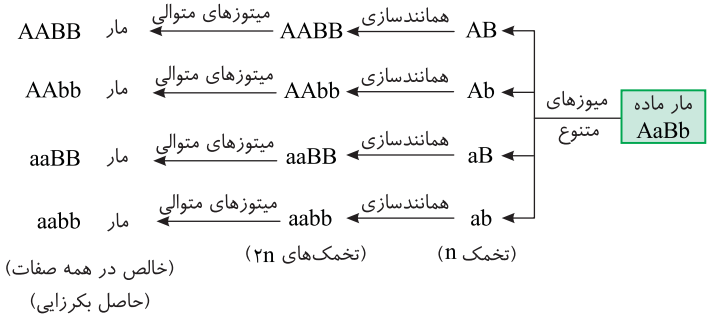


چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) زنبور عسل نر هاپلوئید است و ٪۱۰۰ ژن‌های خود را از ٪۵۰ ژن‌های ملکه گرفته است.
۲) زنبور عسل ماده ($2n$) همانند سایر جانوران، نصف ژن‌های خود را از والد نر و نصف از والد ماده (ملکه) گرفته است.
۳) گونهٔ زنبور عسل نشان می‌دهد که تعداد کروموزوم افراد یک گونه ممکن است در برخی موارد دو برابر سایرین باشد.
۴) زنبور نر همانند گیاهان، یاختهٔ جنسی خود را با میتوز ایجاد می‌کند (*فصل بعد*).
۵) در زنبور مادهٔ ملکه و گیاهان، یاختهٔ حاصل از میوز، وارد اینترفاز می‌شود تا پس از آن تقسیم میتوز انجام دهد.
۶) زنبورهای کارگر، ماده‌هایی نازا هستند که توانایی تولید تخمک ندارند و فقط با رفتار گروهی دگرخواهی حفاظت از سایر افراد خانواده را بر عهده دارند (*دوازدهم*).

B) نسخه‌سازی از روی تخمک

این روش بکرزایی در **برخی مارهای ماده** دیده می‌شود که مدت طولانی از نر خود دور هستند. در این روش ابتدا مار ماده $2n$ (*مثلاً با فرمول ژنتیکی* $AaBb$) با تقسیم میوز چهار نوع تخمک (ab, aB, Ab, AB) می‌تواند تشکیل دهد. سپس هر تخمک از روی کروموزوم‌های خود با همانندسازی دنا، یک نسخه مشابه می‌سازد و آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند تا کروموزوم‌های تخمک از حالت (n) به صورت دوتا یاختهٔ n **مشابه** هم تبدیل شود (*مثلاً تخمک که در دو صفت دستورالعمل* AB *دارد به صورت دوتا* AB *یعنی* $AABB$ *درمی‌آید*). از ادغام این دو یاختهٔ مشابه، تخمی با فرمول ژنتیکی (ژنوتیپ) $AABB$ به صورت **خالص در همهٔ صفات** ایجاد می‌شود که شروع به تقسیم شدن می‌کند و موجود دیپلوئید را می‌سازد.



نکته در بکرزایی زنبورها، تخمک ملکه، به محض تولید، میتوز می‌کند ولی در بکرزایی مار، تخمک حاصله، ابتدا از روی کروموزوم خود یک ردیف می‌سازد و با هم ترکیب می‌کند و سپس یاختهٔ $2n$ شده شروع به میتوز می‌کند.

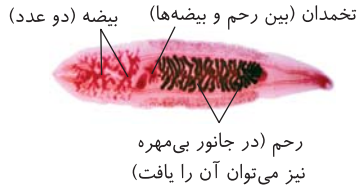
نکته جانوران حاصل از بکرزایی مار ماده، قطعاً در همهٔ جایگاه‌های ژنی خود فرمول ژنتیکی هر صفت آن‌ها مشابه می‌باشد که در زیست دوازدهم به آن‌ها خالص گفته می‌شود.

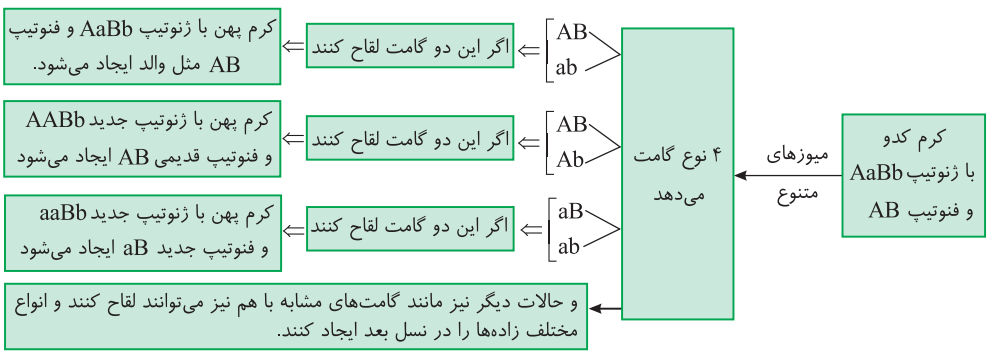
نکته در این نوع بکرزایی، فرزند حاصل، دو مجموعه کروموزوم مشابه دارد، یعنی یک **نوع** مجموعهٔ کروموزومی دارد.

ب) هرمافرودیت (نرماده)

در این حالت یک فرد هر دو نوع دستگاه تولیدمثلی نر و ماده را دارد که در کرم‌های پهن (*کرم کبد و پلاناریا*) و کرم‌های حلقوی (*مثل کرم خاکی*) دیده می‌شود.

A) در کرم **کبد** که از کرم‌های **پهن** می‌باشد **خودلقاحی** صورت می‌گیرد یعنی زامه‌های هر فرد سبب بارور شدن تخمک‌های همان فرد می‌شود. در این حالت به دلیل تقسیم **میوز**، تنوع در هر نسل دیده می‌شود. این کرم پهن دارای تخمدان در بین بیضه‌ها و رحم خود می‌باشد.





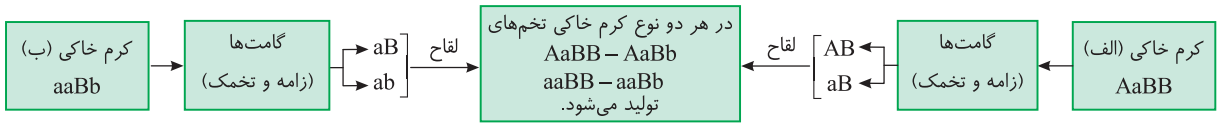
نکته در این لقاح هیچ گامتی از هیچ فردی خارج نمی‌شود ولی فرزندان با تنوع جدید ایجاد می‌شوند.



B) در مـورد کرم‌هـای حلقـوی مثل کرم خاکی، **لقاح دو طرفی** انجام می‌شـود به این صـورت که دو کرم خاکی به صورت برعکس در کنار هم قرار می‌گیرند و زامه‌های هرکدام سـبب بارور شـدن تخمک دیگری می‌شود. *(در کرم خاکی برخلاف کرم پهن وجود دو والد الزامیـت.)*

نکـته

در این حالت نیز هر والد هر دو دستگاه تولیدمثل نر و ماده را دارد ولی قادر به خودباروری نیست. در این لقاح زامه از هر والد خارج شـده و تخمک در هر والد *(توسـط زامهٔ جانور دیگر)* بارور می‌شـود. در این دو کرم خاکی که اسپرم‌های خود را به هم منتقل کرده‌اند، تنوع ژنتیکی در زاده‌های نسل بعد آن‌ها، یکسان می‌باشد.



نکات تغذیه و حفاظت از جنین جانوران

۱) در هر نوع لقاحی، **اندوخته غذایی درون تخمک**، تا **چند روز** پس از لقاح می‌تواند مواد غذایی مورد نیاز جنین را تأمین کند.

۲) اندوخته غذایی تخمک از **مواد مغذی متنوع و متفاوتی** تشکیل شده است.

۳) **اندازه تخمک** در جانوران مختلف بستگی به **میزان اندوخته** آن دارد.

۴) در جانوران **تخم‌گذار**، چون در دوران جنینی ارتباط غذایی بین مادر و جنین وجود ندارد، اندوختهٔ غذایی تخمک زیاد است.

۵) در انسان، یاخته‌های پیکری آندومتر رحم مادر تا چند روز پس از جایگزینی به بلاستوسیست غذا می‌دهند.

۶) در **پستانداران** *(به‌جز نوع تخم‌گذار پلاتی‌پوس)* به دلیل رابطه بین مادر و جنین، تخمک مقدار **کمی** اندوخته غذایی دارد.

۷) در **ماهی و دوزیستان** به علت **دوره جنینی کوتاه** میزان اندوخته غذایی تخمک **کم** می‌باشد ولی اندوخته غذایی تخمک خزنده و پرنده زیاد است.

۸) در لقاح خارجی، دیوارهٔ **چسبناک و ژله‌ای تخمک** سبب محافظت تخم‌ها و چسباندن آن‌ها به هم شده و در برابر عوامل نامساعد محافظت می‌کند و سپس این لایه به عنوان غذای اولیه جنین نیز مصرف می‌شود.

۹) در جانورانی که **لقاح داخلی** دارند حفاظت جنین به صورت‌های متفاوت برحسب نوع رابطه غذایی با مادر صورت می‌گیرد.

۱۰) جانوران تخم‌گذار، رحم ندارند. این گروه **پوسته ضخیم** اطراف تخم آن‌ها سبب محافظت از جنین می‌شود.

۱۱) خزندگان لقاح داخلی دارند و تخم‌گذارند. بیشتر این گروه مثل لاک‌پشتیان علاوه بر پوسته ضخیم اطراف تخم، تخم‌ها را با ماسه یا خاک می‌پوشانند ولی روی تخم خود نمی‌خوابند *(برخی انواع دریایی آن‌ها با استفاده از امواج الکترومغناطیس زمین، به سوی ساحل مهاجرت کرده و تخم‌گذاری می‌کنند.)*



«تخم‌های لاک‌پشت»

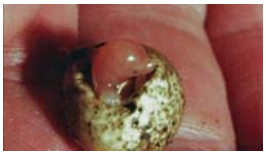
۱۲) پرنـدگان هماننـد خزندگان، تخمی با اندوخته غذایی زیاد و پوسـته ضخیم دارنـد ولی وقتی تخم را از بدن خارج می‌کنند، روی آن‌ها می‌خوابند تا دمای مناسب به همه آن‌ها برسد و از تخم خود محافظت کنند *(پرندگان برای تخم خود آشیانه می‌سازند و اغلب نظام جفت‌گیری تک‌همسری دارند.)*

در زیست دوازدهم یاد می‌گیرید که در اغلب پرندگان، نر و ماده سهم مساوی در پرورش جوجه‌های خود دارند ولی در برخی مثل طاووس، بیشتر هزینه و انرژی مورد نیاز برای پرورش جوجه‌ها بر عهدهٔ جانور ماده می‌باشد.



«تخم پرنده در آشیانه»

۱۳) پلاتی‌پوس پستانداری تخم‌گذار است که تخم‌ها را تا **چند روز مانده به تولد** در شکم خود نگه می‌دارند سپس تخم‌گذاری می‌کنند و مانند پرنده روی تخم‌ها می‌خوابند تا مراحل **نهایی** رشد و نمو در خارج بدن ماده طی شود *(پلاتی‌پوس رحم و جفت ندارد ولی غدد شیری دارد و به نوزادان خود شیر می‌دهد.)*



«تخم پلاتی‌پوس»

۱۴) در پستانداران کیسه‌دار مثل **کانگورو**، جنین ابتدا درون **رحم ابتدایی** رشد و نمو می‌کند ولی جفت ندارند. این گروه به دلیل مهیا نبودن شرایط کافی درونی، **نوزاد نارس** به دنیا می‌آورند. نوزاد نارس وارد کیسه‌ای در بخش شکمی مادر می‌شود که نوک غدد شیری در آنجا قرار دارد. نوزاد درون این کیسه هم محافظت می‌شود و هم با تغذیه از شیر مادر مراحل رشد و نمو خود را **کامل** می‌کند.

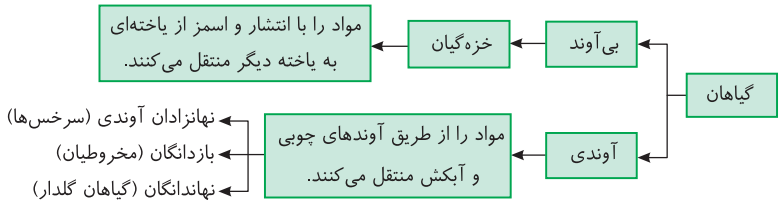
۱۵) بهترین و کامل‌ترین شـرایط تغذیه‌ای جنین را در اغلب پسـتانداران مشـاهده می‌کنیم که جفت و رحم کامل دارند. جنین آن‌ها درون رحم مادر رشد و نمو خود را آغاز کرده و با تشکیل جفت با خون مادر رابطه غذایی پیدا می‌کند. پس از تولد هم از غدد شیری مادر تغذیه می‌کنند تا زمانی که به‌طور مستقل به زندگی خود ادامه دهند *(مواظب باشید که رحم در کرم پهن مثل کرم کدو هم وجود دارد اما جفت و ارتباط خونی مختص پستانداران است.)*

فصل هشتم
تولیدمثل نهاندانگان

درسنامه

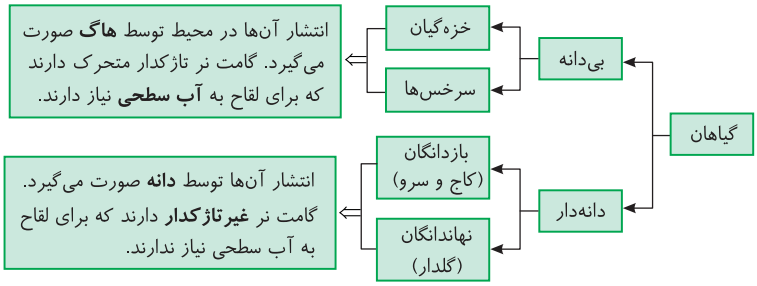
یادآوری: همان‌طور که از سال‌های قبل به یاد دارید، گیاهان شامل چهار گروه خزه‌گیان، نهانزادان آوندی، مخروطیان (بازدانگان) و نهاندانگان می‌باشند.

تقسیم‌بندی گیاهان براساس آوند



گروه‌بندی گیاهان			
بدون آوند	خزه‌ها	بدون دانه	بدون گل
آوندار	سرخس‌ها		
	بازدانگان	دانه‌دار	
	نهاندانگان	تک‌لپه‌ای‌ها	گل‌دار
		دولپه‌ای‌ها	

تقسیم‌بندی گیاهان براساس داشتن دانه



همهٔ گیاهان دارای چرخهٔ تولیدمثل جنسی تناوب نسل شامل دو مرحله $2n$ (*دیپلوئیدی*) و n (*هاپلوئیدی*) می‌باشند که در انتهای مرحله دیپلوئیدی، همراه با تقسیم میوز، هاپلوئید میتوز دهنده ایجاد می‌شود و در انتهای مرحلهٔ هاپلوئیدی، همراه با تقسیم میتوز، یاختهٔ جنسی نر و ماده برای ترکیب و ایجاد تخم تولید می‌شوند.

ویژگی نهاندانگان

۱) **تکامل یافته‌ترین** گیاهان می‌باشند که امروزه، **بیشترین** گیاهان روی زمین می‌باشند و توانسته‌اند پهنه وسیعی از زمین را به خود اختصاص دهند. (*تنوع گیاهان آوندی از نهاندانگان بیشتر می‌باشد، چون نهاندانگان یکی از انواع گیاهان آوندار می‌باشند.*)

۲) تنها گیاهانی هستند که **گل** تولید می‌کنند. گل ساختار زایشی آن‌هاست و تولید آن برای گیاه **هزینه‌بر** می‌باشد.

۳) گل‌هایی که رنگ‌های متنوع، ترکیبات معطر و شهد دارند، برای گیاه **هزینه‌برتر** می‌باشند که باعث جلب توجه **حشرات و جانوران گرده‌افشان** می‌شوند. این گل‌ها با جانوران گرده‌افشان، زندگی **همیاری** ایجاد می‌کنند به این‌صورت که گیاهان با شهد و یا دانه‌های گردهٔ خود، غذای جانوران گرده‌افشان را فراهم می‌کنند ولی در عوض این جانوران با عمل گرده‌افشانی، پخش این گل‌ها و گیاهان را در محیط آسان می‌کنند.

۴) نهاندانگان مانند اغلب گیاهان در جای خود **ثابت** هستند و مانند جانوران به **ماده و انرژی** نیاز دارند و با عمل فتوسنتز و توانایی تنظیم سرعت رشد خود، بر محدودیت ساکن بودن در محیط غلبه می‌کنند.

۵) مانند سایر گیاهان، **یاخته‌های دیواره‌دار** دارند و رشد یاخته آن‌ها بعد از تشکیل **دیواره پسین** متوقف می‌شود.

۶) در برش بخش‌های رویشی نهاندانگان (*ریشه، ساقه و برگ*) می‌توانیم سه بخش **پوششی، زمینه‌ای و آوندی** را به‌عنوان **سه سامانه بافتی** تشخیص دهیم که هر سامانه از **بافت‌ها و یاخته‌های گوناگون** تشکیل شده است.

۷) در **نهاندانگان**، در کنار آوندهای **آبکش** آن‌ها، **یاخته‌های همراه** قرار دارند که در ترابری شیره پرورده نقش دارند.

۸) گیاهان دانه‌دار (*بازدانگان و نهاندانگان*)، توسط دانه خود در محیط پخش می‌شوند و فاقد یاختهٔ جنسی نر (*اسپرم*) تاژکدار می‌باشند و برای لقاح به آب سطحی نیاز ندارند.

۹) نهاندانگان شامل دو گروه عمده تک‌لپه‌ای‌ها مثل غلات (*گندم، جو، ذرت و...*) و دولپه‌ای‌ها مثل حبوبات (*لوبیا، نخود، عدس و...*) می‌باشند.

۱۰) **بسیاری** از نهاندانگان دولپه‌ای، ساقه‌ها و ریشه‌هایی با قطر زیاد دارند که به دلیل فعالیت مریستم‌ها یا کامبیوم‌های پسین یا همان کامبیوم‌های آن‌هاست که در زیست‌شناسی سال قبل به آن‌ها اشاره شد.

۱۱) برخی از نهاندانگان مانند تیره پروانه‌واران می‌توانند با باکتری‌های ریزوبیوم همزیستی کرده و سبب تثبیت نیتروژن خاک و بهبود خاک منطقه شوند.

۱۲) بیشتر آن‌ها با قارچ‌ها به صورت قارچ ریشه‌ای به همزیستی می‌پردازند و ضمن گرفتن مواد معدنی، همهٔ نیازهای آلی قارچ را فراهم می‌کنند.

گفتار ۱ تولیدمثل غیرجنسی در نهاندانگان

- اگر گیاهی را از راه اندام‌های **زایشی** مثل **گل، میوه یا دانه** آن تکثیر کنیم، به آن تولیدمثل **جنسی** گوییم ولی اگر تکثیر گیاه از راه قسمت‌های **رویشی** مثل **ساقه، ریشه و برگ** صورت گیرد به آن تولیدمثل **رویشی** یا **غیرجنسی** می‌گویند.
- به دلیل اینکه در تولیدمثل غیرجنسی (*رویشی*) وجود یک والد کافیست، **تنوع ژنتیکی** و **احتمال متنوع شدن** گیاه در تولیدمثل غیرجنسی از جنسی کمتر است و **جهش‌های محیطی** عامل اصلی برای ایجاد تنوع، محسوب می‌شوند.

تکثیر گیاهان نهاندانه
- توسط گل، میوه یا دانه ← تولیدمثل جنسی
- توسط قسمت‌هایی از ساقه، ریشه و برگ ← تولیدمثل غیرجنسی

نکته
یک بوته گل سرخ یا یک درخت انگور را هم می‌توان توسط دانه در مدت **طولانی** به صورت جنسی، تکثیر داد و هم می‌توان با قطعه‌هایی از بخش رویشی (*مثل ساقه*) در مدت **کوتاهی**، به صورت غیرجنسی تکثیر داد.

انواع تکثیر گیاهان با بخش‌های رویشی (غیرجنسی)

انسان، **معمولاً** برای تکثیر گیاهان از بخش‌های **رویشی** استفاده می‌کند. این تکثیر می‌تواند از بخش‌های غیرتخصصی برای این کار و یا تخصصی استفاده کند. مثلاً **روی ریشهٔ** درخت آلبالو، **جوانه‌هایی** تشکیل می‌شود که از رشد آن‌ها **درخت‌های** جدید آلبالو با مشخصات **ژنتیکی گیاه اولیه** ایجاد می‌شود که در این حالت از ریشهٔ آلبالو درخت‌هایی با **ساقه‌های متعدد** ایجاد شده است.



«تشکیل درخت‌های جدید از جوانه‌های روی ریشه»

نکته
جوانه‌های ریشهٔ آلبالو برای تولیدمثل رویشی تمایز و تخصص یافته‌اند.

روش‌های تولیدمثل رویشی از قسمت‌های غیرتخصصی

الف) روش قلمه زدن

در این روش قطعه‌ای از **ساقهٔ گیاه** که حاوی **جوانه** (*مریستم*) باشد را جدا کرده و آن را برای تکثیر در **آب یا خاک** قرار می‌دهیم تا تکثیر شود.

- در روش قلمه زدن به این موارد دقت کنید
  - تولیدمثل رویشی است نه جنسی!
  - از ساقهٔ جوانه‌دار گیاه استفاده می‌شود.
  - در آب یا خاک انجام می‌شود.


«قلمه زدن»

ب) روش پیوند زدن

پیوند زدن یکی از روش‌های رایج تکثیر **غیرجنسی** گیاهان می‌باشد. برای پیوند زدن، از گیاهی که ویژگی مناسب مثل **میوه مطلوب** دارد قطعه‌ای از جوانه یا شاخه به نام **پیوندک** را جدا کرده و آن را روی **تنه** گیاه دیگری به نام **گیاه پایه** قرار می‌دهند. گیاه پایه باید ویژگی‌های مطلوبی مانند مقاومت به عوامل بیماری‌زای گیاهی یا سازگاری به خشکی، شوری و... داشته باشد تا پیوندک روی گیاه پایه رشد کند.

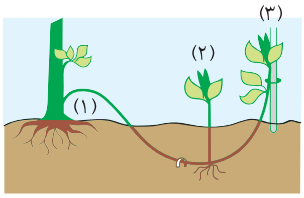

«پیوند زدن»

نکته
در روش پیوند زدن گیاه جدید ویژگی و میوه گیاه دهنده پیوندک را دارد ولی در شرایط مناسب گیاه پایه رشد کرده است. در این روش هم پیوندک و هم گیاه پایه دارای ویژگی‌های مفید می‌باشند.

ج) روش خوابانیدن

از زیست سال قبل به یاد دارید که **گره** در گیاه، محلی است که برگ به **ساقه یا شاخه** متصل است. در روش تکثیر **غیرجنسی** خوابانیدن، بخشی از **ساقه یا شاخه** که دارای **گره** می‌باشد را **بدون** جدا کردن از گیاه اصلی، با خاک می‌پوشانند، بعد از مدتی در اثر رشد جوانه کناری در محل گره، **ریشه و ساقه برگ‌دار** ایجاد می‌شود. **این قسمت ریشه و ساقه‌دار جدید را از گیاه مادر جدا کرده و پایه جدیدی ایجاد می‌کنند.**

در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که شاخهٔ قرار گرفته در زیر خاک (۱) در انتهای آن برگ وجود دارد و آن‌ها را از ابتدا توسط پایه‌ای در خارج خاک نگه داشته‌ایم (۳) ولی قسمتی که جدید ایجاد شده است، گیاه (۲) می‌باشد که ریشهٔ جدید زده است و برگ و ساقهٔ جدید ایجاد کرده است که می‌توان آن را از گیاه اصلی (۱) جدا کرد.



«خوابانیدن»

ساقه‌های تخصصی برای تولیدمثل غیرجنسی

در گیاهان مختلف انواعی از **ساقه‌ها** هستند که برای **تولیدمثل غیرجنسی** ویژه شده‌اند که دو نوع **زیرزمینی** و **روزمینی** دارند.

۱) انواع زیرزمینی
- **زمین‌ساقه** (ریزوم)
- غده
- پیاز

۲) ساقهٔ رونده روزمینی

A) ساقه‌های زیرزمینی

● الف) زمین‌ساقه (ریزوم)

زمین‌ساقه یا ریزوم، همان ساقهٔ تخصصی زیرزمینی در برخی گیاهان است که به صورت **افقی** در **زیر خاک** رشد می‌کند. زمین‌ساقه همانند ساقه‌های هوایی دارای **جوانه انتهایی** برای رشد طولی بوده که به موازات خاک رشد کرده و سبب اشغال سطح وسیعی از خاک می‌شود. **زمین‌ساقه** علاوه بر جوانه انتهایی، دارای جوانه‌**های جانبی** نیز می‌باشد که علاوه بر رشد به موازات خاک، در محل جوانه‌ها سبب ایجاد پایه‌های جدید به صورت عمودی نیز می‌شوند. زمین‌ساقه‌ها قدرت فتوسنتز ندارند ولی قابلیت رشد و ریشه زدن در تکثیر غیرجنسی به صورت ساقهٔ تخصص‌یافته دارند. این ویژگی در گیاهان چندسالهٔ علفی مثل زنبق دیده می‌شود.



«زمین‌ساقه زنبق»

نکته
در شکل مقابل رشد زمین‌ساقه گیاه **زنبق** را مشاهده می‌کنید.

● ب) غده

غده در حقیقت انتهای برآمده شدهٔ نوعی ساقهٔ **زیرزمینی** می‌باشد که جوانه‌**هایی** در **سطح** آن وجود دارد. **هر جوانه** در تولیدمثل غیرجنسی قدرت تبدیل به **یک گیاه** را دارد. غده‌ها به علت ذخیره ماده غذایی به صورت متورم درمی‌آیند که اغلب به دلیل ذخیره **نشاسته در آمیلوپلاست** (دیسه بدون رنگیزه) آن‌هاست.

نکته
سیب‌زمینی ساقهٔ غده‌ای متورم شده می‌باشد که پلاست‌ها یا دیسه‌های آن در بخش خوراکی به مقدار فراوانی نشاستهٔ ذخیره‌ای دارند که به این پلاست‌ها، نشادیسه می‌گویند. روی غدهٔ سیب‌زمینی، جوانه‌های متعددی وجود دارد که هرکدام از این جوانه‌ها در هنگام رشد و ایجاد گیاه جدید، ابتدا ذخیره نشاسته غده آن‌ها مصرف می‌شود تا پایه‌های جدید ایجاد شوند (منبع: زیست دهم و یازدهم).

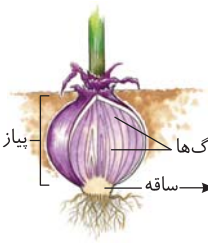
نکته
سیب‌زمینی نوعی غدهٔ ساقه‌ای زیرزمینی است ولی شلغم نوعی **ریشهٔ زیرزمینی** به صورت غده‌ای است که در فعالیت کتاب پرسیده شده است.

نکته
با توجه به شکل، بخش غده‌ای آن فاقد ریشه در زیر خود می‌باشد ولی ساقه‌های باریک غیرغده‌ای در زیر خود ریشه دارند.



● ج) پیاز

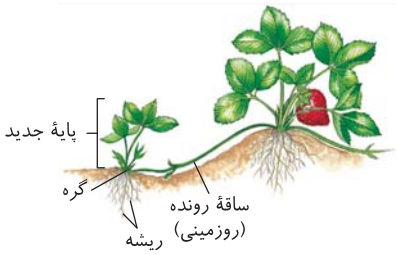
نوعی ساقهٔ **زیرزمینی کوتاه و تکمه‌مانند** دارد که حاوی برگ‌هایی (غلاف‌هایی) خوراکی متصل به آن است. مثلاً پیاز خوراکی، ساقه‌ای کوتاه تکمه‌ای با برگ‌های خوراکی دارد. از **هر پیاز، تعدادی پیاز کوچک** ایجاد شده و **هر پیاز کوچک خاستگاه یک گیاه جدید می‌شود** (پیاز مجموعهٔ ساقهٔ کوتاه و برگ‌هایی متصل به آن است). تکرار می‌کنم که برگ‌های خوراکی بخشی از ساقه نیستند اما جزء پیاز هستند (به شکل مقابل دقت کنید).



نکته
گل‌هایی مانند نرگس و لاله نیز ساقهٔ زیرزمینی از نوع پیاز دارند.

نکته
یک پیاز ← چند پیاز کوچک ← چند گیاه

B) ساقهٔ روزمینی (ساقهٔ رونده)



نوعی ساقهٔ **روزمینی** است که به‌طور **افقی روی** خاک رشد می‌کند، این ساقهٔ تخصص‌یافته برای تکثیر رویشی، **گره‌های زیادی** دارد (*مانند گیاه توت‌فرنگی*) که در محل این گره‌ها، گیاهانی جدید مثل توت‌فرنگی ایجاد می‌کند که از زیر آن‌ها ریشه ایجاد می‌شود.

جدول انواع تولیدمثل غیرجنسی با قسمت‌های غیرتخصص‌یافته

تکثیر	نوع	مثال	نکته
قلمه زدن	غیرجنسی	قراردهی قسمتی از ساقه در خاک یا آب	گیاه جدید کاملاً هم‌ارز گیاه دهنده قلمه می‌باشد و قلمه باید جوانه یا مریستم داشته باشد.
پیوند زدن	غیرجنسی	پیوندک یک گیاه روی پایه یک گیاه مقاوم	پیوندک دارای ویژگی مطلوب می‌باشد که می‌خواهیم ایجاد شود. پایه، گیاه از گونهٔ دیگر می‌باشد که به محیط سخت و عوامل بیماری‌زا مقاوم است.
خوابانیدن	غیرجنسی	پوشاندن بخشی که دارای گره است در زیر خاک بدون جدا کردن آن	قسمتی از ساقه یا شاخهٔ گره‌دار را با خاک می‌پوشانند و پس از ایجاد **ریشه و ساقهٔ برگ‌دار**، آن را از گیاه مادر جدا می‌کنند.

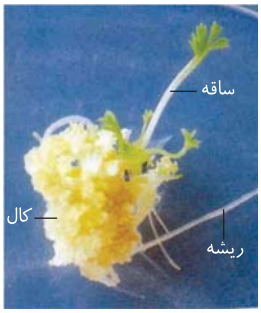
جدول انواع ساقه‌های تخصصی تولیدمثل غیرجنسی (رویشی)

نام	نوع ساقه	مثال	نوع رشد	نکته
زمین‌ساقه (*ریزوم*)	زیرزمینی	زنبق	افقی زیر خاک	جوانه جانبی و انتهایی دارد - در محل جوانه‌ها پایه‌های جدید ایجاد می‌کند.
غده	زیرزمینی پر از ذخیره ماده غذایی	سیب‌زمینی	متورم در زیر خاک	در سطح غده جوانه**های** متعدد دارد که **هر**کدام به **یک** گیاه تبدیل می‌شوند.
پیاز	ساقه زیرزمینی کوتاه و تکمه‌مانند و برگ‌های خوراکی دارد.	پیاز خوراکی نرگس لاله	زیرزمینی	پیاز خوراکی دارای ساقهٔ کوتاه تکمه‌مانند زیرزمین و برگ‌های خوراکی است که در شرایط **مناسب** تعدادی پیاز کوچک تشکیل می‌دهد که هرکدام خاستگاه یک گیاه می‌شوند.
ساقهٔ رونده	**روزمینی**	توت‌فرنگی	افقی روی خاک	در محل گره‌ها، گیاهان توت‌فرنگی جدیدی ایجاد می‌شوند.

نکته راستی جوانه روی ریشهٔ آلبالو هم تخصصی است ولی چون ساقه نبود در این جدول نیاوردیمش!

فناوری و تکثیر گیاهان

فن کشت‌بافت



«ایجاد گیاه از کال در کشت بافت»

روشی برای تولید گیاهان به صورت **انبوه** و با ویژگی‌های **مطلوب** در **آزمایشگاه** به عنوان تولیدمثل رویشی یا غیرجنسی می‌باشد. این روش که در محیط کاملاً **سترون** (*عاری از میکروب*) صورت می‌گیرد، در ابتدا **یاخته**‌های مریستمی یا پارانشیم جوان یا **قطعه**‌ای از بافت مریستمی یا بافت پارانشیمی که دارای قدرت میتوز هستند را به محیط کشت منتقل می‌کنند. در این محیط، **همهٔ مواد مورد نیاز رشد و نمو گیاه به اندازهٔ کافی وجود دارد. یاخته یا بافت** در این محیط شروع به **میتوز** کرده و توده‌ای از یاخته‌های **هم‌شکل و یکسان** به نام **کال** ایجاد می‌کنند. سپس با رشد کال و **تمایز** آن، این توده به گیاهانی ریشه و ساقه‌دار با ژن‌های یکسان تبدیل و نمو می‌یابد.



نکته با روش کشت‌بافت می‌توان گیاهی گل‌دار را در ظرف‌های شیشه‌ای پرورش داد (*بیشتر بدانید*).

نکته در روش کشت‌بافت، داشتن قدرت میتوز در یاخته یا بافت جدا کرده بسیار مهم است، پس فقط می‌توان از یاخته‌ها یا بافت‌های مریستمی یا پارانشیمی جوان با قدرت میتوز استفاده کرد تا توده **کال** ایجاد شود.

درسنامه

گفتار ۲ تولیدمثل جنسی نهاندانگان

یادآوری

از علوم سال هشتم و زیست دهم به یاد دارید که:

۱) **گل** اندام تولیدمثلی گیاهان **نهاندانه** (*گل‌دار*) می‌باشد که **مادگی** بخش تولیدمثلی **ماده** و **پرچم** قسمت تولیدمثلی **نر** آن می‌باشد. **اغلب** گل‌ها هر دو بخش پرچم و مادگی را دارا هستند ولی برخی مانند درخت خرما، گل نر روی یک نخل و گل ماده روی نخل دیگری قرار دارد.

۲) یاخته‌های جنسی ماده در تخمک‌ها و یاخته‌های جنسی نر (*اسپرم‌ها*) در لوله گرده به وجود می‌آیند و هنگام گرده‌افشانی، دانه‌های گرده باید روی مادگی گل قرار بگیرند تا سپس با تشکیل لوله‌ای، یاختهٔ جنسی نر به سوی یاختهٔ جنسی ماده برود تا یاخته تخم در بخش ماده تشکیل شود.

۳) **میوهٔ حقیقی از رشد تخمدان و دانه از رشد تخمک و بافت‌های درون آن حاصل می‌شود.**

۴) نهاندانگان دو نوع هستند

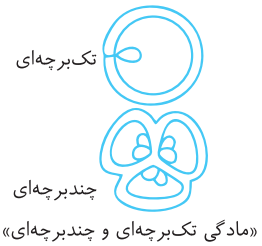
- **تک‌لپه‌ای‌ها**
  - همانند غلات (*گندم، جو، ذرت و...*)
  - پهنک و دمبرگ ندارند ← در میانبرگ، فقط پارانشیم اسفنجی دارند.
  - غلاف آوندی رگبرگ آن‌ها کلروپلاست دارد (*دوازدهم*).
  - آوندهای چوب و آبکش ریشه آن‌ها روی یک حلقه قرار دارد.
  - رگبرگ‌های موازی و گلبرگ‌هایی ۳ تایی یا مضربی از ۳ دارند.
  - آوندهای چوب و آبکش ساقه آن‌ها در چند حلقه قرار دارد.
- **دولپه‌ای‌ها**
  - همانند حبوبات (*لوبیا، نخود، عدس و...*)
  - آوندهای **چوبی نخستین** ریشه آن‌ها **ستاره‌ای شکل** است.
  - آوندهای چوبی و آبکش نخستین ساقهٔ آن‌ها در یک حلقه قرار دارد.
  - رگبرگ‌های منشعب و گلبرگ‌هایی مضربی از ۲ یا ۵ عدد می‌باشند.
  - پهنک و دمبرگ دارند.
  - در میانبرگ آن‌ها پارانشیم‌های نرده‌ای و اسفنجی وجود دارد.
  - غلاف آوندی رگبرگ آن‌ها فاقد کلروپلاست است (*دوازدهم*).

ساختار گل

گل ساختاری **اختصاصی** برای تولیدمثل **جنسی** نهاندانگان می‌باشد که معمولاً از دو بخش رویشی (*کاسبرگ و گلبرگ*) و زایشی (*پرچم و مادگی*) تشکیل شده است. همهٔ این بخش‌ها روی قسمت **وسیعی** به نام **نهنج** قرار گرفته‌اند. اجزای گل یعنی کاسبرگ، گلبرگ، پرچم و مادگی در **چهار حلقه هم‌مرکز** تشکیل شده‌اند.

نکته
نهنج **همواره وسیع** است که ممکن است صاف، برآمده و یا فرورفته باشد.

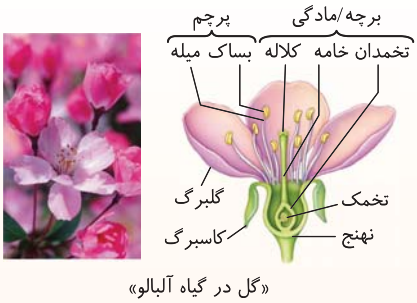
- **قسمت‌های گل**
  - **بخش‌های رویشی گل**
    - ۱) **کاسبرگ‌ها: خارجی‌ترین حلقه گل** می‌باشند که معمولاً سبزرنگ است و حفاظت از سایر قسمت‌ها را بر عهده دارد.
    - ۲) **گلبرگ‌ها:** حلقه دوم می‌باشند که **معمولاً** به رنگ‌های **متفاوت** برای جلب توجه جانوران گرده‌افشان می‌باشند و می‌توانند رایحه‌های متنوعی ایجاد کنند.
  - **بخش‌های زایشی گل**
    - ۱) **پرچم:** حلقه سوم گل می‌باشند که مربوط به بخش **تولیدمثلی نر** بوده و از دو قسمت **بساک** و **میله** ایجاد شده‌اند که دانه‌های گردهٔ نارس و رسیده را ایجاد می‌کنند.
    - ۲) **مادگی:** حلقه چهارم و داخلی‌ترین حلقه گل می‌باشد که مربوط به بخش **تولیدمثلی ماده** گیاه می‌باشد. مادگی از واحدهایی به نام **برچه** به تعداد **یک یا چند** عدد می‌باشد. در مادگی‌های **چندبرچه‌ای**، **ممکن** است **دیواره برچه‌ها** سبب جدا شدن فضای درون مادگی شده باشد.



«مادگی تک‌برچه‌ای و چندبرچه‌ای»

نکته

هر برچه از سه بخش کلاله (*پصر*)، خامه و تخمدان تشکیل شده است که تخمدان و بافت‌های درون آن معمولاً می‌توانند به **میوه** تبدیل شوند. درون تخمدان، تخمک‌ها ایجاد می‌شوند که هرکدام می‌توانند پس از لقاح به همراه بخش‌های درونی خود به دانه گیاه تبدیل شوند. **دانه** عامل پراکنش نهاندانگان در محیط بوده که در میوهٔ آن‌ها به صورت پنهان و نهان شده می‌باشد.



«گل در گیاه آلبالو»

نکته

دقت کنید که گل چهار حلقه می‌تواند داشته باشد که همواره روی نهنج وسیع قرار دارد. مثلاً در شکل مقابل گل کامل آلبالو را مشاهده می‌کنید که هر چهار حلقه را دارد. در این گل، تخمدان پایین‌ترین قسمت گل است که در نهنج فرو رفته است.

نکته

دقت کنید که تخمک در جانوران یک یاختهٔ جنسی ماده برای لقاح است که معادل آن در گیاهان، تخم‌زا می‌باشد. پس تخمک در گیاهان مجموعه‌ای از چند یاختهٔ غیرلقاحی می‌باشد.

نکات گل

۱) به گل‌هایی که **هر چهار حلقه** هم‌مرکز کاسبرگ‌ها، گلبرگ‌ها، پرچم و مادگی را دارند، **گل کامل** می‌گویند ولی اگر یک یا چند حلقه وجود نداشته باشد به آن **گل ناکامل** می‌گویند.

۲) به گل‌هایی که هر دو حلقهٔ **زایشی** یعنی **پرچم و مادگی** را داشته باشند، **گل دوجنسی** می‌گویند. (*اغلب گل‌ها دوجنسی هستند « علوم هشتم »*) ولی گل‌هایی که فقط یکی از حلقه‌های زایشی را دارند یعنی **یا پرچم و یا مادگی** دارند را گل **تک‌جنسی** می‌نامند.

نکته

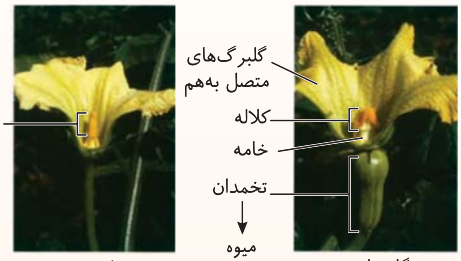
گل‌های گیاه کدو و درخت خرما از نوع تک‌جنسی می‌باشند.

نکته

گل کلاً یک اندام زایشی برای گیاه است که خود می‌تواند از دو بخش رویشی (*کاسبرگ و گلبرگ*) و زایشی (*پرچم و مادگی*) ایجاد شده باشد.

نکته

در گل مادهٔ تک‌جنسی کدو، حلقهٔ داخلی که مادگی است حاوی گامت‌های نر و ماده می‌باشد.



«گل‌های تک‌جنسی در گیاه کدو»

۳) هر **گل کامل** (*هر چهار حلقه را دارد*) **قطعاً گل دوجنسی** می‌باشد چون پرچم و مادگی را دارد ولی **هر گل دوجنسی، الزاماً گل کامل نمی‌باشد** چون ممکن است کاسبرگ و یا گلبرگ و یا هر دو را نداشته باشد.

۴) هر گل **تک‌جنسی**، قطعاً **گل ناکامل** می‌باشد چون حداقل یکی از چهار حلقه گل را ندارد ولی هر گل ناکامل را نمی‌توان تک‌جنسی نامید چون ممکن است گل ناکامل، قسمت هر دو حلقه زایشی را داشته باشد و دوجنسی باشد ولی فاقد بخش‌های گلبرگ یا کاسبرگ باشد.

۵) گل‌هایی که گلبرگ‌های ۳ تایی یا مضرب ۳ دارند، از نهاندانگان تک‌لپه‌ای و آن‌هایی که ۲ یا ۵ یا مضربی از ۲ یا ۵ گلبرگ دارند، نهاندانه دولپه‌ای می‌باشند.

چرخه تولیدمثل جنسی نهاندانگان (دیپلوئید)

معمولاً در چرخه تولیدمثل جنسی زندگی نهاندانگان، مانند سایر گیاهان، دو مرحله دیپلوئیدی ($2n$) و هاپلوئیدی (n) وجود دارد. مرحله دیپلوئیدی شامل بخش‌های $2n$ کروموزومی گیاه می‌باشد. برخی یاخته‌های دیپلوئید این بخش، در نهایت با تقسیم میوز، یاخته‌های هاپلوئید (n) ایجاد می‌کنند. مرحله هاپلوئیدی شامل بخش‌های n کروموزومی گیاه می‌باشد که در نهایت با میتوز به تولید یاخته‌های جنسی نر (*اسپرم*) و ماده (*تخم‌زا*) می‌انجامد.

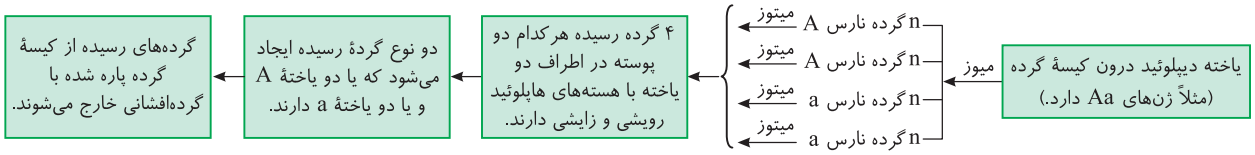
نکته

در گیاهان بی‌دانه (*خزه‌گیان و سرخس‌ها*)، یاختهٔ جنسی نر همانند یاختهٔ جنسی نر در جانوران، تاژک یا **وسیله حرکتی** دارد و می‌تواند در قطره‌های آب یا رطوبت پوشاننده سطح گیاه شنا کند و با حرکت **فعال**، خود را به یاختهٔ جنسی ماده برساند اما در گیاهان دانه‌دار (*برزواگان و نهاندانگان*)، یاختهٔ جنسی نر وسیلهٔ حرکتی ندارد و این گیاهان برای لقاح به آب سطحی نیاز ندارند. یاختهٔ جنسی نر گیاهان دانه‌دار در لولهٔ گرده تشکیل شده درون خامه (*مادگی*) و از طریق این **لوله** خود را به یاختهٔ جنسی ماده (*تخم‌زا*) می‌رساند.

مراحل تشکیل یاختهٔ جنسی نر نهاندانگان (اسپرم)

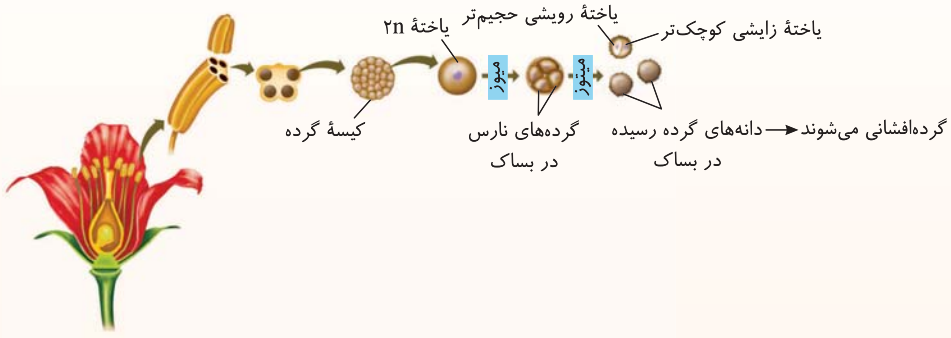
در قسمت گل توضیح دادیم که حلقه سوم اغلب گل‌ها، پرچم یا قسمت تولیدمثلی نر گیاه می‌باشد. هر پرچم از دو قسمت تشکیل شده است، یک قسمت پهن به نام **بساک** و یک قسمت **میله‌مانند** به نام میله که همهٔ آن‌ها روی بخش وسیعی به نام **نهنج گل** قرار گرفته‌اند.

درون هر بساک، تعدادی کیسه‌های گرده (*چهار عدد*) وجود دارد که به‌طور معمول دارای یاخته‌های **دیپلوئید** می‌باشند. این یاخته‌های دیپلوئیدی، **همگی** قدرت **میوز** دارند و از هرکدام چهار گرده **نارس** هاپلوئید ایجاد می‌شود. هرکدام از این گرده‌های نارس ابتدا از هم جدا می‌شوند و سپس در همان کیسهٔ گرده قدرت انجام **میتوز** دارند. وقتی تقسیم میتوز انجام می‌دهند دارای دو یاخته می‌شوند یکی کوچک‌تر به نام یاختهٔ زایشی و یکی با سیتوپلاسم بیشتر به نام یاختهٔ رویشی. هر دو یاختهٔ رویشی و زایشی، هسته‌ای با فرمول ژنتیکی یکسان دارند (*چون حاصل یک میتوز هستند*). همراه با انجام تقسیم میتوز در گرده نارس، تغییراتی در دیواره‌های آن ایجاد می‌شود. در این حالت به این ساختار که یک دیوارهٔ **خارجی منفذدار** و یک دیوارهٔ داخلی دارد و درون آن دو یاختهٔ رویشی و زایشی می‌باشد، یک دانه گرده رسیده می‌گویند. در حقیقت دانهٔ گردهٔ نهاندانگان حاوی دو یاختهٔ هاپلوئید مشابه با سیتوپلاسم نامساوی می‌باشد.



نکته

تشکیل دانه‌های گرده نارس، رسیده، یاخته‌های رویشی و زایشی و ایجاد دو دیوارهٔ دور آن‌ها همگی در درون کیسه‌های گرده و در حقیقت در بساک مربوط به پرچم صورت می‌گیرد ولی دقت کنید که هنوز یاختهٔ جنسی نر (*اسپرم‌ها*) تشکیل نشده است. پس اسپرم‌ها در بخش تولیدمثلی نر یا پرچم ایجاد نمی‌شوند چون گرده‌های رسیده پس از این عمل از حلقهٔ سوم یا پرچم خارج می‌شوند.

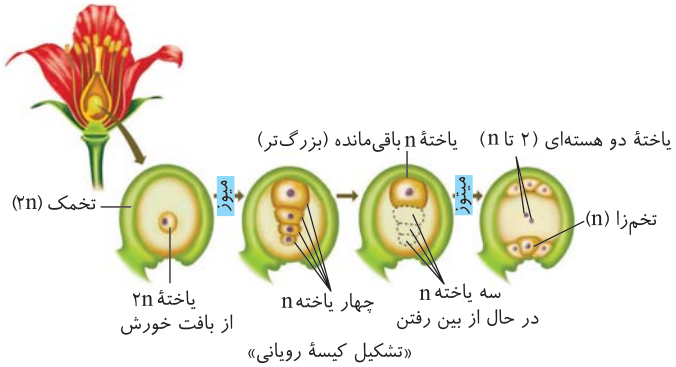


«تشکیل دانه‌های گرده»

مراحل تشکیل یاختهٔ جنسی ماده در نهاندانگان

همان‌طور که گفتیم، داخلی‌ترین قسمت گل، مادگی نام دارد که بخش تولیدمثلی مادهٔ گل می‌باشد. مادگی از **یک یا چند برچه** تشکیل شده است و هر برچه، سه قسمت **کلاله، خامه و تخمدان** دارد.

تخمدان بخش حجیم متورم انتهای **برچه** گل می‌باشد که محل تشکیل **تخمک‌ها** می‌باشد. در هر تخمک، **پوششی دو لایه‌ای** وجود دارد که یاخته‌های ۲n را در برمی‌گیرد. یاخته‌های دیپلوئیدی (۲n) درون تخمک در مجموع بافت پارانشیم خورش را ایجاد می‌کنند. پوشش دولایه‌ای آن‌ها یاخته‌های دیپلوئیدی دارد که بعداً به پوشش یا پوسته دانه با فرمول ژنتیکی مادر تبدیل می‌شود.



«تشکیل کیسهٔ رویانی»

نکته

تخمک ابتدا در گیاهان گل‌دار فقط از یاخته‌های ۲n ایجاد شده است و فاقد یاخته‌های هاپلوئید می‌باشد. پس لطفاً در تست‌ها تخمک گیاهی را با تخمک جانوری متمایز بدانید. تخمک در جانوران گامت مادهٔ هاپلوئید است ولی در گیاهان حاوی یاخته‌های دیپلوئید می‌باشد و مسئول ساخت کیسهٔ رویانی و تخم‌زا (*گامت ماده*) می‌باشد. البته پس از میوز و لقاح دوتایی نیز به آن تخمک گفته می‌شود که به تدریج به دانه تبدیل می‌شود.

در زمان تولیدمثل، فقط **یکی از یاخته‌های خورش** درون هر تخمک، ابتدا بزرگ می‌شود و افزایش حجم می‌یابد. سپس به عنوان **یاخته مولد** با تقسیم **میوز** چهار یاخته هاپلوئیدی ایجاد می‌کند. از این چهار یاخته، سه تا از یاخته‌ها می‌میرند و فقط یکی از آن‌ها که **سیتوپلاسم بزرگ‌تری دارد**، باقی می‌ماند. از نظر علمی این یاخته باقی‌مانده بزرگ، با **سه نسل تقسیم میتوز**، ساختاری به نام **کیسهٔ رویانی** را ایجاد می‌کند ولی در کتاب این عدد را معرفی نکرده است.

البته با توجه به شکل کتاب درسی، درون کیسهٔ رویانی ۸ هسته هاپلوئید با فرمول ژنتیکی یکسان وجود دارد که حاوی ۷ یاخته می‌باشد (*۶ یاخته یک و یک یاخته دو هسته‌ای*). یکی از یاخته‌های تک هسته‌ای به عنوان یاختهٔ جنسی ماده یا تخم‌زا (n) وجود دارد. **یک یاختهٔ بزرگ با دو هسته مشابه در وسط این کیسه قرار دارد** (*۵ یاخته دیگر، سه تا در یک قطب کیسهٔ رویانی و دوتای دیگر در اطراف تخم‌زا در قطب دیگر کیسهٔ رویانی قرار می‌گیرند*).

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ در گیاهان، حاصل تقسیم میوز، **یاخته‌های هاپلوئید** می‌باشند که قدرت لقاح ندارند، ولی یاختهٔ جنسی آن‌ها برخلاف جانوران، حاصل **تقسیم میتوز** می‌باشد (*یاختهٔ جنسی در جانوران با میوز حاصل می‌شود بجز در زنبور نر که اسپرم آن مانند گیاهان با میتوز ایجاد می‌شود*).

۲ درون هر تخمک، تنها یک کیسهٔ رویانی تشکیل می‌شود ولی در هر تخمدان می‌توان تخمک‌های متعدد با کیسه‌های رویانی متعدد یافت.

۳ اطراف هر کیسهٔ رویانی را یاخته‌های باقی‌مانده و میوز نکرده پارانشیم خورش $2n$ احاطه کرده‌اند. پس با توجه به نکتهٔ بالا اگر در تستی عنوان کرد که درون تخمک، کیسهٔ رویانی وجود دارد بیانگر این است که خورش‌های اطراف این کیسه دیگر قدرت میوز ندارند.

۴ به‌طور کلی در یک گل کامل، یاخته‌های هاپلوئید، در بدو تشکیل توسط یاخته‌های بخش دیپلوئیدی احاطه شده‌اند.

۵ اغلب گیاهان دیپلوئید هستند ولی اگر گیاهی نیز غیر از آن بود مثل گل مغربی $4n$، در این صورت تخم‌زا و اسپرم آن $2n$ می‌شود.

۶ در حقیقت علمی در هر کیسهٔ رویانی، ۸ هستهٔ هاپلوئید قرار دارد که ۷ یاخته می‌باشند. ۶ یاخته آن دارای یک هستهٔ هاپلوئید هستند ولی یک یاختهٔ دو هسته‌ای با دو هستهٔ هاپلوئید نیز در **وسط کیسه** وجود دارد. سایر یاخته‌ها می‌توانند به این یاختهٔ بزرگ دوهسته‌ای متصل باشند که در ادامه مراحل لقاح آن‌ها را می‌خوانیم.

۷ از ۷ یاختهٔ کیسهٔ رویانی دو یاختهٔ تخم‌زا (n) و دو هسته‌ای (۲تا n) در لقاح مضاعف با یاخته‌های جنسی نر شرکت می‌کنند.

۸ در گیاهان به یاختهٔ جنسی مادهٔ تخم‌زا گفته می‌شود و تخمک حاوی یاختهٔ $2n$ می‌باشد.

۹ هر برچه ← یک تخمدان دارد
- n تخمک دارد ← n کیسهٔ رویانی ایجاد می‌کند ← هر کیسهٔ رویانی و پارانشیم خورش اطراف آن به یک دانه تبدیل می‌شود.
- معمولاً می‌تواند یک میوه با تعدادی دانه ایجاد کند (*البته در مورد پرتقال تعدادی برچه یک میوه ایجاد می‌کنند*).

۱۰ مادگی
- یک‌برچه‌ای ← یک تخمدان دارد ← یک یا چند تخمک دارد ← یک یا چند دانه می‌سازد.
  - می‌تواند به یک میوهٔ حقیقی تبدیل شود (*هلو*).
  - می‌تواند درون یک میوهٔ کاذب (*سیب*) قرار گیرد. (*گفتار ۳*)
- چندبرچه‌ای ← چند تخمدان دارد ← چند تخمک دارد ← چند دانه می‌سازد.
  - می‌تواند به چند میوهٔ حقیقی تبدیل شود.
  - ممکن است درون یک میوهٔ کاذب قرار گیرد. (*گفتار ۳*)

۱۱ تعدادی یاختهٔ خورش ($2n$) ← یکی میوز می‌کند ← ۴ هستهٔ n ایجاد می‌کند ← سه تا می‌میرند ← یکی که باقی می‌ماند ← میتوز ← یک کیسهٔ رویانی با یک تخم‌زا ایجاد می‌کند ← یک دانه ایجاد می‌کند.

۱۲ هر پارانشیم خورش توانایی ایجاد یک یاخته فعال میوز دهنده، یک کیسهٔ رویانی، یک یاختهٔ جنسی ماده و دو یاخته با قابلیت لقاح (*تخم‌زا و یاخته دو هسته‌ای*) دارد.

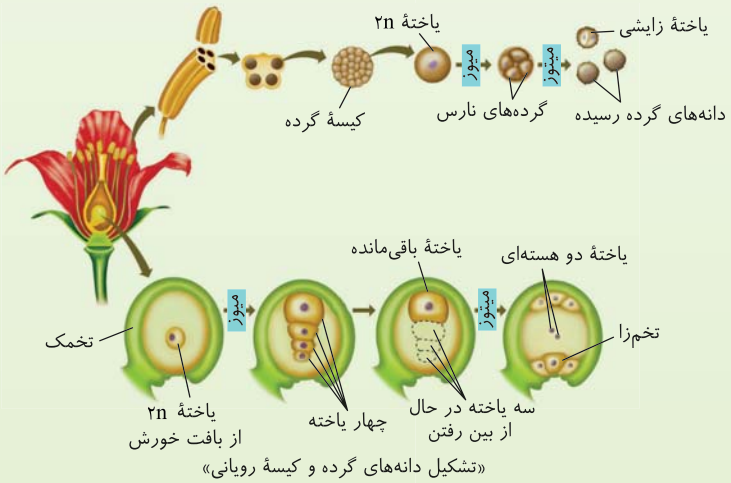
۱۳ در نهاندانگان از هر یاخته خورش که میوز می‌کند، یک یاخته هاپلوئید باقی می‌ماند (*چون سه یاخته می‌میرند*) و در نهایت یک کیسهٔ رویانی با یک یاختهٔ جنسی ماده حاصل می‌شود ولی از هر یاخته دیپلوئید درون کیسه گرده که میوز می‌کند، چهار یاخته یا گرده نارس ایجاد می‌شود و در نهایت پس از میتوز، چهار دانه گرده رسیده حاصل می‌شود که هرکدام یک یاخته زایشی و یک یاخته رویشی با هسته مشابه دارند.

۱۴ هر کیسهٔ رویانی دارای تعدادی (۸ تا) هسته هاپلوئید می‌باشد ولی هر دانه گرده رسیده در نهاندانگان دارای دو هسته هاپلوئید می‌باشد.

۱۵ تخمک و دانهٔ حاصله از آن همانند دانه گرده رسیده دارای دو پوشش می‌باشد.

۱۶ دقت کنید که اغلب گیاهان دیپلوئیدند ولی در گیاهان تتراپلوئید، عدد کروموزومی همه موارد فوق دو برابر می‌شود، یعنی قسمت‌های مثل خورش $4n$ هستند ولی قسمت‌های مثل یاخته‌های جنسی و یاخته‌های رویشی و زایشی $2n$ می‌شوند. در کتاب دوازدهم با گیاهی به نام گل مغربی آشنا می‌شوید که $2n=28$ می‌باشد. در این گیاهان یاخته‌های جنسی و یاخته‌های رویشی و زایشی حاوی کروموزوم‌های همتا می‌باشند.

۱۷ یاختهٔ دوهسته‌ای دارای دو هستهٔ کاملاً مشابه می‌باشد یعنی همانند تخم‌زا دارای **یک نوع** مجموعهٔ کروموزومی است.

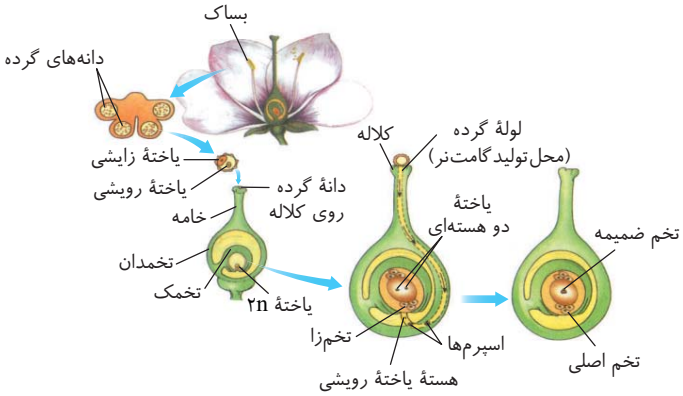


«تشکیل دانه‌های گرده و کیسهٔ رویانی»

گرده‌افشانی و لقاح

درون کیسه‌های گرده با میوز و میتوز، سرانجام دانه‌های گرده زیادی ایجاد می‌شود، سپس همراه با شکوفایی بساک، دیواره بساک می‌شکافد و دانه‌های گرده رسیده در محیط پخش می‌شوند.

دانه‌های گرده دارای دیواره‌هایی با ظاهر متفاوت می‌باشند. با میکروسکوپ **الکترونی** می‌توانیم بفهمیم که دیوارهٔ خارجی همهٔ آن‌ها **منفذدار می‌باشد و ممکن است صاف و یا دارای تزئینات مختلف** بوده باشد. دانه‌های گرده، پس از شکفتن بساک می‌توانند به وسیلهٔ **باد، آب و یا جانوران گرده‌افشان** در محیط پراکنده شوند و از گلی به گل دیگر منتقل شوند. به قرار گرفتن دانه گرده از بساک به روی کلاله **گرده‌افشانی** می‌گویند. وقتی گرده‌افشانی صورت گرفت، اگر دانه گرده روی کلاله گلی **هم‌گونه** خود قرار بگیرد و آن گل ماده قدرت پذیرش دانه گرده هم‌گونه خود را داشته باشد، در این صورت **یاخته رویشی** دانه گرده، با افزایش حجم و تمایز (*نه با میتوز!!*) رشد می‌کند و از رشد آن لوله‌ای به نام **لوله گرده** ایجاد می‌شود. این لوله درون **بافت کلاله و خامه** نفوذ می‌کند و در این حین **یاخته زایشی** دانه گرده، **درون** لوله گرده **میتوز** کرده و دو یاختهٔ جنسی نر یا **اسپرم** (*زامه*) مشابه ایجاد می‌کند. این دو یاختهٔ جنسی نر به سمت تخمدان و کیسهٔ رویانی می‌روند تا یکی از آن‌ها با تخم‌زا (*یاختهٔ جنسی ماده*) لقاح کند و **تخم اصلی ۲n** را ایجاد کند که این تخم به **رویان** یا گیاه اصلی نمو می‌یابد. یک یاختهٔ جنسی نر دیگر نیز درون کیسهٔ رویانی با یاخته دوهسته‌ای آمیزش می‌کند که نتیجهٔ آن تشکیل تخم $3n$ یا تخم ضمیمه است. این **تخم ۳n** با تقسیمات **میتوز** متوالی خود بافتی از **یاخته‌های پارانشیمی** پر از ذخیره غذایی به نام **آندوسپرم** (*درون دانه*) ($3n$) ایجاد می‌کند که **در نهایت غذای مورد نیاز رشد رویان یا گیاه اصلی** $2n$ **می‌باشد.**



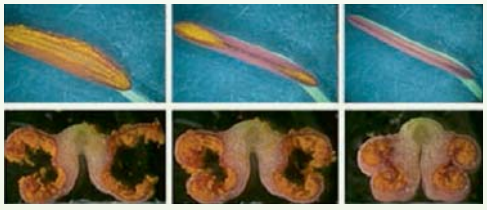
«مراحل تشکیل تخم اصلی و تخم ضمیمه»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

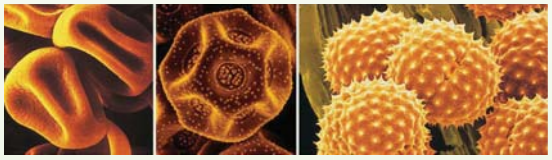
۱ دانه‌های گرده نهاندانگان، درون بساک (*بخش تولیدمثلی نر*) و کیسه‌های گرده آن ایجاد می‌شوند ولی **یاخته‌های جنسی نر** این گیاهان **درون لوله گرده‌ای** حاصل می‌شوند که در **بخش ماده** نفوذ کرده و تولید شده است، چون بعد از گرده‌افشانی ایجاد می‌شوند.

۲ **اسپرم و تخم‌زای نهاندانگان، هر دو در بخش تولیدمثل ماده گیاه، یعنی در مادگی ایجاد می‌شوند.**

۳ در نهاندانگان، یاخته‌های حاصل از میوز، قدرت میتوز دارند تا در نهایت یاختهٔ جنسی را تشکیل دهند. یاخته‌های هاپلوئید حاصل از میتوز در نهاندانگان نر، گرده رسیده هستند که گرده‌افشانی می‌کنند و در زیر میکروسکوپ الکترونی به شکل‌های متفاوتی دیده می‌شوند.



«شکوفایی بساک و رها شدن دانه‌های گرده»



«انواعی از دانه‌های گرده در مشاهده با میکروسکوپ الکترونی»

۴
- هر یاخته ۲n کیسه گرده —میوز→ ۴ گرده نارس —یک میتوز→ ۴ دانه گرده دویاخته‌ای
  - (هر) گردهٔ رسیده
    - یک لولهٔ گرده ایجاد می‌کند.
    - دو اسپرم مشابه درون لولهٔ گرده ایجاد می‌کند.
  - ۴ لوله گرده و ۸ گامت نر ایجاد می‌شود.
- یک یاخته خورش ۲n در هر تخمک —میوز→ ۴ تا یاخته n
  - سه تا می‌میرند
  - یکی می‌ماند —۳ نسل میتوز→ یک کیسهٔ رویانی
    - ۸ هسته که یکی از آن‌ها گامت ماده (تخم‌زا) می‌باشد.
    - سه هستهٔ آن در دو یاخته قدرت لقاح دارد.

۵ در گیاهان دیپلوئید، در کیسهٔ رویانی طی لقاح مضاعف:

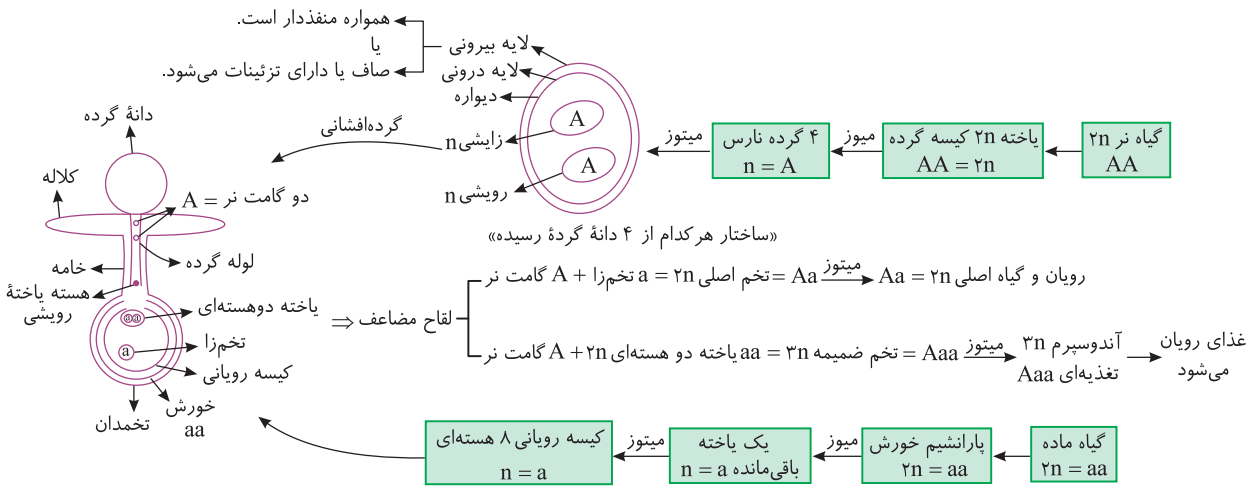
۱) دو اسپرم با یک **نوع مجموعهٔ کروموزومی** در لقاح شرکت می‌کنند.

۲) دو یاختهٔ کیسهٔ رویانی یکی تخم‌زا و یکی دوهسته‌ای که هر دو یک نوع مجموعهٔ کروموزومی دارند در لقاح شرکت می‌کنند.

۳) **پنج مجموعهٔ کروموزومی** از دو نوع در لقاح شرکت می‌کنند.

۶ در لولهٔ گرده سه هسته وجود دارد، یکی هستهٔ یاختهٔ رویشی و دو تا اسپرم که همگی مجموعهٔ کروموزومی مشابهی دارند.

چرخه تولیدمثل جنسی نهاندانگان



نکته

در نهاندانگان هیچ یاختهٔ دیپلوئیدی، غذای خود را از بخش هاپلوئید نمی‌گیرد ولی در دانه اولیه، تخم $2n$ و رویان حاصل از آن در ابتدا غذای خود را از یاخته‌های پارانشیمی $3n$ به نام آندوسپرم می‌گیرند.

دانه اولیه نهاندانگان

تهجه! دوستان عزیزم علائم A یا a در مورد دستورالعمل ژن‌هاست که سال بعد می‌خوانید.

دانه اولیه هر گیاه نهاندانه دارای سه قسمت می‌باشد:

الف) پوسته دانه

همان **پوسته تخمک** می‌باشد که فرمول ژنتیکی گیاه یا والد ماده را دارد و دیپلوئید می‌باشد.

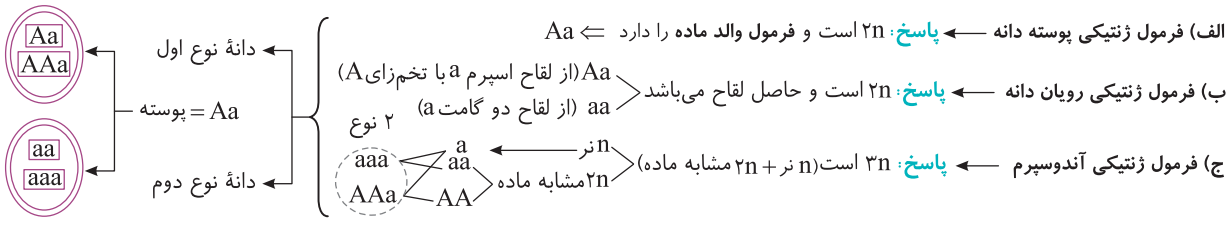
ب) رویان و لپه

محصول میتوز تخم اصلی $2n$ می‌باشد که در هر صفت، یک ژن را از والد نر و یک ژن را از والد ماده گرفته است.

ج) آندوسپرم

محصول میتوزهای متوالی تخم ضمیمه یا $3n$ می‌باشد که بعد از لقاح ایجاد شده است و دارای بافت پارانشیمی با ذخیره غذایی برای رویان می‌باشد. **یاخته‌های** $3n$ **این قسمت، در هر صفت، یک ژن را از والد نر و دو ژن همانند هم را از والد ماده گرفته‌اند.**

مثال: اگر فرمول ژنتیکی یاخته $2n$ کیسه گرده aa و پارانشیم خورش نیز Aa باشد مطلوب است:



نکته

از دو یاخته موجود در دانهٔ گرده نهاندانگان، پس از گرده‌افشانی، یاخته رویشی با نمو و افزایش حجم و بدون وارد شدن به اینترفاز تقسیم، به لوله گرده تبدیل می‌شود ولی هستهٔ یاخته زایشی که کوچک‌تر از رویشی است، با ورود به اینترفاز و تقسیم میتوز به دو یاختهٔ جنسی نر (*اسپرم = زامه*) مشابه هم تبدیل می‌شود.

نکته

تخم $3n$ قدرت میوز ندارد ولی بعد از تشکیل تخم ضمیمه $(3n)$، وقتی چرخه یاخته‌ای برای میتوز آن صورت می‌گیرد، در برخی مواقع همراه میتوز، صفحهٔ یاخته‌ای ایجاد شده و تقسیم سیتوپلاسم نیز صورت می‌گیرد، در نتیجه بافت آندوسپرم حاصله به صورت **جامد** درمی‌آید ولی اگر پس از میتوز، **تقسیم سیتوپلاسم صورت نگیرد**، بافت آندوسپرم به صورت **مایع** ایجاد می‌شود. مثلاً در گیاه نارگیل، بخش گوشتی و سفید رنگ نارگیل، آندوسپرمی است که در آن تقسیم سیتوپلاسم صورت گرفته است و جامد شده است ولی شیر نارگیل درون آن حاصل عدم تقسیم سیتوپلاسم آندوسپرم بوده است و به صورت مایع درآمده است.



«آندوسپرم در نارگیل به حالت مایع و جامد است»

قسمت‌های گیاهی / معادل در نهاندانگان	قسمت تولیدمثلی	محل میوز	محل تولید یاختهٔ جنسی	قسمت هاپلوئید مولد یاختهٔ جنسی	یاختهٔ باقی‌ماندهٔ حاصل از میوز
در نهاندانه نر	پرچم و بساک	کیسه گرده	لوله گرده	دانه گرده دو یاخته‌ای	هر ۴ گرده نارس
در نهاندانه ماده	مادگی و برچه و تخمدان	تخمک جوان درون تخمدان	کیسه رویانی	یاختهٔ باقی‌مانده از میوز خورش	یکی از چهار یاخته که بزرگ‌تر است

قسمت‌های مرحله دیپلوئیدی ($2n$) گیاه:

زیگوت (تخم) ۲n ← رویان و لپه ۲n ← پرچم ← بساک ← کیسه گرده و یاخته‌های میوز دهنده
رویان و لپه ۲n ← مادگی ← برچه ← تخمدان ← تخمک ← خورش ۲n

قسمت‌های مرحله هاپلوئیدی (n) گیاه ← درون بخش دیپلوئید به وجود می‌آیند.

گرده نارس n ← یاخته رویشی و زایشی n ← دانه گرده رسیده n ← گامت نر n
یاخته باقی‌مانده از میوز (n) ← کیسهٔ رویانی n ← تخم‌زا و یاخته‌های دیگر درون کیسهٔ رویانی

نکته

دقت کنید که یاخته دو هسته‌ای درون کیسهٔ رویانی را یاخته دیپلوئید نمی‌نامیم چون تا موقع لقاح دو هسته هاپلوئید مجزا دارد.

گل‌ها و گرده‌افشان‌ها

به **جانورانی** که دانه‌های گرده را از گلی به گل دیگر منتقل می‌کنند، **جانور گرده‌افشان** می‌گویند که می‌توانند از گروه بی‌مهرگان مثل حشرات یا مهره‌دارانی مثل **پرندگان و خفاش‌های** پستاندار باشند. پیکر جانوران گرده‌افشان، **هنگام تغذیه از گل** به دانه‌های گرده آغشته می‌شود و دانه‌های گرده را منتقل می‌کنند.



«گرده‌افشانی به وسیلهٔ جانوران»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) رنگ‌های درخشان (*مخصوصاً در گلبرگ‌ها*)، بوهای قوی و شهد گل‌ها از عوامل جذب جانوران گرده‌افشان به سمت گل‌ها می‌باشند.

۲) گرده‌افشانی برخی از گیاهان، توسط **باد** صورت می‌گیرد، در این گیاهان **تعداد فراوانی گل‌های کوچک** ایجاد می‌شود که این گل‌ها فاقد رنگ‌های درخشان، بوهای قوی و شیره هستند و اغلب به دلیل عدم وجود کاسبرگ و گلبرگ، ویژگی خاصی برای جلب توجه گرده‌افشان‌ها ندارند. (*مثلاً گرده‌افشانی گل‌های درخت گیاه بلوط را باد انجام می‌دهد. گل‌های این درخت کوچک هستند و به‌تعداد فراوان وجود دارند.*)



«گل در درخت بلوط که گرده‌افشانی آن را باد انجام می‌دهد.
تعداد گل در چنین گیاهانی به دلیل نداشتن کاسبرگ و گلبرگ فراوان است.»

۳) گیاهان مورد علاقه زنبورهای عسل **شهد با قند فراوان** دارند و همچنین این گیاهان علائمی نوری دارند که این علائم **فقط** در **نور فرابنفش** توسط زنبور عسل تشخیص داده می‌شود و زنبور (*معمولاً نوع کارگر ماده*) را به سوی شهد آن هدایت می‌کند. مثلاً **گل قاصد** در **نور معمولی** و با چشم ما **زرد رنگ** دیده می‌شود ولی **برای زنبور** که قدرت دیدن **امواج ماوراء بنفش** را دارد به صورت **آبی و قرمز** دیده می‌شود که برای خوردن شهد آن جلب توجه می‌کند.



«گل قاصد آن‌طور که ما می‌بینیم» «گل قاصد آن‌طور که زنبور می‌بیند.»

۴) خفاش‌ها که از پستانداران پروازکننده می‌باشند، گل‌های سفیدی که در شب باز می‌شوند را گرده‌افشانی می‌کنند.

درسنامه

گفتار ۳ از یاخته تخم تا گیاه

تهجه! در این گفتار گیاه اصلی را دیپلوئید در نظر می‌گیریم، مگر اینکه خلاف آن را ذکر کرده باشیم!

همان‌طور که در درسنامه و گفتار قبل ذکر کردیم، در نهاندانگان لقاح مضاعف (*دوتایی*) صورت می‌گیرد و هر دو اسپرم یا یاختهٔ جنسی نر ایجاد شده در **یک لوله گرده** قدرت لقاح دارند. یکی با تخم‌زا یا یاختهٔ جنسی ماده لقاح می‌کند و **تخم اصلی ۲n** را می‌سازد و زمینه‌ساز ایجاد **رویان** و سپس **گیاه اصلی** می‌شود. اسپرم دیگر با یاخته دوهسته‌ای (*که یاخته جنسی نیست*) لقاح می‌کند و **آندوسپرم** ۳n را برای **تغذیه رویان** فراهم می‌کند. پس از این لقاح مضاعف و به کمک پوشش دولایه‌ای تخمک (۲n)، **دانه** تشکیل می‌شود. **دانه**، برای رشد در محیط پخش می‌شود و وسیلهٔ پراکنش این گیاهان در محیط می‌باشد. در این قسمت می‌خواهیم طریقه ایجاد گیاه جدید را از یاخته تخم اصلی و ساختارهای متنوع آن بررسی کنیم.

نکته گرده رسیده و دانه در نهاندانگان به محیط پخش می‌شوند که گرده رسیده برای گرده‌افشانی به روی بخش ماده (*مادگی*) می‌رود ولی دانه است که با پخش خود سبب ایجاد گیاه جدید در محیط می‌شود.

مراحل رشد تخم نهاندانگان

وقتی درون کیسه رویانی دو یاختهٔ جنسی نر با دو یاخته تخم‌زا و دوهسته‌ای ترکیب شدند، تخم اصلی ۲n در همان کیسه رویانی شروع به تقسیم میتوز می‌کند. **اولین تقسیم میتوز** با **تقسیم سیتوپلاسم نامساوی** صورت می‌گیرد. یاختهٔ **بزرگ‌تر**، با میتوز، بخشی که **ارتباط دهندهٔ** رویان و مادر است را ایجاد می‌کند. **یاخته کوچکتر** با تقسیمات میتوز متوالی، زمینه‌ساز ایجاد **رویان** می‌شود. **درون رویان، بزرگ‌ترین قسمت، لپه (ها) می‌باشد. در دو انتهای رویان، مریستم‌های نوک ساقه و ریشه دیده می‌شود.** درون کیسهٔ رویانی، از تقسیم تخم ضمیمه ۳n نیز ذخیره غذایی رویان یا آندوسپرم (*درون دانه*) ایجاد می‌شود. پوستهٔ دولایه‌ای تخمک نیز تغییر می‌یابد و پوسته دانه (۲n) در اطراف آندوسپرم (۳n) و رویان (۲n) ایجاد می‌شود. به کل رویان (۲n)، آندوسپرم (۳n) و پوسته (۲n)، دانه نهان‌دانه می‌گویند که عامل پراکنش گیاه می‌باشد.



«تشکیل رویان در دانه»

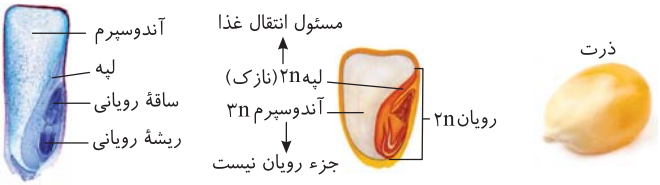
نکته تمام تغییرات گفته شده در تولید دانه گیاه در تخمک و بخش ماده گل صورت می‌گیرد. هر تخمک، یک دانه ولی هر تخمدان می‌تواند تعدادی دانه تشکیل دهد.

نکته اگر به شکل مقابل دقت کنید، یاختهٔ بزرگی که از اولین میتوز تخم اصلی ایجاد می‌شود، همواره در میتوزهای خود یک یاختهٔ بزرگ پایینی ایجاد می‌کند و توسط آن، پایه را به گیاه مادر متصل می‌کند.

انواع دانه‌های رسیده نهاندانگان

الف) دانه‌های آندوسپرم‌دار

به دانه بالغ **تک‌لپه‌ای‌ها**، دانه آندوسپرم‌دار یا اندوخته‌دار می‌گویند. این گروه که شامل **غلاتی** مثل **گندم، جو و ذرت** می‌باشند، دانه‌ای با **یک لپه نازک** دارند که نقش لپه آن‌ها، **فقط انتقال** مواد غذایی از **آندوسپرم به رویان** در حال رشد می‌باشد. در این گیاهان **دانه بالغ** حاوی **پوستهٔ دولایه‌ای** ۲n از یاخته‌های بخش مادهٔ گیاه، یاخته‌های **رویان** ۲n حاصل از لقاح والد نر و ماده (*په، رویان، مریستم رأس ساقه و ریشه*) و یاخته‌های **اندوخته‌دار** (۳n) آندوسپرم می‌باشد. لپهٔ این دانه‌ها، معمولاً در هنگام رشد، در خاک باقی می‌ماند و سبز نمی‌شود.



مثال: اگـر فرمـول ژنتیکـی گل خرما مـاده aa و گل خرما نر بـه صورت AA باشـد، انواع فرمول‌های ژنتیکی پوسـته دانـه، آندوسـپرم و رویان (لپه) چقدر می‌باشد؟ (دقت کنید که با فرمول‌های ژنتیکی در سال آینده بیشتر آشنا می‌شوید.)

گل نر AA ← گامت نر A ⇐ پوسته دانه = ۲n گل ماده = پوسته تخمک = یک نوع aa

گل ماده aa ← گامت ماده a ⇐ رویان (لپه) = ۲n لقاح = Aa = یک نوع

یاخته دوهسته‌ای aa ⇐ آندوسپرم (اندوخته دانه) = ۳n ⇐ یک نوع ⇐ $\overbrace{A\ aa}^{\text{ماده}\ \text{نر}}$

پوسته aa

اندوخته = آندوسپرم Aaa

لپه نازک و رویان = Aa

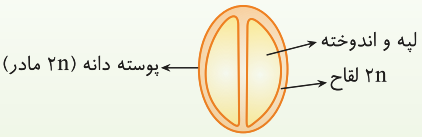
ب) دانه‌های بدون آندوسپرم

بـه دانـه بالـغ نهاندانگان **دولپـه‌ای**، دانه فاقـد اندوخته **یا فاقد آندوسـپرم** می‌گوینـد. در این دانه‌هـای بالغ، **یاخته‌های لپه‌ها**($2n$)**، همه اندوخته غذایی آندوسـپرم را در خود ذخیره می‌کنند** و لپه‌های آن‌ها بزرگ و پر از ذخیره غذایی برای رشـد رویان می‌شـوند. در حالت بلوغ، در این دانه‌هـا یاخته آندوسـپرم $3n$ وجود ندارد و **همـهٔ یاخته‌های دانه بالغ، دیپلوئید می‌باشـند** که شامل پوسته دیپلوئید از تخمک مادر و لپه یا یاخته اندوخته‌دار و رویان $2n$ از لقاح یاخته‌های جنسی نر و ماده می‌باشند.



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ لپه‌ها در دانه‌های بدون آندوسپرم، **هم ذخیره** غذا و **هم انتقال** آن به رویان را انجام می‌دهند. در این دانه‌ها باقی‌ماندهٔ آندوسپرم وجود دارد و سپس از بین می‌رود.



۲ بـه لپه‌ها، **برگ‌هـای رویانی** نیز می‌گویند، چون در **بسـیاری** از گونه‌های دولپه‌ای‌ها و برخی تک‌لپه‌ای‌ها (پیاز)، رشـد محور زیر لپه زیاد اسـت و لپه(ها) آن‌ها از خاک خارج شده و سبز می‌شوند و **به مدت کوتاهی فتوسنتز می‌کنند**. سپس با تولید برگ‌های اصلی و فتوسنتز مناسب لپه‌ها خشک می‌شوند.

۳ برای رشـد دانه‌ها در خاک، **ابتدا ریشـه رویانی** از پوسـته دانه رسـت خارج می‌شود و سپس **سـاقهٔ رویانی** خارج می‌شود. در تک‌لپه‌ای‌ها، معمولاً لپه دانه از خاک خارج نمی‌شـود و فتوسـنتز نمی‌کند ولی در **بسـیاری** از دولپه‌ای‌ها به دلیل رشـد زیاد **سـاقهٔ رویانی** که به صورت محوری در زیر لپه قرار دارد، لپه‌ها از خاک خارج شده و سبز می‌شوند و تا مدت کوتاهی فتوسنتز می‌کنند.

۴ پیاز تک‌لپه‌ای است که لپه آن از خاک خارج می‌شود و پس از مدتی باقی‌ماندهٔ دانهٔ آن در خارج از خاک دیده می‌شود.

مثال: اگر فرمول ژنتیکی گل نر دولپه‌ای Aa و گل ماده آن aa باشد، چند نوع فرمول ژنتیکی برای انواع پوسته دانه، لپه‌ها و یاخته‌های اندوخته‌دار دانه رسیده آن‌ها متصور هستیم؟ (ترکیب با کتاب دوازدهم)

پاسخ: پوسـته هر نوع دانه‌ای از پوسـته تخمک با فرمول ژنتیکی aa حاصل می‌شـود و یک نوع می‌باشـد. در دولپه‌ای‌ها لپه، رویان و اندوخته دانه همگی در یاخته‌هـای $2n$ حاصـل از لقاح وجود دارد که به دو صورت Aa یا aa می‌تواند باشـد چون از لقـاح $Aa \times aa$، فرزندان به دو صورت Aa و aa درمی‌آیند و دانهٔ رسیده (بالغ) آن‌ها یاخته $3n$ آندوسپرم ندارد.

نکته

لپه در دانه تک‌لپه‌ای‌ها، نازک می‌باشـد و فقط نقش **انتقال** مواد غذایی را از آندوسـپرم $3n$ به رویان $2n$ دارد ولی در دانه دولپه‌ای‌ها، لپه‌ها قطور می‌باشـند و آندوسپرمی وجود ندارد، در نتیجه لپه‌ها نقش **ذخیره و انتقال** مواد غذایی به رویان را دارند.

نوع دانه نهاندانگان	پوسته دانه	لپه و رویان	یاختهٔ اندوخته‌دار (آندوسپرم‌دار)
دانه اولیه	$2n$ با فرمول والد ماده	$2n$ حاصل از لقاح	$3n$: n از یاختهٔ جنسی نر؛ $2n$ شبیه هم از یاخته دوهسته‌ای مادر
دانه بالغ تک‌لپه‌ای	$2n$ با فرمول والد ماده	$2n$ حاصل از لقاح	$3n$: n از یاختهٔ جنسی نر؛ $2n$ مشابه از یاخته دوهسته‌ای مادر
دانه بالغ دولپه‌ای	$2n$ با فرمول والد ماده	$2n$ حاصل از لقاح	$2n$ حاصل از لقاح (شبیه لپه)

رویش دانه

همان‌طور که بارها در این فصل توضیح دادیم، پس از لقاح، **پوشش دولایه‌ای تخمک**، دچار تغییراتی می‌شود و معمولاً به بافت **سخت** (*یاخته‌هایی با دیوارهٔ استحکامی مثل اسکلرانشیم*) تبدیل می‌شود که به آن **پوستهٔ دانه** گفته می‌شود. این پوسته، هم **رویان** را از شرایط **نامساعد** محیطی و صدمه‌های فیزیکی و شیمیایی حفظ می‌کند و هم با جلوگیری از ورود **آب و اکسیژن** به دانه، مانع از **رشد سریع** رویان دانه می‌شود.

نکته

بعد از لقاح مضاعف و تشکیل رویان درون دانه، رشد رویان تا مدتی متوقف می‌شود ولی پس از مدتی و در شرایط **مناسب**، رویان میتوز و رشد خود را درونِ دانه از سرگرفته و به صورت **گیاهی** کوچک به نام **دانه زست** از پوسته دانه خارج می‌شود که به آن دانه رویش یافته می‌گویند که در ادامه شرایط رشد دانه‌ها را بررسی می‌کنیم (*دانهٔ رست دانه‌ای است که پوستهٔ دانه شکافته خورده باشد*).

شرایط رشد دانه‌ها

برای رشد دانه باید پوسته محکم آن به تدریج نفوذپذیر و دارای منفذهای بزرگ‌تری شود که این عمل تحت تأثیر عوامل محیطی و حتی آنزیم‌های لوله گوارش برخی جانوران دانه‌خوار در اثر عمل آنزیم‌های گوارشی صورت می‌گیرد. **آب، اکسیژن و دمای مناسب** نیز از عوامل مهم برای رویش دانه می‌باشد. دانه‌ها برای رشد ابتدا باید **آب** جذب کنند و متورم شوند تا پوسته آن‌ها شکاف برداشته و سپس ورود **اکسیژن کافی** برای تنفس هوازی مناسب و فعالیت دوباره رویان فراهم شود. سپس رویان با استفاده از ذخایر غذایی موجود در آندوسپرم (*تک‌لپه‌ای‌ها*) یا غذای ذخیره شده در لپه‌های قطور شده (*دولپه‌ای‌ها*) دوباره رویش خود را به عنوان دانهٔ رست از سر بگیرد.

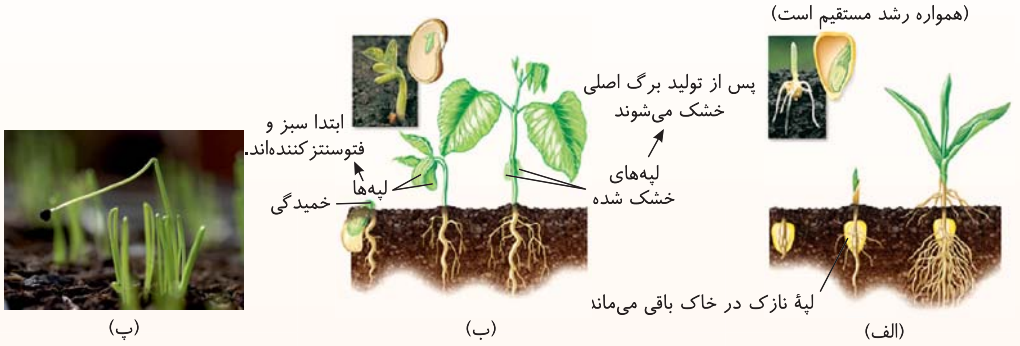
در **هر دانه‌ای** ابتدا تقسیم سریع مریستم‌های **ریشه** از زیر رویان صورت می‌گیرد و ریشه رویانی (*ریشچه*) اولین قسمتی است که در رشد هر دانه‌ای از پوسته دانه خارج می‌شود که حاوی سه سامانه بافتی **پوششی** (*اپیدرمی*)، **زمینه‌ای و آوندی** می‌شود. پس از ریشه رویانی، از رشد و تقسیم **سریع مریستم رأسی** دیگری در بالای رویان، **ساقه رویانی** ایجاد می‌شود که مانند ریشه سه سامانه بافتی پوششی (*اپیدرمی*)، زمینه‌ای و آوندی دارد. در این حالت به گیاه اولیه دانهٔ رست گفته می‌شود.

در رشد دانه تک‌لپه‌ای و **برخی دولپه‌ای‌ها مثل نخود**، لپه یا لپه‌ها از خاک خارج نمی‌شوند و سبز نمی‌شوند که به رشد آن‌ها **رویش زیرزمینی** می‌گویند.

در حالی که در بسیاری از دانه‌های دولپه‌ای مثل لوبیا و برخی تک‌لپه‌ای‌ها مثل **پیاز**، لپه(*ها*) به همراه رشد زیاد ساقه، از خاک خارج می‌شوند و سبز می‌شوند و تا **مدت کوتاهی** لپه(*ها*) یا برگ‌های رویانی فتوسنتز می‌کنند. به رشد این دانهٔ رست‌ها که لپهٔ آن‌ها از خاک خارج می‌شوند، رویش روزمینی می‌گویند. (*در رویش روزمینی، پس از ایجاد برگ‌های اصلی و خودستز مناسب گیاه، لپه‌ها خشک می‌شوند.*)

نکته

رشد دانه رست تک‌لپه‌ای‌ها در خاک همواره به صورت عمودی و راست می‌باشد ولی در رشد دانه دولپه‌ای‌ها ابتدا خمیدگی دیده می‌شود و سپس به حالت مستقیم درمی‌آیند.



«(الف) رویش **زیرزمینی** دانهٔ ذرّت (ب) رویش **روزمینی** دانهٔ لوبیا و پیاز است و (پ) باقی‌ماندهٔ دانهٔ پیاز در شکل دیده می‌شود»

نکته

هر گیاهی ابتدا مراحل رویشی رشد خود را با تولید ریشه‌های جدید، ساقه‌ها، شاخه‌ها و برگ‌ها طی می‌کند و سپس براساس **محتوای ژنتیکی** و در صورت مناسب بودن شرایط محیطی، مرحله زایشی یعنی تولید گل، میوه و سرانجام دانه خود را کامل می‌کند. در این حالت مریستم رویشی به مریستم زایشی تبدیل شده است.

میوه

همان‌طور که تا اینجا متوجه شدید، درون هر **برچه** قسمتی به نام **تخمدان** وجود دارد که در آن **تعدادی تخمک** می‌تواند تشکیل شود. **تخمک‌ها** به همراه بافت‌های درون آن و پوسته آن به **دانه‌ها** تبدیل می‌شوند. **دانه** عامل پراکندگی **نهاندانگان** در محیط می‌باشد.

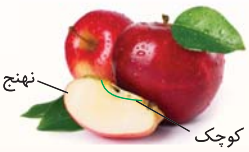
از طرفی باید بدانید که میوه محل نگهداری دانه‌ها می‌باشد و به همین دلیل به آن‌ها نهاندانه می‌گویند. **میوه** از رشد و نمو **بقیه قسمت‌های گل** تشکیل می‌شود که در **بسیاری** از نهاندانگان همانند درخت **هلو**، میوه از رشد **تخمدان** ایجاد می‌شود که به آن‌ها **میوه حقیقی** گفته می‌شود ولی در انواعی از گیاهان، میوه‌ها از **قسمت‌های دیگر گل** نیز ایجاد می‌شوند که به آن‌ها میوهٔ **کاذب** گفته می‌شود. مثلاً میوهٔ **سیب**، به صورت **کاذب** از رشد **نهنج** و پس از **ریزش گلبرگ‌ها** ایجاد می‌شود.

نکته

تمام بخش درون میوهٔ حقیقی از تخمدان و دانه‌ها تشکیل شده است ولی در میوهٔ کاذب، تخمدان فقط بخش کوچکی از درون میوه را اشغال کرده است.



«میوه درخت هلو حاصل رشد تخمدان است.»



«میوه درخت سیب حاصل رشد نهنج است.»

نکته

در برخی میوه‌ها فضای تخمدان و میوه با دیواره برچه‌ها به‌طور کامل از هم جدا شده‌اند (*مانند خفل دلمه و پرتقال*).



نقش میوه‌ها در گیاه

۱) **حفظ** دانه‌ها

۲) **پراکنش** دانه‌ها

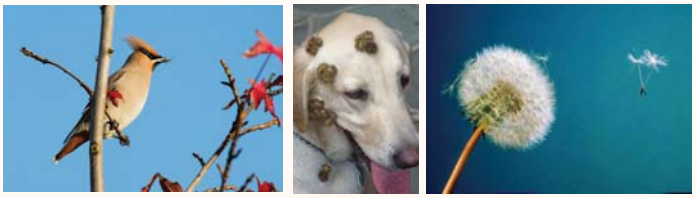
چون دانه عامل پراکنش نهاندانگان می‌باشد، میوه‌های این گیاهان علاوه بر حفظ دانه‌ها در پراکنش آن‌ها در محیط نیز نقش دارند. مثلاً **میوه‌های نارس معمولاً مزه ناخوشایندی** برای جانوران گرده‌افشان دارند. در نتیجه تا زمانی که رسیده نشوند، **دانه‌های نارس** را در خود از خطر خورده شدن توسط جانوران حفظ می‌کنند. با خورده شدن میوه‌های رسیده توسط جانوران، دانه‌های رسیده آن‌ها نیز می‌توانند در محیط پخش شوند و سبب انتشار گیاه در محیط شوند.

نکته

رنگ‌های درخشان **میوه‌های رسیده** (*در اثر کاروتنوئید*) در جلب توجه جانوران برای خوردن آن میوه‌ها نقش دارد. از طرفی برخی دانه‌های درون میوه‌ها پوسته بسیار سخت و محکمی دارند که حتی با آنزیم‌ها و شیره گوارشی جانور نیز تجزیه نمی‌شوند و این دانه‌ها با مدفوع جانوران در محیط پخش می‌شوند.

نکته

برخی میوه‌ها و دانه‌های کوچک می‌توانند با باد و آب و یا حتی با چسبیدن به پیکر جانوران در محیط جابه‌جا شوند و سبب پخش گیاه در محیط شوند.


«پراکَنش میوه‌ها»

◀ باد، آب و جانوران در پخش دانهٔ گرده، دانه و میوهٔ نهاندانگان مؤثر هستند.

نکته

هورمون **اتیلن** با زودرس کردن میوه‌ها، شرایط را برای انتشار دانهٔ گیاهان سریع‌تر فراهم می‌کند (*فصل ۹*).

میوه‌های بدون دانه (بدون هسته)

همان‌طور که ذکر شد، دانه از لقاح یاخته‌های جنسی نر (*اسپرم*) و ماده (*تخم‌زا*) گیاهان ایجاد می‌شود و سپس پوسته تخمک دور آن قرار می‌گیرد و دانه رسیده ایجاد می‌شود.

الف) اگر به هر روشی بتوانیم مانع لقاح و تشکیل رویان شویم (*مثل اضافه‌کردن تنظیم‌کننده یا هورمون رشد جیبرلین یا آکسین قبل از گرده‌افشانی که در فصل بعد به آن‌ها می‌پردازیم*)، در پی رشد تخمدان و یا سایر بخش‌های گل، میوه‌ای بدون دانه یا در اصطلاح رایج **بدون هسته** ایجاد کرده‌ایم که اغلب مردم این میوه‌ها را به میوه‌های دانه‌دار ترجیح می‌دهند.

ب) در برخی مواقع مانند برخی موزها، لقاح مضاعف یاخته‌های جنسی صورت می‌گیرد اما **رویان دانه** قبل از **تکمیل** مراحل رشد و نمو می‌میرد و **دانه‌های نارس ریز با پوستی نازک** ایجاد می‌شود که به آن‌ها نیز با اینکه دانه نارس دارند، ولی **میوه بدون دانه** گفته می‌شود.

ج) برخی از موزها را در فصل ۶ خواندیم که تریپلوئید هستند ($3n$). در این گیاهان، رویان $2n$ از بین رفته است و رشد آندوسپرم سبب ایجاد آن شده است. یعنی خود گیاه دیپلوئید بوده اما میوهٔ آن بیشتر از یاخته‌های سه‌لاد تشکیل شده‌اند.



«در بعضی موزها دانه‌های ریز و نارس دیده می‌شوند»

نکته

میوه‌های بی‌دانه
- بدون لقاح یاخته‌های جنسی ← فاقد هر نوع دانه‌ای هستند (*پرتقال بی‌دانه*).
- با لقاح یاخته‌های جنسی ← دانه‌های نارس ریز **دارند** (*موز*).

طول عمر گیاهان

گیاهان گونه‌های مختلف می‌توانند طول عمری از **چند روز** تا **چند قرن** داشته باشند که معمولاً هر چه استحکام گیاه بیشتر باشد، طول عمر بیشتری دارد مثلاً طول عمر درختان که رشد پسین (*مریستم پسین = کامبیوم*) دارند و چوبی می‌شوند، معمولاً از طول عمر گیاهان علفی (*غیردرختی*) که معمولاً فقط رشد نخستین دارند بیشتر است.

انواع گیاهان از نظر طول عمر

الف) گیاهان یک‌ساله

این گیاهان در مدت یک سال یا حتی کمتر، همه مراحل **رویشی** خود را کامل کرده و در صورت **شرایط محیطی مناسب یک‌بار گل** و **دانه** می‌دهند و تولیدمثل می‌کنند و سپس می‌میرند. از آن‌ها می‌توان گیاهان زراعی مثل **گندم** و **جو** و یا از **خیار** می‌توان نام برد.

در این گیاهان، در سال اول مریستم رویشی به زایشی تبدیل می‌شود.


«خیار»

ب) گیاهان دوساله

از این گیاهان که می‌توان از آن‌ها شلغم، چغندر قند و ... را نام برد، دو سال عمر می‌کنند، سال اول **فقط مرحله رویشی** با تشکیل ریشه و ساقه و برگ وجود دارد و مواد حاصل از فتوسنتز سال اول آن‌ها در **ریشه** آن‌ها به عنوان **محل مصرف** مواد آلی ذخیره می‌شوند. در سال دوم مرحله **رویشی و زایشی** صورت می‌گیرد بدین صورت که **ساقه گل دهنده جدید** ایجاد می‌شود و **ریشه آن‌ها** به عنوان **محل منبع**، مواد ذخیره کرده سال اول را برای تشکیل **گل و دانه** مصرف می‌کند.


«شلغم»

نکته ریشهٔ گیاه دوساله، سال اول به عنوان محل مصرف (*ذخیرهٔ مواد آلی*) و سال دوم به عنوان محل منبع (*دهندهٔ مواد آلی*) عمل می‌کند.

نکته شلغم، غده‌های ریشه‌ای دارد و چغندرقند، آنتوسیانین‌های رنگی پاداکسنده در ریشهٔ خود دارد.

ج) گیاهان چندساله

این گیاهان هم می‌توانند از نوع **علفی** باشند و هم نوع درختی یا درختچه‌ای چوبی دارند. این گروه چند سال به **فعالیت رویشی** خود ادامه می‌دهند و **برخی** از آن‌ها **هر ساله** می‌توانند **گل، دانه و میوه** تولید کنند. درخت و درختچه‌های آن‌ها ممکن است حتی قرن‌ها زندگی کنند و گل بدهند.


«زنبق»

نکته زنبق گیاهی چندساله علفی است که زمین‌ساقه یا ریزومی دارد که به عنوان ساقهٔ زیرزمینی افقی جوانه‌دار در خاک باقی می‌ماند.

نکته اکثر گرده‌افشان‌ها حشرات هستند که گرده‌افشانی بسیاری از گیاهان کشاورزی و درختان میوه را انجام می‌دهند.


«از رشد جوانه‌های رویش یافته از زمین‌ساقه، گیاهان جدیدی ایجاد می‌شوند.»

فصل نهم
پاسخ گیاهان به محرک‌ها

درسنامه

مقدمه:

در این فصل می‌خواهیم پاسخ اندام‌ها و یاخته‌های مختلف گیاه به محرک‌های **بیرونی** مثل تغییر شرایط آب و هوایی محیط را بررسی کنیم. مثلاً چرا ساقه با نورگرایی مثبت به سمت بالا و ریشه با زمین‌گرایی مثبت و نورگرایی منفی به سمت پایین رشد می‌کنند؟ چرا با تغییر فصل و در نتیجهٔ آن **تغییر دما و طول روز** گل‌دهی هر گیاه نهاندانه با گیاه دیگر متفاوت می‌شود؟ چرا برگ‌های برخی گیاهان با تغییر فصل می‌ریزند یا ایجاد می‌شوند؟ و در انتها می‌خواهیم بررسی کنیم که چرا گیاه به تغییرات محیطی واکنش می‌دهد و آیا در این پاسخ، همانند جانوران عوامل تنظیم‌کننده شیمیایی نیز مؤثر است؟

نکته

دقت کنید که گل ویژه نهاندانگان است و کتاب درسی ما هم فقط به مطالعه این گروه از گیاهان می‌پردازد ولی در تست‌ها دقت کنید که وقتی می‌گوید **همه گیاهان** منظور فقط نهاندانگان **نیست**!!

گفتار ۱ تنظیم‌کننده‌های رشد در گیاهان (هورمون‌های گیاهی)

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی همان هورمون‌های گیاهی هستند که در **قسمت‌های مختلف** گیاه تولید می‌شوند و در قسمت‌های مختلفی نیز اثر می‌گذارند. به همین دلیل بسیاری از محققین معتقدند که نباید نام هورمون را برای آن‌ها در نظر گرفت چون هورمون‌های جانوری **در یک محل تولید و بر یک محل مؤثر واقع می‌شوند** ولی فعلاً از واژه هورمون‌های گیاهی یا *Phytohormone* برای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی استفاده می‌کنند.

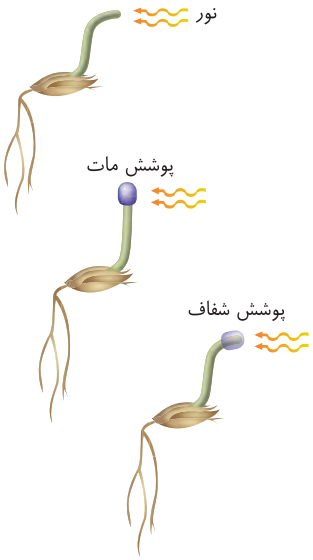
نکته

برخی هورمون‌های گیاهی در غلظت‌های مختلف سبب تحریک یک اندام و یا مهار اندام دیگری می‌شوند.

تاریخچه پیدایش اولین هورمون گیاهی (اکسین)

الف) آزمایش داروین

با توجه به اینکه از سال‌های بسیار دور **خمش ساقه و برگ گیاهان** به سمت نور، توجه محققین را به خود جلب کرده بود، **چارلز داروین** (*پدر علم تغییر گونه جانداران*) به همراه پسرش فرانسیس از اولین کسانی بودند که به پدیده **حرکت در گیاهان** و مطالعه روی علت خمش ساقه گیاه به سمت نور پرداختند. آن‌ها مشاهده‌هایی را برای این موضوع گیاهی، طراحی و اجرا کردند که بیشتر مطالعات آن‌ها، روی بررسی رشد **دانه رستـ** یا دانه اولیه خارج شده از پوسته در غلات (*گندم، جو، ذرت و...*) صورت گرفت که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.



۱) آزمایش اول

آن‌ها مشاهده کردند که وقتی نور به نوک ساقه دانه رستـ گیاه گندمی یا همان ساقه رویانی آن برخورد می‌کند، هم باعث رشد ساقه به سمت بالا می‌شود و هم باعث **خمش** آن به سمت **نور یک‌جانبه** می‌شود.

۲) آزمایش دوم

با توجه به شکل مقابل، داروین متوجه شد که اگر **نوک ساقه** رویانی را با غلافی از **پوشش مات که** نور از آن عبور نمی‌کند بپوشاند و نور را به نوک و مناطق پایین‌تر از نوک ساقه بزنند، **در ساقه مورد نظر نه رشد صورت می‌گیرد و نه خمش**!!

۳) آزمایش سوم

آن‌ها وقتی نوک ساقه رویانی را با **غلاف شفافی** که نور را عبور می‌دهد پوشاندند و نور یک‌جانبه را به ساقه تاباندند، فهمیدند که چون این غلاف شفاف است و نور به نوک ساقه برخورد می‌کند، ساقه رشد کرده و به سمت نور خمش می‌یابد.

نتیجه: فهمیدند که **رسیدن نور** به **نوک** ساقه، برای رشد و خمش آن شرط اصلی است.

● ۴) آزمایش چهارم



آن‌ها وقتی **مناطق زیر نوک ساقه** را با پوشش **مات** پوشاندند و نوک ساقه را در معرض نور قرار دادند، پس از تابش نور یک‌جانبه به نوک ساقه، دیدند که ساقه رشد کرده و به سمت نور خمش می‌یابد.

نکته

داروین در آزمایش خود روی دانه رست **چمن** به این نتیجه‌گیری رسید که **نور همه‌جانبه** (نه یک‌جانبه!!) سبب رشد دانه رست به‌طور **مستقیم** و بدون خمش می‌شود ولی **نور یک‌جانبه** روی گندمیان آن‌ها را به سمت فهمیدن **رشد همراه با خمش** گیاه برد.

● نتیجه‌گیری داروین

با آزمایشات انجام شده آن‌ها به این نتیجه رسیدند که **فقط** وقتی **نور** یک‌جانبه به صورت **مستقیم یا عبور از پوشش شفاف** به **نوک ساقه** برخورد کند، می‌تواند **سبب رشد و خمش** ساقه گیاه به سمت نور شود. از طرفی **نوک ساقه** در خمش آن نقش مهمی دارد و برخورد نور به مناطق پایین‌تر از نوک در خمش ساقه تأثیرگذار نیست.

نکته

داروین از **اکسین** و یا **هر ماده‌ای** که در نوک ساقه ساخته شود و سبب نورگرایی آن شود اطلاعی نداشت.

● نورگرایی

به رشد جهت‌دار **اندام‌های** گیاهی که عامل ایجاد این خمش یا حرکت **نور** باشد نورگرایی می‌گویند که در ساقه چون به سمت نور خمیده می‌شود این نورگرایی را **مثبت** و در ریشه این پدیده را نورگرایی منفی و برعکس زمین‌گرایی مثبت می‌گویند.

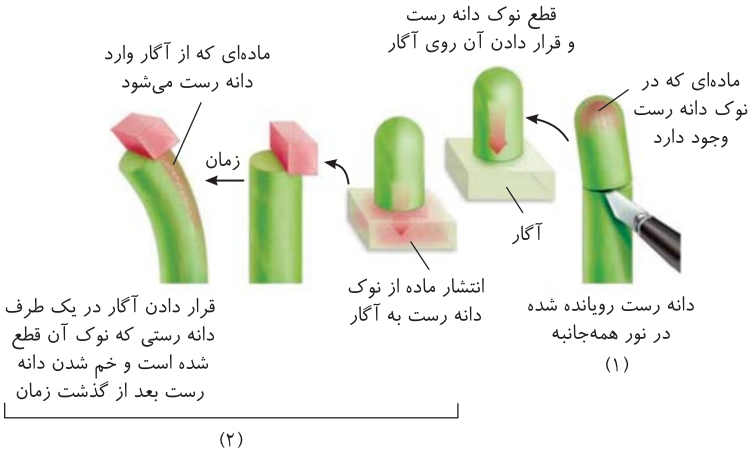
ب) آزمایشات پس از داروین

پس از داروین محققین زیادی روی علت نورگرایی آزمایش کردند (که در راس آن‌ها **ثریتزونت** بود). **آن‌ها متوجه شده بودند که در حضور نور، نوک ساقه ترکیبی شیمیایی ایجاد می‌کند که سبب رشد ساقه و خمش منطقه زیر نوک ساقه به سمت نور می‌شود.**

● مراحل آزمایش

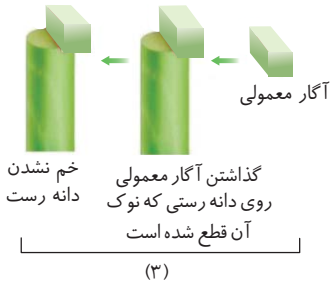
۱) دانه رستِ گیاهی از نوع غلات را در مقابل نور همه‌جانبه قرار دادند و مشاهده کردند که ساقه آن رشد می‌کند ولی خمش ندارد. سپس نوک ساقه را قطع کردند و مشاهده کردند که قسمت باقی‌مانده ساقه **رشد و خمش ندارد** (نتیجه: وجود نوک ساقه برای رشد و خمش الزامی است).

۲) بعد قطعه آگاری را زیر نوک ساقه جدا شده قرار دادند تا مواد درون نوک ساقه وارد آگار شود. سپس در **تاریکی**، این آگار را روی **یک طرف نوک ساقه** قرار دادند و مشاهده کردند که سبب خمش ساقه به سمت مقابل می‌شود در حالی که نوری در آزمایش وجود ندارد. وقتی این آگار را به‌طور مساوی روی کل نوک ساقه قرار دادند، دیدند که ساقه رشد بدون خمش دارد.



نتیجه: با این آزمایش ثابت کردند که در نوک ساقه ماده‌ای در **حضور نور** ساخته می‌شده است که این ماده به هر طرف ساقه که بیشتر برسد آن طرف رشد بیشتری می‌کند و ساقه را پس از مدتی به سمت مخالف گرایش می‌دهد ولی اگر این ماده به صورت مساوی در دو سمت ساقه پخش شود ساقه رشد بدون خمش دارد.

۳) وقتی محققین آگار معمولی که با نوک ساقه قطع شده تماسی نداشته است را روی ساقه بدون نوک قرار دادند، مشاهده کردند که حتی در حضور نور نیز این ساقه مربوط به دانه رست رشد و خمش پیدا نمی‌کند و به این نتیجه رسیدند که ماده ساخته شده در نوک سبب رشد و خمش دانه رست شده است.



● نتیجهٔ کلی

محققین متوجه شدند که **نور**، سبب تولید **ماده‌ای** در **نوک** ساقه دانه رست شده است. هر طرفی از ساقه که این ماده را بیشتر داشته باشد، **یاخته‌های آن رشد طولی بیشتری دارد** و سبب خم شدن ساقه به سمت مقابل می‌شود. در تاریکی این ماده در نوک ساقه ایجاد نشده و رشد و خمش صورت نمی‌گیرد. از طرفی متوجه شدند که **نوک ساقه خمش ندارد** بلکه این منطقه **زیر نوک ساقه** است که در اثر عمل ماده ساخته شده در نوک، سبب خمش می‌شود.

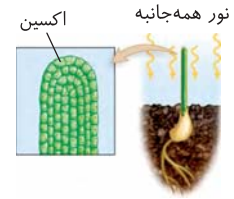
نکته

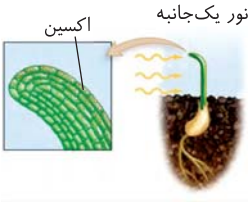
با توجه به اینکه ساقه به سمتی که نور یک‌جانبه به آن می‌تابد خمش می‌یابد، نتیجه می‌گیریم که ماده تولیدی در نوک ساقه در بخش **سایه** (دور از نور) ساقه تراکم **بیشتری** دارد و سبب **رشد بیشتر** یاخته‌های **منطقه سایه** (دور از نور) می‌شود تا در نتیجه ساقه به سمت نور خمش یابد (مثلاً اگر یک پای ما از پای دیگر رشد بیشتر داشت بدن ما ناگزیر بود همراه رشد خود به‌تدریج به سمت مقابل که رشد کمتری دارد خم شود). در حقیقت اختلاف **اندازه** (نه تعداد!) یاخته‌های دو طرف نوک ساقه سبب خمش در هنگام رشد به سمت نور یک‌جانبه شده است.

نکته

آگار ترکیبی ژله‌ای است که از جلبک قرمز به دست می‌آید و در ترکیب با آب، ژله درست می‌کند. از این ماده در صنایع غذایی، دارویی، کشت‌بافت و یاخته و صنایع دیگر استفاده می‌شود.

جمع‌آوری آزمایشات و شناسایی ماده خمش دهنده ساقه





الف) محققین دریافته بودند که اگر نور **غیر یک‌جانبه** یعنی **نور منتشر شده یا همه‌جانبه** را به ساقه و نوک آن بتابانند، ماده شیمیایی ساخته شده در نوک ساقه، به مقدار مساوی در دو طرف نور دیده و سایه نوک ساقه پخش می‌شود و در نتیجه ساقه به صورت مستقیم رشد می‌کند و خمشی نمی‌یابد.

ب) وقتی محققین **نور یک‌جانبه** را به دانه رست می‌تاباندند متوجه **رشد و خمش** ساقه می‌شدند و فهمیدند که **ماده ساخته شده در نوک ساقه** بیشتر تمایل دارد در منطقه **نور ندیده یا سایه** نوک ساقه و زیر آن جمع شود و سبب رشد طولی بیشتر یاخته‌های **زیر منطقه نوک** در منطقه **سایه** شوند. در نتیجه ساقه رشد کرده به سمت نور خمش می‌یابد. (اگر نور را از سمت راست بتابانیم، ماده مورد نظر (اکسین) بیشتر در سمت چپ ساقه جمع شده و مناطق سمت چپ در زیر نوک، رشد طولی یاخته‌های بیشتری از سمت راست خواهند داشت و ساقه همراه رشد به سمت نور یک‌جانبه یعنی به سمت راست خم می‌شود.)

نتیجه‌گیری

۱) نور در هر حالتی، یک‌جانبه یا همه‌جانبه، سبب **تولید** ماده‌ای شیمیایی در نوک ساقه می‌شود.

۲) **نور یک‌جانبه** سبب حرکت ماده مورد نظر (اکسین) از سمت نور دیده به سمت سایه (دور از نور) می‌شود و تراکم این ماده در سمت سایه (نور ندیده) بیشتر می‌شود.

۳) هر قسمتی که این ماده شیمیایی (اکسین) را بیشتر دارد (منطقه سایه) رشد طولی یاخته‌های نوک و زیر نوک ساقه در آن قسمت بیشتر است.

۴) منطقه زیر نوک ساقه به سمت نور خمش می‌یابد نه خود نوک ساقه!!

۵) اگر ماده مورد نظر (اکسین) به‌طور مساوی در اثر نور دوطرفه در نوک و مناطق زیر نوک ساقه تجمع یابند، فقط سبب رشد ساقه می‌شوند ولی خمشی و نورگرایی صورت نمی‌گیرد چون یاخته‌های همه قسمت‌های نوک و مناطق زیر آن رشد طولی یکسانی دارند.

کشف اکسین

ماده مورد نظری که تا حالا در مورد آن بحث کردیم را دانشمندان **اکسین** نامیدند که به معنی **رشد کردن** می‌باشد. پژوهش‌های بیشتر سبب پیدا شدن انواعی از ترکیبات **مشابه اکسین** در گیاهان **متفاوت** شد که همگی اثرات مشابهی در رشد طولی یاخته دارند و به همین دلیل به آن‌ها **اکسین‌ها** گفته می‌شود.

نکته

کشف اکسین جرقه و سرآغازی برای شناسایی سایر ترکیبات مؤثر در رشد و فعالیت گیاهان شد که به آن‌ها تنظیم کننده‌های رشد یا هورمون‌های گیاهی می‌گویند که برخی مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها **محرک در رشد** هستند و برخی مانند **اتیلن و آبسیزیک اسید**، **بازدارنده‌های رشد** می‌باشد.

هورمون‌های محرک رشد

۱) اکسین‌ها **۲)** سیتوکینین‌ها **۳)** جیبرلین‌ها

نکته

این هورمون‌های محرک فرایندهای رشدی مثل تحریک **تقسیم یاخته‌ای** (سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها) یا محرک **رشد طولی یاخته‌ها** (اکسین‌ها و جیبرلین‌ها) و ایجاد و حفظ اندام‌ها را انجام می‌دهند ولی براساس **مقدار و محل اثر** هرکدام در برخی حالات و شرایط ممکن است **نقش بازدارندگی** نیز داشته باشند که در ادامه به تفکیک اعمال آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

اکسین‌ها

محل تولید

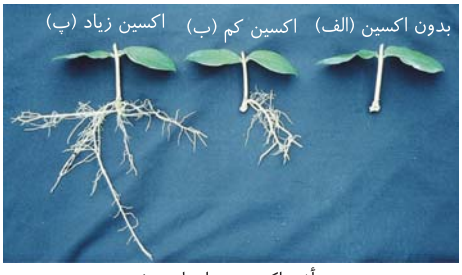
نوک ساقه‌ای که در معرض نور قرار بگیرد و دانه‌های در حال نمو (دانه‌رست) می‌توانند اکسین تولید کنند.

محل اثر و نقش

الف) در نور همه‌جانبه (غیر یک‌جانبه) و با افزایش رشد طولی یاخته‌ها سبب رشد طولی ساقه شده ولی خمشی ایجاد نمی‌کند.

ب) در نور یک‌جانبه در سمت سایه یا نور ندیده زیر نوک ساقه جمع می‌شود و سبب رشد طولی بیشتر یاخته‌های آن منطقه شده و علاوه بر رشد ساقه در خمش آن به سمت نور دخالت دارد.

ج) اکسین زیاد سبب تحریک ریشه‌زایی در قلمه‌ها می‌شود به همین دلیل با استفاده از قلمه برای **تکثیر رویشی** استفاده می‌شود. در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که بدون اکسین، در قلمه‌ها ریشه تولید نمی‌شود و با اکسین کم، ریشه‌ای با انشعابات کم ایجاد می‌شود. پس مقدار رشد ریشه با مقدار اکسین آن رابطهٔ مستقیم دارد.



«تأثیر اکسین بر ایجاد ریشه»

د) مانع رشد جوانه‌های جانبی و تولید سیتوکینین، شاخه، گل و برگ می‌شود که به آن چیرگی رأسی می‌گویند (*یعنی سبب رشد جوانه انتهایی و مانع رشد جوانه جانبی می‌شود*).

ه) اکسین عامل اصلی چیرگی رأسی است. در ادامه می‌خوانید که وقتی اکسین تولید شده از جوانهٔ رأسی وارد جوانهٔ کناری می‌شود، در جوانهٔ کناری تولید **سیتوکینین** را مهار ولی تولید **اتیلن** را افزایش می‌دهد تا مانع ایجاد انشعابات در اندام‌های هوایی شود.

و) سبب **ایجاد میوه‌های بدون دانه** و **درشت کردن میوه‌ها** می‌شود. در برخی میوه‌های فاقد دانه فراوان (*گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای*) افشانه یا اسپری اکسین سبب رشد میوه آن‌ها و مطلوب شدن گیاه می‌شود.

ز) اکسین در نوک ساقه تولید می‌شود و در آنجا سبب رشد طولی یاخته‌ها می‌شود ولی این هورمون از محل ساخت خود پایین آمده و به جوانهٔ جانبی و ریشه می‌رسد. در ریشه سبب افزایش تقسیم یاخته و ایجاد ریشه و انشعابات آن می‌شود.

● استفاده از اکسین‌ها بر علیه انسان‌ها!! (سوء استفاده از علم)

وقتی ساختار شیمیایی اکسین‌ها پیدا شد، محققین توانستند این ماده را به صورت مصنوعی نیز در آزمایشگاه ایجاد کنند. در نتیجه این تحقیقات، برخی ترکیباتی پیدا شدند که سبب از بین بردن گیاهان **دولپه‌ای** می‌شوند (*چون همان طور که گفتیم اکسین‌ها مانع رشد جوانه جانبی و ایجاد برگ می‌شوند*). محققین ابتدا از این ترکیبات برای ساختن **سموم کشاورزی** به منظور از بین بردن گیاهان خودروی مزارع مثل مزارع گندم استفاده کردند. سپس محققین ماده‌ای به نام **عامل نارنجی** تولید کردند که **مخلوطی** از اکسین‌های **متفاوت** بود که می‌توانست سبب از بین بردن گیاهان خودرو مزارع شود ولی این ماده سبب ایجاد بیماری‌هایی مثل سرطان یا نقص مادرزادی در نوزادان متولد شده نیز می‌شود.

در جنگ آمریکا و ویتنام وقتی مبارزان ویتنامی در مقابل آمریکا سال‌ها مقاومت کردند و در بین جنگل‌ها مخفی شدند، آمریکا به مدت ده سال ماده نارنجی را روی این جنگل‌ها در بخشی از ویتنام ریخت که طی آن در اثر ریزش برگ و کاهش فتوسنتز بخشی از جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی از بین رفت. بعد از این جنگ استفاده از عامل نارنجی ممنوع شد ولی سال‌ها و دهه‌ها برای احیای جنگل‌ها و نسل بعد مردم ویتنام زمان نیاز می‌باشد.

سیتوکینین‌ها (هورمون جوانی)

الف) این هورمون محرک رشد، سبب **تقسیم** یاخته‌ای و رشد گیاه می‌شود و شرایط تشکیل **دوک** تقسیم را سریع می‌کند. با این کار تقسیم یاخته‌ها بیشتر شده و پیر شدن اندام‌های **هوایی** گیاه مثل گل، برگ، ساقه و ... را به تأخیر می‌اندازد.

ب) از این هورمون به صورت افشانه در گل‌فروشی‌ها استفاده می‌شود چون با اسپری کردن آن سبب تأخیر در از بین رفتن برگ و گل‌های تازه می‌شوند و **ضد پیری** می‌باشد.

ج) اگر در فن کشت‌بافت و در محیط سترون، در مریستم ساقه‌زا، نسبت سیتوکینین به اکسین بالا باشد، **ساقه‌زایی** را در این قسمت مریستمی تمایز نیافته تسریع می‌کند. پس وجود هر دو هورمون در رشد آن مؤثر است.

د) اگر مقدار سیتوکینین در جوانه جانبی زیاد شود، می‌تواند نسبت بالای سیتوکینین به اکسین در جوانه جانبی سبب ایجاد شاخ و برگ زیاد در گیاه شود.

ه) نسبت بالای اکسین به سیتوکینین در دانه رست یا توده‌های تمایز نیافته (*کال*)، سبب افزایش و تسریع در **ریشه‌زایی** قلمه‌ها و سبب تکثیر رویشی یاخته‌های تمایز نیافته مریستمی می‌شود. $\frac{\text{اکسین}}{\text{سیتوکینین}}\uparrow \longleftarrow$ ریشه‌زایی


«اکسین زیاد سیتوکینین کم»

و) نسبت بالای سیتوکینین به اکسین در دانه رست حاوی یاخته‌های تمایز نیافته (*کال*)، سبب تسریع در ساقه‌زایی آن می‌شود. $\frac{\text{سیتوکینین}}{\text{اکسین}}\uparrow \longleftarrow$ ساقه‌زایی


«اکسین کم سیتوکینین زیاد»

برهم‌کنش اکسین و سیتوکینین (تأثیر بر رشد انواع جوانه‌ها)

یکی از کارهای اکسین در گیاه، **چیرگی رأسی** می‌باشد. چون منبع **اصلی** تولید اکسین **جوانه انتهایی یا همان جوانه رأسی گیاه** می‌باشد، این هورمون نمی‌گذارد تا **گیاه** در جوانه جانبی مقدار زیادی سیتوکینین تولید کند و سبب مقدار زیاد نسبت اکسین به سیتوکینین در جوانه‌های انتهایی و جانبی می‌شود. در این حالت جوانه انتهایی یا رأسی رشد کرده و گیاه طویل‌تر می‌شود ولی جوانه جانبی در این حالت که سیتوکینین **کم** و اکسین **زیاد** دارد، رشد نمی‌کند و شاخه، برگ و گل گیاه زیاد نیست. باغبانان به همین دلیل برای اینکه گیاهان پر شاخه و برگی داشته باشند، با هرس کردن، نوک ساقه (*جوانه رأسی*) را قطع می‌کنند و با این کار مقدار اکسین در گیاه و جوانه جانبی کاهش یافته ولی مقدار سیتوکینین آن زیاد می‌شود و سبب رشد و تقسیم یاخته‌های آن شده و شاخه، برگ و گل ایجاد می‌شوند.

نکته جوانه جانبی محل تولید هورمون سیتوکینین می‌باشد. البته در این محل در اثر فعالیت اکسین، جوانهٔ جانبی به تولید هورمون مهارکنندهٔ اتیلن هم می‌پردازد.

نکته اگر به ساقه گیاه که نوک آن قطع شده است و در حال فعالیت زیاد جوانه جانبی خود برای تولید شاخ و برگ است، در محل قطع شدن نوک، اکسین اضافه کنیم، دوباره جوانه جانبی رشد نمی‌کند و چیرگی رأسی در اثر عمل اکسین ایجاد می‌شود. این آزمایش نشان دهنده **تولید** اکسین در جوانه رأسی و **حرکت** آن به سمت جوانه جانبی می‌باشد تا مانع رشد آن‌ها شود.



الف) رشد کم جوانه‌های جانبی — ب) ایجاد شاخه‌های جدید — پ) حذف جوانهٔ انتهایی

«جوانهٔ رأسی مانع از رشد جوانه‌های جانبی می‌شود.»

نکته

- جهت حرکت اکسین
  - در تاریکی ← به سمت پایین حرکت دارد.
  - در نور یک‌جانبه ← معمولاً به یک سمت نوک ساقه و بخش پایینی حرکت می‌کند.
  - در نور همه‌جانبه ← به سمت پایین
    - از جوانهٔ انتهایی به جانبی
    - ریشه‌زایی نیز انجام می‌دهد.

جیبرلین‌ها (هورمون محرکی برای رفع مشکلات)

محل تولید:
۱) قارچ جیبرلا
۲) رویان دانه‌های در حال رشد (*رویان دانه رست*)
۳) بخش‌های مختلف مربوط به رشد گیاهان

تاریخچه پیدایش جیبرلین

محققین ژاپنی در حین مطالعه روی دانه رست‌هایی از برنج که رشد سریعی نسبت به سایر برنج‌ها داشتند، متوجه شدند که این دانه رست‌ها به نوعی **قارچ به نام جیبرلا** آلوده شده‌اند. این دانه رست‌ها **باریک و دراز** بودند و فاقد **بافت استحکامی** (*اسکلرانشیم و کلانشیم*) بودند و در نتیجه رشد زیاد خود، سریع خم می‌شدند و روی زمین می‌افتادند و سبب کاهش محصول برنج می‌شدند. پس از آن دانشمندان قارچ جیبرلا که سبب آلودگی برنج‌ها شده بود را استخراج کردند و ترکیبات تولیدی آن‌ها را بررسی کردند.

یکی از این ترکیبات ماده‌ای به نام **جیبرلین** بود که باعث رشد سریع دانه رست (*دانه جوانه‌زده*) گیاه برنج می‌شد. پس از این آزمایش‌ها، محققین فهمیدند که **جیبرلین**، ماده‌ای است که **در خود گیاه** نیز تولید می‌شود و **رشد و فعالیت‌های گیاه** را به عنوان یک **ماده محرک رشد** کنترل می‌کند.

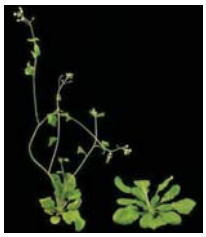
کارهای جیبرلین در گیاه


«درشت شدن میوه»

۱) با اثر بر **جوانه انتهایی** و **مریستم** درون آن هم سبب تحریک **رشد طولی یاخته** (*همانند اکسین*) و هم سبب تحریک **تقسیم یاخته** (*همانند سیتوکینین*) و باعث **رشد طولی ساقه** می‌شود.

۲) جیبرلین‌ها سبب **جوانه‌زنی دانه‌ها** و **ظهور دانه رست** می‌شوند و بدین طریق همراه با ورود **آب و اکسیژن** به دانه و رشد آن فعالیت می‌کنند و گل‌زایی را نیز جلو می‌اندازند. (*در ادامه مکانیسم اثر جیبرلین در رویش دانهٔ غلات را بررسی می‌کنیم!*)

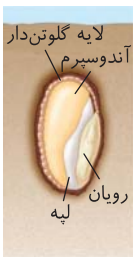
۳) جیبرلین‌ها، همانند اکسین‌ها می‌توانند سبب **تحریک رشد تخمدان‌ها** شوند و **رشد میوه** حقیقی را زیاد کنند. با این کار و یا با افشانه کردن جیبرلین روی گیاه، سبب تولید میوه‌های **درشت** و میوه‌های **بی‌دانه** نیز می‌شوند.


«افزایش طول ساقه»

نکته برای تولید میوه بی‌دانه باید جلوی گرده‌افشانی یا جلوی تشکیل لوله گرده را گرفت که این کار را هورمون‌های اکسین و جیبرلین می‌توانند انجام دهند. در حقیقت این هورمون‌ها مانع لقاح می‌شوند.

۴) جیبرلین با اثر بر گیاهان بوته‌ای نیز می‌تواند رشد طولی ساقه و تولید برگ، شاخه و گل را در آن‌ها تسریع کند.

مکانیسم اثر جیبرلین بر رویش بذر غلات



از فصل قبل به یاد دارید که دانه غلات (*تک‌لپه‌ای‌ها*) از سه بخش پوسته ضخیم، آندوسپرم پرنشاسته یا اندوخته پرحجم ذخیره‌ای و یک رویان تشکیل شده است. در دانه غلات، یک لپه، مشخص‌ترین بخش رویان می‌باشد به صورت نازک وجود دارد که وظیفه **انتقال غذا** از آندوسپرم به رویان برای رشد و ایجاد گیاه اصلی را دارد. در شرایط مناسب دانه رشد می‌کند و دانه رست را ایجاد می‌کند.

همچنین از سال قبل به یاد دارید که **واکوئول** بذر غلات (*گندم*، *جو* ...) دارای **پروتئین ذخیره‌ای گلوتن** می‌باشد. مشاهده و تحقیق شده است که وقتی دانه غلات در حال رویش هستند، مقدار زیادی **جیبرلین** در **رویان دانه** آن‌ها ساخته می‌شود. این جیبرلین‌ها از طریق لپه به آندوسپرم رسیده و روی خارجی‌ترین لایه آندوسپرم که ذخایر گلوتن زیادی دارند اثر می‌کنند.

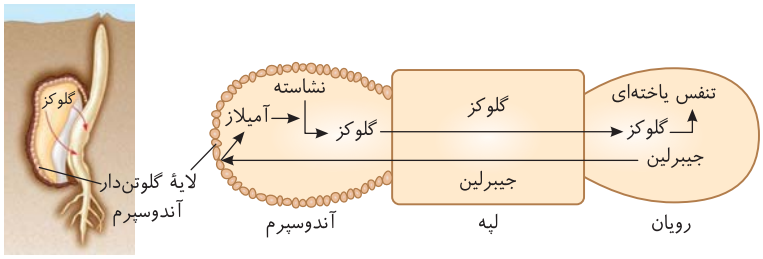


«GA: جیبرلیک‌اسید»

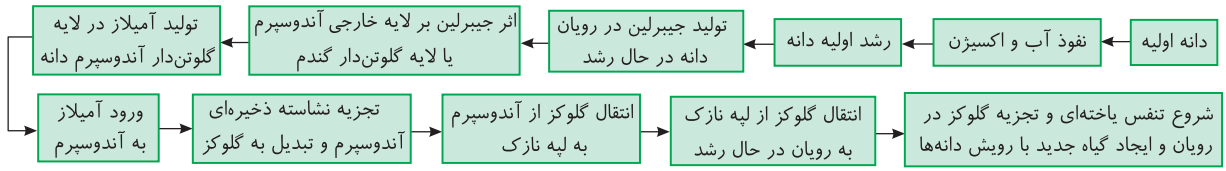
در اثر تحریک جیبرلین، در لایه گلوتن‌دار آندوسپرم دانه، مقدار زیادی آنزیم گوارشی هیدرولاز (*آمیلاز و سلولاز*) تولید می‌شود تا مثلاً **سلولاز** سبب هیدرولیز **دیواره** یاخته‌ها و آمیلازها سبب هیدرولیز نشاسته درون آندوسپرم شوند. آمیلاز تولیدی به درون **آندوسپرم پرنشاسته** ترشح می‌شود. درون آندوسپرم، نشاسته‌ها در اثر **آمیلاز** شروع به هیدرولیز یا آبکافت شدن می‌کنند و به گلوکز تبدیل می‌شوند که قند مورد نیاز برای تنفس یاخته‌ای و رشد رویان می‌باشد.



گلوکزها توسط لپه نازک از آندوسپرم به رویان رسیده و با تنفس درون یاخته‌ای مقدار زیادی *ATP* برای رشد رویان و رشد دانه رست و گیاه جدید ایجاد می‌شود.



نکته
واکوئول‌های لایه خارجی آندوسپرم و میتوکندری‌های رویان در رشد دانه نقش بسیار مهمی دارند.



هورمون‌های بازدارنده رشد

دو هورمون آبسیزیک اسید و اتیلن از تنظیم کننده‌ها یا هورمون‌های رشدی هستند که فرایندهای مربوط به مقاومت گیاه در شرایط سخت که سبب رشد کم گیاه، رسیدن میوه‌ها، ریزش برگ و میوه‌ها می‌شوند را تنظیم می‌کنند. این هورمون‌ها در مراحل پیری گیاه و مراحل نهایی رشد گیاه مؤثرند و گیاهان را با شرایط سخت محیطی سازگار می‌کنند.

نکته
دقت کنید که اتیلن و آبسیزیک اسید هرکدام یک ترکیب مشخص شیمیایی دارند و مانند هورمون‌های محرک متنوع نیستند و به همین دلیل به آن‌ها پسوند «ها» یعنی اتیلن‌ها به معنی انواع اتیلن یا آبسیزیک اضافه نمی‌شود.

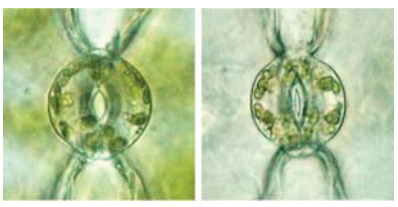
الف) هورمون آبسیزیک اسید: هورمون مقابله با شرایط نامساعد

نام این هورمون از کلمه *abscission* یعنی ریزش گرفته شده است. محققین در ابتدا تصور می‌کردند که این ماده عامل ریزش برگ‌ها می‌باشد و سبب پیری گیاه می‌شود ولی سپس با پژوهش‌های بیشتر متوجه شدند که این ماده نه عامل پیری گیاه است و نه باعث ریزش برگ می‌شود بلکه باعث مقاومت گیاه در شرایط نامساعد رشد می‌شود.

شرایط تولید آبسیزیک اسید در گیاه

● الف) وقتی گیاه در شرایط گرم و خشک قرار گیرد

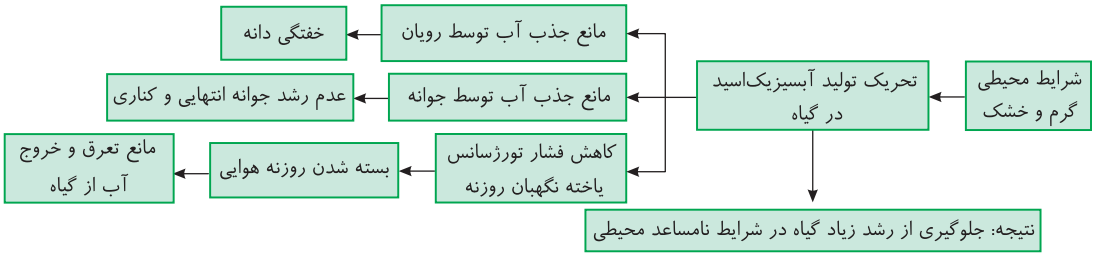
فرض کنید گیاهی که دارای اندام‌های رویشی و زایشی است در محیط گرم و خشک با نور و دمای بالا و رطوبت کم قرار گیرد. در این حالت محیط آب کمی دارد و سعی می‌کند طبق قانون اسمز آب گیاه را خارج کند. اگر **روزنه‌های هوایی** گیاه (*دقت کنید که روزنه‌های آبی گیاه همواره باز هستند*) در این شرایط باز بمانند، سبب **تعرق** بیشتر گیاه شده و آب گیاه به صورت **بخار** خارج می‌شود و محیط نیز آب چندانی ندارد که **ریشه** گیاه جذب کند. در این شرایط **تولید آبسیزیک اسید** در گیاه زیاد می‌شود. این هورمون باعث از دست دادن یون و آب توسط **یاخته‌های نگهبان روزنه به یاخته‌های روپوستی کناری** می‌شود. در پی این عمل، تورژسانس یاخته‌های **کنار** نگهبان روزنه زیاد شده و به همراه پلاسمولیز یاخته‌های نگهبان روزنه، روزنه را مسدود می‌کند تا آب گیاه خارج نشود. در نتیجه آب گیاه **در ریشه و سایر قسمت‌ها** حفظ شود. این عمل رشد گیاه را **کند** می‌کند ولی مانع از بین رفتن گیاه در محیط خشک می‌شود.


روزنه باز
روزنه بسته
«حفظ آب گیاه با بسته شدن روزنه‌ها»

نکته
از زیست سال دهم به یاد دارید که در هنگام باز شدن روزنه‌های هوایی، یاخته‌های نگهبان باید تورژسانس شوند و در هنگام بسته شدن باید آب خود را به یاخته‌های کناری خود بدهند. حتماً به یاد دارید که در باز یا بسته شدن روزنه‌های هوایی، قطر هر یاختهٔ نگهبان همواره به دلیل سلولزهای شعاعی ثابت است ولی طول نگهبان در هنگام باز شدن روزنه افزایش می‌یابد.

ب) وقتی دانه در شرایط خشکی محیط قرار گیرد

در فصل قبل گفتیم که دانه برای رشد به **آب، اکسیژن و دما** نیاز دارد. دانه، آب را از محیط مرطوب برای متورم شدن و شکفته شدن پوسته خود می‌گیرد. حال فرض کنید که محیط خشک است و دانه می‌خواهد با جذب کمی آب رشد خود را آغاز کند. اگر دانه رشد کند، در اثر خشکی محیط و کم‌آبی، دانه رست ایجاد شده نمی‌تواند رشد مناسبی کند و زود می‌میرد. به همین دلیل در شرایط خشک، تولید آبسیزیک اسید زیاد در گیاه مانع جذب آب توسط دانه شده و رویان را به مرحله توقف رشد می‌برد و **مانع ایجاد دانه رست** و ترکیدن پوسته دانه می‌شود. این فرایندها با اینکه سبب رشد کند گیاه می‌شود ولی باعث می‌شود که گیاه وارد شرایط بدتر نشود و منتظر تغییر محیط و ایجاد شرایط مناسب باقی بماند.



نکته
آبسیزیک اسید روی رشد همه جوانه‌ها (*انتهایی و جانبی*) اثر منفی دارد ولی جیبرلین روی رشد آن‌ها اثر مثبت دارد. اکسین روی جوانه انتهایی اثر مثبت ولی روی جوانه جانبی و ایجاد شاخه، گل و برگ اثر منفی دارد.

نکته
هورمون آبسیزیک اسید در کم‌آبی و خشکی زیاد می‌شود و سبب مقاومت گیاه می‌شود. از کتاب دهم به یاد دارید که هنگام کم‌آبی، تعداد کانال‌های پروتئینی مخصوص انتقال آب در عرض غشای یاخته‌های گیاهی و واکوئول‌ها زیاد می‌شد پس زیادی آبسیزیک اسید، هم‌زمان با افزایش تولید کانال‌های آب غشایی می‌باشد.

ب) هورمون اتیلن C_2H_4

تاریخچه

از سال‌های بسیار قبل محققین می‌دانستند که هنگام سوختن سوخت‌های فسیلی، ترکیبی **گازی‌شکل** به نام **اتیلن** خارج می‌شود که سبب **ریزش برگ درختان** می‌شود ولی در آن موقع نمی‌دانستند که خود گیاه نیز قادر به تولید اتیلن برای تنظیم رشد خود می‌باشد.

محل تولید اتیلن در گیاهان
۱) برخی میوه‌های رسیده
۲) بافت‌های آسیب‌دیده گیاهی
۳) قسمت‌های پیر و رسیده گیاه
۴) در جوانه جانبی تحت تأثیر اکسین برای چیرگی رأسی

کارهای هورمون اتیلن

۱) رسیده کردن میوه‌ها

اتیلن هورمونی است که در میوه‌های رسیده بیشتر تولید می‌شود و از آن‌ها آزاد می‌شود. این گاز آزاد شده از میوه‌های رسیده (*همانند سیب و موز رسیده*) می‌تواند سبب رسیده شدن سایر میوه‌های نارس شود (*از این روش در پخش میوه در بازار استفاده می‌کنند که میوه‌های نارس را می‌چینند و به مدت مشخص تحت تأثیر اتمسفر دارای اتیلن قرار می‌دهند*).


«گوجه‌فرنگی‌های هر دو جعبه در یک زمان چیده شده، اما گوجه‌فرنگی‌های سمت راست، سه روز در محیط اتیلن‌دار بوده‌اند»

۲) ریزش میوه‌ها

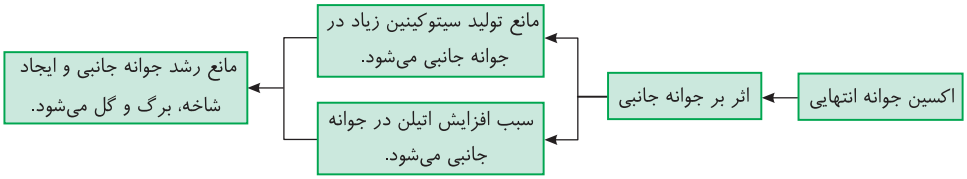
وقتی میوه‌ای رسیده می‌شود برای اینکه این قسمت از گیاه دیگر از مواد گیاهی تازه ساخته شده استفاده نکند و مواد حاصل از فتوسنتز گیاه به قسمت‌های جوان‌تر برسند، اتیلن سبب افتادن و ریزش میوه‌های رسیده می‌شود. (*میوه‌های رسیده در معرض حشرات نیز قرار می‌گیرند. این کار اتیلن به‌طور غیرمستقیم در پخش دانه رسیده درون این میوه‌ها نیز نقش دارد.*)

۳) ترمیم زخم بافتی

هر بافت زنده آسیب‌دیده گیاهی در اثر ضربه یا عوامل بیماری‌زا می‌تواند هورمون اتیلن بسازد و به کمک سایر عوامل شیمیایی رشد سبب ترمیم آسیب‌دیدگی شود.

● ۴) اثر بر چیرگی رأسی

همان‌طور که قبلاً گفتیم، اکسین تولید شده در جوانه انتهایی، عامل چیرگی رأسی است و سبب رشد طولی ساقه می‌شود و از طرفی مانع رشد جوانه جانبی و مانع افزایش سیتوکینین و تقسیم یاخته‌ای آن‌ها می‌شود. تحقیقات اخیر نشان داده است که اکسین جوانه انتهایی **علاوه بر کاهش سیتوکینین در جوانه جانبی، سبب افزایش اتیلن نیز در جوانه‌های جانبی می‌شود** و افزایش هورمون بازدارنده اتیلن در جوانه‌های جانبی سبب توقف رشد مریستم آن و مانع ایجاد شاخه، گل و برگ می‌شود.



● ۵) خراب کردن محصولات گیاه

تعجب نکنید!! هنگامی که محصولات کشاورزی مثل میوه را در جایی ذخیره می‌کنند یا در مدت طولانی آن‌ها را منتقل می‌کنند، گاز اتیلن خارج شده از محصولات رسیده و پیر سبب اتصال به گیرنده‌های مخصوص حساس به اتیلن در یاخته‌های گیاهی شده و سرعت رسیده شدن و از بین رفتن محصولات را زیاد می‌کند.

● رفع این مشکل

دانشمندان برای رفع مشکل خراب کردن برخی محصولات ذخیره‌ای یا انتقالی توسط اتیلن، ترکیباتی را تولید کرده‌اند که می‌توانند به گیرنده مخصوص اتیلن متصل شوند و اثر اتیلن آزاد شده را در یاخته‌ها برای رسیده کردن محصولات خنثی کنند و این فرایند و اثر اتیلن را متوقف کنند.

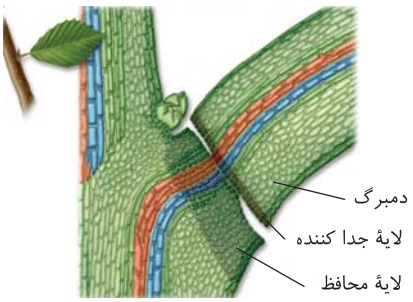
نکته



زیست‌شناسان در تلاش هستند که با تغییر و دستکاری در ژن‌های گیاهی و یا تراژنی کردن آن‌ها (*استفاده از ژن گونه دیگر*) گیاهان را نسبت به اتیلن غیرحساس کنند تا رشد آن‌ها به مرحله پیری و پژمردگی نرسد. این کار برای گل‌دهی و باقی ماندن گل‌ها شاید مؤثر باشد ولی در رسیده شدن میوه‌ها در درختان میوه‌دار اشکال ایجاد می‌کند، که مثلاً شاداب ماندن گل‌های اطلسی دستکاری شده ژنی را در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که نسبت به گیاهان دستکاری نشده به مدت زیادی در مقابل گاز اتیلن مقاوم مانده‌اند!!

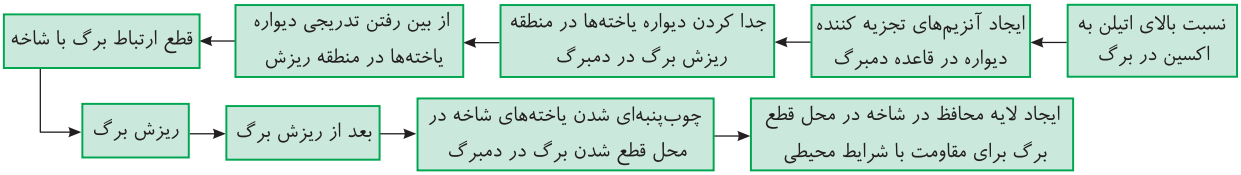
● ۶) ریزش برگ‌ها

اگر در برگ‌های گیاهی **نسبت مقدار اتیلن به اکسین زیاد شود**، تجربه نشان داده است که آن **برگ‌ها می‌ریزند** و از شاخه جدا می‌شوند. همان‌طور که می‌دانید برگ‌ها **شیره خام** را از طریق **آوندهای چوبی** دمبرگ از شاخه می‌گیرند و با **فتوسنتز**، مواد آلی را از طریق **آوندهای آبکش** به همه جای گیاه می‌رسانند. در نتیجه اگر **ارتباط یاخته‌ای** بین برگ با شاخه قطع شود، برگ سرنوشتی جز ریزش ندارد!!!



«ریزش برگ با تشکیل لایهٔ جدا کننده»

محققین با مشاهدات **میکروسکوپی** به این نتیجه رسیدند که در قاعدهٔ **دمبرگ** که عامل اتصال برگ به شاخه می‌باشد، **لایه‌ای جداکننده** تشکیل می‌شود که سبب ریزش برگ می‌گردد. اگر در برگ و منطقه ریزش، نسبت بالای اتیلن به اکسین برقرار شود، این عامل سبب می‌شود **که آنزیم‌های تجزیه‌کننده یاخته‌ای** در منطقه **ریزش برگ** لایه جداکننده ایجاد کند. در حقیقت **این آنزیم‌ها** سبب **جدا شدن دیواره یاخته‌ها** از یکدیگر و **از بین رفتن** تدریجی دیواره یاخته‌ها در دمبرگ و در محل لایه جداکننده می‌شوند. در نتیجه این اعمال ارتباط شاخه با برگ قطع می‌شود و شیره خام از شاخه به برگ نمی‌رسد و برگ در اثر عدم داشتن شیره خام کافی، تغییر رنگ داده و نمی‌تواند فتوسنتز کند (*سبزدیسه‌ها به رنگ دیسه تبدیل می‌شوند*) و در نتیجه سبب ریزش برگ می‌شود. پس از ریزش برگ، یاخته‌های شاخه که در محل اتصال با دمبرگ بوده‌اند با فرایند چوب‌پنبه‌ای شدن (*کوتینی شدن*) **لایه محافظی** در برابر محیط بیرون ایجاد می‌کنند تا شاخه در برابر عوامل محیطی حفظ شود.



نکته

لایهٔ زایندهٔ جداگر، در دمبرگ ایجاد می‌شود و با جدا شدن برگ، از گیاه خارج می‌شود.
لایهٔ چوب‌پنبه‌ای روی بخش‌هایی از شاخه که در گیاه باقی مانده‌اند، تشکیل می‌شود.

نکته

با توجه به اینکه فرمول هورمون‌ها یا تنظیم کننده‌های رشد گیاهی پیدا شده است، محققین این ترکیبات را به صورت مصنوعی نیز در آزمایشگاه تولید کرده‌اند و برای نگهداری و تولید محصولات گیاهی استفاده می‌کنند که این هورمون‌ها ممکن است در سلامت مصرف‌کننده‌های گیاهی اشکال ایجاد کنند چون خیلی از این ترکیبات به عوامل مؤثر در بدن انسان و جانوران شباهت دارند.

هورمون	نوع	محل تولید	نکات و اثر و فعالیت
اکسین‌ها	محرک رشد	جوانه انتهایی نوک ساقه - دانه رست‌ها	۱) افزایش رشد طولی یاخته ← رشد طولی ساقه ۲) سبب خمش نوک ساقه به سمت نور یک‌جانبه می‌شود. ۳) ترکیبات مشابه با اثرات مشابه در گیاهان متفاوت دارند. ۴) تحریک ریشه‌زایی در قلمه‌ها اگر به نسبت سیتوکینین مقدار بیشتری داشته باشد. ۵) رشد تخمدان و ایجاد میوه درشت یا میوه بی‌دانه ۶) عامل نارنجی از مشتقات آن است که سبب از بین بردن گیاهان دولپه‌ای می‌شود. ۷) چیرگی رأسی می‌دهد و مانع رشد جوانه جانبی و ایجاد شاخه، برگ و گل می‌شود. ۸) تولید اتیلن و سیتوکینین را در جوانه جانبی به ترتیب زیاد و کم می‌کند. ۹) در قسمت نور ندیده (سایه) تجمع بیشتری دارد و رشد آن منطقه را زیاد می‌کند.
سیتوکینین‌ها (هورمون جوانی)	محرک رشد	دانه‌ها و جوانه جانبی	۱) تقسیم یاخته را زیاد می‌کند، سبب رشد گیاه می‌شود. ۲) پیر شدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها و سایر اندام‌های هوایی را به تأخیر می‌اندازد. ۳) افشانه یا اسپری آن‌ها سبب شادابی گل و گیاه می‌شود. ۴) نسبت بالای آن به اکسین سبب ساقه‌زایی در قلمه‌ها و دانه رست‌ها و محیط کشت‌بافت می‌شود. ۵) بدون وجود رأس ساقه، مقدار زیاد آن در جوانه جانبی به ایجاد گیاهان پر شاخ و برگ کمک می‌کند.
جیبرلین‌ها (هورمون رفع مشکل)	محرک رشد	قارچ جیبرلا دانه رست گیاهان رویان دانه‌ها	۱) رشد طولی ساقه با افزایش طول یاخته‌ها و همچنین افزایش تقسیم یاخته‌ها انجام می‌دهند. ۲) سبب رشد تخمدان و میوه شده و ایجاد میوه درشت و بی‌دانه می‌کند. ۳) سبب جوانه‌زنی دانه‌ها می‌شود و ایجاد دانه رست را تسریع می‌کند. ۴) در رویان دانه‌ها ساخته شده و سبب ایجاد آمیلاز از لایه خارجی آندوسپرم گلوتن‌دار دانه می‌شود.
آبسیزیک اسید	بازدارنده رشد	قسمت‌های پیر و رسیده گیاه	سبب مقاومت گیاه در شرایط سخت می‌شود. سبب خفتگی دانه‌ها و جوانه‌ها و بستن روزنه‌های هوایی در شرایط گرم و خشک می‌شود.
اتیلن	بازدارنده رشد	قسمت‌های پیر میوه رسیده	رسیدن میوه نارس - ریزش برگ با ایجاد لایه جداکننده دمبرگ - مؤثر در چیرگی رأسی با زیاد شدن در جوانه جانبی - ریزش میوه رسیده - در زخم‌های بافتی زیاد می‌شود.

درسنامه

گفتار ۲ پاسخ گیاه به عوامل محیطی

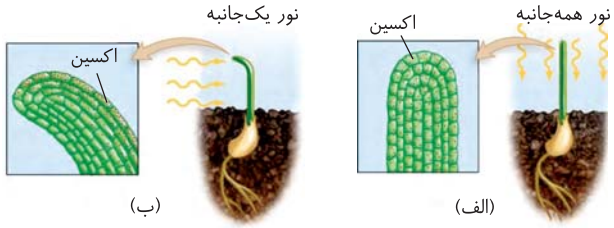
در این بخش می‌خواهیم پاسخ گیاه به عوامل محیطی مثل پاسخ به نور، پاسخ به دما، پاسخ به تماس، پاسخ به گرانش زمین و پاسخ‌های دفاعی گیاهان را بررسی کنیم. مثلاً به دنبال این هستیم که چرا برخی گیاهان با کاهش سرما گل می‌دهند یا چرا گلبرگ برخی از گیاهان در شب جمع می‌شوند و دوباره در روز باز می‌شوند و گیاهان در مقابل عوامل بیماری‌زا و مهاجم‌ها چه دفاعی از خود می‌کنند؟

الف) پاسخ گیاهان به نور

نکته
نور در گیاهان نقش‌های حیاتی دارد که مهم‌ترین آن به **فتوسنتز** برمی‌گردد که منبع انرژی این عمل، نور می‌باشد ولی فرایندهای مهم دیگری مثل رشد ساقه و ریشه و گل‌دهی نیز به آن وابسته است.

۱) پاسخ ساقه به نور

در درسنامه قبل به این نتیجه رسیدیم که در اثر نور کافی، هورمون اکسین در جوانه انتهایی نوک ساقه ساخته می‌شود. اگر نور همه‌جانبه در محیط باشد، این عامل سبب تجمع یکنواخت اکسین در مناطق زیر نوک ساقه شده و با افزایش طولی یاخته‌های زیر منطقه نوک، ساقه رشد می‌کند ولی خمش نمی‌یابد.

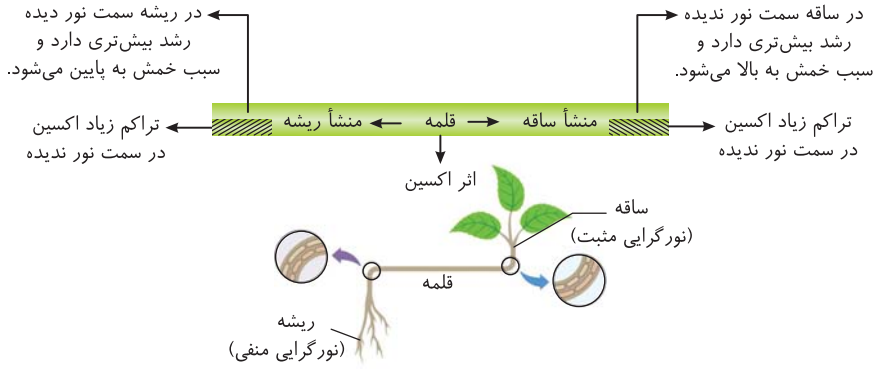


«تابش نور سبب تجمع اکسین در سمت سایه می‌شود.»

نکته
اگر نور یک‌جانبه به ساقه برخورد کند، اکسین ایجاد شده در نوک ساقه، در منطقه سایه (*دور از نور*) تجمع بیشتری می‌یابد و رشد طولی بیشتر یاخته‌های آن منطقه سبب رشد ساقه و خمش آن به سمت نور یک‌جانبه می‌شود.

۲) پاسخ ریشه به نور

اگر یک قلمه یا دانه رستی را روی زمین قرار دهیم، در منطقه مریستمی ایجاد ساقه و ریشه، همواره مقدار اکسین در سمت سایه (*دور از نور*) (*سمتی که به سمت خاک است*) بیشتر می‌باشد. یاخته‌های ریشه به مقدار اکسین حساسیت کمی دارند و مقدار زیاد اکسین مانع رشد زیاد آن‌ها می‌شود، در نتیجه در ریشه، رشد قسمت‌هایی که اکسین کمتری دارند (*سمت نور دیده*) بیشتر از بخش سایه (*دور از نور*) (*به سمت خاک*) می‌باشد و این مکانیسم برخلاف ساقه سبب خمش و رشد ریشه به سمت خاک و نورگرایی منفی یا زمین‌گرایی مثبت می‌شود.



۳) اثر نور در گل‌دهی گیاهان

در طبیعت، گیاهان مختلف در زمان‌ها و شرایط متفاوتی گل می‌دهند. برخی گیاهان نهاندانه در فصلی خاص و برخی در همه فصول گل می‌دهند. حتی می‌توان با تغییر شرایط محیطی و تنظیم نور یا دما، گیاهی را در فصلی که گل نمی‌دهد، وادار به گل‌دهی کنیم.

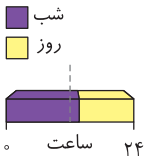
نکته
به یاد دارید که هر جوانه گیاه از یاخته‌های مریستمی و برگ‌های بسیار جوان ایجاد شده‌اند. این مریستم‌های درون جوانه‌ها ابتدا همگی مریستم رویشی هستند و سبب فرایندهای رویشی برای افزایش طول گیاه می‌شوند ولی وقتی رشد رویشی پایان یافت، درون جوانه در اثر دما و طول روز و شب، **مریستم رویشی به مریستم زایشی یا گل‌زا** تبدیل می‌شود و گیاه آماده گل‌دهی می‌شود. (*تبدیل فعالیت مریستم از رویشی به زایشی به دما و طول روز و شب یعنی به مقدار نور در یک شبانه‌روز بستگی دارد.*)

انواع گیاهان از نظر گل‌دهی براساس نیاز به نور

۱) روز کوتاه ← داوودی ۲) روز بلند ← شبدر ۳) بی‌تفاوت ← گوجه فرنگی (گیاه جدید)

A) گیاهان روز کوتاه (شب بلند)

این گیاهان در زمان‌هایی از سال مثل پاییز که طول روز به تدریج کوتاه‌تر شده و شب‌ها زمان طولانی‌تری دارند گل می‌دهد. از این گیاهان می‌توان به گیاه **داوودی** اشاره کرد که به‌طور طبیعی در پاییز گل می‌دهد و در تابستان گل نمی‌دهد. **در واقع این گیاهان زمانی گل می‌دهند که طول شب از حد معینی کمتر نباشد.**



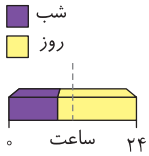

شبدر داوودی

نکته

داوودی به‌طور طبیعی در پاییز با طول روز کوتاه گل می‌دهد ولی اگر بخواهیم گیاه داوودی را در تابستان وادار به گل‌دهی کنیم، باید طول روز را کم کنیم مثلاً سایه و محیط تاریک در مدتی از روز برای گیاه قرار دهیم تا در تابستان نیز گل بدهد.

B) گیاهان روز بلند (شب کوتاه)

گیاهانی مثل **شبدر** که در تابستان برخلاف پاییز به‌طور طبیعی گل می‌دهند را گیاه روز بلند می‌گویند. این گیاهان برای گل‌دهی به نور طولانی‌مدت و شب کوتاه نیاز دارند **و اگر طول شب از حدی بیشتر شود دیگر گل نمی‌دهند.**




شبدر داوودی

نکته

شبدر و سایر گیاهان روز بلند به‌طور طبیعی در تابستان گل می‌دهند ولی اگر بخواهیم در پاییز آن‌ها را وادار به گل‌دهی کنیم، باید با شکستن شب و نور مصنوعی یا یک جرقه نوری طول شب را کاهش دهیم. در این صورت شبدر در پاییز نیز همانند یک گیاه روز کوتاه (داوودی) گل می‌دهد ولی در این حالت داوودی مطابق شکل روبه‌رو دیگر گل نمی‌دهد.



نکته

در صنعت پرورش گل با تغییر مصنوعی طول شب و روز کاری می‌کنند که برخی گل‌های زینتی در تمام طول سال در دسترس مردم قرار بگیرند.

C) گیاهان بی‌تفاوت

گیاهانی مثل **گوجه‌فرنگی** که گل دادن آن‌ها وابسته به طول شب و روز نمی‌باشند و در هر شرایط نوری سال گل می‌دهند را گیاهان بی‌تفاوت می‌گویند. این گیاهان به‌طور طبیعی و بدون نیاز به تغییرات مصنوعی طول روز و شب در تمام سال گل می‌دهند.

ب) پاسخ گیاهان به دما

هر گیاهی نمی‌تواند هر دمایی را تحمل کند و رشد قسمت‌های مختلف آن بستگی به دمای محیط دارد که به صورت نکات زیر آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

A) سرمای **شدید**، معمولاً **مانع از رویش دانه‌ها و جوانه‌ها** می‌شود و جوانه‌زنی یا ایجاد دانه رست را به تأخیر می‌اندازد.

B) در فصل پاییز و با شروع کاهش دما، مقدار ساخت اتیلن نسبت به اکسین در گیاه بالا می‌رود و ساخت لایه جداکننده دمبرگ را تحریک می‌کند. این عمل در **برخی گیاهان** سبب ریزش برگ‌ها در پاییز می‌شود و گیاه وارد مرحله خفتگی می‌شود. در این حالت جوانه‌های گیاه با برگ‌های پولک‌مانند در برابر عوامل محیطی در امان می‌مانند تا سال بعد دوباره شاخه و برگ از آنجا ایجاد شود.

C) همان‌طور که در بخش قبل گفتیم، گل‌دهی گیاهان مختلف برحسب نور و طول متفاوت شب و روز با هم متفاوت می‌باشد. در مورد اثر دما نیز در گل‌دهی گیاهان همین موضوع وجود دارد. مثلاً برخی از گیاهان برای تسریع در گل‌دهی نیاز به گذراندن **یک دوره سرما** دارند. به‌طور مثال در **نوعی گیاه گندم** که نوعی گیاه علفی یک‌ساله می‌باشد اگر بذر آن را **مرطوب** کنیم و در **سرما** قرار دهیم با جذب آب و فعالیت آنزیم‌ها، دوره رویشی آن کوتاه شده و زودتر مریستم زایشی آن ایجاد می‌شود و گل می‌دهد.

نکته

سرما تبدیل مریستم رویشی به مریستم زایشی را در جوانه این نوع گندم تسریع می‌کند و سبب گل‌دهی در همان یک سال زندگی می‌شود.

نکته

با کشف این ویژگی گل‌دهی در نوعی گندم در اثر عبور از دوره سرما، محققین توانستند در زمین‌هایی که بیشتر مدت سال پوشیده از برف و یخ هستند نیز بهره‌برداری گیاهی کنند.

ج) پاسخ گیاه به نیروی گرانش زمین

اگر دانه رستی از یک گیاه مثل ذرت را در وضعیت افقی روی خاک قرار دهید، پس از مدتی مریستم ساقه سبب ایجاد ساقه‌ای با نورگرایی مثبت و زمین‌گرایی منفی می‌شود و به سمت بالا می‌آید ولی مریستم ریشه‌ساز سبب ایجاد ریشه‌ای می‌شود که به سمت زمین با زمین‌گرایی مثبت و نورگرایی منفی رشد می‌کند.

● **زمین‌گرایی**

رشد جهت‌دار **اندام‌های** گیاه به گرانش زمین را زمین‌گرایی می‌گویند که برای ریشه مثبت و برای ساقه منفی می‌باشد.

نکته

در شکل روبه‌رو می‌بینید که وقتی گیاهی به صورت عمودی در یک گلدان قرار دارد ساقه آن به سمت بالا و برگ‌ها به سمت نور رشد می‌کنند ولی ریشه به سمت گرانش زمین و زمین‌گرایی مثبت می‌رود.



نکته

اگر گیاهی که در یک گلدان در حال رویش بوده است را با کج کردن گلدان به صورت افقی قرار دهیم، می‌بینیم که پس از مدتی ساقه و برگ‌ها در خلاف جهت گرانش زمین به سوی بالا (نور) رشد کرده ولی ریشه به سمت گرانش زمین خم شده و رشد می‌کند.





د) پاسخ گیاه به تماس

برخی گیاهان در هنگام رشد خود یا در هنگام مقابله با یک عامل تغذیه‌ای حمله‌کننده به خود، اگر تماسی با گیاه دیگر یا جانور یا شیء دیگری پیدا کنند، می‌توانند به این تماس پاسخ بدهند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

مثال ۱: برخی گیاهان مثل ساقهٔ گیاه مو اگر در هنگام رشد خود به یک درخت دیگر یا پایه دیگری برخورد کنند، می‌توانند با حرکت پیچشی به دور آن پایه یا درخت بپیچند و رشد کنند. در این گیاهان همواره سرعت رشد قسمتی از گیاه که به تکیه‌گاه متصل است از قسمت مقابل کمتر است. این تفاوت در سرعت رشد ساقه سبب می‌شود که به صورت پیچشی به دور تکیه‌گاه خود بپیچد و رشد کند.



«پیچش ساقهٔ مو»

نکته

در پیچش رشد یاخته‌ها در محل تماس با پایه یا درخت دیگر همواره کمتر از سمت مقابل است و مثل نورگرایی به مقطع خاصی برای خمش و رشد بیشتر ربط پیدا نمی‌کند.

مثال ۲: برخی گیاهان دارای برگ‌های حساس به تماس‌ها و لرزش‌های محیطی می‌باشند. مثلاً در گیاه حساس، برگ‌های تاشونده‌ای وجود دارد که اگر با ضربه آن‌ها را لمس کنیم و لرزش دهیم، سبب ایجاد تغییر فشار تورژسانس در یاخته‌های قاعده آن برگ‌ها می‌شویم و برگ‌های آن تاخورده و جمع می‌شوند تا از خود دفاع کنند.



«روی هم تا شدن برگچه‌های گیاه حساس»

مثال ۳: از زیست دهم به یاد دارید که برخی از گیاهانی که در خاک‌های فقیر از نظر نیتروژن زندگی می‌کنند با اینکه فتوسنتزکننده‌اند ولی برای تأمین نیتروژن کافی ساخت پروتئین خود نیاز به شکار و گوارش جانوران ریز دارند. این گیاهان (مانند توبره‌واش) برگ تله مانندی با کرک‌های بسیار حساس به تماس دارند. اگر حشره‌ای به آن کرک‌ها برخورد کند، با تحریک شدن آن، پیام‌هایی در گیاه به راه می‌افتد که سبب بسته شدن برگ و به دام افتادن حشره شده و سپس آن حشره را با گوارش برون‌یاخته‌ای از بین می‌برد.



«بسته شدن برگ گیاه گوشت‌خوار با برخورد حشره»

نکته

برخی برگ‌های گیاه توبره‌واش بخش حساس **کوزه**مانند برای به دام انداختن حشره دارد.

ه) پاسخ‌های دفاعی گیاهان

نکته

در این قسمت می‌خواهیم بررسی کنیم که گیاهان در مقابل عوامل هجومی میکروبی و جانوران گیاه‌خوار و برخی قارچ‌ها مثل زنگ یا سیاهک گندم و... چه تدابیر دفاعی دارند.

پاسخ‌های دفاعی گیاهان
- **A)** تلاش برای جلوگیری از ورود عامل مخرب
- **B)** دفاع شیمیایی
- **C)** مرگ یاخته‌ای (اغلب برای مبارزه با ویروس)
- **D)** حمایت توسط سایر جانوران

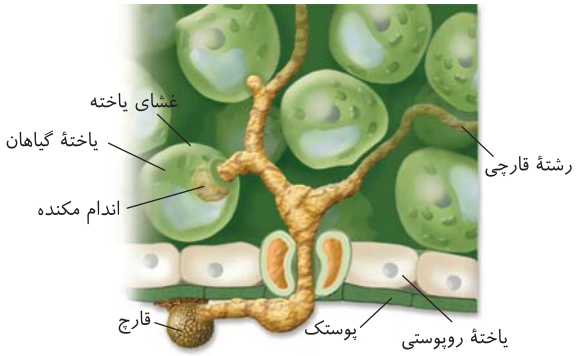
● A) انواع تلاش گیاه برای جلوگیری از ورود عامل مخرب

خارجی‌ترین قسمت‌های ساقه، ریشه و برگ گیاه، همانند پوست جانوران سدی را تشکیل می‌دهند که از ورود عوامل بیگانه به گیاه جلوگیری می‌کنند که به بررسی آن‌ها می‌پردازیم:

I) در سال قبل متوجه شدید که بخش‌های **جوان** زمینی و هوایی گیاه دارای **روپوست** هستند که معمولاً یک لایه یاخته دارند. در بخش‌های هوایی گیاه (ساقه، شاخه و برگ) در سطح خارجی یاخته‌های روپوستی، لایه‌ای از ماده لیپیدی به نام **پوستک** وجود دارد که به آب نفوذناپذیر است. این لایه توسط یاخته‌های روپوستی ترشح می‌شود و مجاور هوا می‌باشد و تا حدی از ورود نیش حشرات و عوامل بیماری‌زا (مانند رشتهٔ قارچ‌ها) به درون گیاه ممانعت می‌کند (البته پوستک ضخیم به حفظ گیاه در برابر سرما و آب گیاه نیز کمک می‌کند).

نکته
روپوست ریشهٔ جوان پوستک ندارد چون نیاز به جذب آب از ریشه دارد و وجود پوستک لیپیدی مانع این عمل می‌شود. به همین دلیل، ریشه با روش‌های دیگری می‌تواند از ورود عوامل بیماری‌زا جلوگیری کند.

II) دیوارهٔ یاخته‌های گیاهی هم به تنهایی و هم با اضافه شدن مواد کانی مانند سیلیسی شدن و یا چوبی شدن (لگنین شدن) بسیار مستحکم می‌شوند که عبور از این دیوارهٔ سخت برای عوامل بیماری‌زا کار آسانی نیست. (پوستک و دیواره یاخته‌ای محکم به‌افزایش سد فیزیکی مانع ورود عوامل بیماری‌زا به گیاه کمک می‌کنند.)



«پوستک، سدی در برابر ورود عوامل بیماری‌زاست.»

III) با وجود اینکه پوستک و دیواره سد محکمی برای جلوگیری از عوامل بیماری‌زا هستند ولی برخی عوامل مثل قارچ‌ها (زنگ و سیاهک گندم و...) می‌توانند از فضای بین یاخته‌ها یا از منافذ روزنه‌ها عبور کنند و وارد گیاه شوند و حالا باید گیاه از سد دیگری برای دفاع از خود استفاده کند (البته در شکل مقابل قارچ در برخی موارد وارد یاختهٔ برگ نیز شده است).

IV) کرک و خار نیز در دفاع گیاهان نقش دارند. مثلاً کرک‌های روی برگ زبری زیاد دارند و حشره‌های **کوچک** نمی‌توانند **به‌راحتی** روی آن حرکت کنند و از طرفی برخی کرک‌ها ترشحات چسبناکی دارند که حرکت حشره را کند و گاه غیرممکن می‌کند. (خارها نیز مانع خورده شدن گیاهان توسط گیاه‌خواران می‌شوند.)

V) وقتی گیاهی زخمی می‌شود، از بافت پارانشیمی خود ترشحاتی آزاد می‌کنند. این ترکیبات مثل رزین، سبب محافظت گیاه می‌شوند تا ترمیم بافت صورت بگیرد. در برخی موارد این ترشحات آنقدر زیاد و پرحجم می‌باشد که حشره روی گیاه در آن به دام می‌افتد و گیاه بدین طریق از خود دفاع می‌کند.

نکته
ترشحات دفاعی آزاد شده از بخش‌های زخمی گیاه، گاه آنقدر زیاد است که حشره به دام افتاده در آن همراه ترکیبات سخت و سفت می‌شوند و در مقابل عوامل محیطی حفظ می‌شوند. این ترکیبات ممکن است سنگواره یا فسیلی شوند و در بررسی تکامل جانداران به‌کار رود.


«سنگوارهٔ گیاهی»

VI) در اندام‌های **مسن** گیاه، به جای روپوست، ممکن است بافت پسین چوب‌پنبه‌ای یا پریدرم ایجاد شود. این یاخته‌های مرده چوب‌پنبه‌ای شده نسبت به آب و گازها نفوذناپذیرند و می‌توانند مانعی در برابر عوامل آسیب‌رسان باشند.

VII) کلاهک محافظت‌کننده از مریستم نوک ریشه، سبب دفاع از مریستم ریشه در برابر آسیب‌های محیطی می‌شود و البته با ترشح ماده پلی‌ساکاریدی در نفوذ ریشه به خاک نیز مؤثر است (زیست دهم).

● B) دفاع گیاهان از راه شیمیایی

گیاهان نیز در محیط برای گرفتن بیشتر نور، آب و... با هم به رقابت می‌پردازند. برخی گیاهان موادی سمی برای سایر گیاهان تولید و ترشح می‌کنند که مانع رویش دانه و رشد سایر گیاهان شده و استفاده آن‌ها از منابع محیط بیشتر می‌شود. البته گیاهان با تولید و ترشح ترکیبات شیمیایی می‌توانند سبب مرگ گیاه‌خواران یا ایجاد بیماری در گیاه‌خواران شوند که به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

I) ترکیبات سیانیددار: این ترکیبات در تعدادی از گونه‌های گیاهی ساخته می‌شوند و سبب **توقف تنفس یاخته‌ای** و توقف تولید ATP و واکنش‌های انتهایی تولید آب در میتوکندری‌های عامل بیماری‌زا می‌شوند (زیست دوازدهم). در نتیجه سبب مرگ گیاه‌خوار یا بیماری آن‌ها می‌شوند و خود گیاه در امان می‌ماند.

نکته ترکیبات سیانیددار برای تنفس یاخته‌ای خود گیاه اشکالی ایجاد نمی‌کنند و بی‌ضرر هستند ولی وقتی جانوری این ترکیبات را می‌خورد، در **لوله گوارش جانور**، این ترکیبات سیانیددار **تجزیه** می‌شوند و سیانید سمی حاصل از آن آزاد شده و سبب توقف تنفس یاخته‌ای در جانور و سرانجام مرگ جانور می‌شود. دقت کنید که سیانیدها با پر کردن جایگاه فعال آنزیم‌ها، سبب عدم فعالیت آن پروتئین می‌شوند (*دوازدهم*).

II) آلکالوئیدهای گیاهی: آلکالوئیدها از ترکیبات گیاهی هستند که در شیرابهٔ بعضی گیاهان به مقدار فراوان وجود دارند و در دفاع از گیاه در مقابل گیاه‌خواران با **دور کردن آن‌ها** مؤثر هستند (*نه کشتن آن‌ها!*).

مثال: گیاه تنباکو، آلکالوئیدی به نام نیکوتین دارد که برای دور کردن گیاه‌خواران از گیاه تنباکو مؤثر است.

نکته انسان از برخی آلکالوئیدها برای ساخت داروهای مسکن، آرام‌بخش و داروهای ضد سرطان استفاده می‌کند (*زیست دهم فصل ۶*).

نکته برخی آلکالوئیدها مثل شیرابه خشخاش سبب ایجاد مواد اعتیادآور می‌شوند و برای سلامت و امنیت دنیا مضر می‌باشند.

نکته ترکیبات شیمیایی دفاعی گیاهان (*ترکیبات سیانیددار یا آلکالوئیدها و...*) برای سلامت **خود گیاه** مشکلی ایجاد نمی‌کنند و مرگبار نیستند چون گیاهان با سازوکار متفاوتی از اثر آن‌ها بر بدن خود جلوگیری می‌کنند.

نکته این مواد ممکن است سبب مرگ جانور مزاحم نشوند ولی چون آن‌ها را مسموم می‌کند، جانور یاد می‌گیرد که با رفتار آزمون و خطا دیگر به دنبال استفاده از آن گیاه نرود (*دوازدهم*).

C) دفاع گیاهان با مرگ یاخته‌ای

مرگ یاخته‌ای مکانیسمی است که گیاه به وسیله **آنزیم‌های خود**، یاخته آلوده خود را گوارش می‌دهد و از بین می‌برد تا ارتباط آن با یاخته‌های سالم از بین برود.

مثالی از مرگ یاخته‌ای: می‌دانید که **ویروس‌ها** به خودی خود زنده نیست و آنزیم ندارد. ویروس‌ها وقتی وارد یک یاخته می‌شوند و آن را آلوده می‌کنند سریع از آنزیم‌های یاخته آلوده شده استفاده می‌کنند و با ساخت ژنوم و ساختار خود، تعداد فراوانی ویروس می‌سازد و سپس با ترکاندن غشا و دیواره یاخته آلوده به سایر یاخته‌های سالم حمله می‌کنند. در گیاهان وقتی ویروس از سدهای پوششی و ترشحی عبور کرده و وارد گیاه شود، فرایندهایی در یاخته گیاهی ایجاد می‌شود که سبب مرگ زودرس یاخته گیاهی و به عبارتی خودکشی این یاخته‌ها می‌شود. با این کار ویروس فرصت استفاده از آنزیم‌های میزبان و زیاد کردن خود ندارد و در سایر یاخته‌ها تکثیر نمی‌شود. در اثر مرگ یاخته‌ای، یاخته آلوده می‌میرد و ارتباط یاخته مرده و آلوده با سایر یاخته‌های سالم از بین می‌رود و گیاه با فرصت کافی که در اختیار دارد با سازوکارهای دیگری و تولید **ترکیبات ضد ویروس** آن ویروس‌های ورودی را نیز از بین می‌برد.


«با مرگ یاخته‌ها ارتباط یاخته‌های آلوده با سالم قطع می‌شود»

نکته سالیسیلیک اسید نوعی تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در موقع ورود عامل بیماری‌زا به گیاهان، **درون یاخته‌ها** تولید می‌شود و از یاخته رها می‌شود. این ترکیب سبب مرگ یاخته‌ای گیاه می‌شود و عامل بیماری‌زا دیگر در گیاه پخش نمی‌شود.

D) دفاع گیاهان به کمک جانوران محافظت‌کننده

الف) در این روش که انواع مختلفی دارد، ممکن است جانورانی که از برخی گیاهان استفاده غذایی می‌کنند مانع مزاحمت سایر جانوران و گیاهان انگل بر روی گیاه میزبان خود شوند.

مثال: رابطه مورچه با برگ‌های درخت آکاسیا:

برگ‌های درخت آکاسیا محل زندگی و در حقیقت قلمروی مورچه‌ها می‌باشند و مورچه با زندگی همیاری از برگ گیاه استفاده می‌کند ولی مانع حمله سایر مهاجمان به این گیاه می‌شود.

اگر **حشره‌ای** به برگ درخت آکاسیا حمله کند، مورچه‌های فراوان روی درخت به سوی حشره مهاجم هجوم می‌آورند و به احتمال زیاد حشره را از بین می‌برند. این مورچه‌ها حتی به **پستانداران کوچک** و **گیاهان دارزی** حمله‌کننده به این گیاهان نیز هجوم می‌آورند. با این کار مورچه‌ها از وطن! یا محل زندگی یا قلمروی خود محافظت می‌کنند.

نکته گیاهان دارزی انگل خارجی رشدکننده روی سایر درختان هستند.

نکته **گل‌های** درخت آکاسیا بو و رنگ و شکل مناسب همراه با علائم نوری ماوراء بنفش برای زنبورها دارد و گرده‌افشانی آن‌ها وابسته به این زنبورها می‌باشد. وقتی گل‌های این گیاه باز می‌شوند نوعی ترکیب شیمیایی در خود تولید و منتشر می‌کنند که برای **مورچه‌ها** ناسازگار است و آن‌ها را فراری می‌دهد تا مانع حمله آن‌ها به زنبورهای روی گل برای گرده‌افشانی شوند. در حقیقت این مواد فرار ربطی به جلب توجه زنبورهای گرده‌افشان ندارد.



«این مورچه‌ها در حقیقت از محل زندگی خود محافظت می‌کنند.»

◀ در این رابطه مورچه برای حفظ قلمروی خود به دفاع از گیاه در برابر سایر جانوران می‌پردازد.

ب) برخی گیاهان در برابر حمله گیاه‌خواران ماده فرار گازی در هوا پخش می‌کنند تا سبب جلب توجه جانوران صیادی برای از بین بردن جانور حمله برنده به گیاه شوند.

مثال: رابطه برگ تنباکو با نوزاد کرمی‌شکل حشره مزاحم و جلب توجه زنبور به خود:

گفتیم که گیاه تنباکو توانایی تولید **آلکالوئیدهایی** برای فراری دادن جانور فراهم دارد. برخی مواقع این مواد دفاعی برای برخی جانوران مثل نوزاد کرمی‌شکل حشرات، سمی نمی‌باشد و این نوزادان کرمی‌شکل از برگ درخت تنباکو استفاده می‌کنند و به گیاه آسیب می‌رسانند. در این حالت **این یاخته‌های آسیب‌دیده** برگ تنباکو، ترکیب فراری از خود متصاعد می‌کنند که این ترکیب مورد علاقه **زنبور وحشی ماده** می‌باشد. این زنبورها به سمت برگ تنباکو آسیب‌دیده می‌روند و به نوزادان کرمی‌شکل حشرات حمله می‌کنند و در روی آن تخم‌گذاری می‌کنند. وقتی **نوزادان زنبورها** از تخم خارج شدند از نوزاد کرم استفاده غذایی می‌کنند و آن‌ها را می‌کشند. نتیجه این رویداد **کاهش جمعیت حشره آفت** می‌باشد.

نکته

زنبور ماده وحشی بالغ به نوزادان حشره که روی درخت تنباکو هستند حمله می‌کنند ولی نوزادان زنبورها سبب مرگ نوزادان حشره کرمی‌شکل می‌شوند. دقت کنید که این زنبور، زیستا و زایا بوده و از نوع کارگر نمی‌باشد.





ث) زنبور وحشی در حال تخم‌گذاری روی نوزاد کرمی‌شکل حشره

رابطهٔ
- نوزاد کرمی‌شکل حشره با برگ تنباکو ← انگلی
- نوزاد زنبور و نوزاد کرمی‌شکل حشره ← صیادی
- زنبور مادهٔ وحشی و گیاه ← همیاری

نکته

تولید و رهاسازی سالیسیلیک اسید، ترکیب فرار از برگ تنباکو، اینترفرون نوع ۱ و هیستامین ماستوسیت در التهاب، توسط **یاخته‌های آسیب‌دیده** صورت می‌گیرد.

فصل اول
مولکول‌های اطلاعاتی

درسنامه

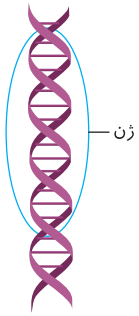
در ایـن فصـل می‌خواهیـم از **مولکول‌ها و عواملی** که باعث به **ارث رسـیدن صفات** می‌شـوند و چگونگی تولید این مولکول‌ها صحبت کنیـم. همان‌طور که می‌دانید **DNA** (رنـا)، مـادهٔ وراثتی یاخته‌های بدن جانداران می‌باشـد که **تقریباً** در هر یاخته‌ای وجود دارد. به‌طور کلـی باید بدانید که از DNA در طی واکنش‌هایی به نام **همانندسازی**، DNAهای جدید دختری و طی فرایندی به نام **رونویسی**، RNA ایجاد می‌شود و در آخر طی **ترجمه** از روی **نوعی** رنا (RNA)، پروتئین‌سازی صورت می‌گیرد. **لازم به ذکر است که اغلب کارهای درون یاخته و درون بدن جاندار را پروتئین‌ها به عنوان کارگر بدن انجام می‌دهند.**

سال‌ها طول کشید تا محققین فهمیدند که **ژن** چیست و چگونه به عنوان **قسمتی از مولکول *DNA*** و به واسطهٔ تولید رنا و یا **پروتئین** خاصی در بدن، توانایی ایجاد یک **صفت** را در جاندار دارد.

در ایـن فصـل، مجموعـهٔ آزمایش‌ها و تاریخچهٔ پیدایش RNA، DNA، پروتئین و سـاختار آن‌ها را بررسـی می‌کنیم ولی در ابتدا لازم اسـت که از کتاب علوم سال‌های قبل، کمی در مورد مادهٔ وراثتی و پروتئین‌ها یادآوری داشته باشیم.

یادآوری

از علوم هشتم و نهم به یاد دارید که:



۱) ژن، **قسمتی** از مولکول DNA است که دارای اطلاعات و دستورهایی برای تعیین و ایجاد صفات ارثی **همهٔ** جانداران می‌باشد. ژن‌ها از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند.

۲) **بیشتر** صفات ارثی مثل رنگ چشم، به دلیل وجود **چند ژن** می‌باشد که با هم کار می‌کنند.

۳) **عوامل محیطی** که در خارج پیکر جانداران می‌باشند، می‌توانند روی **عمل اغلب ژن‌ها** تأثیر بگذارند و سبب تفاوت بین افراد یک نوع **جمعیت** شوند. (از سال دهم به یاد دارید که *گیاه گل ادریسی در خاک اسیدی دارای گلبرگ‌های آبی رنگ و در خاک خنثی و قلیایی دارای گلبرگ‌های صورتی رنگ می‌شود در صورتی که ژن و دستورالعمل DNA آن‌ها یکسان است.*)

۴) در **هستهٔ** جانداران، هر کروموزوم (خم‌تن) از **DNA** و **پروتئین** به وجود آمده است.

گفتار ۱ نوکلئیک‌اسیدها

همان‌طور که در زیست یازدهم دیدید، همهٔ **یاخته‌های پیکری** یک جاندار از تقسیم یاختهٔ **تخم** یا **یاختهٔ والدی** ایجاد می‌شوند. در ابتدا همهٔ یاخته‌های یک جاندار پریاختـه‌ای هماننـد هم می‌باشـند و تمایزی ندارند ولی پـس از مدتی هریک از یاخته‌ها یا بافت‌ها دارای ویژگی‌های اختصاصی مثل شـکل، اندازه، توانایی و کار متفاوتی می‌شوند. وقتی ویژگی‌های **یک یاختهٔ** یوکاریوتی را بررسی می‌کنیم، می‌فهمیم که **همهٔ** آن‌ها تحت کنترل فعالیت **ژن‌های درون هسته** می‌باشند. در هستهٔ یاخته‌های یوکاریوتی، ژن‌ها روی DNA کروموزوم‌ها قرار دارند. در هر یاخته، برحسـب نیاز، چند ژن خاص فعال **می‌مانند** و سـایر ژن‌ها غیرفعال **می‌شـوند** و در این حالت به یاختهٔ مورد نظر، تمایز یافته می‌گوییم چون کاری متمایز از سایر یاخته‌ها را انجام می‌دهد.

نکات ترکیبی

۱) انتقال اطلاعات بین یاخته‌ها، در **یک جاندار** پریاخته‌ای در اثر **تقسـیم یاخته‌ای** صورت می‌گیرد ولی در **بین نسـل‌ها** از طریق **تولیدمثل** و سـپس تقسـیم یاختهٔ جدید صورت می‌گیرد.

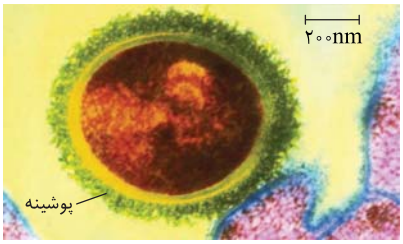
۲) هر کروموزوم هسـته‌ای، حاوی DNA (رنا) و پروتئین می‌باشـد. DNA، مادهٔ ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی اسـت که در این بخش ما به بررسی تاریخچهٔ پیدایش این مولکول و روش همانندسازی آن می‌پردازیم و در فصل‌های بعد ارتباط آن با پروتئین‌سازی را بررسی کنیم.

۳) ویژگی هر یاختهٔ بدن ما از نظر شـکل و اندازه، تحت فرمان هسـته می‌باشـد. البته برخی یاخته‌ها مثل گویچهٔ قرمز بالغ هسـته ندارند ولی طی تمایز و قبل از دست دادن هسته، ویژگی‌های خود را به دست آورده‌اند.

۴) در جانداران پروکاریوتی نیز ویژگی هر جاندار و یاخته، توسط دنای حلقوی اصلی ایجاد می‌شود که به غشای یاخته متصل است.

تحقیقات گریفیت

فردریک گریفیت، باکتری‌شناس انگلیسی بود. او در ابتدا قصد داشت **واکسنی** برای پیشگیری از بیماری آنفلوانزا تولید کند. وی ابتدا فکر می‌کرد که عامل این بیماری نوعی باکتری (*نزدیک به کلونی رشته‌ای*) به نام **استرپتوکوکوس نومونیا** می‌باشد، ولی بعدها دانشمندان متوجه شدند که این باکتری سبب بیماری سینه‌پهلو یا ذات‌الریه می‌شود. گریفیت می‌دانست که این باکتری، دو نوع (*سویه*) به نام پوشینه‌دار (*کپسول‌دار*) و فاقد پوشینه (*خاص کپسول*) دارد. وی آزمایشاتی را روی **موش‌ها** انجام داد ولی در طی مراحل آزمایشات خود به مشاهداتی رسید که به جای تولید واکسن، پی به قابلیت **انتقال مادهٔ وراثتی بین یاخته‌ها** برد.



«باکتری پوشینه‌دار»

نکته

اطلاعات **اولیه** در مورد **ماده وراثتی** از فعالیت‌ها و آزمایشات گریفیت به دست آمد ولی وی نمی‌دانست که جنس مادهٔ وراثتی از **دنا** می‌باشد.

بررسی روند آزمایشات گریفیت

آزمایش اول

گریفیت باکتری‌های زندهٔ **پوشینه‌دار** استرپتوکوکوس نومونیا را به موش‌های آزمایشگاه تزریق کرد. پس از مدتی **همهٔ** موش‌ها دچار علائم سینه‌پهلو شدند و همگی مردند.

۱- باکتری‌های زندهٔ پوشینه‌دار



موش مُرد

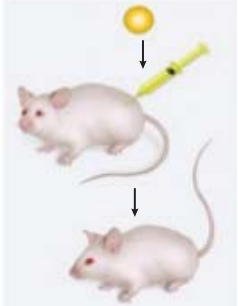
نکته

دستگاه ایمنی موش‌ها قادر به از بین بردن باکتری پوشینه‌دار عامل بیماری سینه‌پهلو نیست. به همین دلیل در خون و شش‌های موش‌های مرده، تعداد بسیار **زیادی** باکتری پوشینه‌دار زندهٔ استرپتوکوکوس نومونیا دیده شد.

آزمایش دوم

وقتی باکتری‌های **فاقد** پوشینه **زنده** را به موش‌ها تزریق کرد، مشاهده کرد که هیچ‌کدام به بیماری سینه‌پهلو مبتلا نشدند و همگی به حیات خود ادامه دادند. در خون و شش‌های این موش‌ها، **هیچ** باکتری استرپتوکوکوس نومونیایی دیده نشد.

۲- باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه


موش زنده ماند

نکته

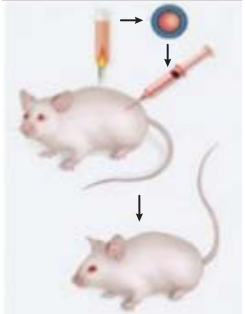
دستگاه ایمنی موش می‌تواند باکتری‌های فاقد پوشینه را با ساخت **پروتئین‌های** دفاعی (*پادتن‌ها*) از بین برده و مانع زیاد شدن آن‌ها شود.

نتیجهٔ گریفیت پس از دو آزمایش اول: از آنجایی‌که در نگاه اول تفاوت دو نوع باکتری تزریق شده به موش، فقط پوشینه داشتن یا نداشتن آن‌ها بود، گریفیت تا اینجا فکر کرد که **پوشینه**، عامل بیماری در موش‌ها می‌باشد.

آزمایش سوم

گریفیت برای آنکه مطمئن شود که **پوشینهٔ باکتری** عامل بیماری سینه‌پهلو هست یا نه؟! شروع به کار جدیدی کرد. وی باکتری‌های **پوشینه‌دار** زنده را در اثر حرارت (*گرما*) کشت و سپس آن‌ها را به موش‌ها تزریق کرد. گریفیت ابتدا به این موضوع فکر کرد که در این مادهٔ تزریق شده، پوشینهٔ باکتری نیز به همراه سایر عوامل وجود دارد که فاقد باکتری زنده می‌باشد. پس از مدتی مشاهده کرد که موش‌ها **زنده ماندند** و در خون یا شش‌های موش‌ها نیز باکتری وجود ندارد.

۳- باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما


موش زنده ماند

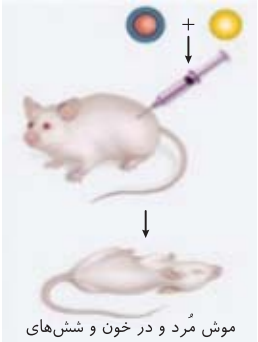
نتیجهٔ آزمایش سوم: گریفیت به این نتیجه رسید که **پوشینه به تنهایی** و یا همراه باکتری **مرده**، قادر به ایجاد علائم بیماری سینه‌پهلو و مرگ جاندار نمی‌باشد.

● آزمایش چهارم

در ایـن آزمایـش، گریفیـت دو مـاده‌ای که هریک به تنهایی سـبب مرگ موش نمی‌شـدند یعنی باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشـینه و باکتری‌های مردهٔ پوشینه‌دار را با هم مخلوط کرد و مجموعهٔ آن‌ها را به موش‌ها تزریق کرد. **درکمال تعجب!** مشاهده کرد که موش‌ها در اثر سـینه‌پهلو مردند. وقتی خون و شـش‌های این موش‌های مرده را آزمایش کرد تعجبش بیشـتر شـد، چون علاوه بر مقداری باکتری‌های فاقد پوشینه، مقدار **زیادی** نیز باکتری **زندهٔ** پوشینه‌دار در بررسی خون و شش‌های موش‌های مرده مشاهده کرد.

نتیجـهٔ آزمایـش چهارم: گریفیـت در سـال ۱۹۲۸ نتیجه گرفت که با باکتری‌های کشـته شـده پـس از مدتی زنده شده‌اند☺ !!! (که فقط در عالم جوک امکان دارد) و یا **تعدادی از باکتری‌های فاقد پوشینهٔ زنده** در اثر تغییر شکل به باکتری‌های زندهٔ پوشـینه‌دار تبدیل شـده‌اند. وی به این فکر افتاد که حتماً مادهٔ زیستی که تا حدی به حرارت **مقاوم** بوده است ویژگی خود را حفظ کرده اسـت و در مخلوط آزمایش چهارم سـبب تغییر شـکل **تعدادی** از باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه به زندهٔ پوشـینه‌دار شـده‌اند. گریفیت نتوانسـت **ماهیت** این ماده و چگونگی انتقال این صفت را مشـخص کند ولی بیان کرد که **ماده‌ای وراثتی** اولاً به حرارت مقاوم است و ثانیاً سبب انتقال صفت، بین دو یاخته شده است.

۴- مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و فاقد پوشینه زنده



موش مُرد و در خون و شش‌های آن باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده شد

تست ۱ چند مورد از جملات زیر عبارت را نادرست تکمیل می‌کند؟

«گریفیت، پس از اضافه کردن مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و فاقد پوشینهٔ زنده، متوجه شد که .....»

الف) DNA می‌تواند بین یاخته‌ها منتقل شود.

ب) برخی باکتری‌های پوشینه‌دار فاقد فعالیت، فعال شده‌اند.

ج) تعدادی از باکتری‌های بدون پوشینه، پوشینه‌دار شده‌اند.

د) پوشینه عامل بیماری سینه‌پهلو نیست.

۱) ۳ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۴ مورد ۴) صفر مورد

پاسخ ۱ موارد (الف)، (ب) و (د) نادرست می‌باشند.

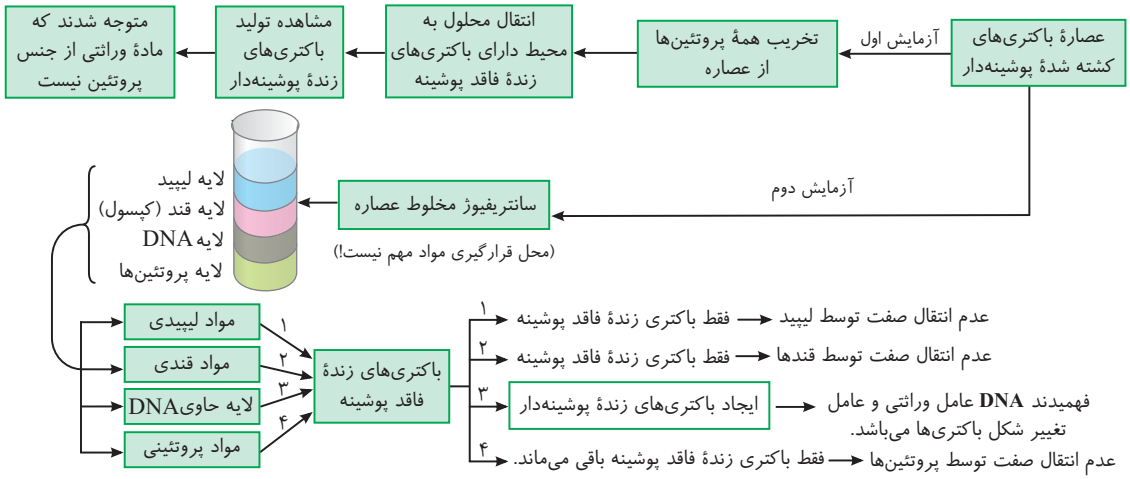
تله‌های تستی الف) نادرسـت اسـت. از نتایج آزمایشات گریفیت، مشخص شـد که مادهٔ وراثتی می‌تواند بین یاخته‌ها منتقل شود ولی خود گریفیت به این مسئله در مورد مادهٔ وراثتی DNA پی نبرد. / ب) نادرست و (ج) درست است. در این آزمایش باکتری مرده به صورت فعال و زنده درنیامده است بلکه **تعدادی باکتری‌های فاقد پوشـینه** در اثر تغییر شـکل به صورت پوشـینه‌دار درآمده‌اند. / د) نادرست است. از نتایج پس از آزمایش سوم، گریفیت متوجه شد که پوشینه به **تنهایی** عامل بیماری نیست ولی سؤال در مورد نتایج بعد از آزمایش چهارم می‌باشد.

پیدایش نقش یا ماهیت DNA به عنوان عامل انتقال صفات یا مادهٔ وراثتی یاخته

تا حدود ۱۶ سال پس از گریفیت، مادهٔ وراثتی یا عامل انتقال وراثت صفات به صورت ناشناخته باقی ماند و اغلب محققین، **پروتئین‌ها** را عامل مؤثر در این تغییر شکل می‌دانستند.

آزمایش‌های ایوری و همکارانش

ایوری و همکارانش، محققینی بودند که ابتدا از مواد آزمایش **سوم** گریفیت، یعنی از **عصارهٔ** استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار استفاده کردند. ایوری سه آزمایش مختلف روی این عصاره انجام داد و همواره عصارهٔ باقی‌مانده را به باکتری زنده فاقد پوشینه اضافه کرد. دقت کنید که **ایوری هیچ‌گاه در آزمایشات خود از موش استفاده نکرد.** در آزمایش اول **همهٔ** پروتئین‌های عصاره را با پروتئازها تخریب کردند (چون سایر محققین معتقد بودند که پروتئین، عامل تغییر شکل باکتری زندهٔ فاقد پوشینه به زندهٔ پوشینه‌دار شده است). آن‌ها محلول یا عصارهٔ بدون پروتئین را به محیط کشت باکتری **فاقد پوشینه** زنده اضافه کردند و مشاهده کردند که تولید باکتری زندهٔ پوشینه‌دار و انتقال صفت انجام شد. آن‌ها **نتیجه گرفتند که قطعاً پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی نیستند.** ولی در این آزمایش اول متوجه نشدند که جنس مادهٔ وراثتی چیست! سپس در آزمایش دوم، مخلوط عصارهٔ اولیه از باکتری پوشینه‌دار مرده را در یک دستگاه سانتریفیوژ (گریزانه) با سرعت **بالا** قرار دادند تا مولکول‌های مختلف در سطوح و لایه‌های مختلف از هم جدا شوند. در ادامه، هر لایه که حاوی **یک نوع مولکول** بود را به باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه اضافه کردند و مشاهده کردند که **فقط** هنگامی که لایه حاوی **DNA** (ژن) را اضافه کردند، صفت جدید در باکتری‌ها ایجاد شد و آن‌ها پوشینه‌دار شدند. در زیر روند آن را مشاهده می‌کنید:



● نتیجهٔ آزمایش‌های اول و دوم ایوری

آن‌ها فهمیدند که DNA همان مادهٔ وراثتی است و عامل تغییر صفت در باکتری فاقد پوشینه می‌باشد که پس از ورود به باکتری زندهٔ فاقد پوشینه و فعال شدن، با ساخت پوشینه، سبب پوشینه‌دار شدن این باکتری‌ها می‌شود. جالب این است که در هر دو آزمایش متوجه شدند که پروتئین فاقد ویژگی انتقال صفت است ولی نتایج آن‌ها با اینکه انکارناپذیر بود، مورد قبول بسیاری از دانشمندان قرار نگرفت.

ادامهٔ تحقیقات پس از نتایج ایوری

علی‌رغم این نتایج باز هم بسیاری از دانشمندان آن زمان معتقد بودند که پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی و عامل انتقال صفات هستند. در نتیجه، نتایج آزمایش ایوری را قبول نکردند و با **روش دیگری** در پی کشف ماهیت مادهٔ وراثتی رفتند. ولی در انتها متوجه شدند که حرف درست و نتیجهٔ درست همان صحبت‌ها و نتایج ایوری بوده است و **DNA مادهٔ وراثتی است.**

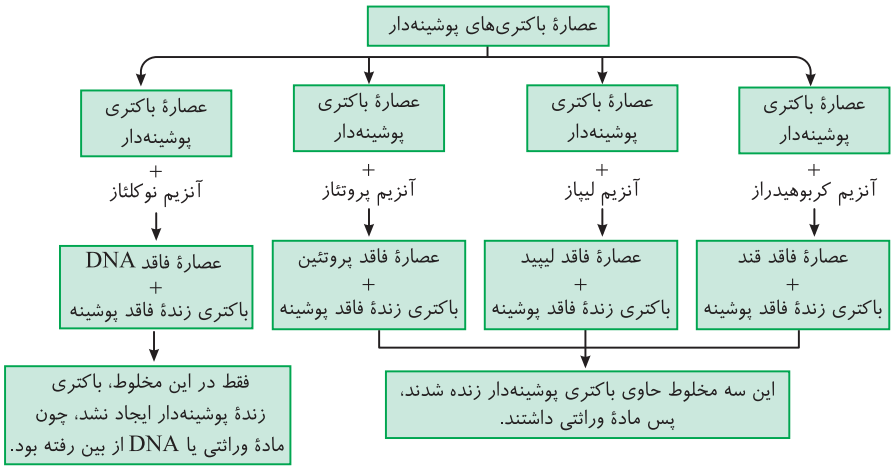
آزمایش سوم ایوری برای اثبات دنا به عنوان عامل وراثتی

ایوری و همکارانش برای ثابت کردن ادعای خود روش دیگری را به کار گرفتند. آن‌ها در عصاره خود از **آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ** انواع مواد آلی استفاده کردند. بدین صورت که ابتدا عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار که حاوی همهٔ نوع مواد آلی قندی، لیپیدی، پروتئینی و DNA و RNA بود را استخراج کردند. این عصاره را به چند قسمت تبدیل کردند و به هرکدام **یک نوع آنزیم هیدرولاز** برای از بین بردن **یک نوع مادهٔ آلی** اضافه کردند. سپس به هر عصارهٔ حاصله، باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه اضافه کردند. آن‌ها در نهایت متوجه شدند که فقط عصاره‌ای که به آن **DNA نوکلئاز** اضافه کرده‌اند و DNAها را از بین برده‌اند، فاقد باکتری پوشینه‌دار می‌باشد. در سایر ظروف **پس از مدتی** باکتری‌های فاقد پوشینه به پوشینه‌دار تبدیل می‌شوند و رشد و تکثیر دارند.

نکته

ایوری در هر سه آزمایش خود متوجه شد که پروتئین مادهٔ وراثتی نیست و البته در آزمایش دوم و سوم بود که متوجه شدند، قند و لیپید نیز این ویژگی را ندارند و مادهٔ وراثتی، فقط دنای یاخته است.

روند کلی آخرین آزمایشات ایوری و همکارانش



نکته

دقت کنید که طبق بیشتر بدانید کتاب درسی، میشر قبل از گریفیت **پی به وجود DNA** برد و ماهیت شیمیایی اسیدی آن را پیدا کرد. سپس گریفیت متوجه شد که عامل وراثتی سبب تغییر شکل یاخته می‌شود. در آخر ایوری فهمید که عامل وراثتی همان دنا (DNA) می‌باشد، ولی بررسی **ساختار** DNA و عوامل موجود در آن در اثر تحقیقات بعد از آن‌ها شکل گرفت.

تست ۲ چند مورد از جملات زیر نادرست است؟

الف) کشف نوکلئیک‌اسیدها قبل از آزمایش‌های ایوری انجام شد.

ب) ایوری با تخریب پروتئین‌های عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار، پی به ماهیت مادهٔ وراثتی برد.

ج) اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی دنا از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی به نام گریفیت به دست آمد.

د) ایوری در آخرین مدل آزمایش‌های خود، در بیشتر ظروف مورد آزمایش خود تغییر شکل باکتری فاقد پوشینه را مشاهده کرد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

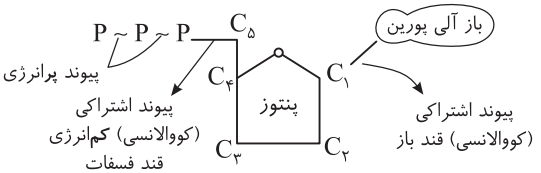
پاسخ ۲ موارد (ب) و (ج) نادرست است.

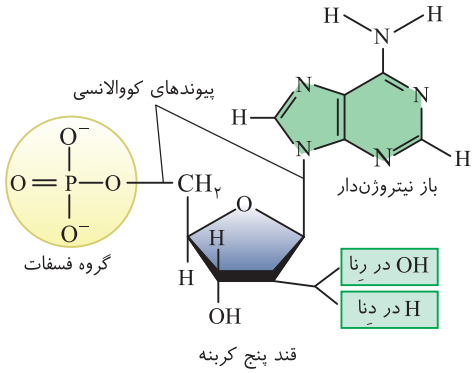
تله‌های تستی الف) درست است. قبل از ایوری و گریفیت، دانشمند دیگری، نوکلئیک‌اسیدها را کشف کرده بود به هر حال وقتی آن‌ها آنزیم ضد دنا استفاده کردند، یعنی دنا پیدا شده بود! / ب) نادرست است. ایوری ابتدا تمامی پروتئین‌های موجود را در عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های پوشینه‌دار تخریب کرد و متوجه شد که با اضافه کردن مخلوط باقی‌مانده به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه، باز هم تغییر شکل باکتری فاقد پوشینه رخ می‌دهد و با این آزمایش در همان ابتدا فهمید که پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی نیستند (*البته ایوری در نتیجه هر سه آزمایش به این موضوع پی برد ولی در آزمایش دوم و سوم پی به ماهیت مادهٔ وراثتی برد.*) / ج) نادرست است. چشمات رو باز کن! گریفیت نفهمید که ماده وراثتی، DNA است. / د) درست است پس از آزمایش آخر ایوری، آن‌ها آنزیم‌های هیدرولاز مختلف تخریب کنندهٔ گروه‌های مواد آلی (*کربوهیدرات پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها*) را به مخلوط آزمایش **اول** ایوری اضافه کردند ولی فقط در ظرفی که به آن نوکلئاز اضافه شده بود، تغییر شکل باکتری دیده نشد.

مطالعاتی برای شناخت ساختار شیمیایی نوکلئیک‌اسیدها

نوکلئیک‌اسیدها، پلیمر (*بسپار*) هستند و از مونومر یا واحدهای تکرار شونده‌ای به نام **نوکلئوتید** به وجود آمده‌اند. این بسپارها به دو نوع دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید یا دنا (DNA) و ریبونوکلئیک اسید یا همان رنا (RNA) تقسیم‌بندی می‌شوند. نوکلئیک اسیدها در حقیقت مانند یک تسبیح یک یا دورشته‌ای هستند که دانه‌های آن‌ها نوکلئوتید می‌باشند. هر نوکلئوتید در یاخته از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

اجزای نوکلئوتیدها:
- ۱) قند **پنتوز** (*پنج کربنه*) ← ریبوز (در RNA) یا دئوکسی‌ریبوز (در DNA) می‌باشد.
- ۲) یک یا دو یا سه گروه فسفات دارند که پیوند بین فسفات‌ها **پرانرژی** است.
- ۳) باز آلی نیتروژن‌دار
  - تک‌حلقه‌ای = پیریمیدین (CUT)
  - دوحلقه‌ای = پورین G و A





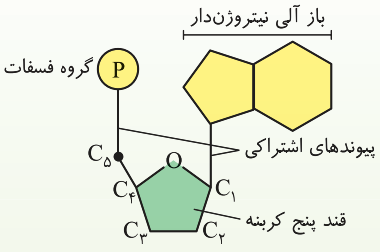
چندنکتهٔ ترکیبی مهم در طرح تست‌ها

۱) باز آلی **تیمین**، فقط در DNA و باز آلی **یوراسیل** فقط در RNA وجود دارد، ولی سه باز آلی سیتوزین، گوانین و آدنین در DNA و RNA به‌طور مشترک وجود دارند.

۲) بازهای آلی پورینی با حلقهٔ **کوچک‌تر** یا پنج‌ضلعی خود با نوعی پیوند اشتراکی به کربن شمارهٔ ۱ قند وصل می‌شوند.

۳) قند ریبوز در **کربن شمارهٔ ۲**، یک اتم اکسیژن بیشتر از قند دئوکسی‌ریبوز دارد. در حقیقت اصلی‌ترین عامل تفاوت نوکلئوتیدهای دنا و رنا، در نوع قند هر نوکلئوتید است.

۴) بدون در نظر گرفتن فسفات‌ها، ۸ نوع نوکلئوتید و با در نظر گرفتن فسفات‌ها ۲۴ نوع نوکلئوتید در یاخته وجود دارد. چون نوکلئوتیدها از نظر نوع قند، نوع باز آلی و تعداد گروه فسفات می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند.



۵) دقت کنید که در هر نوکلئوتید، هیچ‌گاه باز آلی به فسفات‌ها متصل نمی‌شوند و بین آن‌ها پیوندی وجود ندارد. از طرفی پیوند اشتراکی بین باز آلی و قند، با کربن موجود در حلقهٔ پنج‌ضلعی شماره ۱ قند برقرار می‌شود ولی پیوند اشتراکی قند فسفات (*فسفواستری*) بین قند و فسفات با کربن شماره ۵ برقرار می‌شود که این کربن در حلقهٔ پنج‌ضلعی قند شرکت ندارد.

باز آلی + نوع قند = ۸ نوع

- تیمین ← فقط دئوکسی‌ریبوز
- یوراسیل ← فقط ریبوز
- سیتوزین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز
- گوانین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز
- آدنین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز

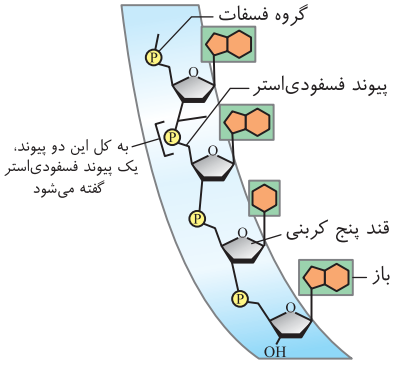
هرکدام از این ۸ نوع می‌توانند یک یا دو یا سه گروه فسفات داشته باشند که کلاً ۲۴ نوع نوکلئوتید می‌شوند.

تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین دو نوکلئوتید

نوکلئوتیدها در یاخته به صورت آزاد، **سه**فسفاته هستند ولی **هنگام برقراری پیوند** با یکدیگر و قرارگیری در نوکلئیک اسیدها، ابتدا دو گروه از سه گروه فسفات خود را از دست می‌دهند **و فقط با یک گروه فسفات خود به قند نوکلئوتید مجاور خود متصل می‌شوند**. این اتصال جدید فسفات - قند بین دو نوکلئوتید مجاور، از نوع پیوند اشتراکی (کووالانسی) می‌باشد که سبب تکمیل شدن پیوند فسفودی‌استر می‌شود. به همین ترتیب نوکلئوتید بعدی قرار می‌گیرد تا یک رشتهٔ **خطی** ایجاد شود. در حقیقت پیوند فسفودی‌استر، خود از دو پیوند قند - فسفات تشکیل شده است یکی قند فسفاتی که از قبل در نوکلئوتید جدید بود و یکی پیوند جدیدی که بین فسفات نوکلئوتید جدید با قند نوکلئوتید قدیم برقرار شده است. **دو انتهای رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید ساخته شده، قطعاً مثل هم نیست،** در یک انتها گروه آزاد **فسفات** و در انتهای دیگر گروه **OH** یا هیدروکسیل وجود دارد. پس می‌گوییم رشتهٔ **پلی‌نوکلئوتید خطی**، قطبیت و دو سر آزاد متفاوت دارد ولی در حالت حلقوی که در باکتری، راکیزه و سبزدیسه‌ها دیده می‌شود، فسفات و OH آزاد در دو سر مولکول DNA و رشته‌های آن دیده نمی‌شود چون آن‌ها نیز به هم وصل شده‌اند و یک پیوند فسفودی‌استر تشکیل داده‌اند.

فرق پیوند قند فسفات (فسفواستر) با فسفودی‌استر

در یک نوکلئوتید، بین قند و فسفات آن، یک پیوند فسفواستر یا قند فسفات وجود دارد که به صورت (–P–O–) نشان داده می‌شود. دقت کنید که پیوند فسفودی‌استر، بین دو نوکلئوتید مجاور ایجاد می‌شود که برای تکمیل آن در حقیقت **یک پیوند** بین OH – آزاد نوکلئوتید اول با فسفات آزاد نوکلئوتید بعدی زده شده است. به همین دلیل پیوند فسفودی‌استر را به صورت (–O–P–O–) نشان می‌دهند که فسفات آن با دو اکسیژن در اطراف پیوند دارد خلاصه، پیوند فسفودی‌استر، خود دارای دو پیوند قند فسفات می‌باشد (خلاصه درون نوکلئوتید یادت باشه که پیوند قند فسفات داریم ولی فسفودی‌استر نداریم!).



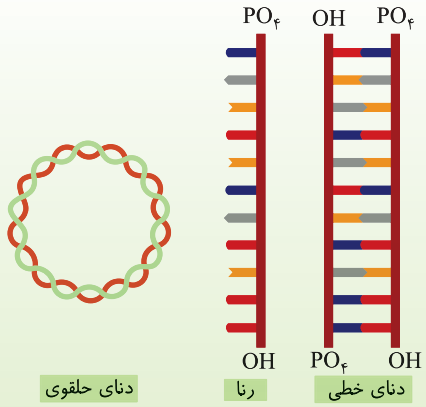
«بخشی از رشتهٔ نوکلئیک‌اسید»



«دنای دورشته‌ای و رنای تک‌رشته‌ای»

نکته

رنا را در کتاب شما به صورت یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید خطی می‌شناسند که دو سر آزاد متفاوت دارد. از طرفی دنا همواره دو رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی دارد که به صورت خطی یا حلقوی می‌باشد. در حالت خطی همواره دو سر آزاد متفاوت در هر رشته وجود دارد ولی در حالت دنای حلقوی، فاقد گروه‌های عاملی آزاد در دو سر مولکول می‌باشد.



تست ۳ **برای تشکیل یک ..... باید .....**

۱) دی‌نوکلئوتید - پیوند فسفودی‌استر و هیدروژنی بین واحدها برقرار شود.

۲) نوکلئوتید - کربن‌های قرار گرفته در حلقهٔ قندی به دو عامل مختلف متصل شوند.

۳) پیوند فسفودی‌استر - برخلاف تشکیل یک رشته از DNA حلقوی، بین قند و فسفات دو نوکلئوتید پیوند ایجاد شود.

۴) مولکول mRNA - بین دو نوکلئوتید مجاور قسمت‌های فاقد نیتروژن با هم پیوند برقرار کنند.

پاسخ ۴ در mRNA برخلاف tRNA و DNA، پیوند هیدروژنی وجود ندارد و بین دو نوکلئوتید مجاور باید یک پیوند فسفودی‌استر بین قندی با گروه فسفات برقرار شود. این دو قسمت در نوکلئوتیدها برخلاف بازهای آلی فاقد نیتروژن می‌باشند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): یک دی‌نوکلئوتید از دو نوکلئوتید با پیوند فسفودی‌استر ایجاد می‌شود و نیازی به پیوند هیدروژنی ندارد. / گزینهٔ (۲): در یک نوکلئوتید، قند پنتوز قسمت مرکزی است که از یک طرف با باز آلی نیتروژن‌دار و از طرف دیگر کربنی از آن که در حلقه قرار ندارد با رشته فسفات‌دار پیوند اشتراکی برقرار می‌کند. / گزینهٔ (۳): هم برای پیوند فسفودی‌استر و هم برای حلقوی شدن DNA، پیوندهای فسفودی‌استر اشتراکی بین گروه قند و فسفات دو نوکلئوتید ارتباط برقرار می‌شود.

تلاش برای کشف ساختار مولکولی DNA (دنا)

تـا قبـل از مطالعات چارگاف، اطلاعات دربارهٔ DNA، **عمدتاً به اجزای تشـکیل دهندهٔ** آن محدود می‌شـد و دربارهٔ **سـاختار سـه‌بعدی** (فضایی) این مولکول اطلاع چندانی در دسـترس نبود. چارگاف و دانشـمندان بعدی توانستند سـاختار سه‌بعدی DNA را مشخص کنند. در ابتدا و قبل از این بررسی‌ها، تصور بر این بود که **چهار نوع نوکلئوتید** موجود در DNA **هر** جانداری، به نسـبت **مسـاوی** در سراسـر مولکول توزیع شـده‌اند و نسـبت چهار نوع باز آلی آن‌ها یکسان می‌باشد. با بررسی‌هایی که در ادامه می‌خوانیم، این تصور از بین رفت.

مطالعات چارگاف

چارگاف در سال ۱۹۵۰ با اندازه‌گیری بازهای آلی مختلف در DNA جانداران مختلف، فهمید که در مولکول DNA ، بازهای آلی به صورتی قرار گرفته‌اند که تعداد آدنین با تیمین و تعداد گوانین با سیتوزین برابر است. پس ما می‌توانیم روابط زیر را در مورد یک مولکول دورشته‌ای DNA به دست آوریم.

$$\left.\begin{matrix}A=T\\G=C\end{matrix}\right\}\Rightarrow\begin{cases}\text{پیریمیدین}=\text{پورین}=\dfrac{\text{تعداد نوکلئوتید DNA}}{۲}\\\dfrac{A}{T}=\dfrac{G}{C}=\dfrac{A+C}{T+G}=\dfrac{A\times G}{T\times C}=۱\end{cases}\Rightarrow \text{نوکلئوتید مولکول DNA } N=۲A+۲G$$

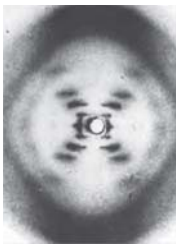
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دقت کنید که چارگاف اصلاً در مورد دورشته‌ای بودن دنا و پیوندهای آن اطلاعی نداشت و حرفی نزد. از طرفی **دلیل** مساوی بودن A با T و یا C با G را نیز عنوان نکرد.

۲) در **یک مولکول** RNA یا DNA **تک‌رشته‌ای** هیچ رابطهٔ ریاضی بین بازها وجود **ندارد**. چون در یک رشته، هیچ محدودیتی در قرارگیری بازهای آلی وجود ندارد.

۳) تحقیقات دانشـمندان پس از چارگاف، سـبب شـد که **دلیل** برابری A و T یا C و G در مولکول دنا مشـخص شـود. به عبارتی چارگاف فقط با بررسی مقدار بازها به نتیجهٔ فوق رسیده بود.

آزمایش ویلکینز و فرانکلین (تاباندن اشعهٔ ایکس و استفاده از تصویر دنا)



آن‌ها با تاباندن مستقیم پرتو ایکس به مولکول DNA، **تصاویری** به دست آوردند و با بررسی این تصاویر نتایجی در مورد **ساختار DNA** پیدا کردند. این نتایج شـامل این بود که گفتند، DNA حالت **مارپیچی** دارد و حاوی **بیش از یک** رشـته می‌باشـد. البته با این روش، **ابعاد مولکول** DNA را نیز تشخیص دادند.

نکته

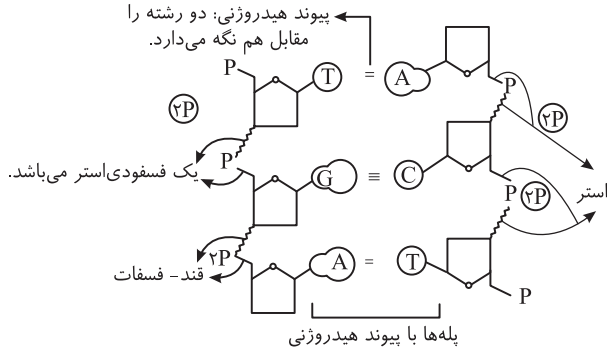
دقت کنید که این گروه نیز متوجه نشدند که دنا، دو رشته است ولی برای اولین‌بار عنوان کردند که مولکولی مارپیچی می‌باشد و به ابعاد آن دست پیدا کردند.

مدل واتسون و کریک (مدل مولکولی نردبان مارپیچ دورشته‌ای DNA)

آن‌ها با اسـتفاده از **نتایج چارگاف**، مطالعات حاصل از تصاویر تهیه شـده با اشـعهٔ ایکس (*فرانکلین و ویلکینز*) و اطلاعاتی که **از یافته‌های خود** داشـتند، مدل **مولکولی نـردبان** مارپیـچ **دوگانه** (*دورشـته*) را پیشـنهاد دادند و در سـال ۱۹۶۲ جایزهٔ نوبل گرفتند. نتایج حاصـل از تحقیقات آن‌ها با پژوهش‌های امـروزی نیز مورد تأیید می‌باشد. این گروه اولین کسانی بودند که دنا را دورشته‌ای و با پیوندهای شیمیایی آن بررسی کردند.

● نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

آن‌ها عنوان کردند که DNA مانند نردبانی **مارپیچی** اسـت که از دو رشـتهٔ پلی**نوکلئوتیدی** ایجاد شده است. این دو رشته **مکمل و ناهمسو** می‌باشند و حول یک محور **فرضی طولی** پیچیده‌اند. به این مدل، مارپیچ دورشـته‌ای (*دوگانه*) نیز می‌گویند، که در هر سـتون یا رشـتهٔ این نردبان، قند و فسـفاتِ نوکلئوتیدها با پیوند اشـتراکی به نام فسفودی‌اسـتر به هم متصل‌اند و پله‌های آن، بازهای آلی نیتروژن‌دار مکمل هم هسـتند که با پیوند هیدروژنی به هم متصل‌اند (*بین A و T دو پیوند هیدروژنی و بین C و G سه پیوند هیدروژنی است ولی شما فقط باید بیاموزید که بین C و G، تعداد پیوند هیدروژنی بیشتری به نسبت رابطه مکملی A و T وجود دارد*).



دو نکتهٔ مهم در حل تست‌ها

۱) هـر پلـه دو بـاز آلی دارد که در دو طرف خود، با اتصال به قند، دو نوکلئوتید ایجاد می‌کند. در هر دو نوکلئوتید روبه‌روی هم در دنا، سـه حلقهٔ نیتروژن‌دار از بازهـای آلـی مکمـل وجود دارد. اگر حلقه‌های پنتوزی هر نوکلئوتید را نیز حسـاب کنیم، در دو نوکلئوتید مکمل و با احتسـاب همه عوامل آن‌ها، مجموعاً ۵ حلقهٔ آلی وجود دارد.

به ازای: ۱ ~ ۲ ~ ۳ ~ ۵
(حلقهٔ آلی) (حلقهٔ نیتروژنی) نوکلئوتید پله

۲) دقت داشته باشید که پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل، دو رشتهٔ دنا را مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها به صورت خودبه‌خودی بین دو مولکول مکمل تشکیل می‌شود و هرکدام به نسبت پیوند اشتراکی، انرژی بسیار کمتری دارند.

نکاتی اضافی در مورد پیوندهای درون مولکول DNA

اگر چه طرح سؤال عددی یا محاسباتی از این فصل مجاز نمی‌باشد ولی برای دانایی بیشتر شما، مقداری از نکات ریاضی موجود در نوکلئیک‌اسیدها را در اینجا قرار داده‌ام!!

تعداد رشتهٔ خطی − تعداد نوکلئوتید = تعداد پیوند فسفودی‌استر
تعداد رشتهٔ خطی − (تعداد نوکلئوتید) × ۲ = تعداد پیوند قند فسفات

	قطبیت	نوکلئوتید	پیوند قند باز	پیوند قند - فسفات	پیوند فسفودی‌استر
DNA حلقوی	ندارد	n	n	۲n	n
DNA خطی (دورشته‌ای)	هر رشته دارد	n	n	۲n−۲	n−۲
مولکول RNA (یا هر رشتهٔ DNA خطی)	دارد	n	n	۲n−۱	n−۱

نکات تکمیلی دربارهٔ مولکول DNA و آزمایش‌های مربوط به آن

۱) مکمل بودن بازهای آلی DNA، نتایج آزمایش‌های **چارگاف** را تأیید می‌کند. این قرارگیری بازها سـبب **یکسـان شـدن قطر** دو رشـتهٔ DNA در **سراسر** مولکول می‌شود، چون همواره یک باز پورین دوحلقه‌ای روبه‌روی یک پیریمیدین تک‌حلقه‌ای قرار می‌گیرد. این یکسان بودن قطر سبب **پایداری اطلاعات** می‌شود.

۲) در مولکول DNA، آدنین همواره روبه‌روی باز آلی تیمین و گوانین همواره روبه‌روی باز آلی سیتوزین قرار می‌گیرد.

۳) علت قرارگیری بازها روبه‌روی هم، **ساختار سه‌بعدی** آن‌هاست که آدنین با تیمین و گوانین با سیتوزین، **مکمل** هستند.

۴) پایدارترین حالت در اتصال بازهای مکمل هنگامی است که بین A و T تعداد پیوند هیدروژنی کمتری از پیوندهای هیدروژنی بین C و G وجود داشته باشد.

۵) **جفت شدن** بازهای مکمل، اصل چارگاف را توجیه می‌کند.

۶) اطلاعات وراثتی را **ترتیب و تعداد بازهای آلی** تشکیل می‌دهند که هیچ محدودیتی **در یک رشته** وجود ندارد.

۷) پیوند **هیدروژنی** به تنهایی انرژی **پیوند کمی** دارد. وجود هزاران یا میلیون‌ها نوکلئوتید و پیوندهای هیدروژنی فراوان به مولکول DNA حالت **پایداری** می‌دهد ولی در موقع نیاز در همانندسازی یا رونویسی می‌توانند در قسمت‌هایی به تدریج از هم جدا شوند بدون آنکه پایداری مولکول به هم بخورد.

۸) آدنین یک **باز آلی** است ولی آدنوزین مجموع قند **پنتوز** و باز آدنین است. تعداد کربن در آدنوزین، پنج تا بیشتر از آدنین است.

۹) هـر نوکلئوتیـد دو بخـش **آلی حلقـوی** دارد: یکـی قند پنتوز کـه یک حلقهٔ ۵ ضلعی **بدون** نیتروژن اسـت و یکی بـاز آلی که می‌تواند یک یا دوحلقه‌ای باشـد. حلقه(ها)ی بازهای آلی برخلاف حلقه هیدرات کربنی پنتوز، دارای **نیتروژن** است.

۱۰) در جانوران مختلف، مواد زائد نیتروژن‌دار آمونیاک، اوره یا اوریک‌اسید از تجزیه بازهای آلی و آمینواسیدها ایجاد می‌شود.

۱۱) تفاوت نوکلئوتیدهای **یک نوع** نوکلئیک‌اسید، به دلیل یکسان بودن قند آن‌ها، **در نوع بازهای آلی** آن‌هاست ولی در بین **دو نوع** نوکلئیک‌اسید DNA و RNA، تفاوت نوکلئوتیدها **در نوع قند** آن‌ها حتمی است ولی ممکن است نوع **باز آلی** آن‌ها نیز مانند تیمین و یوراسیل متفاوت باشد.

۱۲) تشـکیل پیوند فسفودی‌اسـتر که یک نوع پیوند اشـتراکی (*کووالانسـی*) است، مانند هر پیوند کووالانسـی دیگر، با **صرف** انرژی همراه است. این عمل توسط آنزیم‌های **دناپسپاراز**(DNA پلیمراز)، **رناپسپاراز**(RNA پلیمراز) (*فصل ۲*) یا **لیگاز** (*فصل ۷*) صورت می‌گیرد، ولی شکستن آن انرژی‌زا بوده و توسط **نوکلئازها** مثل آنزیم برش‌دهنده (*فصل ۷*) صورت می‌گیرد (*البته رناپسپاراز در عمل ویرایش، فعالیت نوکلئازی هم دارد که در ادامهٔ این فصل بررسی می‌کنیم*).

۱۳) DNA و RNA خطی، به دلیل OH^- و PO_4^- آزاد، بار **منفی** دارند و در میدان الکتریکی سمت قطب **مثبت** می‌روند.

۱۴) همهٔ انواع RNAها و DNA موجود در هسـته یوکاریوت‌ها سـاختار **خطی** دارند و دو گروه عاملی آزاد در دو سـمت آن مولکول‌ها، متفاوت می‌باشـند ولی DNA در پروکاریوت، راکیزه‌ها و سبزدیسه‌ها به صورت حلقوی بوده و دو سر آزاد ندارد.

۱۵) ATP، رایج‌ترین منبع انرژی زیستی یاخته برای انجام واکنش‌های زیستی می‌باشد که ریبونوکلئوتیدی سه‌فسفاته (*با قند ریبوز*) است.

۱۶) نوکلئوتید در ساختار ناقلین الکترون اندامک‌ها مثل NADH، $FADH_2$ و NADPH که در فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای نقش دارند نیز، وجود دارد. این عوامل را در فصل ۵ و ۶ زیست دوازدهم بررسی خواهیم کرد.

۱۷) در **یک رشتهٔ** عادی DNA بین دو **باز آلی** مجاور هیچ پیوندی وجود ندارد. برای تجزیهٔ یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید به واحدهای سازندهٔ آن، باید پیوند بین **قند و فسفات** را تجزیه کنیم. دو باز مکمل از دو رشته DNA روبه‌روی هم پیوند **هیدروژنی** دارند که برای تشکیل یا تجزیه آن **آب** مصرف نمی‌شود.

۱۸) از اطلاعات DNA به‌طور **مستقیم** برای ساخت **RNA** و به‌طور **غیرمستقیم** برای ساخت **پروتئین** استفاده می‌شود. در حقیقت RNA و پروتئین دارای **رمزهای** وراثتی روی DNA هستند ولی **قندها** و **لیپیدها**، رمزی روی DNA ندارند و آن‌ها با واسطه پروتئین‌های آنزیمی در بدن ساخته می‌شوند.

۱۹) در حین ساخت دنا و رنا با اینکه در قسمت‌هایی از دنا، پیوند **هیدروژنی** شکسته می‌شود ولی **پایداری** مولکول دنای اولیه از بین نمی‌رود و این مولکول وظایف خود را در قسمت‌های مختلف انجام می‌دهد.

۲۰) قرارگیری جفت بازهای مکمل این ویژگی را دارد که می‌توان با دانستن ردیف بازهای یک رشتهٔ دنا، ردیف رشتهٔ مکمل آن را پیدا کرد و یا حتی رنای ساخته شده از رشته را نیز بررسی کرد. فقط دقت کنید که باز آلی آدنین، برای ساخت دنا، روبه‌روی آن باز آلی تیمین می‌آید ولی برای ساخت رنا، روبه‌روی آن باز یوراسیل قرار می‌گیرد.

تست ۴ **کدام گزینه عبارت زیر را به‌طور نامناسب کامل می‌نماید؟**

«با توجه به مطالعات و آزمایش‌های انجام شده توسط ..... می‌توان بیان داشت که .....»

۱) ایوری و همکاران ـ مادهٔ وراثتی در مواجهه با آنزیم پروتئاز توانایی انتقال صفات به باکتری بدون پوشینه را دارد.

۲) چارگاف در دنیای طبیعی ـ نسبت مجموع آدنین و تیمین به مجموع گوانین و سیتوزین تقریباً برابر با یک است.

۳) ویلکینز و فرانکلین ـ مولکول دنا ساختار مارپیچی دارد و قطعاً دارای بیش از یک رشته است.

۴) واتسون و کریک ـ ساختار مولکول دنا همانند نردبانی است که به دور محور فرضی پیچیده شده است.

پاسخ ۲ با توجه به آزمایشات چارگاف، می‌توان گفت نسبت مجموع آدنین و گوانین به مجموع تیمین و سیتوزین تقریباً برابر با یک است.

نکته: در مولکول دنا جانداران، روابط زیر برقرار است: نه در دنیای طبیعی که در آن RNA تک‌رشته‌ای و یا حتی نوکلئوتیدهای آزاد هم در آن وجود دارد.

(پورین‌ها = پیریمیدین‌ها)، (نوکلئوتیدهای آدنین‌دار = نوکلئوتیدهای تیمین‌دار) و (نوکلئوتیدهای سیتوزین‌دار = نوکلئوتیدهای گوانین‌دار)

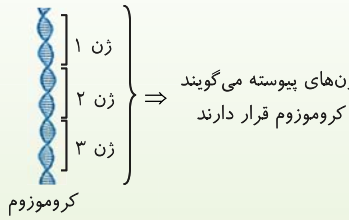
ته‌های تستی گزینهٔ (۱): چون جنس مادهٔ دنا از نوکلئوتید است، آنزیم پروتئاز (*تخریب‌کنندهٔ پروتئین‌ها*) بر آن اثری ندارد و دنا می‌تواند صفات را به باکتری‌های بدون پوشینه انتقال دهد. / گزینهٔ (۳): ویلکینز و فرانکلین با استفاده از اشعهٔ ایکس توانستند پی ببرند که مولکول دنا ساختار مارپیچی دارد و قطعاً دارای بیش از یک رشته است. / گزینهٔ (۴): واتسون و کریک در مدل پیشنهادی خود اظهار داشتند که ساختار مولکول دنا همانند نردبانی است که به دور محور فرضی پیچیده شده است.

ژن چیست؟

همان‌طور که متوجه شدید، اطلاعات وراثتی جانداران در DNA آن‌ها ذخیره شده است. از آنجایی که هر جاندار تعداد صفات و ویژگی‌های زیادی دارد، پس باید **هر قسمتی** از DNA، سبب ایجاد یک یا چند ویژگی شود. **به هر بخشی از مولکول دورشته‌ای DNA که دستورالعمل بروز صفات را در خود ذخیره کرده است، یک ژن می‌گویند.** هر کروموزوم و DNA مرتبط با آن حاوی تعداد **بسیار زیادی ژن** می‌باشد. به ژن‌های قرار گرفته روی یک کروموزوم ژن‌های **پیوسته** می‌گویند که با هم به نسل بعد یاخته یا جاندار منتقل می‌شوند. در ادامه می‌بینید که هر ژن دستورالعمل ایجاد یک صفت را ابتدا از طریق تولید یک رنا و سپس در برخی حالات با تولید **یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی** خاص انجام می‌دهد.

نکته

در فصل ۳ می‌خوانید که در برخی موارد چند ژن با هم سبب فعالیت و بروز یک صفت می‌شوند (*مثل رنگ چشم یا طول قد و...*).



این سه ژن معمولاً در بروز سه صفت مختلف نقش دارند ⇒ این سه ژن را ژن‌های پیوسته می‌گویند که روی یک کروموزوم قرار دارند ⇒

نکته

دقت کنید که ژن‌ها یا DNAهای یوکاریوتی درون **هسته** قرار دارند ولی پروتئین‌سازی درون **ریبوزوم** (*رناتن*) سیتوپلاسم صورت می‌گیرد. پس نیاز به یک مولکول میانجی بین آن‌ها وجود دارد که این مولکول همان **RNA** (*رنا*) می‌باشد. در این بخش فقط به انواع RNAهای یک یاخته می‌پردازیم و در فصل‌های بعد به چگونگی ساخت آن‌ها و فعالیت‌های بیشتر آن‌ها می‌پردازیم.

RNA (رنا) و انواع آن

همان‌طور که در صفحات قبل گفتیم، RNA مولکولی **خطی** است که تک‌رشته‌ای و حاوی تعداد زیادی نوکلئوتید با پیوند فسفودی‌استری می‌باشد **که از روی بخشی از یک رشته مولکول DNA ساخته** (*رونویسی*) **می‌شود** (*فصل بعد کامل می‌خوانیم!!*).

انواع RNA
- ۱) mRNA (رنای پیک): این نوع RNA بعد از ساخته شدن از روی **DNA**، پیام پروتئین‌سازی را از DNA به **ریبوزوم** (رناتن) می‌برد. **در حقیقت، پروتئین به‌طور مستقیم از روی توالی‌های موجود در mRNA ساخته می‌شود.**
- ۲) tRNA (رنای ناقل): این نوع RNA نیز پس از ساخته شدن از روی **DNA** وارد سیتوپلاسم شده تا **آمینواسیدها** را برای پروتئین‌سازی به رناتن منتقل کند و در حقیقت وسیله‌ای برای حمالی یک نوع آمینواسید اختصاصی می‌باشد.
- ۳) rRNA (رنای رناتنی): این نوع RNA، ابتدا از روی **DNA** در هسته ساخته می‌شود و سپس به همراه **پروتئین‌های** رناتنی سبب ساخت **زیرواحدهای کوچک و بزرگ رناتنی** می‌شوند. در حقیقت این RNA در **ساختار** رناتن‌ها نقش دارد.

نکته

علاوه بر نقش‌های ذکر شده برای RNAها، این مولکول‌ها دارای نقش **آنزیمی متعدد** و دخالت بر **تنظیم بیان ژن‌ها** را نیز بر عهده دارند. یعنی به فعال یا غیرفعال شدن ژن‌های خاص در یاخته‌های مختلف کمک می‌کنند پس در تست‌ها خیلی دقت کنید که کاتالیزگر زیستی یا آنزیم هم می‌تواند ساختار نوکلئیک اسیدی از رنا داشته باشد که مستقیماً از روی دنا ساخته شده‌اند ولی اغلب آنزیم‌ها از جنس پروتئین بوده و مستقیماً از روی اطلاعات mRNA ایجاد می‌شوند.

نکته

هر آنزیمی از هر جنسی که باشد، جایگاه فعال دارد و با کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش‌های انجام شدنی یاخته را زیاد می‌کنند ولی خود آنزیم در هر واکنش تغییر نمی‌کند.

نقش‌های مختلف نوکلئوتیدها
- ۱) شرکت در ساختار DNA با **قند** دئوکسی‌ریبوز
- ۲) شرکت در ساختار RNAها با **قند** ریبوز
- ۳) شرکت در ساختار رناتن به صورت rRNA
- ۴) به صورت **ATP** با قند ریبوز، انرژی رایج در یاخته هستند که طی تنفس یاخته‌ای و متابولیسم ایجاد می‌شوند و یاخته در فعالیت‌های مختلف خود از آن استفاده می‌کند.
- ۵) در فصل‌های ۵ و ۶ می‌خوانیم که مولکول‌هایی مثل NADH، $FADH_2$ (در تنفس یاخته‌ای) و NADPH (در فتوسنتز) حاوی انواعی از نوکلئوتیدها هستند که برای انتقال **الکترون** کارایی دارند.

تست ۵ **مولکولی با ساختار غیرپروتئینی که دارای نقش کاتالیزوری در ساختار محل پروتئین‌سازی یاخته می‌باشد، .....**

۱) نمی‌تواند در تنظیم بیان ژن نقش داشته باشد.
۲) نمی‌تواند در کنار بسپارهای دیگری قرار گرفته باشد.
۳) دارای ساختار سه‌بعدی ولی بدون جایگاه فعال می‌باشد.
۴) فاقد پیوند هیدروژنی است ولی روی DNA رمز مشخصی دارد.

پاسخ ۴ منظور سؤال برخی از مولکول‌های **RNA** می‌باشد که بدون ساختار پروتئینی، دارای نقش آنزیمی می‌باشند. این آنزیم از روی قسمتی از یک رشته DNA ساخته می‌شود و فاقد پیوند هیدروژنی است ولی در ساختار رناتن شرکت دارد (درستی گزینهٔ (۴)). RNA می‌تواند در تنظیم بیان ژن و در ساخت رناتن به همراه بسپار دیگری به نام پروتئین نقش داشته باشد (نادرستی گزینه‌های (۱) و (۲)). در مورد گزینهٔ (۳) دقت کنید که هر آنزیمی باید جایگاه فعال و ساختار سه‌بعدی داشته باشد.

درسنامه

گفتار ۲ همانندسازی DNA (دنا)

در این قسمت می‌خواهیم دربارهٔ روش زیاد شدن و کپی‌سازی DNA در یاخته صحبت کنیم و ببینیم چگونه اطلاعات DNA، بدون کم و کاست به یاخته‌های دیگر منتقل می‌شود. قطعاً **مدل واتسون و کریک** و **وجود رابطهٔ مکملی بین بازها** این امکان را ایجاد کرد که بتوان حدس زد، چگونه یک مولکول دنا قرار است به دو مولکول دختری تبدیل شود.

همانندسازی DNA: به ساخته شدن مولکول DNA جدید (دختری) از روی DNA قدیمی (مادری) همانندسازی می‌گوییم که برای آن در ابتدا سه طرح را پیشنهاد کردند: (دقت کنید که این طرح‌ها تئوری بودند و از نظر عملی در ادامه یاد می‌گیرید که فقط یکی از آن‌ها در طبیعت و یاخته صورت می‌گیرد.)

الف) همانندسازی حفاظتی



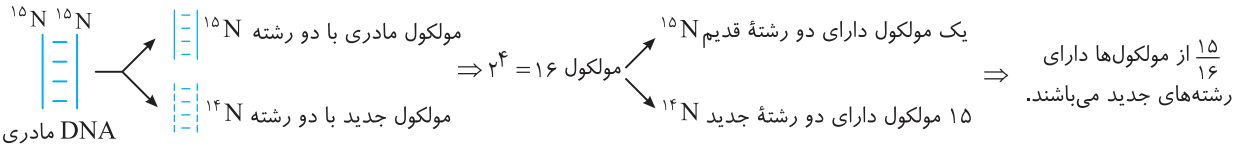
در این طرح تصور می‌کردند که دو رشتهٔ DNA مادر، **دست نخورده** باقی می‌ماند و به **یک** یاخته می‌رسد ولی یک مولکول DNA جدید با دو رشتهٔ جدید وارد یاختهٔ دیگر می‌شود. به‌طور مثال برای ردیابی مولکول‌های حاصله و تفاوت آن با نوع اولیه از بازهای آلی متفاوت استفاده می‌کنیم. مثلاً اگر DNA مادر را با نیتروژن‌های معمولی ^{14}N تصور شود و همانندسازی در محیط دارای نوکلئوتیدهایی با نیتروژن سنگین ^{15}N انجام شود، از دو مولکول حاصله یکی دارای **دو** رشتهٔ ^{14}N و یکی دارای **دو** رشتهٔ جدید با ^{15}N تشکیل می‌شوند. در این روش فرض بر این است که در دنای اولیه هیچ پیوندی شکسته نمی‌شود و فقط یکی از دناهای حاصله، هر پیوند هر دو رشتهٔ آن جدید می‌باشد. اگر این دو مولکول را وارد سانتریفیوژ کنیم دو نوار ایجاد می‌شود. یکی بالاتر برای مولکول سبک و دیگری پایین‌تر برای نمونهٔ سنگین $N=15$.

نکته

در روش همانندسازی حفاظتی اگر n نسل در محیط دارای نوکلئوتیدهای جدید همانندسازی انجام دهیم، در نسل nام، 2^n مولکول به دست می‌آید که همواره، یک مولکول دارای دو رشته DNA **قدیمی** مادری است و سایر مولکول‌ها دارای هر دو رشتهٔ **جدید** می‌باشند.

مثال: اگر یک مولکول DNA دارای ^{15}N را در محیط معمولی ^{14}N تا چهار نسل به روش حفاظتی همانندسازی کنیم، الف) در نسل چهارم چه نسبت از مولکول‌ها دارای رشته‌های جدید می‌باشند؟ ب) اگر مولکول‌های حاصله را در نسل چهارم سانتریفیوژ کنیم، چند نوار و با چه ضخامت‌هایی دیده می‌شود؟

پاسخ: الف) در این حالت 2^4 یا ۱۶ مولکول به دست می‌آید که همواره یک مولکول آن هر دو رشته ۱۵ سنگین وارد ولی ۱۵ مولکول دیگر دارای دو رشته سبک ^{14}N می‌باشد.



ب) چون در نسل چهارم از ۱۶ مولکول، دو نوع دنا، یکی سنگین با دو رشتهٔ ۱۵ و یکی سبک با دو رشتهٔ ۱۴ داریم، پس دو نوار در لوله تشکیل می‌شود ولی چون تعداد نوارهای سبک ۱۵ برابر است، قطر نوار تشکیل شده سبک در بالای لوله سانتریفیوژ بیشتر است.

ب) همانندسازی غیرحفاظتی (پراکنده)

در این طرح، بیان می‌شود که قطعاتی از DNA مادری در هر دو رشته از هم جدا شده و به همراه قطعاتی از رشته‌های جدید در هر مولکول جدید ایجاد می‌شوند. یعنی مثلاً اگر DNA مادری حاوی ^{14}N باشد و نوکلئوتیدهای جدید از نوع ^{15}N باشند، در همهٔ مولکول‌های حاصله و در همهٔ رشته‌های آن‌ها، هم بازهای ^{14}N و هم ^{15}N وجود دارند. پس در نسل nام آن‌ها نیز در هر یاخته، **هر دو** نوع ^{14}N و ^{15}N وجود دارد.



«غیرحفاظتی (پراکنده)»

نکته

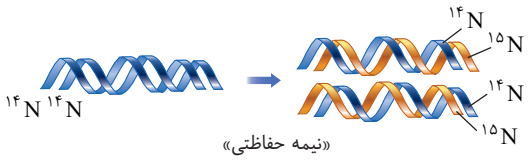
در این مدل همانندسازی، باید برخی قسمت‌های DNA قبلی با شکستن پیوند فسفودی‌استر و هیدروژنی از هم جدا شوند تا برخی قسمت‌های DNA دختری جدید در بین آن‌ها قرار گیرد. اگر مولکول‌های حاصل از این روش را سانتریفیوژ کنیم هیچ‌گاه نباید نواری کاملاً در بالای لوله یا کاملاً در پایین لوله دیده شود. چون چگالی مولکول‌ها همواره دارای بازهای ^{14}N و ^{15}N می‌باشد.

مثال: اگر یک مولکول DNA معمولی را در محیط دارای نوکلئوتیدهایی با نیتروژن رادیواکتیو ^{15}N به روش غیرحفاظتی همانندسازی کنیم، در نسل چهارم چند مولکول حاوی نوکلئوتیدهای جدید نمی‌باشند؟

پاسخ: در همانندسازی غیرحفاظتی، همهٔ مولکول‌ها دارای نوکلئوتیدهای جدید و قدیمی می‌باشند و جواب صفر است.

ج) همانندسازی نیمه‌حفاظتی

این طرح که در حقیقت **طرح صحیح** همانندسازی در طبیعت می‌باشد، بیان می‌کند که دو رشته DNA مادری هرکدام به تدریج از دیگری جدا می‌شود و یک رشتهٔ جدید روبه‌روی آن ساخته می‌شود. در حقیقت هر مولکول DNA جدید، **یک** رشتهٔ **جدید** از روی رشتهٔ الگوی مادری ساخته است، پس دو مولکول حاصله، یک رشتهٔ قدیمی از **مادر** و یک رشتهٔ **جدید** دارند.

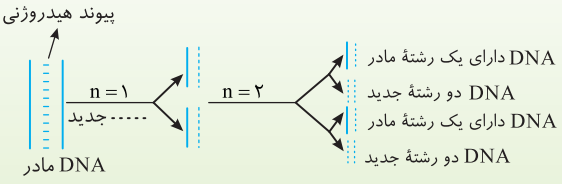


«نیمه حفاظتی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در این روش، پیوند فسفودی‌استر برخلاف هیدروژنی در دنای مادری شکسته نمی‌شود. در مولکول حاصله، پیوندهای هیدورژنی جدید بین رشتهٔ جدید و رشتهٔ مادری ایجاد شده و در هرکدام، یک رشته جدید با پیوند فسفودی‌استر جدید ایجاد شده است.

۲) در همانندسازی نیمه‌حفاظتی بعد از n نسل همانندسازی، همواره 2^n مولکول DNA به دست می‌آید که همیشه **دو** مولکول آن، دارای یک رشته از مادر اولیه و یک رشتهٔ جدید می‌باشند و بقیهٔ مولکول‌ها هر دو رشتهٔ آن‌ها **جدید** است.



۳) هر سه مدل همانندسازی از اصل چارگاف تبعیت می‌کنند یعنی روبه‌روی هر باز آلی پورینی، یک باز آلی پیریمیدینی قرار می‌گیرد.

۴) مولکولی با دو رشتهٔ قدیمی (مادری) فقط در طرح حفاظتی و مولکولی با هر دو رشته، دارای نوکلئوتیدهای جدید و قدیمی در طرح غیرحفاظتی دیده می‌شود.

تست ۶ اگر دنای دارای ^{15}N بخواهد با نوکلئوتیدهای دارای ^{14}N به روش ..... همانندسازی کند، انتظار می‌رود پس از ..... همانندسازی، در لوله‌های آزمایش خارج شده از دستگاه فراگریزانه ..... (قلم‌چی)

۱) حفاظتی - یک بار - یک نوار در وسط لوله تشکیل شود.

۲) نیمه‌حفاظتی - دو بار - یک نوار در وسط لوله تشکیل شود.

۳) حفاظتی - دو بار - دو نوار یکی در بالا و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

۴) نیمه‌حفاظتی - یک بار - دو نوار یکی در وسط و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

پاسخ ۳ در روش حفاظتی، پس از دوبار همانندسازی دو نوار تشکیل می‌شود. یکی شامل دنای دورشته‌ای ^{15}N که به علت سنگین‌تر بودن در پایین لوله و دیگری نوار مربوط به دناهای دورشته‌ای ^{14}N است که به علت سبک‌تر بودن در بالای لوله قرار می‌گیرند. در این روش در وسط لوله نواری تشکیل نمی‌شود.

◄ در روش همانندسازی نیمه‌حفاظتی، در نسل اول یک نوار و در نسل دوم دو نوار در وسط و بالای لوله ایجاد می‌شود.

آزمایش مزلسون و استال برای تأیید طرح‌های همانندسازی

این دو محقق به صورت **علمی** به بررسی سه فرضیه یا طرح پیشنهادی برای مدل همانندسازی DNA پرداختند و برای تشخیص DNAهای جدید از قدیمی، از نوکلئوتیدهایی با ایزوتوپ **سنگین** ^{15}N نشانه‌گذاری شده، در نوکلئوتیدهای محیط استفاده کردند. آن‌ها سپس مولکول‌های حاصله را وارد دستگاه سانتریفیوژ با سرعت بالا کردند تا با بررسی آن‌ها پی به روش حقیقی همانندسازی دنا ببرند.

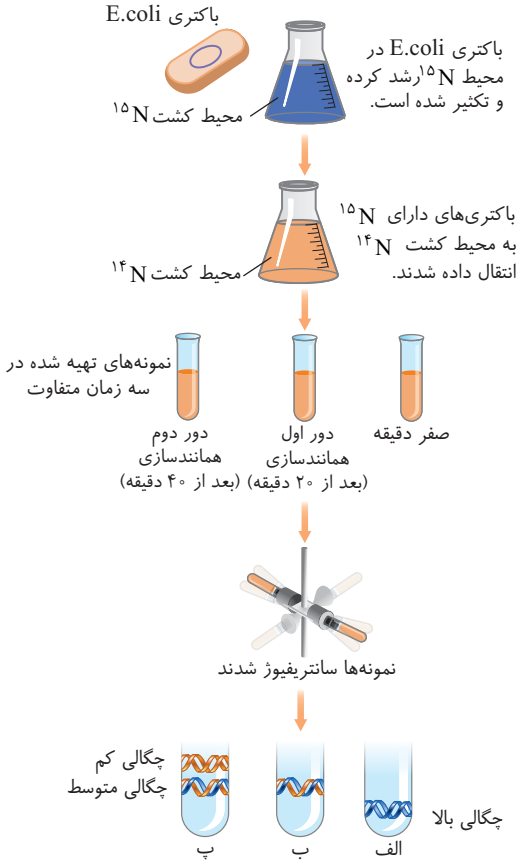
دو نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دقت کنید که در دستگاه سانتریفیوژ سرعت بالا، هر نمونه‌ای که چگالی بیشتری داشته باشد و در واقع سنگین‌تر باشد، در بخش پایین‌تری از لوله قرار می‌گیرد. در این دستگاه DNAها را در فاصلهٔ زمانی هر ۲۰ دقیقه که مدت زمان تقسیم باکتری‌هاست استخراج می‌کنند و در محلولی حاوی **سزیم‌کلرید** در سرعت بسیار بالا سانتریفیوژ (*فراگریزانه*) می‌کنند. هر نمونه‌ای که چگالی بیشتری دارد، **پایین‌تر** قرار می‌گیرد.

۲) تعداد نوارهای تشکیل شده بیانگر انواع نمونه‌ها می‌باشد ولی ضخامت هر نوار، بیانگر مقدار آن نمونه در مقایسه با نمونه‌های دیگر می‌باشد. هر نواری که ضخیم‌تر باشد، تعداد نمونهٔ بیشتری داشته است.

روش آزمایش مزلسون و استال

آن‌ها ابتدا باکتری‌های حاوی نوکلئوتیدهای معمولی با باز آلی حاوی ^{14}N را در محیط دارای نوکلئوتیدهای آزاد سه‌فسفاته ^{15}N کشت دادند و پس از **چندین** مرحله همانندسازی و تکثیر، متوجه شدند که **برخی** باکتری‌ها دارای DNAهایی هستند که حاوی هر دو رشته **سنگین** (^{15}N) می‌باشند. در این حالت در لوله سانتریفیوژ در لحظهٔ صفر، یک نوار در پایین لوله مربوط به نمونه‌های دارای دو رشتهٔ ^{15}N مشاهده می‌کردند. آن‌ها سپس این باکتری‌ها را در محیط کشت حاوی نیتروژن **معمولی** (^{14}N) قرار دادند. پس از حدود ۲۰ دقیقه که مدت زمان تقسیم معمولی **باکتری‌ها** می‌باشد، نسل بعد را از محیط کشت جدا کردند و سپس، DNAهای باکتری‌ها را استخراج و در محلول سزیم کلرید، با سرعت بسیار بالا آن‌ها را سانتریفیوژ (*فراگریزانه*) کردند تا آن‌ها را بررسی کنند. آن‌ها متوجه شدند که DNA باکتری‌های اولیه همگی در **انتهای لولهٔ سانتریفیوژ** و در یک خط قرار می‌گرفتند (*چون همگی حاوی DNA با نیتروژن ایزوتوپ سنگین ^{15}N بوده‌اند*). پس از ۲۰ دقیقه اول، یعنی در پایان دور اول همانندسازی، در یک نوار در میانه لولهٔ سانتریفیوژ (*فراگریزانه*) قرار گرفتند و DNA آن‌ها همگی چگالی **متوسطی** داشتند. در پایان ۲۰ دقیقه مطمئن شدند که روش همانندسازی از نوع حفاظتی نمی‌باشد چون در آن صورت باید دو نوار در بالا و پایین لوله تشکیل می‌شد. بعد از ۴۰ دقیقه از شروع آزمایش که نسل دوم باکتری‌ها ایجاد شدند، مزلسون و استال در لولهٔ سانتریفیوژ **دو نوار** مشاهده کردند یکی در **میانه** که حاوی DNA با چگالی **متوسط** بود و یکی نوار **بالای** لوله که حاوی DNA با چگالی **سبک** بود.



نکته

مزلسون و استال پس از بررسی نسل دوم دناها، فهمیدند که روش و طرح همانندسازی صحیح DNA، فقط به صورت **نیمه حفظ شده** می‌باشد چون اگر روش همانندسازی پراکنده یا غیرحفاظتی بود، هیچ‌گاه نباید مولکول‌هایی با چگالی کاملاً سبک در بالای لوله تشکیل می‌شد. حتماً می‌دانید دلیل این امر چیست! چون در روش غیرحفاظتی هر رشته و مولکول هم ^{14}N و هم ^{15}N دارد.

نکته

مزلسون و استال، پس از ۲۰ دقیقه و بررسی نسل اول دناها، فقط فهمیدند که روش حفاظتی صحیح نمی‌باشد ولی پس از نسل دوم و دیدن دو نوار سبک و متوسط دریافتند که روش صحیح، فقط نیمه‌حفاظتی می‌باشد.

تست ۷ دربارهٔ آزمایش مزلسون و استال، کدام گزینه صحیح است؟ (قلم‌چی)

۱) نیتروژن موجود در بازهای آلی دناهای معمولی، به صورت ایزوتوپ ^{15}N است.

۲) باکتری‌ها قابلیت ساخت نوکلئوتیدهای آدنین‌دار با استفاده از ایزوتوپ نیتروژن موجود در محیط کشت را دارند.

۳) مولکول‌های دنای دارای ایزوتوپ نیتروژن ^{15}N نسبت به ایزوتوپ ^{14}N چگالی بیشتری دارند و در بخش بالاتر قرار می‌گیرد.

۴) سانتریفیوژ در محلول سزیم‌کلرید سبب شد که مولکول‌های دنا از باکتری خارج شوند و بر اساس چگالی در محیط حرکت کنند.

پاسخ ۲ دقت کنید باکتری‌ها هنگامی که در محیط کشت دارای ایزوتوپ نیتروژن ^{15}N قرار گرفتند، توانستند این نیتروژن را وارد بازهای آلی خود کنند (بازهای آلی جدید بسازند) و بدین ترتیب مولکول دنا با وزن مولکولی بیشتر ساخته شد.

ته‌های تستی گزینهٔ (۱): نیتروژن موجود در دناهای معمولی ایزوتوپ ^{14}N است. / گزینهٔ (۳): دقت کنید مولکول‌های دارای ایزوتوپ ^{15}N نسبت به مولکول‌های دارای ایزوتوپ ^{14}N، سنگین‌تر هستند و چگالی بیشتری دارند و در نتیجه در بخش پایین‌تری از لولهٔ آزمایش سانتریفیوژ قرار می‌گیرد. / گزینهٔ (۴): دنا را ابتدا از یاخته‌ها خارج می‌کنند و در محلول سزیم کلرید قرار می‌دهند و سانتریفیوژ می‌کنند.

تست ۸ **اگر یک مولکول DNA دارای چگالی متوسط را در محیط دارای بازهای آلی ^{15}N تا دو نسل همانندسازی ..... انجام دهیم، در لولهٔ سانتریفیوژ شده با سرعت بالای حاصله، ..... نوار در ..... لوله ایجاد می‌شود.**

۱) نیمه‌حفاظتی - دو - وسط و پایین ۲) غیرحفاظتی - یک - بالای ۳) حفاظتی - دو - وسط و بالای ۴) نیمه‌حفاظتی - یک - وسط

پاسخ ۱ در این سؤال خیلی دقت کنید چون DNA اولیه یا مادری از ابتدا **چگالی متوسط** داشته است یعنی یک رشتهٔ ^{14}N و یک رشتهٔ ^{15}N داشته است و می‌خواهد دو نسل در محیط ^{15}N همانندسازی کند.

مولکول اولیه	مدل همانندسازی	نسل اولیه	لولهٔ سانتریفیوژ نسل اول	نسل دوم	لولهٔ سانتریفیوژ نسل دوم
DNA متوسط مادری (^{15}N ^{14}N)	حفاظتی	^{14} ^{15} متوسط ^{15} ^{15} سنگین	متوسط سنگین	متوسط سنگین سنگین سنگین	نوار متوسط نازک نوار قطور برای سنگین‌ها
	نیمه‌حفاظتی	^{15} ^{15} سنگین جدید مادر متوسط جدید مادر	متوسط سنگین	سنگین سنگین سنگین متوسط	نوار متوسط نازک نوار سنگین قطور
	غیرحفاظتی	متوسط متوسط	نوار متوسط		نوار متوسط قطور

نکته مهم

اگر مولکول اولیه که همانندسازی می‌کند مولکولی با چگالی متوسط باشد، نوع همانندسازی نیمه‌حفاظتی و حفاظتی نتایج یکسانی دارد. (البته این تست زیاد اهمیت کنکوری ندارد و بیشتر جنبهٔ تفهیم و تفاوت مدل‌ها و طرح‌های همانندسازی را بیان می‌کند.)

همانندسازی دنا

پس از اینکه مطمئن شدند که روش همانندسازی دنا، نیمه‌حفاظتی است، این سؤال پیش آمد که آیا دو رشته دنا کاملاً از هم جدا می‌شود و سپس همانندسازی شروع می‌شود یا این عمل به تدریج رخ می‌دهد تا پایداری مولکول حفظ شود؟ در ابتدا به بررسی عوامل مورد نیاز برای همانندسازی دنا می‌پردازیم:

عوامل مورد نیاز برای همانندسازی DNA

● ۱) مولکول DNA الگو

کل هر دو رشتهٔ DNA اولیه در همانندسازی نقش **الگو** را دارد.

● ۲) واحد سازنده

برای ساخت دنا، نوکلئوتیدهایی **سه‌**فسفاته **داخل** یاخته با قند **دئوکسی**ریبوز نیاز می‌باشند که طی همانندسازی، **ابتدا** دو گروه فسفات با شکسته شدن پیوند اشتراکی از دست داده و سپس به صورت یک‌فسفاته در رشته قرار می‌گیرد تا یک رشته از هر دو مولکول DNA جدید (رضری) ساخته شود.

● ۳) آنزیم‌ها (انواعی از آنزیم‌ها مورد نیاز است که دو نوع اصلی آن‌ها به صورت زیر می‌باشد.)

الف) هلیکاز: ابتدا **مارپیچ** DNA را باز کرده و سپس پیوندهای **هیدروژنی** دو رشتهٔ DNA را به تدریج باز می‌کند.

ب) DNA پلیمراز (دنابسپاراز)؛ وظیفهٔ ساخت یا عمل بسپارازی رشتهٔ پلی**نوکلئوتید** جدید و عمل **ویرایش** (نوکظری) دارد.

مراحل همانندسازی DNA

قبل از شروع همانندسازی DNA (که برای کروموزوم‌های هسته در ابتدای مرحلهٔ S اینترفاز می‌باشد!) ابتدا باید به کمک **آنزیم‌هایی** پیچ‌وتاب دنا باز شود و در یوکاریوت‌ها، هیستون‌ها و سایر **پروتئین**‌های اطراف DNA که سبب فشردگی آن شده بودند را در کروموزوم‌ها جدا کنند، سپس سایر آنزیم‌های اصلی شروع به همانندسازی می‌کنند.

در هر مولکول DNA، محل یا محل‌هایی **اختصاصی** وجود دارد که به آن‌ها نقاط شروع همانندسازی می‌گوییم. آنزیم(های) **هلیکاز** می‌توانند این محل‌ها را شناسایی کنند. ابتدا مارپیچ یا نردبان DNA را از هم باز می‌کنند و سپس با شکستن پیوندهای **هیدروژنی**، بخشی از دو رشتهٔ DNA را از هم فاصله می‌دهند. وقتی در اثر عمل هر آنزیم هلیکاز، قسمتی از دو رشتهٔ DNA از یکدیگر جدا شوند، **یک** قسمت Y مانند به نام **دوراهی همانندسازی** ایجاد می‌شود. **در محل هر دوراهی همانندسازی، دو رشتهٔ DNA از هم جدا شده است و یک آنزیم هلیکاز وجود دارد.** در این حالت در هر دوراهی، **دو** آنزیم DNA پلیمراز (دنابسپراز) نوکلئوتیدهای جدید را مقابل هر دو رشتهٔ الگو قرار می‌دهند.

چندنکتهٔ بسیار مهم در حل تست‌ها



«همانندسازی دنا»

۱) هر نوکلئوتید سه‌فسفاته ابتدا به صورت خودبه‌خودی با پیوندهای هیدروژنی به نوکلئوتید دارای باز آلی روبه‌رو و مکمل خود در رشتهٔ الگو قرار می‌گیرد، پس دنابسپاراز با شکستن پیوند اشتراکی پرانرژی بین فسفات‌ها، **دو فسفات** نوکلئوتید جدید را از آن جدا می‌کند و سپس با اتصال به گروه هیدروکسیل نوکلئوتید **قبلی** یک پیوند کووالانسی **فسفودی‌استر** را کامل می‌کند. سپس نوکلئوتید بعدی می‌آید و پیوند فسفودی‌استر جدیدی تشکیل می‌شود. به همین ترتیب هلیکاز از جلوی دوراهی، دو رشتهٔ DNA **اولیه** را از هم جدا کرده و **هم‌زمان** دنابسپارازها در حال ساخت دو رشتهٔ DNA جدید روبه‌روی رشته‌های مادری می‌باشند. این عمل تا رسیدن به انتهای مولکول DNA انجام می‌شود. همانندسازی در هر نقطهٔ شروع، معمولاً از هر **دو طرف** این نقطه شروع می‌شود. یعنی معمولاً به ازای هر نقطهٔ شروع همانندسازی، **دو** آنزیم هلیکاز فعال می‌شود و دو دوراهی همانندسازی ایجاد می‌شود و سپس چهار دنابسپاراز، برای آن دو جهت مشغول فعالیت می‌شود.

۲) طی همانندسازی، هلیکاز روی هر دو رشتهٔ دنای الگو قرار می‌گیرد ولی دنابسپاراز روی فقط یک رشتهٔ دنای مادر که می‌خواهد همانندسازی کند قرار می‌گیرد تا رشتهٔ مکمل را بسازد.

۳) **هنگام** اضافه شدن هر نوکلئوتید سه‌فسفاته به انتهای رشتهٔ در حال ساخت، دنابسپاراز دو تا از فسفات‌های آن را جدا کرده و نوکلئوتید جدید به صورت تک‌فسفاته در حال اتصال به رشته باقی می‌ماند پس می‌توان نتیجه گرفت که دنابسپاراز مقدار فسفات‌های آزاد یاخته را زیاد کرده ولی از مقدار نوکلئوتیدهای آزاد سه‌فسفاته می‌کاهد.

۴) به‌جز هلیکاز، برای ساخت رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی جدید، **انواعی** از آنزیم‌ها با یکدیگر همکاری دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها **دنابسپاراز** می‌باشد.

۵) یاخته‌های فاقد دنا (گویچهٔ قرمز) یا یاخته‌های مثل اغلب یاخته‌های عصبی و یا لنفوسیت‌های عمل کننده (پلاسموسیت و T کشنده) چون توانایی تقسیم ندارند، دنای خطی آن‌ها همانندسازی ندارد.

۶ در شکل زیر مشاهده می‌شود که در محل دوراهی همانندسازی، حتی نوکلئوتید یوراسیل‌دار هم ممکن است وجود داشته باشد ولی در همانندسازی از آن استفاده نمی‌شود.



«همانندسازی دنا»

ویرایش

فرایند همانندسازی DNA به دلیل خاصیت رابطهٔ مکملی و جفت بودن بازهای آلی با **دقت** زیادی توسط دنابسپاراز انجام می‌شود و معمولاً نوکلئوتید مناسب با باز آلی مناسب روبه‌روی الگو قرار می‌گیرد. در برخی موارد نیز نوکلئوتید ورودی ممکن است مکمل مناسبی با رشتهٔ الگو نباشد، ولی دنابسپاراز پیوند فسفودی‌استر را با نوکلئوتید قبلی آن برقرار **می‌کند**. دنابسپاراز همواره خیلی وسواس است، یعنی وقتی **هر** نوکلئوتید جدید را به قدیمی وصل کرد، **یک‌بار دیگر برمی‌گردد** و کار خود را بازبینی می‌کند. اگر نوکلئوتید قرار داده شده **باز آلی نامناسبی** داشته باشد، خود دنابسپاراز با عمل نوکلئازی (*هیدرولازی*) پیوند **فسفودی‌استر** را شکسته و دوباره نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی الگو قرار می‌دهد. به این عمل که سبب تصحیح اشتباه در همانندسازی DNA می‌شود، **ویرایش** می‌گوییم.

نکته

اگر ویرایش صورت نگیرد و اشتباه پایدار بماند، **جهش** ایجاد شده است که می‌تواند سبب ایجاد بیماری‌های ژنتیکی شود (*فصل ۴*).

اعمال دنابسپاراز
- ۱) انتقال نوکلئوتید مناسب روبه‌روی الگو و شکستن پیوند اشتراکی پرانرژی بین گروه‌های فسفات
- ۲) برقرار کردن پیوند اشتراکی **فسفودی‌استر** در یک رشته دنا طی همانندسازی ← فعالیت **پلیمرازی** (*پلیمرازی*)
- ۳) شکستن پیوند **فسفودی‌استر** کووالانسی در ویرایش ← فعالیت **نوکلئازی**

اعمال هلیکاز
- ۱) شناسایی نقطه یا نقاط شروع همانندسازی به‌طور **اختصاصی**
- ۲) باز کردن **مارپیچ** DNA
- ۳) باز کردن **تدریجی** دو رشتهٔ DNA با شکستن پیوند **هیدروژنی**

باز کردن
- **پیچ‌وتاب** دنا و هیستون‌ها ← کار آنزیم‌های ناشناس قبل از شروع همانندسازی
- **مارپیچ** دنا ← کار هلیکاز در ابتدای همانندسازی است.

تست ۹ کدام عبارت زیر در مورد همانندسازی دنا نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) در شرایطی می‌توان در ساختار دنا، در مقابل نوکلئوتید آدنین‌دار، نوکلئوتید سیتوزین‌دار مشاهده کرد.

۲) باز شدن مارپیچ دنا، در نهایت منجر به شکل‌گیری ساختارهای Y مانندی می‌شود که دوراهی همانندسازی نام دارند.

۳) نواحی در حال همانندسازی در یوکاریوت‌ها می‌توانند دارای اندازه‌های متفاوتی باشند.

۴) تعداد و طول حباب‌های همانندسازی تشکیل شده در مرحلهٔ مورولا نسبت به مرحلهٔ پس از تشکیل اندام‌ها بیشتر است.

پاسخ ۴ هر چه تعداد حباب‌ها بیشتر باشد، با توجه به ثابت بودن طول دنا، طول نواحی در حال همانندسازی در حباب‌ها **کاهش** خواهد یافت. در مراحل مورولا و بعد بلاستولا، نسبت به مرحله پس از تشکیل اندام سرعت تقسیم زیاد است و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی هم زیاد است.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): در صورتی که آنزیم دنابسپاراز دچار اشتباه شود، این اتفاق می‌تواند مشاهده شود. / گزینهٔ (۲): به دنبال باز شدن مارپیچ دنا، ابتدا دو رشتهٔ دنای الگو از هم باز می‌شوند و در نهایت ساختارهای Yماننده شکل می‌گیرند که دوراهی‌های همانندسازی نام دارند. / گزینهٔ (۳): طبق شکل کتاب درسی کاملاً صحیح است.

تست ۱۰ پس از شروع همانندسازی DNA ، کدام‌یک از اعمال زیر زودتر اتفاق می‌افتد؟

۱) تشکیل پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل
۲) جدا شدن هیستون‌ها از DNA اصلی
۳) تجزیهٔ پیوند اشتراکی
۴) تشکیل پیوند فسفودی‌استر

پاسخ ۱ در همانندسازی DNA به ترتیب اعمال زیر اتفاق می‌افتد:

۱) قبل از شروع همانندسازی، باید پروتئین‌های اطراف DNA مثل هیستون‌ها جدا شوند.

۲) در شروع همانندسازی، ابتدا توسط هلیکاز مارپیچ DNA باز شده و سپس با تجزیهٔ پیوند هیدروژنی، دو رشته DNA الگو از هم جدا می‌شوند و دوراهی همانندسازی ایجاد می‌شود.

۳) سپس آنزیم‌های دنابسپاراز، نوکلئوتیدهایی با بازهای مناسب را روبه‌روی دو رشته الگو قرار می‌دهند.

۴) ابتدا بین بازهای مکمل نوکلئوتیدهای جدید با رشتهٔ مادری پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود.

۵) با ورود نوکلئوتیدهای بعدی، آنزیم دنابسپاراز باعث تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین گروه‌های فسفات و قند می‌شود.

۶) در صورت ورود نوکلئوتید نامناسب، خود دنابسپاراز برمی‌گردد و با تجزیهٔ پیوند فسفودی‌استر، نوکلئوتید نامناسب را برداشته و نوع مناسب را قرار می‌دهد که به آن ویرایش می‌گویند.

نکته

دقت داشته باشید که **تشکیل** پیوند هیدروژنی **همواره** به صورت **خودبه‌خود** بین بازهای آلی مکمل در دو مولکول می‌تواند رخ دهد ولی برای **شکستن** آن اگر تعداد زیادی شکسته شود، نیاز به **آنزیم** دارد. مثلاً هلیکاز شروع به شکستن این پیوند در شروع همانندسازی می‌کند ولی در فرایند **ویرایش** ضمن شکسته شدن پیوندهای فسفودی‌استر، در ادامه پیوند هیدروژنی **خودبه‌خود** تجزیه می‌شود و نیازی به آنزیم ندارد.

مقایسهٔ همانندسازی DNA در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

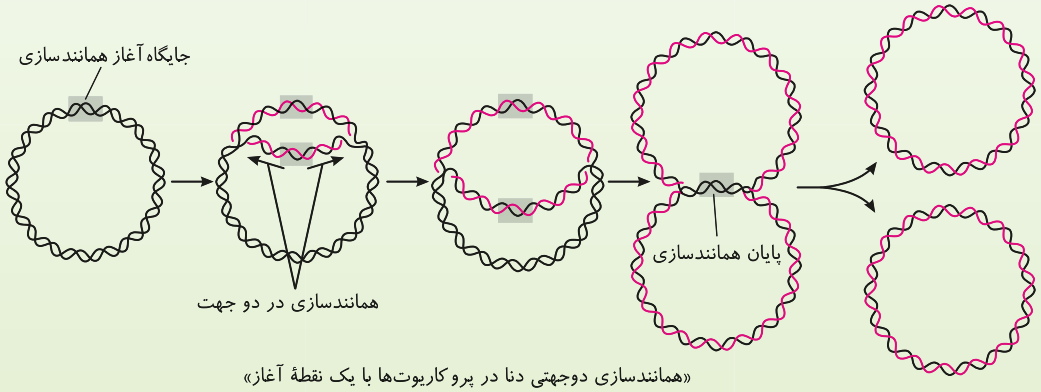
همانندسازی، عملی در **سیتوپلاسم** پروکاریوت‌ها، **هستهٔ** یوکاریوت‌ها و همچنین در سیتوپلاسم یوکاریوت‌ها یعنی در برخی اندامک‌ها مثل **میتوکندری** (*راکیزه‌ها*) و **پلاست‌ها** (*ریبه‌ها*) می‌باشد. **اغلب پروکاریوت‌ها فقط یک نقطهٔ** آغاز همانندسازی و به صورت **اختصاصی** دارند و معمولاً همانندسازی **دوجهته** با **دوراهی** همانندسازی دارند. در یوکاریوت‌ها تعداد نقاط آغاز همانندسازی **زیاد** است و همواره **به صورت دوجهته** می‌باشد. البته با اینکه اصول کلی همانندسازی آن‌ها مشابه است ولی همانندسازی یوکاریوت‌ها به دلیل مقدار **زیاد** DNA و قرارگیری در **چند** کروموزوم، **بسیار** پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها می‌باشد.

نکته

در پروکاریوت‌ها:
- برای هر مولکول DNA ، **اغلب**، فقط **یک** نقطهٔ آغاز اختصاصی وجود دارد و یک **حباب** همانندسازی ایجاد می‌شود.
- ممکن است یک باکتری علاوه بر DNA اصلی حلقوی تعدادی هم DNA کمکی حلقوی به نام پلازمید (*ریک*) داشته باشد.
- اگر همانندسازی **یک‌جهته** باشد، نقطهٔ پایان، **روی** نقطهٔ آغاز است و **یک** دوراهی دارند (*در این حالت یک هلیکاز و دو دنابسپاراز نیاز است*).
- همانندسازی **دوجهته** می‌باشد و نقطهٔ پایان **روبه‌روی** نقطهٔ آغاز است یعنی **دو دوراهی** ایجاد می‌شود.
- DNA اصلی پروکاریوت‌ها درون **سیتوپلاسم** است و به **غشای پلاسمایی** یاخته متصل است ولی پلازمیدها (*ریک‌ها*) در سیتوپلاسم قرار دارند و به غشای یاخته متصل نیستند.
- دیسک‌ها، دنای **حلقوی** هستند که معمولاً در پروکاریوت‌ها می‌باشند. این مولکول ویژگی‌های جدیدی مثل افزایش مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها (*پادزیست‌ها*) را به باکتری اضافه می‌کند (*فصل ۷*).

نکته مهم

در طی همانندسازی دناهای حلقوی، دو دوراهی همانندسازی ابتدا از هم دور می‌شوند و سپس دوباره به هم نزدیک شده تا در مقابل نقطه آغاز به هم برسند.



«همانندسازی دوجهتی دنا در پروکاریوت‌ها با یک نقطهٔ آغاز»

یادآوری

در یوکاریوت‌ها و پروکاریوت‌ها ابتدا هلیکاز یا هلیکازها، نقطه یا نقاط آغاز همانندسازی را پیدا می‌کنند. سپس پیوندهای هیدروژنی بخشی از دو رشتهٔ DNA را باز کرده و در آخر دنابسپارازهای هر دوراهی همانندسازی، نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی رشته الگو قرار می‌دهند و با تشکیل پیوند فسفودی‌استر جلو می‌روند تا به نقطهٔ پایان برسند.

تعریف ویرایش: اگر طی همانندسازی، نوکلئوتید نامناسب روبه‌روی الگو قرار گیرد، پس از هر پیوند فسفودی‌استر، خود **دنابسپاراز** برمی‌گردد و با قطع پیوند فسفودی‌استر، نوکلئوتید نامناسب را برداشته و نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی آن می‌گذارد (*اگر به‌ندرت ویرایش انجام نشود و اشتباه پابرجا بماند به آن جهش می‌گوییم*).

چندنکتهٔ ترکیبی مهم در طرح تست‌ها

(۱) پس از تشکیل هر دوراهی همانندسازی:
۱) پیوند پرانرژی اشتراکی بین فسفات‌ها می‌شکند.
۲) پیوند هیدروژنی بین بازهای آلی، خودبه‌خود تشکیل می‌شود.
۳) پیوند اشتراکی فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدها برقرار می‌شود.
۴) در صورت خطا، پیوند اشتراکی فسفودی‌استر شکسته می‌شود.
۵) نوکلئوتید جدید دوباره در رشته قرار می‌گیرد.

(۲) چون در همانندسازی DNA، همواره هر مولکول DNA حاصله، یک رشته از DNA مادر و یک رشتهٔ جدید دارد، به این روش، **نیمه حفظ شده** (*نیمه‌حفاظتی*) گوییم. در حقیقت از دو رشتهٔ هر مولکول دنا، فقط یک رشتهٔ آن طی آخرین همانندسازی تشکیل شده است.

(۳) در همانندسازی DNA یوکاریوت‌ها، دوراهی‌های همانندسازی به تدریج **از هم دور** می‌شوند تا در انتها در پایان همانندسازی هر دو دوراهی مجاور هم به یکدیگر برسند. در هر دوراهی همانندسازی یک آنزیم هلیکاز و دو آنزیم **دنابسپاراز** مورد نیاز است.



«همانندسازی دنا»

نکات تکمیلی بسیار مهم در این گفتار

۱) کروموزوم اصلی **همهٔ** پروکاریوت‌ها (*باکتری‌ها*)، به صورت **یک مولکول حلقوی** می‌باشد که دو سر رشته‌های پلی‌نوکلئوتید آن‌ها با پیوند **فسفودی‌استر** به هم متصلند. این مولکول در سیتوپلاسم یاخته قرار دارد و به **غشای** یاخته متصل است.

۲) در **برخی** پروکاریوت‌ها علاوه بر DNA اصلی، مقداری DNA دیگر به نام پلازمید (*ریک*) وجود دارد که اطلاعات آن‌ها سبب ایجاد ویژگی‌های بیشتری در میزبان (*باکتری*) می‌شود، مثلاً باعث افزایش مقاومت باکتری‌ها در برابر **آنتی‌بیوتیک‌ها** می‌شوند (*فصل ۷*).

۳) یوکاریوت‌ها (*جانوران، گیاهان، قارچ‌ها و آغازیان*) در کروموزوم‌های **هستهٔ** خود علاوه بر DNA خطی، حاوی پروتئین‌هایی بوده که مهم‌ترین آن‌ها به نام **هیستون** می‌باشند. **پروتئین‌ها**، سبب فشردگی دنا می‌شوند.

۴) ژنوم یوکاریوت‌ها:
- DNA هسته‌ای ← به صورت **خطی** و همراه پروتئین‌هایی مانند هیستون می‌باشد.
- DNA سیتوپلاسمی ← به صورت **حلقوی** و بدون همراهی پروتئین‌ها در **راکیزه‌ها** و **دیسه‌ها** دیده می‌شود.

۵) **اغلب** پروکاریوت‌ها **فقط** یک نقطهٔ اختصاصی برای آغاز همانندسازی دارند که معمولاً به صورت دوجهته توسط دو هلیکاز پیوندهای هیدروژنی آن‌ها باز می‌شود (*معمولاً همانندسازی دوجهته دارند و نقطهٔ پایان آن روبه‌روی نقطهٔ آغاز قرار دارد*).

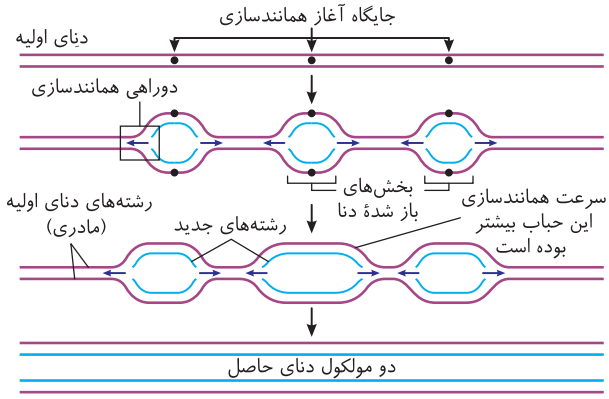
۶) همانندسازی DNA در یوکاریوت‌ها، به دلیل کروموزوم‌های **متعدد** و طویل، **بسیار پیچیده‌تر** از پروکاریوت‌هاست. چون هر DNA کروموزومی آن‌ها، از هر DNA پروکاریوتی بسیار **طویل‌تر** است، پس اگر در یوکاریوت‌ها نیز فقط یک نقطهٔ آغاز وجود داشت، زمان همانندسازی بسیار طولانی می‌شد.

۷) وجود تعداد زیاد نقاط شروع همانندسازی در یوکاریوت‌ها، سبب افزایش **سرعت** همانندسازی در آن‌ها شده است.

۸) در یوکاریوت‌ها، مرحله‌های مختلف **رشد و نمو** جاندار در تعداد نقاط همانندسازی آن‌ها مؤثر است. به‌طور مثال ممکن است ابتدا یک دنا تعدادی نقطهٔ آغاز داشته باشد ولی همراه با افزایش سرعت تقسیم یاخته‌ای، نقاط شروع همانندسازی نیز **زیاد** شوند و با کاهش سرعت تقسیم یاخته، تعداد نقاط شروع نیز **کاهش** یابند. (*پس نتیجه می‌گیریم که در یوکاریوت‌ها، برحسب نیاز یاخته و سرعت تقسیم یاخته‌ای، تعداد نقاط شروع همانندسازی تغییر می‌کند.*)

۹) در دوران جنینی در مراحل **مورولا** (۱۶ یاخته‌ای به صورت کرهٔ توپر در لولهٔ فالوپ) و مرحلهٔ بلاستوسیست (بلاستولا) که سرعت تقسیم یاخته‌ای **زیاد** است، تعداد نقاط آغاز همانندسازی یاخته نیز بسیار زیاد می‌شود ولی **پس** از تشکیل اندام‌ها و تمایز آن‌ها سرعت تقسیم و نقاط آغاز **کم** می‌شود.

۱۰) در شکل مقابل، مشاهده می‌کنید که **سه** نقطهٔ آغاز همانندسازی به صورت دوجهته در DNA یوکاریوتی وجود دارد. در این تصویر **۶** دوراهی همانندسازی، **۶** هلیکاز و **۱۲** آنزیم دنابسپاراز هم‌زمان در حال فعالیت برای ساخت **دو** مولکول DNA به روش **نیمه**حفاظتی می‌باشند.



«همانندسازی در یوکاریوت‌ها»

نکته

تعداد نقاط همانندسازی = ۲× تعداد دوراهی‌های همانندسازی ← (در حالت همانندسازی دوجهته)

تست ۱۱ **کدام عبارت قطعاً دربارهٔ همهٔ جاندارانی که در حین همانندسازی دنا، دوراهی‌های همانندسازی هم می‌توانند از هم دور شوند و هم می‌توانند نزدیک شوند، به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) تعداد دوراهی‌های همانندسازی کمتر از تعداد نقاط شروع همانندسازی است.

۲) در این جانداران نمی‌توان رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی مشاهده کرد که دارای دو سر متفاوت است.

۳) به هر نوع نوکلئیک اسید دارای قند دئوکسی‌ریبوز در این یاخته، چند نوع پروتئین می‌تواند متصل شود.

۴) قبل از تقسیم یاخته‌ای، آنزیم‌های هلیکاز، پیچ‌وتاب‌های مولکول‌های DNA را باز کرده و ساختارهای Y شکل ایجاد می‌کنند.

پاسخ ۳ دقت کنید که هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها، دوراهی‌های همانندسازی می‌توانند به هم نزدیک و یا در برخی مواقع از هم دور شوند (در پروکاریوت‌ها ابتدا دور و سپس نزدیک می‌شوند). به مولکول‌های دنا انواع مختلفی از پروتئین‌ها مثل آنزیم‌های مؤثر در رونویسی و همانندسازی متصل می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): معمولاً به ازای هر نقطهٔ شروع، دو دوراهی وجود دارد. / گزینهٔ (۲): در مورد دنای خطی و رنا نادرست است. / گزینهٔ (۴): پیچ‌وتاب دنا را هلیکاز باز نمی‌کند.

تست ۱۲ **کدام موارد، عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کنند؟ «دربارهٔ هر یاختهٔ دارای بیش از یک فام‌تن اصلی می‌توان گفت که .....»** (قلم‌چی)

الف) در گروهی از دناها، دوراهی‌های همانندسازی یک نقطهٔ شروع همانندسازی به هم نزدیک می‌شوند.

ب) در ابتدای مرحلهٔ تقسیم چرخهٔ یاخته‌ای، دارای تعداد نقاط آغاز همانندسازی بیشتری است.

ج) برای افزایش سرعت همانندسازی تعداد دوراهی‌های همانندسازی در هر نقطهٔ آغاز، بیشتر نمی‌شود.

د) علاوه بر مولکول دنا، مولکول رنا نیز در ذخیره و انتقال اطلاعات یاخته دارای نقش است.

۱) فقط (ب) **۲)** (الف) و (ج) **۳)** (الف) و (ب) **۴)** (ج) و (د)

پاسخ ۱ فقط عبارت (ب) به نادرستی تکمیل می‌کند.

تله‌های تستی الف) در دنای حلقوی، دوراهی‌های همانندسازی یک نقطهٔ آغاز، ابتدا از هم دور و سپس به هم نزدیک می‌شوند. یوکاریوت‌ها در راکیزه و سبزدیسه می‌توانند دنای حلقوی داشته باشند.

ب) طبق متن کتاب زیست‌شناسی ۳ باید گفته شود: «ابتدای تقسیمات یاخته‌ای» چون همان‌طور که از کتاب یازدهم یادمان هست، مرحلهٔ تقسیم چرخهٔ یاخته‌ای در هر صورت پس از همانندسازی انجام می‌شود.

ج) تعداد نقاط آغاز همانندسازی در یوکاریوت‌ها وقتی به سرعت همانندسازی بالاتری نیاز است بیشتر می‌شود و تعداد دوراهی‌ها همان ۲ عدد در هر نقطهٔ آغاز باقی می‌ماند.

د) طبق متن کتاب زیست‌شناسی ۳ درست است.

درسنامه

گفتار ۳ پروتئین‌ها

نوعی از مولکول‌های آلی می‌باشند که همگی به‌طور مستقیم از روی **mRNA** و غیرمستقیم از روی رمزهای **DNA** ساخته می‌شوند. این مولکول‌ها نقش بسیار مهمی در **فرایندهای یاخته‌ای** دارند. در این بخش می‌خواهیم به بررسی ساختار و انواع پروتئین‌ها و شناخت فعالیت‌های آن‌ها در بدن جانداران بپردازیم.

نکته

درون یاخته DNA و RNA مسئول **ذخیرهٔ** اطلاعات و **انتقال** آن‌ها هستند ولی پروتئین‌ها به انجام فرایندها کمک می‌کنند.

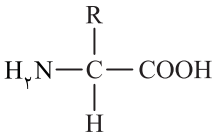
نکات ساختار پروتئین‌ها و آمینواسیدها

۱) پروتئین‌ها، پلیمرهایی **خطی** از تعدادی **آمینواسید** می‌باشند که کربن، هیدروژن، اکسیژن و **نیتروژن** در ساختار **همهٔ** آن‌ها وجود دارد.

۲) واحد سازندهٔ پروتئین‌ها، آمینواسیدها می‌باشند که با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به نام پپتیدی به هم متصل می‌شوند. نوع، تعداد و **ترتیب خاص** آمینواسیدها در پروتئین‌ها، **ساختار و عمل** آن را مشخص می‌کند.

۳) هر آمینواسید، حاوی یک گروه آمینی $(-NH_2)$ و یک گروه اسیدی کربوکسیل $(-COOH)$ می‌باشد که به کربن مرکزی مولکول متصل هستند، این کربن، از یک طرف به هیدروژن و از طرف دیگر به **گروه R** نیز متصل می‌باشد. **گروه R سبب ایجاد آمینواسیدهای متنوع می‌شود و خصوصیات هر آمینواسید به گروه R آن بستگی دارد.**

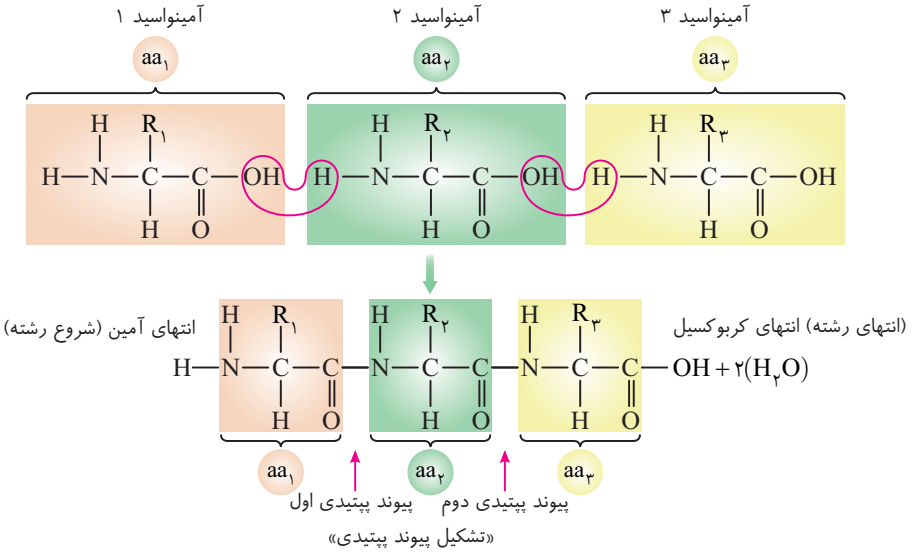
۴) هر مولکول آمینواسید و ماهیت **شیمیایی** گروه R آن، در **شکل‌دهی به پروتئین‌ها** نقش دارد.



«ساختار عمومی یک آمینواسید»

پیوند پپتیدی

در ابتدا باید بدانیم که هر مولکول آمینواسیدی وقتی در **محیط آبی** (یاخته) قرار می‌گیرد، گروه آمینی آن دارای بار مثبت و گروه کربوکسیل آن حاوی بار منفی می‌شود. این دو گروه باردار شده، خاصیت این را دارند که به قسمت دارای بار متفاوت در آمینواسید دیگری نزدیک شوند و با آزاد کردن **یک مولکول آب** سبب اتصال دو آمینواسید شوند. در این واکنش که **سنتز آبدهی** نام دارد، گروه OH در $-COOH$ (عامل اسیدی) و یک **اتم هیدروژن** از گروه $-NH_2$ (عامل آمینی) جدا شده و سبب تولید یک مولکول آب می‌شود. پس بین دو آمینواسید یک پیوند اشتراکی $(CO-NH)$ **به نام پیوند پپتیدی** ایجاد می‌شود و در نتیجه یک دی‌پپتید ساخته می‌شود. سپس یک آمینواسید دیگر می‌تواند به دی‌پپتید متصل شده و تعداد پیوندهای پپتیدی را زیاد کند و به همین ترتیب یک رشتهٔ پلی‌پپتید ساخته می‌شود. همواره به یاد داشته باشید که می‌گوییم آمینواسید، یعنی ابتدا به آمین و سپس به اسید اشاره می‌کنید. سپس در رشته پلی‌پپتید نیز آمینواسید اول، سر آمینی آزاد و آمینواسید آخر، گروه اسیدی یا کربوکسیل آزاد دارد.



«تشکیل پیوند پپتیدی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) هر رشتهٔ پلی‌پپتید از تعدادی آمینواسید **به صورت خطی و بدون شاخه یا انشعاب** ایجاد شده است، ولی یک **پروتئین** از یک یا چند رشتهٔ پلی‌پپتید **بلند** و **بدون** شاخه تشکیل شده است که در ادامه تفاوت ساختار آن‌ها را با هم بررسی می‌کنیم.

۲) گروه R و H متصل به کربن مرکزی در تشکیل پیوند پپتیدی نقشی ندارند.

۳) هر پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها دارد که با جدا کردن آن‌ها طی روش‌های شیمیایی می‌توانیم نوع واحد سازنده آن‌ها را شناسایی کنیم.

انواع آمینواسیدها:
۱) در طبیعت انواع گوناگونی دارند.
۲) فقط **۲۰** نوع آن‌ها در ساختار **پروتئین‌ها** به کار می‌روند و روی DNA **رمز** دارند.

انواع سطوح مختلف ساختاری در پروتئین‌ها

با توجه به اینکه **شکل فضایی هر پروتئین**، سبب **نوع عمل** آن‌ها می‌شود، محققین با استفاده از اشعهٔ ایکس و بررسی تصاویر آن، به همراه روش‌های دیگر به **ساختار سه‌بعدی** پروتئین‌ها پی بردند. با این بررسی‌ها، **جایگاه هر اتم** را نیز در مولکول‌های پروتئینی می‌توانند مشخص کنند.

نکته

ساختار پروتئین‌ها به **چهار** صورت می‌باشد که **هر ساختار** مبنای تشکیل **ساختار بعدی** (بالاتر) آن می‌باشد. در نظر داشته باشید که اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد، **میوگلوبین** بود. این پروتئین، دارای **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی به همراه یک گروه غیرپروتئینی هم (آهن‌دار) می‌باشد. این مولکول رنگدانه قرمز داشته و در یاخته‌های **ماهیچه‌ای** به ذخیرهٔ اکسیژن و انتقال آن می‌پردازد.

● نکات مهم دربارهٔ ساختار اول پروتئین - توالی آمینواسیدها با فقط پیوند پپتیدی (اشتراکی)

۱) براساس ترتیب قرارگیری **خطی** آمینواسیدها در رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد.

۲) همواره **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی دارد و تعداد، انواع و ترتیب آمینواسیدها در آن بسیار مهم می‌باشد.

۳) با توجه به تعداد ۲۰ نوع آمینواسید و عدم محدودیت در رشتهٔ پلی‌پپتیدی، تنوع این ساختار بسیار زیاد است.

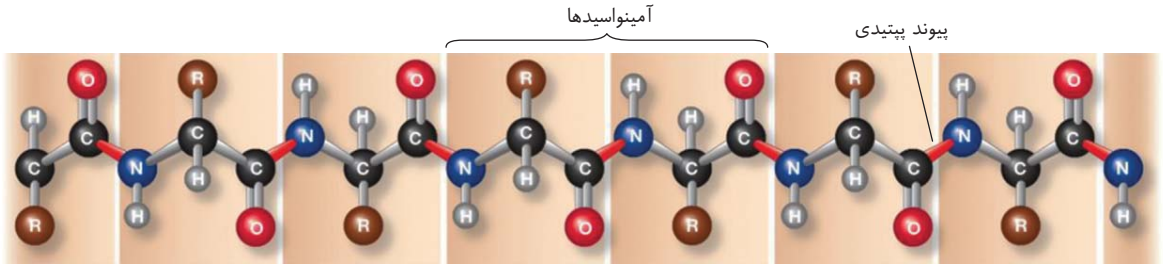
۴) پیوند این ساختار بین گروه کربوکسیل و آمین دو آمینواسید مجاور تشکیل می‌شود ولی گروه R و H متصل به کربن مرکزی در آن نقش ندارد.

۵) تمام سطوح دیگر پروتئین‌ها به این ساختار وابسته است و تغییر در آن، ممکن است سبب تغییر در فعالیت آن پروتئین شود.

۶) بین همهٔ آمینواسیدها پیوند اشتراکی پپتیدی وجود دارد. (*آمینواسیدهای دو سر رشته فقط در یک پیوند پپتیدی شرکت دارند.*)

۷) به ازای تشکیل هر پیوند پپتیدی آن، یک مولکول آب آزاد شده است که به این فرایند سنتز آبدهی می‌گویند.

۸) همواره سر آمینی اولین آمینواسید و سر کربوکسیلی آخرین آمینواسید موجود در رشتهٔ پلی‌پپتید، در پیوند پپتیدی شرکت نکرده است.



«ساختار اول پروتئین‌ها»

● نکات ساختار دوم پروتئین (الگویی از پیوندهای هیدروژنی)

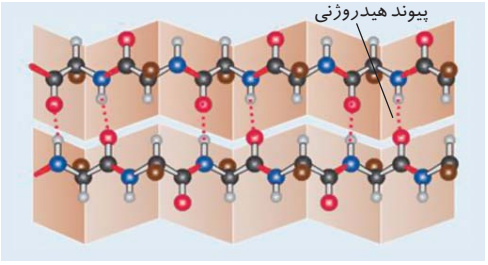
۱) در این ساختار نیز پروتئین مورد نظر **فقط دارای یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد که می‌تواند دارای **نخستین تاخوردگی‌ها** شود.

۲) در این ساختار علاوه بر پیوند کووالانسی پپتیدی، در **بخش‌هایی** از آن **پیوند هیدروژنی** نیز برقرار می‌شود که اساس ایجاد ساختار دوم همین پیوندهای هیدروژنی می‌باشد.

۳) فقط برخی آمینواسیدها در این پیوند شرکت می‌کنند و مولکول دچار اولین تاخوردگی‌ها می‌شود.

۴) این ساختار می‌تواند به حالت‌های مختلفی دربیاید که دو **نمونه معروف** آن به صورت **مارپیچ** (α helix) یا **صفحه‌ای** (β sheet) دیده می‌شود. (*مثلاً در هموگلوبین، هر رشته مارپیچی می‌شود.*)

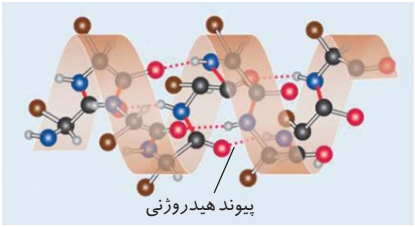
۵) پیوند هیدروژنی این ساختار بین **اکسیژن** عامل اسیدی ($\overset{O}{\overset{\|}{C}}$) با اتم **هیدروژن** گروه آمینی ($-N-H$) برقرار می‌شود.



«ساختار صفحه‌ای»

۶) در ایجاد پیوند هیدروژنی این ساختار، **گروه R** و H متصل به کربن مرکزی آمینواسیدها نقشی ندارند.

۷) هموگلوبین، پروتئینی با **چهار** رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد که کل پروتئین آن ساختار **چهارم** دارد ولی هر رشتهٔ آن زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در ساختار دوم خود، **مارپیچی** همراه با پیوندهای هیدروژنی دارد. (*هر رشته، یک گروه هم غیرپروتئینی دارد.*)



«ساختار مارپیچ»

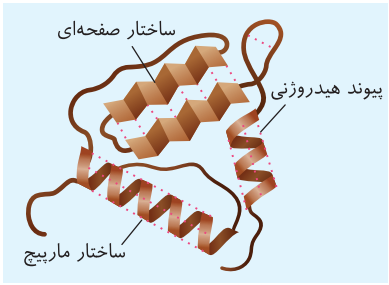
● نکات ساختار سوم پروتئین - تاخورده و متصل به هم (پیوندهای پپتیدی، هیدروژنی، یونی و اشتراکی دیگر دارد.)

۱) این ساختار نیز مانند ساختار اول و دوم، **حاوی یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد.

۲) ساختاری **سه‌بعدی** به پروتئین‌ها می‌دهد که با تاخوردگی **بیشتر** صفحات یا مارپیچ‌های ساختار دوم به صورت ساختار سوم به شکل‌های مختلف درمی‌آید.

۳) برای تشکیل این ساختار، ابتدا برهم‌کنش **آب‌گریزی** با نزدیک شدن **گروه‌های R** آمینواسیدهای آب‌گریز (*نه همهٔ آمینواسیدها*) ایجاد می‌شود. چون قسمت‌هایی از R برخی آمینواسیدها، تمایلی به قرارگیری در معرض آب ندارند. در اثر این عمل، نواحی ویژه‌ای از پروتئین به هم نزدیک شده تا در معرض آب قرار نگیرند.

۴) در اثر **نزدیک شدن** گروه‌های R در آمینواسیدهای آب‌گریز، پیوندهای هیدروژنی، اشتراکی و یونی دیگری ایجاد می‌شود که سبب **تثبیت** آن و ایجاد شکل‌های مختلف در ساختار سوم پروتئین می‌شود.



«ساختار سوم پروتئین‌ها»
(یک رشته که هم بخش صفحه‌ای و هم مارپیچی دارد)

نکته مهم

پیوند اشتراکی بین گروه‌های R را با پیوند اشتراکی پپتیدی اشتباه نگیرید. در حقیقت وقتی رشتهٔ پلی‌پپتید ساختار سوم دارد، دو نوع پیوند اشتراکی دارد، یکی پپتیدی مربوط به ساختار اول و دیگری نوعی اشتراکی بین گروه‌های R دارد.

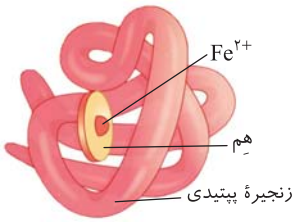
۵) مجموع **همهٔ** نیروها سبب ایجاد شکل به هم پیچیده در قسمت‌های مختلف پروتئین شده و آن‌ها را در کنار هم نگه می‌دارند و پروتئین **ساختار سوم** با **ثبات نسبی** پیدا می‌کند.

نکته

پیوند هیدروژنی در ساختار سوم، بین گروه‌های R برخی آمینواسیدها ایجاد می‌شود ولی پیوند هیدروژنی ساختار دوم بین گروه کربوکسیل و آمین برخی آمینواسیدها تشکیل می‌شود.

۶) بروز تغییر حتی در یک آمینواسید می‌تواند به‌طور قوی **ساختار** و **عمل** آن پروتئین را تغییر دهد.

۷) شکل مقابل، نمونه‌ای از ساختار **سوم** رشتهٔ پلی‌پپتیدی سازنده **میو**گلوبین را نشان می‌دهد.



«میوگلوبین با ساختار سوم»

نکته

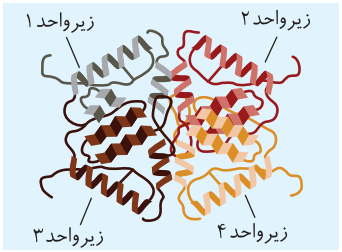
دقت کنید که پروتئین میوگلوبین فقط دارای یک گروه معدنی هم به همراه یک یون Fe^{2+} می‌باشد، البته این بخش قدرت اتصال به اکسیژن نیز دارد که در تارهای ماهیچه‌ای کند (*حرمز*)، مقدار بیشتری دارد. بخش هِم آهن‌دار این مولکول جزء بخش پروتئینی مولکول نمی‌باشد. از طرفی این مولکول برخلاف هموگلوبین، قدرت اتصال به CO_2 و CO را ندارد.

● ساختار چهارم پروتئین‌ها (آرایش زیرواحدها بین چند رشتهٔ پلی‌پپتیدی)

۱) تنها ساختاری است که پروتئین مورد نظر قطعاً دارای **بیش از یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد.

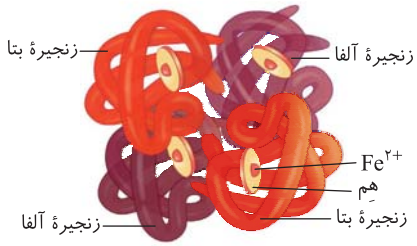
۲) هر زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی آن، یک زیرواحد پروتئین با نقش **کلیدی** محسوب می‌شود.

۳) هر زنجیرهٔ آن حداکثر ساختار **سوم** پروتئینی را دارد و نحوه آرایش بین زیرواحدها باعث ایجاد ساختار **چهارم** می‌شود.



«ساختار چهارم پروتئین‌ها»

۴) مثلاً در هموگلوبین که **چهار** زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی از **دو** نوع آلفا و بتا دارد، هر زنجیره ابتدا در هنگام ساخته شدن در رناتن، ساختار **اول** خطی دارد. سپس با تشکیل پیوند هیدروژنی به صورت **مارپیچی** از ساختار دوم درمی‌آیند، بعد از آن با ایجاد پیوندهای یونی، هیدروژنی و اشتراکی جدید، تاخورده می‌شوند و ساختار **سوم** در آن‌ها ایجاد می‌شود و هر رشته شکل **سه‌بعدی** خاصی پیدا می‌کند. در آخر این چهار زنجیره کنار هم قرار گرفته و ساختار چهارم پروتئین هموگلوبین را ایجاد می‌کنند. (*هموگلوبین دو زنجیرهٔ آلفا و دو زنجیرهٔ بتا که مشابه دارد که هر زنجیره یک بخش غیرپروتئینی آهن‌دار به نام هم دارد.*)

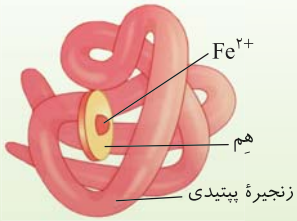


چند نکتهٔ مهم در میوگلوبین و هموگلوبین

۱) هموگلوبین دارای چهار گروه هم بوده که توانایی ذخیرهٔ **آهن**، انتقال بیشترین مقدار اکسیژن خون و مقداری نیز کربن دی‌اکسید خون را دارد. این مولکول در بخش هماتوکریتی (*خون بصر*) خون قرار دارد!

۲) پروتئین میوگلوبین دارای یک رشتهٔ پلی‌پپتید بوده و نهایتاً ساختار سوم دارد. میوگلوبین در یاختهٔ ماهیچه‌ای قرار دارد و **یک** گروه هم، **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی دارد و **یک** Fe^{2+} را به همراه **اکسیژن** ذخیره می‌کند.

۳) دقت کنید که هموگلوبین درون خون و گویچهٔ قرمز یعنی درون بافت پیوندی است ولی میوگلوبین درون بافت ماهیچه‌ای می‌باشد.



«میوگلوبین با ساختار سوم»

تست ۱۳ **چند مورد عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «استفاده از پرتوهای ایکس برای ..... کاربرد ندارد.»**

الف) پی بردن به ساختار سه‌بعدی آمیلاز

ب) پی بردن به جایگاه هر اتم در میوگلوبین

ج) شناسایی مارپیچی بودن عامل انتقال صفت در پارامسی

د) تأیید قطعی دورشته‌ای بودن عامل انتقال صفت در آزمایش ویلکینز و فرانکلین

۱) صفر مورد **۲)** ۱ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۳ مورد

پاسخ ۲ فقط مورد (د) را نمی‌توان به کمک پرتوهای ایکس پی برد.

به کمک پرتوهای ایکس فقط مشخص می‌شود که DNA، بیشتر از یک رشته دارد.

تله‌های تستی! الف و ب) به کمک پرتوهای ایکس به ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها مثلاً آنزیم آمیلاز پی می‌برند و حتی جایگاه اتم‌ها در پروتئین‌هایی مثل میوگلوبین نیز مشخص می‌شود. / ج) مارپیچی بودن DNA و ابعاد آن به کمک پرتوهای ایکس مشخص شده است.

تست ۱۴ **در مورد ساختار تاخورده و متصل به هم یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی چند مورد از عبارت‌های زیر صحیح می‌باشد؟**

الف) با شروع تاخوردگی به شکل کروی سه‌بعدی درمی‌آید.

ب) با تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های R شروع می‌شود.

ج) پیوندهای یونی سبب دور ماندن نواحی آب‌گریز از معرض آب می‌شوند.

د) با تغییر در یک آمینواسید، می‌تواند ساختار و عمل آن تغییر یابد.

۱) ۳ مورد **۲)** ۱ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (ج) و (د) صحیح می‌باشند.

نکته: ساختار **تاخورده و متصل** به هم مربوط به **ساختار سوم** یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد که در ادامه به بررسی عبارات گفته شده می‌پردازیم.

تله‌های تستی! الف) نادرست است. تاخوردگی رشتهٔ پلی‌پپتیدی از **ساختار دوم** شروع می‌شود که به صورت مارپیچ یا صفحه‌ای درمی‌آید ولی در ساختار سوم با **تاخوردگی بیشتر** (*به کلمهٔ بیشتر توجه کنید!!*)، به شکل‌های مختلف سه‌بعدی درمی‌آیند. / ب) نادرست است. ساختار تاخورده و متصل به هم یعنی ساختار سوم پروتئینی با ایجاد **پیوند آب‌گریز** بین گروه‌های R شروع می‌شود و با تشکیل **پیوند یونی** کامل می‌شود. / ج) درست است. تشکیل پیوندهای آب‌گریز و در ادامهٔ آن تشکیل پیوند یونی بین گروه‌های R آمینواسیدها، نواحی ویژه‌ای در پروتئین‌ها را به هم می‌چسباند تا بخش‌های آب‌گریز در معرض آب نباشند. / د) درست است. ساختار سوم پروتئین‌ها، ثبات نسبی ایجاد می‌کند و بروز تغییر در آن حتی به صورت یک آمینواسید هم می‌تواند قویاً **ساختار و عمل** آن‌ها را تغییر دهد.

نکات انواع و نقش پروتئین‌ها

۱) **پروتئین‌ها** از نظر **ساختار شیمیایی و عملکردی**، **متنوع‌ترین** گروه مولکول‌های زیستی می‌باشند (*این جمله در تست‌ها خیلی کاربرد دارد!*)

۲) **آنزیم:** پروتئین‌های آنزیمی به صورت **کاتالیزورهای** زیستی هستند که **سرعت** واکنش‌های خاصی که انجام شدنی باشند را زیاد کرده ولی در هر واکنش دست نخورده باقی می‌مانند.

۳) **گیرنده‌های سطح یاخته‌ای:** برخی پروتئین‌ها هستند که در **سطح** یاخته قرار دارند و میکروب‌های خارجی، یاخته‌های غیرعادی مثل سرطانی و مواد دیگر (*مثل هورمون‌ها و...*) را تشخیص می‌دهند. اساس کار دستگاه‌های هورمونی و دفاعی (*ایمنی*) بدن بر پایهٔ همین پروتئین‌های گیرنده سطحی می‌باشد (*مثل پادتن‌ها*).

۴) **پروتئین‌های انتقال دهندهٔ مواد:** برخی مانند هموگلوبین می‌باشند که در جابه‌جایی گازهای تنفسی نقش مهمی دارند.

نکته

دوستان عزیز دقت کنید که برخی پروتئین‌ها هستند که نقش‌های متعددی دارند، مثلاً پمپ سدیم - پتاسیم که نوعی پروتئین در ساختار **غشای** یاخته‌ها می‌باشد و در نقل و انتقال یون‌های سدیم و پتاسیم و ایجاد **پتانسیل‌های** غشایی نقش دارد ولی این پروتئین نقش **آنزیمی** نیز دارد و می‌تواند با هیدرولیز ATP، انرژی لازم برای فعالیت خود را به دست بیاورد. (*با تولید انرژی به انتقال فعال می‌پردازد که انرژی‌خواه است.*)

۵) **پروتئین‌های محافظت‌کننده:** این پروتئین‌ها در حفظ ساختار یا ماده‌ای در بدن مؤثرند. مثلاً فیبرین نوعی پروتئین است که در ایجاد و حفظ لختهٔ خون نقش دارد و یا کلاژن نوعی پروتئین در بافت **پیوندی** است که در حفظ زردپی، رباط، استخوان و پوست با مقدار زیاد خود نقش دارد.

۶) پروتئین‌های انقباضی: این پروتئین‌ها در انقباض **ماهیچه‌ها و عمل سارکومرها** نقش دارند، مثل حرکات لغزشی **اکتین و میوزین** که با مصرف **ATP** و حرکت بر روی هم باعث انقباض ماهیچه و حرکت **استخوان‌ها** می‌شود (*البته حفرهٔ انقباضی هر یاخته جانوری در هنگام تقسیم سیتوپلاسم نیز از این پروتئین‌ها می‌باشد.*)

۷) پروتئین‌های نشانه‌ای (پیام‌آور): این پروتئین‌ها سبب انتقال دستورالعمل خاصی در بدن می‌شوند که از آن‌ها می‌توان به **بیشتر هورمون‌ها** اشاره کرد که فعالیت‌های بدن را تنظیم می‌کنند.

۸) پروتئین‌های تنظیمی: انواع مختلفی از پروتئین‌ها وجود دارند که در تنظیم **بیان** ژن‌ها و روشن و خاموش کردن آن‌ها نقش دارند. مثلاً پروتئین‌های مهارکننده با اتصال به برخی جایگاه‌های DNA سبب کم شدن مقدار RNAسازی و پروتئین‌سازی یاخته می‌شوند و در **تمایز** جاندار نیز نقش دارند یا عوامل رونویسی و پروتئین‌های فعال‌کننده که در بیان ژن جانداران نقش دارند (*فصل ۴*).

آنزیم‌ها

قبل از اینکه وارد بحث و کار آنزیم‌ها شویم، باید خدمت شما عرض کنم که **انجام هر واکنشی انجام شدنی** در بدن جانداران، نیاز به **انرژی اولیه‌ای** دارد. اگر انرژی اولیه یا فعال‌سازی واکنش‌های شیمیایی در بدن به اندازهٔ کافی وجود نداشته باشد، واکنش‌ها آنقدر **کند** انجام می‌شوند که ادامهٔ حیات امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه این موضوع، در بدن نیاز به کاتالیزورهایی برای سریع‌تر شدن واکنش‌ها و کمتر هدر دادن انرژی به وجود می‌آید. در حقیقت تمام واکنش‌ها در بدن موجود زنده که به انجام آن‌ها سوخت‌وساز یا متابولیسم می‌گویند به انرژی اولیه یا فعال‌سازی نیاز دارند. **این واکنش‌ها توسط مولکول‌هایی به نام آنزیم‌ها انجام می‌شوند.** آنزیم‌ها از هر نوعی چه پروتئینی و چه از جنس رنا که باشند، با **کم کردن انرژی فعال‌سازی** واکنش‌ها، **سرعت واکنش‌ها** را در بدن جاندار **زیاد** کرده و سبب می‌شوند انرژی در دسترس بدن برای هر واکنشی که انجام شدنی باشد، باقی بماند و به هدر نرود.

نکته

بدون آنزیم‌ها، سوخت‌وساز یاخته‌ها در دمای بدن بسیار کند می‌شود و انرژی لازم برای ادامهٔ حیات تأمین نمی‌شود.

نکته

آنزیم‌ها امکان **برخورد مواد اولیه** به هم را زیاد می‌کنند ولی خود آن‌ها در واکنش‌ها دست نخورده باقی می‌مانند.

ساختار آنزیم‌ها

- آنزیم‌های **پروتئینی**
  - بیشتر آنزیم‌ها را شامل می‌شوند که یک یا چند رشتهٔ **پلی‌پپتیدی** دارند.
  - از روی **mRNA** و در **رناتن** سیتوپلاسم و برخی اندامک‌ها ساخته می‌شوند.
  - ساختار سه‌بعدی اختصاصی به همراه جایگاه فعال برای پیش‌ماده‌های خود دارند.
- آنزیم‌های **غیرپروتئینی**
  - اغلب از جنس **RNA** می‌باشند که از روی بخشی از یک رشته **DNA** ساخته می‌شوند.
  - ساختار سه‌بعدی اختصاصی و جایگاه فعال برای پیش‌مادهٔ خود دارند.
  - **لطفاً در بررسی تست‌ها، آنزیم‌های رنایی را فراموش نکنید!**

محل تولید آنزیم‌ها

- **برخی** آنزیم‌ها که غیرپروتئینی و از جنس RNA هستند در **هستهٔ** یوکاریوت‌ها و **سیتوپلاسم** پروکاریوت‌ها و همچنین درون میتوکندری و کلروپلاست تولید می‌شوند.
- **بیشتر** آنزیم‌ها پروتئینی هستند و رشته‌های پلی‌پپتیدی با ساختار اول آن‌ها در **رناتن** تولید می‌شوند و سپس ساختارهای دیگر خود را در یاخته به دست می‌آورند.

محل فعالیت آنزیم‌ها

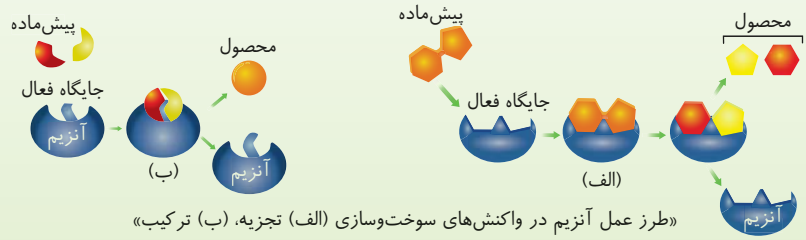
- **درون یاخته:** آنزیم‌های مورد نیاز برای همانندسازی، رونویسی، ترجمه و آنزیم‌های مؤثر در میتوکندری (*تنفس یاخته‌ای*)، کلروپلاست (*فتوسنتز*) و...
- **بیرون یاخته:** آنزیم‌هایی که از یاخته ترشح می‌شوند، مانند آنزیم‌های گوارشی و هیدرولیز کنندهٔ مواد غذایی (*آمیلاز، پپسین و...*) از این نوع هستند.
- **سطح غشای یاخته:** آنزیم‌هایی مثل پمپ سدیم - پتاسیم و...

نکته

هر آنزیم ساختار **اختصاصی** خود را دارد و حاوی بخشی به نام **جایگاه فعال** می‌باشد. جایگاه فعال شکل اختصاصی برای اتصال به پیش‌ماده دارد. در حقیقت پیش‌ماده‌ها، ترکیباتی هستند که آنزیم روی آن‌ها اثر می‌کند و **بخش متصل شونده آن‌ها**، شکلی **مکمل** با جایگاه فعال آنزیم دارند. در اثر عمل آنزیم، پیش‌ماده‌ها با هم واکنش می‌دهند و از فعالیت آنزیم، فراورده حاصل می‌شود. در انتهای فعالیت، خود آنزیم دست نخورده باقی می‌ماند تا دوباره این فعالیت را با پیش‌ماده‌های جدید ادامه دهد. مثلاً آنزیم **کربنیک‌انیدراز** در گویچه‌های قرمز سبب ترکیب پیش‌ماده‌های CO_2 و آب و ایجاد فراورده‌ای به نام کربنیک اسید می‌شود.

نکته

برخی آنزیم‌ها سبب تشکیل ماده و برخی سبب تجزیهٔ ماده می‌شوند ولی در هر صورت، هر آنزیم در هر واکنش تغییر نمی‌کند.



«طرز عمل آنزیم در واکنش‌های سوخت‌وسازی (الف) تجزیه، (ب) ترکیب»

نکات عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم‌ها

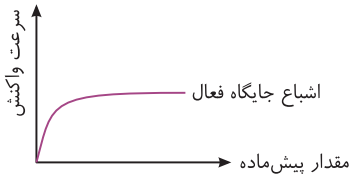
۱) **برخی** آنزیم‌ها برای فعالیت به **یون‌های فلزی** مثل آهن و مس و یا **مواد آلی** مثل ویتامین‌ها نیاز دارند. این مواد سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند. به مواد **آلی** که سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند، **کوآنزیم** یا کمک‌کننده به آنزیم می‌گویند (*در فصل ۵ با کوآنزیم A در چرخه کربس آشنا می‌شوید*).

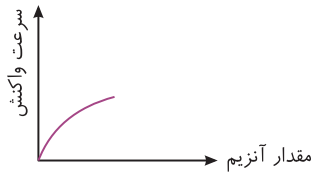
۲) برخی مواد سمی مثل **سیانید و آرسنیک** می‌توانند به جای پیش‌مادهٔ آنزیم‌ها در **جایگاه فعال** قرار بگیرند و مانع فعالیت طبیعی آنزیم شوند و حتی برخی از این طریق باعث مرگ می‌شوند. (*این مواد سمی، ساختار آنزیم را تغییر نمی‌دهند، بلکه امکان قرارگرفتن پیش‌ماده به آنزیم را نمی‌دهند.*)

نکته مهم

- **کوآنزیم‌ها**: ویتامین (*کوآنزیم*)های مهم بدن انسان
  - محلول در آب
    - برای جذب به صفرا نیاز ندارند.
    - ویتامین C
    - ویتامین B
      - B_{12}
        - در تولید گویچهٔ قرمز در مغز استخوان مؤثر است.
        - فقط در غذاهای جانوری یافت می‌شود.
        - توسط باکتری‌های روده نیز تولید می‌شود.
        - توسط فاکتور داخلی معده محافظت می‌شود.
        - با آندوسیتوز از رودهٔ باریک جذب خون می‌شود.
      - فولیک اسید
        - در تولید گویچهٔ قرمز در مغزاستخوان مؤثر است.
        - در غذای گیاهی و جانوری وجود دارد.
        - کارکرد صحیح آن به ویتامین B_{12} محتاج است.
        - برای تقسیم طبیعی یاخته‌ها مؤثر است.
  - محلول در چربی
    - برای جذب به وجود صفرا نیازمندند و وارد سیاهرگ باب کبدی نمی‌شوند.
    - پس از جذب از روده وارد رگ لنفی می‌شوند.
    - ویتامین A ← در تولید ماده رنگی موجود در گیرنده‌های بینایی مؤثر است.
    - ویتامین K ← در انعقاد خون و تولید ترومبین مؤثر است.
    - ویتامین D
      - توسط هورمون پاراتیروئیدی فعال می‌شود.
      - در جذب کلسیم از روده مؤثر است.
    - ویتامین E

۳) غلظت **آنزیم** و **پیش‌ماده** بر سرعت فعالیت آنزیم، نقش **مستقیم** و **افزاینده** دارد. دقت کنید که مقدار **بسیار کم** آنزیم برای واکنش بین مقدار **زیادی** پیش‌ماده کافی است. پس اگر مقدار آنزیم‌ها زیاد شود، سرعت واکنش را **زیاد** می‌کنند ولی افزایش مقدار **پیش‌ماده** تا هنگامی که جایگاه‌های فعال آنزیم‌ها اشغال نشده‌اند، سبب افزایش سرعت و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود و پس از آن سرعت واکنش ثابت می‌ماند.





۴) عوامل محیطی یاخته‌ها مثل **اسیدیته** یا **دما** نیز بر فعالیت آنزیم‌ها مؤثرند.

نکات اثر اسیدیته محیط روی فعالیت آنزیم‌ها

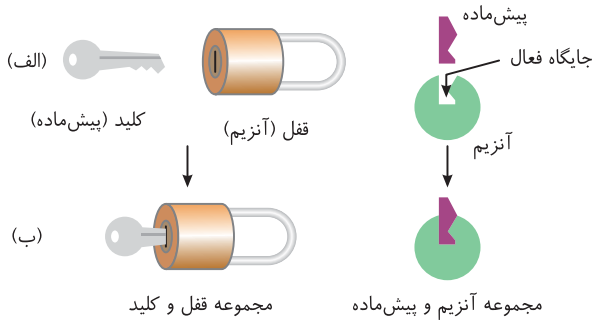
- الف) هر آنزیم در یک pH یا اسیدیته ویژه به نام اسیدیته **بهینه** بهترین فعالیت را دارد.
- ب) اسیدیته **خون** حدود ۷/۴ و اسیدیته **بیشتر** مایعات بدن بین ۶ تا ۸ می‌باشد.
- ج) **پپسین** معده در محیط اسیدی با pH حدود ۲ فعالیت می‌کند ولی اسیدیته بهینه آنزیم‌های **گوارشی** لوزالمعده که به رودهٔ **کوچک** می‌ریزند حدود ۸ می‌باشد.
- د) با تغییر pH یا اسیدیته محیط، پیوندهای شیمیایی و **ساختار و شکل آنزیم** تغییر می‌کند و امکان **اتصال** به پیش‌ماده را از دست می‌دهد و میزان فعالیت آن تغییر می‌کند.

نکات اثر دما بر فعالیت آنزیم‌ها

- الف) بهترین دما برای فعالیت آنزیم‌های بدن حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- ب) آنزیم‌های بدن انسان در **دمای پایین غیرفعال** می‌شوند ولی با برگشت دما به حالت طبیعی دوباره **فعال** می‌شوند.
- ج) آنزیم‌های بدن انسان در دمای **بالای ۳۷ درجه** به تدریج ممکن است تغییر **شکل برگشت‌ناپذیر** یابند و غیرفعال شوند. (*به همین دلیل تب بالا خطرناک می‌باشد.*)
- د) برخی باکتری‌ها که در چشمهٔ آب گرم زندگی می‌کنند حاوی آنزیم‌هایی هستند که در دمای ۸۰ درجه فعالیت حداکثری خود را دارند.
- ه) درون کیسه بیضه، دما حدود ۳ درجه پایین‌تر از دمای مرکزی بدن است ولی آنزیم‌ها در این دما فعالیت مناسب دارند.

نکات مهم از عملکرد اختصاصی آنزیم‌ها

۱) هر آنزیم روی **یک یا چند پیش‌ماده** خاص مؤثر است و با جایگاه فعال خود فقط با آن‌ها حالت قفل و کلید یا مکملی دارد.
۲) آنزیم‌ها در واکنش‌های مختلفی که شرکت می‌کنند، **همواره** سرعت واکنش را بالا می‌برند و انرژی فعال‌سازی را **پایین** می‌آورند.
۳) هر آنزیم در پایان هر واکنش دست نخورده باقی می‌ماند تا بدن بتواند **بارها** از آن‌ها استفاده کند.
۴) مقداری از آنزیم‌ها نیز مانند هر مادهٔ دیگری پس از مدتی از بین می‌رود و بدن **مداوم** در حال ساخت مقدار مورد نیاز از آن‌هاست.
۵) برخی آنزیم‌ها با اینکه عمل **اختصاصی** دارند، ولی **بیش از یک** نوع واکنش را سرعت می‌بخشند. مثلاً در این فصل به یاد دارید که دنابسپاراز علاوه بر عمل پلیمرازی و ساخت DNA ، در عمل ویرایش و نوکلئازی نیز نقش دارد.
۶) به دلیل اینکه می‌توان از یک آنزیم تا هنگامی که وجود دارد چندین بار استفاده کرد، یاخته‌ها به **مقدار کم** به آنزیم‌ها نیاز دارند. البته با استفاده بیشتر از آن‌ها و از بین رفتن آن‌ها، یاخته مجبور به ساخت آنزیم‌های جدید می‌باشد.
۷) علت اختصاصی بودن عمل آنزیم‌ها این نیست که فقط یک واکنش خاص را انجام می‌دهند، بلکه به این دلیل است که فقط به یک یا چند پیش ماده خاص اثر می‌کنند و فقط با آن مواد کار خود را انجام می‌دهند.



«شباهت آنزیم و پیش‌ماده به قفل و کلید»

تست ۱۵ همهٔ کاتالیزورهای زیستی، ..... (قلم‌چی)
۱) درون ساختارهای غشادار یاخته جای دارند.
۲) به واکنش‌های درون‌یاخته‌ای، سرعت می‌بخشند.
۳) می‌توانند ضمن فعالیت خود، آدنوزین تری‌فسفات بسازند.
۴) در پی فعالیت آنزیم‌های سازندهٔ خود، تولید می‌شوند.

پاسخ ۴ همهٔ واکنش‌های سوخت‌وسازی درون‌یاخته‌ای جانداران به کمک آنزیم‌ها صورت می‌گیرد؛ از آنجا که تولید همهٔ آنزیم‌ها نیز درون یاخته صورت می‌گیرد، پس تولید همهٔ آنزیم‌ها به کمک آنزیم‌های دیگری درون یاخته صورت می‌گیرد.

تست ۱۶ **کدام‌یک از عبارت‌های زیر در ارتباط با آنزیم‌ها به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)
۱) بسیاری از آنزیم‌ها برای فعالیت به موادی مانند ویتامین‌ها و یا یون‌هایی مانند آهن نیاز دارند که به آن‌ها کوآنزیم گفته می‌شود.
۲) هر مادهٔ سمی که می‌تواند جایگاه فعال یک آنزیم را اشغال کند و قطعاً مانع از فعالیت آن شود.
۳) با کاهش غلظت پیش‌ماده در محیطی که آنزیم وجود دارد، همواره سرعت تولید فراورده کاهش می‌یابد.
۴) به‌طور قطع هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینه می‌گویند.

پاسخ ۴ هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینهٔ آنزیم می‌گویند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بعضی از آنزیم‌ها کوآنزیم نیاز دارند و از طرفی کوآنزیم‌ها ماده آلی می‌باشند. / گزینهٔ (۲): وجود بعضی از مواد سمی (نه هر مادهٔ سمی) در محیط (مانند سیانید و آرسنیک) می‌تواند با قرار گرفتن در جایگاه فعال آنزیم مانع فعالیت آن شود. / گزینهٔ (۳): اگر در محیطی که آنزیم حضور دارد، همهٔ جایگاه‌های فعال اشباع باشد و پیش‌ماده از مقداری که جایگاه فعال را اشباع می‌کند بیشتر باشد، کاهش غلظت آن تا حدی که از اشباع بودن جایگاه‌های فعال نکاهد، موجب کاهش سرعت نمی‌شود، همان‌گونه که افزایش پیش‌ماده از یک حد خاص به بعد موجب افزایش سرعت نمی‌شود.

فصل دوم

جریان اطلاعات در یاخته

درسنامه

در این فصل می‌خواهیم رابطهٔ بین ژن که بخشی از مولکول دنا است را با محصول بیان آن یعنی با RNA و پروتئین بحث کنیم و در آخر نیز بررسی کنیم که چرا با وجود اینکه **همهٔ** یاخته‌های پیکری بدن یک جاندار **ژن‌های یکسانی** دارند ولی در هر یاخته تمایز یافته، فقط برخی ژن‌ها فعالند و تعدادی پروتئین ساخته می‌شود. مثلاً می‌دانیم که ژن‌های مورد نیاز ساخت هموگلوبین در همهٔ یاخته‌های **هسته‌دار** بدن وجود دارد. این ژن در اثر **تقسیم یاخته** نیز همانندسازی می‌شود ولی چرا بیان یا فعالیت این ژن و ساخت mRNA و پروتئین هموگلوبین مربوط به آن فقط در مسیر ساخت و بلوغ گویچه‌های قرمز صورت می‌گیرد؟

نکته

فرایندهای همانندسازی تا مسیر ساخت پروتئین آن‌قدر مهم و حساس است که حتی تغییر در **یک جفت نوکلئوتید** مکمل می‌تواند باعث ایجاد یک بیماری مهلک شود. مثلاً بیماری **کم‌خونی داسی‌شکل** نوعی بیماری ارثی مستقل از جنس و نهفته است که تغییر در یک جفت از صدها جفت نوکلئوتید به دنبال آن و تغییر در **یک آمینواسید** والین به جای گلوتامیک‌اسید در رشتهٔ بتای هموگلوبین، سبب داسی شدن هموگلوبین گویچهٔ قرمز شده یعنی آن را از حالت گرد به داسی تبدیل می‌کند که می‌تواند با اختلال در انتقال گاز تنفسی باعث مرگ فرد شود. این بیماری رابطهٔ بین **ژن و پروتئین** را نشان می‌دهد.

نکته

ژن تولید هموگلوبین در یاخته هسته‌دار پوست و یاختهٔ ماهیچه‌ای چندهسته‌ای نیز وجود دارد ولی این ژن در این یاخته‌ها خاموش و غیرفعال می‌باشد.

گفتار ۱ رونویسی

همان‌طور که بارها گفتیم دستورالعمل یا رمزهای ساخت رشته‌های پلی‌پپتید روی مولکول **DNA** قرار دارد و از طرفی می‌دانیم که DNA از ۴ نوع نوکلئوتید ولی پلی‌پپتید (*پروتئین*) از ۲۰ نوع آمینواسید مختلف تشکیل شده است. حالا باید ببینیم چگونه الفبای ۴ حرفی نوکلئوتیدی DNA که تفاوت آن‌ها در نوع بازهای آلی A، T، C و G می‌باشد به الفبای ۲۰ حرفی آمینواسیدها تبدیل می‌شود؟ از یک طرف نیز باید دقت کنیم که مثلاً در یوکاریوت‌ها، DNA اصلی درون هسته وجود دارد ولی پروتئین‌سازی آن‌ها در رناتن سیتوپلاسم صورت می‌گیرد؟ پس وقتی می‌دانیم که نه دنا از هسته وارد سیتوپلاسم می‌شود و نه رناتن در هسته به فعالیت می‌پردازد، چگونه اطلاعات روی ژن‌های دنا، از هسته به سیتوپلاسم منتقل می‌شوند؟

بررسی تعداد حروف رمزهای آمینواسیدها روی DNA

فرض کنید که برای ۲۰ دانش‌آموز می‌خواهیم با توجه به چهار حرف الفبا، اسم‌های مختلف ایجاد کنیم تا آن‌ها را صدا بزنیم. در اینجا نیز همان‌طور که گفتیم پروتئین‌سازی به تبدیل یا ترجمه **الفبای ۴ حرفی نوکلئوتیدی به الفبای ۲۰ حرفی آمینواسیدی** اطلاق می‌شود. از طرفی چون فقط ۲۰ نوع آمینواسید در ساختار پروتئین‌ها وجود دارد، پس حداقل باید توسط ۴ نوع نوکلئوتید بتوانیم ۲۰ نوع رمز بسازیم. اگر پیام رمزها **یک حرفی** باشد، در نهایت 4^2 یعنی ۴ آمینواسید فقط دارای رمز می‌شود و ۱۶ آمینواسید دیگر به کار یاخته نمی‌آید (*پس رمز یک حرفی نمی‌باشد*). اگر هر **دو نوکلئوتید مجاور** هم بیانگر یک رمز باشد، پس حداکثر 4^2 یا ۱۶ نوع آمینواسید رمز دارد که باز هم برای ۲۰ نوع آمینواسید، کم می‌آید. (*پس رمز دو حرفی هم نمی‌باشد.*) ولی اگر پیام رمز هر آمینواسید **سه حرفی** باشد، در این صورت 4^3 یا ۶۴ نوع رمز وجود دارد. در این حالت علاوه بر اینکه به هر آمینواسید، یک رمز یا اسم اختصاص داده می‌شود، **اغلب آمینواسیدها** می‌توانند **بیش از یک رمز سه حرفی** نیز داشته باشند. وقتی محققین آزمایشات خود را انجام دادند به این نتیجه رسیدند که هر توالی سه حرفی متوالی روی DNA می‌تواند پیام رمز یک آمینواسید باشد.

نقش مولکول RNA به عنوان میانجی

زیرواحدهای کوچک و بزرگ رناتن‌ها درون هسته و با اتصال رنای رناتنی به پروتئین‌ها، ایجاد می‌شوند ولی ایجاد رناتن کامل و فعالیت آن در خارج از هسته صورت می‌گیرد. از طرفی می‌دانیم که DNA هسته یوکاریوتی وارد سیتوپلاسم نمی‌شود، پس برای انتقال پیام DNA از هسته به رناتن و شروع عمل ترجمه یا پروتئین‌سازی، **نیاز به یک مولکول واسطه داریم** تا پیام ساخت پروتئین را از DNA هسته به رناتن سیتوپلاسم منتقل کند. محققین به مولکول رنا (RNA) برای این ارتباط اطلاعات شک کردند، چون این مولکول هم در هسته و هم در سیتوپلاسم وجود دارد و ساختار نوکلئوتیدی همانند دنا دارد. پس از پژوهش‌های مختلف، مشخص شد که مقدار پروتئین‌سازی یاخته با مقدار و تراکم RNA یاخته رابطهٔ مستقیم دارد. پس از مدتی محققین به این نتیجه رسیدند که از روی بخش‌هایی از هر رشته مولکول DNA، ابتدا انواعی از RNAها ساخته می‌شوند و سپس **مجموعه RNAها** طبق بررسی که به‌طور مفصل به آن خواهیم پرداخت، درون رناتن در پروتئین‌سازی نقش خواهند داشت.

نکته

در طبیعت بیش از ۲۰ نوع آمینواسید وجود دارد ولی از آنجایی که فقط ۲۰ نوع آن در بدن موجودات برای پروتئین‌سازی استفاده می‌شود، **فقط همین ۲۰ نوع روی ژن‌های انسان و سایر موجودات دارای رمز می‌باشند که در قسمت قبل ثابت کردیم که این رمزها سه حرفی بوده و اختصاصی می‌باشند.** جالب اینجاست که این رمزها در بین جانداران مختلف نیز مشترک می‌باشند. یعنی جالب است بدانید که اگر رمز AAA در DNA پیام رمز آمینواسید فنیل‌آلانین باشد، در همهٔ جانداران پروکاریوتی و یوکاریوتی طبیعت، رمز AAA در DNA ابتدا رمز UUU در mRNA را می‌سازد و سپس روبه‌روی رمز سه حرفی UUU در mRNA، طی عمل ترجمه در رناتن آمینواسید فنیل‌آلانین قرار می‌گیرد.

نکته

مشابه و یکسان بودن رمزهای انواع مختلف آمینواسیدها در پروتئین‌های متنوع جانداران مختلف، دلیلی برای **تکامل جانداران** از همدیگر بوده و نشانگر **یک جد یا نیای مشترک** برای آن‌هاست که در طی مدت طولانی به همدیگر تبدیل شده‌اند.

تست ۱ چند مورد جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «برای ساخت هر نوع نوکلئیک اسیدی در یاخته‌ها .....» (قلم‌چی)

الف) حداقل به فعالیت یک نوع آنزیم در هسته نیاز است.
ب) حداقل به تشکیل بیش از دو نوع پیوند نیاز است.
ج) حداکثر دو گروه فسفات از هر ریبونوکلئوتید آزاد می‌شود.
د) حداکثر به همانندسازی بیش از یک نوکلئوتید ژن نیاز است.

۱) صفر مورد ۲) ۱ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۳ مورد

پاسخ ۱ همهٔ موارد نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) در پروکاریوت‌ها، هستهٔ مشخص و سازمان یافته وجود ندارد. / ب) در هر دو فرایند همانندسازی و رونویسی، تنها دو نوع پیوند تشکیل می‌شود (*هیدروژنی و فسفودی‌استر*). / ج) در مورد همانندسازی صدق نمی‌کند. (*در همانندسازی از دئوکسی ریبونوکلئوتید استفاده می‌شود.*) / د) در طی فرایند رونویسی، به همانندسازی ژن نیاز نیست.

رونویسی

به فرایند ساخته شدن رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی RNA از روی **بخشی** از یک رشتهٔ مولکول DNA، رونویسی می‌گویند. این فرایند به این دلیل رونویسی گفته می‌شود **که الفبای مولکول اولیه و محصول هر دو از نوع نوکلئوتید می‌باشد.** فقط قطعاً نوکلئوتید به کار رفته اولاً که قند ریبوز دارد و ثانیاً در رونویسی برخلاف همانندسازی، روبه‌روی باز آلی آدنین DNA، باز آلی یوراسیل قرار می‌گیرد.

نکته

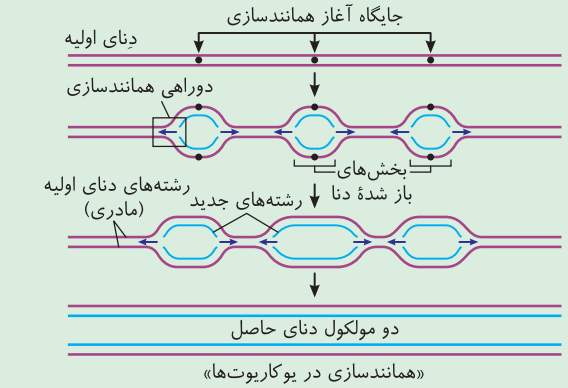
رونویسی، در هستهٔ یوکاریوت‌ها، سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها و درون راکیزه‌ها و دیسه‌های یوکاریوتی صورت می‌گیرد.

اساس رونویسی

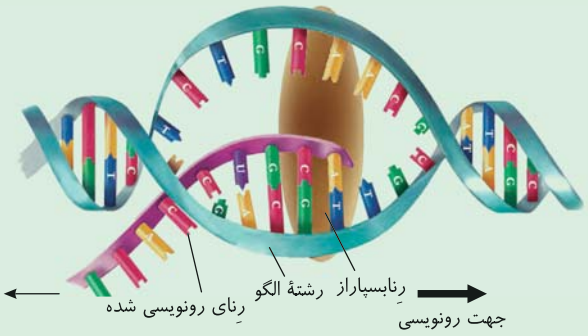
اساس این فرایند **مشابه** اساس **همانندسازی** می‌باشد، یعنی از روی مولکول نوکلئیک‌اسیدی الگو، باید رشتهٔ نوکلئیک‌اسیدی ساخته شود. در جدول زیر شباهت‌ها و تفاوت‌های همانندسازی و رونویسی را به‌طور کلی مشاهده می‌کنید.

همانندسازی	رونویسی
الگوی ساخت آن، کل هر **دو** رشته DNA مادری می‌باشد.	الگوی ساخت آن، **قسمتی** از **یک** رشته DNA می‌باشد.
محصول آن دو مولکول DNA و مشابه DNA مادر می‌باشد.	محصول آن یک رشته RNA خطی با قند ریبوز می‌باشد.
در هستهٔ یوکاریوت‌ها و سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد.	در هستهٔ یوکاریوت‌ها و سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد.
به‌طور مستقل از هسته، در میتوکندری و کلروپلاست هم رخ می‌دهد.	در میتوکندری و کلروپلاست هم رخ می‌دهد.
در هر چرخه یاخته‌ای، فقط **یک بار** در مرحلهٔ S اینترفاز رخ می‌دهد.	برحسب نیاز یاخته، هر چند بار و در هر زمانی می‌تواند رخ دهد.
از نقطهٔ شروع به صورت فرایندی **دوجهته** آغاز می‌شود.	از محل شروع، فرایندی **یک‌جهته** می‌باشد.
نیاز به هلیکاز، دنابسپاراز و انواع دیگر آنزیم‌ها دارد و ویرایش دارد.	فقط نیاز به رنابسپاراز دارد ولی فاقد قدرت ویرایش می‌باشد.
در پروکاریوت‌ها اغلب یک حباب ولی در یوکاریوت‌ها چند حباب تشکیل می‌دهد و چند نقطهٔ شروع دارد.	در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها برای هر عمل آن، فقط **یک** نقطهٔ شروع و حباب رونویسی تشکیل می‌دهد.
در فرایند پلیمرازی آن، پیوند فسفودی‌استر ایجاد می‌شود و در صورت نیاز به ویرایش، این پیوند تجزیه می‌شود.	در فرایند پلیمرازی آن پیوند فسفودی‌استر، فقط تشکیل می‌شود ولی پس از آن می‌تواند **پیرایش** و **کوتاه** شود **ولی ویرایش ندارد.**
پیوندهای هیدروژنی DNA الگو از بین رفته و پیوندهای هیدروژنی جدیدی در DNAهای محصول ایجاد می‌کند.	پیوندهای هیدروژنی DNA الگو که از بین می‌رود، سپس دوباره همان دو رشته مادری با هم پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند.

همانندسازی	رونویسی
محصول آن DNA خطی یا حلقوی است.	محصول آن همواره RNA خطی می‌باشد.



«همانندسازی در یوکاریوت‌ها»



«طرح ساده‌ای از فرایند رونویسی»

تست ۲ **در فرایند ساخت رنای رناتنی ..... فرایند ساخت ژن‌های مختلف، مقابل هر یک از نوکلئوتیدهای تیمین‌دار در رشتهٔ الگو، ..... در رشتهٔ جدید قرار می‌گیرد.**

۱) برخلاف - ریبونوکلئوتید یوراسیل‌دار
۲) برخلاف - ریبونوکلئوتید آدنین‌دار
۳) همانند - دئوکسی ریبونوکلئوتید یوراسیل‌دار
۴) همانند - هر نوکلئوتید آدنین‌دار

پاسخ ۲ در فرایند **رونویسی** روبه‌روی دئوکسی ریبونوکلئیک تیمین‌دار، یک **ریبونوکلئیک** آدنین‌دار مناسب قرار می‌گیرد ولی در همانندسازی مقابل آن دئوکسی ریبونوکلئیک آدنین‌دار قرار می‌گیرد.

عوامل مورد نیاز برای رونویسی

۱) الگوی رونویسی

قسمتی از یک رشته مولکول DNA می‌باشد. (*هیچ‌گاه هر دو رشته یک ژن مورد رونویسی قرار نمی‌گیرد.*)

نکته

در کل یک مولکول DNA، از **هر دو رشتهٔ** آن رونویسی انجام می‌شود ولی از **روی هر ژن** (*تکرار می‌کنم هر ژن!*)، همواره **یک رشتهٔ آن** رونویسی می‌شود. مثلاً ممکن است در دو ژن مجاور در یک مولکول DNA، یکی از رشتهٔ بالایی رونویسی شود ولی ژن مجاور از روی رشتهٔ پایینی رونویسی انجام بگیرد.

۲) پیش‌ساز رونویسی

نوکلئوتیدهای سه فسفاته با قند ریبوز می‌باشند که چهار نوع مختلف با بازهای آلی آدنین، یوراسیل، سیتوزین و گوانین می‌باشد. (*در رونویسی نیز نوکلئوتیدهای قرار گرفته در رشته به‌صورت یک فسفاته می‌باشند.*)

۳) آنزیم

در رونویسی، فقط آنزیم رنابسپاراز نقش دارد. این آنزیم مانند هر پروتئین دیگری از روی رمزهای وراثتی mRNA در رناتن سیتوپلاسم ساخته می‌شود. (*رنابسپاراز یوکاریوتی پس از تولید در خارج هسته، برای فعالیت از منافذ غشایی وارد هسته می‌شود.*)

- انواع رنابسپارازها
  - در پروکاریوت‌ها
    - یک نوع وجود دارد که هر سه نوع (r, t, m)RNA را می‌سازد.
    - در سیتوپلاسم تولید شده و فعالیت می‌کند.
  - در یوکاریوت‌ها
    - سه نوع ۱، ۲ و ۳ وجود دارد.
    - همگی در رناتن آزاد در سیتوپلاسم ساخته شده و در هسته فعالیت می‌کنند.
    - انواع
      - رنابسپاراز ۱ ← rRNA یا RNA ریبوزومی (*رناتنی*) را برای شرکت در ساختار رناتن می‌سازد.
      - رنابسپاراز ۲ ← mRNA یا RNA پیک را به عنوان الگوی ساخت رشتهٔ پلی‌پپتید می‌سازد.
      - رنابسپاراز ۳ ← tRNA یا RNA ناقل را به عنوان ناقل آمینواسید می‌سازد.


رنای ریبوزومی



رنای پیک


رنای ناقل

بررسی کلی رونویسی

در ابتدا دقت کنید که فرایندهای زیستی درون‌یاخته‌ای مثل تقسیم یاخته، همانندسازی، رونویسی و... فرایندهایی **پیوسته** می‌باشند و اگر مراحلی و تقسیماتی برای آن‌ها در نظر می‌گیرند صرفاً برای راحتی در درک فعالیت‌های آن‌ها می‌باشد. رونویسی نیز فرایندی **پیوسته** بوده که توسط آنزیم رنابسپاراز و از روی بخشی از یک رشته مولکول DNA، طی سه مرحلهٔ آغاز، طویل شدن و پایان در نهایت یک مولکول RNA خطی به دست می‌آید که می‌تواند از نوع پیک (mRNA)، ناقل (tRNA) و رناتنی (rRNA) باشد.

قسمت‌هایی از DNA که مورد نیاز فعالیت رونویسی می‌باشند

۱) راه‌انداز

این توالی به صورت ویژه **قبل از نوکلئوتیدهای** شروع رونویسی یک ژن می‌باشد. در حقیقت، راه‌انداز قسمتی از یک بخش دو رشته‌ای مولکول DNA است. آنزیم رنابسپاراز از هر نوع یوکاریوتی یا پروکاریوتی که باشد باید به طور مستقیم یا غیرمستقیم ابتدا راه‌انداز اختصاصی یک ژن را شناسایی کند. دقت کنید که رونویسی یا ساخت RNA از روی راه‌انداز آغاز نمی‌شود. در حقیقت راه‌انداز هیچ‌گاه رونویسی نمی‌شود ولی نقش آن نشان دادن نقطهٔ آغاز و جهت رونویسی و هدایت رنابسپاراز به اولین نوکلئوتید ژن می‌باشد که می‌خواهد رونویسی شود.

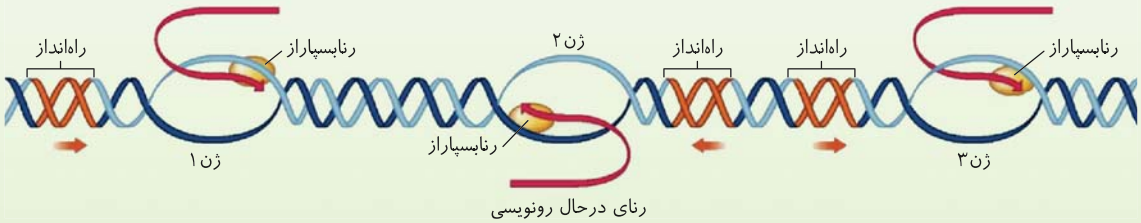
۲) ژن

قسمتی از مولکول دو رشته‌ای DNA می‌باشد که رونویسی دقیقاً از یک رشته آن صورت می‌گیرد. دقت کنید که به نوکلئوتیدی که رونویسی از آنجا شروع می‌شود، نقطه یا جایگاه آغاز رونویسی گوییم که توسط راه‌انداز به رنابسپاراز نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که RNA همواره در هر ژن فقط از روی یک رشته DNA آن ساخته می‌شود، پس در حقیقت یک رشته از هر ژن در رونویسی و سپس در پروتئین‌سازی نقش دارد. همواره **تا آخر عمر** در هر ژن خاص، فقط یک رشته و در یک جهت رونویسی می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) در اینجا باید دقت کنید که در یک کروموزوم یا در یک مولکول DNA، تعداد زیادی ژن پشت سر هم برای ساخت انواع مختلف RNA وجود دارند. از طرفی قبل از هر ژن یوکاریوتی نیز یک توالی راه‌انداز اختصاصی وجود دارد. از آنجایی که جهت رونویسی در هر ژن همواره یک‌طرفه می‌باشد ولی بسیار بسیار به این نکته دقت کنید که یک ژن می‌تواند از سمت راست به چپ و از رشته DNA بالایی رونویسی شود ولی ژن بعدی در همان کروموزوم از رشته DNA پایینی و از چپ به راست رونویسی شود و ژن بعدی نیز ترتیب خاص خود را داشته باشد. *(یادتون باشد که در تست‌ها، راه‌انداز جزئی از ژن به حساب نمی‌آید چون ژن بخش رونویسی شونده می‌باشد.)*

(۲) در این شکل و سایر شکل‌های کتاب درسی، ژن قسمتی است که بعد از راه‌انداز می‌باشد و از روی آن رونویسی انجام می‌شود. با دقت در شکل مشاهده می‌شود که اولاً بین راه‌انداز و ژن می‌تواند فاصله باشد و ثانیاً می‌توان دو راه‌انداز از دو ژن ۲ و ۳ مجاور هم را در کنار هم دید که قطعاً جهت رونویسی متفاوتی دارند و یا می‌توان دو ژن ۱ و ۲ را در مجاور هم مشاهده کرد که بین آن‌ها راه‌اندازی وجود نداشته است که باز هم قطعاً دلیل آن، جهت مخالف رونویسی آن‌ها بوده است.

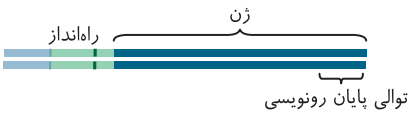


رنای درحال رونویسی

(۳) در دانشگاه می‌آموزید که دو ژنی مثل ژن‌های ۱ و ۳ که از روی یکی از رشته‌های بالایی یا پایینی دنا رونویسی می‌شوند، قطعاً جهت رونویسی یکسانی دارند. *(ولی این نکته‌را در دانشگاه می‌خوانید.)*

۳) توالی پایان رونویسی

در بخش انتهایی هر ژن، یک توالی ویژه به نام توالی پایان رونویسی در مولکول دو رشته‌ای DNA وجود دارد. **انواعی** از این توالی‌ها برای ژن‌های **مختلف** وجود دارند. این توالی‌ها رونویسی می‌شوند و به رنابسپاراز فرمان ایست می‌دهند تا رونویسی را تمام کنند. پس جایگاه پایان رونویسی، نوکلئوتیدهایی با قند دئوکسی‌ریبوز دارند و بخش انتهایی ژن به حساب می‌آیند.

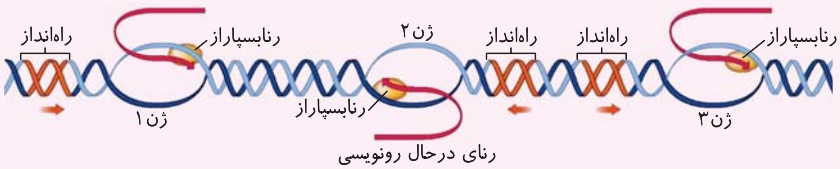


تست ۳ چند مورد عبارت روبه‌رو را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «توالی عامل اصلی در تعیین جهت محل شروع رونویسی، .....»

الف) در مرحلهٔ طویل‌تر شدن ساخت RNA شناسایی می‌شود.
ب) همواره مستقیماً توسط رنابسپاراز شناسایی می‌شود.
ج) می‌تواند بین دو ژن قابل رونویسی وجود داشته باشد.
د) نمی‌تواند در مجاور توالی هم‌نام خود قرار داشته باشد.

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ تعیین جهت رونویسی بر عهده **توالی راه‌انداز** می‌باشد. این توالی می‌تواند در بین دو ژن رونویسی شونده یا در کنار یک راه‌انداز دیگر (*مثل راه‌انداز ژن ۲ و ۳*) باشد (*درستی ج و نادرستی د*).



راه‌انداز در **پروکاریوت‌ها**، مستقیماً توسط رنابسپاراز شناسایی می‌شود ولی در یوکاریوت‌ها به کمک عوامل رونویسی شناسایی می‌شود که در گفتار بعد این فصل می‌خوانیم (*نادرستی ب*). راه‌اندازها در مرحلهٔ آغاز رونویسی شناسایی می‌شوند و از روی آن‌ها رونویسی انجام نمی‌شود (*نادرستی الف*).

تست ۴ کدام گزینه، عبارت زیر را به‌طور نامناسب تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«**در هستهٔ یک یاختهٔ پوششی معدهٔ انسان، هر نوع آنزیم بسپارازی که از نوکلئوتیدهای دارای باز آلی ..... استفاده می‌کند، .....**»

۱) آدنین - در شکستن و تشکیل پیوندهای فسفودی‌استر نقش دارد.

۲) یوراسیل - نوکلئوتیدهایی با قند متفاوت با رشتهٔ الگو را در برابر رشتهٔ الگو قرار می‌دهد.

۳) سیتوزین - می‌تواند از هر دو رشتهٔ یک مولکول دنا به عنوان الگو استفاده کند.

۴) تیمین - فاقد توانایی شکستن پیوندهای میان بازهای آلی نیتروژن‌دار است.

پاسخ ۱ آنزیم رنابسپاراز و دنابسپاراز هر دو می‌توانند از نوکلئوتید آدنین‌دار استفاده کنند. رنابسپاراز در شکستن پیوند فسفودی‌استر نقش ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): آنزیم رنابسپاراز از نوکلئوتید یوراسیل‌دار استفاده می‌کند. این آنزیم در حین رونویسی ریبونوکلئوتیدها را در مقابل دئوکسی‌ریبونوکلئوتیدها قرار می‌دهد. / گزینهٔ (۳): رنابسپاراز و دنابسپاراز هر دو از نوکلئوتید سیتوزین‌دار استفاده می‌کنند. دقت داشته باشید رنابسپاراز می‌تواند از هر دو رشتهٔ دنا به عنوان الگو استفاده کند، اما نه در یک ژن. / گزینهٔ (۴): دنابسپاراز از نوکلئوتید تیمین‌دار استفاده می‌کند. این آنزیم فاقد توانایی شکستن پیوندهای هیدروژنی است.

مراحل رونویسی

۱) مرحلهٔ آغاز

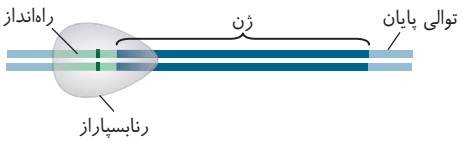
۲) مرحلهٔ طویل شدن (ادامه)

۳) مرحلهٔ پایان

۱) مرحلهٔ آغاز

در این مرحله به ترتیب فرایندهای زیر توسط رنابسپاراز صورت می‌گیرد:

الف) شناسایی راه‌انداز مخصوص به ژن و اتصال رنابسپاراز به آن در مولکول دو رشته‌ای DNA

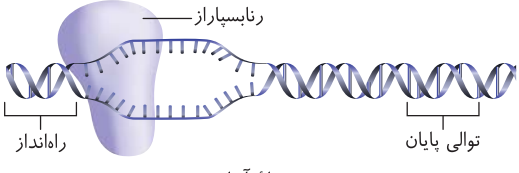


نکته

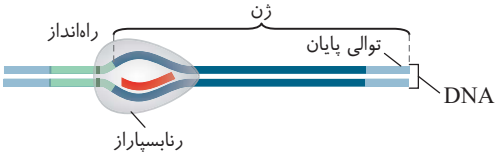
در گفتار ۳ در پروکاریوت‌ها آنزیم رنابسپاراز به‌طور **مستقیم** و به تنهایی راه‌انداز را شناسایی می‌کند ولی در یوکاریوت‌ها رنابسپاراز‌های مختلف (۱ و ۲ و ۳) به کمک پروتئین‌هایی به نام **عوامل رونویسی**، راه‌انداز ژن مورد نظر را شناسایی می‌کنند.

ب) راه‌انداز، نقطهٔ آغاز رونویسی یا نوکلئوتیدی در یک رشته ژن که باید رونویسی از آن شروع شود را به رنابسپاراز نشان می‌دهد. (*اتصال در راه‌انداز سبب می‌شود که نقطهٔ شروع رونویسی به درستی شناسایی شود.*)

ج) رنابسپاراز روی مولکول دو رشته‌ای DNA حرکت می‌کند. وقتی به نزدیکی نقطهٔ آغاز رسید، پیوندهای هیدروژنی کمی از دو رشته مولکول DNA را باز می‌کند. با باز شدن بازهای آلی دو رشته دنا، **یک حباب رونویسی** در مولکول DNA ایجاد می‌شود.



«مرحلهٔ آغاز»



د) رنابسپاراز نوکلئوتید مناسب دارای قند ریبوز، که باز آلی آن مکمل نقطه یا نوکلئوتید آغاز رونویسی است را روبه‌روی رشته الگو قرار می‌دهد. ابتدا با جدا کردن دو گروه فسفات، نوکلئوتید یک فسفاته شده و با نوکلئوتید قبلی پیوند فسفودی‌استر برقرار می‌کند و سپس نوکلئوتید بعدی را می‌آورد و به نوکلئوتید قبلی وصل می‌کند.



نکته

در این حالت مانند همانندسازی، رنابسپاراز، تعداد نوکلئوتید آزاد سه فسفاته را کاهش داده و مقدار فسفات آزاد یاخته را زیاد می‌کند.

نکته

لازم به ذکر است که ابتدا به‌طور خود به خود، پیوند هیدروژنی بین باز آلی نوکلئوتید اول مربوط به RNA با باز آلی نوکلئوتید اول از رشته الگو DNA برقرار می‌شود و سپس با جدا شدن دو گروه فسفات، پیوند فسفودی‌استر توسط رنابسپاراز برقرار می‌شود.

ه) در مرحلهٔ آغاز **زنجیرهٔ کوتاهی** از RNA درون حباب رونویسی ایجاد می‌شود و بخش کوچکی از دو رشتهٔ دنای اولیه باز می‌شود.

نکته

پیوندهایی که در مرحلهٔ آغاز رونویسی تشکیل یا تجزیه می‌شوند

۱) باز شدن پیوند هیدروژنی کمی بین دو رشته DNA الگو و رمزگذار.
۲) جدایی پیوند اشتراکی بین فسفات‌های نوکلئوتید جدید و ایجاد نوکلئوتید یک فسفاته
۳) تشکیل **تعداد کمی** پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهایی با قند ریبوز برای ساخت RNA کوتاه.
۴) تشکیل پیوند هیدروژنی بین بازهای آلی RNA در حال ساخت با بازهای رشته الگو DNA .

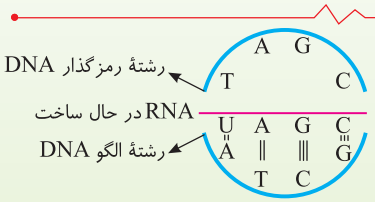
نکته مهم

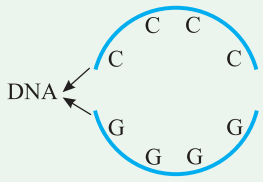
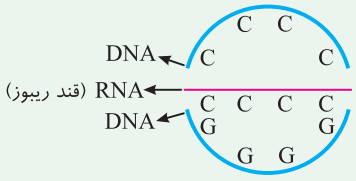
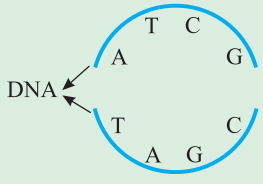
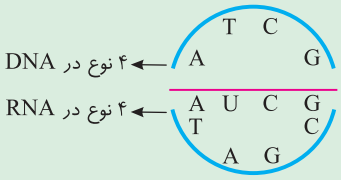
درون حباب رونویسی این مرحله **سه رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی** وجود دارد که به ترتیب زیر می‌باشد:

A) رشتهٔ الگو: آن رشته‌ای از ژن مولکول DNA است که از روی آن رونویسی انجام می‌شود و RNA از روی آن ساخته می‌شود و با آن پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند.

B) رشتهٔ رمزگذار (مکمل): رشته‌ای از ژن مولکول DNA می‌باشد که مکمل رشتهٔ الگو است ولی از روی آن رونویسی انجام نمی‌شود. ترتیب بازهای آلی این رشته دقیقاً مثل RNA در حال ساخت است فقط به جای باز آلی تیمین (T) ، RNA در حال ساخت باز آلی یوراسیل (U) دارد.

C) RNA در حال ساخت: رشتهٔ نوکلئیک‌اسیدی با قند ریبوز است که از روی رشتهٔ DNA الگو در حال ساخته شدن است.



حباب رونویسی	قبل از شروع RNAسازی	بعد از شروع RNAسازی
حداقل انواع باز آلی	۲ نوع	۲ نوع: سیتوزین، گوانین
حداقل انواع نوکلئوتید	۲ نوع	۳ نوع: C + دئوکسی‌ریبوز، C + ریبوز، G + دئوکسی‌ریبوز
شکل حداقل		
حداکثر انواع باز آلی	۴ نوع	۵ نوع: A، T، C، G، U
حداکثر انواع نوکلئوتید	۴ نوع (فقط قند دئوکسی‌ریبوز دارند)	۸ نوع: (G–C–T–A) + دئوکسی‌ریبوز، (G–C–U–A) + ریبوز
شکل حداکثر		

● ۲) مرحلهٔ طویل شدن (ادامه)

فرایندهای این مرحله به ترتیب زیر می‌باشد و تا ابتدای جایگاه پایان رونویسی، RNAسازی ادامه می‌یابد:

الف) رنابسپاراز به سمت انتهای ژن یا جایگاه پایان رونویسی روی ژن در DNA حرکت کرده و پیوندهای هیدروژنی آن را از جلو باز می‌کند.

ب) این آنزیم هم‌زمان با انتقال نوکلئوتیدهای سه فسفاته مناسب به روبه‌روی الگوی خود، ساخت RNA را ادامه داده و رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید خطی RNA را با پیوند فسفودی‌استر می‌سازد. *(در این حین پیوند هیدروژنی بین RNA و DNA تشکیل می‌شود.)*

ج) در این مرحله، هرچه آنزیم از جلو RNAسازی را ادامه می‌دهد، از چندین نوکلئوتید عقب‌تر RNA ساخته شده را با تجزیه پیوند هیدروژنی از DNA الگو جدا می‌کند و دوباره دو رشته DNA الگو و مکمل *(رمزگذار)* با ایجاد پیوند هیدروژنی به هم می‌پیوندند. *(البته برحسب نیاز یاخته ممکن است در این مرحله رنابسپاراز جدیدی دوباره از ابتدای ژن، در حال شروع رونویسی از روی همین توالی باشد که در جلوتر بررسی می‌کنیم.)*

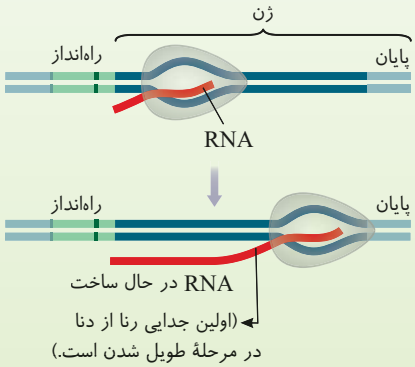
د) این مرحله تا رسیدن به ابتدای **توالی پایان رونویسی** ادامه می‌یابد و همچنان RNAسازی انجام می‌شود. از منطقه عقب‌تر RNA در حال ساخت مانند رشته‌ای از DNA جدا شده و آویزان می‌باشد و فقط در منطقه حباب رونویسی تعدادی پیوند هیدروژنی بین RNA تازه ساخته شده و رشته DNA الگو وجود دارد.

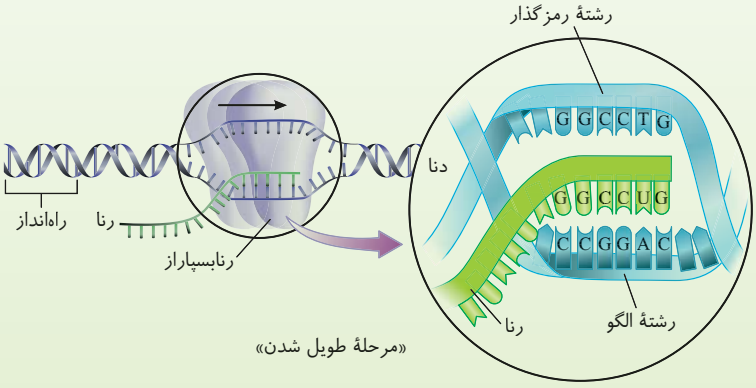
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) این مرحله شروع جداسازی رنای در حال ساخت از رشتهٔ دنای الگو می‌باشد و بیشترین مقدار پیوند فسفودی‌استر تشکیل می‌شود.

۲) پیوندهایی که در مرحلهٔ طویل شدن رونویسی تولید یا تجزیه می‌شوند.
- **۱)** باز شدن پیوند هیدروژنی در DNA
- **۲)** جدایی پیوند اشتراکی درون هر ریبونوکلئوتید جدید
- **۳)** تشکیل فسفودی‌استر برای ساخت RNA
- **۴)** ایجاد خودبه‌خودی پیوند هیدروژنی بین RNA و DNA
- **۵)** جدا شدن پیوند هیدروژنی بین RNA در حال ساخت با DNA توسط رنابسپاراز
- **۶)** تشکیل دوباره پیوند هیدروژنی در DNA به صورت خودبه‌خودی

۳) در همانندسازی و رونویسی، هلیکاز و رنابسپاراز سبب شکستن پیوند هیدروژنی می‌شوند ولی تشکیل این پیوند بین نوکلئوتیدها به صورت خودبه‌خودی صورت می‌گیرد.

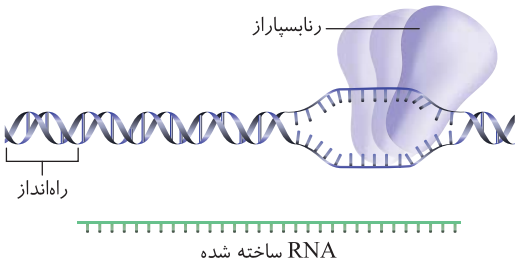




«مرحلهٔ طویل شدن»

● ۳) مرحلهٔ پایان رونویسی

معمولاً در مولکول DNA یک کروموزوم، در انتهای هر ژن، **توالی** ویژه‌ای وجود دارد که وقتی رنابسپاراز به آن رسید، فرمان پایان رونویسی را می‌دهد. این توالی‌ها که به صورت ویژه در DNA وجود دارند موجب پایان رونویسی توسط آنزیم رنابسپاراز می‌شوند. آنزیم رنابسپاراز، ابتدا این توالی را نیز رونویسی **می‌کند.** سپس در این قسمت ابتدا طبق شکل روبه‌رو، ابتدا رنا جدا شده و سپس آنزیم رنابسپاراز از DNA جدا می‌شود. مولکول RNA ساخته شده در یوکاریوت‌ها از هر نوعی که باشد، برای فعالیت خود ابتدا از هسته وارد سیتوپلاسم می‌شود تا برای پروتئین‌سازی فعالیت کند. *(در تست‌ها دقت کنید که در پروکاریوت‌ها همه این فرایندها در سیتوپلاسم رخ می‌دهد.)* در نهایت دو رشته **DNA** به هم متصل می‌شود تا اگر نیاز بود دوباره رنابسپاراز جدیدی از آن رونویسی کند.

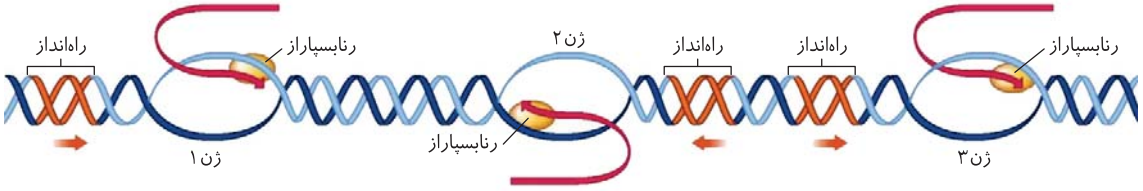


«مرحلهٔ پایان»

نکات رونویسی از روی یک رشته ژن

۱) باز هم یادآوری می‌کنم که **در هر ژن**، همواره **فقط** یک رشته به عنوان الگوی ساخت RNA قرار می‌گیرد و رشتهٔ دیگر که مکمل یا رمزگذار است مورد رونویسی قرار نمی‌گیرد. اگر از روی هر دو رشته ژن رونویسی انجام می‌شد، ابتدا دو نوع رنای مختلف و سپس دو نوع پروتئین با دو فعالیت مختلف از روی ژن ساخته می‌شد و دیگر نمی‌توانستیم بگوییم ژن مسئول به ارث رسیدن یک صفت خاص می‌باشد. در آخر نیز دوباره تکرار می‌کنم که در یک مولکول DNA که چندین ژن وجود دارد، ممکن است در یک ژن از رشته DNA بالایی و در ژن دیگر از رشته DNA پایینی رونویسی انجام شود و حتی با توجه به شکل صفحهٔ بعد مشاهده می‌کنید که ممکن است جهت رونویسی دو ژن مجاور با هم متفاوت باشد و راه‌اندازی بین دو ژن کنار هم وجود نداشته باشد و یا دو راه‌انداز از دو ژن مجاور کنار هم باشند.

۲) در ژن‌های ۱ و ۳ شکل زیر مشاهده می‌کنید که اگر رشتهٔ الگو، مثلاً رشتهٔ بالایی باشد، رونویسی هرکدام از این دو ژن، همواره به یک جهت مثلاً از چپ به راست می‌باشد. در حقیقت اگر دو ژن در یک کروموزوم، رشتهٔ الگوی یکسانی داشته باشند، قطعاً جهت رونویسی آن‌ها نیز یکسان است.



رنای درحال رونویسی

۳) پیوندهایی که در مرحلهٔ پایان رونویسی تولید یا تجزیه می‌شوند.
- جدایی پیوند اشتراکی پر انرژی بین فسفات‌ها
- ساخت پیوند **فسفودی‌استر** برای مکمل توالی پایان رونویسی
- جدا کردن RNA ساخته شده از DNA با تجزیه پیوند **هیدروژنی**
- تشکیل دوباره پیوند **هیدروژنی** بین مولکول DNA اولیه
- تشخیص توالی پایان رونویسی و جدایی آنزیم رنابسپاراز از DNA الگو و RNA ساخته شده

۴) شکستن پیوند اشتراکی بین گروه‌های فسفات در نوکلئوتید جدیدی که می‌خواهد به رشتهٔ RNA اضافه شود، در همهٔ مراحل رونویسی صورت می‌گیرد ولی در تست‌ها دقت کنید که آن را به عنوان ویرایش یا شکستن پیوند فسفودی‌استر به حساب نیاورید. از طرفی تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهای رنا و پیوند هیدروژنی بین رنا و دنا نیز در هر سه مرحله رونویسی اتفاق می‌افتد.

انواع RNAهای ساخته شده

۱) mRNA
- توسط رنابسپاراز پروکاریوتی یا رنابسپاراز **۲** یوکاریوتی ساخته می‌شود.
- RNA **پیک** می‌باشد که رمزهای روی آن پیام ساخت رشتهٔ **پلی‌پپتیدی** را دارد.
- پیام رمز هر آمینواسید به صورت **سه** حرف کنار هم (*رمزه*) روی آن قرار دارد.
- همواره مولکولی خطی با دو سر دارای دو عامل آزاد متفاوت هیدروکسیل و گروه فسفات می‌باشد.
- پیام رمز هر رشته پلی‌پپتید روی آن قرار دارد.



رنای پیک

۲) tRNA
- توسط رنابسپاراز پروکاریوتی یا رنابسپاراز **۳** یوکاریوتی ساخته می‌شود.
- RNA **ناقل** می‌باشد و وظیفهٔ انتقال آمینواسیدها را از **سیتوپلاسم** به رناتن دارند.
- در قسمت‌هایی از خود پیوند **هیدروژنی** دارد که در بخش ترجمه آن را مطالعه می‌کنیم.


رنای ناقل

۳) rRNA
- توسط رنابسپاراز پروکاریوتی یا رنابسپاراز **۱** یوکاریوتی ساخته می‌شود.
- همان RNA ریبوزومی (*رناتن*) است که در ساختار زیرواحدهای کوچک و بزرگ رناتن قرار دارند.


رنای ریبوزومی

نکته

رناها می‌توانند (*مخصوصاً* rRNA) خاصیت آنزیمی و کاتالیزور زیستی داشته باشند ولی دقت کنید که این آنزیم‌ها از روی دنا ساخته می‌شوند و آمینواسید ندارند ولی مانند هر آنزیمی جایگاه فعال و نقش کاهنده روی انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها دارند.

تست ۵ **در هر مرحله‌ای از رونویسی که ..... صورت می‌گیرد، قطعاً ..... صورت نمی‌گیرد.**

۱) تشکیل RNA - شناسایی قسمتی به‌جز توالی رونویسی شونده
۲) تجزیه پیوند هیدروژنی - حرکت آنزیم روی DNA
۳) شناسایی توالی مخصوص پایانی - جدا شدن RNA
۴) ساخت بخش کوتاه اولیه RNA - شناسایی توالی پایان

پاسخ ۴ ساخت بخش کوتاه اولیه RNA در مرحلهٔ آغاز رونویسی ولی شناسایی توالی پایان رونویسی در مرحلهٔ پایان رونویسی رخ می‌دهد.

نکته: در اینجا می‌خواهم یک نکتهٔ مهم و ابهام‌برانگیز از کتاب درسی را با شما در میان بگذارم. دوستان عزیز از نظر علمی وقتی صحبت از ژن می‌کنیم باید توجه کنیم که چند سال قبل در کتاب درسی می‌گفتند، ژن یک بخش تنظیمی دارد که شامل **راه‌انداز و سایر قسمت‌ها** می‌شود. این بخش از ژن، عمل رونویسی و بیان یعنی روشن یا خاموش شدن ژن را تنظیم می‌کند ولی خودش رونویسی و ترجمه نمی‌شود. ولی این مطلب که راه‌انداز قسمتی از بخش تنظیمی ژن است، مربوط به قدیم‌هاست و به آن توجه نکنید. در حال حاضر و در شکل‌های کتاب طوری بیان شده است که ژن فقط آن قسمتی است که رونویسی می‌شود و راه‌انداز را جزء ژن به حساب نیاورده است (*مثال شکل صفحهٔ بعد*). حال دقت کنید که اگر به این ابهام در تست‌ها رسیدید، باید براساس همان شکل پاسخ دهید چون بارها دیده شده است که طراحان فقط همان شکل را مدنظر می‌گیرند ولی اگر هم در تستی گفت، بخش تنظیمی ژن یا راه‌انداز ژن، اول سؤال را تا انتها بخوانید و بعد تصمیم بگیرید.



تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در مرحلهٔ اول رونویسی، قسمت‌هایی مثل راه‌انداز یا توالی افزاینده شناسایی می‌شوند که این توالی‌ها رونویسی نمی‌شوند ولی ساخت قطعهٔ کوچکی از RNA در مرحلهٔ آغاز اتفاق می‌افتد. / گزینهٔ (۲): در مراحل مختلف رونویسی تجزیه پیوند هیدروژنی یا حرکت رنابسپاراز روی DNA مشاهده می‌شود. / گزینهٔ (۳): در مرحلهٔ پایان رونویسی ابتدا توالی پایان رونویسی شناسایی شده و عمل RNAسازی اتمام می‌یابد. در انتهای این مرحله، ابتدا RNA ساخته شده و سپس رنابسپاراز از مولکول دنا جدا می‌شود.

تست ۶ **نمی‌توان گفت در طی رونویسی یک ژن رمزکنندهٔ پلی‌پپتید، در مرحلهٔ ..... رونویسی، .....** (قلم‌چی)

۱) آغاز - پیوند اشتراکی و غیراشتراکی، در بین نوکلئوتیدها شکل می‌گیرد. **۲)** طویل شدن - اولین پیوند بین نوکلئوتیدهای ریبوزدار، تشکیل می‌شود.

۳) پایان - توالی‌های ویژه در دنا نقش داشته باشد. **۴)** پایان - تشکیل و شکست پیوند هیدروژنی، اتفاق می‌افتد.

پاسخ ۲ در مرحله آغاز، رشتهٔ کوتاهی از رنا در مقابل یک رشته از ژن ساخته می‌شود، بنابراین در این مرحله اولین پیوند بین نوکلئوتیدهای ریبوزدار تشکیل می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در مرحلهٔ آغاز، بین نوکلئوتیدهای ریبوزدار پیوند اشتراکی فسفودی‌استر و بین این نوکلئوتیدها با نوکلئوتیدهای رشتهٔ دنا، پیوند هیدروژنی ایجاد می‌گردد. / گزینهٔ (۳) و (۴): در مرحلهٔ پایان، در دنا توالی‌های ویژه‌ای وجود دارد که موجب پایان رونویسی توسط آنزیم رنابسپاراز می‌شوند. در این مرحله پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدها و دئوکسی‌ریبونوکلئوتیدها شکسته شده و دو رشتهٔ دنا با پیوند هیدروژنی دوباره به هم متصل می‌شوند.

تغییرات در RNA

بعد از اینکه محققین فرایند رونویسی را بررسی کردند، گروهی دیگر RNAای در سیتوپلاسم یاخته‌های **یوکاریوتی** پیدا کردند که با RNA ساخته شده در هسته تفاوت داشت. بعدها مشخص شد که این تغییرات سبب **بلوغ RNA** می‌شود. در این بخش، به بررسی دلایل مختلف و تغییرات مختلفی می‌پردازیم که باعث می‌شود RNA ساخته شده یا در حال ساخت در هسته، دچار تغییراتی شود تا بتواند در سیتوپلاسم فعالیت نهایی خود را انجام دهد.

تغییرات در RNA پیک یا mRNA

در mRNAها یا رنای پیک‌ها که قرار است از روی آن‌ها رشتهٔ پلی‌پپتید ساخته شود، ممکن است در **حین یا پس از پایان رونویسی** تغییراتی رخ دهد تا به دنبال آن فرایند ترجمه یا پروتئین‌سازی در رناتن بدون اشکال و به آسانی انجام شود.

تغییرات ناشی از اضافه شدن قطعه پس از پایان رونویسی

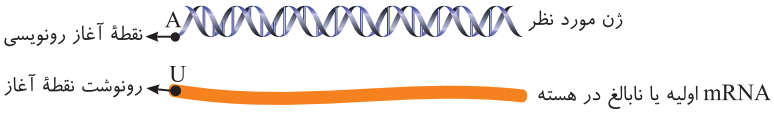
در برخی mRNAهای یوکاریوتی، **پس از پایان رونویسی**، بخش‌هایی از رنای کوچک دارای نوکلئوتید با قند **ریبوز** به ابتدای رنای پیک متصل می‌شوند که از کار رناتن‌ها برای ترجمه یا پروتئین‌سازی جلوگیری کنند و سبب مهار عمل ترجمه شوند. این رنای پیک نیز پس از مدتی تجزیه می‌شود.

تغییرات ناشی از حذف قطعات mRNA پس از پایان رونویسی

در این تغییرات که به **پیرایش** معروف هستند، پس از پایان رونویسی mRNAهای یوکاریوتی، ابتدا از طول آن در هسته کم می‌شود و سپس برای ترجمه یا پروتئین‌سازی وارد سیتوپلاسم می‌شود. در این مولکول‌ها توالی‌های معینی از DNA که رونوشت آن‌ها از مولکول RNA پیک اولیه حذف می‌شوند را توالی میانه یا اینترون می‌گویند و سایر بخش‌ها که رونوشت آن‌ها در mRNA اولیه و بالغ وجود دارند را توالی بیانه یا اگزون می‌نامند. در حقیقت RNA پیک یکپارچه کوچک و بالغ شده، همان mRNAای است که قطعات اضافی (*رونوشت‌های اینترون*) آن حذف یا پیرایش شده‌اند. (*در ادامه به بررسی کامل این مطلب می‌پردازیم!*)

ساخت mRNA نابالغ (اولیه) و بالغ

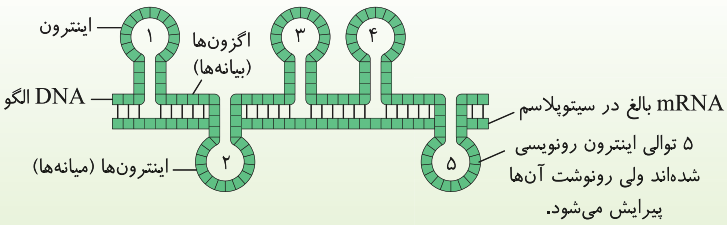
دانشمندان رشتهٔ ژنتیک مولکولی، پس از بررسی فرایند رونویسی و ساخت mRNA **یوکاریوتی**، مشاهده کردند که در برخی موارد، mRNA رونویسی شده در هسته، طول و اندازه درازتری از mRNA موجود در سیتوپلاسم در هنگام پروتئین‌سازی دارد. برای دریافت علت این اختلاف طول آن‌ها، به بررسی توالی نوکلئوتیدها در رشته DNA الگو ژن مورد نظر پرداختند و رابطه مکملی آن‌ها را با mRNAهای ساخته شده در هسته و mRNA موجود در سیتوپلاسم مقایسه کردند. پس از بررسی‌هایی متوجه شدند که درون هسته، ابتدا رنابسپاراز ۲ کاملاً از روی یک رشته ژن مورد نظر رونویسی می‌کند و mRNAای هم‌اندازهٔ رشتهٔ الگوی ژن خود می‌سازد، به این مولکول، **mRNA نابالغ یا اولیه** گفته می‌شود. در این رنای پیک نابالغ، همهٔ بازهای آلی موجود در mRNA نابالغ در تمام طول مولکول، بازهای آلی مکمل با رشته DNA الگوی خود دارند.



وقتی محققین بازهای آلی رنای پیک بالغ درون سیتوپلاسم را با بازهای آلی رشته دنای الگو کنار هم قرار دادند، مشاهده کردند که در **برخی مناطق** بازها با هم مکمل می‌شوند و پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند و در برخی مناطق، رشته دنای الگو به صورت حلقه‌ای و بدون داشتن مکمل درمی‌آید. بالاخره به این نتیجه رسیدند که در رنای پیک نابالغ اولیه که در هسته توسط رنابسپاراز ۲ ساخته شده بود، ابتدا بخش‌هایی در هسته حذف شده‌اند و سایر بخش‌های باقی‌مانده به هم وصل شده‌اند و mRNA بالغ را ساخته‌اند. در حقیقت **پروتئین فقط از روی رمزهای mRNA بالغ ساخته شود.**

نکته

وقتی رنای پیک بالغ را با رشتهٔ دنای الگو کنار هم قرار می‌دهند، بخش‌های حلقه‌مانند دنا را اینترون یا میانه می‌گویند که با رشته الگو به صورت مکمل قرار نگرفته‌اند و بخش‌هایی که با mRNA بالغ پیوند هیدروژنی برقرار کرده‌اند و مکمل شده‌اند را اگزون یا بیانه می‌گویند. دقت کنید که اگزون و اینترون بخشی از دنا با قند دئوکسی‌ریبوز هستند ولی رونوشت آن‌ها در رنا، دارای قند ریبوز می‌باشد.



مفهوم اینترون (میانه) و اگزون (بیانه) و رونوشت آن‌ها

● اگزون‌ها (بیانه‌ها)

اگزون‌ها قطعاتی از ژن در مولکول دو رشته‌ای DNA هستند که یک رشته همگی آن‌ها رونویسی می‌شود و رونوشت آن‌ها در **mRNA نابالغ** وجود دارد. البته رونوشت این توالی‌ها در mRNA بالغ نیز حفظ می‌شوند. در حقیقت وقتی mRNA نابالغ را با رشته DNA الگو کنار هم قرار می‌دهیم، هیچ قطعه‌ای به صورت حلقه درنمی‌آیند. ولی اگر رنای پیک بالغ را کنار رشته الگو قرار دهیم، توالی‌های اینترون در دنا به صورت حلقه درمی‌آیند چون رونوشت آن‌ها در رنای پیک بالغ وجود ندارد. از طرفی **توالی‌های اگزون همواره در دو انتهای ژن وجود دارند و تعداد آن‌ها یکی از توالی‌های اینترون بیشتر می‌باشد.**

نکته

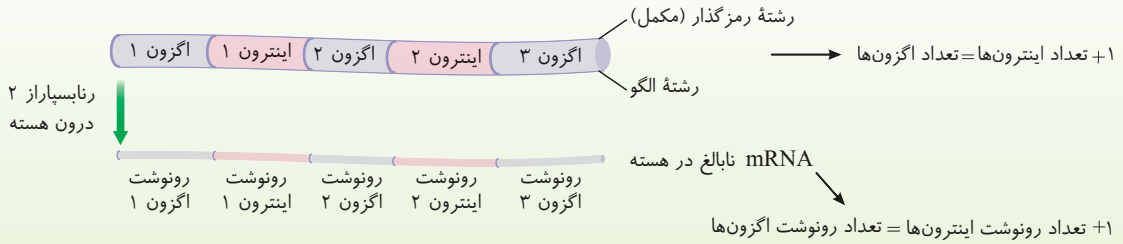
اگزون‌ها حاوی پیام‌هایی برای ترجمه یا پروتئین‌سازی می‌باشند، به همین دلیل رونوشت آن‌ها از mRNA نابالغ به بالغ، پیرایش یا حذف نمی‌شود. دقت کنید که همواره یک توالی اینترون بین دو توالی اگزون وجود دارد.

● اینترون‌ها (میانه‌ها)

قطعاتی از ژن در مولکول دو رشته‌ای DNA هستند که همواره بین دو توالی اگزون واقع شده‌اند. از روی این توالی‌ها، عمل رونویسی به طور کامل انجام می‌شود و رونوشت آن‌ها در mRNA نابالغ یا اولیه درون هسته وجود دارد ولی مشاهده می‌شود که وقتی mRNA، بالغ می‌شود، اینترون‌های رشته DNA الگو، هنگام قرارگیری در کنار طول رشته mRNA، بالغ فاقد باز مکمل می‌باشند و به صورت حلقه‌ای درمی‌آیند. **در حقیقت رونوشت آن‌ها در mRNA بالغ برخلاف نابالغ وجود ندارد.**

نکته

محققین متوجه شدند که در همان هسته، رونوشت توالی‌های اینترون حذف می‌شوند و mRNA بالغ فقط حاوی رونوشت‌هایی از اگزون‌های مجاور می‌باشند.



نکته

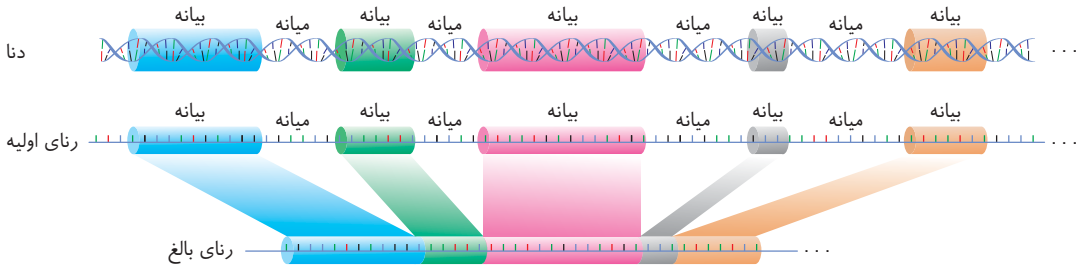
اینترون‌ها و اگزون‌ها قند **دئوکسی‌ریبوز** دارند و توسط دنابسپاراز به هم متصل شده‌اند ولی رونوشت آن‌ها، دارای قند ریبوز می‌باشد و توسط رنابسپاراز ۲ به هم متصل شده‌اند. (*همهٔ این اعمال در هسته انجام شده است.*)

● رونوشت‌های اگزون

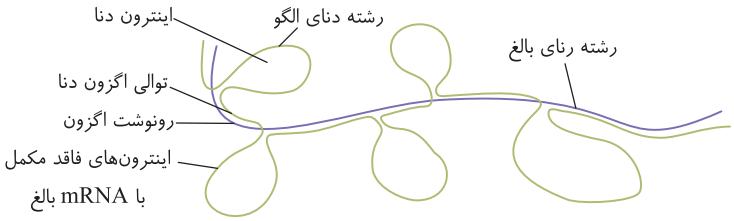
قطعاتی در mRNA تک‌رشته‌ای و به صورت غیرپیوسته می‌باشند که قند ریبوز دارند. در mRNA نابالغ بین آن‌ها رونوشت اینترون‌ها وجود دارند ولی در mRNA بالغ در امتداد رونوشت‌های اگزون‌های دیگر قرار دارند.

● رونوشت‌های اینترون

قطعاتی در mRNA نابالغ هستند که رونویسی شده‌اند ولی هرکدام از آن‌ها با تجزیه دو پیوند فسفودی‌استر در دو طرف آن‌ها از mRNA نابالغ جدا می‌شوند و سپس بین دو رونوشت اگزون یک پیوند فسفودی‌استر زده می‌شود. دقت کنید که mRNA نابالغ در هسته ساخته می‌شود و درون هسته نیز رونوشت‌های اینترون خود را از دست می‌دهند. در انتهای پیرایش، درون هسته با اتصال رونوشت‌های اگزون به هم، mRNA بالغ ساخته می‌شود که با عبور از منافذ غشای هسته برای پروتئین‌سازی وارد رناتن سیتوپلاسم می‌شوند.



«پیرایش در بخشی از رنای یک ژن»



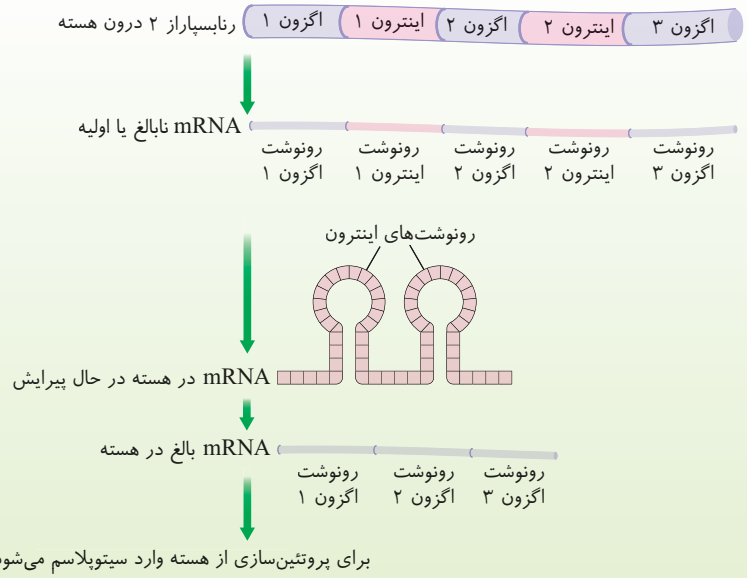
«طرح ساده‌ای از رشته الگوی مولکول دنا و رنای بالغ حاصل از آن»

نکته

به ازای حذف هر رونوشت اینترون، دو پیوند فسفودی‌استر در نوکلئوتیدهای mRNA **نابالغ** تجزیه می‌شود و برای اتصال دو رونوشت اگزون مجاور، **یک** پیوند فسفودی‌استر بین آن‌ها تشکیل می‌شود. پس اگر یک ژن دارای ۴ توالی اگزون باشد، قطعاً سه توالی اینترون داشته است و برای بلوغ رنای پیک آن پس از رونویسی، ابتدا با حذف شش پیوند فسفودی‌استر، سه تا رونوشت اینترون حذف شده و سه تا پیوند جدید بین رونوشت‌های اگزون برقرار می‌شود.

نکته

ساخت و رونویسی mRNA نابالغ توسط رنابسپاراز ۲ یوکاریوتی در هسته صورت می‌گیرد ولی حذف یا پیرایش رونوشت‌های اینترون توسط آنزیم‌های **دیگری** صورت می‌گیرد.



تست ۷ **کدام گزینه قطعاً عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «فرایند ویرایش ..... پیرایش .....»** (قلم‌چی)

۱) همانند - همواره در محل فعالیت آنزیم رنابسپاراز ۳ صورت می‌گیرد.

۲) برخلاف - هنگامی رخ می‌دهد که فعالیت‌های بسپارازی تمام شده باشد.

۳) همانند - روی یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی اثر خود را اعمال می‌کند.

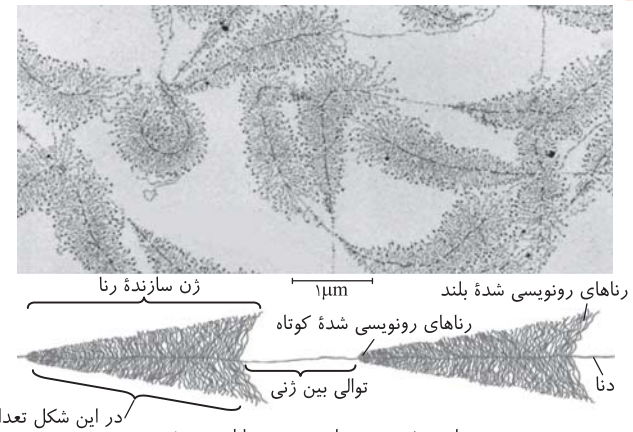
۴) برخلاف - علاوه بر شکستن پیوند، در تشکیل پیوند اشتراکی نقش دارد.

پاسخ ۳ فرایند پیرایش روی رشتهٔ رنا (RNA) اثر می‌گذارد که تک‌رشته‌ای است. فرایند ویرایش هم‌زمان با عمل همانندسازی دنا (DNA) دیده می‌شود که روی رشتهٔ در حال ساخت دنا انجام می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): فرایند ویرایش ممکن است در یاختهٔ پروکاریوت انجام شود که رنابسپاراز ۳ و هسته ندارد. / گزینهٔ (۲): فرایند ویرایش در طی همانندسازی دنا رخ می‌دهد. / گزینهٔ (۴): ویرایش همان فرایند نوکلئازی دنابسپاراز (DNA *پیمراز*) است که صرفاً مربوط به شکستن پیوند فسفودی‌استر است، نه تشکیل آن.

شدت و میزان رونویسی در یاخته

در یک یاخته، میزان رونویسی از یک ژن، بستگی به **مقدار نیاز یاخته** به محصول آن ژن دارد. مثلاً در هنگام صعود به ارتفاعات، نیاز به ساخت هموگلوبین بیشتر می‌شود، پس رونویسی از ژن تولید هورمون ارتیروپویتین و هموگلوبین و ساخت mRNA مورد نیاز نیز بیشتر می‌شود یا مثلاً برخی ژن‌های مسئول ساخت **rRNA** (RNA *رناتنی*) که محصول آن‌ها در ساختار رناتن نقش دارند، در یاخته‌های **تازه تقسیم شده** بسیار فعالند و تعداد زیادی از این RNAها رونویسی می‌شوند. در اینجا این سؤال پیش می‌آید که آیا باید صبر کرد تا یک ژن کامل توسط یک رنابسپاراز رونویسی شود و سپس رنابسپاراز بعدی با شناسایی راه‌انداز شروع به رونویسی کرده و همین‌طور الی آخر... یا هم‌زمان نیز می‌توان انتظار ساخت چند RNA یکسان از یک ژن داشت؟؟!!

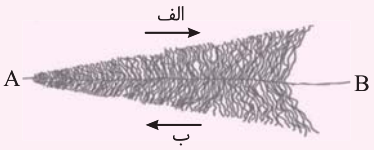


«ساخته شدن هم‌زمان چندین رنا از روی ژن»

در این شکل تعداد زیادی رنابسپاراز مشابه در حال ساخت یک نوع رنا می‌باشند.

با بررسی‌های مختلف با میکروسکوپ **الکترونی**، محققین دریافتند که در طول یک ژن، ممکن است **هم‌زمان**، رنابسپارازهای **یکسانی** در مراحل مختلف رونویسی باشند و مانند قطارهایی پشت سر هم در یک ریل در حال حرکت و ساخت RNA مورد نظر باشند. در این حالت می‌توان تصور کرد که یک مولکول DNA داریم که مثلاً n تا رنابسپاراز **مشابه**، در حال ساخت n تا RNA مشابه و یکسان هستند ولی هر رنابسپارازی که زودتر فعالیت خود را شروع کرده است به نقطه پایان رونویسی نزدیک‌تر است و RNA درازتری را ساخته است. در این حالت مانند شکل‌های بالا، می‌توان RNAهای یکسان ولی با اندازه‌های متفاوت در اثر رونویسی از یک ژن از کوچک به بزرگ به سمت جایگاه پایان رونویسی مشاهده کرد. این عمل ممکن است در چند ژن مجاور به صورت هم‌زمان صورت گیرد. در این حالت از **توالی بین ژنی** آن‌ها بدون نیاز به رونویسی آنزیم‌ها عبور می‌کنند.

تست ۸ **با توجه به شکل زیر که در هستهٔ یک یاختهٔ یوکاریوتی رخ داده است، چند مورد از موارد زیر صحیح است؟** (قلم‌چی)



الف) رونویسی در جهت (ب) در حال انجام است.
ب) قطعاً راه‌انداز ژن در حال رونویسی به نقطهٔ A نسبت به نقطهٔ B نزدیک‌تر است.
ج) چندین آنزیم رنابسپاراز به‌طور هم‌زمان رونویسی را شروع کرده‌اند.
د) چند نوع مولکول ریبونوکلئیک اسید به‌طور هم‌زمان در حال تولید هستند.
هـ) قطعاً در نهایت به دنبال ترجمهٔ رناهای ساخته شده، چندین پروتئین یکسان تولید می‌شود.

۱) ۱ مورد **۲)** ۳ مورد **۳)** ۴ مورد **۴)** ۲ مورد

پاسخ ۱ تنها مورد (ب) صحیح است.

تله‌های تستی الف) با توجه به طول مولکول‌های رنای تولید شده، رونویسی در جهت (الف) انجام می‌شود. / ب) با توجه به طول رناهای تولید شده، توالی راه‌انداز در سمت A قرار دارد. / ج) دقت کنید چندین آنزیم در حال رونویسی هستند، اما آن را به صورت هم‌زمان آغاز نکرده‌اند. / د) همهٔ رناهای تولید شده از یک نوع هستند. / هـ) دقت کنید رناهای تولید شده، الزاماً رنای پیک نیستند، ممکن است سایر انواع مولکول رنا باشند.

گفتار ۲

به سوی پروتئین (ترجمه)

تا اینجا متوجه شدیم که برای ارتباط بین DNA و پروتئین‌سازی، در اولین قدم باید طی رونویسی، مولکول mRNA ساخته شود. **پروتئین‌ها اصلی‌ترین محصول ژن‌ها هستند و اعمال متنوعی را در بدن انجام می‌دهند.** در این گفتار به رابطهٔ بین انواع RNAها و پروتئین‌سازی می‌پردازیم. در فصل بعد به بررسی این مطلب می‌پردازیم که چگونه ژن‌ها و پروتئین‌ها، سبب ایجاد صفات و انتقال آن‌ها بین یاخته‌ها و نسل‌ها می‌شوند.

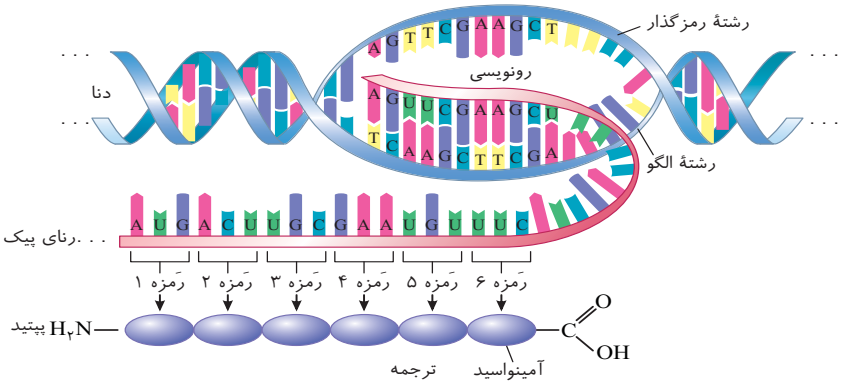
ترجمه

برای درک تفاوت رونویسی با ترجمه شما را با مثال زیر آشنا می‌کنیم.

فرض کنید می‌خواهیم تفاوت لهجه بین دو قسمت از کشورمان را بررسی کنیم. از آنجایی‌که می‌دانیم الفبای آن‌ها مشابه است پس می‌توانیم تفاوت را در فن بیان با تفاوت‌های جزئی مشاهده کنیم. در رونویسی نیز همین مورد را داریم چون الفبای چهار حرفی نوکلئوتیدی DNA (G−C−T−A) را به الفبای چهار حرفی نوکلئوتیدی RNA (C−G−A−U) تبدیل می‌کنیم که فقط در T و U با هم لهجه متفاوتی دارند.

حال فرض کنید می‌خواهیم الفبای فارسی و انگلیسی را با هم مقایسه کنیم، در این صورت خواهیم دید که هیچ شباهتی بین آن‌ها وجود ندارد و باید برای درک یک متن انگلیسی، آن را به دارالترجمه ببریم تا الفبای رمز کلمات انگلیسی را به فارسی تبدیل کند. **در حقیقت ترجمه عملی است که بین دو زبان با دو الفبای متفاوت و به کمک یک سری کلمات رمز انجام می‌شود.** درون یاخته‌ها، رناتن‌ها محل ساخت رشتهٔ پلی‌پپتید می‌باشند و رشتهٔ پلی‌پپتید همواره از روی ردیف نوکلئوتیدهای mRNA ساخته شده و به صورت زنجیره‌ای از آمینواسیدها می‌باشد. حال سؤال این است که چگونه ۴ نوع نوکلئوتید موجود در mRNA، رمزهای اختصاصی برای ۲۰ نوع آمینواسید ایجاد می‌کنند تا بدون اشکال همهٔ آن‌ها در ترتیب خاصی پشت سر هم قرار بگیرند؟

در گفتار قبل توضیح دادیم که محققین با آزمایشاتی فهمیدند که پیام رمز هر آمینواسید به صورت توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی در مولکول DNA وجود دارند. در این فصل باید بدانید که این رمزهای دنا، ابتدا طی رونویسی به رنای پیک منتقل می‌شوند و در حقیقت به رمزهای ۳ نوکلئوتیدی روی mRNA، **رمزه یا کدون** می‌گویند. درون هر یاخته‌ای، ۶۴ نوع رمزه برای پروتئین‌سازی وجود دارد که روبه‌روی ۶۱ نوع آن آمینواسید قرار می‌گیرد. به این رمزه‌ها، رمزه‌های معنی‌دار گفته می‌شود. سه رمزه UAA، UGA و UAG نیز طی ترجمه، روبه‌روی آن‌ها آمینواسیدی قرار نمی‌گیرد (*در حقیقت tRNAای برای آن‌ها آمینواسید حمل نمی‌کند!*) که به این رمزه‌ها، رمزه‌های بی‌معنی یا پایان ترجمه گفته می‌شود. **این سه نوع رمزه، محل پایان یافتن پروتئین‌سازی را روی mRNA نشان می‌دهند.**



«طرح ساده‌ای از تشکیل شدن پلی‌پپتید»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در یک رشتهٔ پلی‌پپتید همواره گروه آمین (NH_2) آمینواسید اول (*متیونین*) آزاد بوده و آمینواسید آخر حاوی گروه کربوکسیل COOH — آزاد می‌باشد.

۲) همواره و در همهٔ جانداران توالی ۶۴ نوع رمزه معنی‌دار و پایان، همگی مشابه می‌باشند، مثلاً UAA در همهٔ mRNAهای یاخته‌های دنیا به عنوان رمزه پایان ترجمه است و یا رمزه UUU در همهٔ جانداران از باکتری گرفته تا انسان و قارچ و گیاه، معرف رمز آمینواسید فنیل‌آلانین می‌باشد. **این موضوع دلیلی بر خویشاوندی جانداران و گونه‌های مختلف و تکامل آن‌ها بوده است.**

۳) دقت کنید که همواره پروتئین‌سازی از رمزه آغاز ترجمه یا **AUG اول** شروع می‌شود که پیام آمینواسید متیونین می‌باشد، بعد ۳ تا ۳ تا هر رمزه، معرف یک آمینواسید می‌باشد تا به یکی از سه رمزه پایان ترجمه برسیم.

۴) دقت کنید که فقط اولین رمزه AUG روی mRNA را رمزه آغاز ترجمه می‌دانیم. ممکن است تا قبل از رسیدن به رمزه پایان، دوباره تعدادی AUG برای تکرار آمینواسید متیونین در ترجمه وجود داشته باشد ولی دیگر این AUGها را رمزه آغاز ترجمه نمی‌دانیم.

مثال: با بازهای آلی A ، U و G چند نوع رمزه برای ترجمهٔ آمینواسید می‌توان ساخت؟

پاسخ: دقت کنید که با این سه نوع باز آلی، مجموعاً $۳^۳ = ۲۷$ نوع رمزه می‌توان ساخت که البته هر ۳ رمزه بی‌معنی UAG، UAA و UGA نیز با آن‌ها ایجاد می‌شود، پس ۲۴ نوع رمزه معنی‌دار ساخته می‌شود که مخصوص ترجمه آمینواسیدها می‌باشند.

مثال: با بازهای پیریمیدینی DNA چند نوع رمزه معنی‌دار می‌توان ساخت؟

پاسخ: بازهای پیریمیدینی CUT می‌باشند که در DNA ، فقط C و T وجود دارد. چون می‌خواهیم **رمزه** بسازیم و می‌دانیم که باز T در RNA کاربردی ندارد، پس فقط باید از باز آلی سیتوزین (C) استفاده کنیم که می‌توانیم تنها رمزه CCC بسازیم که معنی‌دار برای یک آمینواسید می‌باشد (یک نوع).

مثال: mRNA زیر الگوی ساخت چند رشتهٔ پلی‌پپتید است و چند پیوند پپتیدی در آن تولید می‌شود؟

CAGC AUG CAG UCC UAC AUG UUU CAC UAG CCA
کدون پایانی

پاسخ: ابتدا AUG اول را پیدا کرده و بعد ۳ تا ۳ تا جلو می‌رویم تا به یکی از سه رمز پایانی برسیم که به ترتیب باید رمزه‌های AUG ← CAG ← UCC ← UAC ، AUG (این دیگه رمز آغاز نیست) ← UUU ← CAC را ترجمه کنیم تا به رمز بی‌معنی UAG برسیم. پس ۷ آمینواسید و ۶ پیوند پپتیدی ترجمه می‌شود که همگی در یک رشتهٔ پلی‌پپتید قرار دارند.

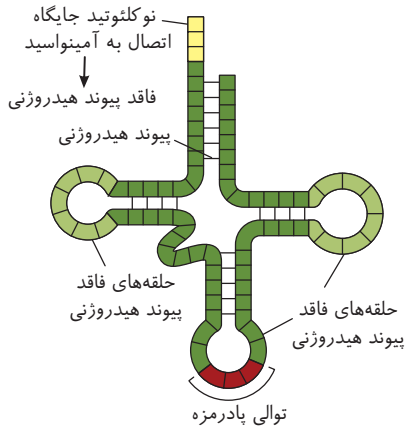
عوامل لازم برای ترجمه

۱) DNA (*به‌عنوان الگوی غیرمستقیم*)
۲) mRNA (*به‌عنوان الگو یا رمزگردان پروتئین‌سازی*)
۳) tRNA (*به‌عنوان ناقل آمینواسید*)
۴) آمینواسید (*به‌عنوان واحد سازنده پروتئین*)
۵) رناتن و rRNA (*به‌عنوان محل ساخت پروتئین و عوامل آنزیمی*)
۶) آنزیم و انرژی (ATP)

در گفتار و فصل قبل در مورد DNA ، mRNA و آمینواسید بحث کردیم ولی در این قسمت ابتدا به بررسی ساختار و نقش tRNA و ریبوزوم (*یعنی رناتن!!*) می‌پردازیم.

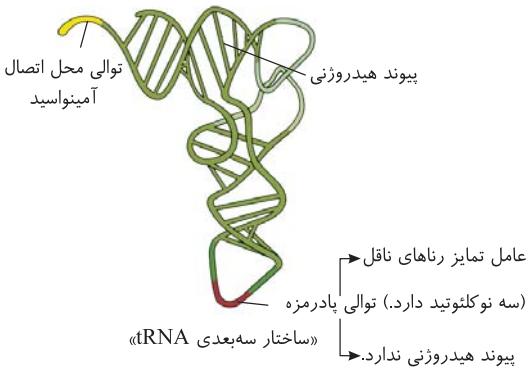
● نکات ساختار و عمل tRNA (رنای ناقل)

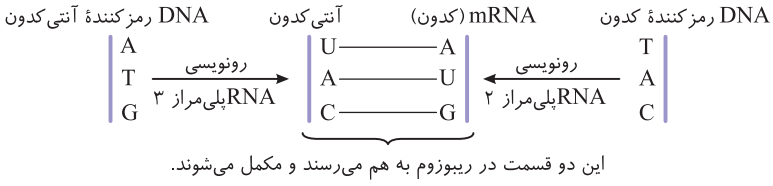
۱) tRNA (*رنای ناقل*)، مسئول انتقال آمینواسیدها از سیتوپلاسم به درون رناتن و روبه‌روی رمزه مناسب برای عمل پروتئین‌سازی می‌باشد.
۲) tRNAها نیز همانند RNAهای دیگر از روی بخشی از یک رشته DNA ، رونویسی و **پس** از رونویسی دچار تغییراتی می‌شوند.
۳) tRNA در یاخته، حداقل ۲۰ نوع (*برای هر آمینواسید*) و حداکثر ۶۱ نوع (*برای هر رمزه ترجمه‌شونده*) مورد نیاز می‌باشد.
۴) **ساختار نهایی** tRNA همراه با پیوندهای **هیدروژنی** بین **بخش‌هایی** از نوکلئوتیدهای مکمل آن تکمیل می‌شود. با اینکه این مولکول، تک‌رشته‌ای است ولی ابتدا ساختاری همراه تاخوردگی اولیه ایجاد می‌کند که در بخش‌هایی، حلقه‌هایی بدون پیوند هیدروژنی دارد و در سایر قسمت‌های آن بازهای مکمل با هم پیوند هیدروژنی تشکیل داده‌اند.



۵) tRNA درون یاختـه، وقتـی می‌خواهد فعال شـود، تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند و به صورت سـاختار **سه‌بعدی** (*شـکل حرف* L) درمی‌آید که در دو انتهای آن یکـی خطـی و محـل اتصال آمینواسـید و دیگری حلقـه مانند و دارای توالی سـه نوکلئوتیدی به نام **پادرمزه** یا آنتی‌کدون دارد.

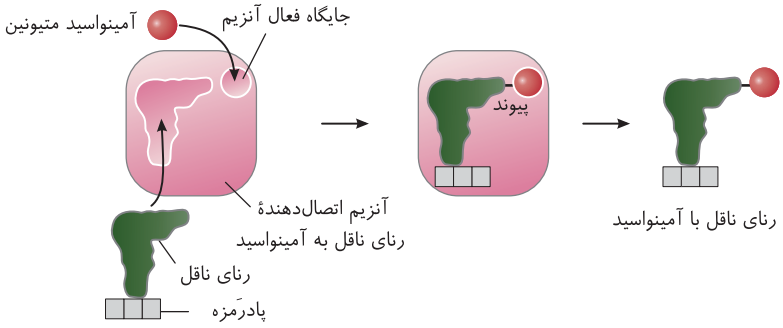
۶) پادرمـزه یـا آنتی‌کـدون، قسـمتی در tRNA و دارای سـه نوکلئوتید می‌باشـد. این توالی مشـخص می‌کند، **tRNA به چه آمینواسـیدی متصل شـود**. پادرمزه، خود از روی توالی سـه نوکلئوتیدی در رشـتهٔ DNA الگو، رونویسـی شـده اسـت ولی در هنگام ترجمه یا پروتئین‌سازی روبه‌روی رمزه مکمل خود در mRNA قرار می‌گیرد. مثلاً همان‌طور که می‌دانید AUG رمزه مخصوص برای آمینواسـید متیونین است. این رمزه در هنگام رونویسـی از روی DNAای با توالی TAC سـاخته شـده است. در هنـگام پروتئین‌سـازی tRNAای برای این رمزه آمینواسـید متیونین می‌آورد که در سـاختار پادرمزه خود سـه نوکلئوتید مکمل با AUG یعنی نوکلئوتیدهای **UAC** داشـته باشـد. ***در حقیقت آنزیم مخصوصی با خواندن و دیدن توالی پادرمزه UAC متوجه می‌شوند که با صرف انرژی باید به جایگاه اتصال آمینواسید این tRNA، آمینواسید متیونین متصل کنند.*** در آخر دقت کنید که پادرمزه UAC، خود در هنگام رونویسـی از روی رشـته الگـو DNA بـا رمز ATG رونویسـی شـده اسـت. (*به توالی‌های روبه‌رو و الگوی ساخت آن‌ها به‌خوبی دقت کنید!*)





این دو قسمت در ریبوزوم به هم می‌رسند و مکمل می‌شوند.

۷) روی mRNAهـای متنـوع یاختـه، ۶۴ نـوع رمـزه می‌تواند وجود داشـته باشـد ولی از آنجایـی که روبه‌روی رمزه‌های پایان ترجمه، آمینواسیدی قرار نمی‌گیرد، درون یاخته حداکثر ۶۱ نوع پادرمزه tRNA وجود دارد. (*پس ۶۴ نوع رمز، ۶۴ نوع رمزه و ۶۱ نوع پادرمزه در یاخته وجود دارد.*)



«نحوهٔ پیوستن آمینواسید به رنای ناقل مربوط به خود توسط آنزیم ویژهٔ آن»

۸) تفاوت در ساختار tRNAهای مختلف، **فقط** در قسمت پادرمزه آن‌ها می‌باشـد ولی سایر بخش‌ها چه محل اتصال آمینواسـید، چـه حلقه‌هـای فاقـد پیونـد هیدروژنی و چه قسمت‌های مکمل در انواع مختلف، **توالی مشابهی دارند**.

۹) هـر tRNA در یـک سـمت خود توالی خاص و ثابت سـه نوکلئوتیدی دارد (CCA) که همواره هر آمینواسـیدی به قند ریبوز نوکلئوتیـد انتهایی آن متصل می‌شود. **پیوند بین آمینواسید و قند ریبوز از نوع کووالانسی می‌باشد** و تشکیل آن **نیاز به صرف انرژی** دارد. به این توالی، جایگاه اتصال آمینواسید یا توالی محل اتصال آمینواسید می‌گویند که در ساختار تاخورده اولیه و سه‌بعدی وجود دارد و فاقد پیوند هیدروژنی است.

۱۰) درون یاخته، آنزیم‌هایی وجود دارند که ابتدا پادرمزه هر tRNA را شناسـایی می‌کنند و سـپس آمینواسـید مناسـب را به جایگاه فعال خود وصل کرده و به جایگاه اتصال آمینواسـید در tRNA نزدیک می‌کنند، در این هنگام این آنزیم با صرف انرژی پیوند کووالانسـی بین tRNA و آمینواسـید ایجاد می‌کند. (*دقت کنید که این پیوند نه از نوع پپتیدی می‌باشد و نه فسفودی‌استر است.*)

● نکات ساختار ریبوزوم (رناتن)

۱) رناتن ساختار یا اندامکی بدون غشا در همهٔ یاخته‌های طبیعت می‌باشد.

۲) این ساختار از rRNA و پروتئین‌های رناتنی به وجود آمده است که به صورت فعال، علاوه بر مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم، درون میتوکندری و کلروپلاست و یا روی غشای شبکه آندوپلاسمی نیز وجود دارد.

۳) rRNAهای رناتنی آن از روی رشته DNA الگو و پروتئین‌های رناتنی آن از روی mRNA ساخته شده‌اند.

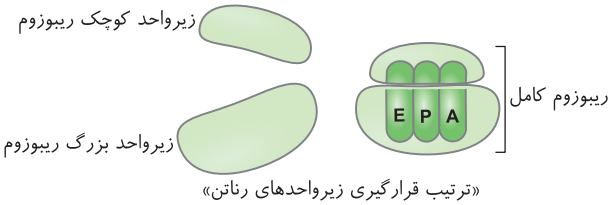
۴) این اندامک، محل ساخت رشتهٔ پلی‌پپتید در حین عمل ترجمه می‌باشد که دو زیرواحد کوچک و بزرگ دارد.

۵) هر زیرواحد آن هم rRNA و هم پروتئین‌های رناتنی مربوط به آن‌ها را در کنار هم دارند.

۶) در شروع و انتهای فرایند پروتئین‌سازی، دو زیرواحد رناتن از هم جدا می‌باشند ولی در حین این عمل دو زیرواحد روی هم قرار می‌گیرند و شکل رناتن کامل می‌شود.

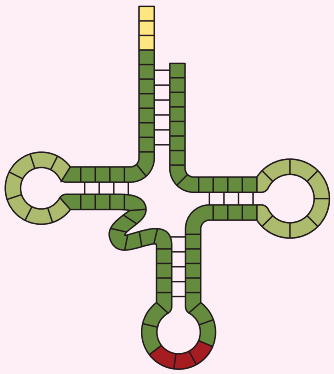
۷) رناتن کامل شده و دو زیرواحد متصل به هم، حاوی سه جایگاه به نام A، P و E می‌باشد که در توضیح مراحل ترجمه به فعالیت هر جایگاه می‌پردازیم.

۸) به‌طور خلاصه و تیتروار در نظر داشته باشید که جایگاه P (Polypeptide)، مربوط به قرارگیری پلی‌پپتید در حال ساخت است، جایگاه A (Aminoacid) مربوط به منطقه ورود آمینواسـید **جدید** می‌باشـد و جایگاه E (Exit) مربوط به جایگاه **خروج** tRNA بدون آمینواسید می‌باشد.



«ترتیب قرارگیری زیرواحدهای رناتن»

تست ۹ در رابطه با شکل روبه‌رو که مولکول tRNA را نشان می‌دهد، چند مورد از عبارت‌های زیر نادرست است؟ (قلم‌چی)



الف) ساختاری از مولکول رنای ناقل را نشان می‌دهد که در جایگاه فعال آنزیم ویژه‌ای قرار می‌گیرد که آمینواسید را به رنای ناقل متصل می‌کند.

ب) تاخوردگی اولیهٔ مولکول tRNA را نشان می‌دهد که قطعاً حداقل در سه نوکلئوتید با انواع دیگر رناهای ناقل تفاوت دارد.

ج) ساختار رنای ناقل بدون تاخوردگی است که با تشکیل تاخوردگی به رنای ناقل فعال با شکل سه‌بعدی تبدیل می‌شود.

د) در ساختار سه‌بعدی متصل به آمینواسید آن، بازهای آلی توالی پادرمزه می‌توانند با ریبونوکلئوتیدها پیوند هیدروژنی تشکیل دهند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد

۳) ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (الف)، (ب) و (ج) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) مطابق شکل کتاب درسی، ساختار سه‌بعدی فعال رنای ناقل در جایگاه فعال آنزیم ویژه‌ای قرار می‌گیرد که آمینواسید را به رنای ناقل متصل می‌کند. / ب) مطابق متن کتاب، مولکول‌های رنای ناقل در ناحیهٔ پادرمزه با هم متفاوت هستند. اگر مثلاً توالی‌های دو پادرمزهٔ مربوط به دو رنای ناقل به صورت UAA و UAG باشد، در نتیجه این دو رنای ناقل فقط در یک نوکلئوتید با هم تفاوت دارند. / ج) دقت کنید در این ساختار، تاخوردگی‌های اولیهٔ رنا مشاهده می‌شود. / د) دقت کنید نوکلئوتیدهای توالی پادرمزه نمی‌توانند با سایر نوکلئوتیدهای مولکول رنای ناقل پیوند هیدروژنی تشکیل دهند، اما می‌توانند در طی ترجمه با نوکلئوتید دارای ریبوز (ریبونوکلئوتیدها) مولکول رنای پیک پیوند هیدروژنی تشکیل دهند.

بررسی مراحل ترجمه

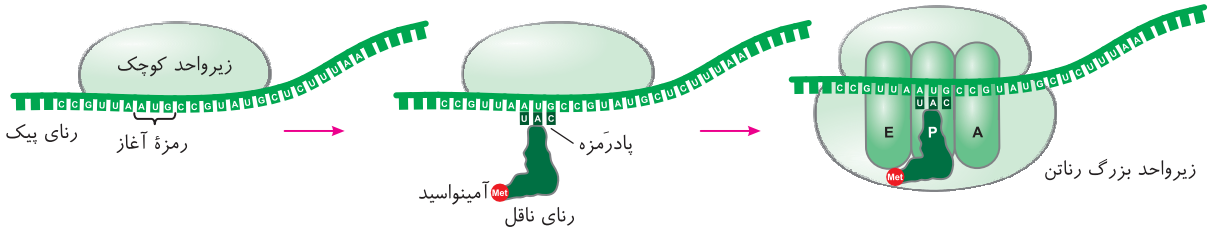
ترجمه نیز مانند سایر فرایندهای درون‌یاخته‌ای، فرایندی **پیوسته** می‌باشد که برای آسان شدن یادگیری آن را به سه مرحلهٔ آغاز، طویل شدن رشتهٔ پلی‌پپتیدی و پایان تقسیم می‌کنند.

۱) مرحلهٔ آغاز ترجمه

برای شروع ترجمه، ابتدا mRNA وارد زیرواحد کوچک رناتن می‌شود. در ابتدای **mRNA**، **بخش‌هایی وجود دارند** که زیرواحد **کوچک** رناتن را به سوی **رمزه آغاز** ترجمه (AUG اول) هدایت می‌کنند. زیرواحد کوچک رناتن روی mRNA حرکت می‌کند به‌طوری که جایگاه P آن به رمزه آغاز یا AUG اول متصل شود. در این هنگام جایگاه E به توالی قبل از آغاز متصل می‌باشد و رمزه بعد از AUG اول نیز در جایگاه A قرار دارد (همواره جایگاه P بین دو جایگاه E و A قرار دارد و جایگاه A به سمت رمزه پایان می‌باشد). بعد از اینکه رمزه آغاز در جایگاه P زیرواحد کوچک رناتن قرار گرفت، tRNA ناقل با پادرمزه UAC فعال می‌شود و با حالت سه‌بعدی از جایگاه اتصال آمینواسید، به متیونین سیتوپلاسم متصل می‌شود. tRNA آغازین همراه متیونین، به سمت رمزه آغاز می‌آید و در محل جایگاه P قرار می‌گیرد. ابتدا بین پادرمزه UAC و رمزه AUG ، خودبه‌خود پیوندهای هیدروژنی برقرار می‌شود. بعد از این عمل زیرواحد بزرگ رناتن به زیرواحد کوچک آن متصل می‌شود و ساختار رناتن و جایگاه‌های A ، P و E کامل می‌شوند.

دقت کنید که در مرحلهٔ آغاز ترجمه، فقط جایگاه P حاوی tRNA و آمینواسید می‌باشد و جایگاه A و E خالی می‌باشند. در این مرحله هنوز هیچ پیوند پپتیدی تشکیل نشده است.

- اولین رمز سه حرفی که وارد جایگاه E می‌شود، می‌تواند ۶۳ نوع مختلف داشته باشد که در ترجمه نقشی ندارد. (اولین توالی E ، قطعاً AUG نمی‌باشد چون AUG اول باید وارد جایگاه P بشود.)
- اولین رمزه‌ای که وارد جایگاه P می‌شود، همواره رمزه آغاز یا AUG می‌باشد.
- اولین رمزه‌ای که وارد جایگاه A می‌شود، باید یک رمزه برای آمینواسید باشد که ۶۱ نوع مختلف حتی AUG می‌تواند باشد.



«مرحلهٔ آغاز ترجمه»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در مرحلهٔ آغاز و در سیتوپلاسم، هنگام اتصال tRNA آغاز به آمینواسید متیونین و تشکیل پیوند کووالانسی، انرژی زیستی مصرف می‌شود. از طرفی بین رمزه آغاز و پادرمزه مکمل آن پیوندهای هیدروژنی در جایگاه P تشکیل می‌شوند. در حقیقت در مرحلهٔ آغاز، اولین رمزه یا AUG اول در جایگاه P ترجمه می‌شود و دقت کنید که این متیونین اولی، اولین و آخرین آمینواسیدی است که در P ترجمه شد و دیگر تا پایان ترجمه، هر رمزه‌ای فقط در جایگاه A ترجمه می‌شود.

۲) دقت کنید که AUG اگر روی mRNA باشد، یک رمزه اختصاصی برای آمینواسید متیونین است ولی این توالی می‌تواند در هر قسمتی از rRNA رناتنی در هر جایگاه A ، P و E قرار گرفته باشد یا می‌تواند در قسمت‌های مختلف tRNA نیز وجود داشته باشد. **پس تا AUG دیدید زود هَل نکنید که حتماً رمزه آغاز مربوط به متیونین است. اول دقت کنید که این توالی مربوط به چه نوع مولکول RNAای می‌باشد.**

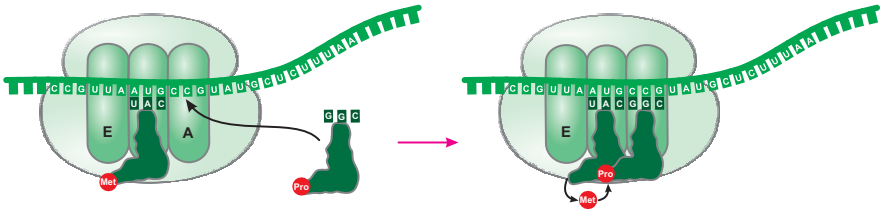
۳) در مرحلهٔ آغاز ترجمه، یک پیوند اشتراکی بین آمینواسید و رنای ناقل آغازین برقرار می‌شود و تعدادی نیز پیوند هیدروژنی یکسان بین رمزه AUG با پادرمزه UAC در جایگاه P رناتن تشکیل می‌شود.

۲) مرحلهٔ طویل شدن (ادامهٔ ترجمه)

این مرحله پس از ترجمهٔ رمزه اول و کامل شدن شکل رناتن شروع می‌شود. دقت کنید که در طول ترجمه، فقط اولین رمزه یا AUG اول، در جایگاه P ترجمه می‌شود و روبه‌روی آن آمینواسید مناسب می‌آید ولی سایر رمزه‌هایی که وارد جایگاه A می‌شوند، شناسایی یا ترجمه می‌شوند یعنی روبه‌روی آن‌ها tRNA ، آمینواسید می‌آورد و یا رمزه پایان هستند که محل پایان عمل ترجمه را معرفی می‌کنند.

در مرحلهٔ طویل شدن یک رمزه معنی‌دار (از ۶۱ نوع) در اولین جایگاه A قرار دارد، در این حالت هر tRNA همراه آمینواسید مخصوص خود می‌تواند **وارد** جایگاه A شود ولی فقط tRNAای که با رمزه جایگاه A مکمل باشد، **استقرار می‌یابد** و پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. سایر tRNAها جایگاه A را ترک می‌کنند. بعد از ترجمه شدن رمزه دوم mRNA ، ابتدا آمینواسید متیونین از tRNA جایگاه P جدا می‌شود و به جایگاه A می‌رود تا با آمینواسید موجود در آن یک پیوند پپتیدی برقرار کند (در حین تشکیل پیوند پپتیدی، یک مولکول آب آزاد می‌شود.) تا اینجای کار درون جایگاه A یک tRNA به همراه دی‌پپتید و درون جایگاه P ، tRNA آغازگر بدون آمینواسید را داریم ولی جایگاه E هنوز خالی از tRNA می‌باشد.

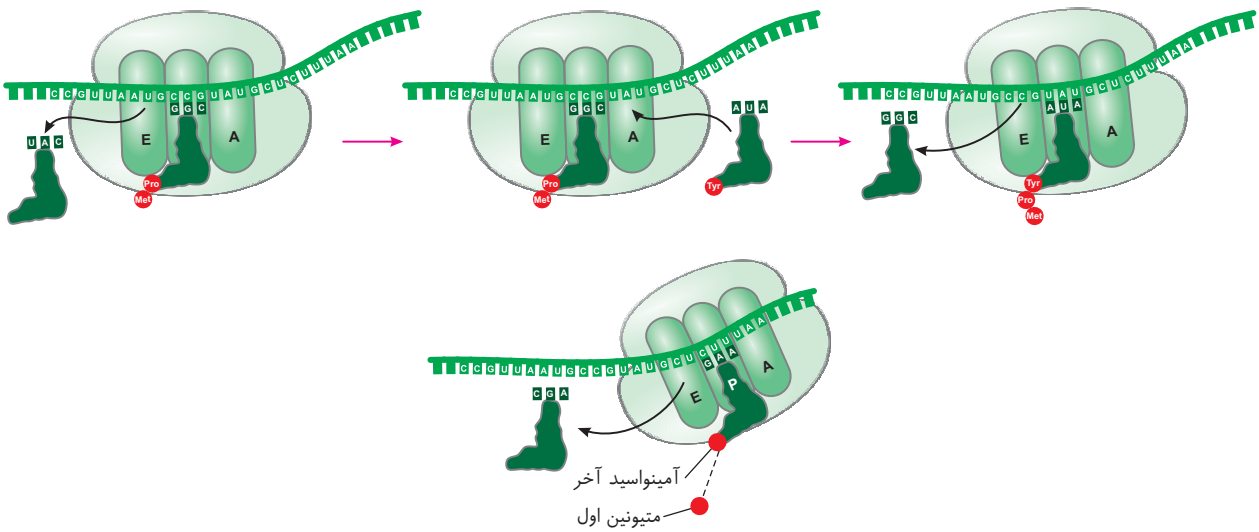
در تست‌ها به کلمهٔ وارد شده یا استقرار یافته در مورد tRNA دقت کنید چون هر tRNA در مرحلهٔ طویل شدن می‌تواند وارد جایگاه A شود ولی فقط tRNA مناسب در آن استقرار می‌یابد.



پس از تشکیل اولین پیوند پپتیدی در جایگاه A ، رناتن شروع به حرکت روی mRNA می‌کند و به اندازهٔ یک رمزه به سمت جایگاه پایان ترجمه حرکت می‌کند. در این حالت tRNA آغازین که بدون آمینواسید شده است، وارد جایگاه خروج (Exit) یا E می‌شود و دی‌پپتید و tRNA آن به جایگاه P می‌رود و رمزه جدید وارد جایگاه A می‌شود. **tRNA آغازین با شکستن پیوندهای هیدروژنی از جایگاه E رناتن خارج می‌شود** و سپس tRNA جدید مناسب دیگری در جایگاه A استقرار می‌یابد و ترجمه را انجام می‌دهد.

همانند قبل، این دفعه دی‌پپتید از tRNA جایگاه P جدا می‌شود و در جایگاه A یک پیوند پپتیدی جدید تشکیل می‌دهد. دوباره رناتن به اندازهٔ یک رمزه جلو می‌رود تا رمز جدید وارد A شده و tRNA بدون آمینواسید از E خارج شود.

خلاصه این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود تا یکی از سه رمزه پایانی وارد جایگاه A شود و پلی‌پپتید ساخته شده در جایگاه P استقرار یابد.



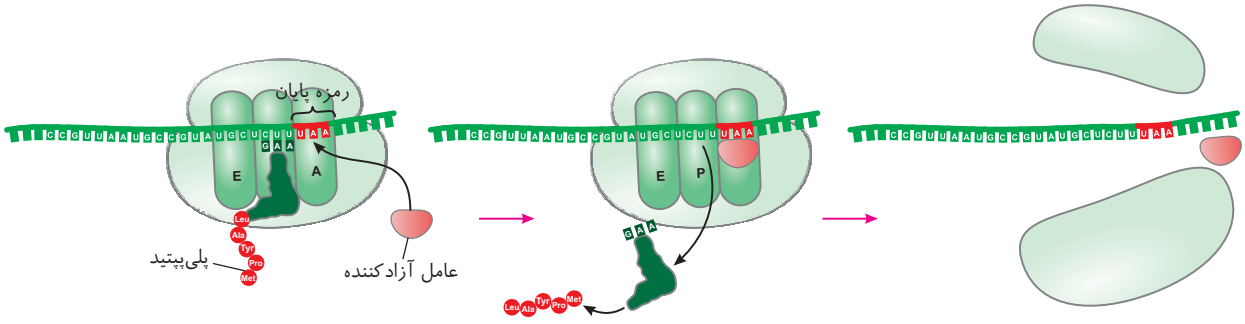
نکته

ترتیب پیوندهای انجام شده در مرحلهٔ طویل شدن

A) ایجاد پیوند هیدروژنی بین رمزه و پادرمزه در جایگاه A
B) جدا شدن پیوند کووالان بین آمینواسید متیونین اول و tRNA آغازگر در جایگاه P
C) تشکیل پیوند پپتیدی (کووالان) بین آمینواسیدها در جایگاه A
D) حرکت رناتن روی mRNA به اندازهٔ یک رمزه به سمت منطقه پایان ترجمه
E) جدا شدن پیوند هیدروژنی بین رمزه و پادرمزه در جایگاه E و خروج tRNA از رناتن
F) اتصال آمینواسید به tRNA و ورود tRNAهای جدید به جایگاه A و...
G) در آخر یکی از رمزه‌های پایانی وارد جایگاه A می‌شود.

● ۳) مرحلهٔ پایان ترجمه

در این مرحله چون یکی از سه رمزه پایان به جایگاه A وارد شده است، هر tRNAای که وارد رناتن شود با آن مکمل نمی‌شود و به قول معروف در جایگاه A **مستقر نمی‌شود**. پس از مدتی پروتئین‌هایی به نام **عامل آزادکننده** وارد جایگاه A می‌شوند. این پروتئین‌ها از یک طرف **وظیفهٔ شناسایی** رمزه پایان در جایگاه A را دارند و از طرف دیگر باعث جدا شدن tRNA آخر موجود در جایگاه P از پلی‌پپتید متصل به آن می‌شوند. **دقت کنید که رناتن دیگر جلوتر نمی‌رود و tRNA آخر که در جایگاه P قرار دارد نیز وارد جایگاه E نمی‌شود و از همین جایگاه P، رناتن را ترک می‌کند.** عوامل آزادکننده در نهایت سبب جدا کردن دو زیرواحد کوچک و بزرگ رناتن می‌شوند و mRNA را از درون رناتن آزاد می‌کنند.



«مرحلهٔ پایان ترجمه»

نکته

اگر یاخته باز هم نیاز به ساخت این پروتئین داشت، همین رناتن یا رناتن دیگری می‌تواند دوباره به این رنای پیک متصل شده و همین رشته پلی‌پپتید را تا حد مورد نیاز یاخته بسازد.

تست ۱۰ **کدام عبارت، جملهٔ مقابل را دربارهٔ فرایند ترجمه به‌طور نامناسب تکمیل می‌نماید؟ «بعد از .....، قطعاً .....»** (قلم‌چی)

۱) استقرار مولکول tRNA حامل آمینواسید در جایگاه A - فرایند هیدرولیز در جایگاه P رخ می‌دهد.
۲) قرارگیری عامل آزادکننده در جایگاه A - پیوند بین آمینواسید و tRNA، شکسته می‌گردد.
۳) جابه‌جایی رناتن روی mRNA - یک جایگاه آن توسط tRNA متصل به آمینواسیدها اشغال شده است.
۴) خروج مولکول tRNA آغازگر از جایگاه P - آمینواسید متیونین در جایگاه A وارد فرایند سنتز آبدهی می‌شود.

پاسخ ۴ ابتدا آمینواسید از tRNA درون جایگاه P جدا می‌شود و با آمینواسید موجود در جایگاه A پیوند برقرار می‌کند، سپس tRNA حامل آن از این جایگاه خارج می‌گردد.

ته‌های تستی گزینهٔ (۱): همواره بعد از استقرار یک tRNA حامل آمینواسید در جایگاه A، در جایگاه P فرایند هیدرولیز رخ می‌دهد و پیوند پپتیدی در جایگاه A تشکیل می‌شود. / گزینهٔ (۲): بعد از ورود و اتصال عوامل آزادکننده به mRNA، در جایگاه P پیوند بین آمینواسید و tRNA حامل آن شکسته می‌شود. (درواقع این آمینواسید به آمینواسیدهای دیگری نیز متصل است که در نهایت یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی را ایجاد می‌کنند.) / گزینهٔ (۳): هنگام خالی بودن جایگاه P، ریبوزوم جابه‌جا می‌گردد و در حین جابه‌جایی همواره جایگاه P توسط tRNA موجود در جایگاه A که حامل آمینواسیدها است اشغال می‌گردد. جایگاه A هم می‌تواند پذیرای tRNA بعدی و یا عوامل آزادکننده باشد. جایگاه E دارای رنای ناقل بدون آمینواسید است.

تست ۱۱ **کدام گزینه، عبارت زیر را دربارهٔ ترجمهٔ یک مولکول RNA پیک در یک یاختهٔ کبدی انسان به درستی تکمیل می‌کند؟** (قلم‌چی)

«در مرحلهٔ ..... ترجمه ..... می‌شود.»

۱) آغاز - پس از تکمیل ساختار رناتن، RNA ناقل وارد جایگاه P
۲) طویل شدن - هر RNA وارد شده به جایگاه A، با یک آمینواسید خارج
۳) پایان - در جایگاه E رناتن، یک RNA ناقل با حداقل یک آمینواسید دیده
۴) طویل شدن - RNA ناقل دارای یک آمینواسید در جایگاه A رناتن مستقر

پاسخ ۴

ته‌های تستی گزینهٔ (۱): در مرحلهٔ آغاز ترجمه، ابتدا بخش‌هایی از رنای پیک، زیرواحد کوچک رناتن را به سوی رمزهٔ آغاز، هدایت می‌کند. سپس رنای ناقل حاوی آمینواسید متیونین با رنای پیک رابطهٔ مکملی برقرار کرده و با رمزه AUG پیوندهای هیدروژنی برقرار می‌کند. پس از این‌ها، زیرواحد بزرگ رناتن به مجموعه متصل شده و سبب تکمیل ساختار رناتن می‌گردد. پس از این اتفاق، ترجمه وارد مرحلهٔ طویل شدن می‌گردد. / گزینه‌های (۲) و (۴): در مرحلهٔ طویل شدن، رنای ناقل با یک آمینواسید در جایگاه A مستقر شده و با رمزهٔ مربوطه پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. از سوی دیگر جایگاه A محل تشکیل پیوند پپتیدی است و سپس رنای ناقل همراه با آمینواسیدهای خود وارد جایگاه P می‌شود (بنابراین رنای ناقل وارد شده به جایگاه A، با بیش از یک آمینواسید خارج شده و وارد جایگاه P می‌شود). / گزینهٔ (۳): هر رنا که وارد جایگاه E می‌شود، آمینواسیدهای خود را از دست داده است، بنابراین در جایگاه E، رنای ناقل همراه با آمینواسید دیده نمی‌شود.

نکات تکمیلی از فرایند ترجمه

۱) تشکیل پیوند پپتیدی و وجود هم‌زمان دو مولکول tRNA در رناتن، فقط در مرحلهٔ **طویل شدن** ترجمه وجود دارد. چون مرحلهٔ آغاز یا پایان، همواره فقط **یک** tRNA در جایگاه **P** وجود دارد.

۲) در مرحلهٔ **طویل شدن**، دو tRNA یا در جایگاه **P و A** و یا در جایگاه **P و E** قرار دارند. یعنی جایگاه **P** همیشه در طی ترجمه از آغاز تا پایان حاوی tRNA می‌باشد ولی احتمال دارد این جایگاه (P) حاوی آمینواسید در حال ترجمه نباشد چون ممکن است توالی آمینواسیدها، جایگاه P را برای اتصال به آمینواسید جایگاه A ترک کرده باشند.

۳) رمزهای رمزه‌های پایانی (UAG–UGA–UAA) توسط هیچ tRNA و پادرمزه‌ای شناسایی نمی‌شوند. **پس در یاخته، پادرمزه‌هایی با توالی** AUC–ACU–AUU **وجود ندارند.** یعنی DNAهایی که توالی TAG–TGA–TAA دارند برای ساخت پادرمزه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. البته دقت کنید که این توالی می‌توانند در قسمت‌های دیگر tRNA وجود داشته باشند ولی در جایگاه پادرمزه وجود ندارند.

۴) tRNA اول هیچ‌گاه وارد جایگاه **A** نمی‌شود ولی به P وارد می‌شود و از E خارج می‌شود. در عوض tRNA آخر هیچ‌گاه وارد جایگاه **E** نمی‌شود چون به A وارد می‌شود و از P خارج می‌شود. پس اگر برای ساخت یک رشته پلی‌پپتید، n تا tRNA شرکت کرده باشند، هر n تای آن وارد **P** می‌شود ولی (n−۱) عدد آن‌ها وارد **A و E** می‌شوند.

۵) در مورد تعداد رمزه‌ها، دقت کنید که رمزه آغاز ترجمه (AUG *اول*) هرگز وارد جایگاه **A** نمی‌شود، رمزه پایان ترجمه نیز فقط وارد جایگاه **A** می‌شود و از دیگر جایگاه‌ها عبور نمی‌کند. از طرفی رمزه ماقبل پایان نیز هیچ‌گاه وارد **E** نمی‌شود. **پس اگر از رمزه آغاز تا پایان ترجمه، n رمزه داشته باشیم، (n−۱) رمزه آن از P و A می‌گذرد و (n−۲) رمزه آن از E می‌گذرد چون دو رمزه آخر وارد جایگاه E نمی‌شوند.**

۶) در مورد تعداد حرکت رناتن روی mRNA دقت کنید که این حرکات از **مرحلهٔ طویل شدن** و بعد از ایجاد **اولین پیوند پپتیدی** در نظر گرفته می‌شوند. یعنی اگر بعد از ورود رمزه آغاز ترجمه به جایگاه P ، رناتن n بار حرکت کند، یعنی n بار **پیوند پپتیدی** تشکیل داده است. چون همواره اول پیوند پپتیدی تشکیل می‌شود و سپس حرکت رناتن انجام می‌شود.

۷) همهٔ رمزه‌هایی که از جایگاه P می‌گذرند مربوط به آمینواسید می‌باشند و پادرمزه روبه‌روی آن‌ها می‌آید، ولی رمزه آخری که وارد A می‌شود رمزه پایان نام دارد که پادرمزه روبه‌روی آن قرار نمی‌گیرد. پس اگر از رمزه آغاز تا پایان ترجمه **n رمزه** وجود داشته باشد

	P	A	E
تعداد رمزه عبوری	n−۱	n−۱	n−۲
تعداد پادرمزه عبوری	n−۱	n−۲	n−۲
تعداد آمینواسید ورودی	n−۱	n−۱	صفر

۸) اگر به tRNA موجود در جایگاه P رناتن، n تا آمینواسید متصل باشد، یعنی در حال حاضر رمزه **nام** ترجمه در جایگاه P و رمزه (n+۱) در جایگاه A قرار دارد ولی اگر tRNA با n آمینواسید متصل به آن در جایگاه A باشد، یعنی در آن لحظه رمزه **nام** ترجمه در جایگاه A و رمزه (n−۱) ترجمه در جایگاه P قرار دارد.

۹) همواره **آخرین پادرمزه‌ای** که وارد جایگاه‌های P و A می‌شود **یکسان** است و همان پادرمزه‌ای بوده است که مکمل رمزه قبل از رمزه پایانی بوده است. این پادرمزه ابتدا وارد جایگاه A شده است و با آخرین حرکت رناتن در جایگاه P قرار می‌گیرد و از همان جایگاه P هم خارج می‌شود چون هیچ‌گاه وارد جایگاه E نمی‌شود.

مثال: با توجه به mRNA زیر به سؤالات خواسته شده پاسخ دهید:



۱) این رشتهٔ رمزگردان چند آمینواسید است؟

۲) اگر پادرمزه GCG در A باشد، پادرمزه موجود در P کدام است؟

۳) اگر پادرمزه UUU در P باشد، اولین پادرمزه‌ای که وارد A می‌شود توسط چه DNAای ساخته می‌شود؟

۴) اولین رمزه و پادرمزه وارد شده به P ، A و E کدام است؟

۵) پنجمین رمزه و پادرمزه وارد شده به P ، A و E کدام است؟

۶) پنجمین نوع پادرمزه و رمزه وارد شده به P ، A و E کدام است؟

۷) آخرین رمزه و پادرمزه وارد شده به P ، A و E کدام است؟

پاسخ: ۱) از AUG اول تا قبل از رمزه پایان که UAG می‌باشد، ۱۱ آمینواسید ساخته می‌شود.

۲) وقتی پادرمزه GCG در A باشد، پس رمزه CGC نیز در A به صورت مکمل آن قرار دارد که مربوط به رمزه هشتم می‌باشد. در این حالت رمزه قبلی یعنی CCA در P قرار دارد که پادرمزه آن **GGU** می‌باشد.

۳) یعنی رمزه AAA در P قرار دارد که رمزه نهم است، پس رمزه GGG در A می‌باشد که پادرمزه آن CCC است که توسط DNA به صورت GGG ساخته شده است.

	رمزه P	پادرمزه P	رمزه A	پادرمزه A	E	پادرمزه E
۴)	AUG	UAC	CCA	GGU	توالی: GCA رمزه: AUG	UAC
۵)	AUG	UAC	AUA	UAU	توالی: CCA رمزه: AUG	UAC
۶)	AAA	UUU	AAA	UUU	توالی: CGC رمزه: AAA	UUU
۷)	CCC	GGG	UAG	GGG	توالی: GGG رمزه: CCC	CCC

دقت کن که توالی تکراری نشماری!!

نکات محل پروتئین‌سازی و سرنوشت محصولات آن‌ها

۱) هـر بخشـی از یاختـه که **رناتن کاملی** دارد می‌تواند پروتئین‌سـازی کند. این نواحی می‌تواند در سیتوپلاسـم یا درون میتوکندری و پلاسـت‌ها یا روی **برخی** از شبکه‌های آندوپلاسمی باشند **ولی زیرواحدهای رناتن ساخته شده در درون هسته، قدرت پروتئین‌سازی ندارند.**

۲) طرح مقصد پروتئین‌های ساخته شده درون رناتن‌های یاخته:

- پروتئین ساخته شده در رناتن‌های سیتوپلاسم
  - یا روی شبکهٔ آندوپلاسمی ساخته شده و سپس به دستگاه گلژی می‌روند و بسته‌بندی می‌شوند، در نهایت
    - یا لیزوزوم‌ها (کافندتن) را می‌سازند (آنزیم‌های هیدرولازی).
    - یا واکوئول می‌سازند.
    - یا برای ترشح به سمت غشای یاخته می‌روند (آنزیم گوارشی).
    - یا پروتئین‌های غشای یاخته را می‌سازند (پمپ سدیم پتاسیم).
  - یا درون سیتوپلاسم در رناتن آزاد ساخته می‌شوند
    - یا در سیتوپلاسم می‌مانند (آنزیم تخمیر و قندکافت).
    - یا به هسته می‌روند (رنابسپاراز، هلیکاز، رنابسپاراز، هیستون و ...)
    - یا به راکیزه می‌روند ← برخی پروتئین‌های تنفس یاخته‌ای
    - یا به دیسه‌ها می‌روند ← برخی پروتئین‌های مورد نیاز در فتوسنتز



«سرنوشت پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم»

۳) **توالی آمینواسیدی هر پروتئین**، سبب می‌شود که مقصد هر پروتئین مشخص شود و پروتئین به آن سمت هدایت شود.

۴) دسـتگاه گلژی وظیفهٔ بسـته‌بندی پروتئین‌های خارج شـده از شبکهٔ آندوپلاسمی را دارد که آن‌ها را یا به واکوئول یا به لیزوزوم می‌دهد و یا برای برون‌رانی به سمت غشای یاخته هدایت می‌کند.

تست ۱۲ در سرنوشت کدام‌یک از پروتئین‌های زیر، شبکهٔ آندوپلاسمی یاخته نقش ندارد؟

۱) پروتئین عامل بیماری سلیاک
۲) پادتن‌های ایجاد شده توسط یاخته‌های پادتن‌ساز
۳) آنزیم‌های گوارشی پارامسی
۴) پروتئین‌های هیستون موجود در ساختار فام‌تن‌ها

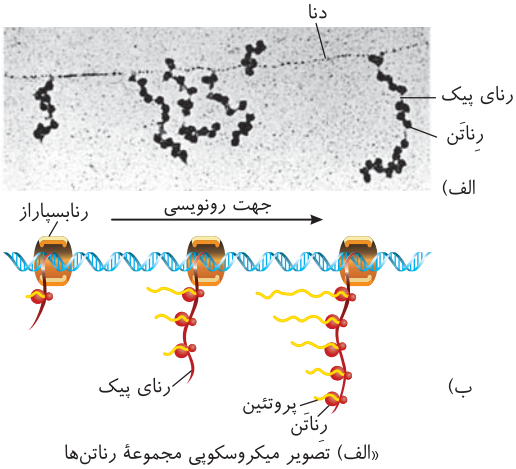
پاسخ ۴ هیستون‌های موجود در هسته توسط رناتن‌های آزاد سیتوپلاسم ساخته می‌شوند. دقت کنید پروتئین‌های موجود در واکوئول‌ها مانند گلوتن، پروتئین‌های ترشحی (پادتن‌ها) و آنزیم‌های کافندتن توسط رناتن‌های مرتبط با شبکهٔ آندوپلاسمی تولید می‌شوند.

نکات سرعت و مقدار پروتئین‌سازی

۱) **سرعت و مقدار** پروتئین‌سازی یاخته‌ها بستگی به **نیاز یاخته** به آن پروتئین دارد.

۲) جالب است بدانید که چون محل **رونویسی و ترجمه** در پروکاریوت‌ها **یکسان** است و هر دو در **سیتوپلاسم** صورت می‌گیرد و از طرفی طول عمر RNA پیک پروکاریوتی نیز **کم** می‌باشد، پس می‌توان **شروع ترجمه** از یک رشته mRNA را حتی **قبل از پایان رونویسی** آن مشاهده کرد. یعنی در حالی که هنوز آنزیم رنابسپاراز در حال رونویسی mRNA از روی DNA می‌باشد، رناتن از روی همین RNA پیک در حال شروع ترجمه و پروتئین‌سازی می‌باشد.

۳) هرگاه یک یاخته در یک زمان نیاز به **تعداد زیادی** از یک پروتئین خاص داشته باشد، در این حالت به‌طور **هم‌زمان**، چند رناتن در کنار هم روی یک mRNA در حال ترجمه قرار می‌گیرند تا تعداد بیشـتری از یک پروتئین در یک زمان ساخته شـود. به ایـن حالت قرارگیری رناتن‌ها به صورت یـک مجموعه کنار هم **اجتماع رناتن‌ها روی mRNA** می‌گویند. این حالت مانند تسـبیحی است که هر دانهٔ آن یک رناتن است، یک نخ که همان mRNA می‌باشد از درون آن‌ها عبور می‌کند و همگی در حال سـاخت یک نوع رشـتهٔ پلی‌پپتید هسـتند. بدیهی اسـت که هر رناتنی که زودتر ترجمه را آغاز کرده است پلی‌پپتید در حال ساخت درازتری دارد و به رمزه پایان نزدیک‌تر اسـت. در این حالت رشـته‌های پلی‌پپتیدی از کوتاه به دراز در حال ساخته شدن می‌باشند. در همین حالت در یاخته پروکاریوتی امکان دارد خود انتهای mRNA نیز در حال رونویسی شدن از روی ژن مورد نظر خود باشد. (خلاصه هر کی هم‌زمان در حال فعالیت خود می‌باشد!!☺)



«الف) تصویر میکروسکوپی مجموعهٔ رناتن‌ها
ب) طرحی ساده از رناتن‌هایی که چند رنای درحال رونویسی را ترجمه می‌کنند.»

۴) در یوکاریوت‌ها نیز همانند پروکاریوت‌ها می‌توان اجتماع رناتن‌ها را مشاهده کرد ولی دقت کنید که فرایند رونویسی آن‌ها در هسته و ترجمه در سیتوپلاسم صورت می‌گیرد. **پس برخلاف پروکاریوت‌ها، نمی‌توان هم‌زمان که mRNA در هسته در حال ساخته شدن است، رناتن روی آن ترجمه را آغاز کند.**

۵) در یوکاریوت‌ها عمر mRNAها به اندازهٔ پروکاریوت‌ها کوتاه نمی‌باشد. یاخته یوکاریوتی دارای سازوکارهایی برای حفاظت از mRNA خود در برابر تخریب (*فعالیت نوکلئازی*) می‌باشد و **فرصت بیشتری برای پروتئین‌سازی وجود دارد.** البته در یوکاریوت‌ها نیز می‌توان در سیتوپلاسم مجموعه‌ای از رناتن‌ها را مشاهده کرد که هم‌زمان در حال ترجمه یک نوع رشتهٔ پلی‌پپتید از روی یک mRNA می‌باشند.

۶) گویچه‌های قرمز نابالغ انسان ابتدا که در مغز استخوان ساخته می‌شوند هسته دارند ولی سپس هرچه به بلوغ خود نزدیک‌تر می‌شوند، هستهٔ خود را به تدریج از دست می‌دهند. گویچهٔ قرمز بالغ در خون هسته ندارد، پس عمل همانندسازی و رونویسی ندارد و هرچه RNA نیاز داشته است باید تا بالغ شدن در خود ذخیره کند. سپس می‌تواند به مقدار مورد نیاز خود، طی عمل ترجمه از روی mRNAها، پروتئین‌های مورد نیاز خود مانند هموگلوبین، کربنیک‌انیدراز و... را بسازد.

تست ۱۳ **کدام عبارت، دربارهٔ پروتئین‌سازی در یاخته‌هایی که طول عمر رنای پیک در آن‌ها کم است، درست است؟** (قلم‌چی)

۱) پروتئین‌سازی همواره پیش از پایان رونویسی رنای پیک آغاز می‌شود.

۲) پروتئین‌هایی که در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند، می‌توانند به هسته بروند.

۳) یک مولکول رنای پیک می‌تواند به‌طور هم‌زمان توسط چندین رناتن ترجمه شود.

۴) رناهایی که در ساختار رناتن‌ها شرکت می‌کنند، توسط رنابسپاراز ۱ ساخته می‌شوند.

پاسخ ۳ طول عمر رنای پیک در یاخته‌های پروکاریوت کم است. در این یاخته‌ها (*همچنین یوکاریوت‌ها*) یک مولکول رنای پیک در صورت نیاز می‌تواند به‌طور هم‌زمان توسط چندین رناتن ترجمه شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): پروتئین‌سازی در پروکاریوت‌ها می‌تواند پیش یا پس از پایان رونویسی رنای پیک آغاز شود. / گزینهٔ (۲): پروکاریوت‌ها، هسته ندارند. / گزینهٔ (۴): آنزیم رنابسپاراز ۱ فقط در یوکاریوت‌ها دیده می‌شود.

درسنامه

گفتار ۳ تنظیم بیان ژن‌ها

مقدمه:

در زیست یازدهم آموختیم که بدن یک جاندار پریاخته‌ای از میتوز یاخته تخم ایجاد می‌شود. همان‌طور که می‌دانید محصول میتوز، یاخته‌هایی پیکری با هسته‌های یکسان می‌باشد. حالا سؤال اینجاست که چطور وقتی همهٔ یاخته‌های پیکری ($2n$) بدن یک جاندار، از نظر کروموزومی و ژنی یکسان می‌باشند و محصولات یکسانی می‌توانند ایجاد کنند، ولی هر یاخته یا بافت فقط کار(ها)ی مخصوص خود را دارند و طی تمایز شکل و عمل متفاوتی پیدا می‌کنند!؟

برای پاسخ به این سؤال باید بدانید که تا وقتی یاخته‌ها تمایز نیافته می‌باشند و مراحل ابتدایی دوران جنینی را می‌گذرانند همهٔ ژن‌های آن‌ها می‌توانند فعال شوند یا به اصطلاح روشن باشند یا بیان شوند، ولی **از وقتی که یاخته‌ها تمایز می‌یابند و در قالب بافت عمل‌کننده قرار می‌گیرند، در هرکدام فقط برخی ژن‌ها فعال باقی می‌مانند و سایر آن‌ها غیرفعال یا خاموش می‌شوند.** هر یاخته برحسب ژن‌هایی که روشن می‌کنند، رونویسی و ترجمه کرده و پروتئین‌های خاصی می‌سازند. این پروتئین‌ها سبب شکل و کار متفاوت هر یاخته یا بافت می‌شوند.

نکته

هرگاه از روی ژن و اطلاعات آن رونویسی و ترجمه انجام شود، می‌گوییم آن ژن بیان شده است و روشن است ولی اگر در یاخته‌ای طی تمایز دیگر آن ژن رونویسی نشود یعنی خاموش است و بیان نمی‌شود. مثلاً ژن ساخت میوگلوبین در یاخته‌های هسته‌دار بافت‌های عصبی، پوششی، ماهیچه‌ای و پیوندی وجود دارد ولی این ژن‌ها فقط در یاخته‌های ماهیچه‌ای بیان می‌شوند و مورد رونویسی و ترجمه قرار می‌گیرند.

تنظیم بیان ژن

در بدن هر جانداری از پروکاریوت گرفته تا انواع یوکاریوت‌ها، مکانیسم‌های **پیچیده‌ای** وجود دارد که از هر ژن، در **هر زمان** و برحسب نیاز جاندار، مقدار رونویسی و ترجمه متفاوتی صورت می‌گیرد. به این مکانیسم‌ها که برحسب **سازش جاندار** با محیط و نیاز جاندار تنظیم می‌شود، **تنظیم بیان ژن** می‌گویند. مثلاً ژن ساخت اریتروپویتین در همهٔ یاخته‌های هسته‌دار بدن وجود دارد ولی این ژن فقط در یاخته‌های **کبد و کلیه‌ها** بیان می‌شود و هورمون اریتروپویتین می‌سازند، این هورمون روی مغز قرمز استخوان اثر می‌کند تا ساخت هموگلوبین و گویچهٔ قرمز را افزایش دهند. هنگامی که محل زندگی افراد در ارتفاعات می‌باشد چون مقدار اکسیژن هوا کم می‌باشد، مکانیسم تنظیم بیان ژن، سبب افزایش بیان ژن‌های ساخت اریتروپویتین در کبد و کلیه‌ها می‌شود ولی در مناطقی که هم‌سطح دریا می‌باشند مقدار بیان این ژن کمتر می‌شود. **در حقیقت دقت کنید که تنظیم بیان ژن فقط برای روشن کردن ژن نیست بلکه می‌تواند سبب کاهش یا توقف فعالیت ژن‌ها نیز بشود.**

نکته

همانندسازی ژن، مرحله‌ای از بیان ژن نمی‌باشد. چون هر یاخته‌ای ممکن است تقسیم شود ولی بیان ژن آن‌ها متفاوت باشد.

● مثال از تنظیم بیان ژن در گیاهان

در فصل‌های جلوتر می‌خوانیم که فتوسنتز، فرایندی است که **وابسته به نور** می‌باشد. در گیاهان و در حضور نور، آنزیمی از روی ژن ساخته می‌شود که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ژن در همهٔ یاخته‌های هسته‌دار پیکر گیاه وجود دارد ولی فقط در یاخته‌های رنگیزه‌دار که توانایی جذب نور دارند این ژن‌ها در حضور نور فعالند و در عدم حضور نور بیان نمی‌شوند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) **مقدار، مدت** (طول) **و زمان** استفاده از ژن در یاخته‌های مختلف یک جاندار **ممکن** است متفاوت باشد.

(۲) به فرایندهایی که تعیین می‌کنند **در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌های** یاخته بیان **شوند** و یا بیان **نشوند**، فرایندهای تنظیم بیان ژن می‌گویند. این فرایند بسیار دقیق و پیچیده است و عوامل متعددی مثل عوامل درونی و بیرونی جاندار روی آن تأثیر می‌گذارد.

(۳) تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب ایجاد یاخته‌های مختلفی از یک یاخته شود که به آن تمایز می‌گویند. مثلاً وقتی از یاخته‌های بنیادی میلوئیدی مغز استخوان، انواع مختلفی یاختهٔ خونی مثل گویچهٔ قرمز، بازوفیل، ائوزینوفیل، نوتروفیل یا مونوسیت ایجاد می‌شود در اثر تنظیم بیان ژن بوده است. در گیاهان مثلاً ایجاد انواع بافت‌ها از یاخته‌های مریستمی، حاصل عمل تنظیم بیان ژن و تمایز آن‌ها بوده است چون یاخته مریستمی تمایز نیافته است و همهٔ ژن‌های آن فعال است.

● تفاوت بیان ژن با تنظیم بیان ژن

دقت داشته باشید که وقتی می‌گوییم ژنی بیان شده است یعنی رونویسی شده است و روشن است ولی تنظیم بیان ژن بیانگر مقدار فعالیت ژن است که می‌تواند افزایش یابد و یا حتی خاموش شود و کاهش یابد.

تست ۱۴ کدام گزینه عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟ (قلم‌چی)

«در نوعی یاخته که در سیتوپلاسم خود دنای حلقوی دارد، هر محصول بیان ژنی .....»

۱) پیوند اشتراکی بین زیرواحدهای سازنده‌اش توسط نوعی آنزیم ایجاد شده است.

۲) که نوعی مولکول پلیمر خطی دارای اتم نیتروژن می‌باشد، می‌تواند درون یاخته فعال باشد.

۳) می‌تواند در مرحله‌ای که اطلاعات وراثتی به پلی‌پپتید تبدیل می‌شود، نقش داشته باشد.

۴) می‌تواند در نوعی واکنش سوخت‌وسازی درون یاخته نقش داشته باشد.

پاسخ ۱ محصولات بیان ژن‌ها، رنا یا پروتئین‌اند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): برای تشکیل پیوند پپتیدی و فسفودی‌استر درون یاخته به آنزیم نیاز داریم. / گزینهٔ (۲): دقت کنید برخی پروتئین‌ها مانند پروتئازهای معده و پانکراس درون یاخته غیرفعال هستند. / گزینهٔ (۳): دقت کنید هر پروتئینی الزاماً در ترجمه شرکت نمی‌کند. / گزینهٔ (۴): برخی پروتئین‌ها در واکنش‌های خارج یاخته‌ای شرکت می‌کنند، مانند آنزیم‌های گوارشی معده و رودهٔ باریک.

تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها

با توجه به اینکه می‌دانیم محصول هر ژن طی رونویسی در ابتدا یکی از انواع mRNA ، tRNA یا rRNA می‌باشد و سپس طی ترجمه از روی mRNA ، رشتهٔ پلی‌پپتید یا پروتئین ساخته می‌شود. پس تنظیم بیان ژن‌ها، ابتدا سبب تغییر در **مقدار RNA یا پروتئین‌های** یاخته می‌شود و سپس می‌تواند فعالیت هر پروتئین، در ساخت انواع مواد یاخته نیز مؤثر باشد. تنظیم بیان ژن می‌تواند در هر کدام از مراحل آغاز، طویل شدن و پایان در رونویسی یا ترجمه اثر کند و بر مقدار محصول تأثیرگذار باشد **ولی معمولاً تنظیم بیان ژن پروکاریوتی اثر خود را روی مراحل رونویسی انجام می‌دهد.**

نکته

در مواردی ممکن است پس از پایان رونویسی، یاخته با تغییر در **پایداری RNA** بر فعالیت آن تأثیر بگذارد یا پس از پایان ترجمه سبب تغییر در پایداری و شکل پروتئین حاصله شود. به این اعمال، تنظیم بیان ژن پس از رونویسی یا پس از ترجمه می‌گویند.

تنظیم بیان ژن پروکاریوت‌ها در سطح رونویسی

در پروکاریوت‌ها معمولاً رنابسپاراز به آسانی و به تنهایی می‌تواند راه‌انداز ژن مورد نظر خود را **شناسایی** کند. ولی برای اتصال به راه‌انداز دو حالت مختلف دیده می‌شود.

در این جانداران دو نوع تنظیم بیان ژن به صورت منفی و مثبت در سطح رونویسی وجود دارد. در نوع منفی، عاملی مهارکننده مانع رونویسی و حرکت رنابسپاراز می‌شود. در حقیقت توالی که بین راه‌انداز و ژن‌های مورد نظر برای رونویسی وجود دارند **توسط عواملی مهارکننده پر شده‌اند** و مانعی در حرکت قطار مانند رنابسپاراز روی ریل DNA ایجاد کرده‌اند. در نوع مثبت بیان ژن‌ها، عواملی سبب **القای رونویسی** می‌شوند که اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز را تسهیل می‌کنند تا رونویسی را از ژن یا ژن‌های مرتبط به هم، سریع‌تر شروع کند.

در ادامه انواع این مدل‌های تنظیم بیان ژن‌های پروکاریوتی را بررسی می‌کنیم ولی ابتدا نیاز دارید با یک‌سری واژه‌ها و مولکول‌هایی آشنا شوید که در ادامه فهم مطلب برای شما آسان‌تر شود.

عواملی که در تنظیم بیان ژن‌های پروکاریوت‌ها نقش دارند

به مجموع سیستم‌های مورد نیاز برای بیان ژن‌ها در پروکاریوت‌ها که روی دنای آن‌ها قرار دارد اپران می‌گویند که البته در بیشتر بدانید عنوان شده است.

● اپراتور

قسمتی از مولکول DNA می‌باشد که در فعالیت **برخی ژن‌های پروکاریوتی** وجود دارد. این توالی **بین راه‌انداز و نقطه آغاز ژن** قرار می‌گیرد. اگر این توالی توسط عواملی پروتئینی به نام **مهارکننده** اشغال شده باشد، ژن‌ها رونویسی و بیان نمی‌شوند چون رنابسپاراز روی راه‌انداز، نمی‌تواند از روی اپراتور عبور کند و مانعی جلوی راه آن می‌باشد در این حالت ژن مورد نظر خاموش می‌باشد. وقتی به دلیل عوامل مختلف پروتئین‌های مهارکننده روی اپراتور نباشند، رنابسپاراز می‌تواند از روی اپراتور عبور کرده و رونویسی را از روی ژن‌ها انجام دهد. در این حالت می‌گوییم ژن بیان شده است یا روشن می‌باشد.

نکته

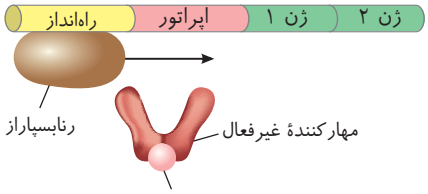
اپراتور و مهارکننده مخصوص برخی ژن‌های پروکاریوتی است و این واژه در یوکاریوت‌ها معنایی ندارد.

● پروتئین مهارکننده

پروتئین‌هایی مخصوص پروکاریوت‌ها برای تنظیم **منفی** رونویسی آن‌ها می‌باشند و همان‌طور که گفتیم و از نام آن‌ها مشخص است، تمایل دارند به توالی اپراتور متصل شوند تا مانع حرکت رنابسپاراز و مانع شروع رونویسی شوند. در حقیقت این پروتئین‌ها مانع مرحلهٔ اول یا شروع رونویسی پروکاریوت‌ها می‌شوند.

هر عاملی که سبب تغییر شکل آن‌ها شود، مانع اتصال آن‌ها به اپراتور نیز می‌شود، در حقیقت این عوامل باعث شروع رونویسی و بیان ژن می‌شوند و مهارکننده را غیرفعال می‌کنند. این عوامل در اصل القاکننده‌های ژن و فعالیت رنابسپاراز می‌باشند که مقدار آن‌ها به **محیط** بستگی دارد.

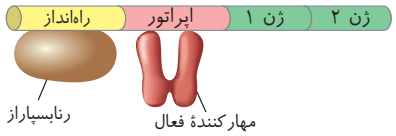
(۱)



عاملی که مانع اتصال مهارکننده به اپراتور می‌شود. (عامل القاکنندهٔ ژن)

در شکل (۱) مهارکننده، غیرفعال است چون عاملی به آن وصل شده و آن را تغییر شکل داده که نتواند روی اپراتور قرار بگیرد. در این حالت رنابسپاراز می‌تواند از اپراتور عبور کند و از ژن‌ها رونویسی کند.

(۲)



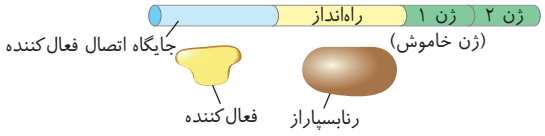
در شکل (۲) مهارکننده فعال است چون روی اپراتور قرار گرفته است و عمل مهار ژن برای رونویسی شدن را انجام داده است. در این حالت رنابسپاراز پروکاریوتی باز هم مستقیماً به راه‌انداز متصل است ولی نمی‌تواند از روی اپراتور عبور کند تا رونویسی کند.

● پروتئین فعال‌کننده

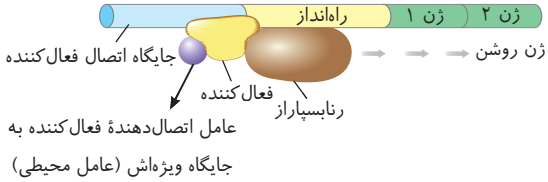
قبل از برخی ژن‌های پروکاریوتی، توالی اپراتور وجود ندارد. در این ژن‌ها، **راه‌انداز** به ژنی که می‌خواهد رونویسی شود متصل است. اگر رنابسپاراز به راه‌انداز متصل شد به راحتی رونویسی را شروع می‌کند. قبلاً گفتیم که رنابسپاراز پروکاریوتی به تنهایی می‌تواند راه‌انداز خود را **شناسایی** کند. این عمل در این ژن‌ها نیز وجود دارد و رنابسپاراز، راه‌انداز را شناسایی می‌کند ولی توانایی اتصال به آن را ندارد. پس برای اتصال به راه‌انداز نیاز به عوامل **کمکی** دارد. بدین صورت که در بخش تنظیمی که قبل از ژن‌ها وجود دارد، قبل از راه‌انداز، یک توالی به نام جایگاه اتصال **فعال‌کننده** وجود دارد.

انواعی از پروتئین‌ها به نام **فعال‌کننده** در این ژن‌های **پروکاریوتی** وجود دارند که مسئول تنظیم **مثبت** رونویسی هستند. فعال‌کننده‌ها، ابتدا به جایگاه اتصال خود در **قبل** از راه‌انداز متصل می‌شوند و سپس به رنابسپاراز کمک می‌کنند تا به راه‌انداز خود متصل شود و در نهایت به رنابسپاراز کمک می‌کنند تا سریع‌تر رونویسی را از ژن‌های متصل به راه‌انداز آغاز کنند. البته خواهیم گفت که یک‌سری عوامل مورد نیاز است تا فعال‌کننده به جایگاه مخصوص خود متصل شوند وگرنه در حالت عادی این اتصال صورت نمی‌گیرد و ژن بیان نمی‌شود. (*این عوامل محیطی چه چیزهایی می‌توانند باشند؟*)

◀ در این شکل چون فعال‌کننده به جایگاه ویژهٔ خود متصل نشده است، رنابسپاراز نیز به راه‌انداز متصل نمی‌شود و رونویسی صورت نمی‌گیرد در نتیجه ژن‌ها خاموش هستند.



◀ در شکل روبه‌رو در اثر عوامل محیطی، عاملی در یاخته وارد می‌شود که فعال‌کننده را به سمت جایگاه ویژهٔ خود هدایت می‌کند و سپس با کمک آن، رنابسپاراز می‌تواند به راه‌انداز خود وصل شود و رونویسی را آغاز کند.



نکته

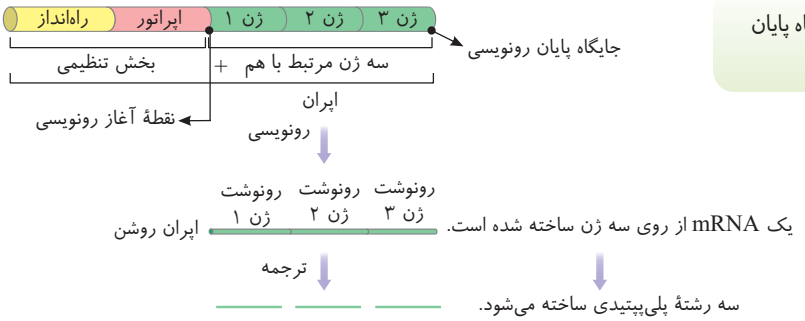
در بیان ژن پروکاریوتی، تغییر شکل مهارکننده سبب شروع رونویسی و بیان ژن می‌شود ولی در مورد فعال‌کننده‌ها دقت کنید که تغییر شکل ندارند و اتصال آن‌ها به توالی DNA، سبب فعال شدن رونویسی و بیان ژن می‌شود.

● اپران چند ژنی یا سیستم‌های ژنی مرتبط با هم

در پروکاریوت‌ها دیده می‌شود که گاهی چند ژن که فعالیت آن‌ها به هم مربوط می‌باشد در کنار هم قرار دارند و همهٔ آن‌ها دارای **یک** راه‌انداز و **یک** اپراتور می‌باشند (*یک بخش تنظیمی در قبل از همهٔ ژن‌ها وجود دارد*). در این حالت به مجموعه بخش تنظیمی (*راه‌انداز و اپراتور*) و ژن‌های متصل به هم بعد از آن‌ها، اپران می‌گویند. مثلاً در پروکاریوت‌ها اپران لاکتوز **۳** ژنی و یا اپران تریپتوفان ۵ ژنی وجود دارد. در این اپران‌ها از روی همهٔ ژن‌های کنار هم، فقط **یک** mRNA (*یک رشته پلی‌نوکلئوتید*) ساخته می‌شود و بعد از روی این mRNA ، **چند** رشتهٔ پلی‌پپتید ساخته می‌شود. یعنی این ژن‌ها یا همه با هم روشن و بیان می‌شوند و یا همه با هم خاموش می‌شوند.

نکته

در سیستم ژنی روبه‌رو، ژن ۲ فاقد نقطهٔ آغاز و جایگاه پایان رونویسی می‌باشد.



تنظیم بیان ژن منفی در رونویسی پروکاریوت‌ها ← اپراتور و مهارکننده دارند.

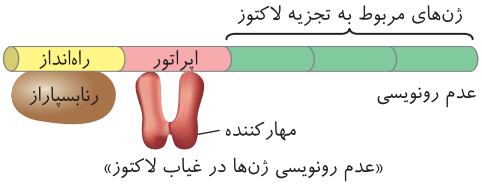
این نوع تنظیم بیان ژن در ژن‌هایی از پروکاریوت‌ها دیده می‌شود که قبل از آن‌ها **اپراتور** وجود دارد و همان‌گونه که توضیح دادیم **پروتئین‌های مهارکننده‌ای** وجود دارند که با اتصال به اپراتور، مانع حرکت رنابسپاراز و مانع شروع رونویسی می‌شوند.

ژن‌های مربوط به متابولیسم لاکتوز در باکتری اشرشیاکلای (اپران لاکتوز)

باکتری اشرشیاکلای، نوعی باکتری در رودهٔ انسان می‌باشد. این باکتری تمایل زیادی به مصرف **قند گلوکز** دارد و در تنفس یاختهٔ خود ترجیح می‌دهد با اکسایش گلوکز انرژی به دست بیاورد. اگر در محیط زندگی این باکتری، گلوکز وجود نداشته باشد ولی قند لاکتوز وجود داشته باشد، این باکتری می‌تواند با ورود لاکتوز به سیتوپلاسم خود، آنزیم‌های لازم برای تجزیهٔ لاکتوز (*لاکتز*) را بسازد و دوباره از گلوکز حاصله انرژی به دست بیاورد. **باکتری اشرشیاکلای برای تجزیهٔ لاکتوز دارای سه ژن کنار هم می‌باشد.** قبل از این سه ژن، توالی اپراتور و قبل از آن راه‌انداز وجود دارد. در حقیقت این باکتری یک اپران سه ژنی دارد که هدف نهایی آن ساخت سه آنزیم تک‌رشته‌ای برای تجزیهٔ لاکتوز می‌باشد. روشن یا خاموش بودن این سه ژن **به‌طور هماهنگ** صورت می‌گیرد و تنظیم بیان آن به وجود نوعی هیدرات کربن دی‌ساکاریدی به نام لاکتوز در محیط باکتری بستگی دارد. در ادامه به بررسی نوع بیان این ژن‌ها در بود و نبود لاکتوز می‌پردازیم:

الف) اگر لاکتوز در محیط باکتری نباشد

از همان اول باید دقت کنید که هدف این ژن‌ها تجزیهٔ لاکتوز (*ضد شیر*) برای رسیدن به گلوکز و گالاکتوز می‌باشد. پس اگر لاکتوز در محیط وجود نداشته باشد، در نهایت این ژن‌ها نیز خاموش هستند. در عدم وجود لاکتوز، پروتئین مهارکننده‌ای روی توالی اپراتور قرار می‌گیرد و اجازهٔ عبور رنابسپاراز متصل شده به راه‌انداز را از روی اپراتور نمی‌دهد و رونویسی انجام نمی‌شود. (*در این حالت نیز رنابسپاراز به راه‌انداز متصل شده است.*)

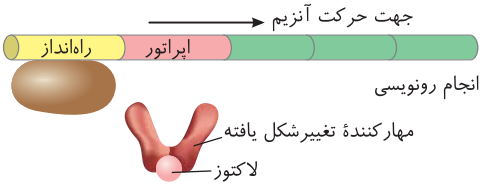


«عدم رونویسی ژن‌ها در غیاب لاکتوز»

ب) اگر لاکتوز در محیط باکتری باشد ولی گلوکز نباشد

در این حالت ابتدا مقداری لاکتوز وارد باکتری می‌شود. لاکتوزها ابتدا به مهارکننده روی اپراتور متصل می‌شوند و **به آن تغییر شکل می‌دهند**. تغییر شکل مهارکننده سبب جدا شدن مهارکننده از روی اپراتور می‌شود و سپس رنابسپارازی که روی راه‌انداز قرار دارد به راحتی از روی اپراتور عبور کرده و از روی هر سه ژن کنار هم، ابتدا یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی یا همان mRNA سه ژنی ساخته می‌شود و سپس از روی این mRNA، سه رناتن شروع به ترجمه می‌کنند و سه رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌سازند که آن‌ها سه نوع آنزیم برای تجزیهٔ لاکتوزهای درون باکتری می‌باشند.

در این حالت این ژن‌ها روشن شده و بیان می‌شوند چون مهارکننده غیرفعال شده است و نمی‌تواند نقش مهاری خود را انجام دهد.



«رونویسی ژن‌ها در حضور لاکتوز»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز به مقدار لاکتوز یاخته بستگی ندارد ولی وجود لاکتوز در یاخته سبب فعالیت رونویسی آن می‌شود.

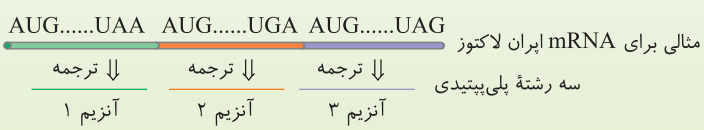
۲) لاکتوزهای درون باکتری معمولاً باعث تغییر شکل پروتئین مهارکننده روی اپراتور می‌شوند و بدین صورت باعث جدایی مهارکننده از اپراتور شده تا ژن‌ها روشن شوند. با این عمل مانع اتصال مجدد این مهارکننده‌ها به اپراتور شده و ژن‌ها را تا جایی که نیاز دارند روشن نگه می‌دارند.

۳) دقت کنید که لاکتوز هیچ‌گاه به هیچ بخشی از دنا در این مکانیسم متصل نمی‌شود.

۴) دقت کنید که وقتی مثل ژن‌های تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز، سه ژن در کنار هم می‌باشد و کار آن‌ها به هم مرتبط می‌باشد، نقطهٔ آغاز رونویسی فقط روی ژن اول می‌باشد و جایگاه پایان رونویسی در انتهای ژن آخر قرار دارد. یعنی ژن ۲ و ۳ دارای نقطهٔ آغاز رونویسی نیستند.



۵) mRNAای که از روی سه ژن تجزیهٔ لاکتوز ساخته می‌شود دارای ۳ رمزه آغاز ترجمه و ۳ رمزه پایان ترجمه می‌باشد و در نهایت ۳ آنزیم تک‌رشته‌ای را درون یاخته برای تجزیهٔ لاکتوز می‌سازند.



تست ۱۵ در تنظیم رونویسی ژن‌های مربوط به مصرف لاکتوز محیط در اشرشیاکلای، هرگاه ..... شود، ..... (قلم‌چی)

۱) اتصال مولکول قندی سبب تغییر شکل مهارکننده - رنابسپاراز ریبونوکلئوتیدهای مکمل راه‌انداز را در مقابل آن قرار می‌دهد.

۲) توالی اپراتور توسط مهارکننده اشغال - تجزیهٔ قند شیر توسط آنزیم‌ها در باکتری افزایش می‌یابد.

۳) مهارکننده نتواند به دنا متصل - پیوند بین بازهای مکمل دنا توسط آنزیم رونویسی‌کننده باز می‌شود.

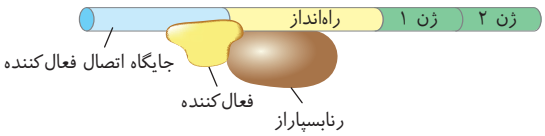
۴) قند شیر به اندازهٔ کافی در محیط، یافت - ساخت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز به شدت افزایش می‌یابد.

پاسخ ۳ در صورت عدم اتصال مهارکننده به اپراتور، مانع مقابل آنزیم رنابسپاراز برداشته می‌شود و این آنزیم می‌تواند از روی ژن رونویسی کند. رونویسی با باز شدن بخشی از ژن آغاز می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): با اتصال لاکتوز به مهارکننده و جدا شدن آن از اپراتور، رونویسی ژن افزایش می‌یابد، اما دقت کنید که راه‌انداز رونویسی نمی‌شود. / گزینهٔ (۲): در زمان اتصال مهارکننده به اپراتور، آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز تولید نخواهند شد. / گزینهٔ (۴): دقت کنید در صورت نبود گلوکز در محیط، قند لاکتوز مصرف می‌شود.

تنظیم بیان ژن مثبت در رونویسی پروکاریوت‌ها

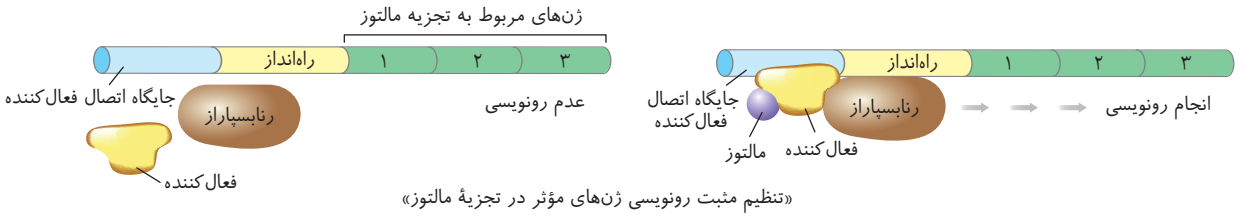
این مکانیسم تنظیم بیان ژن، در ژن‌هایی از پروکاریوت‌ها صورت می‌گیرد که **فاقد اپراتور و پروتئین مهارکننده** می‌باشند. در این گروه، هیچ عاملی مانع حرکت رنابسپاراز روی DNA نمی‌شود و برعکس سلسله عواملی کمک می‌کنند که در موقع لزوم و نیاز به بیان ژن، اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز و حرکت آن به سوی نقطهٔ آغاز رونویسی تسهیل شود و رنابسپاراز راحت‌تر به راه‌انداز متصل شود. در این سیستم‌های ژنی، راه‌انداز به نقطهٔ آغاز رونویسی در اولین ژن متصل است و قبل از راه‌انداز، توالی مخصوصی به نام جایگاه اتصال پروتئین‌های فعال‌کننده وجود دارد.



مثالی از تنظیم مثبت رونویسی در اشرشیاکلای

در باکتری اشرشیاکلای همان‌طور که بررسی کردیم ژن‌هایی با تنظیم منفی رونویسی مثل ژن‌های تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز وجود دارند. این باکتری‌ها در قسمت‌هایی دیگر از DNA اصلی خود، دارای ژن‌هایی با تنظیم بیان مثبت نیز می‌باشند. همان‌طور که گفتیم این باکتری در هر حالت استفاده از قند گلوکز را برای به دست آوردن انرژی، ترجیح می‌دهد. از آنجایی که مالتوز (*مَلتوز*) از دو مولکول گلوکز ایجاد شده است، این باکتری، سیستم اپران ۳ ژنی دیگری برای تجزیه قند مالتوز دارد. **قبل از ژن‌های مربوط به تجزیه مالتوز، برخلاف ژن‌های مربوط به تجزیهٔ لاکتوز، توالی اپراتور وجود ندارد و ژن اول به راه‌انداز متصل است.** وقتی مالتوز در محیط باکتری **نباشد**، این ژن‌ها خاموش هستند و رنابسپاراز آن‌ها روی راه‌انداز قرار نمی‌گیرد در نتیجه mRNA و آنزیمی به نام مالتاز برای تجزیهٔ مالتوز تولید نمی‌شود.

در **حضور مالتوز** و ورود آن به باکتری، ابتدا مالتوزها به پروتئین فعال‌کننده که انواعی دارد متصل می‌شوند و سپس مجموعه مالتوز - فعال‌کننده از سمت پروتئین فعال‌کننده به توالی قبل از راه‌انداز که مخصوص اتصال آن‌هاست متصل می‌شود. **سپس فعال‌کننده به اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز کمک می‌کند تا مرحلهٔ شروع رونویسی انجام شود.** سپس با حرکت رنابسپاراز، ابتدا یک mRNA سه ژنی از روی ۳ ژن مجاور هم ساخته می‌شود و در نهایت آنزیم‌های لازم برای تجزیه مالتوز (*مَلتوز*) ساخته می‌شوند. در نهایت با ایجاد گلوکز، باکتری انرژی‌زایی مناسب خود را با تنفس یاخته‌ای انجام می‌دهد.



«تنظیم مثبت رونویسی ژن‌های مؤثر در تجزیهٔ مالتوز»

نکته

ژن‌های مورد نیاز هم برای تجزیهٔ لاکتوز و هم برای تجزیهٔ مالتوز در باکتری اشرشیاکلای، سه عدد چسبیده به هم می‌باشند که فقط دارای یک نقطهٔ آغاز رونویسی در ابتدای ژن اول می‌باشند و فقط یک توالی پایان رونویسی در انتهای ژن سوم آن‌ها وجود دارد. از روی همهٔ آن‌ها، ابتدا یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید (mRNA ۳ژنی) ساخته می‌شود که این mRNA دارای سه رمزه آغاز ترجمه و سه رمزه پایان ترجمه می‌باشد تا آنزیم‌هایی برای تجزیهٔ لاکتوز یا مالتوز بسازند.

در اشرشیاکلای	تعداد	اپراتور	مهارکننده	تنظیم رونویسی	فعال‌کننده	اتصال راه‌انداز به ژن
ژن‌های مخصوص تجزیهٔ لاکتوز	۳	دارند	دارند	منفی	ندارند	ندارند
ژن‌های مخصوص تجزیهٔ مالتوز	۳	ندارند	ندارند	مثبت	دارند	دارند

نکته مهم

ژن‌های تجزیه لاکتوز و مالتوز در یاخته‌های استوانه‌ای ساده روده باریک انسان نیز فعال هستند ولی برای آن‌ها سیستم‌های یوکاریوتی در تنظیم بیان ژن مؤثر است که در ادامهٔ آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

تست ۱۶ **پس از افزودن قند مالتوز به محیط کشت باکتری اشرشیاکلای، کدام عبارت دربارهٔ وقایع بعدی صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) رنابسپاراز متصل شده به راه‌انداز، با اتصال به فعال‌کننده شروع به رونویسی می‌کند.

۲) بعد از اتصال فعال‌کننده به جایگاه اتصال خود، قند مالتوز نیز به آن‌ها متصل می‌شود.

۳) با اتصال مالتوز به جایگاه اتصال پروتئین فعال‌کننده، این پروتئین به توالی خاصی در دنا متصل می‌شود.

۴) فعال‌کننده باعث اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز و تولید یک مولکول رنای پیک می‌شود.

پاسخ ۴ در نوعی تنظیم مثبت رونویسی، با اتصال مالتوز به فعال‌کننده، این پروتئین به جایگاه اتصال خود متصل شده و سپس باعث اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز شده و با انجام رونویسی، یک مولکول رنای پیک ساخته می‌شود که دارای اطلاعات لازم برای ساخت سه آنزیم مختلف است.

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

از آنجایی‌که در یوکاریوت‌ها اندامک‌های غشادار متفاوتی وجود دارند و فرایند رونویسی درون هسته ولی ترجمه در رناتن سیتوپلاسم صورت می‌گیرد، **واکنش‌های مربوط به تنظیم بیان ژن و عوامل مؤثر بر آن‌ها از سیستم‌های پروکاریوتی پیچیده‌تر می‌باشند** و در **مراحل بیشتری** صورت می‌گیرد. دقت کنید که هر عامل محیطی یا درونی می‌توانند در بیان ژن‌های آن‌ها که درون هسته، میتوکندری و پلاست‌ها قرار دارند، اثر کنند. **این عوامل باید از غشاهای مختلفی عبور کنند تا روی ژن مورد نظر اثر کنند.**

نکته

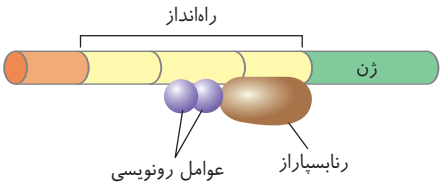
بیشتر بدانید ولی لازم: در جانداران، برخی ژن‌ها نیازی به تنظیم بیان ندارند چون همواره بیان می‌شوند و روشن هستند. مثلاً ژن‌های مربوط به ساخت rRNA و پروتئین‌های رناتنی همواره فعالند چون رناتن‌سازی همواره باید در یاخته انجام شود.

تنظیم بیان ژن‌های یوکاریوتی در مرحلهٔ رونویسی

در سیستم‌های یوکاریوتی برخلاف پروکاریوتی فعالیتِ **هر ژن**، همواره توسط **یک بخش تنظیمی** که دارای **یک راه‌انداز** است تنظیم می‌شود. در یوکاریوت‌ها پروتئین‌های مهارکننده، فعال‌کننده، توالی‌های اپراتور و جایگاه اتصال فعال‌کننده‌ها وجود ندارند و از همه مهم‌تر اینکه رنابسپارازهای ۱، ۲ و ۳ یوکاریوتی برخلاف رنابسپاراز پروکاریوتی نمی‌توانند **به تنهایی** توالی راه‌انداز ژن خود را پیدا کنند. در یوکاریوت‌ها توالی راه‌انداز در ژن‌های مختلف در بخش‌های **متفاوتی** قرار دارند و خود راه‌انداز از بخش‌هایی با کارهای مختلف و جایگاه اتصال به عوامل مختلفی ایجاد شده است. در این جانداران پروتئین‌هایی بسیار متنوع به نام **عوامل رونویسی** وجود دارند که به مناطق مختلفی از DNA متصل می‌شوند تا فعالیت‌های مختلفی را برای رونویسی انجام دهند.

نکته

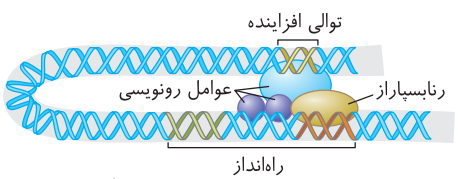
وقتی صحبت از سیستم یوکاریوتی می‌کنیم، در تست‌های کنکور منظور ژن‌های هسته می‌باشند و به ژن‌های میتوکندری و پلاست‌های آن‌ها کاری نداریم.



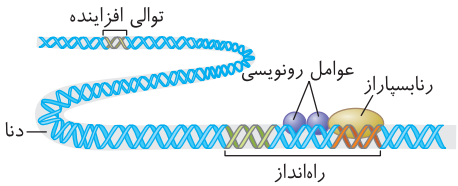
در یوکاریوت‌ها برای شروع رونویسی، ابتدا **برخی از عوامل رونویسی** به **بخشی از راه‌انداز** متصل می‌شوند و سپس رنابسپارازها با شناسایی عوامل رونویسی می‌توانند به راه‌انداز خود که در نزدیکی ژن مورد نظر می‌باشد، متصل شوند و سپس رونویسی را آغاز کنند.

در برخی ژن‌های یوکاریوتی دیده می‌شود که حتی با اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز که به کمک عوامل رونویسی روی راه‌انداز صورت گرفته است، باز هم رونویسی آغاز نمی‌شود. در این ژن‌ها، معمولاً در مناطقی **دورتر از راه‌انداز** بخش‌های خاصی از DNA به نام **توالی افزاینده** وجود دارند که خود محل اتصال **انواعی دیگر از عوامل رونویسی** می‌باشند.

وقتی این عوامل رونویسی جدید به توالی افزاینده متصل شدند، **یک خمیدگی** یا **حلقه** روی مولکول DNA در **بین توالی افزاینده و راه‌انداز** ایجاد می‌کنند به‌طوری که توالی افزاینده و راه‌انداز در مقابل همدیگر قرار می‌گیرند و **عوامل رونویسی** متصل به آن‌ها **به هم** وصل می‌شوند. در این حالت مجموعه عوامل رونویسی روی توالی افزاینده و راه‌انداز سبب تحریک رنابسپاراز شده و **سرعت** و **مقدار** رونویسی این آنزیم را افزایش می‌دهند.



«توالی افزاینده و عوامل رونویسی متصل به آن»



«تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها»

نکته

عوامل متعدد محیطی و درونی جانداران یوکاریوتی، در تنظیم بیان ژن‌ها مؤثر می‌باشند، این عوامل سبب **تغییر در تمایل پیوستن** عوامل رونویسی به راه‌انداز شده و **مقدار و سرعت** رونویسی را تغییر می‌دهند. حتی تنوع در خود راه‌اندازهای متنوع نیز در اتصال عوامل رونویسی مختلف به آن‌ها مؤثر است.

تست ۱۷ نوعی جاندار تک‌یاخته‌ای دارای پروتئین‌هایی به نام هیستون درون فام‌تن خود است. در رابطه با این جاندار تک‌یاخته‌ای چند مورد از موارد زیر صحیح است؟ (قلم‌چی)

الف) به‌طور معمول برای گروهی از ژن‌های این جاندار، بیش از یک توالی تنظیم‌کننده رونویسی وجود دارد.

ب) ممکن نیست یک ژن هسته‌ای در طی رونویسی، به صورت هم‌زمان تحت ترجمه نیز قرار بگیرد.

ج) راه‌انداز ژن‌های سازنده mRNA ، می‌تواند توسط چندین آنزیم رنابسپاراز به کمک عوامل رونویسی شناسایی شود.

د) همهٔ RNA های حاصل از رونویسی ژن‌های دنای هسته‌ای این یاخته، در پی اتصال انواعی از پروتئین‌ها به توالی راه‌انداز ژن‌ها تولید می‌شوند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۴ همهٔ موارد صحیح است.

منظور از جانداران دارای هیستون در فام‌تن خود، یوکاریوت‌ها است.

تله‌های تستی الف) در یوکاریوت‌ها معمولاً توالی افزاینده نیز مشاهده می‌شود. / ب) رونویسی و ترجمهٔ ژن‌های هسته‌ای در یوکاریوت‌ها هم‌زمان نیست. / ج) ممکن است در یاخته به یک RNA خاص نیاز زیادی وجود داشته باشد، در نتیجه چندین آنزیم به راه‌انداز ژن متصل می‌شود. / د) اتصال پروتئین‌هایی مانند رنابسپارازهای نوع ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

نکات تنظیم بیان ژن یوکاریوت‌ها در مراحل غیررونویسی

۱) قبل از شروع رونویسی (تنظیم کروموزومی)

در یوکاریوت‌ها تنظیم بیان می‌تواند **پیش از شروع رونویسی** نیز صورت بگیرد. مثلاً تنظیم بیان ژنی که در **سطح کروموزومی** رخ می‌دهد و به **مقدار فشردگی** آن‌ها بستگی دارد نمونه‌ای از این مورد می‌باشد. به‌طور معمول بخش‌هایی از کروموزوم که **فشرده‌تر** هستند و نوکلئوزوم و هیستون بیشتری دارند، **کمتر** در دسترس رنابسپارازها قرار می‌گیرند و راه‌انداز، **کمتر** آن‌ها را شناسایی می‌کند. پس یاخته‌ها در مراحل تقسیم که کروموزوم‌های فشرده‌تری دارند (*مخصوصاً در متافاز*) **کمتر** رونویسی می‌شوند چون دسترسی رنابسپاراز به توالی راه‌انداز سخت‌تر می‌شود و یاخته‌ها با تغییر فشردگی کروموزوم‌ها، برحسب نیاز خود، مقدار **رونویسی** را تغییر می‌دهند.

۲) بعد از پایان رونویسی

این تنظیم را با تغییراتی که روی محصول رونویسی انجام می‌شود بررسی می‌کنیم.

الف) اتصال RNA کوچک: مشاهده می‌شود که در برخی mRNAهای یوکاریوتی، پس از ساخته شدن، برخی RNAهای **مکمل کوچک** به آن متصل می‌شوند و در واقع قسمتی از mRNA دارای دو رشته RNAدار می‌شود که با پیوند **هیدروژنی** به هم متصلند. با این اتصال، رناتن‌ها دیگر قادر به شناسایی رمزه آغاز و شروع **ترجمه** نمی‌باشند و عمل ترجمه متوقف می‌شود. از آنجایی که هر mRNA طول عمر خاصی دارد، این mRNA رونویسی شده پس از مدتی **تجزیه** می‌شود و سر یاخته از تولید محصول پروتئینی بی‌کلاه می‌ماند!!

ب) هرچه طول عمر mRNA در یاخته بیشتر باشد، زمان برای ترجمه و ساخت محصول پروتئینی نیز **بیشتر** می‌شود.

نکته

تغییر در پایداری یا طول عمر رنا یا پروتئین هم در یوکاریوت‌ها و هم در پروکاریوت‌ها صورت می‌گیرد.

نکته

شیوه‌های متنوع دیگری نیز در تنظیم بیان ژن‌ها مؤثرند که نحوهٔ عمل **بسیاری** از آن‌ها **ناشناخته** باقی مانده‌اند.

تست ۱۸ کدام گزینه در مورد تنظیم بیان ژن در جانداران زنده، عبارت زیر را به درستی تکمیل نمی‌کند؟ (قلم‌چی)

«در یوکاریوت‌ها ..... پروکاریوت‌ها امکان دارد .....»

۱) همانند - اتصال رنابسپاراز به راه‌انداز بدون وجود عوامل پروتئینی انجام نشود.

۲) همانند - از طریق تغییر در میزان پایداری mRNA تنظیم بیان ژن انجام شود.

۳) برخلاف - از طریق تغییر تمایل پیوستن پروتئین‌های فاقد توانایی بسپارازی به راه‌انداز مقدار رونویسی ژن تنظیم شود.

۴) برخلاف - در طی رونویسی شرایط تجزیه شدن رنای پیک از طریق برقراری پیوند با رنای کوچک فراهم شود.

پاسخ ۴ اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی است. با اتصال این رناها، از کار رناتن جلوگیری می‌شود. در نتیجه عمل ترجمه متوقف و رنای ساخته شده پس از مدتی تجزیه می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در یوکاریوت‌ها، رنابسپاراز (RNA پلیمراز) نمی‌تواند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به نام عوامل رونویسی هستند. در پروکاریوت‌ها هم در تنظیم بیان ژن مالتوز، ابتدا پروتئین فعال‌کننده به رنابسپاراز متصل می‌شود و سپس رنابسپاراز به راه‌انداز اتصال می‌یابد. / گزینهٔ (۲): از روش‌های دیگر تنظیم بیان ژن طول عمر رنای پیک یا همان تغییر در پایداری (*طول عمر*) رنا یا پروتئین است. / گزینهٔ (۳): در یوکاریوت‌ها گروهی از عوامل رونویسی با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز، رنابسپاراز (RNA پلیمراز) را به محل راه‌انداز هدایت می‌کند. چون تمایل پیوستن این پروتئین‌ها به راه‌انداز در اثر عواملی تغییر می‌کنند، مقدار رونویسی ژن آن هم تغییر می‌کند.

فصل سوم
انتقال اطلاعات در نسل‌ها

درسنامه

ژنتیک به زبان ساده

مقدمه:

دوستان عزیز سلام،

حالا که به مبحث ژنتیک و حل مسائل رسیدیم بهتر دیدم که چند کلمه‌ای با شما دوستانه‌تر صحبت کنم. عزیزان من، ژنتیک از سال‌ها قبل به عنوان مبحثی سخت بر پایه مفهوم ژن و اطلاعات ریاضی بوده و هست و همیشه پاشنه آشیل دانش‌آموزان در کنکور بوده است. به همین دلیل به این نتیجه رسیدم که درسنامه ژنتیک را به زبان ساده‌تر برای شما به‌طور کامل درس بدهم تا شما هم بتوانید راحت‌تر با آن رابطه برقرار کنید. البته در نظام جدید که از سال ۱۳۹۷ در کتاب دوازدهم آمده است مبحث ژنتیک بسیار ساده‌تر و خلاصه‌تر بحث شده است و ما را از طرح سؤالات عددی برحذر داشته‌اند!

انتقال اطلاعات در نسل‌ها

همان‌طور که می‌دانید، صفات و ویژگی‌های والدین یا والد، در اثر تولیدمثل جنسی و یا غیرجنسی، به فرزندان می‌رسد. در تولیدمثل غیرجنسی فرزند کاملاً شبیه **والد** خود می‌باشد. در این نوع تولیدمثل، چون لقاح، میوز و گامتی (کامه‌ای) در کار نیست، پس تنوعی بین فرزند و والد ایجاد نمی‌شود. اگر هم در تولیدمثل غیرجنسی مثل دوتا شدن‌ها، جوانه زدن‌ها، قطعه‌قطعه شدن‌ها و... بین فرزندان و والد تفاوتی دیده شود، آن تفاوت در اثر تغییراتی است که در حین همانندسازی DNA یا مداخله عوامل محیطی رخ داده است که به آن **جهش** می‌گویند.

در تولیدمثل جنسی، همواره تقسیم **میوز** وجود دارد و از زیست یازدهم به یاد دارید که این تقسیم می‌تواند سبب تنوع در یاخته‌های حاصله شود و گامت‌های متنوعی ایجاد کند. در ادامه، **برخورد اتفاقی** این یاخته‌های جنسی، سبب ایجاد انواع متفاوتی از فرزندان نسبت به والدین می‌شود. در حقیقت ارتباط بین نسل‌ها در اثر تولیدمثل جنسی، توسط گامت‌های والدین و دستورالعمل DNA آن‌ها به فرزندان می‌رسد.

نکته

در تولیدمثل جنسی از نوع بکرزایی یا خودلقاحی (کرم پهن)، وجود یک والد کافی است ولی تنوع ژنتیکی و میوز رخ می‌دهد.

نکته

قبل از کشف قوانین وراثت توسط گریگور مندل، تصور عام مردم بر این بود که صفات فرزندان همواره **آمیخته‌ای** از صفات والدین آن‌ها و **حد واسط** آن‌ها می‌باشد. مثلاً همواره فکر می‌کردند که از آمیزش دو گیاهی که گلبرگ‌های آبی و زرد دارند همواره فرزندانی حد واسط با گلبرگ سبز ایجاد می‌شوند یا مثلاً از آمیزش فردی قد بلند با قد کوتاه حتماً فرزند آن‌ها قد متوسط خواهد داشت. پس از بررسی‌های ژنتیکی، محققین خلاف این موضوع را در به ارث رسیدن **بسیاری از صفات** مشاهده کردند.

نکته

در اواخر قرن ۱۹ میلادی، زمانی که هنوز ساختار و عمل ژن و DNA مشخص نشده بود، دانشمندی به نام گریگور مندل با استفاده از قوانین ریاضیات و آمار و احتمال، توانست قوانین بنیادی وراثت را کشف کرده و نحوهٔ به ارث رسیدن آن‌ها را بررسی کند ولی مندل هیچ اطلاعی از ژن، گامت، تقسیم میتوز یا میوز و ساختار DNA نداشت.

گفتار ۱ مفاهیم پایهٔ ژنتیک

دوستان عزیز همان‌طور که می‌دانید هرکدام از ما یک‌سری **ویژگی‌های ارثی تغییرناپذیر** مثل رنگ چشم، رنگ مو یا گروه خونی داریم، این ویژگی‌ها در اثر عوامل محیطی و دمای محیط عوض نمی‌شوند (گرچه به‌طور طبیعی نه با آرایشگاه رفتن! رنگ مو با تغییر سن متأسفانه تغییر می‌کند و سبب ایجاد برف پیری می‌شود ولی آن هم دلیل ژنتیکی دارد!!) اما در بدن ما یک‌سری ویژگی‌هایی هم وجود دارند که در اثر عوامل محیطی تغییر می‌کنند، مثلاً اینکه در اثر آفتاب زیاد و پخش رنگدانه ملانین پوستی، رنگ پوست به سمت تیره شدن می‌رود، **این تغییر رنگ پوست یک صفت ارثی نیست بلکه تحت تأثیر محیط قرار گرفتن یک صفت ارثی به نام رنگ پوست می‌باشد.** در این فصل می‌خواهیم ابتدا به بررسی صفات و چگونگی به ارث رسیدن عوامل آن‌ها بپردازیم و سپس انواع صفاتی که تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند را نیز مطالعه کنیم.

صفت

در علم ژنتیک (*ژن‌شناسی*)، به ویژگی‌های **ارثی** جانداران، **صفت** می‌گویند. مثلاً رنگ چشم یا طول قد یا گروه خونی یا نوع نرمه گوش و... هرکدام یک صفت می‌باشند که می‌توانند تحت کنترل دو یا چند ژن مختلف قرار بگیرند. برخی صفات مثل رنگ پوست ممکن است تحت تأثیر عوامل محیطی قرار بگیرند و تغییر فعالیت دهند ولی برخی مثل رنگ گل میمونی و یا گروه خونی، در اثر عوامل محیطی تغییر نمی‌کنند و همیشه در هر فرد ثابت هستند. از طرفی تعداد ژن‌هایی که سبب بروز یک صفت می‌شوند نیز در صفات مختلف متفاوت است.

شکل‌های هر صفت

هر صفت (*ویژگی ارثی جانداران*) در جامعه می‌تواند به شکل‌ها یا حالت‌های مختلفی در افراد مختلف دیده شود. مثلاً **حالت مو**، یک صفت در انسان‌هاست ولی در جامعه **می‌تواند به سه حالت صاف، فرفری** (*مجعد*) **و حد واسط موج‌دار** دیده شود یا مثلاً طول قد یک صفت است که در جامعه می‌تواند حالت‌های مختلفی از قد کوتاه تا قد بلند با طول‌های متفاوتی وجود داشته باشد. رنگ چشم نیز یک صفت است که می‌تواند حالت‌های مختلف مشکی، قهوه‌ای، سبز یا آبی داشته باشد.

نکته

هر جاندار برخی از ویژگی‌های خود را از والد (*پدر*) دریافت کرده است ولی هر **صفت** خود را به‌طور **ارثی** از والد(*پدر*)، دریافت کرده است.

تست ۱ **چند مورد از عبارت‌های زیر فقط معرف سه صفت ارثی مختلف می‌باشد؟**

الف) مردی با موی موج‌دار کوتاه و قد بلند

ب) خانمی با نرمه گوش آزاد، چشم آبی و موی فر بلند

ج) نخودفرنگی ساقه بلند با گلبرگ‌های ارغوانی پلاسیده شده

د) خانمی با گروه خونی AB که می‌تواند زبان خود را لوله کند

۱) ۳ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۱ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ فقط مورد (*ب*) معرف سه صفت ارثی می‌باشد.

در ابتدا دقت کنید که جنسیت یک فرد معرف یک صفت نمی‌باشد مثلاً مرد مو فرفری یا خانم با موی صاف هر دو یک صفت به نام حالت مو دارند که به دو شکل فر یا صاف دیده شده‌اند و اینکه مو کوتاه یا بلند باشد این یک صفت ارثی نیست و تحت کنترل خود فرد و آرایشگر وی!! می‌باشد.

تله‌های تستی الف) این عبارت دارای دو صفت حالت مو و طول قد می‌باشد. / ب) این عبارت دارای سه صفت نوع نرمه گوش (*آزاد یا چسبیده*)، رنگ چشم و حالت مو می‌باشد. / ج) این عبارت دارای دو صفت طول ساقه و رنگ گلبرگ می‌باشد که حالت پلاسیده آن تحت تأثیر محیط یا طول عمر بوده است. / د) این عبارت دارای دو صفت گروه خونی و توانایی لوله کردن زبان می‌باشد.

ژنتیک (ژن‌شناسی)

شاخه‌ای از علم زیست‌شناسی می‌باشد که به چگونگی وراثت صفات ارثی از نسلی به نسل دیگر می‌پردازد. پدر این علم را فردی به نام گریگور مندل می‌شناسند، با اینکه این فرد هیچ اطلاعی از ژن، DNA، گامت و تقسیم میتوز یا میوز نداشت ولی قوانین بنیادی وراثت را کشف کرد.

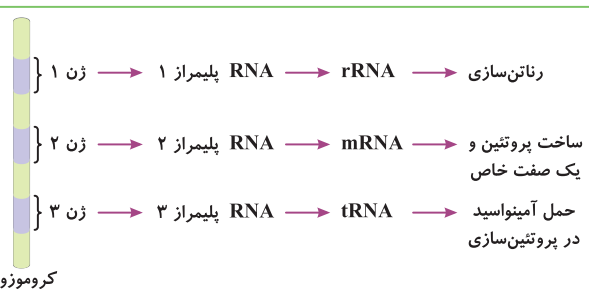
نکته

ژن‌شناسی شاخه‌ای از علم زیست‌شناسی می‌باشد که مثل هر علم تجربی دیگر، محدودیت‌هایی دارد و نمی‌تواند به همهٔ پرسش‌ها پاسخ دهد. از زیست دهم به یاد دارید که علم تجربی فقط به **مشاهدهٔ** پدیده‌های طبیعی و قابل اندازه‌گیری می‌پردازد و زیست‌شناسی نیز به بررسی **علمی** جانداران و فرایندهای زیستی، فارغ از زشتی و زیبایی، یا خوبی و بدی آن‌ها می‌پردازد که علم ژن‌شناسی نیز در همین گروه قرار می‌گیرد.

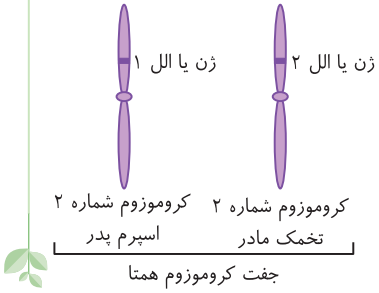
تعریف ژن‌های ایجادکنندهٔ صفات و بررسی آن‌ها روی کروموزوم‌ها

یادآوری

اگر به خاطر داشته باشید، قبلاً گفتیم که ژن قسمتی از یک مولکول DNA می‌باشد که از روی آن ابتدا نوع خاصی از RNA ساخته شده که اگر این RNA از نوع پیک یا mRNA باشد، در نهایت از روی آن یک رشتهٔ پلی‌پپتید برای ساخت پروتئین و بروز صفت ایجاد می‌شود. با توجه به شکل روبه‌رو می‌توانید جایگاه سه ژن مختلف را در DNA یک کروموزوم مشاهده کنید. پس دقت کنید که **فقط** ژن‌های سازندهٔ **رنای پیک**، مستقیماً در **بروز صفات** نقش دارند.



همچنین از زیست یازدهم به یاد دارید که یاخته‌های طبیعی یا پیکری بدن ما از نوع دیپلوئید یا $2n$ کروموزومی می‌باشند و کروموزوم‌های آن‌ها دوتا دوتا با همدیگر همتا هستند. یعنی هر جفت کروموزوم همتا طبیعی، دارای ژن‌هایی مربوط به ویژگی خاص می‌باشند که جایگاه این ژن‌ها در کروموزوم‌ها، روبه‌روی هم می‌باشد. **به دو ژنی که روی جایگاه مشابه از دو کروموزوم همتا قرار دارند، دو الل** (دگره) **یک صفت یا دو ژن الل نسبت به همدیگر گفته می‌شود.** مثلاً در شکل روبه‌رو اگر ژن‌های ۱ و ۲ صفتی روی جفت کروموزوم شمارهٔ دو انسان باشند، این صفت دارای **یک جایگاه** و دو الل (دو ژن) می‌باشد. این الل‌ها، دستورالعمل‌های یک صفت یا شکل‌های مختلف یک صفت را ایجاد می‌کنند. همان‌طور که می‌دانید **هر کروموزوم همتا از یکی از والدین به ما رسیده‌اند که می‌توانند دستورالعمل‌های یکسان یا متفاوتی داشته باشند** (مهم این است که این ژن‌ها، غیر از مشابه یا متفاوت بودن، الل یکدیگر هستند).

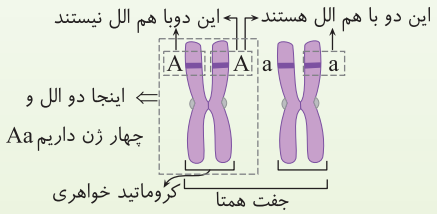


چندنکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

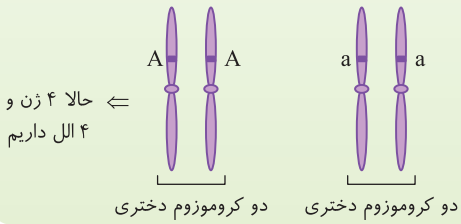
(۱) در مثال بالا، ژن ۱ با ژن ۲ روی مناطق یکسانی از دو کروموزوم همتا می‌باشند، پس این دو ژن در حقیقت دو الل یک صفت هستند (الل‌ها، ژن‌هایی از یک صفت هستند که باید روی کروموزوم‌های همتا در روبه‌روی هم یعنی در جایگاه‌های مشابه و یکسان قرار بگیرند). از اثر فعالیت این دو الل، حالتی از یک صفت می‌تواند بروز کند. در این مثال ممکن است در بروز یک صفت مثل پدیدار شدن مو روی بند انگشتان، الل یا ژن ۱، پس از بیان شدن توانایی تولید مو روی بند انگشتان را داشته باشد و با A نشان دهیم ولی ژن یا الل ۲ که از والد دیگر به ارث رسیده است ممکن است همانند ژن ۱ ویژگی ایجاد مو روی بند انگشتان را داشته باشد (ژن A) یا فاقد این ویژگی باشد (ژن a). در نهایت طریقه به ارث رسیدن این صفت و بروز آن در فرد بستگی به اثر این دو الل روی هم دارد که در ادامه انواع آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

(۲) در حقیقت الل‌های یک صفت و رابطهٔ بین آن‌ها زمینه‌ساز ایجاد شکل‌های مختلف یک صفت در جامعه می‌شوند.

(۳) هر فرد در هر یاختهٔ دیپلوئید تک‌هسته‌ای خود، حداکثر دو الل برای دو ژن در کروموزوم‌های همتای خود دارد و در یاختهٔ هاپلوئید (مثل گامت) دارای یک الل یا ژن آن می‌باشد. دقت کنید که دو ژن قرار گرفته روی دو کروماتید خواهری از یک کروموزوم مضاعف را الل همدیگر به حساب نمی‌آوریم. چون الل روی دو کروموزوم همتا قرار دارند نه روی دو کروماتید خواهری!



(۴) هرگاه در مرحلهٔ آنافاز، دو کروماتید خواهری از هم جدا شوند و دو کروموزوم دختری ایجاد کنند، در این صورت به دو ژن جدا شده، دو الل گفته می‌شود.



تست ۲ **چند مورد زیر برای تعریف ژن‌های دگره (الل) مناسب می‌باشند؟**

الف) هر دو ژنی که با دستورالعمل یکسان یا متفاوت در فام‌تن‌های همتا در بروز یک صفت تک‌جایگاهی نقش دارند.

ب) هر دو ژنی که روی دو فام‌تن همتا قرار دارند.

ج) هر دو ژن با جایگاه یکسان در دو فام‌تن همتا

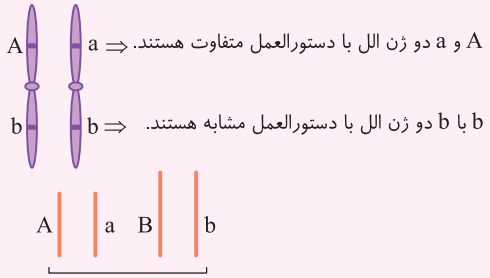
د) هر دو ژنی که در بروز یک صفت نقش دارند.

۱) ۳ مورد **۲)** ۴ مورد **۳)** ۲ مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ ۳ موارد (الف) و (ج) صحیح می‌باشند.

به هر دو ژنی که در جایگاه یکسانی از دو فام‌تن همتا قرار دارند که می‌توانند دستورالعمل مشابه یا متفاوتی در بروز یک صفت ایفا کنند، دو دگره در یک جایگاه ژنی می‌گویند (درستی الف و ج).

در شکل روبه‌رو دو ژن A و b روی دو فام‌تن همتا قرار دارند ولی دگرهٔ همدیگر نیستند چون روبه‌روی هم واقع نشده‌اند (نادرستی ب).



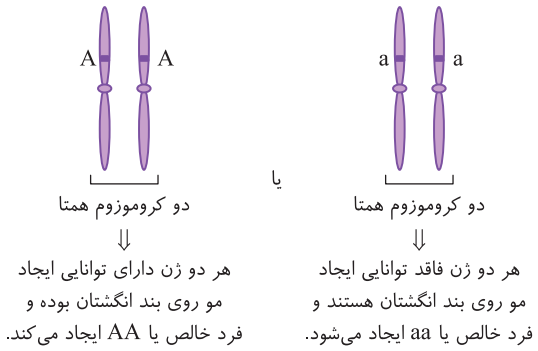
در ادامه می‌آموزید که در برخی صفات، چند ژن، در چند جایگاه مختلف مسئول بروز یک صفت می‌شوند. در این صورت این ژن‌ها می‌توانند دگرهٔ همدیگر نباشند. مثلاً در شکل مقابل چهار ژن A ، a ، B و b مسئول ایجاد یک صفت هستند که A و a با هم یا B و b با هم دگره هستند ولی A و B دو ژن غیردگره هستند در حالی که مربوط به بروز یک صفت می‌باشند. این صفت، دارای دو جایگاه ژنی می‌باشد (الل‌ها یا دگره‌ها حتماً باید جایگاه یکسانی در جفت کروموزوم همتا داشته باشند).

خالص یا ناخالصی صفات و ژن‌ها

تا اینجا متوجه شـدید که در یاخته ۲n کروموزومی یک جانور مثل انسـان، برای یک صفت مثل ایجاد مو روی بند انگشـتان، دو ژن (یا دو الل) مورد نیاز است که روی جایگاه ویژه‌ای از کروموزوم‌های همتا قرار دارند و این دو ژن توسط اسپرم و تخمکی که در لقاح شرکت کرده‌اند به ما رسیده‌اند (دقت کنید که مثلاً در یاخته هاپلوئید، برای هر جایگاه ژنی، یک الل و برای یاخته تریپلوئید، سه الل را بررسی می‌کنیم). حالا دو حالت مختلف می‌توان برای حالت قرارگیری مختلف الل‌ها در یاختهٔ دیپلوئید متصور بود:

● الف) دو ژن الل با دستورالعمل‌های یکسان

اگر در یک جایگاه کروموزومی، هر دو ژنِ یک صفت، یک نوع دسـتورالعمل و فعالیت را داشـته باشـند، می‌گوییـم که فرد برای ایـن صفت، **خالص** می‌باشـد. در این حالت مثل شـکل‌های روبه‌رو یا هر دو ژن قادر به سـاخت مو روی بند انگشتان بوده‌اند که با دو ژن یا دو الل AA نشـان می‌دهیم یا هر دو فاقد این ویژگی هسـتند که به صورت خالص aa نشـان داده می‌شـود. در هر دو حالت ترکیب الل‌های AA یا aa را خالص معرفی می‌کنیم.



نکته

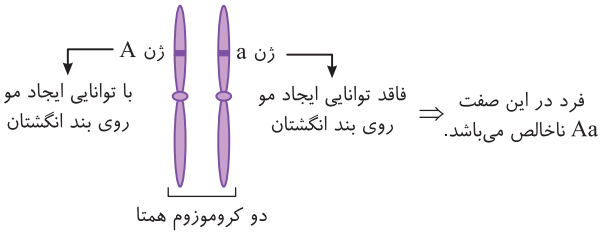
باز هم تکرار می‌کنم که اگر مثلاً یاخته مورد نظر در مرحله **متافاز** و دارای کروموزوم‌های مضاعف بود، این یاخته برای صفت مورد نظر چهار مولکول دنا و چهار ژن دارد ولی آن‌ها را چهار الل مختلف به حسـاب نمی‌آوریم و فقط می‌گوییم یاخته دو الل AA یا Aa یا aa دارد ولی از هر الل دو نسـخه ژن در کروماتیدهای خواهری دارد.

نکته

کروموزوم‌های جنسی X با Y، همتا نمی‌باشند و در کتاب درسی شما، ژن‌های روی آن‌ها را الل همدیگر در نظر نمی‌گیریم.

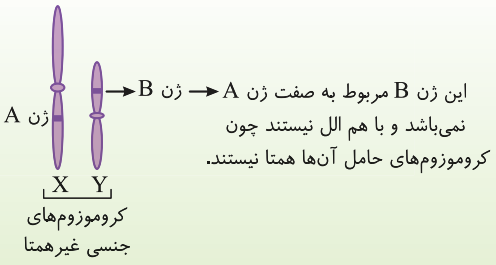
● ب) دو ژن الل با دستورالعمل‌های مختلف

اگر دو ژنی که روبه‌روی هم در کروموزوم‌های همتا قرار دارند، دستورالعمل‌های **مختلفی** داشـته باشـند، مثلاً یکی قدرت تولید مو روی بند انگشـتان را داشته باشـد و ژن یا الل A باشـد و دیگری فاقد این توانایی بوده و ژن یا الل a باشد، در این صورت این فرد در این صفت فرمول ژنتیکی **ناخالص** Aa دارد.



نکته مهم

در یاخته‌های پیکری یا دیپلوئید (۲n) در افراد XY (پستانداران نر و پرندگان ماده)، چون جفت کروموزوم جنسی آن‌ها همتا نیستند، پس ژن‌های الل را در آن‌ها در نظر نمی‌گیریم. یعنی هر صفتی که ژن آن روی X یا Y می‌باشد را دارای یک الل جداگانه فرض می‌کنیم و وجود همان الل را عاملی برای ایجاد شکل ویژه آن صفـت می‌دانیم (یعنی در جفت کروموزوم XY، در مورد رابطـه صفات آن‌ها، حالت خالص یا ناخالص در نظر نمی‌گیریم ولی در زنان که XX هستند، این کروموزوم‌ها مانند سایر کروموزوم‌ها، صفاتی با حالت‌های خالص یا ناخالص دارند).



البته در علم زیست‌شناسی، کروموزوم‌های X و Y در منطقهٔ کوچکی دارای ژن‌های الل هستند ولی این موضوع در حد کتاب‌های کنکور شما نیست.

تست ۳ **کدام یاختهٔ زیر در صفات جنسی خود دارای ژن‌های الل همدیگر می‌باشند؟ (کروموزوم‌های جنسی در پرندگان نر همانند پستانداران ماده می‌باشد.)**

۱) اسپرماتید ملخ ۲) اسپرماتوگونی خروس ۳) تخمک میمون ۴) اووگونی مرغ

پاسخ ۲ گزینه‌های (۱) و (۳) هاپلوئید هستند و از هر ژن فقط یک دستورالعمل دارند. پس بحث الل در آن‌ها منتفی می‌باشد ولی اسپرماتوگونی خروس که پرندهٔ نر است به صورت XX و دارای کروموزوم همتا و دو الل می‌باشد ولی اووگونی مرغ (پرنده ماده) XY بوده و از هر صفت جنسی یک الل دارد.

رابطهٔ بین الل‌ها

تـا حـالا فهمیده‌ایـد کـه مفهوم ژن‌ها چیسـت و الل بودن یا نبـودن آن‌ها به جایـگاه و محل آن‌هـا روی کروموزوم‌های همتا بسـتگی دارد. حتماً یـاد گرفته‌اید کـه وقتـی بـه دو ژن، واژه الـل (دگـره) همدیگـر داده می‌شـود کـه روی کروموزوم‌هـای همتا و در جای یکسـان و مشـابهی روبه‌روی هـم قرار گرفته باشـند.

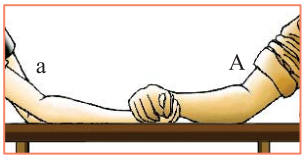
قطعاً برای یک فرد، فعالیت هر ژنی در ایجاد یک ویژگی یا صفت نقش دارد. در اینجا می‌خواهیم بررسی کنیم که ژن‌های اللی متنوع چه اثری می‌توانند در بروز یک صفت داشته باشند و به انواع برهم‌کنش فعالیت‌های ژن‌های الل می‌پردازیم.

ژن‌نمود (ژنوتیپ): به ترکیب قرارگیری الل‌ها در کنار هم در هر فرد، ژن‌نمود (*ژنوتیپ*) می‌گوییم. مثلاً AA یا aa ژن‌نمودهای خالص و Aa یک ژن‌نمود ناخالص است.

رخ‌نمود (فنوتیپ): به شکلی از صفت که توسط ژن‌نمود بروز می‌یابد، رخ‌نمود (*فنوتیپ*) گفته می‌شود. مثلاً AA یا Aa دو ژن‌نمود هستند ولی هر دو، یک رخ‌نمود مربوط به تولید مو روی بندانگشتان را نشان می‌دهند ولی ژن‌نمود aa، فاقد مو روی بند انگشتان است و رخ‌نمود متفاوتی دارد. در ادامه به بررسی این روابط می‌پردازیم که بسیار آسان است.

الف) رابطهٔ الل‌ها به صورت بارز و نهفتگی (غالب و مغلوبی a و A)

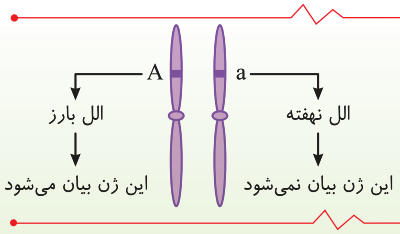
در افراد دارای صفتی خالص که دو الل یکسان با فعالیت مشابه دارند، بدیهی است که کدام شکل صفت در آن فرد بروز می‌یابد. مثلاً در همان مثال قبلی خودمان در مورد **مو درآوردن روی بند انگشتان** فردی که هر دو الل AA را دارد، یعنی هر دو ژن (*الل*) وقتی بیان شوند سبب ایجاد آنزیمی می‌شوند که باعث ایجاد مو روی بند انگشتان است و در فرد aa هر دو الل فاقد این ویژگی هستند، فرد **فاقد** توانایی تولید مو روی بند انگشتان خود می‌باشد.



حال سؤال اینجاست که در فرد **ناخالص** که یک کروموزوم حاوی الل A و دارای قدرت ایجاد مو می‌باشد و کروموزوم دیگر فاقد این ویژگی است و دارای الل a می‌باشد، این فرد با فرمول ژنتیکی Aa چه صفتی را بروز می‌دهد؟! مشاهده شده است که در این افراد مو روی بند انگشتان آن‌ها بارز می‌شود. در حقیقت یک الل مثل شکل روبه‌رو مچ الل دیگر را خوابانده و بروز یافته است. به این رابطهٔ بین الل‌ها، رابطهٔ بارز (A) و نهفتگی (a) یا غالب و مغلوبی می‌گویند که طبق قرارداد الل بارز (*غالب*) را با حرف بزرگ (A) و الل نهفته (*مغلوب*) را با حرف کوچک (a) نشان می‌دهیم. علت نام بارز و نهفته بین الل‌ها این است که وقتی هر دو با هم در فرد ناخالص Aa قرار دارند، ویژگی الل A به‌طور کامل مانند یک فرد AA بروز می‌کند. یعنی این‌طور نیست که فرد AA از فرد Aa تعداد موهای بیشتری روی بندانگشتان خود داشته باشد (*رخ‌نمود هر دو فرد AA و Aa، کاملاً یکسان است*).

نکته

با توجه به شکل مقابل در رابطهٔ بارز و نهفتگی الل‌ها، همواره در صورت وجود الل بارز، ژنی بیان، رونویسی و ترجمه می‌شود که الل بارز را دارد. البته گاهی ممکن است که ژن مغلوب، حاوی ژن رشتهٔ پلی‌پپتید دیگری باشد (*مثل داس‌شکل شدن*) و وقتی که به‌طور خالص باشد، بیان شود.



نکته

در این حالت در افراد جامعه برای این صفت ۳ نوع فرمول ژنتیکی یا حالت ترکیب الل‌ها (*ژنوتیپ یا ژن‌نمود*) AA ، Aa و aa دیده می‌شود ولی دو حالت ظاهری (*فنوتیپ یا رخ‌نمود*) بارز (A) یا نهفته (a) در جامعه قابل مشاهده می‌باشد.

ب) الل‌هایی بدون رابطهٔ بارز و نهفتگی (R و W)

تا اینجا چند بار از جناب آقای مندل به عنوان پدر علم ژن‌شناسی صحبت کردیم ولی باید به عنوان بیشتر بدانید، در نظر بگیرید که وی در تمام آزمایشات خود همواره مشاهده می‌کرد که از آمیزش والدینی با دو حالت مختلف یک صفت، فقط یکی از آن‌ها در فرزندان بارز می‌شود و همواره یکی از الل‌ها به دیگری بارز می‌باشد. پس از چندی دانشمندان دیگر متوجه شدند که بین الل‌های یک صفت، همیشه رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود ندارد و فرزند آن‌ها می‌تواند دارای ویژگی **مخلوطی** از پدر و مادر باشد (*مثلاً از آمیزش دو اسب که‌رنگ مو یکی قرمز و دیگری سفید بود، فرزندانی با حالت رنگ موی راه‌راه قرمز سفید ایجاد می‌شد.*) یا اصلاً ممکن است در صفتی فرزندی با **صفت حد واسط** بین والدین ایجاد شود. مثلاً از لقاح گل میمونی با گلبرگ‌های قرمز و سفید، بوته‌هایی با رنگ گلبرگ صورتی ایجاد شود که در ادامه به بررسی این نکات می‌پردازیم!

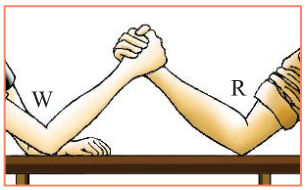
انواع حالاتی که بین دو الل رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود ندارد

نکته: با توجه به بحثی که کردیم، وقتی بین الل‌ها رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود ندارد، دو نوع الل مختلف با دو حرف لاتین بزرگ مختلف مثل R و W نشان داده می‌شود که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم (در حالت بارز و نهفتگی الل‌ها را به صورت بزرگ A و کوچک a نشان می‌دهند).

● ۱) حالت هم‌توانی بین الل‌ها

برای درک این حالت صفتی مثل رنگ موی اسب‌ها را برای شما مثال می‌زنم. این صفت دارای دو الل R و W می‌باشد. اسبی که دارای دو ژن الل RR می‌باشد رنگ موی قرمز در آن بروز می‌کند. اسبی که دارای دو الل WW می‌باشد، رنگ موی سفید در آن بروز می‌کند ولی اسبی که از آمیزش این دو والد (RR و WW) ایجاد می‌شود حاصل لقاح گامت‌های R و W بوده و فرمول ژنتیکی (*ژنوتیپ = ژن‌نمود*) RW دارد. مشاهده می‌شود که فرزندان آن‌ها همگی دارای رنگ مویی با ترکیب راه‌راه قرمز و سفید می‌باشند. یعنی الل‌های این دو والد **هم‌توان** بوده‌اند و زور یکی به دیگری به هیچ عنوان نمی‌رسد و در نهایت دو والد هم‌زور، تصمیم می‌گیرند هر دو شکل اللی صفت خود را، در فرزندان بارز کنند. در این حالت قطعاً الل‌ها را با دو حرف مختلف نشان می‌دهند و همهٔ فرزندان این والدین به صورت ناخالص RW ایجاد می‌شوند که از آمیزش والدینی با فرمول ژنتیکی خالص RR و WW به وجود آمده‌اند.

در حالت هم‌توانی مثل شکل روبه‌رو هر دو الل زور یکسان دارند و با هم بارز می‌شوند. یعنی هر دو ژن و الل‌های آن‌ها بیان شده و رونویسی می‌شوند تا در بروز صفت نقش داشته باشند.



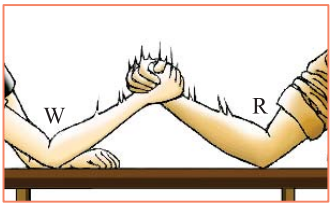
اسب مو سفید WW — اسب مو قرمز RR

⇓

فرزندان: ۱/۱ اسب‌های دارای مو راه‌راه قرمز سفید (RW)

● ۲) حالت بارزیت ناقص بین الل‌ها (R و W) = ایجاد صفات حد واسط در ناخالص‌ها

این نوع رابطه اللی نیز همانند قبلی بدون رابطهٔ بارز و نهفتگی می‌باشد و افراد خالص فرمول ژنتیکی RR و WW دارند و فرزندان آن‌ها RW می‌شوند. تفاوتی که با حالت هم‌توانی دارد در این است که فرزندان در صفت مورد نظر، **هیچ تشابه ظاهری با پدر و مادر ندارند** و صفت **حد واسط** جدیدی از والدین را بروز می‌دهند. برای درک بهتر این صفات، باید به مثال رنگ گلبرگ‌های گل میمونی دقت کنید. در این مثال صفت رنگ گل میمونی مطرح می‌شود که تحت تأثیر دو ژن الل می‌باشد که یک الل باعث بروز گلبرگ‌های قرمز و یک الل سبب بروز گلبرگ‌های سفید می‌شود. گل میمونی قرمز دارای دو الل RR یا قرمز در کروموزوم‌های همتا خود می‌باشد و گل میمونی سفید دارای دو الل WW می‌باشد. وقتی این دو را با هم آمیزش می‌دهیم مشاهده می‌شود که فقط گل میمونی‌های صورتی در بوته‌های نسل بعد آن‌ها دیده می‌شود که دارای دو الل R و W به صورت فرمول ژنتیکی ناخالص یا RW می‌باشند. در این حالت در گلبرگ‌های بوته‌های فرزندان نه صفت ظاهری قرمز دیده می‌شود و نه سفید! بلکه همهٔ گلبرگ‌های آن‌ها صورتی شده‌اند. در اصل اثر الل R انگار کمی بیشتر از سفید بروز پیدا کرده است و بارزیت ناقص یا غالبیت ناقصی داشته است و زور آن کمی به سفید رسیده است ولی کاملاً بارز یا غالب نبوده است که سبب عدم تأثیر الل سفیدی شود و در حقیقت زور این دو الل مثل شکل زیر بوده و نمی‌تواند به‌طور کامل مچ طرف مخالف را خوابانده و ویژگی خود را بروز دهد.





«گل میمونی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در صفاتی که بین الل‌های آن‌ها رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود ندارد، تنوع فرمول ژنتیکی افراد جامعه (*تنوع ژنوتیپی*) با تنوع شکل ظاهری آن صفت (*تنوع فنوتیپی*) در بین افراد جامعه یکسان می‌باشد. در این مثال سه فرمول ژنتیکی RR، WW و RW وجود دارد که سه شکل ظاهری قرمز، سفید و صورتی را در جامعه ایجاد می‌کند (*در این حالت انواع الل‌ها از انواع شکل‌های صفت کمتر است*).

۲) در حالت رابطهٔ بارز و نهفتگی، انواع الل‌های یک صفت با انواع شکل‌ها یا رخ‌نمودهای آن در جامعه برابر است.

۳) چون جفت کروموزوم جنسی افراد به صورت X و Y با همدیگر همتا نیستند، پس صفاتی که ژن آن‌ها روی کروموزوم جنسی واقع است، در افراد XY دارای یک الل می‌باشند. در نتیجه در این افراد نمی‌توانیم حالات ناخالصی Aa یا RW را مشاهده کنیم (*در نتیجه، در صفاتی که ژن آن‌ها روی کروموزوم جنسی است، در افراد XY حالت حد واسط یا هم‌توان RW دیده نمی‌شود*). برای درک بهتر این موضوع فرض کنید که ژن‌های صفت رنگ موی اسب که حالت هم‌توانی داشت روی کروموزوم X واقع باشد در این صورت در ماده‌ها که XX هستند و یک جفت کروموزوم X دارند هر سه حالت RR، WW و RW می‌تواند دیده شود ولی در نرها یا XYها فقط دو حالت قرمز یا سفید دیده می‌شود چون کروموزوم Y، ژن یا الی برای این صفت ندارد که در زیر می‌توانید فرمول ژنتیکی آن‌ها را مشاهده کنید.

دقت: اگر رنگ چشم اسب، صفتی وابسته به جنس (X) با رابطهٔ بارزیت ناقص باشد، انواع حالات زیر را در اسب‌ها می‌توان مشاهده کرد. (A سیاه - B قهوه‌ای)

اسب نر با رنگ چشم سیاه X^AY

اسب نر با رنگ چشم قهوه‌ای X^BY

⇐ اسب نری با رنگ چشم خاکستری به صورت X^AY^B وجود ندارد چون Y، همتای X نمی‌باشد.

اسب ماده با رنگ چشم سیاه X^AX^A

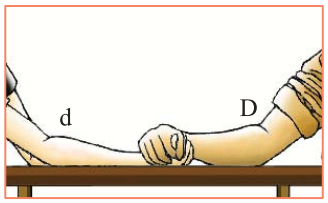
اسب ماده با رنگ چشم قهوه‌ای X^BX^B

اسب ماده با رنگ چشم خاکستری X^AX^B ⇐ چشم خاکستری AB فقط در ماده‌ها ایجاد می‌شود.

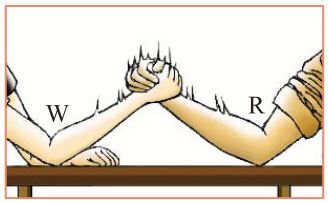
نکته

در ادامه بررسی می‌کنیم که مثلاً زنبور عسل نر نیز چون هاپلوئید است، فاقد دو الل در یک جایگاه ژن می‌باشد یعنی در زنبور نر، خالص، ناخالص، هم‌توان یا حد واسط بودن یک صفت بررسی نمی‌شود.

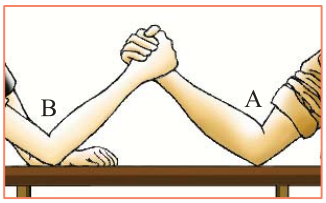
مسابقهٔ مچ‌اندازی و شباهت آن‌ها با رابطهٔ بین الل‌ها



رابطهٔ بارز و نهفتگی الل‌ها
(گروه خونی Rh)



رابطهٔ بارزیت ناقص الل‌ها
(رنگ گل میمونی)



رابطهٔ هم‌توانی
(گروه خونی AB یا رنگ موی اسب)

ژنوتیپ (ژن‌نمود)

بـه ترکیـب الل‌هـا و قرارگیری آن‌ها در صفات یک فرد یا همان فرمـول ژنتیکی یک فرد، ژنوتیپ می‌گویند. مثلاً AA، RW، aa، X^AY یا X^RX^W همهٔ آن‌ها فرمول ژنتیکی یا ژنوتیپ فرد در مورد صفت مشـخصی می‌باشـد. در ژنوتیپ به‌جز در صفات وابسـته به جنس XYها، در سایر حالات همواره صحبت از خالص ناخالصی می‌شود و همواره طرز قرارگیری الل‌ها در آن نقش دارد.

فنوتیپ (رخ‌نمود)

به شکل ظاهری یا حالت بروز یافته یک صفت، **فنوتیپ** می‌گویند. مثلاً وقتی می‌گوییم مو روی بند انگشتان یک فرد ایجاد می‌شود، این یک فنوتیپ است که به صورت بارز (A) بروز یافته است ولی ژنوتیپ آن می‌تواند یکی از دو حالت AA یا Aa بوده باشد (*دقت کنید که در مورد فنوتیپ هیچ‌گاه نباید لفظ خالص یا ناخالص به کار ببریم چون فنوتیپ فرد AA با Aa یکسان است*).

نکته مهم

در صفاتـی کـه رابطـهٔ بارز و نهفتگی بین الل‌هـای آن وجود دارد، برای دو الل آن **سه** نوع ژنوتیپ AA، Aa و aa و **دو** نوع فنوتیپ بـارز (A) و نهفته (a) دیده می‌شود ولی اگر بین الل‌های صفت هیچ رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود نداشته باشد، در این صورت هر ژنوتیپ بیانگر فنوتیپ خاصی می‌باشد. مثلاً در گل میمونی، RR بیانگر قرمز، WW بیانگر سفید و RW بیانگر فنوتیپ حد واسط صورتی می‌باشد.

● جنسیت فنوتیپ نیست!!

نکته مهم

همان‌گونه که قبلاً هم گفتیم دقت کنید که جنسـیت فرد، یک فنوتیپ به حسـاب نمی‌آید (*مگر اینکه در سـؤال گفته باشـد فنوتیپ را با توجه به جنـسیت حـساب کنید*) که برای فهم بهتر این مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال: اگر دو ژن (الل) قرمزی و سـفیدی صفت رنگ موی اسـب با رابطهٔ هم‌توانی در دو حالت مختلف در نظر بگیریم که اولی روی کروموزوم X و دومی روی کروموزوم غیرجنسی باشند، در این صورت در هر مورد به دو سؤال زیر پاسخ دهید:

الف) در جامعه چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ دیده می‌شود؟

ب) در جامعه چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ با توجه به جنسیت دیده می‌شود؟

پاسخ: **حالت اول: اگر صفت مورد نظر مستقل از جنس (غیرجنسی) باشد:**

در صورت اصلاً به جنسیت کاری نداریم و در جامعه ۳ نوع ژنوتیپ RR، WW و RW و ۳ نوع فنوتیپ قرمز، سفید و راه‌راه قرمز سفید وجود دارد. در سؤال دوم که «با توجه به جنسیت» را ذکر کرده بود، حالا اسب نر RR و اسب ماده RR را دو نوع فنوتیپ در نظر می‌گیریم.

حالت دوم: اگر الل‌های صفت مورد نظر روی کروموزوم X باشد:

در این صورت ژنوتیپ‌های ممکنه در اسب‌های ماده XX و نرهای XY به صورت زیر می‌باشد.

X^RX^R	X^RX^W	X^WX^W	X^RY	X^WY
ماده مو قرمز	ماده مو راه‌راه قرمز سفید	ماده مو سفید	نر مو قرمز	نر مو سفید

در این صورت همواره **ژنوتیپ** نرها و ماده‌ها با هم متفاوتند و ۵ نوع ژنوتیپ در این صفت در جامعه دیده می‌شـود ولی در مورد فنوتیپ، در حالت (الف) که به جنسیت ربطی ندارد ۳ نوع فنوتیپ قرمز، سفید و راه‌راه قرمز سفید دیده می‌شود و **در حالتی مثل** (ب) **که جنسیت را در سؤال ذکر کرده است**، ۵ نوع فنوتیپ نیز دیده می‌شـود. چون در این صورت نر مو سـفید و ماده مو سـفید را دو نوع در نظر می‌گیریم (*اگر برخلاف* (ب) *در سـؤال نگفته بود فنوتیپ‌ها را با توجه به جنـسیت حـساب کنید، فقط مثل مـستقل از جنـس‌ها به شکل ظاهری صفات دقت کنید*).

تست ۴ **به‌طور معمول در انسان‌ها، در یاخته‌های تک‌هسته‌ای و دولاد، ممکن نیست تعداد انواع ..... یک صفت ..... باشد.** (قلم‌چی)

۱) ژن‌نمود - با تعداد دگره‌های مربوط به آن صفت در هر یاخته، برابر

۲) رخ‌نمود - از تعداد ژن‌نمودهای مربوط به آن صفت بیشتر

۳) دگره‌های - در هر یاخته، بیشتر از دو دگره

۴) رخ‌نمودهای - کمتر از تعداد دگره‌های مربوط به آن صفت در هر یاخته

پاسخ ۴ تعداد انواع رخ‌نمودها در **کمترین** حالت، با تعداد انواع دگره‌ها **برابر** است چون هر دگره در حالت خالص AA یا aa، شکل خود را بروز می‌دهد.

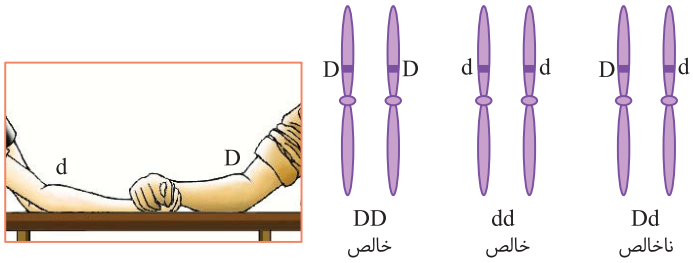
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در صفت وابسته به X در مردان امکان‌پذیر است که صفت دو اللی با رابطهٔ بارز و نهفتگی، فقط در حالت رخ‌نمود و ژن‌نمود X^AY و X^aY داشته باشد. / گزینهٔ (۲): مثلاً در دوقلوهایی که از یک یاختهٔ مشترک ایجاد شده‌اند (*دوقلوهای همسان*)، محتوای ژنتیکی هر دو فرد یکسان است و در نتیجه ژن‌نمود صفات مختلف یکسان است، اما برخی صفات تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند و رخ‌نمودهای متفاوتی را نشان می‌دهند، یا مانند رنگ گلبرگ گل ادریسی در خاک‌های اسیدی یا قلیایی که با اینکه یک ژنوتیپ دارند ولی در محیط متفاوت، فنوتیپ متفاوتی را بروز می‌دهند! / گزینهٔ (۳): برای صفات چندجایگاهی در هر یاخته ممکن است بیش از دو دگره داشته باشیم (*اما خیلی مهم است بدانید که همهٔ آن‌ها با یکدیگر الل نیستند اما همگی الل یک صفت هستند*).

انواع صفات برحسب تعداد جایگاه ژن‌های آن

در جانداران، برحسب تعداد جایگاه ژن‌هایی که سبب بروز یک صفت می‌شوند، دو نوع صفت داریم. یکی **صفات تک‌جایگاهی** که در این گفتار آن‌ها را بررسی می‌کنیم و یکی **صفات چندجایگاهی** که در گفتار بعد به مطالعهٔ آن‌ها می‌پردازیم (*خواهش من این است که خط‌به‌خط جملات را تحلیل کنید و سپس به خط بعدی و نکتهٔ بعدی بروید!!*).

صفاتی که دارای یک جایگاه ژنی هستند (صفات تک‌جایگاهی)

در بدن جانداران تعداد زیادی از صفات وجود دارند که ژن‌های دارای دستورالعمل آن‌ها فقط **در یک جایگاه خاص** از DNA و فقط در یک جفت **کروموزوم همتا** قرار دارند و **یک فرد طبیعی، حداکثر دو الل آن را در هر هسته دیپلوئید یاخته‌های پیکری خود دارد.** این صفات می‌توانند در **جامعه** تحت کنترل دو یا چند ژن الل باشند. دقت کنید که الل‌ها فقط در کروموزوم‌های همتا و روبه‌روی هم قرار می‌گیرند و چون ژن این صفات فقط یک جایگاه دارد، پس در یاخته‌های دیپلوئید آن‌ها دو الل بیشتر نمی‌تواند وجود داشته باشد. این الل‌ها، در صورت رابطهٔ بارز و نهفتگی به صورت AA یا Aa یا aa و در صورت عدم رابطهٔ بارز و نهفتگی (*هم‌توان یا بارزیت ناقص*) به صورت RR ، WW و RW در کروموزوم‌های همتا قرار می‌گیرند.



«ژن‌نمودهای خالص و ناخالص»

نکته

باز هم برای چندمین بار یادآوری می‌کنم که این صفات (*صفات تک‌جایگاهی*) در یاخته‌های دیپلوئید افراد XY ، دارای یک الل برای صفات وابسته به جنس هستند چون دو کروموزوم جنسی آن‌ها همتا نبوده و دارای دو الل یک صفت نمی‌باشند. در گامت‌های طبیعی افراد XY یا XX که یاخته‌ای هاپلوئید می‌باشد نیز برای هر صفت تک‌جایگاهی غیرجنسی (*مستقل از جنس*) حداکثر فقط یک الل دارند (A یا a). البته افراد XY برای صفات وابسته به X، در گامتی که کروموزوم X دارد، یک الل دارند و در گامت Y‌دار فاقد الل این صفت هستند. مثلاً در چهار مستطیل زیر می‌توانید نمونه نوشتن ژنوتیپ صفات جنسی و مستقل از جنس را در افراد ببینید. یک‌بار دیگر اشاره می‌کنم که برای مردان در صفات وابسته به جنس، نمی‌توان اصطلاحات خالص یا ناخالص‌رابه‌کاربرد.

مرد با صفت جنسی X^RY	زن با صفت جنسی ناخالص X^RX^W	زن با موی موجدار XXRW	مرد با موی موجدار XYRW

البته دوستان دقت کنید که الل‌های حالت مو، روی کروموزوم جنسی قرار ندارند و مثال بالا فقط برای تفهیم مطلب بود!

مثال: الف) اگر طول بال خفاش، صفتی باشد که دارای دو ژن در یک قسمت از کروموزوم‌های غیرجنسی باشد و بین الل‌های آن رابطهٔ بارز بلندی و کوتاه نهفتگی وجود داشته باشد، در خفاش نر و ماده چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ دیده می‌شود؟

ب) اگر صفت فوق دارای ژن‌هایی روی کروموزوم‌های جنسی X باشد، نیز سؤال را حل کنید.

دقت! خفاش نوعی پستاندار است و نر آن‌ها مانند انسان‌ها XY و ماده XX دارند.

پاسخ: الف) در حالتی که ژن‌ها روی کروموزوم **غیرجنسی** (*مستقل از جنس‌ها*) واقع است بحث نر یا ماده خفاش یا هر جانداری در آرایش ژن‌های آن‌ها بی‌مورد است. این خفاش‌ها دارای ۳ نوع ژنوتیپ AA ، Aa و aa و دارای ۲ نوع فنوتیپ بارز (غالب) A (*در ژنوتیپ‌های AA و Aa*) و فنوتیپ a نهفته (مغلوب)

(در ژنوتیپ aa) می‌باشند که به صورت زیر است:

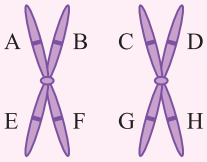
شکل کروموزومی	دو الل نهفته بال کوتاه a a	الل بال بلند A → الل بال کوتاه ← a	الل بال بلند A → الل بال بلند ← A
ژنوتیپ	خالص نهفته aa	ناخالص بارز Aa	خالص بارز AA
فنوتیپ	a (کوتاه)	A (بلند)	A (بلند)

ب) در حالتی که ژن‌های (الل‌ها) این صفت روی کروموزوم X باشد:

جنسیت	خفاش نر XY		خفاش ماده XX (همانند حالت غیرجنسی است)		
شکل کروموزومی	a (کوتاه) X Y	A (بلند) کروموزوم Y کروموزوم X غیرهمتا هستند	a a	A a	A A
ژنوتیپ	X^aY	X^AY	X^aX^a	X^AX^a	X^AX^A
فنوتیپ	خفاش نر بال کوتاه با یک الل a	خفاش نر بال بلند با یک الل A	خفاش ماده بال کوتاه با دو الل یکسان (خالص)	خفاش ماده بال بلند با دو الل متفاوت (ناخالص)	خفاش ماده بال بلند با دو الل یکسان (خالص)

با اینکه قطعاً سؤال عددی در کنکور طرح نمی‌شود ولی دقت کنید که در حالت وابسته به جنس، ۵ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ بلند و کوتاه در جامعه آن‌ها دیده می‌شود ولی اگر تعداد انواع فنوتیپ‌ها را با توجه به جنسیت از ما سؤال کنند، در آن صورت ۴ نوع فنوتیپ خواهیم داشت (نر بلند، ماده بلند، نر کوتاه و ماده کوتاه). حتماً می‌دانید که بدون توجه به جنسیت در هر حالت دو نوع رخ‌نمود (فنوتیپ) بلندی و کوتاهی در جامعه مشاهده می‌شود و چون الل‌ها رابطهٔ بارز و نهفتگی دارند، خفاش با بال متوسط وجود ندارد.

تست ۵ **در شکل مقابل ژن‌های موجود در ..... برخلاف ..... نسبت به هم دگره می‌باشند.**



۱) A و D - E و F
۲) C و D - G و H
۳) A و B - E و G
۴) H و A - D و F

پاسخ ۱ باید به راحتی به این سؤال پاسخ دهید. یک بار دیگر خدمت شما عرض می‌کنم که دگره‌ها روی دو فام‌تن همتا و در جایگاه‌های مشابهی قرار دارند. در این شکل ژن‌های (A و B) یا (C و D) یا (E و F) یا (G و H) در دو کروماتید خواهری قرار دارند و دستورالعمل کاملاً یکسانی دارند ولی تا وقتی توسط سانترومر به هم متصلند، دگره همدیگر نیستند. در حالی‌که ژن A با C و D دگره به حساب می‌آید یا ژن G با E و F دگره به حساب می‌آید.

انواع صفات تک‌جایگاهی

همان‌طور که امیدوارم تا حالا متوجه شده باشید، صفات تک‌جایگاهی، صفاتی هستند که ژن‌ها یا الل به ارث رسانندهٔ آن‌ها **روی یک قسمت مشخص در DNA کروموزومی** قرار دارد. از این صفات تا حالا انواعی مثل رنگ موی اسب، مو درآوردن روی بند انگشتان، رنگ گل میمونی و... را بررسی کردیم. در اینجا می‌خواهیم به انواع صفات تک‌جایگاهی با توجه به تعداد الل‌ها یا ژن‌هایی که آن‌ها را رهبری می‌کنند بپردازیم.

الف) صفات تک‌جایگاهی دو ژنی (دو اللی)

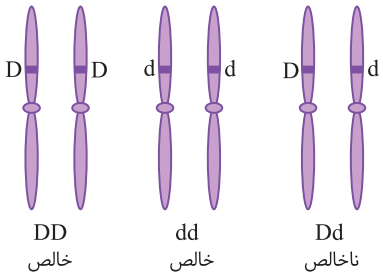
صفات دو ژنی (دو اللی): صفاتی هستند که در کل جامعه برای به ارث رسیدن آن، دو الل یا دو نوع دستورالعمل وجود دارد و هر هسته دیپلوئید یاخته پیکری فرد نیز **حداکثر** می‌تواند دو الل آن را در جایگاه مشخصی از جفت کروموزوم‌های همتای خود داشته باشد. این الل‌ها می‌توانند مانند رنگ گل میمونی بدون رابطهٔ بارز و نهفتگی باشند که ۳ نوع ژنوتیپ RR، RW و WW و ۳ نوع فنوتیپ قرمز، صورتی و سفید را نشان دهد و یا دارای رابطهٔ بارز و نهفتگی A و a باشد که دارای ۳ نوع ژنوتیپ AA، Aa و aa و ۲ نوع فنوتیپ بارز A و نهفته a داشته باشد. از نمونه‌های این صفات در قسمت‌های قبل بسیار بررسی کردیم و در اینجا به بررسی نوعی دیگر از آن‌ها به نام گروه خونی Rh (مثبت و منفی) می‌پردازیم.

نکته

وقتی می‌گوییم یک صفتی تک‌جایگاهی است یعنی در همهٔ افراد گونه، همهٔ ژن‌ها و الل‌های مربوط به آن صفت در یک جایگاه از دو کروموزوم همتا یا مثلاً در یک جایگاه از کروموزوم‌های X یا Y قرار دارد. حال این صفت می‌تواند در کل جامعه تحت کنترل دو یا تعداد زیادی الل باشد ولی هر فرد در هر هسته دیپلوئید خود، حداکثر دو الل آن را دارد.

● گروه خونی Rh

انسان دارای چند نوع گروه خونی متفاوت می‌باشد که دو صفت اصلی آن به سیستم‌های گروه خونی ABO و گروه خونی Rh معروف می‌باشند. هر دوی این صفات از نوع **تک‌جایگاهی** و روی کروموزوم‌های غیرجنسی می‌باشند. گروه خونی ABO دارای چند الل (*ژن*) در جامعه می‌باشد که در قسمت بعد و پس از درسنامه Rh به آن می‌پردازیم. در اینجا می‌خواهیم به بررسی گروه خونی ساده‌تری به نام Rh بپردازیم که **حتماً شنیدید فلانی گروه خونی یا Rh** (*ارهش!*) **مثبت یا منفی دارد.**



«ژن‌نمودهای خالص و ناخالص»

گروه خونی Rh، صفتی می‌باشد که در جامعه دارای دو الل (*دو ژن*) با رابطهٔ بارز و نهفتگی D و d می‌باشد. ژن‌های این صفت **روی جفت کروموزوم شماره ۱** انسان‌ها و در **بالای** سانترومر قرار دارد که یک صفت **غیرجنسی** (*مستقل از جنس*) است و در بررسی آن، زن و مرد حالات مشابهی دارند.

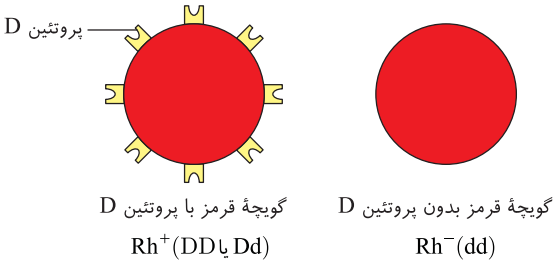
دو کروموزوم **شماره ۱** انسان (*جفت اول*) که با هم **همتا** می‌باشند، هرکدام در **بالای** سانترومر خود، دارای جایگاهی هستند که ژن Rh در آنجا قرار دارد. هر هسته یاختهٔ دیپلوئید فرد، دارای دو الل از این صفت می‌باشد و در جامعه می‌توان ۳ نوع ژنوتیپ DD، Dd و dd و ۲ نوع فنوتیپ مثبت (D) و منفی (d) را در بین افراد مشاهده کرد.

گروه خونی Rh و مثبت یا منفی بودن آن در گروه خونی فرد، در حقیقت به بودن یا نبودن **پروتئینی** به نام D در روی **غشای گویچه‌های قرمز** بستگی دارد. وقتی در فردی حداقل یک الل D وجود دارد، با بیان این ژن، پس از رونویسی و ترجمه، پروتئین D در غشای گویچه‌های قرمز ایجاد شده است که به گروه خونی این افراد مثبت (+) می‌گویند.

در این صفت، ژن d فاقد توانایی ایجاد پروتئین D می‌باشد (*بطور کلی ژن d، هیچ پروتئینی نمی‌سازد*). همان‌طور که می‌دانید در این صفت دو اللی (D و d) ژنوتیپ‌های DD و Dd که به ترتیب بارز خالص و بارز ناخالص هستند می‌توانند پروتئین D را در سطح گویچه‌های قرمز بسازند و گروه خونی فرد را Rh مثبت کند ولی افرادی که ژنوتیپ خالص نهفته (dd) دارند، هر دو ژن آن‌ها فاقد قدرت تولید پروتئین D در سطح گویچهٔ قرمز می‌باشد که به آن‌ها افراد دارای گروه خونی Rh منفی می‌گویند.

ژنوتیپ	فنوتیپ
DD	گروه خونی +
Dd	گروه خونی +
dd	گروه خونی −

انواع ژنوتیپ و فنوتیپ گروه خونی Rh



«مبنای گروه خونی Rh پروتئین D»

چندنکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

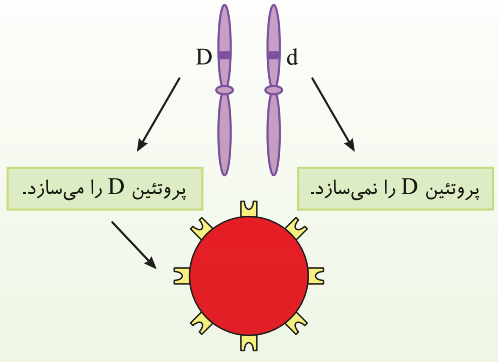
۱) در بیشتر بدانید آمده است که **Rh برگرفته از نام میمونی به نام رزوس** (Rhesus) **است که گروه خونی Rh اولین‌بار از این نوع میمون کشف شده است.**

۲) افراد Rh مثبت ناخالص، به صورت Dd، دو ژن مربوط به صفت Rh دارند که در نهایت با توجه به رابطهٔ بارز و نهفتگی، الل بارز، پروتئین D را روی سطح گویچه‌های قرمز ایجاد می‌کنند. دقت کنید که فقط ژن D قدرت بیان و تولید پروتئین D دارد و ژن d در هیچ فردی بیان نمی‌شود و هیچ رنا یا پروتئینی نمی‌سازد.

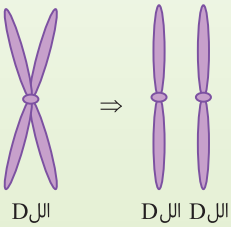
۳) تعداد پروتئین‌های D موجود در سطح گویچه‌های قرمز فرد DD با Dd **برابر** می‌باشد ولی در افراد ناخالص، همهٔ پروتئین‌های Rh ، محصول فعالیت یک ژن می‌باشد.

۴) دقت کنید که با توجه به شکل روبه‌رو در کروموزوم‌های حاوی الل‌های Rh یا گروه خونی، حتی وقتی کروموزومی را به صورت مضاعف شده کشیده است، باز هم هر کروموزوم را حاوی یک الل می‌داند.

۵) حتماً می‌دانید که گویچهٔ قرمز **نابالغ** دارای هسته و ژن می‌باشد ولی در حالت بلوغ در مغز استخوان فاقد هسته و دنا می‌شود و سپس وارد خون می‌شود. پس هر گویچهٔ بالغ، فاقد الل و ژن برای Rh یا هر صفت دیگر می‌باشد و اگر RNAای برای تولید پروتئین دارد، باید قبل از بالغ شدن ذخیره شده باشند.



«توضیح رابطهٔ بارز و نهفتگی بین الل‌های گروه خونی Rh»



تست ۶ **در افرادی که ژن‌نمود ناخالص Rh دارند (Dd)، .....**

۱) هر دو ژن مسئول Rh آن‌ها رونویسی می‌شود ولی یکی ترجمه می‌شود.

۲) فقط یک ژن مسئول Rh در آن‌ها رونویسی و ترجمه می‌شود.

۳) همهٔ گویچه‌های قرمز آن‌ها ژن تولید پروتئین D دارند.

۴) هر گویچهٔ خونی آن‌ها حاوی پروتئین D می‌باشد.

پاسخ ۲ فردی که Rh مثبت ناخالص (Dd) می‌باشد، در جفت فام‌تن اول خود، یک ژن D فعال دارد که در اثر رونویسی و ترجمه، پروتئین D را روی سطح گویچه‌های **قرمز** فرد ایجاد می‌کند ولی ژن دیگر آن نهفته یا مغلوب (d) می‌باشد که رونویسی و ترجمه نمی‌شود.

نکته: همهٔ گویچه‌های قرمز این فرد، حاوی پروتئین D برای Rh می‌باشند ولی **ژن آن را ندارند** (*نادرستی گزینهٔ ۳*). ولی دقت کنید که در خون، علاوه بر گویچهٔ قرمز، نوعی گویچهٔ دیگر دفاعی به نام **گویچهٔ سفید** هم دارد. این گویچه‌ها برخلاف گویچهٔ قرمز، هسته دارند و حاوی هر دو دگره Rh می‌باشند ولی این ژن‌ها در گویچه‌های سفید، رونویسی، ترجمه یا به عبارتی بیان نمی‌شوند و در سطح این یاخته‌ها، زائده گروه خونی وجود ندارد (*نادرستی گزینهٔ (۱) و (۴)*).

ب) صفات تک‌جایگاهی چند اللی (چند ژنی)

تا اینجا متوجه شدیم که صفات تک‌جایگاهی، توسط ژن‌هایی به ارث می‌رسند که در یاخته‌های پیکری دیپلوئید و تک‌هسته‌ای **هر فرد** دو عدد ژن یا الل دارند (*البته اگر ژن‌ها روی کروموزوم X باشد، در افراد XY دارای یک الل می‌باشند*). از **صفات تک‌جایگاهی** نمونه‌هایی که در طبیعت دارای فقط دو ژن می‌باشند را مثل گروه خونی Rh با رابطهٔ بارز و نهفتگی یا رنگ گل میمونی با رابطهٔ بارزیت ناقص شناختیم. در این قسمت می‌خواهیم نمونه‌ای از **صفات تک‌جایگاهی** را بررسی کنیم که به **صفات n اللی یا الل‌های چندگانه** معروف می‌باشند.

◀ امیدوارم تا الان متوجه شده باشید که به حالت‌های مختلف یک ژن در یک جفت کروموزوم، می‌توان واژه الل اطلاق کرد و الل‌ها وقتی مفهوم پیدا می‌کنند که می‌توانند در کروموزوم‌های همتا، در جایگاه‌های یکسان و روبه‌روی هم قرار بگیرند.

● تعریف صفات n اللی (چند اللی = الل‌های چندگانه) = چندگره‌ای

صفات n اللی، صفاتی هستند که در کل جامعه دارای n نوع ژن الل می‌باشد که همگی در **جایگاه یکسانی** قرار می‌گیرند. یعنی هرکدام می‌توانند در جایگاه یکسانی از کروموزوم‌های همتا در روبه‌روی همدیگر قرار بگیرند. این ژن‌ها، برحسب رابطهٔ بارز و نهفتگی، هم‌توانی یا بارزیت ناقصی که با هم دارند، سبب ایجاد شکل‌های خاصی از آن صفت می‌شوند. دقت کنید که در صفات n اللی جامعه، تعدادی الل‌های مختلف وجود دارد ولی هر فرد باز هم **نمی‌تواند** در هر هسته یاخته‌های پیکری ۲n خود، بیشتر از دو تا الل (*دوتایی*) برای آن صفت داشته باشد، **چون هر فرد ۲n ، برای هر کروموزوم فقط یک کروموزوم همتای دیگر دارد.**

◀ برای درک بهتر صفت چند اللی، دقت کنید که به‌طور مثال اگر وراثت صفتی تحت کنترل ۳ ژن باشد که با هم الل هستند، یعنی در جامعه برای به ارث رسیدن این صفت ۳ الل مثلاً A_1 ، A_2 و A_3 وجود دارد که این ۳ الل می‌توانند روی یک جایگاه از یک جفت کروموزوم **همتای** هر فردی قرار بگیرند. در حالتی که ژن‌های این صفت روی کروموزوم‌های غیرجنسی باشند، به این صفات، مستقل از جنس یا غیرجنسی می‌گویند و هر فرد می‌تواند یکی از ۶ حالت ژنوتیپی خالص (A_1A_1 ، A_2A_2 و A_3A_3) و ناخالص (A_1A_2 ، A_1A_3 و A_2A_3) را داشته باشد. به تعداد انواع ژن‌ها یا الل‌ها یعنی ۳ حالت اول خالص بوده و در سایر حالات ناخالص هستند. **دقت کنید که یاخته‌های هاپلوئید این جاندار مثل گامت‌ها چون n کروموزومی هستند و فاقد کروموزوم همتا می‌باشند دارای ۳ نوع ژنوتیپ، A_1 یا A_2 یا A_3 می‌باشند.**

◀ انواع فنوتیپ‌هایی که می‌توان برای این صفت در جامعه متصور شد، بستگی به روابط بین الل‌های آن‌ها دارد، مثلاً در این مثال اگر الل A_1 بر سایر الل‌ها غالب (*برتر*) باشد ولی بین A_2 و A_3 رابطهٔ بارز و نهفتگی برقرار نباشد، در این صورت افراد A_1A_1 ، A_1A_2 و A_1A_3 فنوتیپ A_1 را نشان می‌دهند. افراد A_2A_2 فنوتیپ A_2 را نشان می‌دهند و افراد A_3A_3 فنوتیپ A_3 را نشان می‌دهند ولی افراد A_2A_3 چون بین الل‌های آن‌ها رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود ندارد، برحسب رابطه بین آن‌ها می‌توانند حالت **هم‌توانی یا بارزیت ناقص** را در فنوتیپ خود نشان دهند.

پس به‌طور خلاصه در این صفت ۳ اللی غیرجنسی (مستقل از جنس) براساس روابط بالا:

$A_1\ A_2\ A_3$

الف) تعداد جایگاه ژن‌ها ⇐ یک عدد در **جای مشخصی** از یک جفت کروموزوم **همتا** می‌باشد.

ب) تعداد ژن‌ها یا الل‌ها ⇐ ۳ عدد می‌باشد. ← $(A_3 - A_2 - A_1)$

ج) تعداد انواع ژنوتیپ‌ها ⇐ ۶ نوع می‌باشد. ← $(\underbrace{A_2A_3}_{} - \underbrace{A_3A_3}_{} - \underbrace{A_2A_2}_{} - \underbrace{A_1A_3 - A_1A_2 - A_1A_1}_{})$

د) تعداد انواع فنوتیپ‌ها ⇐ ۴ نوع می‌باشد. ← $(A_2A_3 - \underbrace{A_3}_{} - \underbrace{A_2}_{} - \underbrace{A_1}_{})$

ه) تعداد انواع ژنوتیپ‌های خالص ⇐ به تعداد انواع الل‌ها یعنی ۳ نوع می‌باشد. $(A_3A_3 - A_2A_2 - A_1A_1)$

و) تعداد انواع ژنوتیپ‌های ناخالص ⇐ ۳ نوع دیگر می‌باشند. $(A_2A_3 - A_1A_3 - A_1A_2)$

◀ لازم به ذکر است که در این صفات، تعداد انواع ژنوتیپ خالص، به تعداد انواع الل‌هاست ولی در مورد ناخالص‌ها، نمی‌توانیم نظری بدهیم و در هر صفت متفاوت است.

تعداد الل‌های صفات در جانداران مختلف

نکته

اگر یاخته یا یاخته‌های پیکری جانداری حاوی **n ردیف** کروموزوم و به صورت **پلی‌پلوئید** باشد، مثل موز تریپلوئید ۳n (سه ردیف کروموزوم دارد) یا گندم هگزاپلوئید ۶n (۶ ردیف کروموزوم دارد)، در این صورت هر یاخته پیکری موز برای صفت تک‌جایگاهی (با هر تعداد الل در جامعه)، دارای ۳ الل و گندم ۶n دارای ۶ الل می‌باشد. **در حقیقت در هر یاخته یا هسته‌ای، ضریب یا عدد قبل از n بیانگر تعداد الل‌های هر صفت تک‌جایگاهی در حالت غیرجنسی می‌باشد.**

نکته مهم

در حل تمرین‌ها و تست‌ها، کروموزوم‌های یاخته را تک‌کروماتیدی و دارای یک مولکول دنا در نظر می‌گیریم. مگر اینکه مضاعف بودن کروموزوم‌های آن مشخص باشد. در این حالت هر کروموزوم مضاعف شده دارای دو مولکول دنا و دو ژن یکسان از هر صفت تک‌جایگاهی می‌باشد. در هر صورت به‌طور معمول در کنکور به تعداد ضریب n در عدد کروموزومی یاخته، تعداد ژن برای آن جایگاه ژنی وجود دارد (حتماً به خاطر دارید که فقط الل فقط برای کروموزوم‌های همتا به کار می‌رود).

تمرین ۱: اگر صفتی مستقل از جنس در انسان دارای ۴ ژن الل در یک جامعه باشد، علاوه بر این صفت، با در نظر گرفتن صفت Rh، هر یاخته اسپرماتوگونی، اسپرماتید، اولین گویچه قطبی گویچهٔ قرمز بالغ و یاخته ماهیچه دوسر بازوی ۴ هسته‌ای برای این صفات مجموعاً، حداقل چند الل و چند ژن دارند؟

پاسخ: در این سؤال دقت کنید که دو صفت را مطرح کرده است یکی گروه خونی Rh که می‌دانید صفتی تک‌جایگاهی تحت کنترل دو الل D و d می‌باشد و صفت دیگر دارای ۴ ژن الل می‌باشد.

۱) اسپرماتوگونی یاخته‌ای **دیپلوئید** می‌باشد که برای هر صفت مستقل از جنس (غیرجنسی) دارای ۲ ژن الل در یک جایگاه می‌باشد. پس ۲ الل برای Rh و ۲ الل برای صفت دیگر دارد که مجموعاً ۴ الل می‌شود (این یاخته در حالت مضاعف از هر الل دو نسخهٔ مشابه روی کروماتیدهای خواهری دارد).

۲) اسپرماتید یاخته‌ای **هاپلوئید (n)** و تک‌کروماتیدی می‌باشد که برای هرکدام از این دو صفت **یک الل یا ژن** دارد پس مجموعاً دو الل و دو ژن از این دو صفت را منتقل می‌کند.

۳) اولین گویچه قطبی، محصول میوز ۱ بوده و یاخته‌ای هاپلوئید با کروموزوم‌های مضاعف می‌باشد. پس برای Rh دارای یک الل ولی دو ژن مشابه و برای صفت دیگر نیز به همین صورت می‌باشد. پس کلاً چهار ژن و دو الل برای این صفات دارد.

۴) گویچهٔ قرمز بالغ فاقد هسته می‌باشد و اصلاً ژنی را حمل نمی‌کند.

۵) یاخته ماهیچه اسکلتی چند هسته دیپلوئید (۲n) دارد. وقتی این یاخته ۴ هسته‌ای باشد، برای هر هسته آن ۲ الل برای Rh و ۲ الل نیز برای صفت دیگر دارد. پس هر هسته آن حامل ۴ الل برای این دو صفت می‌باشد که ۴ هسته مجموعاً دارای ۱۶ الل در مورد این دو صفت می‌باشد.

نکته

یاخته‌هایی مثل نورون‌ها، ماهیچه اسکلتی، لنفوسیت‌های عمل‌کننده (پلاسموسیت و T کشنده) چون میتوز ندارند، همواره کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی دارند و هر الل آن‌ها در یک ژن می‌باشد.

بررسی انواع الل‌های صفات وابسته به جنس

نکته

صفاتی که ژن آن‌ها روی کروموزوم‌های جنسی قرار دارد، به صفات وابسته به جنس معروف هستند. این صفات می‌توانند ژن‌هایی روی کروموزوم X یا Y داشته باشند. در صورتی که ژن آن‌ها روی کروموزوم X باشد، تعداد الل‌های مربوط به آن‌ها در جاندار XX همانند صفات غیرجنسی محاسبه می‌شود، چون دو کروموزوم X با هم همتا می‌باشند ولی در یاخته‌های XY برای این صفات یک الل وجود دارد که یا روی X و یا روی Y قرار دارد (البته اگر صفت وابسته به Y باشد، یاخته XX فاقد الل برای این صفات می‌باشد).

مثال: اگر در انسان، صفتی تک‌جایگاهی در جامعه دارای ۳ ژن الل باشد که جایگاه ژنومی آن‌ها روی کروموزوم‌های X است، هر یاخته اسپرماتوسیت اولیه، اسپرماتید، یاخته لاله گوش زنان و اولین گویچه قطبی افراد در این صفت چند الل دارد؟

پاسخ: این صفت تک‌جایگاهی، در جامعه دارای ۳ ژن الل روی کروموزوم‌های X می‌باشد. در زنان که XX هستند، هر یاخته ۲n آن‌ها مثل اووگونی یا یاخته غضروفی لالهٔ گوش، **دو الل** برای این صفت دارند که می‌تواند به صورت $X^{A_1}X^{A_1}$، $X^{A_1}X^{A_2}$ و... وجود داشته باشد. در یاخته هاپلوئید زنان (مثل اووسیت ثانویه، تخمک یا گویچه‌های قطبی) که فقط یک کروموزوم X وجود دارد برای این صفت **یک الل** A_1 یا A_2 یا A_3 را روی این کروموزوم جنسی دارند.

(دوستان عزیز برای این صفات تمام نکات در افراد XX مانند حالت مستقل از جنس مثل گروه خونی Rh است فقط در مثال الل را با نشان دادن کروموزوم به صورت X^AX^A یا X^AX^a و یا X^aX^a نشان می‌دهیم.)

در مردان (XY): در مردان قضیه کمی متفاوت است. یاخته‌های پیکری دیپلوئید آن‌ها مثل لاله گوش، اسپرماتوگونی، اسپرماتوسیت اولیه و... دو کروموزوم جنسی غیرهمتای XY دارند. چون ژن این صفت فقط روی کروموزوم X می‌باشد، پس برای این صفت **یک الل** یعنی به تعداد کروموزوم X خود دارند.

نکته

نصف یاخته‌های هاپلوئید در مردان مثل اسپرماتوسیت ثانویه یا اسپرماتید یا اسپرم، دارای **یک** کروموزوم X هستند و یک الل از این صفت دارند و نصف دیگر که کروموزوم Y دارند، در این صورت **فاقد** این الل یا ژن می‌باشند.

تمرین ۲: در بررسی هم‌زمان دو صفت تک‌جایگاهی در انسان که اولی وابسته به X تحت کنترل ۳ الل و دومی تحت کنترل ۴ الل مستقل از جنس است، هر یاخته لنفوسیتی زن و مرد، گویچهٔ قطبی ثانویه و اسپرماتوسیت ثانویه در جامعه برای این دو صفت مجموعاً چند الل دارد؟

پاسخ: فکر کنم دیگه بعد از این تمرین سخت و حل تست‌های کتاب در این گفتار کاملاً به این مطلب چند اللی‌ها مسلط شوید!! (ان‌شاءالله)

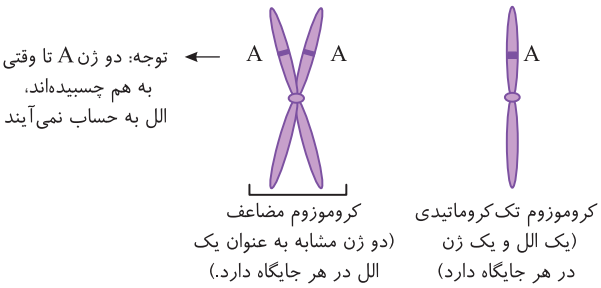
در این سؤال صفت اول ۳ اللی وابسته به X است که در یاخته‌های XX دارای دو الل، در یاخته‌های هاپلوئید Xدار دارای یک الل و در یاخته هاپلوئید Yدار فاقد الل می‌باشد. صفت دیگر مستقل از جنس است و یاخته ۲n دارای دو ژن الل و یاخته هاپلوئید دارای یک الل از آن می‌باشد. حتماً به یاد دارید که اصلاً به چند اللی بودن این صفت در جامعه کاری نداریم. مهم این است که این صفت تحت کنترل **یک جایگاه ژنی** می‌باشد.

الف) لنفوسیت زنان: لنفوسیت، یاخته‌ای هسته‌دار ۲n می‌باشد که در زنان دو کروموزوم X دارد پس برای صفت وابسته به X دارای دو الل و برای صفت مستقل از جنس نیز ۲ الل دارد که مجموعاً **۴ الل** می‌شود.

ب) لنفوسیت مردان: در مردان، هسته لنفوسیت دارای کروموزوم‌های جنسی XY می‌باشند و برای صفت وابسته به X، یک الل و برای صفت مستقل از جنس ۲ الل روی یک جفت کروموزوم غیرجنسی دارد، پس کلاً **۳ الل** برای این دو صفت دارد.

ج) گویچه‌های قطبی: اگر خاطرتان باشد، گویچهٔ قطبی اول و دوم حاصل تقسیمات میوز ۱ و ۲ مادر می‌باشند و هر دو هاپلوئید و حاوی یک کروموزوم X هستند. پس یک الل برای صفت وابسته به X و یک الل برای صفت مستقل از جنس دارند، یعنی مجموعاً **دو الل** در این دو صفت در گویچهٔ قطبی دوم که تک‌کروماتیدی است وجود دارد. گویچهٔ قطبی اول که حاوی کروموزوم‌های مضاعف می‌باشد، برای هر صفت در هر دنای خود دو ژن مشابه و مجموعاً برای دو صفت چهار ژن دارد که **دو نوع الل** به حساب می‌آیند.

د) اسپرماتوسیت ثانویه: این یاخته هاپلوئید مضاعف شده در مردان، ۲۲ کروموزوم غیرجنسی مضاعف به همراه یک کروموزوم جنسی X یا Y دارد. اگر این یاخته Xدار باشد، یک جفت ژن مشابه برای صفت غیرجنسی و یک جفت ژن مشابه دیگر برای صفت وابسته به X دارد که مجموعاً **۴** ژن ولی **دو الل** می‌شود ولی اگر Yدار باشد، در صفت وابسته به X اللی ندارد و فقط یک جفت ژن مشابه برای صفت غیرجنسی یا مستقل از جنس دارد که دارای کلاً **یک الل** برای این دو صفت است.



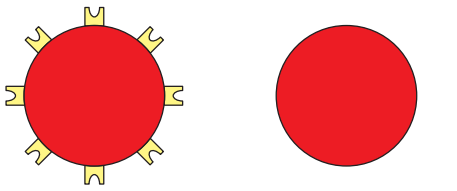
گروه خونی ABO

بارها شنیدید که از شما می‌پرسند که گروه خونی شما چیست و اگر آن را بدانید سریع مثلاً می‌گویید، **من** B^+ **هستم** (*حالا واقعاً گروه خونی من اشکان هاشمی* B^+ *است*). راستی شما چه گروه خونی دارید؟ مثلاً ممکن است جواب دهید که AB^- **هستم.** در قسمت Rh توضیح دادیم که گروه خونی دو حالت دارد یکی گروه خونی ساده Rh که صفتی دو اللی بود که ژن‌های آن روی جفت **کروموزوم مستقل از جنس شماره ۱** قرار داشت و دارای سه نوع ژنوتیپ DD ، Dd یا dd و دو نوع فنوتیپ مثبت (DD یا Dd) و منفی (dd) می‌باشد. این صفت برحسب **پروتئین** D در سطح غشای گویچهٔ قرمز افراد دارای گروه خونی مثبت و عدم آن در افراد گروه خونی منفی می‌باشد. در اینجا می‌خواهیم نوع معروف‌تری از گروه خونی به نام سیستم ABO را مطالعه کنیم **که در حقیقت صفت دیگری به غیر از Rh می‌باشد ولی معمولاً با هم بررسی می‌شوند.**

گروه خونی ABO صفتی مستقل از جنس (*غیرجنسی*) و تک‌جایگاهی است که در کل جامعه انسانی، توسط ۳ ژن الل به نام‌های A ، B و O کنترل می‌شود که جایگاه ژن‌های آن **روی کروموزوم شماره ۹** می‌باشد. همان‌طور که در صفات n اللی توضیح دادیم برای این صفت نیز هر فرد باید حداقل و حداکثر **۲ دگره** (الل) در یاخته‌های **دیپلوئید پیکری تک‌هسته‌ای** خود داشته باشد. این صفت در هر جمعیتی می‌تواند ۶ نوع ژنوتیپ مختلف داشته باشد که به صورت‌های AA ، AO ، BB ، BO ، AB و OO دیده می‌شوند.

گروه خونی ABO بر چه مبنایی نام‌گذاری شده است؟!

در گروه خونی Rh مشاهده کردید که دو نوع ژن D و d در جامعه وجود داشت که این صفت را کنترل می‌کرد. یکی از این ژن‌ها بارز D است که در افراد دارای ژنوتیپ DD یا Dd یا Rh مثبت‌ها، قادر به ساخت پروتئین D در سطح غشای گویچه‌های قرمز می‌باشد و یکی ژن d که قادر به ساخت پروتئین D نبود. در حقیقت افراد دارای گروه خونی Rh منفی که همواره ژنوتیپ خالص نهفته dd دارند، پروتئین D را در سطح گویچه‌های قرمز خونی خود ندارند.



«مبنای گروه خونی Rh پروتئین D»

- در سیستم گروه خونی ABO به جای پروتئین در سطح غشای گویچه‌های قرمز، صحبت از اضافه شدن **کربوهیدرات‌هایی** به نام **A یا B** در سطح **غشای** این یاخته‌های خونی می‌شود. در حقیقت اضافه شدن این قندها به گویچهٔ قرمز به فعالیت ۳ نوع ژن الل در جایگاه خاصی از کروموزوم شماره ۹ انسان وابسته می‌باشد. این ژن‌ها همانند Rh روی کروموزوم **غیرجنسی** قرار دارند و بروز آن‌ها در زنان و مردان از الگوی یکسانی تبعیت می‌کند.
- اگر ژن یا الل A در فرد وجود داشته باشد، یعنی این ژن در آن فرد بیان می‌شود و طی رونویسی و سپس ترجمه **آنزیمی به نام A می‌سازد.** این آنزیم سبب **اضافه کردن** کربوهیدرات A در سطح غشای گویچه‌های قرمز آن فرد می‌شود (*مثلاً کربوهیدرات A را با دایره (●) در نظر بگیریم*).
- اگر ژن یا الل B در فرد وجود داشته باشد، یعنی این ژن در آن فرد بیان شده و رونویسی و سپس ترجمه می‌شود و **آنزیم B را می‌سازد.** این آنزیم در سطح گویچه‌های قرمز، کربوهیدرات B را **اضافه می‌کند** که شکل این کربوهیدرات با نوع A متفاوت است (*مثلاً کربوهیدرات B را با مربع (■) در نظر بگیریم*).
- ژن یا الل O نوعی از ژن‌ها می‌باشد که قادر به ساخت هیچ کدام از آنزیم‌های اضافه کننده کربوهیدارت‌های A و B نبوده است، یعنی این الل نمی‌تواند سبب اضافه شدن کربوهیدرات A یا B روی غشای گویچه‌های قرمز شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دقت کنید که این کربوهیدرات‌ها در بدن هر کسی می‌توانند وجود داشته باشند ولی هر فرد برحسب آنزیم‌های A یا B که دارد، می‌تواند این عوامل را روی غشای گویچهٔ قرمز اضافه کند یا نکند.

۲) از فصل قبل به یاد دارید که رمزهای وراثتی روی ژن‌ها برای ساخت RNA و پروتئین به کار می‌روند ولی کربوهیدرات‌ها و لیپیدها، رمز وراثتی خاصی روی DNA ندارند. در صفت گروه خونی ABO نیز متوجه شدید که ژن ابتدا آنزیم پروتئینی خاصی را می‌سازد که آن آنزیم در اضافه کردن کربوهیدرات‌های گروه خونی مؤثر است (*در حقیقت این کربوهیدرات‌ها، پیش‌مادهٔ این آنزیم‌ها هستند*).

۳) از آنجایی که دو کروموزوم جفت ۹ با هم همتا می‌باشند، هر فرد برای گروه خونی ABO دارای دو الل می‌باشد. همان‌طور که گفتیم در جامعه ۶ نوع ژنوتیپ مختلف AA، AO، BB، BO، AB و OO در افراد محتمل می‌باشد.

در ادامه باید ببینیم این سه الل چه رابطه‌ای از نظر بارز و نهفتگی یا عدم آن با هم دارند؟

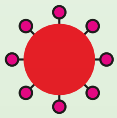
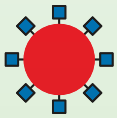
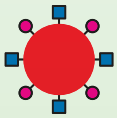
رابطهٔ بین الل‌های گروه خونی ABO و انواع فنوتیپ‌ها

وقتی محققین به بررسی گویچه‌های قرمز افراد مختلف جامعه پرداختند متوجه شدند که **۴ نوع گویچهٔ قرمز** در افراد جامعه، برحسب داشتن یا نداشتن کربوهیدرات‌های A و B گروه خونی ABO وجود دارد. در حقیقت ۴ نوع فنوتیپ برای این صفت ۳ الل در جامعه دیده می‌شود. نتیجه بررسی‌ها نشان داد که الل‌ها یا ژن‌های A و B به ژن O بارز یا غالب می‌باشند به همین دلیل افرادی که ژنوتیپ‌های AA یا AO دارند، گروه خونی A دارند و روی سطح گویچهٔ قرمز آن‌ها **فقط کربوهیدرات A** وجود دارد. همچنین افرادی با ژنوتیپ BB و BO نیز دارای گروه خونی B می‌باشند و روی سطح گویچهٔ قرمز آن‌ها **فقط کربوهیدرات B** وجود دارد. افرادی که گروه خونی با ژنوتیپ OO دارند نیز هیچ کدام از این دو کربوهیدرات را در سطح گویچهٔ قرمز خود ندارند چون هر دو الل آن‌ها فاقد قدرت ساخت آنزیم A یا B برای اضافه کردن این کربوهیدرات‌ها می‌باشد و به این افراد گروه خونی O اطلاق می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در سطح غشای گویچهٔ قرمز و به سمت بیرون یاخته همواره کربوهیدرات‌های مختلفی در تماس با برخی پروتئین‌ها و فسفولیپیدها وجود دارد. در این قسمت صرفاً در مورد کربوهیدرات‌های A و B گروه خونی در حال بحث هستیم.

۲) افراد دارای گروه خونی AB دارای دو ژن الل هستند که یکی آنزیم A را می‌سازد و کربوهیدرات A را روی گویچه‌های قرمز قرار می‌دهد و دیگری ژن B بوده که آنزیم B را ساخته که سبب اضافه کردن کربوهیدرات B نیز روی غشای گویچه‌های قرمز می‌شوند. **این دو الل زورشان به هم نمی‌رسد** و **هم‌توانند،** پس هر دو با هم بروز می‌یابند و فنوتیپ و ژنوتیپ AB را در گروه خونی فرزندان ایجاد می‌کنند (*چون هرکدام از ژن‌های A و B توسط اسپرم و تخمک یک والد به ارث رسیده‌اند*).

	گروه خونی A	گروه خونی B	گروه خونی AB	گروه خونی O
گویچهٔ قرمز				
نوع کربوهیدرات گویچهٔ قرمز	A	B	B و A	هیچ کدام

۳) صفت ۳ اللی تک‌جایگاهی گروه خونی ABO، دارای ۳ ژن یا الل روی کروموزوم **غیرجنسی** می‌باشد. الل‌های A و B به O بارز می‌باشند ولی بین ژن‌ها (الل‌ها)ی A و B رابطهٔ **هم‌توانی** وجود دارد. به همین دلیل ژنتیک‌دانان الل‌های سیستم گروه خونی ABO را به صورت (I^A ، I^B و i) نیز نشان می‌دهند. در این مدل i بیانگر الل O و نهفته بودن آن است ولی دو الل I^A و I^B نسبت به هم رابطهٔ هم‌توانی دارند (*در این کتاب الل نهفته را به صورت O نشان می‌دهیم*).

۴) گروه خونی ABO که در جمعیت دارای سه اللی می‌باشد:

الف) ۶ نوع ژنوتیپ دارد، که ۳ نوع خالص AA ، BB و OO و ۳ نوع ناخالص AO ، BO و AB دارد.

ب) ۴ نوع فنوتیپ دارد که به صورت A(AO–AA) ، B(BO–BB) ، AB و O می‌باشد.



تست ۷ **فردی که کدام حالت‌های زیر را دارد، قطعاً در همهٔ صفات مورد نظر ناخالص می‌باشد؟**

۱) موی صاف با گویچهٔ قرمزی فاقد کربوهیدرات A، B و پروتئین D

۲) موی موج‌دار با گویچهٔ قرمزی حاوی کربوهیدرات A و پروتئین D

۳) موی فر با گویچهٔ قرمز حاوی کربوهیدرات A و B ولی فاقد پروتئین D

۴) موی موج‌دار همراه با یاخته‌ای از مغز استخوان که از ۴ ژن مربوط به گروه خونی، ۲ ژن هم‌توان و فقط ۱ ژن بارز فعال دارد.

پاسخ ۴ در ایـن عبـارت موی موج‌دار، قطعاً ناخالص و به صورت RW می‌باشـد. از طرفی گـروه خونی هم‌توان ناخالص AB دارد و صفت Rh نیز وقتی یک ژن بارز فعال دارد یعنی Dd می‌باشد. این فرد در هر سه حالت قطعاً ناخالص است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): موی صاف قطعاً خالص WW است. / گزینهٔ (۲): پروتئین D می‌تواند در فرد DD نیز بروز یابد (*یا مثلاً کربوهیدرات A می‌تواند در فرد AA بشد*). / گزینهٔ (۳): موی فر، قطعاً خالص RR است.

تست ۸ **دگره‌ای از گروه خونی ABO که هیچ آنزیمی نمی‌سازد، قطعاً .....**

۱) در برخی افراد خالص و ناخالص مشاهده می‌شود.

۲) می‌تواند ویژگی خود را در مقابل دگره‌ای که آنزیم می‌سازد، بروز دهد.

۳) در گروه خونی دارای Rh مثبت خالص دیده نمی‌شود.

۴) به صورت ناخالص با دگره i گروه خونی قرار می‌گیرد.

پاسخ ۱ منظور سؤال دگره O یا i می‌باشد که نسبت به دو دگره A و B نهفته می‌باشند. این دگره، ژن فعالی برای تولید آنزیم اضافه‌کننده کربوهیدرات‌های گروه خونی نمی‌باشد. این دگره در افراد خالص OO یا ناخالص AO یا BO مشاهده می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): این دگره نهفته است و در مقابل دگره متقابل A یا B بارز نمی‌شود. / گزینهٔ (۳): دگره‌های گروه خونی ABO ربطی به دگره‌های Rh و سـایر صفات ندارند (*این دو نوع گروه خونی، دو صفت مـستقل هـستند*). / گزینهٔ (۴): دگره i(O) وقتی با i(O) دیگری در یک فرد قرار گیرد به صورت خالص OO درمی‌آید و همیشه ناخالص نیست.

دوسـتان عزیزم حالا که درسـنامه گفتار ۱ را به‌طور کامل مطالعه کردید، با دقت و بدون در نظر گرفتن زمان، یکی‌یکی تسـت‌های گفتار ۱ این کتاب را حل کنید و تحلیل کنید و حتماً حتماً پاسخنامهٔ تشریحی آن را بررسی کنید. اگر می‌بینید تعداد تست‌ها زیاد است می‌توانید ابتدا تست‌های ضریب زوج را بزنید و برای دوره در ماه‌های بعد، تست‌های ضریب فرد را بزنید.

درسنامه

گفتار ۲

انواع صفات

ژن‌شناسان (ژنتیک‌دان‌ها)، صفات مختلف ارثی را برحسب عوامل متعددی، تقسیم‌بندی می‌کنند. این عوامل می‌توانند، محل قرارگیری ژن‌های صفات، کمیت یا کیفیت‌های شکل‌های مختلف یک صفت در جامعه، تک‌جایگاهی یا چندجایگاهی بودن آن‌ها و تحت تأثیر محیط بودن یا نبودن آن‌ها باشد. در ادامه به بررسی انواع صفات برحسب عوامل مختلف می‌پردازیم.

تقسیم‌بندی انواع صفات

- ۱) برحسب جایگاه قرارگیری ژن‌های صفات
  - صفات مستقل از جنس (غیرجنسی) یا مستقل از جنس
  - صفات وابسته به جنس ← (وابسته به کروموزوم X یا Y)
- ۲) برحسب شکل‌ها و کمیت‌های مختلف یک صفت
  - صفات پیوسته ← طول قد
  - صفات گسسته (ناپیوسته) ← حالت مو
- ۳) برحسب اثر محیط روی صفات
  - تحت تأثیر عوامل محیطی ← رنگ گلبرگ گل ادریسی
  - غیروابسته به عوامل محیطی ← حالت لالهٔ گوش
- ۴) برحسب تعداد جایگاه ژن صفات
  - تک‌جایگاهی
    - دو اللی ← گروه خونی Rh
    - چند اللی ← گروه خونی ABO
  - چندجایگاهی ← رنگ دانه‌های نوعی ذرت

۱) تقسیم‌بندی انواع صفات برحسب جایگاه ژن

در گفتار قبل بارها در مورد این موضوع صحبت کردیم که به دلیل وجود دو نوع کروموزوم غیرجنسی و جنسی در هستهٔ جانوران، صفات آن‌ها نیز به دو نوع غیرجنسی و جنسی تبدیل می‌شوند. در این قسمت به بررسی نکات و نحوهٔ به ارث رسیدن صفات مستقل از جنس و وابسته به جنس می‌پردازیم.

● الف) صفات مستقل از جنس (غیرجنسی)

این صفات توسط ژن یا ژن‌هایی کنترل می‌شوند که جایگاه آن‌ها روی DNA کروموزوم‌های غیرجنسی می‌باشد. از آنجایی که کروموزوم‌های **غیرجنسی** در نرها و ماده‌های یک گونه، تفاوتی با هم ندارند، نحوهٔ به ارث رسیدن این صفات نیز در زن و مرد یا افراد مختلف یک گونه یکسان می‌باشد. همان‌طور که در گفتار قبل آموختید، صفاتی مثل گروه خونی Rh یا ABO از نوع صفات مستقل از جنس بودند و بروز آن‌ها در زن و مرد تفاوتی نداشت.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) از آنجایی که در یاخته‌های دیپلوئید، هر کروموزوم غیرجنسی فرد، دارای یک کروموزوم همتا می‌باشد، پس برای صفات مستقل از جنس باید در هر جایگاه ژنی، دو الل برای هر فرد در نظر بگیریم. البته در یاخته‌های جنسی (گامت‌ها) که یاخته‌های هاپلوئید هستند و صفت را به نسل بعد منتقل می‌کنند، هر گامت از هر صفت دارای یک الل می‌باشد که با ترکیب ژن مورد نظر با گامت والد دیگر، دوباره ترکیب دیپلوئیدی را در یاخته تخم آن فرزند ایجاد می‌کنند (البته در موارد نادری ممکن است مثلاً گیاه تتراپلوئید با گامت دیپلوئید نیز در طبیعت دیده شود که اصلاً مورد بحث ما نیست).

۲) مثلاً در مورد گروه خونی ABO اگر فردی ژنوتیپ AO برای گروه خونی دارد، در اثر میوز و جدا شدن کروموزوم‌های همتا در آنافاز میوز ۱، می‌تواند در گامت‌های حاصله الل A یا O را به نسل بعد منتقل کند ولی اگر کسی گروه خونی AA داشته باشد، قطعاً هر گامت وی مسئول انتقال الل A برای گروه خونی نسل بعد می‌باشد.

۳) یک صفت مستقل از جنس، می‌تواند در هر جایگاه ژنی خود، بین الل‌های خود رابطه بارز و نهفتگی یا هم‌توانی یا بارزیت ناقص داشته باشد.

بررسی بیماری مستقل از جنس فنیل‌کتونوری (PKU)

این بیماری انسانی، **مستقل از جنس نهفته** می‌باشد که احتمال ابتلا به آن در نوزادان دختر و پسر **یکسان** است. این بیماری ژنتیکی به صورت نهفته aa بروز می‌کند. یعنی این افراد از هر والد خود ژنی را به ارث برده‌اند که این بیماری را به صورت فرد خالص aa ایجاد کرده است. افراد سالم می‌توانند ژنوتیپ AA یا Aa داشته باشند. در افراد سالم، وقتی حداقل یک ژن سالم (A) بیان شود، **آنزیمی** می‌سازد که می‌تواند آمینواسید **ضروری** فنیل‌آلانین **اضافی** را در بدن **تجزیه** کند چون تجمع این آمینواسید به ایجاد ترکیباتی می‌انجامد که می‌تواند به **مغز نوزاد** آسیب برساند و معلولیت ذهنی ایجاد کند. ژن a فاقد قدرت ساخت آنزیم تجزیه‌کننده فنیل‌آلانین می‌باشد و افراد aa فاقد این آنزیم مهم در بدن می‌شوند.

این بیماری نهفته، در بدو تولد علائم آشکاری ندارد ولی تغذیه نوزاد با شیر مادر که حاوی فنیل‌آلانین است سبب **بروز** این بیماری و آسیب مغزی می‌شود. به همین دلیل در بدو تولد، **نوزادان** را تحت آزمایش ژنتیک قرار می‌دهند تا اگر مبتلا به این بیماری باشند، به آن‌ها انواعی از شیرخشک بدهند که **فاقد فنیل‌آلانین** هستند و در رژیم غذایی وی برای آینده از رژیم‌های بدون فنیل‌آلانین یا با مقدار **کم** آن استفاده شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) افراد سالمِ خالص، یعنی AAها فقط می‌توانند یک نوع گامت (A) برای نسل بعد ایجاد کنند. در ادامه می‌خوانیم که هر فرزند این افراد در این صفت امکان ندارد که مبتلا به بیماری فنیل‌کتونوری شود! (چرا؟)

۲) افراد سالم ناخالص این بیماری یا Aa که به آن‌ها **ناقل** می‌گویند، می‌توانند گامت‌های حاوی ژن A یا a ایجاد کنند. پس این افراد با اینکه بیمار نیستند ولی می‌توانند ژن بیماری را به نسل بعد منتقل کنند و فرزند بیمار داشته باشند.

۳) افراد بیمار که همواره خالص نهفته aa هستند، همیشه یک نوع گامت حاوی ژن a برای انتقال بیماری ایجاد می‌کنند و فرزند آن‌ها می‌تواند بیمار باشد یا نباشد.

- انواع بیماری‌های مستقل از جنس در انسان
  - الف) مستقل از جنس نهفته (مغلوب)
    - بروز آن با وجود دو ژن (الل) نهفته (a) می‌باشد (*مثل بیماری فنیل‌کتونوری* aa).
    - احتمال ابتلا به آن‌ها در دختران و پسران **یکسان** است.
    - فرد بیمار در یاخته‌های دیپلوئید خود دو الل (a) مربوط به ژن بیماری را دارد.
    - فقط افراد aa به صورت بیمار شناخته می‌شوند.
    - افراد سالم به دو صورت خالص (AA) و ناخالص یا ناقل (Aa) دیده می‌شوند.
    - می‌توان از لقاح پدر و مادری سالم که ناقل (Aa) بوده‌اند، انتظار داشت که با ترکیب گامت‌های دارای الل a آن‌ها فرزندی بیمار (aa) ایجاد شود ولی اگر پدر و مادر هر دو بیمار (aa) باشند، **قطعاً** فرزند آن‌ها نیز بیمار (aa) خواهد شد.
    - بیماری‌هایی مثل فنیل‌کتونوری، کم‌خونی داسی‌شکل، تالاسمی و... را شامل می‌شوند.
  - ب) مستقل از جنس بارز (غالب)
    - بیانگر یک صفت **بارز** می‌باشد که آن صفت (A) سبب ایجاد بیماری می‌شود (*مثل ایجاد صفت Rh مثبت منتقل می‌شوند*).
    - احتمال ابتلا به این بیماری‌ها در پسر و دختر **برابر** می‌باشد.
    - داشتن حداقل یک ژن یا الل بارز (A) که بروز دهندهٔ بیماری است، سبب ایجاد فرزند بیمار می‌شود.
    - افراد AA بیمار خالص هستند که فقط گامت A ایجاد کرده و هر فرزند خود را بیمار می‌کنند. این افراد دارای دو والد بیمار نیز می‌باشند (*چون هرکس که حداقل یک الل A دارد، بیمار است*).
    - افراد Aa بیمار ناخالص بوده که نصف گامت‌های آن‌ها الل A دارند که فرزندان را بیمار می‌کنند. این افراد حداقل یک والد آن‌ها که الل A داشته است، قطعاً بیمار بوده است.
    - افراد aa سالم خالص هستند و فاقد الل انتقال دهندهٔ بیماری می‌باشند ولی می‌توانند دو والد بیمار ناخالص (Aa) داشته باشند (*در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم*).
    - واژهٔ ناقل در این صفات معنایی ندارد چون ناقل، فردی سالم ناخالص می‌باشد که در صفات نهفته معنا دارد. در این صفات فرد ناخالص، بیمار می‌باشد.
    - اگر پدر و مادری دارای این بیماری به صورت ناخالص (Aa) باشند، می‌توانند فرزندی سالم (aa) ایجاد کنند.

نکته

گامت‌ها در اکثر جانوران، حاصل تقسیم میوز از یاخته‌های دیپلوئید بوده ولی در گیاهان، حاصل تقسیم میتوز از یاخته هاپلوئید می‌باشند (*البته در گیاه گندم زراعی* 6n *، گامت‌ها به صورت* 3n *می‌باشند*).

نکته

دقت کنید که در زنبور عسل نر که هاپلوئید است، اسپرم‌ها در اثر **میتوز** ایجاد می‌شوند. از زیست یازدهم به یاد دارید که زنبور نر حاصل بکرزایی از تقسیم میتوز تخمک بوده است و در تشکیل این جانور لقاحی صورت نگرفته است (*در انتهای این فصل نحوهٔ به ارث رسیدن صفات در زنبور عسل را بحث می‌کنیم*).

● ب) صفات وابسته به جنس

اگر ژنی که در حال بررسی آن باشیم روی DNA موجود در کروموزوم‌های **جنسی** باشد، صفتی که توسط آن ژن کنترل می‌شود را صفت وابسته به جنس می‌گوییم. حال این ژن و صفت اگر روی کروموزوم Y باشد، فقط در مردان آن را بررسی می‌کنیم و در زنان که فاقد این کروموزوم هستند، صفتی بروز نمی‌کند چون ژن آن وجود ندارد. در این حالت، صفت فوق، همواره از پدر به همهٔ پسران منتقل می‌شود. البته **معمولاً وقتی صحبت از صفت وابسته به جنس می‌کنیم، منظور صفاتی هستند که ژن آن روی کروموزوم جنسی X واقع می‌باشد.** در مردان یک کروموزوم X وجود دارد و برای صفات وابسته به X، فقط یک الل وجود دارد و الل یا ژن متقابلی برای آن در کروموزوم **غیرهمتای** Y وجود ندارد. به همین دلیل در مردان، هر ژن و دستورالعملی که روی کروموزوم X باشد در جاندار بروز می‌کند. مثلاً مردی که در صفتی دارای ژن وابسته به X با رابطهٔ هم‌توانی بین الل‌ها می‌باشد، الل آن ژن را به صورت علامت (R یا W) در بالانویس کروموزوم X قرار می‌دهیم، ژنوتیپ X^RY یا X^WY را دارد. پس در مردان نمی‌توان شکل صفت وابسته به X را به صورت هم‌توان (RW) مشاهده کرد. این مرد در صورت داشتن ژنوتیپ X^RY می‌تواند فنوتیپ الل R و در صورت داشتن ژنوتیپ X^WY، فنوتیپ الل W را نشان می‌دهد. صفات وابسته به جنس، در مردان فاقد ژنوتیپ خالص یا ناخالص یا هم‌توان و بارز ناقص می‌باشد چون همواره یک الل دارند.

نکته

دقت کنید که ژن‌های صفات وابسته به جنس و مستقل از جنس در هر نوع یاختهٔ پیکری یا جنسی وجود دارند.

نکته

در سطح کتاب ما، ژنوتیپ X^RY^W نشان دهندهٔ دو صفت مختلف جنسی می‌باشد که یکی روی X و دیگری روی Y می‌باشد پس این ژنوتیپ بیانگر بروز یک صفت هم‌توان یا بارز ناقص نمی‌باشد.

در زنان چون دو کروموزوم X به صورت همتا وجود دارد، همانند صفات مستقل از جنس، دو الل در کروموزوم‌های X همتا قرار می‌گیرند که می‌توانند هر ژنوتیپ و فنوتیپی داشته باشند. مثلاً زنان خالص X^RX^R، فنوتیپ R، زنان خالص X^WX^W، فنوتیپ الل W و زنان X^RX^W با ژنوتیپ ناخالص خود می‌توانند فنوتیپ هم‌توان یا بارز ناقص RW را نشان دهند.

نکته

احتمال بروز یک صفت وابسته به X (*چه بارز، چه نهفته و ...*) در مردان و زنان جامعه متفاوت است چون تعداد ژن‌های آن صفت در مرد و زن مساوی نیست.

تست ۹ **در یک صفت وابسته به جنس و دودگره‌ای اگر رابطهٔ بین دگره‌ها را ..... فرض کنیم، امکان ندارد در ..... ، تعداد انواع ژن‌نمودها و رخ‌نمودها با هم برابر شود.**

۱) بارزیت ناقص - زنان ۲) بارز و نهفتگی - زنان ۳) بارزیت ناقص - مردان ۴) بارز و نهفتگی - مردان

پاسخ ۲ در ادامهٔ این گفتار بارها توضیح خواهیم داد که در صفات وابسته به جنس، مردان یا هر جاندار XY، دارای تعداد ژن‌نمود و رخ‌نمودی برابر با تعداد دگره‌های آن صفت می‌باشد (*ردگذرینهٔ* (۳) و (۴)) ولی در زنان اگر صفت دودگره‌ای بدون رابطهٔ بارز و نهفتگی باشد، ۳ نوع ژن‌نمود و ۳ نوع رخ‌نمود (X^RX^R-X^RX^W-X^WX^W) دیده می‌شود ولی در صورت رابطهٔ بارز و نهفتگی، در زنان، ۳ نوع ژن‌نمود (X^AX^A-X^AX^a-X^aX^a) و ۲ نوع رخ‌نمود بارز (A) و نهفته (a) مشاهده می‌شود.

انواع صفات یا بیماری‌های وابسته به X در انسان

A) نکات صفات یا بیماری‌های وابسته به X نهفته

۱) ژن ایجادکننده این صفات یا بیماری‌ها به صورت الل مغلوب یا نهفته (X^a) منتقل می‌شود.

۲) مردان با داشتن فقط یک الل (X^a) در این صفت یا بیماری، حالت آن بیماری را بروز می‌دهند. چون مرد X^aY یک فرد دارای صفت وابسته به X نهفته می‌باشد که می‌تواند در برخی حالات به صورت نقص و بیماری بروز یابد.

۳) در مردان برای این بیماری‌ها دو نوع ژنوتیپ و فنوتیپ وجود دارد
- X^AY ← مرد سالم و فاقد ژن بیماری
- X^aY ← مرد بیمار و دارای ژن بیماری

۴) در زنان برای این صفت یا بیماری‌ها سه نوع ژنوتیپ خالص و ناخالص و دو نوع فنوتیپ سالم و بیمار وجود دارد
- X^AX^A ← زن سالم خالص که فاقد ژن نهفته است.
- X^AX^a ← زن سالم ناقل که دارای یک ژن بارز و یک ژن نهفته است.
- X^aX^a ← زن نهفته یا بیمار که هر دو ژن آن بیماری را منتقل می‌کند.

۵) در این صفات یا بیماری‌ها دقت کنید که از آمیزش پدر سالم X^AY و مادر سالم ناقل X^AX^a می‌توان احتمال ایجاد پسری بیمار X^aY را داشت.

۶) در این بیماری اگر دختری بیمار X^aX^a باشد، قطعاً یک X^a خود را از پدر گرفته است و پدر وی قطعاً بیمار و به صورت X^aY بوده است. این دختر بیمار (X^aX^a) در آینده با هر مردی (XY) که ازدواج کند، اگر صاحب پسر شود، قطعاً همهٔ پسران او بیمار می‌شوند چون کروموزوم X پسران از مادر آن‌ها تأمین می‌شود. پس این پسر قطعاً از مادرش کروموزوم X^a گرفته و به صورت X^aY و بیمار به دنیا می‌آید.

۷) بیماری‌های **هموفیلی** (*اختلال در لخته شدن خون*) و **کوررنگی** (*اختلال در دید رنگ*) و تعداد زیادی از بیماری‌های ژنتیکی دیگر از این نوع می‌باشند.

۸) این بیماری‌ها در مردان جامعه از زنان شایع‌تر است. چون در مردان وجود یک کروموزوم X با الل بیماری، این افراد را بیمار می‌کند (X^aY) ولی در زنان برای بیمار شدن نیاز به دو الل بیماری و دو کروموزوم X^a دارای الل بیماری وجود دارد. اگر در این بیماری‌ها، زنی دارای ژنوتیپ X^AX^a باشد، چون بیماری از نوع نهفته می‌باشد، این فرد فنوتیپ بارز یا سالم را دارد و به آن زن، **سالم ناقل** گفته می‌شود.

● بیماری هموفیلی (اختلال ارثی در لخته شدن خون)

یک بیماری وابسته به X نهفته می‌باشد که ژن‌های آن در جایگاه خاصی از کروموزوم X وجود دارد. به دلیلی که گفته شد، این بیماری در مردان بیشتر از زنان شیوع دارد و **انواع مختلفی** دارد. فرایند لخته شدن خون آن‌ها دچار اختلال می‌شود. لازم به ذکر است که هموفیلی انواعی دارد که **شایع‌ترین** نوع آن مربوط به فقدان عامل انعقادی ۸ (VIII) خون می‌باشد. الل بیماری را با X^h نشان می‌دهیم که در کروموزوم Y وجود ندارد. در جدول روبه‌رو می‌توانید فنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های افراد مختلف جامعه را نسبت به این بیماری مشاهده کنید.

	زن	مرد
سالم	X^HX^H	X^HY
ناقل	X^HX^h	-
هموفیل	X^hX^h	X^hY

«انواع ژن‌نمودها و رخ‌نمودها برای هموفیلی»

افراد سالم دارای ژنی هستند (X^H) که می‌تواند عامل انعقادی ۸ خون را بسازد و خون آن‌ها در موقع لزوم به طور مناسبی لخته شود ولی افراد بیمار که X^hY و X^hX^h می‌باشند در موقع خونریزی، عمل لخته شدن و ساختن ترومبین و فیبرین را انجام نداده و در اثر خونریزی زیاد در معرض مرگ قرار می‌گیرند.

نکته مهم

یک دختر هموفیل X^hX^h قطعاً دارای پدر هموفیل X^hY بوده است و این دختر اگر در آینده با هر پسری ازدواج کند، قطعاً همهٔ پسران آن‌ها هموفیل خواهند شد چون این دختر به عنوان مادر خانواده، کروموزوم X^h خود را به پسرانش داده و آن‌ها بیماران هموفیل X^hY می‌شوند. البته دختران وی نیز قطعاً یک کروموزوم X^h حاوی الل بیماری به صورت نهفته دارند که اگر اسپرم همسر وی نیز دارای X^h بوده باشد، دختران آن‌ها نیز هموفیل خواهند شد ولی اگر اسپرم همسر وی X^H داشته و حاوی الل سلامتی باشد، دختران آن‌ها، سالم ناقل X^HX^h خواهند شد.

تست ۱۰ **در مورد بیماری هموفیلی کدام عبارت نادرست می‌باشد؟**

۱) در افراد مبتلا، فرایند تولید فیبرین دچار اختلال می‌شود.

۲) همهٔ بیماران در اثر ژن نهفته برای ساخت عامل انعقادی VIII خون بیمار می‌شوند.

۳) همواره در مردان شیوع بیشتری از زنان دارد.

۴) تعداد انواع ژن‌نمود جامعه از رخ‌نمودها بیشتر می‌باشد.

پاسخ ۲ هموفیلی، یک بیماری با ژن‌های وابسته به X نهفته می‌باشد که دگره آن روی فام‌تن جنسی X واقع است. در حقیقت دگره‌ای که در بدن افراد سالم می‌تواند در روند انعقاد خون و ساخت فیبرین فعال باشد، در آن‌ها غیرفعال می‌باشد. در این افراد لخته شدن خون دچار اختلال می‌شود و در اثر خونریزی در معرض مرگ قرار می‌گیرند. هموفیلی انواعی دارد که **شایع‌ترین** نوع آن (*نه صرفاً نوع آن*) مربوط به فقدان عامل انعقادی VIII (*هشت*) خون می‌باشد (*گزینهٔ (۲) نادرست است ولی گزینهٔ (۱) مفهوم صحیح دارد*).

نکته: هر بیماری وابسته به X نهفته در افراد XY بیشتر از XX بروز می‌یابد. چون بیماری نهفته است در مردان با داشتن یک دگره بیمار X^hY فرد بیمار می‌شود ولی در زنان وجود هر دو فام‌تن X دارای دگره بیماری نیاز است و در صورتی که این دگره با دگره سالم X^H همراه شود، یک زن ناقل سالم X^HX^h به حساب می‌آید بنابراین گزینهٔ (۳) مفهوم صحیح دارد.

نکته: هموفیلی یک بیماری وابسته به X نهفته دودگره‌ای می‌باشد که در مردان و زنان حالات زیر را دارد (*دلیل درستی مفهوم گزینهٔ (۴)*).

- مردان
  - ژنوتیپ: $X^HY - X^hY \rightarrow$ ۲ نوع
  - فنوتیپ: ۲ نوع ← بیمار - سالم
- زنان
  - ژنوتیپ: $X^HX^H - X^HX^h - X^hX^h \rightarrow$ ۳ نوع
  - فنوتیپ: ۲ نوع ← بیمار - سالم - سالم

$\Rightarrow$ درجامعه ۵ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ سالم و بیمار وجود دارد.

تست ۱۱ **فردی که ناقل بیماری هموفیلی است، نمی‌تواند .....**

۱) برای صفت وابسته به X دیگری خالص باشد.

۲) سبب ایجاد فرزند دختر بیمار شود.

۳) در نیمه اول دورهٔ جنسی خود سیستم بازخوردی مثبت داشته باشد.

۴) بیماری را به همهٔ پسران خود منتقل کند.

پاسخ ۴ هموفیلی یک بیماری وابسته به X نهفته می‌باشد که حالت ناقل یا ناخالص آن فقط در زنان (*افراد* X^HX^h) بروز می‌یابد. نصف تخمک‌های این افراد دارای یک X^h بوده که حاوی ژن انتقال بیماری می‌باشد و می‌تواند نصف پسران خود را مبتلا به هموفیلی X^hY کند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): از آنجایی که روی یک فام‌تن، ژن‌ها و صفات مختلفی وجود دارد، پس این زنان می‌توانند برای سایر صفات وابسته به خود، خالص یا ناخالص باشند. مثلاً فرد $X^H_aX^h_A$ دارای دو صفت وابسته به X ناخالص و یک صفت خالص می‌باشد. / گزینهٔ (۲): اگر زنی X^HX^h با مردی X^hY ازدواج کند، می‌توانند طبق قانون احتمالات دارای دختر X^hX^h بیمار شوند. / گزینهٔ (۳): زنان بالغ در نیمهٔ اول دورهٔ جنسی خود بین استروژن و هورمون‌های FSH و LH خود هم سیستم بازخوردی منفی دارند و هم در حوالی روزهای تخمک‌گذاری دارای سیستم بازخوردی مثبت می‌شوند.

B) نکات صفات یا بیماری‌های وابسته به X بارز (غالب)

۱) ژن ایجادکننده این صفات به صورت X^A یا بارز نشان داده می‌شود. وجود حداقل یک X^A در فرد باعث بروز آن صفت به صورت بارز می‌شود.

۲) اگر این ژن مربوط به ایجاد یک صفت معیوب در بدن شود به وراثت آن، **بیماری** وابسته به X بارز می‌گویند.

۳) در مردان (XY)، مانند بیماری‌های وابسته به X نهفته، دو نوع ژنوتیپ و فنوتیپ دیده می‌شود و حالت ناخالص در آن‌ها دیده نمی‌شود.
- X^AY ← مرد دارای صفت وابسته به X بارز یا مرد بیمار (*اگر مربوط به بیماری باشد*).
- X^aY ← مرد فاقد صفت وابسته به X بارز یا مرد سالم (*اگر مربوط به بیماری باشد*).

نکته مهم

وجود یک صفت خالص، ناخالص، هم‌توان، حد واسط یا ناقل بیماری در مردان، قطعاً نشان دهندهٔ مستقل از جنس بودن آن صفت می‌باشد.

۴) در زنان برای این صفت ۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ دیده می‌شود ولی حالت یا کلمه **ناقل** را برای افراد ناخالص در نظر نمی‌گیریم، چون ناقل را در ژنتیک مخصوص بیماری‌ها و صفات **نهفته** می‌دانیم.

- X^AX^A ← زن خالص و دارای صفت یا بیماری وابسته به X بارز
- X^AX^a ← زن ناخالص و دارای صفت یا بیماری وابسته به X بارز
- X^aX^a ← زن خالص و سالم که فاقد این بیماری می‌باشند.

۵) فراوانی و شیوع بروز این صفات و بیماری‌های مربوط به آن‌ها در افراد XX از XY شایع‌تر است چون زنان دو تا X دارند و وجود الل بارز X^A در هر کروموزوم X آن‌ها سبب بیمار شدن و ابتلای آن‌ها به صفت فوق می‌شود.

۶) در این بیماری از آمیزش مردی بیمار (X^AY) با خانمی بیمار ناخالص (X^AX^a) می‌توان انتظار به دنیا آمدن **پسری سالم** (X^aY) داشت. دختران حاصل از این آمیزش همگی بیمار خواهند شد چون پدر آن‌ها قطعاً X^A را به آن‌ها داده است و در هر صورت و هر تخمکی، این دختران یا به صورت X^AX^A بیمار و یا به صورت X^AX^a بیمار خواهند شد.

۷) پسری که دارای صفت یا بیماری وابسته به X بارز باشد، ژنوتیپ X^AY دارد. این پسر قطعاً دارای مادری بیمار بوده است چون این پسر کروموزوم X^A خود را از مادرش دریافت کرده است و مادر یا X^AX^A و یا X^AX^a بوده است که در هر صورت بیمار بوده است. در آینده تمام دختران حاصل از آمیزش این پسر بیمار نیز بیمار خواهند شد چون قطعاً از پدر خود X^A را گرفته‌اند.

تست ۱۲ **در صفت بیماری ..... ، قطعاً ..... دارد.**

۱) وابسته به X بارز، دختر بیمار ناقل - حداقل یک والد بیمار
۲) مستقل از جنس نهفته، دختر سالم - والدین سالم
۳) وابسته به X نهفته، پسر بیمار - هر والد آن، الل بیماری را
۴) مستقل از جنس بارز، پسر سالم - هر والد آن، الل سلامتی را

پاسخ ۴ در حالت مستقل از جنس بارز، پسر سالم به صورت aa است که هر والد آن یک الل سلامتی (a) را داشته‌اند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در بیماری بارز، کلمهٔ ناقل معنی ندارد. / گزینهٔ (۲): در مستقل از جنس نهفته، دختر سالم اگر ناخالص Aa باشد، می‌تواند یک والد بیمار aa داشته باشد. / گزینهٔ (۳): در وابسته به X نهفته، پسر بیمار X^aY می‌تواند پدری سالم X^AY بدون الل بیماری داشته باشد.

دوستان عزیز الان می‌توانید تست‌های مفهومی در مورد صفات وابسته به جنس و مستقل از جنس را از تست‌های آموزشی بزنید و سپس درسنامه بعد را بخوانید.

آمیزش‌ها و نحوهٔ به ارث رسیدن صفات (مربع پانت)

خب دوستان عزیز، امیدوارم که تا اینجای فصل به‌طور کامل مفهوم ژن، الل، ژنتیک و صفات جنسی و غیرجنسی را متوجه شده باشید. در اینجا رسیدیم به مهم‌ترین و پر سؤال‌ترین قسمت ژنتیک که همان آمیزش‌ها و رسیدن صفات از والدین به فرزندان می‌باشد. این قسمت را نیز سعی می‌کنم به‌طور کامل و همراه مثال به صورت ساده برای شما توضیح دهم. اگر قدم به قدم کارهایی را که می‌گویم انجام دهید، این قسمت نیز بسیار آسان می‌شود ولی باید بسیار زیاد تست بزنید تا بتوانید به همهٔ سؤالات این فصل در آزمون‌های مختلف پاسخ دهید.

در حل مسائل مربوط به آمیزش برای یک صفت مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

I) ابتدا نوع صفتی که در مسئله وجود دارد را مشخص کنید که مستقل از جنس است یا وابسته به جنس و رابطهٔ بین الل‌ها از چه نوعی (*بارز نهفتگی، هم‌توانی یا بارزیت ناقص*) می‌باشد.

II) سپس از داده‌های مسئله سعی کنید ژنوتیپ پدر و مادر را بنویسید (*اگر نتوانستید آن را به‌طور کامل بنویسید مشکلی نیست. گاهی ژنوتیپ قطعی والدین مشخص نمی‌شود*).

III) سپس انواع گامت‌های پدر و مادر را در هر صفت به دست بیاورید.

IV) می‌توانید با استفاده از مربع پانت، گامت‌های والدین را در سطر افقی و ستون عمودی بنویسید و برحسب برخورد اتفاقی آن‌ها به هم، فرزندانی که ممکن است ایجاد شوند را به دست بیاورید.

V) احتمال فرزند خواسته شده در سؤال را از خانه‌های مربع پانت به دست بیاورید (*البته من زیاد علاقه‌ای به کشیدن مربع پانت در حل مسائل ندارم!*).

تست ۱۳ **اگر از آمیزش زوجی در مورد گروه خونی ABO ، همهٔ فرزندان رخ‌نمود متفاوتی با والدین داشته باشند، به‌طور قطع می‌توان گفت که .....**

۱) هر فرزندی حداقل یک کربوهیدرات گروه خونی در غشای Rbc را دارد.
۲) یکی از والدین خالص و دیگری ناخالص بوده است.
۳) فرزندی بدون کربوهیدرات در سطح گویچهٔ قرمز، متولد نمی‌شود.
۴) هر دو والد ناخالص بوده‌اند.

پاسخ ۳ فقط از دو نوع آمیزش بین زوج‌ها که حالت اول گروه خونی $(BB\times AA)$ و حالت دوم به صورت $(AB\times OO)$ دارند، همهٔ فرزندان **رخ‌نمود** جدیدی نسبت به والدین دارند. در حالت اول طبق پانت

AB	AB
AB	AB

همهٔ فرزندان گروه خونی AB دارند و حالت دوم پانت نیمی

AO	AO
BO	BO

از فرزندان A و نیمی دیگر B می‌شوند که هیچ کدام شبیه والدین نیستند. پس ژنوتیپ والدین آن‌ها می‌تواند هر دو خالص $(BB\times AA)$ باشد که فرزند آن‌ها فقط AB می‌شود و یا والدین آن‌ها یکی خالص و دیگری ناخالص باشد $(AB\times OO)$ که در آن صورت نیز نیمی از فرزندان گروه خونی A و نیمی دیگر گروه خونی B دارند. پس هیچ‌گاه فرزندی با گروه خونی O در این دو حالت به دنیا نمی‌آورند.

تست ۱۴ **پدر و مادری سالم با گروه خونی A^+ و B^+ ، صاحب دو فرزند پسر با گروه خونی O^- هستند که اولی مبتلا به بیماری فنیل‌کتونوری و دیگری مبتلا به هموفیلی است. در این خانواده تولد کدام فرزند زیر ممکن نیست؟**

۱) پسری با دو گروه خونی خالص و فقط مبتلا به فنیل‌کتونوری

۲) دختری با گروه خونی AB مثبت و مبتلا به دو بیماری دیگر

۳) دختری ناخالص برای دو گروه خونی و فقط سالم از نظر انعقاد خون

۴) پسری با گروه خونی B منفی و فاقد آنزیم انعقاد خون و تجزیه فنیل‌آلانین

پاسخ ۲ مسئله را به ترتیب مفاهیم زیر حل می‌کنیم:

A) چون پدر و مادر سالم هستند و فرزند مبتلا به فنیل‌کتونوری دارند، پس هر دو ناقل Ff بوده‌اند.

B) چون پدر و مادر سالم، دارای پسری هموفیل X^hY شده‌اند، پس پدر X^HY و مادر X^HX^h ناقل بوده است.

C) چون فرزند O^- به صورت OOdd به دنیا آمده است، پس والدین AODd و BODd بوده‌اند. حالا می‌توانیم ژنوتیپ والدین را کاملاً داشته باشیم.

$X^HY\ Ff\ AO\ Dd \times X^HX^h\ Ff\ BO\ Dd$

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): احتمال پسری ff با گروه خونی خالص OOdd وجود دارد. / گزینهٔ (۲): احتمال دختر هموفیل X^hX^h وجود ندارد چون فقط یک الل هموفیلی دیده می‌شود و این عبارت جواب است. / گزینهٔ (۳): احتمال دختر فنیل‌کتونور ff و سالم هموفیلی X^HX^h و گروه خونی ناخالص ABDd وجود دارد. / گزینهٔ (۴): احتمال پسری BOdd و هموفیل X^hY و فنیل‌کتونور ff وجود دارد.

تست ۱۵ **صفتی روی فام‌تن جنسی X انسان قرار دارد و سبب بیماری‌زایی توسط یکی از دو دگره‌اش می‌شود. از ازدواج پدری بیمار با مادری سالم .....** (قلم‌چی)

۱) امکان ندارد تمام پسران، سالم شوند.

۲) امکان ندارد دختر سالم و بیمار و پسر سالم و بیمار هم‌زمان در خانواده وجود داشته باشد.

۳) هر سه فرزند خانواده، نمی‌توانند بیمار باشند.

۴) همواره امکان تولد دختر ناخالص وجود دارد.

پاسخ ۴ این صفت مطرح شده در سؤال می‌تواند وابسته به جنس نهفته یا وابسته به جنس بارز باشد. اگر وابسته به جنس نهفته باشد، ژن‌نمود پدر X^aY و ژن‌نمود مادر X^AX^A یا X^AX^a است. اگر وابسته به جنس بارز باشد، ژن‌نمود پدر X^AY و ژن‌نمود مادر X^aX^a است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): اگر صفت از نوع وابسته به جنس بارز باشد، تمام پسران سالم خواهند بود. اگر هم وابسته به جنس نهفته باشد، در یک حالت (*اگر ژن‌نمود مادر* X^AX^A *باشد*) تمام پسران سالم می‌شوند و در حالت دیگر (*اگر مادر* X^AX^a *باشد*) نیمی از پسران سالم می‌شوند. / گزینهٔ (۲): می‌توانیم حالتی را مثال بزنیم که صفت، وابسته به جنس نهفته است و ژن‌نمود مادر X^AX^a است. در این حالت دختر سالم، دختر بیمار، پسر سالم و پسر بیمار همگی می‌توانند زاده بشوند. / گزینهٔ (۳): امکان تولد فرزند بیمار در چندین حالت وجود دارد، از جمله حالت مثال زده شده در پاسخ گزینهٔ (۲). در این حالت ممکن است هر سه فرزند بیمار باشند. / گزینهٔ (۴): اگر صفت، وابسته به جنس بارز باشد، تمام دختران ناخالص خواهند بود. ← $X^AY \times X^aX^a$

	X^a	Y
X^A	X^AX^a	X^AY
X^a	X^aX^a	X^aY

اگر وابسته به جنس نهفته باشد، هم در هر دو حالت خالص یا ناخالص بودن مادر، دختر می‌تواند ناخالص شود، پس این گزینه درست است.

$X^aY \times X^AX^A$ ، X^AY یا X^AX^a

۲) تقسیم‌بندی انواع صفات برحسب شکل‌های مختلف یک صفت

● الف) صفات گسسته (غیرپیوسته یا ناپیوسته)

برخی صفات در جامعه مثل همهٔ صفاتی که تا حالا در این فصل بررسی کرده‌ایم، تنها به دو یا چند شکل خاص محدود و بدون **طیف کمیتی** دیده می‌شوند. مثلاً وقتی در مورد Rh صحبت می‌کنیم دو حالت مثبت و منفی در همهٔ افراد وجود دارد. یا در گل میمونی سه حالت برای گلبرگ‌ها به صورت قرمز، سفید و صورتی وجود دارد. در این صفات بین صورتی و قرمز یا سفید چند حالت تنوع صورتی پررنگ به سمت قرمز یا صورتی کم‌رنگ به سمت سفید وجود ندارد. **به این صفات که کمیت‌ها یا طیف‌های مختلفی بین حالت‌های مختلف آن‌ها وجود ندارد، صفات گسسته یا غیرپیوسته می‌گویند.** مثلاً هموفیلی یا گروه خونی ABO نیز از این صفات می‌باشند. در این صفات ژن‌های بروز دهنده **فقط** در **یک جایگاه** خاص از کروموزوم‌ها واقع می‌باشند که می‌توانند تحت کنترل دو یا چند نوع الل باشند.

● ب) صفات پیوسته (غیرگسسته)

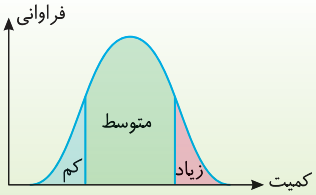
برخی صفات مثل طول قد و وزن انسان، رنگ نوعی ذرت، وزن روغن دانه‌های گیاهی و یا مقدار قند خون انسان‌ها و... وجود دارند که وقتی آن‌ها را بررسی می‌کنیم طیفی از حالات مختلف با **کمیت‌های متفاوت** را در افراد جامعه می‌بینیم. مثلاً طول قد افراد بالغ از کوتوله‌های دارای مثلاً طول قد حدود ۱ متر و ۳۰ سانتی‌متر شروع می‌شود که فراوانی اندکی در جامعه دارند تا طول قد بسیار بلند بالای ۲ متر که آن‌ها نیز فراوانی کمی در جامعه دارند ولی اغلب افراد

طول قد متوسطی از ۱/۵۵ تا ۱/۸۵ دارند. به این صفات، **پیوسته** می‌گوییم چون حالات پیوسته کمیتی در جامعه دارند. صفاتی که حالت پیوسته را دارند، **تحت کنترل تعدادی ژن در جایگاه‌های متفاوت** می‌باشند که با اثرگذاری روی هم سبب ایجاد انواع مختلفی از حالات فنوتیپی در جامعه می‌شوند. برای درک بهتر این صفات مثال دیگری از این مورد می‌زنم.

در نوعی ذرت، رنگ دانه‌ها در ۷ طیف مختلف رخ‌نمودی از سفید تا قرمز دیده می‌شود که تحت کنترل ۳ جفت ژن در سه جایگاه مختلف ژنی می‌باشد. در این ذرت‌ها، رنگ دانه‌ها طیفی فنوتیپی شامل ۷ حالت از سفید با الل‌های نهفته خالص aabbcc تا قرمز با الل‌های بارز خالص AABBCC دارد ولی تعدادی نیز فنوتیپ قرمز کم‌رنگ تا قرمز پررنگ دارد. در قسمت‌های بعد در مورد این صفت و نکات صفات دارای چند جایگاه ژنی بیشتر بحث می‌کنیم.

نکته

وقتی نمودار توزیع فراوانی صفات پیوسته را در جامعه بررسی می‌کنیم، می‌بینیم که اغلب افراد جامعه فنوتیپ حالات متوسط را نشان می‌دهند و افرادی که در دو طرف نمودار قرار می‌گیرند فراوانی کمتری دارند. مثلاً اغلب افراد قد متوسط دارند یا رنگ دانه ذرت اغلب نه کاملاً سفید و نه کاملاً قرمز است یا غلظت قند خون اغلب افراد، نه پایین و نه بالاتر از حد نرمال (*مثل ریباتی‌ها*) است. نمودار فراوانی این صفات در جامعه به صورت زنگوله‌ای مانند می‌باشد که به آن توزیع نرمال نیز می‌گویند.



۳) انواع صفات وراثتی از نظر تأثیر محیط روی آن‌ها

● الف) صفاتی که تحت تأثیر محیط تغییر نمی‌کنند

برخی صفات وراثتی هستند مثل گروه خونی Rh و ABO یا رنگ چشم و... این صفات تحت تأثیر عوامل محیطی تغییر نمی‌کنند یعنی فردی که Rh مثبت به دنیا آمده است یا گروه خونی A دارد در اثر عوامل محیطی این صفت تغییر نمی‌کند و تا آخر عمر با این صفات زندگی را سپری می‌کنند.

نکته

در این صفات برای بروز فنوتیپ آن‌ها، تنها **وجود ژن‌ها** و بیان آن‌ها کافی است.

● ب) صفاتی که تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند

برخی صفات ارثی هستند که برای بروز فنوتیپ آن‌ها فقط وجود ژن کافی نیست و باید عوامل محیطی نیز شرایط بیان ژن و ایجاد فنوتیپ را ایجاد کند. مثلاً اغلب گیاهان، ژن عوامل مورد نیاز برای تولید سبزینه را دارند ولی این ژن‌ها در عدم حضور نور فعال نمی‌شوند و سبزینه‌ای در گیاه ایجاد نمی‌شود. در مورد انسان هم این صفات به صورت متنوعی وجود دارند. مثلاً طول قد یک صفت ارثی است ولی در اثر تغذیه و ورزش مناسب بر ظهور فنوتیپ‌های متفاوت نقش دارند. پس نمی‌توان علت اندازه قد یک فرد را فقط از روی ژن‌های فرد توضیح داد (*همان‌طور که در دوقلوهای همسان می‌بینیم یکی قد بلندتر یا چاق‌تر یا تیره‌تر است*).

نکته

به‌جز در موارد معدودی، در حال حاضر نمی‌توان بیماری‌های ژنتیک را درمان کرد ولی گاهی می‌توان با **تغییر عوامل محیطی**، بروز اثر ژن‌ها را کنترل کرد مثل تغییر رژیم غذایی در افراد فنیل‌کتونور و یا مبتلا به فشار خون بالا.

نکته

در کتاب دهم خواندیم که **pH خاک** در تغییر رنگ گلبرگ‌های گل ادریسی نقش دارد که در pH اسیدی به سمت آبی و در قلیایی و خنثی به سمت صورتی‌رنگ تغییر می‌یابد. پس می‌توان با **یک نوع ژنوتیپ**، برحسب شرایط محیطی، **دو نوع فنوتیپ** از یک جاندار مشاهده کرد.

تست ۱۶ دربارهٔ اثر محیط بر بروز صفات مختلف کدام عبارت صحیح است؟ (قلم‌چی)

۱) الزاماً هر رخ‌نمود دوقلوهای همسان مشابه یکدیگر هستند.

۲) هیچ‌گاه برای بروز یک رخ‌نمود، تنها وجود ژن کافی نیست.

۳) عوامل محیطی می‌توانند سبب افزایش تعداد رخ‌نمود یک ژن‌نمود خاص شوند.

۴) در گیاهان، ساخته شدن سبزینه در کلروپلاست، فقط نیازمند ژن‌های لازم است.

پاسخ ۳ دقت کنید در مورد رنگ گل گیاه ادریسی که یک ژن‌نمود خاص دارد، می‌تواند تحت اثر pH خاک دچار تغییر رنگ شود و رخ‌نمود آن تغییر کند. سایر گزینه‌ها و دلیل رد آن‌ها را در درسنامه بالا توضیح داده‌ام.

● نکات اثر عوامل محیطی روی تأثیر بیماری فنیل‌کتونوری (PKU)

۱) همان‌طور که گفتیم بیماری فنیل‌کتونوری یک بیماری مستقل از جنس نهفته می‌باشد که در افراد بیمار، آنزیمی که باید آمینواسید فنیل‌آلانین را تجزیه کند وجود ندارد و تجمع فنیل‌آلانین در بدن سبب ایجاد ترکیبات خطرناکی شده که سبب آسیب به مغز و معلولیت ذهنی نوزادان می‌شود.

۲) علت این بیماری تغذیه از پروتئین‌هایی مانند شیر مادر است که حاوی فنیل‌آلانین بوده ولی با تغذیه نکردن از فنیل‌آلانین می‌توان جلوی بیماری را گرفت.

۳) تغذیه نوزادان بیمار با شیر مادر سبب آسیب به یاخته‌های **مغزی** فرد می‌شود.

۴) با آزمایشاتی که در بدو تولد با آزمایش خون به دست آمده از پای نوزادان صورت می‌گیرد می‌توان احتمال ابتلا به فنیل‌کتونوری را بررسی کرد.

۵) در صورت بیمار بودن نوزاد، می‌توان با شیرخشک‌هایی که فاقد فنیل‌آلانین هستند آن‌ها را تغذیه داد و در رژیم غذایی آینده وی نیز از غذای بدون فنیل‌آلانین و یا مقدار کم فنیل‌آلانین تجویز کرد.

۶) در بیشتر بدانید، دارید که غذاهایی مانند بیشتر میوه‌ها، نان، شیرینی و شکر دارای فنیل‌آلانین کم ولی گوشت، شیر، لبنیات، تخم‌مرغ و... حاوی فنیل‌آلانین زیادی می‌باشند.

تست ۱۷ **افراد بالغ مبتلا به فنیل‌کتونوری، .....**

۱) باید با شیر خشک فاقد فنیل‌آلانین تغذیه کنند.
۲) برخلاف نوزادان امکان دچار شدن به آسیب مغزی را ندارند.
۳) نمی‌توانند بروز اثر ژن را کنترل کنند.
۴) می‌توانند رژیم غذایی با فنیل‌آلانین کم داشته باشند.

پاسخ ۴ به نوزادان مبتلا به فنیل‌کتونوری، شیر خشک **فاقد** فنیل‌آلانین می‌دهند ولی به بالغین، رژیم بدون فنیل‌آلانین یا با فنیل‌آلانین **کم** می‌دهند ولی لطفاً به بالغین در مورد گزینهٔ (۱) شیر خشک ندهید!!

۴) انواع صفات وراثتی برحسب تعداد جایگاه ژن‌های آن صفت

● الف) صفات تک‌جایگاهی (یادآوری)

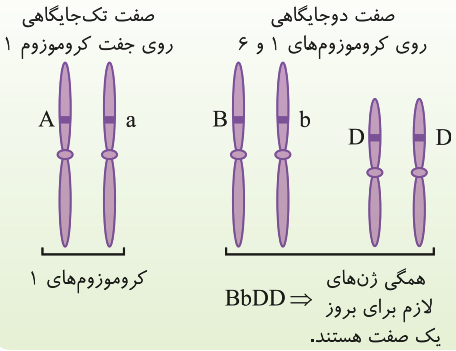
همهٔ صفاتی که تا این لحظه در قسمت مسائل کتاب الگو خواندید از نوع صفات تک‌جایگاهی بود. صفاتی مثل گروه خونی ABO ، Rh ، رنگ گل میمونی، بیماری‌های وراثتی فنیل‌کتونوری، هموفیلی و... تک‌جایگاهی بودند. این صفات همواره تحت کنترل دو یا چند ژن الل می‌باشند که این ژن‌ها در جایگاه خاصی از یک جفت کروموزوم قرار دارند. همان‌طور که در گفتار ۱ این فصل توضیح دادم این صفات می‌توانند دارای دو ژن الل (*گروه خونی* Rh) یا چند ژن الل (*گروه خونی* ABO) باشند که کاملاً آن‌ها را بررسی کردیم. **در این صفات صرف‌نظر از اینکه چند الل در بروز این صفت نقش دارند، هر فرد حداکثر دارای دو الل این صفت در یک جفت کروموزوم همتا می‌باشد.**

● ب) صفات چندجایگاهی

برخی صفات هستند که به ارث رسیدن آن‌ها **در هر فرد** توسط بیش از یک جایگاه ژن صورت می‌گیرد و چند ژن در چند جایگاه کروموزومی مسئول به ارث رساندن آن‌ها می‌شوند. در حقیقت در این صفات، بروز و رخ‌نمود نهایی به اثر چند ژن مختلف در چند جایگاه ژنی بستگی دارد. دقت کنید که در این صفات چند ژن در چند جایگاه مختلف، سبب ایجاد یک صفت خاص مثل طول قد می‌شود ولی در بین همهٔ ژن‌های آن صفت، **فقط برخی با هم الل هستند** یعنی فقط آن‌هایی که در یک جایگاه روی یک جفت کروموزوم همتا قرار دارند با هم الل هستند. در این صفات هر ژن هم روی الل خود و هم روی ژن غیرالل خود در بروز یک صفت خاص مؤثر است.

نکته

دقت کنید که صفات n اللی را با صفات چندجایگاهی اشتباه نگیرید، وقتی می‌گوییم صفتی تحت کنترل ۳ ژن الل است (*مثلاً گروه خونی* ABO) یعنی در کل جامعه ۳ الل یا ژن دارد ولی در هر فرد، این ژن‌ها در **یک جایگاه** کروموزومی واقع بوده و هر فرد ۲ الل از این صفت را دارد. در صفتی که **تحت کنترل ۳ جایگاه ژن** می‌باشد یعنی هر فرد در ۳ جایگاه کروموزومی خود ۳ جفت ژن دارد که مجموعاً وجود هر سه نوع ژن سبب ایجاد یک صفت می‌شود. این ژن‌ها می‌توانند روی یک کروموزوم باشند یا جداگانه روی کروموزوم‌های مستقل باشند. در این سه نوع ژن، هرکدام در هر جایگاه دارای الل می‌باشند.



تست ۱۸ **وراثت ..... برخلاف ..... به عهدهٔ چند جایگاه ژنی می‌باشد.**

۱) رنگ پوست - گروه خونی ABO
۲) گروه خونی - رنگ پوست
۳) حالت مو - گروه خونی ABO
۴) رنگ پوست - قد انسان

پاسخ ۱ صفات رنگ چشم، قد انسان، رنگ پوست، رنگ دانه ذرت برخلاف گروه‌های خونی، حالت مو و رنگ گل میمونی از نوع چندجایگاهی و پیوسته می‌باشند.

● مثالی برای فهم صفات چندجایگاهی (رنگ دانه‌های ذرت)

صفت رنگ دانه‌های **نوعی** ذرت، یک صفتی است که تحت کنترل **۳ جایگاه ژنی** می‌باشد که هر نوع ژن یا جایگاه ژنی نیز **۲ نوع الل** بارز و نهفته می‌تواند داشته باشد. یعنی در کل جامعه ۶ ژن که دوتا دوتا به صورت بارز و نهفتگی (A و a)، (B و b) و (C و c) وجود دارد. هرکدام از این جفت ژن‌ها در یک منطقه از ژنوم وجود دارند. **هر بوتهٔ ذرت در هر یاختهٔ دیپلوئید خود برای این صفت ۶ ژن دارد که دوتا دوتا با هم الل می‌باشند.** مثلاً ژن A با a الل است و در کروموزوم همتا در جایگاه مشابه روبه‌روی هم می‌آیند ولی A و B با **هم الل نیستند** و در دو جایگاه ژنی متفاوت در دو جفت کروموزوم مجزا قرار دارند (*برعکس* A و B *در گروه خونی*). برهم‌کنش همهٔ ۳ نوع ژن باعث ایجاد صفت رنگ دانه ذرت می‌شود. ذرتی که در ژنوتیپ آن فقط ژن‌های **بارز** باشد برای این صفت ۶ ژن AABBCC به صورت خالص داشته که دو به دو با هم الل هستند و فنوتیپ کاملاً قرمز را با فراوانی کم در یک آستانه نمودار فراوانی بروز می‌دهد. ذرتی که ژنوتیپ aabbcc دارد نیز فنوتیپ سفید را بروز می‌دهد. این دو فنوتیپ در دو سر طیف به صورت کاملاً خالص و دارای یک نوع ژنوتیپ قرار می‌گیرند. این صفت در ذرت‌ها می‌تواند ۳ نوع ژنوتیپ

در جایگاه ژن‌های (aa-Aa-AA) و همین‌طور ۳ نوع در جایگاه ژن‌های B و b و به همین تعداد در ژن‌های C و c ایجاد کند. پس **کلاً** ۳×۳×۳ **معادل** ۲۷ **نوع ژنوتیپ در جامعه ایجاد می‌کند.** در مورد فنوتیپ آن‌ها دیده می‌شود که این صفت از نوع **پیوسته** می‌باشد و رنگ آن‌ها از سفید با ۶ ژن نهفته شروع می‌شود و هرچه تعداد الل بارز در آن‌ها بیشتر شود، کمی بیشتر به سمت قرمزتر شدن می‌رود. مثلاً دانهٔ ذرتی که ژنوتیپ AaBbCc دارد از دانهٔ ذرتی که یک ژن بارز Aabbcc دارد، رنگ قرمز پررنگ‌تری دارد. نمودار فراوانی آن‌ها به صورت زنگوله‌ای با فنوتیپ‌های پیوسته می‌باشد که در زیر به صورت ۷ نوع رخ‌نمود مشاهده می‌کنید.

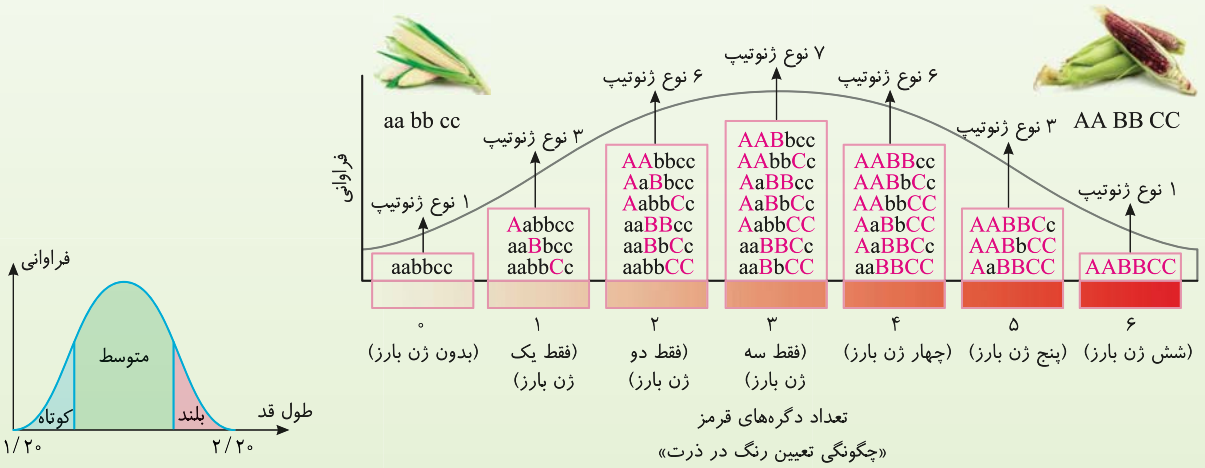
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) به‌طور مثال دقت کنید که رخ‌نمود دو نوع ژن‌نمود با دگره‌های AaBbCc و AabbCC با هم مشابه است چون تعداد دگره‌های غالب آن‌ها یکسان و سه عدد است. در حل مسائل این ذرت‌ها، مهم فقط شمردن تعداد ژن‌های **بارز** می‌باشد. هر دو دانه‌ای که تعداد ژن‌های **بارز** برابری دارند، حتی با ژنوتیپ متفاوت، قطعاً فنوتیپ یکسانی را بروز می‌دهند.

۲) در مورد این صفت دقت کنید که مثلاً در ذرت، AaBBCc، ژن‌های A و a با هم الل هستند ولی با B، C و c الل نمی‌باشند ولی چون همگی در به ارث رسیدن یک صفت نقش دارند، A هم روی a و هم روی B، C و c تأثیر می‌گذارد.

۳) توجه کنید که در این صفت بین هر جفت الل، رابطهٔ بارز و نهفتگی وجود دارد ولی مثلاً بین A و B رابطهٔ بین اللی موجود نیست ولی در بروز یک صفت خاص بیان آن‌ها روی فنوتیپ نهایی اثر دارد.

۴) این صفت در ذرت دارای ۷ نوع فنوتیپ می‌باشد که بیشترین حالت و فراوانی مربوط به انواعی است که سه ژن بارز دارند. این حالت دارای ۷ نوع ژنوتیپ می‌باشد. دو حالت آستانه‌ای در دو طرف طیف نمودار در هر سه جایگاه ژنی خالص است و با فراوانی کم، فقط یک نوع ژنوتیپ دارد.



۵) در مورد رنگ‌های مختلف صفت فوق در ذرت‌ها، تعداد ژن‌های بارز، تعیین‌کنندهٔ نوع فنوتیپ می‌باشد. دقت کنید که بیشترین فراوانی در ذرت‌هایی است که دارای سه ژن بارز هستند و کمترین فراوانی در ذرت‌هایی با ۶ نوع ژن بارز یا بدون ژن بارز دیده می‌شود.

تست ۱۹ **صفت رنگ نوعی ذرت، دارای ۳ جایگاه ژنی است که هرکدام دو دگره دارند. دگره‌های بارز، رنگ قرمز و دگره‌های نهفته، رنگ سفید را به وجود می‌آورند. کدام عبارت با توجه به نحوهٔ فراوانی این ذرت به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) امکان ندارد ذرت‌هایی با رنگ مشابه، ژن‌نمودهای متفاوتی داشته باشند.

۲) امکان ندارد ژن‌نمودهایی با فراوانی یکسان در نمودار توزیع فراوانی، رنگ‌های متفاوتی داشته باشند.

۳) همواره تعداد دگره‌های بارز در ژن‌نمود، با فراوانی آن نسبت مستقیم دارد.

۴) ژن‌نمودی که در آن نسبت دگره بارز به دگره نهفته برابر با یک است، در نمودار توزیع فراوانی رخ‌نمودها، در محدودهٔ بیشترین فراوانی است.

پاسخ ۴ با توجه به شکل کتاب درسی زیست‌شناسی (۳)، وقتی سه دگرهٔ قرمز و سه دگرهٔ سفید داریم (*نسبت دگرهٔ بارز به نهفته برابر با یک است*)، در نمودار توزیع فراوانی رخ‌نمودها، در محدودهٔ بیشترین فراوانی قرار دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): طبق شکل کتاب درسی زیست‌شناسی (۳)، مثلاً AaBbcc و aaBbcc رنگ مشابهی دارند. / گزینهٔ (۲): آستانه‌های نمودار را ببینید. aabbcc سفیدرنگ است و AABBCC قرمز است، ولی فراوانی آن‌ها با هم برابر است. / گزینهٔ (۳): AABBCC بیشترین تعداد دگره‌های بارز (*قرمز*) را دارد، ولی فراوانی‌اش از همه بیشتر نیست. اگر همواره نسبت مستقیم داشت، شکل نمودار خطی می‌شد، نه زنگوله‌ای!

تست ۲۰ **با توجه به صفت چندجایگاهی مربوط به رنگ نوعی ذرت، کدام مورد، از نظر رخ‌نمود (فنوتیپ) به ذرتی با ژن‌نمود (ژنوتیپ) AaBbCC شباهت کمتری دارد؟** (سراسری خارج از کشور - ۹۹)

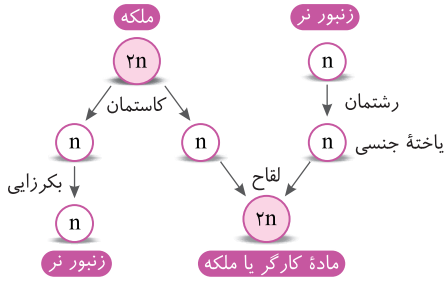
۱) AABBCC　　۲) AaBBCC　　۳) Aabbcc　　۴) AaBbcc

پاسخ ۳ سؤال بسیار آسانی در کنکور ۹۹ طرح شده بود. در این صفت ذرت، فقط مهم شمردن تعداد ژن‌های بارز است. ذرت مورد نظر سؤال به صورت AaBbCC با چهار ژن بارز بوده است. از طرفی در گزینهٔ (۱)، شش ژن بارز، گزینهٔ (۲) دارای پنج ژن بارز، گزینهٔ (۳) دارای یک ژن بارز (A) و گزینهٔ (۴) دارای دو ژن بارز می‌باشد.

خب کدام گزینه تعداد الل بارز آن با ذرت مدنظر تست که ۴ ژن بارز دارد، تفاوت بیشتری دارد؟ به راحتی می‌توانید گزینهٔ (۳) را انتخاب کنید که فقط یک ژن بارز دارد.

نحوهٔ به ارث رسیدن و بروز صفات ارثی در زنبورهای عسل

در زیست یازدهم خواندیم که **زنبور عسل نر** دارای یاخته‌های هاپلوئید (n کروموزومی) می‌باشد و حاصل بکرزایی از میتوز برخی تخمک‌های والد ماده خود است. یعنی زنبور عسل نر حاصل لقاح نبوده است ولی زنبور عسل ماده، دیپلوئید بوده و در اثر لقاح اسپرم و تخمک ایجاد شده است. اگر در مسئله ژنتیک، صفات را در زنبور بررسی کرده بود، دقت کنید که هر صفتی در هر یاخته هسته‌دار زنبور نر، در **هر جایگاه** دارای **یک الل** است ولی زنبور ماده که دیپلوئید است در هسته هر یاخته ۲n خود دارای دو الل ولی در تخمک خود دارای یک الل می‌باشد. از طرفی دقت کنید که زنبورهای ماده که دیپلوئید هستند، می‌توانند **ملکه یا زنبور کارگر** باشند ولی **فقط ملکه** در ایجاد نسل بعد و تخمک‌گذاری شرکت می‌کند. وظیفهٔ زنبور کارگر فقط حفاظت از سایر زاده‌های ملکه می‌باشد که در حقیقت خواهران و برادران آن می‌باشند چون جانداری نازا ولی فداکار با صفت دگرخواهی می‌باشد که در فصل آخر دوازدهم در مورد آن بیشتر می‌آموزید.



نکته

زنبور نر، هاپلوئید است و همهٔ ژن‌های خود را از نصف ژن‌های والد یا همان مادر دیپلوئید خود گرفته است.

نکته

زنبورهای ماده دیپلوئید (۲n) هستند. این زنبورها همهٔ ژن‌های والد نر به همراه نصف ژن‌های والد مادهٔ خود را به ارث برده‌اند.

تست ۲۱ **اگر رنگ بال زنبور عسل، نوعی صفت مستقل از جنس باشد که الل زردی (Z) و قرمزی (R) با هم رابطهٔ هم‌توانی داشته باشند، در این صورت چند مورد زیر نادرست می‌باشد؟**

الف) از لقاح گامت‌های زنبور بال قرمز با زنبور راه‌راه، هر سه نوع فنوتیپ در فرزندان مشاهده می‌شود.

ب) از ادغام گامت‌های ملکهٔ بال زرد با زنبور بال قرمز، زنبورهای کارگر نسل بعد همگی راه‌راه می‌شوند.

ج) از ادغام گامت‌های ملکهٔ بال راه‌راه با زنبور زرد، دو نوع زنبور نر در نسل بعد ایجاد می‌شود.

د) از ادغام گامت‌های زنبور کارگر قرمز با زنبور نر زرد، همهٔ زاده‌های ماده، بال راه‌راه دارند.

۱) ۲ مورد **۲)** ۳ مورد **۳)** ۱ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۲ موارد (الف)، (ج) و (د) نادرست می‌باشند.

تله‌های تستی الف) نادرست است. زنبور راه‌راه قطعاً ماده و (RZ) بوده که از تخمک‌های آن طی بکرزایی، نرهای قرمز (R) و زرد (Z) ایجاد می‌شود. از طرفی از لقاح تخمک‌های R یا Z آن با زنبور نر قرمز که فقط اسپرم R دارد، فقط زنبورهای مادهٔ قرمز (RR) و هم راه‌راه (RZ) ایجاد می‌شوند ولی زنبور زرد (ZZ) ایجاد نمی‌شود. / ب) درست است. ملکه بال زرد (ZZ) بوده و نر بال قرمز دارای ژنوتیپ (R) می‌باشد که از لقاح آن‌ها، ملکه و کارگر ماده راه‌راه (RZ) ایجاد می‌شود. البته زنبورهای نر زرد (Z) با بکرزایی نیز حاصل می‌شوند که حاصل لقاح نبوده‌اند. / ج) نادرست است. از ادغام گامت‌ها، فقط زنبورهای **ماده** ایجاد می‌شوند که حاصل این آمیزش راه‌راه (RZ) یا زرد (ZZ) خواهد شد (*زنبورهای نر، حاصل بکرزایی هستند نه لقاح!*). / د) نادرست است. زنبور کارگر، ماده‌ای است که در لقاح شرکت نمی‌کند چون جانداری نازا می‌باشد.

تمرین ۳: اگر صفتی در زنبورها تحت کنترل ۳ جایگاه ژنی باشد به‌طوری که در جایگاه اول، ژن‌های ۲ اللی هم‌توان، جایگاه دوم ژن‌های ۳ اللی که فقط A_1 بر A_3 بارز است و جایگاه سوم دارای صفات وابسته به جنس و ۴ اللی که فقط B_1 بر سایر الل‌ها بارز است باشند، هر یاخته پیکری و گامت زنبور نر و ماده برای این صفت چند ژن دارد و از هر جایگاه ژن چند الل دارد؟

پاسخ: این صفت دارای ۳ جایگاه ژنی است و همان‌طور که گفتیم در زنبور صفات جنسی و غیرجنسی را مانند هم حساب می‌کنیم ولی در همهٔ آن‌ها یاخته‌های پیکری نرها را هاپلوئید و ماده‌ها را دیپلوئید حساب می‌کنیم. در مورد نرها، سؤال بسیار آسان است چون در هر جایگاه ژنی، یک الل دارند.

صفت ۳ جایگاهی	جایگاه اول R و W		جایگاه دوم A_1 A_2 A_3		جایگاه سوم B_1 B_2 B_3 B_4		نتیجهٔ نهایی
تعداد ژن یاخته پیکری نر (n)	۱	+	۱	+	۱	=	۳ ژن
تعداد ژن اسپرم که n می‌باشد	۱	+	۱	+	۱	=	۳ ژن
تعداد ژن یاخته پیکری زنبور ماده (۲n)	۲	+	۲	+	۲	=	۶ ژن
تعداد ژن این صفت در تخمک‌ها (n)	۱	+	۱	+	۱	=	۳ ژن

نکته

دقت کنید که هر یاخته ۲n زنبورها برای این صفت ۶ ژن دارد **ولی در هر جایگاه ۲ ژن الل وجود دارد**. یعنی این ۶ ژن که این صفت را به ارث می‌رسانند همه با هم الل نیستند چون هر جفت آن‌ها در یک جایگاه جداگانه قرار دارند. (*تعریف الل: ژن‌هایی که روی یک جایگاه در کروموزوم‌های همتا قرار می‌گیرند.*)

نکته

دقت کنید که در این سؤالات اگر مرحلهٔ تقسیم یاخته را داده بودند، تعداد ژن‌ها برای تک‌کروماتیدی یا دوکروماتیدی بودن یاخته‌ها متفاوت است. در غیر این صورت برای یاخته ۲n ، دو ژن و الل برای هر جایگاه و برای یاخته n ، یک الل و ژن در نظر می‌گیریم.

ژنتیک بکرزایی در مار

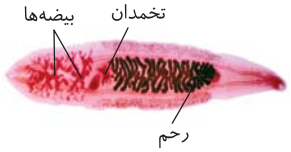
در زیست یازدهم آموختید که **برخی** مارها نیز بکرزایی دارند. در این حالت مار **ماده** ابتدا با میوز، تعدادی تخمک ایجاد می‌کند و سپس از روی کروموزوم‌های آن یک نسخهٔ دیگر ساخته و آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند. مثلاً اگر مار ماده ژنوتیپ Aa داشته باشد، توانایی ایجاد دو نوع تخمک A یا a دارد. دقت کنید که این دو تخمک با هم ادغام نمی‌شوند، بلکه ابتدا در تخمک A یک ردیف دیگر کروموزوم A تولید می‌شود و سپس با ردیف A قبلی ادغام شده و هسته آن دیپلوئید AA می‌شود. پس از این مرحله، در اثر میتوز و بدون لقاح، ماری ایجاد می‌شود که **دیپلوئید** است ولی قطعاً در همهٔ صفات خود ژنوتیپ **خالص** دارد. البته مانند حالت AA، امکان ایجاد مار aa نیز وجود دارد. دقت کنید که در حالت بکرزایی مارها امکان ندارد ماری به صورت Aa به دنیا بیاید. چون ادغام همواره بین کروموزوم‌های یک تخمک مضاعف شده ایجاد می‌شود.

نکته

دقت کنید که مارها، فقط بکرزایی ندارند و در تست‌ها به لقاح عادی نیز توجه کنید.

ژنتیک خودباروری کرم پهن

در این جانوران چون نرماده هستند، هر جانور طی میوز به‌طور جداگانه در تخمدان و بیضه‌های خود گامت ایجاد می‌کند و سپس آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند ولی گامتی از بدن خود خارج نمی‌کند. یعنی اگر ژنوتیپ جانور Aa باشد، انواع اسپرم A یا a و تخمک A یا a ایجاد می‌کند و سپس با ترکیب آن‌ها، انواع کرم‌های AA، Aa و aa ممکن است ایجاد شود.



ژنتیک در کرم خاکی (نرماده دگرباور)

کرم خاکی نیز مانند کرم پهن، جانوری **نرماده** است که هم توانایی ایجاد اسپرم و هم تولید تخمک دارد ولی خاصیت خودباروری و ادغام این گامت‌ها را ندارد. در حقیقت این جانور اسپرم‌ها را از بدن خود خارج کرده و کرم دیگری را بارور می‌کند. در این حالت خودش نیز اسپرم‌های کرم دیگری را دریافت کرده و بارور می‌کند. مثلاً اگر کرم خاکی شمارهٔ (۱) ژنوتیپ Aa داشته باشد، تخمک‌ها و اسپرم‌های A و a ایجاد می‌کند. حال کرم دیگر شمارهٔ (۲) با ژنوتیپ AA، اسپرم و تخمک A تولید می‌کند. کرم (۱)، اسپرم‌های خود را به کرم (۲) داده و در بدن کرم (۲) تخم‌های AA یا Aa تولید می‌شود. از طرفی از کرم (۲)، اسپرم A دریافت می‌کند و با لقاح با تخمک‌های خود، آن کرم (۱) نیز حاوی تخم‌های مشابه کرم (۲) به صورت AA یا Aa می‌شود.

تست ۲۲ **بدون در نظر گرفتن نقش جهش، چند مورد عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟**

«در بین جانوران، نمی‌توان از جانوری طبیعی با ژنوتیپ .....، انتظار داشت زاده‌ای طبیعی با ژنوتیپ ..... ایجاد شود.»

الف) Aabb **و دو بطن با دیواره ناقص -** Aabb **طی بکرزایی**

ب) aaBb **و دارای تخمدان -** aB **و فاقد تخمدان**

ج) AaBB **و دارای بیضه و تخمدان -** aaBb

د) Aabb **و دارای بیضه و رحم-** aabb **و دارای بیضه و تخمدان**

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. جانور دارای بکرزایی و دو بطن با دیوارهٔ ناقص، در مارها دیده می‌شود. طی بکرزایی مارها، همواره باید زاده حاصل ژنوتیپ خالص در همهٔ صفات داشته باشد، پس امکان ندارد به صورت Aa به دنیا بیاید. / ب) نادرست است. این عبارت را با توجه به اینکه از والد دیپلوئید، فرزند نر هاپلوئید حاصل شده باید در مورد بکرزایی زنبور عسل در نظر بگیریم، می‌توان تصور کرد که از ملکه ۲n با ژنوتیپ aaBb، زنبور نری با ژنوتیپ aB یا ab و فاقد تخمدان ایجاد شود. / ج) نادرست است. اگر در مورد دگرباروری کرم خاکی نرماده در نظر بگیریم، در صورت گرفتن گامت ab از کرم دیگر و تولید گامت aB می‌توان انتظار داشت، کرم خاکی با ژنوتیپ aaBb تولید شود. / د) نادرست است. اگر در مورد خودباروری کرم پهن نرماده در نظر بگیریم، می‌توان با لقاح دو گامت ab، کرمی aabb متصور شد.

ژنتیک گیاهی

توجه کنید عزیزان که این مبحث را در کتاب یازدهم نسل جدید درس داده‌ام ولی برای یادگیری بهتر، لازم است که کلاس ژنتیک گیاهی را نگاه کنید. البته باز هم تکرار می‌کنم که در کتاب یازدهم نشر الگو کاملاً بررسی کرده‌ایم و در تست‌های این فصل نیز تعدادی را بررسی کرده‌ام. لازم به یادآوری است که کتاب‌های درسی شما فقط در مورد گیاهان نهان‌دانه، چرخهٔ زندگی و به ارث رسیدن آن بحث کرده است.

دانه اولیه نهاندانگان

دانه اولیه هر گیاه نهاندانه دارای سه قسمت می‌باشد:

● الف) پوسته دانه

همان **پوسته تخمک** می‌باشد که فرمول ژنتیکی گیاه یا والد ماده را دارد و دیپلوئید می‌باشد.

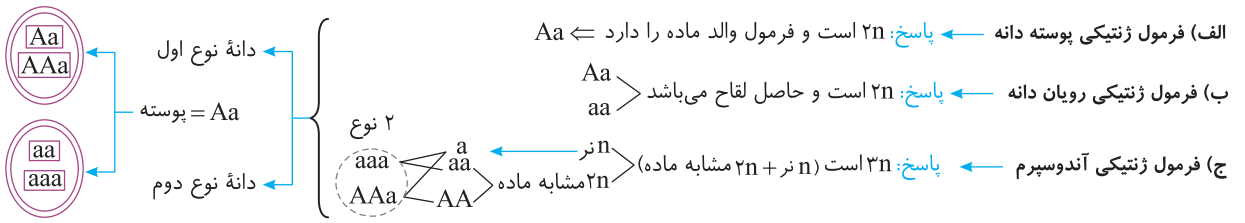
● ب) رویان و لپه

محصول میتوز تخم اصلی $2n$ می‌باشد که در هر صفت، یک ژن را از والد نر و یک ژن را از والد ماده گرفته است.

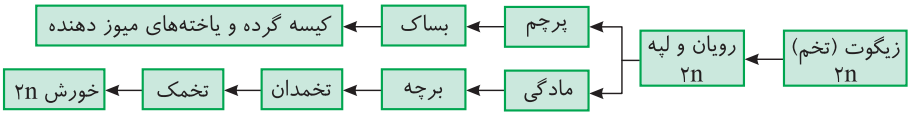
● ج) آندوسپرم

محصول میتوزهای متوالی تخم ضمیمه یا $3n$ می‌باشد که بعد از لقاح ایجاد شده است و دارای بافت پارانشیمی با ذخیره غذایی برای رویان می‌باشد. **یاخته‌های $3n$ این قسمت، در هر صفت، یک ژن را از والد نر و دو ژن همانند هم را از والد ماده گرفته‌اند.**

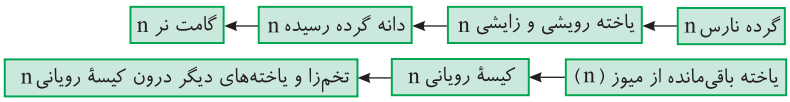
مثال: اگر فرمول ژنتیکی یاخته $2n$ کیسه گرده aa و پارانشیم خورش نیز Aa باشد مطلوب است:



قسمت‌های مرحله دیپلوئیدی $(2n)$ گیاه:



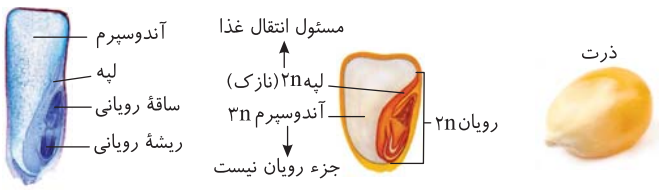
قسمت‌های مرحله هاپلوئیدی (n) گیاه ← درون بخش دیپلوئید به وجود می‌آیند.



انواع دانه‌های رسیده نهاندانگان

الف) دانه‌های آندوسپرم‌دار

به دانه بالغ **تک‌لپه‌ای‌ها**، دانه آندوسپرم‌دار یا اندوخته‌دار می‌گویند. این گروه که شامل **غلاتی** مثل **گندم، جو و ذرت** می‌باشند، دانه‌ای با **یک لپه نازک** دارند که نقش لپه آن‌ها، **فقط انتقال** مواد غذایی از **آندوسپرم به رویان** در حال رشد می‌باشد. در این گیاهان **دانه بالغ** حاوی دو **پوسته** $2n$ از یاخته‌های بخش مادهٔ گیاه، یاخته‌های **رویان** $2n$ حاصل از لقاح والد نر و ماده (*لپه، رویان، مریستم رأس ساقه و ریشه*) و یاخته‌های **اندوخته‌دار** $(3n)$ آندوسپرم می‌باشد. این دانه‌ها، معمولاً در هنگام رشد، لپه آن‌ها در خاک باقی می‌ماند و سبز نمی‌شود.



مثال: **اگر فرمول ژنتیکی گل خرما ماده aa و گل خرما نر به صورت AA باشد، انواع فرمول‌های ژنتیکی پوسته دانه، آندوسپرم و رویان (لپه) چقدر می‌باشد؟**

گل نر AA ← گامت نر A ⇐ پوسته دانه = ۲n گل ماده = پوسته تخمک = یک نوع aa

گل ماده aa ← گامت ماده a ⇐ رویان (لپه) = ۲n لقاح = Aa = یک نوع

یاخته دوهسته‌ای aa ⇐ آندوسپرم (اندوخته دانه) ⇐ ۳n = A aa (ماده نر) ⇐ یک نوع

پوسته aa

اندوخته = آندوسپرم Aaa

لپه نازک و رویان = Aa

ب) دانه‌های بدون آندوسپرم

به دانه بالغ نهاندانگان **دولپه‌ای**، دانه فاقد اندوخته **یا فاقد آندوسپرم** می‌گویند. در این دانه‌های بالغ، **یاخته‌های لپه‌ها (۲n)، همه اندوخته غذایی آندوسپرم را در خود ذخیره می‌کنند** و لپه‌های آن‌ها بزرگ و پر از ذخیره غذایی برای رشد رویان می‌شوند. در حالت بلوغ، در این دانه‌ها یاخته آندوسپرم ۳n وجود ندارد و **همهٔ یاخته‌های دانه بالغ، دیپلوئید می‌باشند** که شامل پوسته دیپلوئید از تخمک مادر و لپه با یاخته اندوخته‌دار و رویان ۲n از لقاح یاخته‌های جنسی نر و ماده می‌باشند.



مثال: **اگر فرمول ژنتیکی گل نر دولپه‌ای Aa و گل ماده آن aa باشد، چند نوع فرمول ژنتیکی برای انواع پوسته دانه، لپه‌ها و یاخته‌های اندوخته‌دار دانه رسیده آن‌ها متصور هستیم؟**

پاسخ: پوسته هر نوع دانه‌ای از پوسته تخمک با فرمول ژنتیکی aa حاصل می‌شود و یک نوع می‌باشد. در دولپه‌ای‌ها لپه، رویان و اندوخته دانه همگی در یاخته‌های ۲n حاصل از لقاح وجود دارد که به دو صورت Aa یا aa می‌تواند باشد چون از لقاح Aa×aa ، فرزندان به دو صورت Aa و aa درمی‌آیند و دانه بالغ آن‌ها یاخته ۳n آندوسپرم ندارد.

نکته

لپه در دانه تک‌لپه‌ای‌ها، نازک می‌باشد و فقط نقش **انتقال** مواد غذایی را از آندوسپرم ۳n به رویان ۲n دارد ولی در دانه دولپه‌ای‌ها، لپه‌ها قطور می‌باشند و آندوسپرمی وجود ندارد، در نتیجه لپه‌ها نقش **ذخیره و انتقال** مواد غذایی به رویان را دارند.

نوع دانه نهاندانگان	پوسته دانه	لپه و رویان	یاختهٔ اندوخته‌دار (آندوسپرم‌دار)
دانه اولیه	۲n با فرمول والد ماده	۲n حاصل از لقاح	۳n: n از یاختهٔ جنسی نر؛ ۲n شبیه هم از یاخته دوهسته‌ای مادر
دانه بالغ تک‌لپه‌ای	۲n با فرمول والد ماده	۲n حاصل از لقاح	۳n: n از یاختهٔ جنسی نر؛ ۲n مشابه از یاخته دوهسته‌ای مادر
دانه بالغ دولپه‌ای	۲n با فرمول والد ماده	۲n حاصل از لقاح	۲n حاصل از لقاح (خیه‌سپر)

تست ۲۳ **با قرار گرفتن دانهٔ گرده گل میمونی صورتی (RW) بر روی کُلالهٔ گل میمونی سفید (WW)، کدام رخ‌نمود برای رویان و کدام ژن‌نمود برای درون دانه (آندوسپرم) مورد انتظار است؟** (سراسری خارج از کشور - ۹۸)

۱) قرمز - WWW ۲) قرمز - RRR ۳) صورتی - RWW ۴) صورتی - RRW

پاسخ ۳ اسپرم‌های گل میمونی صورتی (RW) که از دانه گرده آن حاصل می‌شوند، به صورت هاپلوئید R یا W خواهند بود. از طرفی تخم‌زاهای گل ماده سفید (WW) همگی W خواهند شد. پس رویان ۲n آن‌ها یا RW صورتی و یا WW سفید می‌شود. اگر ژن‌نمود رویان RW باشد، قطعاً آندوسپرم ۳n آن به صورت **RWW** بوده است چون همواره در تخم ۳n ، دو دگره مشابه از (WW) هستهٔ دوتایی ماده و یک دگره (R) از اسپرم می‌باشد. از طرفی اصلاً رویان قرمز RR در گزینه‌های (۱) و (۲) در این آمیزش تولید نمی‌شود.

◀ گزینهٔ (۴): نادرست است چون الل‌های RR که مربوط به والد ماده است در این آمیزش وجود ندارد و مادر به صورت سفید WW بوده است.

تمرین ۴: صفتی تک‌جایگاهی تحت کنترل ۵ ژن الل در گیاهان مفروض است:

الف) در لوبیای دیپلوئید، هر یاخته تولیدکننده گامت، چند الل برای این صفت دارد؟

ب) هر یاخته پوسته دانه نخود چند الل برای این صفت دارد؟

ج) هر یاخته پیکری موز تریپلوئید چند الل برای این صفت دارد؟

د) هر یاخته پیکری گندم هگزاپلوئید و هر یاخته زایشی دانه گرده و آندوسپرم این گندم، برای این صفت چند الل دارند؟

پاسخ: در ابتدا یادآوری می‌کنم که در یاخته یا جاندار xn کروموزومی، کروموزوم‌ها xتا xتا با هم همتا می‌باشند. چون این صفت تک‌جایگاهی است پس هر یاخته xn کروموزومی آن به تعداد x الل برای این صفت روی کروموزوم‌های همتا می‌تواند داشته باشد ولی در کل جامعه ۵ نوع الل برای به ارث رسیدن صفت فوق وجود دارد. برای حل این سؤال در گیاهان باید از کتاب زیست یازدهم مطالب گیاهی را به خاطر داشته باشید که در اینجا سعی می‌کنم آن‌ها را برای شما مرور کنم:

الف) همان‌طور که می‌دانید گامت (*اسپرم و تخم‌زا*) در گیاهان حاصل تقسیم **میتوز** می‌باشد. در لوبیا، اسپرم و تخم‌زا، هاپلوئید هستند و از تقسیم میتوز یاخته‌های **هاپلوئید** یا n کروموزومی ایجاد می‌شوند پس در این صفت نیز **فقط یک الل** دارند.

ب) دانه گیاهان دارای سه قسمت پوسته دیپلوئید با ژنوتیپ والد ماده، لپه و رویان دیپلوئید (۲n) که حاصل لقاح هستند و آندوسپرم ۳n می‌باشند. **پس پوسته دانه که دیپلوئید است برای این صفت دو الل دارد.**

ج) موز تریپلوئید در یاخته‌های پیکری ۳n خود دارای ۳ الل برای صفات تک‌جایگاهی می‌باشد (*رحمت کنید که این گیاه نرا است و قدرت میوز ندارد*).

د) گندم ۶n در اغلب یاخته‌های پیکری خود برای این صفت ۶ ژن الل دارد. **یاخته زایشی دانه گرده** در گیاهان ۲n دارای هسته n (*هاپلوئید*) می‌باشد پس در گیاه ۶n، هر یاخته رویشی یا زایشی دانه گرده آن‌ها به صورت ۳n بوده و برای این صفت ۳ الل دارد.

نکته

در مورد آندوسپرم نهاندانگان حتماً به یاد دارید که گیاهان ۲n، دارای آندوسپرم ۳n در دانه اولیه خود می‌باشند، پس گیاه گندم ۶n دارای آندوسپرم‌ها یا یاخته‌های اندوخته‌دار ۹n می‌باشند و چون کروموزوم‌ها ۹تا ۹تا با هم همتا می‌باشند، پس برای این صفت دارای ۹ ژن الل می‌باشند.

فصل ۴ چهارم
تغییر در اطلاعات وراثتی

درسنامه

در فصل‌های قبل در مورد ساختار DNA و چگونگی به ارث رسیدن صفات بحث کردیم و فهمیدیم که اطلاعات وراثتی در DNA به صورت **ژن‌ها و نوکلئوتیدهای** سازنده آن ذخیره می‌ماند. در این فصل می‌خواهیم به ذکر دلایلی بپردازیم که باعث ایجاد **تفاوت بین افراد یک خانواده**، **یک جامعه** و در انتها بین **افراد دو گونه** می‌شود. در گفتار (۱) این فصل به بررسی انواع جهش‌ها و تغییرات در مادهٔ وراثتی می‌پردازیم. همان‌طور که می‌دانید، **پایداری اطلاعات** در سیستم‌های زیستی **یکی** از ویژگی‌های **مادهٔ وراثتی** است ولی مادهٔ وراثتی **به‌طور محدود دچار تغییرپذیری** می‌باشد و این ویژگی سبب تفاوت بین افراد یک جمعیت می‌شود. به یاد داشته باشید که **تا هنگامی‌که تفاوت در افراد یک خانواده و جامعه ایجاد نشود، محیط نیز نمی‌تواند افراد سازگارتر را انتخاب کند.** سپس در گفتار (۲) می‌خواهیم عواملی که سبب تغییر در **ویژگی‌های یک جمعیت** می‌شود و عواملی که سبب **حفظ تنوع در جامعه** می‌شود را بررسی کنیم. در نهایت در گفتار (۳) می‌خواهیم به تفاوت‌ها و شباهت‌های بین **گونه‌های مختلف** بپردازیم. شواهدی برای داشتن نیای مشترک بین گونه‌ها بیاوریم (*مثلاً هر ۶۴ نوع کدون* mRNA *در همهٔ جانداران رمز آمینواسیدهای مشابهی می‌باشند*) و در آخر به انواع و چگونگی گونه‌زایی بپردازیم. قبل از شروع گفتارها تعریف سه واژهٔ مهم را بدانید:

۱) **جهش**: هر گونه تغییر **پایدار** در توالی نوکلئوتیدهای DNA می‌باشد که می‌تواند سبب تغییر در فرد و ایجاد الل جدید شود.

۲) **جمعیت**: مجموعه افراد **یک گونه** که در **یک مکان** و در **یک زمان** در حال زندگی گذرا می‌باشند.

۳) **گونه**: در گروهی که تولیدمثل جنسی دارند، مجموعه افرادی می‌باشند که بتوانند با هم آمیزش کنند و زاده‌های **زیستا و زایا** با آمیزش **موفقیت‌آمیز** ایجاد کنند.

گفتار ۱ جهش

همان‌طور که از سال قبل می‌دانید، در اثر تقسیم یاخته، مادهٔ وراثتی باید بتواند به یاخته‌های دختری برسد. در حقیقت ویژگی‌های ژنی یاخته تخم **در اثر تقسیم میتوز** در کل بدن پخش می‌شود و سپس ممکن است به نسل بعد برسد. وقتی در طبیعت یک نفر دارای بیماری ژنتیکی مثل تالاسمی ماژور، سندرم داون یا کم‌خونی داسی‌شکل و... را می‌بینیم همواره فکر می‌کنیم که تعداد زیادی توالی‌های نامناسب به آن‌ها رسیده است در حالی‌که همیشه این‌طور نیست و گاهی فقط تغییر در **یک نوکلئوتید** و یک جهش بسیار کوچک، باعث ایجاد یک بیماری **بسیار وخیم** می‌شود. جالب اینجاست که ممکن است در بدن افرادی که ژنوم خود را اوریجینال! و بدون تغییر می‌پندارند نیز تغییرات نوکلئوتیدی بیشتری از بیماران رخ داده باشد ولی از شانس خوب آن‌ها این تغییرات یا جهش‌ها در توالی‌های بین ژنی یا مثلاً اینترون‌ها بوده است که در بروز ژن آن‌ها تأثیری نداشته است.

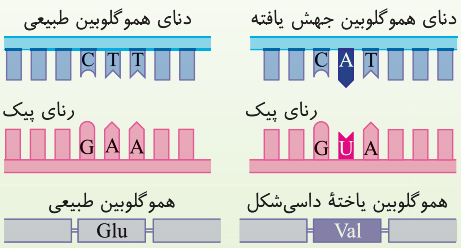
جهش در حقیقت به هر گونه تغییر دائمی در نوکلئوتیدهای مادهٔ وراثتی گفته می‌شود. این ژن‌های جهش یافته، می‌توانند در اثر تقسیم به یاخته‌های دختری منتقل شوند. این تغییر می‌تواند از اضافه شدن یک کروموزوم مثل ایجاد سندرم داون تا تغییر در فقط یک نوع نوکلئوتید Aدار (*آدنین‌دار*) به جای Tدار (*تیمین‌دار*) در رمز مربوط به یک آمینواسید باشد که بیماری مهلک **مستقل از جنس نهفته** کم‌خونی داسی‌شکل را ایجاد کند. همان‌طور که در فصل‌های قبل دیدید، کم‌خونی داسی‌شکل در اثر تغییر شکل هموگلوبین و داسی شدن گویچه‌های قرمز ایجاد می‌شود. از طرفی به یاد دارید که هموگلوبین پروتئینی با ساختار چهارم و دارای چهار رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد که دو به دو به هم شبیه می‌باشند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) هموگلوبین کلاً ۵۷۴ آمینواسید دارد که در افراد سالم و بیمار، ۵۷۲ آمینواسید آن‌ها ترتیب و جایگاه یکسانی دارند ولی فقط در یکی از انواع رشته‌ها (*رشته بتا*)، در بیماران، آمینواسید **ششم** والین به جای گلوتامیک‌اسید قرار گرفته است. وقتی ژن‌های سازنده این دو رشتهٔ پلی‌پپتیدی را در فرد سالم و بیمار مقایسه کردند، به این نتیجه رسیدند که در یک رشته DNA آن‌ها به جای باز آلی T، باز آلی A (*آدنین*) قرار گرفته است و رمز CTT در DNA افراد سالم به رمز CAT در بیماران تبدیل شده است ولی همین جهش کوچک سبب ایجاد یک تخم غیرعادی و یک فرد بیمار، برای کل عمر شده است. (*البته این افراد اگر زنده بمانند، ممکن است نقص خود را به نسل بعد هم منتقل کنند.*)

(۲) در بیماری داسی‌شکل تغییر در نوکلئوتید دوم از رمز وراثتی ششم سازندهٔ زنجیرهٔ بتا، سبب ایجاد رمز جدید، رمزهٔ جدید و در نهایت آمینواسید جدید شده است. فقط تغییر در همین یک آمینواسید باعث تغییرشکل پروتئین هموگلوبین از حالت گرد به داسی‌شکل می‌شود.

(۳) در این بیماری نسبت پورین به پیریمیدین در دنا تغییر نمی‌کند ولی در رنای پیک حاصله در حالت بیماری نسبت پورین‌ها کمتر می‌شود چون U به جای A قرار می‌گیرد.



«مقایسهٔ ژن‌های هموگلوبین در افراد سالم و بیمار.
در این شکل فقط بخشی از ژن نشان داده شده است»

تست ۱ کدام گزینه، عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «در فرد مبتلا به بیماری گویچه‌های قرمز داسی‌شکل و دارای ژن‌نمود Hb^SHb^S .....» (قلم‌چی)

۱) قطعاً بیش از یک ساختار پروتئین هموگلوبین تغییر کرده است.

۲) در برخی یاخته‌ها بیش از دو دگره Hb^S یافت می‌شود.

۳) تنها یک جفت نوکلئوتید در دنای گویچه‌های قرمز نابالغ تغییر کرده است.

۴) قطعاً دگره(های) مربوط به این بیماری توسط کامه‌ها به فرزندان منتقل می‌شود.

پاسخ ۴ البته این تست کمی به نکات گفتار ۲ این فصل نیز ربط دارد. دقت کنید افراد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل معمولاً در سنین پایین می‌میرند، در نتیجه نمی‌توان گفت که به‌طور قطع ژن‌های مربوط به این صفت را از طریق گامت به فرزندان منتقل می‌کنند. گزینهٔ (۲) در مورد یاخته‌های چندهسته‌ای رد می‌شود. در مورد گزینهٔ (۳) باید گفت که در هر دنا یک جفت نوکلئوتید تغییر می‌کند اما این شخص در هر هستهٔ خود، دو ژن معیوب دارد که مجموعاً می‌شود ۲ جفت نوکلئوتید متفاوت.

انواع جهش‌ها

برخی جهش‌ها در حد نوکلئوتید و تغییر در ساختار یک ژن رخ می‌دهند ولی برخی جهش‌ها بسیار وسیع‌ترند و سبب تغییر در **ساختار یا تعداد کروموزوم** می‌شوند برحسب اندازه تغییرات، جهش‌ها به دو نوع کوچک (*ژنی*) و بزرگ (*کروموزومی*) تقسیم می‌شوند. دقت کنید که این تعریف و تقسیم‌بندی جهش‌ها به نوع کوچک و بزرگ، **ربطی به اثر آن‌ها روی افراد ندارد**. همان‌طور که در کم‌خونی داسی‌شکل فهمیدید تغییر کوچک در حد یک نوکلئوتید می‌تواند سبب ایجاد یک بیماری بسیار وخیم در فرد شود که گاهی از اثرات تغییر کروموزومی نیز ممکن است شدیدتر باشد. از طرفی جهش‌ها همواره روی ژن‌نمود اثر می‌گذارند که می‌توانند مفید، مضر و یا حتی خنثی باشند. مثلاً اگر جهش در توالی اینترونی رخ دهد، نوعی جهش خنثی به‌حساب می‌آید.

۱) جهش‌های کوچک (جهش نوکلئوتیدی)

هر گاه جهشی در یک یا چند نوکلئوتید رخ دهد به صورتی که این نوکلئوتیدها **تغییر یابند یا کم و زیاد شوند** را جهش کوچک می‌گویند. این جهش به دو نوع **جانشینی** و **تغییر در تعداد** تقسیم می‌شود که آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم. لازم به یادآوری است که هیچ‌کدام از این جهش‌ها را نمی‌توان با کاریوتیپ تشخیص داد.

● الف) جهش کوچک از نوع جانشینی

وقتی یک نوکلئوتید در DNA به جای نوکلئوتیدی با باز آلی دیگر قرار می‌گیرد باعث ایجاد جهش جانشینی می‌شود. در اثر این جهش و به‌دلیل اصل رابطه مکملی بین بازها، نوکلئوتید مقابل آن نیز طی همانندسازی تغییر می‌کند و در حقیقت این جهش سبب جانشینی **یک جفت نوکلئوتید** نسبت به DNA مادری می‌شود. اگر این جهش درون توالی یک ژن صورت بگیرد و سبب **تغییر در نوع آمینواسید** یا سبب **ایجاد یک رمز پایان ترجمه** جدید شود، می‌تواند نوع پروتئین را نیز عوض کند. مثلاً در کم‌خونی داسی‌شکل، جهش جانشینی سبب ایجاد یک بیماری در فرد می‌شود.

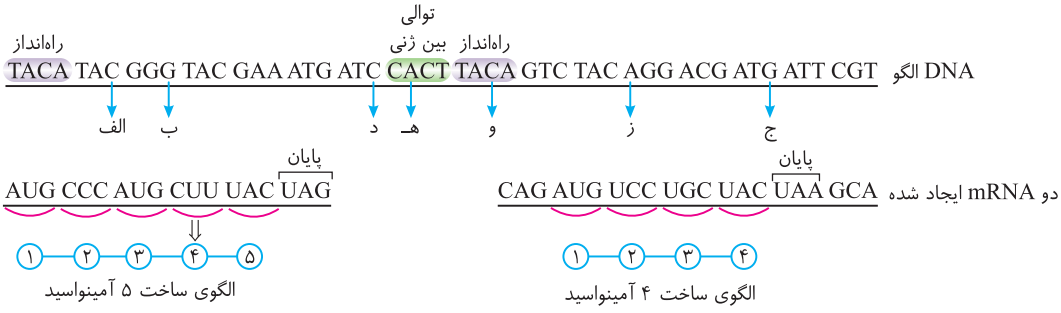
البته دقت کنید که اگر این جهش در بخش تنظیمی مربوط به یک ژن مثلاً در توالی‌های **راه‌انداز یا افزاینده** رخ دهد، می‌تواند **مقدار** رونویسی و ترجمه و یا بیان ژن را تحت تأثیر قرار دهد ولی نوع پروتئین را عوض نکند. حتی ممکن است این جهش در **توالی بین دو ژن** یا در **اینترون‌ها** رخ دهد و هیچ تأثیری در بیان ژن و محصول آن ایجاد نکند که به آن‌ها **جهش خنثی** می‌گویند. در ادامه به بررسی هر یک از انواع اثر جهش جانشینی بر یک مولکول DNA فرضی با دو ژن می‌پردازیم. (*حتماً به‌یاد دارید که همین چند دقیقه قبل خواندید که هر جهشی می‌تواند مفید، مضر یا خنثی باشد.*)



یادآوری: دقت کنید که بیان هر ژن تحت کنترل دو بخش می‌باشد. یک بخش تنظیمی مثل راه‌انداز و افزاینده یا اپراتور و... که از روی آن‌ها رونویسی انجام نمی‌شود و یک بخش درون ژنی که از روی آن رونویسی انجام شده و mRNA رونوشت آن قسمت، سبب پروتئین‌سازی می‌شود.

انواع اثر جهش جانشینی بر روی DNA

برای فهم درست انواع جهش‌های جانشینی، لطفاً به توالی زیر برای ساخت یک رشتهٔ پلی‌پپتید فرضی دقت کنید. DNA فرضی زیر با دو ژن را در نظر بگیرید که ژن اول مسئول ساخت یک رشتهٔ پلی‌پپتید با ۵ آمینواسید و ژن دوم مسئول ساخت یک رشتهٔ پلی‌پپتید با ۴ آمینواسید می‌باشد.



● نکات جهش جانشینی روی DNA الگوی قبل (مهم در بررسی تست‌ها)

۱) جانشینی C با A در (الف): اگر در قسمت (*الف*) به جای باز آلی C، باز آلی A قرار گیرد، در این صورت کدون آغاز ترجمه که AUG می‌باشد به کدون AUU تبدیل می‌شود و پروتئین‌سازی از رمزهٔ آغاز بعدی یا AUG بعدی اگر وجود داشته باشد صورت می‌گیرد که کلاً نوع پروتئین عوض می‌شود.

۲) جانشینی G با C در (ب) (جهش خاموش): اگر به خاطر داشته باشید در فصل ۲ خواندیم که اغلب آمینواسیدها بیش از یک پیام رمز یا کدون دارند پس ممکن است در اثر جهش جانشینی، رمز یک آمینواسید به رمز دیگری از **همان آمینواسید** تبدیل شود که در این صورت در نوع پروتئین تغییری حاصل نمی‌شود. به این نوع جهش‌ها که تأثیری در نوع آمینواسیدها و پروتئین‌سازی ایجاد نمی‌کنند، جهش‌های **خاموش** گفته می‌شود. اگر به جدول رمزهای وراثتی در فصل ۲ توجه کنید، می‌بینید که **در اغلب آمینواسیدهایی که چند نوع کدون دارند**، سومین باز آلی کدون آن‌ها قابل تغییر است ولی نوع آمینواسید عوض نمی‌شود. در اینجا نیز رمز GGG ابتدایی به GGC تبدیل شده است که نوع آمینواسید ترجمه آن‌ها در هر دو صورت پرولین می‌باشد. (*البته این به عنوان یک مثال است وگرنه شما اصلاً نیازی به حفظ کردن هیچ کدون بجز کدون آغاز و پایان‌ها برای آزمون‌ها ندارید.*)

۳) جانشینی G با C در (ج): در این حالت رمز ATG به ATC تبدیل می‌شود. دقت کنید که کدون مربوط به ATG به صورت UAC می‌باشد که یک کدون معنی‌دار برای آمینواسید در ترجمه می‌باشد ولی کدونی که از روی رمز ATC رونویسی می‌شود، توالی UAG دارد که یک کدون پایان ترجمه یا بی‌معنی می‌باشد و سبب **پایان زودرس پروتئین‌سازی** در ژن دوم شده و طول رشته پلی‌پپتیدی آن از ۴ آمینواسید به ۳ آمینواسید تغییر می‌کند.

نکته

به این نوع جهش‌های جانشینی که سبب می‌شوند، پس از رونویسی، یک رمزهٔ معنی‌دار به یک رمزهٔ پایان (*برچسب*) ترجمه تبدیل شود، جهش بی‌معنا (*ایجاد رمزهٔ پایان*) گفته می‌شود. در این حالت طول رشتهٔ پلی‌پپتیدی کاهش می‌یابد.

۴) جانشینی C با T یا G در (د): جهش (*د*) در رمز ATC رخ داده است. این رمز، الگوی کدون پایان UAG بوده است و محل پایان پروتئین‌سازی را نشان می‌دهد. اگر در قسمت (*د*) به جای C، باز آلی T قرار گیرد، سبب تبدیل رمز ATC به ATT می‌شود. در اثر رونویسی ATT، کدون UAA ایجاد می‌شود که باز هم یک کدون پایان است و تغییری در ترجمه یا پروتئین‌سازی ایجاد نمی‌کند، پس یک جهش خاموش است. اگر در قسمت (*د*) رمز ATC به ATG تبدیل شود، یعنی کدون پایان UAG به کدون معنی‌دار UAC تبدیل شده است که مربوط به یک آمینواسید می‌باشد. در این صورت ترجمه ادامه می‌یابد و رمزهای جلوتر نیز حالا ترجمه شده و طول رشتهٔ پلی‌پپتید تا رسیدن به کدون پایان جدید طویل‌تر می‌شود که به احتمال زیاد فاقد عملکرد خواهد شد.

۵) جانشینی A با C در (هـ): در بین دو ژن، توالی‌های بین ژنی وجود دارند که مورد رونویسی و ترجمه قرار نمی‌گیرند، پس جهش در آن‌ها سبب تغییری در فرد نمی‌شود و به عنوان جهشی بی‌اثر یا خنثی معرفی می‌شود.

۶) جانشینی C با T در (و): این جهش در قسمت **راه‌انداز**رخ داده است. می‌دانید که جهش در بخش تنظیم‌کننده یک ژن (*مثل راه‌اندازِ اختصاصی*)، تغییری در نوع ساختار mRNA و پروتئین حاصله ایجاد نمی‌کند ولی **مقدار** رونویسی و پروتئین‌سازی از آن ژن را می‌تواند تغییر دهد چون می‌تواند شناسایی راه‌انداز توسط رنابسپاراز و عوامل رونویسی را دچار اختلال کند.

۷) جهش جانشینی T به جای A در (ز): در این حالت در ژن دوم رمز AGG به رمز TGG تبدیل می‌شود، یعنی کدون UCC به ACC تبدیل شده است. دقت کنید که **هرگونه** تغییر جانشینی در نوکلئوتیدهای اول یا دوم یک کدون، قطعاً سبب **تغییر در نوع آمینواسید** و نوع پروتئین حاصله می‌شود که به آن جهش **دگرمعنا** گفته می‌شود. (*بطور کلی این نوع جهش در اثر تبدیل دو کدون معنی‌دار به هم و مربوط به دو نوع آمینواسید مختلف رخ می‌دهد.*)

نکته

برحسب متن کتاب درسی، جهش‌های جانشینی در ژن، سبب تغییر در محصول رونویسی می‌شوند ولی چارچوب خواندن دنا، رنا و طول محصول را تغییر نمی‌دهند. البته فقط در برخی حالات نادر اگر محل آغاز و پایان رونویسی تغییر کند، می‌توان تغییر در طول رنا را نیز مشاهده کرد.

● ب) جهش‌های کوچک نوکلئوتیدی از نوع حذف و اضافه

در این نوع جهش‌ها، یک یا چند نوکلئوتید به رشته الگوی DNA اضافه یا از آن کم می‌شود. در این حالت نیز ابتدا باید نوع mRNA را به دست بیاورید و با **مقایسه حالت عادی با حالت بعد از جهش** پی به تغییرات ممکن ببرید. البته چون رمزها یا کدون‌ها ۳ حرفی می‌باشند، در این نوع جهش هر تغییری می‌تواند یک اثر ویژه روی خواندن کدون‌ها و ترجمه آن‌ها داشته باشد. در فارسی اگر ۴ کلمه ۳ حرفی [این برگ زرد است] را به صورت ۴ کدون ۳ حرفی در نظر بگیریم، در صورت جانشینی (*گ*) با (*ف*) جمله به صورت [این برف زرد است] درمی‌آید که باز هم می‌تواند در برخی موارد معنی داشته باشد ولی اگر یک حرف (*ا*) بین [این] و [برگ] اضافه کنیم، دیگر رمزها به صورت [این ابر گزر داست] می‌شود که جمله کلاً بی‌معنی می‌شود و از جایی که جهش ایجاد شده است دیگر چارچوب یا روش خواندن ۳تا ۳تایی رمزها تغییر می‌کند. مثلاً اگر دو حرف (*ر*) و (*گ*) پشت سر هم را حذف کنیم، رمزهای جمله به صورت [این بزر داست] می‌شود که باز هم چارچوب خواندن جمله عوض می‌شود. **دقت کنید که عوض شدن چارچوب خواندن، فقط مربوط به نوع و طریقه خواندن رمزهای DNA یا mRNA رونویسی شده می‌باشد و ربطی به اثر جهش بر پروتئین‌سازی ندارد.**

نکته

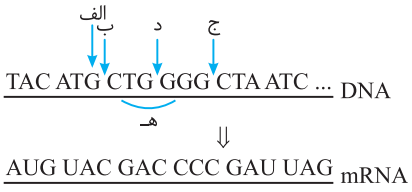
اگر در مثال جمله [این برگ زرد است] سه حرف [زرد] یا [برگ] حذف شود در این صورت جمله به صورت [این برگ است] یا [این زرد است] تبدیل می‌شود که فقط یک کلمه یا رمز آن حذف شده است ولی چارچوب خواندن سایر رمزها (*این، برگ، است*) بی‌تغییر است.

اگر هم مثلاً سه حرف (ی - ن - ب) که پشت سر هم می‌باشند اما مربوط به یک رمز نیستند، نیز حذف شوند در این صورت جمله به صورت [ارگ زرد است] درمی‌آید که رمز اول جدید است ولی تغییری در چارچوب خواندن دو رمز آخر آن‌ها ایجاد نشده است. دقت کنید که در این مثال نیز نوع جمله یا پروتئین حاصل عوض شده است ولی چارچوب خواندن سایر رمزها یا کدون‌ها به‌طور کلی تغییر نکرده است. در هر صورت دقت کنید که تغییر در چارچوب خواندن، یعنی از آنجایی‌که تغییر داده‌ایم تا آخر ژن و توالی، ترتیب خواندن سه‌تا سه‌تای نوکلئوتیدها عوض شوند.

نتیجه: اگر در جهش‌های حذف و اضافه نوکلئوتیدی، یک یا دو نوکلئوتید در DNA کم یا زیاد شود، چارچوب خواندن رمزها تغییر می‌کند و نوع پروتئین نیز عوض می‌شود ولی اگر سه یا مضربی از سه عدد نوکلئوتید در مجاور هم کم یا زیاد شوند، چارچوب کلی خواندن DNA و mRNA تغییر نمی‌کند ولی نوع پروتئین حاصله باز هم به احتمال زیاد تغییر می‌کند.

انواع اثر جهش حذف و اضافه نوکلئوتید در DNA

باز هم این موارد را با ذکر یک توالی فرضی مقابل انجام می‌دهیم (نکات مهم در بررسی تست‌ها).



۱) حذف نوکلئوتید G در (الف) یا اضافه شدن A در (ب): اگر نوکلئوتید G را در قسمت (الف) DNA حذف کنیم، مثل این است که باز آلی C را در mRNA حذف کرده‌ایم، اولاً که چارچوب خواندن رمزها در DNA و mRNA تغییر می‌کند و ثانیاً در mRNA بعد از کدون آغاز AUG و ترجمه متیونین آن، به جای کدون معنی‌دار UAC، کدون UAG می‌آید که یک کدون پایان است و دیگر ترجمه‌ای صورت نمی‌گیرد.

اگر در قسمت (ب) نیز باز آلی A اضافه کنیم، چارچوب خواندن را عوض کرده‌ایم و در mRNA حاصله نیز بعد از رمز AUG و UAC و ساخت دی‌پپتید از روی آن‌ها، یک کدون UGA به وجود می‌آید که رمز پایان است و دیگر ترجمه ادامه نمی‌یابد. (*A اضافه شده در mRNA به صورت U رونویسی می‌شود. پس تغییر در طول رشتهٔ پلی‌پپتیدی در هر دو نوع جهش کوچک جانشینی و تغییر تعداد، محتمل است.*)

۲) اضافه کردن دو نوکلئوتید AC در (ج): در این حالت بعد از ۴ کدون اول که دست نخورده بوده‌اند رمزهای CTA و ATC به صورت ACC ، TAA و TC درمی‌آید که کلاً چارچوب خواندن در mRNA و DNA و نوع پروتئین عوض می‌شود.

۳) اضافه شدن AAA در (د): در این صورت یک رمز و یک کدون بین رمز سوم و چهارم اضافه می‌شود و یک آمینواسید به رشته افزوده می‌شود ولی چارچوب خواندن سایر رمزها تغییر نمی‌کند.

۴) حذف TGG در (هـ): اگر TGG را حذف کنیم، دو رمز اول TAC و ATG تغییر نمی‌کنند ولی رمز سوم و چهارم از CTG و GGG به یک رمز CGG عوض می‌شود و دوباره سایر رمزها بدون تغییر در چارچوب خواندن باقی می‌مانند. پس چارچوب خواندن mRNA را تغییر نمی‌دهد.

۵) در حل تست‌ها و سؤالات جهش نوکلئوتیدی، ابتدا توالی DNA و mRNA را قبل از جهش و سپس بعد از جهش بنویسید. در آخر به دنبال تغییرات از کدون آغاز تا پایان ترجمه یا رمزهای DNA بگردید. البته در تست‌هایی که در آخر این گفتار می‌آید با تنوع این تغییرات و تست‌ها آشنا خواهید شد.

۶) جهش تغییر در چارچوب می‌تواند سبب تغییر در طول رنا و محصول شود.

۷) جهش‌های کوچک از هر نوعی که باشند را نمی‌توانیم از روی کاریوتیپ افراد، تشخیص دهیم.

تست ۲ (قلم‌چی)

چند مورد جملهٔ زیر را به نادرستی کامل می‌کند؟

«هر جهشی که در بخش الگوی ژن مربوط به میوگلوبین ایجاد شود، قطعاً روی ..... اثر می‌گذارد.»

الف) فعالیت ذخیرهٔ اکسیژن توسط پروتئین
ب) ساختار رنای پیک وارد شده به سیتوپلاسم
ج) توالی نوکلئوتیدی عامل تعیین‌کنندهٔ توالی رنای پیک
د) توالی‌های پادرمزهٔ وارد شده به رناتن برای ترجمه

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ فقط مورد (ج) صحیح است.

تله‌های تستی الف) جهش‌های خاموش تأثیری در فعالیت پروتئین ندارند. / ب و د) ممکن است جهش سبب تغییر میانه‌ها شود و تأثیری بر رنای بالغ نداشته باشد و یا حتی این جهش در یک یاختهٔ پوستی رخ دهد و هیچ‌وقت ژن‌های تولید میوگلوبین آن، بیان نشوند. / ج) عامل تعیین‌کنندهٔ توالی رنای پیک، توالی نوکلئوتیدی دناست که در پی هر نوع جهش، توالی دنا قطعاً تغییر می‌کند.

تست ۳ (قلم‌چی)

کدام گزینه عبارت زیر را به‌طور صحیح کامل می‌کند؟

«هر جهش کوچکی که سبب کاهش طول رشتهٔ پلی‌پپتید حاصل از یک ژن شود، به‌طور قطع .....»

۱) با تغییر طول مادهٔ وراثتی همراه نیست.
۲) یک جهش بی‌معنا حساب می‌شود.
۳) با ایجاد رمزه پایان زودرس در توالی ژن همراه است.
۴) با کاهش تولید آب هنگام فعالیت رناتن همراه است.

پاسخ ۴ کاهش طولی پلی‌پپتید به معنی ایجاد پیوند پپتیدی کمتر برای ساخت پلی‌پپتید است. در نتیجه به دلیل پیوند پپتیدی کمتر، آب کمتری هم بر اثر سنتز آبدهی تولید می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): جهش تغییر در تعداد از نوع حذف و اضافه هم می‌تواند با ایجاد رمزه پایان زودرس همراه باشد. / گزینهٔ (۲): براساس شکل کتاب، جهش بی‌معنا صرفاً برای جهش جانشینی در نظر گرفته شده است، اما جهش تغییر چهارچوب هم می‌تواند سبب کاهش طول پلی‌پپتید شود. / گزینهٔ (۳): **رمزه** در mRNA قرار دارد، نه در ژن.

تست ۴ کدام گزینه عبارت «هر جهش .....» را به درستی تکمیل می‌کند؟

۱) جانشینی در DNA، باعث تغییر در توالی یک RNA می‌شود.

۲) تغییر چارچوب، با شکستن پیوند اشتراکی در مادهٔ وراثتی همراه است.

۳) جانشینی خاموش، رمز یک آمینواسید را به رمز دیگر همان آمینواسید تبدیل کرده است.

۴) تغییر چارچوب که درون یک ژن رخ داده است، توسط رنابسپاراز ۲ رونویسی می‌شود.

پاسخ ۲ تغییر در چارچوب در اثر تغییر در تعداد نوکلئوتید رخ داده است که با شکستن پیوند فسفودی‌استر برای اضافه یا کاهش نوکلئوتید همراه بوده است.

در گزینهٔ (۳) دقت کنید که ممکن است این جهش بی‌اثر در تغییر دو رمز بی‌معنی رخ داده باشد و در گزینهٔ (۴) ممکن است جهش در یاخته پروکاریوت باشد و با رنابسپاراز پروکاریوتی رونویسی شود (*یا اصلاً مگه هر ژنی، قراره رنای پیک بسازه!*). در مورد رد گزینهٔ (۱) نیز جهش در توالی‌های تنظیمی مثل راه‌انداز که رونویسی نمی‌شوند را در نظر بگیرید.

۲) جهش‌های بزرگ (کروموزومی)

تا اینجا به بررسی جهش‌های کوچک پرداختیم و متوجه شدید که این جهش‌ها روی **یک یا چند نوکلئوتید** در **یک کروموزوم** تأثیر دارند **ولی گاهی ساختار قسمتی از یک کروموزوم که حاوی چندین ژن می‌باشد یا کل یک یا چند کروموزوم در اثر اشکال در تقسیم یاخته تغییر پیدا می‌کنند**. این جهش‌ها از نوع **بزرگ** یا **کروموزومی** (*جهش خام‌تنی*) هستند. **اغلب** این جهش‌ها را می‌توان با مشاهده **کاریوتیپ** افراد مشاهده کرد. این جهش‌ها به دو نوع تغییر در تعداد کروموزوم (*ناهنجاری عددی*) و تغییر در ساختار کروموزوم (*ناهنجاری ساختاری*) تقسیم می‌شوند که در هر دو مورد غالباً سبب مرگ در **تخم** حاصله می‌شوند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اگر جهش در تخم یک جاندار رخ دهد و تخم از بین نرود، این جهش در همهٔ یاخته‌های **پیکری** بدن پخش می‌شود.

۲) اگر جهش در یاخته‌های جنسی (*گامت‌ها یا یاخته‌های سازندهٔ آن‌ها*) رخ دهد، **ممکن است** به نسل بعد منتقل شود چون باید ببینیم آن گامت در لقاح شرکت کرده است یا نه! البته دقت کنید که مثلاً جهش در ژن‌های میتوکندری اسپرم‌ها، هیچ‌گاه به نسل بعد انسان منتقل نمی‌شود چون فقط سر اسپرم وارد تخمک یا اووسیت می‌شود و هر ژن سیتوپلاسمی فرزند از تخمک تأمین می‌شود.

۳) جهش در یاخته‌های غیرجنسی (*پیکری*) سبب باقی ماندن جهش در بدن **خود فرد** می‌شود ولی به نسل بعد **منتقل نمی‌شود**. در این حالت جهش ممکن است روی جسم و ظاهر خود فرد تأثیر داشته باشد.

۴) جهش‌ها به‌طور مستقیم در ایجاد رنا و پروتئین و به‌طور غیرمستقیم در تولید قند و لیپیدها مؤثرند.

انواع جهش‌های بزرگ

الف) تغییر در تعداد کروموزوم (ناهنجاری عددی)

همان‌طور که در زیست یازدهم خواندید، در برخی مواقع **در اثر جدا نشدن کروموزوم‌ها** در مراحل **آنافاز** تقسیم‌ها، در یاخته‌های حاصله **تعدادی** کروموزوم غیرطبیعی ایجاد می‌شود. اگر این تقسیم نادرست در میوز رخ دهد و گامت حاصله در لقاح شرکت کند، آن موقع تخمی و سپس در صورت بقای تخم، فرزندی با عدد کروموزومی غیرعادی ایجاد می‌شود. شایع‌ترین حالت را در سندرم **داون** می‌بینیم که تریزومی ۲۱ دارند، یعنی یک کروموزوم ۲۱ از افراد عادی، بیشتر دارند. این افراد که درجات مختلفی از عقب‌افتادگی **ذهنی و جسمی** دارند، ۴۵ کروموزوم غیرجنسی به همراه یک جفت کروموزوم جنسی XX یا XY دارند یعنی ۴۷ کروموزومی هستند (*این اشکال اغلب در اثر سن بالای مادر و ایجاد تخمکی با ۲۴ کروموزوم ایجاد می‌شود*). **به اختلالاتی که در اثر کم یا زیاد شدن یک یا تعدادی کروموزوم در افراد صورت می‌گیرد جهش بزرگ از نوع ناهنجاری عددی گفته می‌شود** (*مثل سندرم داون*). **این جهش‌ها را به راحتی می‌توانیم از روی کاریوتیپ افراد و جنین‌ها تشخیص دهیم.**

تست ۵ اگر طی میوز ۱ اووسیت اولیه‌ای، جفت کروموزوم‌های ۲ و ۲۳ دچار جدا نشدن کروموزومی شود و گامت حاصله با یک اسپرم طبیعی لقاح کند، .....

۱) حداکثر کروموزوم تخم حاصله ۴۸ عدد به همراه ۳ کروموزوم X می‌باشد.

۲) تخم آن‌ها حداکثر دو کروموزوم X دارد.

۳) حداقل ۴۴ کروموزوم حاوی یک X در تخم دیده می‌شود.

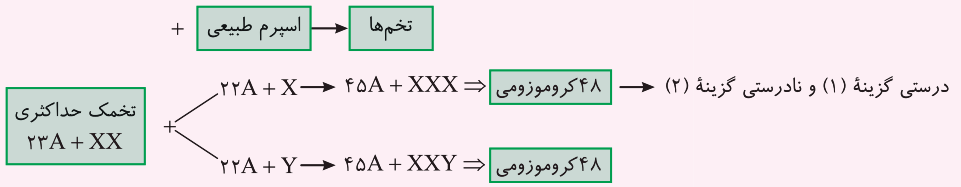
۴) نمی‌توان تخمی با ۴۶ کروموزوم در آن‌ها مشاهده کرد.

پاسخ ۱ A در این پاسخ نشان دهندهٔ کروموزوم غیرجنسی (*اتوزوم‌ها*) می‌باشد.

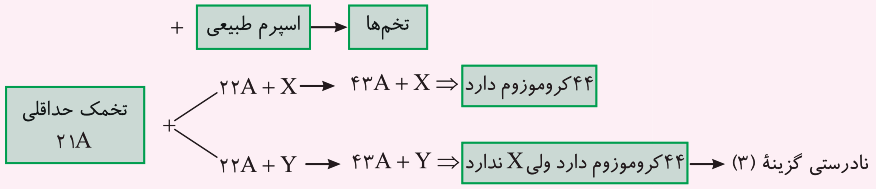
دقت کنید که اسپرم طبیعی است پس یا (۲۲A+X) دارد و یا (۲۲A+Y) دارد. تخمک آن‌ها در میوز ۱ دچار جدا نشدن دو جفت کروموزوم شده است و حداکثر گامتی با دو کروموزوم اضافی یکی در کروموزوم‌های غیرجنسی (*جفت ۲*) و یکی در Xها (*جفت ۲۳*) دارد. حداقل تعداد کروموزوم، در حالتی است که این دو کروموزوم به آن گامت نرسد یعنی ۲۱ کروموزومی و بدون کروموزوم جنسی شود و حداکثر کروموزوم تخمک، در حالتی است که به جای ۲۳ کروموزوم، دارای ۲۵ کروموزوم و با دو کروموزوم جنسی X شود.

در این صورت:

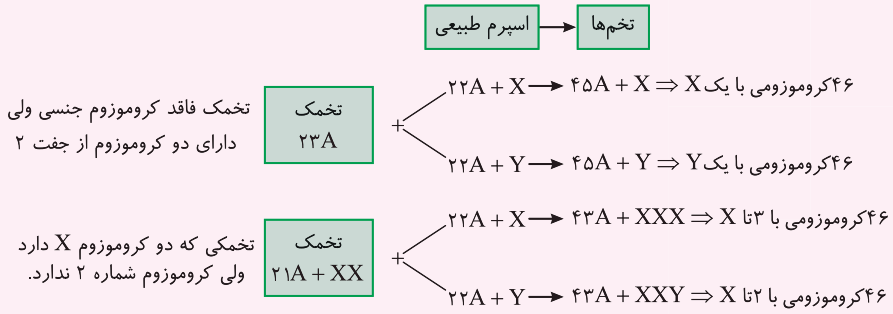
الف) اگر تخمکی با **حداکثر** کروموزوم‌ها لقاح کند:



ب) اگر تخمکی با **حداقل** کروموزوم‌ها لقاح کند:



ج) اگر در مرحلهٔ آنافاز برای تولید تخمک، هر دو کروموزوم جفت ۲ به یک سمت و هر دو کروموزوم جفت ۲۳ به سمت قطب دیگر بروند در این صورت تخمک حاصله، دو نوع خواهد بود که هر دو ۲۳ کروموزوم دارند ولی یکی دارای یک کروموزوم غیرجنسی بیشتر می‌باشد و فاقد کروموزوم جنسی است و دیگری دو کروموزوم X دارد ولی کروموزوم جفت ۲ ندارد که با لقاح آن‌ها با اسپرم طبیعی، تخم‌های ۴۶ کروموزومی ایجاد می‌شوند (*نادرستی گزینهٔ (۴)*).



ب) تغییر در ساختار کروموزوم (ناهنجاری ساختاری)

در این نوع جهش‌های بزرگ، **قسمتی** از یک یا چند کروموزوم دچار **تغییراتی در ساختار** خود می‌شوند ولی **تعداد** کروموزوم هر یاخته با یاخته عادی تفاوتی ندارد. این جهش‌ها به ۴ نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم. فرض کنید کروموزوم شماره ۵ انسان، ۷ ژن به صورت A B C D E F G M N O P روی خود داشته باشد و کروموزوم شماره ۲۱ دارای ۴ ژن باشد. حالا می‌خواهیم انواع جهش‌های ساختاری را روی این ژن‌ها و کروموزوم‌های فرضی بررسی کنیم.

A) جهش کروموزومی حذف (کاهش)

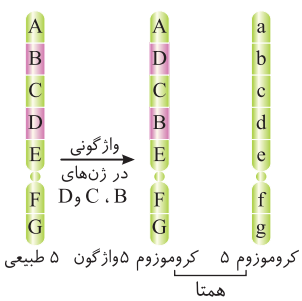
در این حالت قسمتی از یک کروموزوم و ژن‌های آن قطعه حذف می‌شود. این حالت اگر در تخم رخ دهد، **غالباً** باعث مرگ یاخته می‌شود. مثلاً فرض کنید ژن‌های A و B از کروموزوم شماره ۵ انسان حذف شود و به صورت C D E F G دربیاید.

نکته مهم

دقت کنید که حذف در جهش‌های کوچک در اثر از بین رفتن **یک یا چند نوکلئوتید** در یک ژن یا قسمتی از DNA رخ می‌دهد که با دیدن کاریوتیپ قابل مشاهده نیست در حالی که ممکن است ناهنجاری وخیم ایجاد کند ولی در جهش بزرگ به معنی کاهش برخی **ژن‌های** یک کروموزوم است که سبب ایجاد ناهنجاری شده و در کاریوتیپ نیز قابل مشاهده می‌باشد. در هر صورت یادتان باشد که اثر جهش روی ظاهر و عمل فرد به شانس و نوع قسمت تغییر یافته بستگی دارد نه اندازهٔ جهش!

B) واژگونی

در این حالت قسمتی از یک کروموزوم جدا شده و در جهت **برعکس** روی خودش و در **جایگاه خودش** قرار می‌گیرد. **در واژگونی تعداد نوکلئوتید آن کروموزوم تغییر نمی‌کند ولی در برخی مناطق دیگر جفت ژن‌های الل روبه‌روی هم قرار ندارند.** مثلاً در شکل مقابل در اثر جهش واژگونی در ژن‌های B ، C و D کروموزوم شماره ۵، دیگر ژن‌های الل B و b یا D و d مقابل هم نیستند.

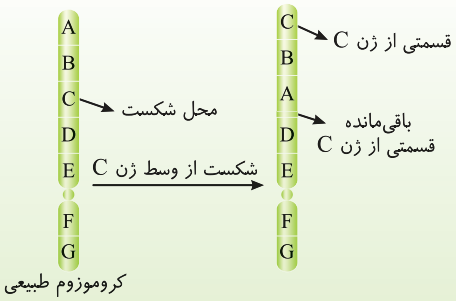


چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در جهش واژگونی دقت کنید که همواره این‌طور نیست که شکست قطعه دقیقاً از بین دو ژن صورت بگیرد و سپس به صورت وارونه به آن کروموزوم وصل شود. در برخی موارد ممکن است نوکلئوتیدها در قطعه‌ای از وسط یک ژن شکسته شود و دیگر آن ژن در کروموزوم وجود کامل و فعالی نداشته باشد.

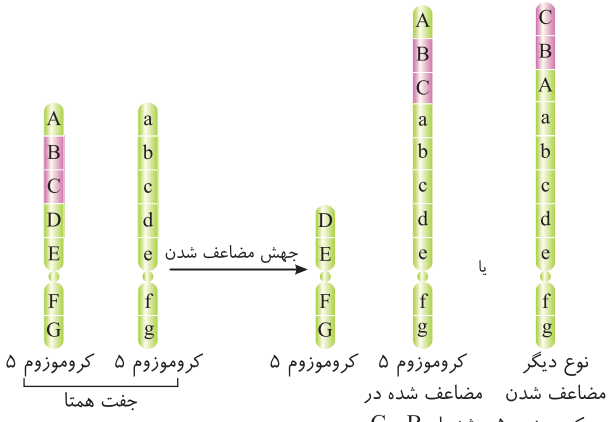
۲) در جهش ساختاری کروموزومی از نوع واژگونی، طول کروموزوم تغییر نمی‌کند (*برای همین، ممکن است در بررسی کاریوتیپ، این نوع جهش چندان مشخص نباشد*).

۳) اگر جهش واژگونی در محلی رخ دهد که فاقد سانترومر است، ممکن است در کاریوتیپ مشخص نشود.



C) مضاعف‌شدگی

اگر قسمتی از یک کروموزوم جدا شود و به **کروموزوم همتای** خود متصل شود، می‌گوییم جهش مضاعف‌شدگی رخ داده است. **در این جهش یک کروموزوم برخی ژن‌ها را ندارد ولی کروموزوم همتای آن از برخی ژن‌ها، دو نسخه یا دو الل دارد.** مثلاً در شکل روبه‌رو ژن‌های A، B و C از کروموزوم ۵ جدا شده و به کروموزوم ۵ همتای خود متصل شده است.



D) جابه‌جایی

در این حالت قطعه‌ای از یک کروموزوم جدا می‌شود و به کروموزوم **غیرهمتا** یا به قطعه‌ای از **کروموزوم خود** متصل می‌شود. مثلاً انتقال هر قسمتی از کروموزوم جنسی به کروموزوم‌های غیرجنسی یا بالعکس را جابه‌جایی می‌گویند که می‌تواند دوطرفه نیز باشد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دقت کنید که در جابه‌جایی، قطعه جدا شده نباید به کروموزوم همتا وصل شود (*در این صورت جهش، مضاعف‌شدگی است*). یعنی اگر قطعهٔ جدا شده به همان کروموزوم و یا به کروموزوم‌های غیرهمتا وصل شود، از نوع جابه‌جایی می‌باشد.

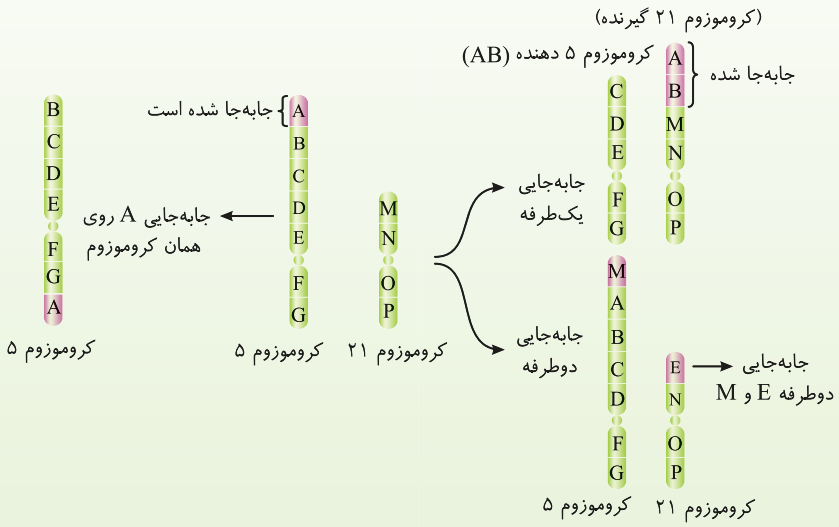
۲) تفاوت جهش جابه‌جایی در همان کروموزوم، با جهش واژگونی در این است که در نوع واژگونی، محل جهش همان محل قبلی است که ردیف ژن‌ها برعکس شده‌اند ولی در جابه‌جایی این تغییر در محل دیگری از همان کروموزوم رخ داده است.

۳) هر کروموزوم می‌تواند در طول خودش جهش واژگونی یا جابه‌جایی انجام دهد. که در این دو حالت تغییری در طول کروموزوم ایجاد نمی‌شود.

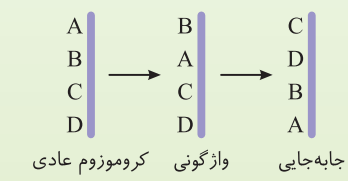
۴) به دلیل وجود جفت کروموزوم همتای X در زنان ولی غیرهمتا بودن Y و X در مردان، احتمال بروز جهش **مضاعف‌شدگی** در زنان از مردان بیشتر است.

◀ در مردان اگر هر قسمتی از کروموزوم‌های X یا Y به هر کروموزوم دیگر برود، جهش جابه‌جایی رخ داده است.

۵) در همهٔ این جهش‌ها نسبت پورین به پیریمیدین در دنا تغییر نمی‌کند.



۶) دقت کنید که اگر قسمتی از یک کروموزوم جدا شد و به صورت برعکس به همان توالی کروموزومی خودش متصل شد، به این جهش، واژگونی می‌گویند ولی اگر قسمتی از یک کروموزوم جدا شد و به قسمتی دیگر از همان کروموزوم متصل شد، این جهش از نوع جابه‌جایی می‌باشد که در این دو حالت، طول کروموزوم، تغییر نمی‌کند.



تست ۶ **هر کروموزوم ..... یاختهٔ پیکری زنان همانند مردان با ..... کروموزوم ..... می‌تواند جهش ..... برقرار کند.**

۱) جنسی - ۴۴ - غیرجنسی - جابه‌جایی
۲) غیرجنسی - ۴۴ - جنسی و غیرجنسی - جابه‌جایی
۳) غیرجنسی - ۱ - غیرجنسی - مضاعف‌شدگی
۴) جنسی - ۲ - جنسی - مضاعف‌شدگی

پاسخ ۱ در زنان ۴۶ کروموزوم وجود دارد که همگی دو به دو همتا می‌باشند چون دو کروموزوم همتای X دارند. مردان در ۴۴ کروموزوم غیرجنسی خود همانند زنان می‌باشند و همگی دو به دو همتا هستند ولی جفت جنسی آن‌ها XY و غیرهمتا می‌باشد. هر کروموزوم جنسی یا X در زنان با ۴۴ کروموزوم غیرجنسی یا ۲۲ **نوع** کروموزوم غیرجنسی یا با **خودش** می‌تواند جهش جابه‌جایی انجام دهد و فقط با یک کروموزوم X همتای خود می‌تواند جهش مضاعف‌شدگی برقرار کند. در مردان هر کروموزوم جنسی X یا Y با ۴۶ کروموزوم جنسی و غیرجنسی (*جفت با خودش*) دیگر می‌تواند جهش جابه‌جایی برقرار کند ولی امکان برقراری جهش مضاعف‌شدگی ندارند چون جفت همتا در کروموزوم‌های جنسی خود ندارند.

نکته: هر کروموزوم غیرجنسی در مردان و زنان می‌تواند با **یک** کروموزوم **همتای** خود جهش مضاعف‌شدگی و با **۴۴** کروموزوم غیرجنسی و جنسی **دیگر** که همتا نمی‌باشد به علاوه با کروموزوم **خودش** جهش جابه‌جایی انجام دهد (*دلیل درستی گزینهٔ (۱) و نادرستی سایر گزینه‌ها*).

تست ۷ **در بررسی انواع جهش‌های بزرگ در انسان می‌توان گفت، هر جهشی که موجب ..... شود قطعاً .....** (قلم‌چی)

۱) حذف تعدادی ژن از فام‌تن - موجب مرگ یاختهٔ جهش‌یافته خواهد شد.
۲) بروز تغییر در کاریوتیپ - موجب تغییر در تعداد یا اندازهٔ فام‌تن‌ها می‌شود.
۳) عدم تغییر تعداد ژن‌های فام‌تن - در کاریوتیپ قابل تشخیص دادن نیست.
۴) افزایش نسخه‌های یک ژن در فام‌تن اسپرماتوسیت اولیه - در همهٔ یاخته‌های جنسی حاصل از آن دیده نمی‌شود.

پاسخ ۴ جهش مضاعف‌شدن موجب می‌شود تا بخشی از ژن‌های یک فام‌تن جدا شده و به فام‌تن همتا متصل شود. در این حالت فام‌تن همتا از آن ژن‌ها دارای دو نسخه خواهد بود. این نوع جهش در نیمی از یاخته‌های جنسی حاصل از یک اسپرماتوسیت اولیه دیده می‌شود. چون نیمی دیگر از یاخته‌های جنسی، جهش حذف را نشان می‌دهند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): جهش حذف غالباً منجر به مرگ یاختهٔ جهش‌یافته می‌شود، نه همیشه. (*البته حذف ژن از کروموزوم مربوط به نوع جابه‌جایی و مضاعف‌شدگی هم می‌شود.*) / گزینهٔ (۲): اگر جهش واژگونی یا جابه‌جایی از نوع درون فام‌تنی، جای سانترومر را در فام‌تن تغییر دهند، امکان دارد در کاریوتیپ قابل تشخیص باشد. همان‌طور که می‌دانید در این نوع جهش تعداد و اندازهٔ فام‌تن‌ها تغییری نمی‌کند. / گزینهٔ (۳): جهش واژگونی و جهش جابه‌جایی که در یک فام‌تن رخ دهد، امکان دارد تعداد ژن‌های فام‌تن را عوض نکند. همان‌طور که در توضیح گزینهٔ (۲) گفته شد، جهش واژگونی در شرایطی در کاریوتیپ قابل تشخیص است.

پیامد یا اثر جهش‌ها بر عملکرد یاخته و محصول

در این قسمت می‌خواهیم بررسی کنیم که جهش چه تأثیری بر **عملکرد محصولات خود** می‌گذارد و این تأثیرات به چه عواملی بستگی دارد. می‌دانیم که ژن‌های زیادی روی هر کروموزوم جاندار وجود دارد که از روی آن‌ها طی رونویسی ابتدا RNAها ایجاد می‌شوند و از روی mRNAها نیز رشته‌های پلی‌پپتیدی و پروتئین‌ها تولید می‌شوند تا کار یاخته و بدن جاندار را انجام دهند. در یاخته‌ها، بین ژن‌ها توالی‌های خاصی به نام **توالی بین ژنی** نیز وجود دارد که بخش‌های تنظیمی و غیرتنظیمی در آن قرار دارد. اگر جهش روی آن‌ها انجام شود، قطعاً در نوع پروتئین اختلالی ایجاد نمی‌کند. در اینجا ابتدا باید به تعریف ژنوم (*ژنگان*) بپردازیم که بسیار نیز در تست‌ها کاربرد دارد.

تعریف ژنوم (ژنگان)

به کل محتوای ژنتیک یک جاندار، یا گونه، ژنوم می‌گویند. ژنوم مجموعهٔ ژن‌ها، توالی‌های بین ژنی (*تنظیمی و غیرتنظیمی*) و کل قسمت‌های روی DNA موجود در هسته و سیتوپلاسم اطلاق می‌شود. **محتوای ژنوم، دو قسمت محتوای ژنتیکی هسته و محتوای ژنتیکی سیتوپلاسم دارد.** محتوای ژنتیکی سیتوپلاسم یک جاندار در DNA میتوکندری و پلاست آن به صورت **یک DNA حلقوی** قرار دارد ولی محتوای ژنتیکی ژنوم در **هسته** جاندار در n نوع کروموزوم غیرجنسی (*غیرجفت*) و هر دو نوع کروموزوم جنسی X و Y قرار دارد. مثلاً ژنوم هسته‌ای انسان، درون ۲۲ کروموزوم غیرجنسی و کروموزوم‌های جنسی X و Y وجود دارد. دقت کنید که چون هر جفت کروموزوم همتا، حاوی انواع ژن‌های مشابه با دستورالعمل متفاوت می‌باشند برای بررسی جایگاه ژن‌ها در ژنوم، نیاز نیست که هر دو کروموزوم همتا بررسی شود. اگر هر کدام از کروموزوم‌های یک جفت کروموزوم همتا را بررسی ژنی کنیم، مانند این است که هر دو کروموزوم همتا را بررسی جایگاه ژنی کرده‌ایم. در حقیقت ما در بررسی ژنوم، دنبال بررسی نوع فعالیت ژن‌ها و توالی‌ها نیستیم بلکه فقط می‌خواهیم ببینیم مثلاً در طول کروموزوم ۱ در هر **محل**، چه ژن یا توالی تنظیمی یا غیره وجود دارد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) اگر یک گونه **جانوری** دارای یاخته پیکری $2n=10$ باشد، می‌دانیم که ۸ کروموزوم غیرجنسی و ۲ کروموزوم جنسی X و Y وجود دارد. پس باید ۴ کروموزوم غیرجنسی و دو نوع کروموزوم جنسی X و Y را برای ژنوم هسته‌ای آن گونه بررسی کنیم. البته چون گونه جانوری مدنظر بوده است پس باید یک DNA موجود در **میتوکندری** را نیز برای **ژنوم سیتوپلاسمی** این گونه بررسی کنیم.

۲) در قارچ‌ها و سایر گونه‌هایی که پیکر آن‌ها از یاخته‌های **هاپلوئید** ایجاد شده‌اند باید **همه کروموزوم‌های هسته‌ای** را برای بررسی ژنوم هسته‌ای آن‌ها حساب کنیم چون این جانداران فاقد کروموزوم همتا هستند.

۳) در گیاهان و برخی آغازیان مثل جلبک‌ها، ژنوم را علاوه بر هسته و میتوکندری، در ژن‌های کلروپلاست نیز بررسی می‌کنیم.

۴) مثلاً از بررسی توالی‌های مختلف در اسپرماتوگونی یک مرد می‌توانیم به بررسی کل ژنوم انسان‌های روی کرهٔ زمین بپردازیم ولی در زنان چون فاقد کروموزوم Y هستند نمی‌توان ژنوم کامل انسان‌ها را از آن‌ها به دست آورد.

تست ۸ **برای پیدا کردن ژنگان انسان‌ها داشتن حداقل کدام‌یک مورد نیاز است؟**

۱) یک اسپرم و یک تخمک
۲) دو نوع اسپرم (یکی دارای X و یکی دارای Y)
۳) دو نوع اسپرم و یک تخمک
۴) یک اووسیت اولیه یا اووگونی

پاسخ ۲ **ردیابی ژنگان (ژنوم)، خُب بریم سر وقت نکته‌ها:**

- برای اینکه ژنگان گونه‌ای یوکاریوتی را پیدا کنیم، باید محل تمام ژن‌ها، توالی‌های بین‌ژنی و تنظیمی **هسته** و تمام آن‌ها را در میتوکندری و کلروپلاست (*در صورت وجود*) **سیتوپلاسم** ردیابی کنیم. از طرفی برای ردیابی ژنگان هسته باید از **یاخته XY** استفاده کنیم که **هر دو نوع فام‌تن جنسی** را داشته باشد. البته بدانید که از هر جفت همتا در کروموزوم‌های غیرجنسی، ردیابی **یکی از آن‌ها** کافی است. پس برای ردیابی **ژنگان هسته در جانداری ۲n فام‌تنی، باید** $(n+1)$، فام‌تن **خطی** ردیابی شوند ولی در سیتوپلاسم، یک فام‌تن حلقوی مربوط به میتوکندری و شاید یکی مربوط به کلروپلاست می‌باشد.
- مثلاً برای ردیابی ژنگان جانداری ۲n و فتوسنتزکننده که حاوی دو نوع فام‌تن جنسی باشد و ۲n =۴۸ است باید ژن‌های هسته را $(n+1)$ یعنی در ۲۵ فام‌تن و دو تا هم برای میتوکندری و کلروپلاست یعنی در ۲۷ فام‌تن ردیابی کرد.
- در جاندارانی که **هاپلوئیدند** مثل قارچ‌ها، برخی جلبک‌ها (*اسپیروژیر*) و زنبور نر همهٔ فام‌تن‌های هسته باید ردیابی شوند، چون همان‌طور که می‌دانید جفت فام‌تن همتا وجود ندارد. (*راستی یادتونه جهش مضاف‌شدگی در این جانداران ایجاد نمی‌شود؟! په نه‌په! مگه فام‌تن همتا داره که تشکیل بشه!*)
- در مورد این پرسش برای **پیدا کردن ژنگان انسان باید از دو نوع اسپرم که یکی X و دیگری Y دارد** استفاده کرد، چون در قطعهٔ میانی آن هم ژنگان میتوکندری وجود دارد ولی تخمک انسان همیشه فاقد Y است و ردیابی کاملی از ژنگان انسان نمی‌دهد.
- دلیل نادرست بودن گزینهٔ (۱) این است که ممکن است اسپرم نیز مانند تخمک، فام‌تن X داشته باشد و سر Y بی‌کلاه می‌مونه.
- دقت کنید گزینهٔ (۳) در مورد واژهٔ **حداقل**، رد می‌شود.

تأثیر محل وقوع جهش در پیامد جهش

با توجه به تعریف ژنوم، فکر کنم متوجه شدید که فرق **ژن و ژنوم** چیست. دوستان عزیز دوباره تکرار می‌کنم که **ژن‌ها بخشی از ژنوم می‌باشند**. مثلاً در ژنوم، توالی‌های بین ژنی (*مثل راه‌انداز، افزاینده، بخش‌های بین آن‌ها، اپراتور و...*) نیز وجود دارد. توالی‌های مربوط به عمل ژن‌ها شامل دو قسمت می‌باشند، یکی بخش تنظیمی مثل راه‌انداز و افزاینده که رونویسی نمی‌شوند ولی مقدار و میزان رونویسی و ساخت پروتئین را مشخص می‌کنند، این بخش در قسمت بین ژنی قرار دارد و دیگری خود **ژن** (*درون ژن*) می‌باشد که بخشی است که mRNA و پروتئین از روی آن ساخته می‌شوند.

انواع محل اثر جهش در ژنوم

- **جهش در توالی‌های ژن**
  - ۱) اثر آن بستگی به محل وقوع جهش و نوع جهش دارد.
  - ۲) سبب تغییر در توالی رنای حاصل از رونویسی آن می‌شود.
  - ۳) در صورت تغییر در رنای پیک، در **بیشتر** موارد روی **نوع پروتئین** نیز اثر می‌کند.
  - ۴) اگر روی **جایگاه فعال** آنزیم اثر کند، احتمال تغییر عملکرد آنزیم **بسیار زیاد** است.
  - ۵) اگر روی مناطق **دور** از جایگاه فعال آنزیم رخ دهد و روی عمل آنزیم تأثیر نداشته باشد، احتمال تغییر در عملکرد آنزیم کم و یا حتی صفر می‌شود.
  - ۶) از نوع جهش‌های **کوچک** جانشینی یا حذف و اضافه (*بزرگ و کوچک*) می‌باشد.
  - ۷) می‌تواند روی اینترون‌ها رخ دهد که در پروتئین‌سازی تأثیرگذار نمی‌باشد.
- **جهش در توالی‌های تنظیمی بین ژنی**
  - ۱) می‌تواند جهش در **راه‌انداز** یا توالی **افزاینده** یا پروکاریوت‌ها در اپراتور و جایگاه فعال‌کننده باشد.
  - ۲) بر **نوع** RNA و پروتئین ایجاد شده اثری ندارد.
  - ۳) بر **مقدار** ساخت RNA (*رونویسی*) و ترجمه پروتئین می‌تواند تأثیر بگذارد.
  - ۴) جهش در راه‌انداز می‌تواند سبب قوی‌تر شدن یا ضعیف شدن میزان رونویسی و مقدار محصولات شود.
  - ۵) از نوع جهش‌های **کوچک** می‌باشد که می‌تواند شناسایی راه‌انداز را مشکل کند.
- **جهش در توالی‌های بین ژنی غیرتنظیمی**
  - ۱) این جهش‌های **کوچک** در **بین دو ژن** رخ می‌دهد.
  - ۲) بر نوع محصول و مقدار محصول تأثیری ندارد.
  - ۳) جهشی بی‌اهمیت می‌باشد. (*از جهش‌های خنثی می‌باشد.*)

نوع یاختهٔ جهش یافته

- **جهش در تخم** ← سبب ورود جهش به همهٔ یاخته‌های پیکری بدن جاندار می‌شود.
- **جهش در یاختهٔ گامت‌ساز** ← اگر وارد گامت شود و آن گامت در لقاح شرکت کند، جهش به نسل بعد منتقل می‌شود.
- **جهش در یاختهٔ پیکری** ← **اگر ژن جهش یافته، در آن یاخته بیان شود، آن جهش اثرگذار می‌باشد.** مثلاً اگر جهش در ژن تولید اریتروپویتین در یاخته‌های **کبد و کلیه** صورت گرفته باشد، تولید این ماده در بدن تحت تأثیر قرار می‌گیرد ولی در **یاخته معده** اصلاً ژن تولید اریتروپویتین بیان نمی‌شود و محصول آن به درستی ساخته نمی‌شود.

تست ۹ **در پی بروز انواعی از جهش در بدن انسان که در طی آن، تعداد و مکان جایگاه‌های ژنی مربوط به گروهی از صفات در یاخته‌های هسته‌دار بدن تغییر می‌کند، می‌توان گفت .....** (قلم‌چی)

۱) همواره در پی وجود برخی عوامل جهش‌زا مانند نوشیدنی‌های الکلی بروز می‌کند.

۲) این جهش‌ها همواره از طریق تولیدمثل جنسی به زاده‌ها منتقل می‌شوند.

۳) همگی باعث حذف قسمتی از یک فام‌تن و غالباً باعث مرگ جاندار می‌شوند.

۴) سبب تغییر در فعالیت پروتئین‌های یاخته می‌شوند.

پاسخ ۴ این جهش‌ها شامل جهش‌های بزرگ (فام‌تنی) حذفی، مضاعف شدن، جابه‌جایی و جهش‌های عددی می‌شوند که همگی در نهایت باعث تغییر فعالیت یاخته‌ها می‌شوند. این جهش‌ها به علت تغییری که در مادهٔ وراثتی ایجاد می‌کنند، باعث تغییر در پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شوند و در نتیجه فعالیت یاخته‌ها را تغییر می‌دهند. *(رد گزینهٔ (۱) در مورد جهش‌های ژنتیکی و برای رد گزینهٔ (۲) می‌توان جهش‌های اکتسابی را مثال زد.)*

علت‌های جهش و عوامل جهش‌زا

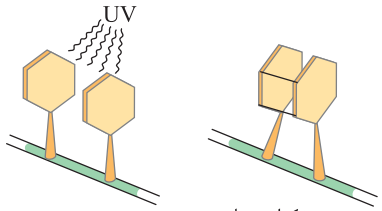
اگر از فصل اول همانندسازی DNA را به خاطر داشته باشید، گفتیم که این مکانیسم با دقت زیاد توسط آنزیم‌های **هلیکاز و دنابسپاراز** صورت می‌گیرد و اگر اشتباهی نیز رخ دهد، آنزیم **دنابسپاراز** آن را **ویرایش** می‌کند. در برخی موارد نادر، در حین همانندسازی خطای ایجاد شده **پایدار** می‌ماند و **جهش تثبیت می‌شود**. جهش می‌تواند علاوه‌بر این، در اثر عوامل جهش‌زای **بسیار متنوعی** رخ دهد که بیشتر زمینه **محیطی** دارد و به دو نوع عوامل جهش‌زای **فیزیکی** یا **شیمیایی** تقسیم می‌شود.

عوامل جهش‌زای فیزیکی

۱) در اثر پرتوهایی مانند اشعهٔ فرابنفش یا اشعهٔ ایکس رخ می‌دهد.

۲) پرتو فرابنفش (UV) می‌تواند سبب ایجاد پیوند **بین دو باز آلی تیمین مجاور** در یک رشته DNA شود که به آن دیمر (دوتایی) تیمین گفته می‌شود و در این حالت، اختلال در عمل دنابسپاراز و همانندسازی ایجاد می‌شود.

۳) این پرتوهای جهش‌زا، در ایجاد سرطان و ایجاد گامت‌های غیرعادی نقش دارند.



«تشکیل دوپار تیمین»

نکته

امواج صوتی با فرکانس بالا که در سونوگرافی به کار می‌رود برخلاف اشعهٔ ایکس مورد استفاده در رادیولوژی در ایجاد جهش نقش ندارد.

عوامل جهش‌زای شیمیایی

۱) عواملی مثل دود سیگار و سایر دخانیات، مواد غذایی دودی شده مثل گوشت و ماهی دودی، برخی ویروس‌ها، قرص‌های ضدبارداری، نوشیدنی‌های الکلی می‌توانند در این گروه قرار گیرند.

۲) **بنزوپیرن** موجود در **دود سیگار** جهشی ایجاد می‌کند که سبب سرطان می‌شود.

۳) سیگار کشیدن در ایجاد جهش در یاخته‌های دستگاه تنفس مؤثر است.

۴) مصرف دخانیات، آلودگی‌ها و نوشیدنی **الکلی** می‌تواند سبب ایجاد گامت غیرعادی و ایجاد فرزند داون شود.

انواع جهش‌ها از نظر نوع ایجاد

جهش ارثی

۱) از **یک یا هر دو والد** می‌تواند توسط گامت‌ها (گامه‌ها) به فرزند برسد.

۲) در انتقال بیماری مستقل از جنس نهفته، دو گامت هر دو والد دارای ژن جهش یافته بوده است.

۳) در انتقال الل بیماری بارز، وجود الل دارای جهش در **یک گامت** کافی است.

۴) در بیماری وابسته به X نهفته، ژن جهش یافته در پسران بیمار فقط از مادر به آن‌ها رسیده است.

۵) این جهش در تخم وجود داشته است و با **میتوز** به همهٔ یاخته‌های پیکری جاندار می‌رسد.

۶) بیماری‌های وابسته به Y، فقط از پدر به پسران می‌رسند.

جهش اکتسابی

۱) از محیط و عوامل محیطی کسب می‌شود **ولی در ابتدای تشکیل تخم وجود نداشته است.**

۲) در همهٔ یاخته‌ها و مناطق بدن ژن‌های جهش یافته وجود **ندارند.**

۳) سیگار کشیدن می‌تواند سبب ایجاد این نوع جهش در یاخته‌های سیستم **تنفسی** شود.

۴) اگر در یاخته‌های جنسی صورت گیرد، می‌تواند سبب به ارث رساندن آن بیماری شود.

نکات مهم در عوامل سرطان‌زا و پیشگیری از سرطان در تست‌ها

۱) **سبک زندگی** و **تغذیه سالم**، نقش مهمی در پیشگیری از سرطان دارند.

۲) غذاهای گیاهی که عوامل پاداکسنده و الیاف سلولزی دارند در پیشگیری از سرطان مؤثرند.

۳) **ورزش** و **وزن مناسب** از عوامل مهم در حفظ سلامت می‌باشند.

۴) شیوهٔ فراوری و پخت غذا بر سلامت اثر می‌گذارد، مثلاً غذاهای نمک‌سود یا دودی شده، شیوع سرطان را بالا می‌برند.

۵) ارتباط برخی سرطان‌ها با مصرف **زیاد** غذاهای کباب شده یا سرخ شده مشخص شده است.

۶) ترکیبات نیتریت‌داری مثل **سدیم نیتریت** که برای ماندگاری محصولات پروتئینی مثل سوسیس و کالباس اضافه می‌شوند، در بدن و در **شرایطی** به ترکیبات سرطان‌زا **تبدیل** می‌شوند، در نتیجه، مصرف زیاد آن از عوامل ایجاد سرطان می‌باشد.

تست ۱۰ در یاخته‌های پیکری فردی بالغ، .....

۱) بنزوپیرن می‌تواند سبب اختلال در چرخهٔ یاخته‌ای گردد.

۲) تغییر ساختار دنا همواره تحت تأثیر عوامل جهش‌زا رخ می‌دهد.

۳) سدیم نیتریت مستقیماً تحت تأثیر شرایطی قابلیت سرطان‌زایی دارد.

۴) پرتوی فرابنفش سبب تشکیل دوپارهای نوکلئوتیدی در طول یک رشتهٔ رنا می‌گردد.

پاسخ ۱ از مواد شیمیایی جهش‌زا می‌توان به بنزوپیرن اشاره کرد که در دود سیگار وجود دارد و جهشی ایجاد می‌کند که به سرطان منجر می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): جهش می‌تواند به خاطر خطا در همانندسازی (*نوکلئوتیدها*) نیز رخ دهد. / گزینهٔ (۳): سدیم نیتریت در بدن به ترکیباتی **تبدیل** می‌شود که تحت **شرایطی** قابلیت سرطان‌زایی دارند. / گزینهٔ (۴): پرتوی فرابنفش سبب ایجاد دوپارتیمین می‌شود. تیمین در ساختار رنا شرکت نمی‌کند.

(قلم‌چی)

درسنامه

گفتار ۲ تغییر در جمعیت‌ها

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی تفاوت‌های افراد یک جمعیت و چگونگی سازش آن‌ها با محیط بپردازیم. سپس می‌خواهیم بفهمیم که چگونه یک جمعیت متنوع می‌تواند نسل به نسل دچار سازش بهتری با محیط شود و چه عواملی سبب **تغییر در ویژگی‌های جمعیت** می‌شود. در ابتدا باید با واژهٔ جمعیت آشنا شویم.

تعریف ژنوم و خزانه ژنی جمعیت

مجموعه افراد **یک گونه** که **در یک زمان** و **در یک مکان** در حال یک زندگی گذرا می‌باشند را یک جمعیت می‌گویند. مثلاً مجموعه باکتری‌های موجود در باغچه منزل ما در حال حاضر، تعریف درستی از یک جمعیت نمی‌باشد. چون باکتری‌ها دارای **گونه‌های بسیار زیادی** می‌باشند که با هم تفاوت‌های زیادی در **ژنوم** خود دارند. در گفتار قبل بررسی کردیم که **هر گونه یک ژنوم اختصاصی ویژه خود دارد ولی در این گفتار به یک واژه به نام «خزانه ژنتیکی» می‌پردازیم.** بدیهی است که ژنگان (*ژنوم*) هر گونه با گونهٔ دیگر به دلیل ژن‌های متفاوت، متفاوت است. ولی خزانهٔ ژنتیکی مجموعهٔ همهٔ الل‌ها (*ژن‌ها*)ی همهٔ افراد یک جمعیت در همهٔ کروموزوم‌های آن‌ها می‌باشد. در تعریف خزانهٔ ژنتیکی باید دقت کنید که هر دو الل یک جایگاه ژنی و دستورالعمل آن‌ها را باید بررسی کنیم مثلاً ببینیم در یک جمعیت چند الل A و چند a وجود دارد. چون در یک جمعیت، افراد مختلف نیز با هم تفاوت‌های فردی دارند پس خزانهٔ ژنی یک جمعیت از گونه انسان با خزانهٔ ژنی جمعیت دیگر از انسان‌های جمعیت دیگر، متفاوت است. از طرفی هر جمعیت، نسبت به عوامل محیطی، سازش و پاسخ متفاوتی دارد پس خزانهٔ ژنی یک جمعیت از گونهٔ انسان در یک مکان با خزانهٔ ژنی جمعیت دیگر از انسان‌های محل دیگر متفاوت است. از طرفی هرچه تعداد بیشتری از افراد یک جمعیت با شرایط محیطی سازگار باشد، آن جمعیت شانس بقا و ماندگاری بیشتری دارد که در ادامه بیشتر به این مسائل می‌پردازیم.

تعریف اجتماع

اجتماع مجموعه **چند جمعیت** نزدیک از گونه‌های **متفاوت** می‌باشد که در یک بوم‌سازگان (*اکوسیستم*) با هم ارتباط رقابتی و همزیستی پیدا می‌کنند. یک اجتماع دارای چند ژنوم از چند گونه متفاوت می‌باشد. **از طرفی هر جمعیت نیز یک خزانه ژنی برای الل‌های خود دارد. در بررسی خزانهٔ ژنتیکی فقط توالی‌های درون ژنی را بررسی می‌کند، یعنی برخلاف ژنوم، توالی‌های بین ژنی و تنظیمی را بررسی نمی‌کنند.**

مثالی از تغییر در جمعیت‌ها

اگر مثلاً ۴۰ سال قبل ٪۷۰ انسان‌ها با تزریق واکسن، نسبت به عامل ویروس آبله پیشگیری شده بودند ولی در حال حاضر تقریباً ٪۱۰۰ افراد نسبت به این بیماری مصونیت دارند. این نمونه‌ای از تغییر جمعیت می‌باشد. دقت کنید که حدود ۱۰۰ سال قبل، باکتری‌ها و بیماری‌های مربوط به آنان بزرگ‌ترین قاتل انسان‌ها بودند و تعداد اندکی از افراد جامعه می‌توانستند از اثر باکتری‌های مهلک در امان باشند. در حالی‌که از حدود نیم قرن قبل و بعد از کشف آنتی‌بیوتیک‌ها (*پادزیست‌ها*)، کارآمدترین روش دفاعی در برابر **باکتری‌های بیماری‌زا** ایجاد شد و در نبرد با باکتری‌ها موفق به از بین بردن آن‌ها شدند. پس از چندی آن‌قدر انسان‌ها در حال استفاده از آنتی‌بیوتیک در زندگی روزمره شدند که متوجه شدند دیگر مثل قبل آنتی‌بیوتیک‌ها روی از بین بردن باکتری‌ها اثر مفیدی ندارد. محققین با مطالعات خود متوجه شدند که جمعیت باکتری‌ها در حال مقاوم شدن نسبت به برخی آنتی‌بیوتیک‌ها شده‌اند که این مقاومت در گذر زمان و تدریجی به دست آمده است. انسان‌ها سپس توانستند با داروهای جدید این باکتری‌ها را از بین ببرند ولی بسیار نگران مقاوم شدن جمعیت باکتری‌های جدید به داروهای جدید هستند. این مثال جمعیت باکتری‌ها یک مثال بسیار خوب برای فهم **تغییر تدریجی جمعیت** باکتری‌ها می‌باشد. در ادامه می‌خواهیم به بررسی این مطلب بپردازیم که چگونه جمعیت اولیه باکتری‌ها که تقریباً همگی در اثر نوعی پادزیست (*آنتی‌بیوتیک*) از بین می‌رفتند، پس از مدتی به جمعیتی تبدیل شدند که اغلب آن‌ها به آن آنتی‌بیوتیک مقاوم بودند؟

تغییر جمعیت‌ها در گذر زمان در اثر انتخاب طبیعی

در ابتدا باید توجه داشته باشید که تغییر جمعیت‌ها غالباً به صورت تغییرات **تدریجی** و در اثر سازش با محیط رخ می‌دهد ولی چگونه و بر چه اساسی این تغییرات ایجاد می‌شوند؟

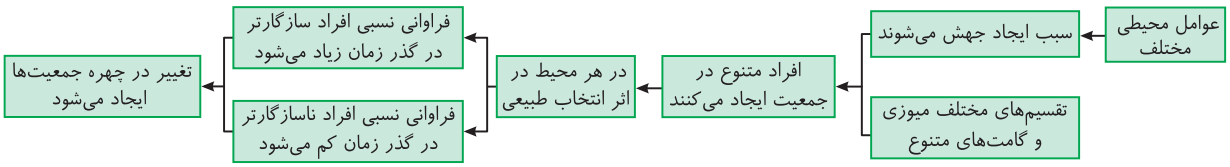
همان‌طور که گفتیم جمعیت از افراد **یک گونه** در **یک مکان** تشکیل شده است (*مثل مجموعه انسان‌هایی که الان در ایران زندگی می‌کنند*). خوب می‌دانید که یک گونه به دلیل داشتن یک ژنگان مشخص که **مجموعه همهٔ ژن‌ها، الل‌ها و توالی‌های تنظیم کننده و بین ژنی** آن می‌باشد دارای ویژگی‌های مشترکی می‌باشند. مثلاً وقتی در خیابان دو گربه را می‌بینیم ناخودآگاه یاد شنا کردن ماهی نمی‌افتیم چون گربه گونه‌ای است که ویژگی‌های مشترک خود را دارد. در بین افراد یک گونه و یک جمعیت **تفاوت‌های فردی** وجود دارد که باعث شناخت و تشخیص این افراد از یکدیگر می‌شود. این تفاوت‌های فردی که در اثر عوامل **ارثی و محیطی** ایجاد شده است هم در گونهٔ انسان و هم در سایر گونه‌ها وجود دارد. مثلاً وقتی از مقایسه دو جمعیت انسان و مار صحبت می‌کنیم می‌توانیم از وجود دیافراگم در تشخیص پستانداران و نبود آن در خزندگان استفاده کنیم ولی وقتی از انسان‌های یک جمعیت صحبت می‌کنیم باید برای تشخیص آن‌ها از تفاوت‌ها و ویژگی‌های فردی نشانه‌ای بیاوریم تا بتوانیم افراد مختلف آن جمعیت را از هم متمایز کنیم. **این تفاوت‌های فردی ارثی، در اثر گامت‌های متنوع، لقاح تصادفی و دستورالعمل متفاوت ژن‌های آن‌ها ایجاد شده‌اند و زمینه‌ساز ایجاد تغییرات در جمعیت‌ها می‌شوند که می‌خواهیم در ادامه به بررسی آن‌ها بپردازیم.**

فرض کنید یک جمعیتی در یک منطقه معتدل در حال زندگی گذرا باشد و در اثر تغییر عوامل و شرایط آب و هوایی، این منطقه به تدریج آب و هوای سردتری پیدا کند یا ممکن است افراد جمعیت از منطقه معتدل به منطقه سردسیر مهاجرت کنند. اگر در جمعیت اولیه فقط ٪۱۰ افراد به سرما مقاوم بودند و سایر افراد قدرت زیادی برای زندگی و بقا در آب و هوای سرد را نداشتند، حالا این ٪۱۰ افراد مقاوم به سرما در محیط جدید **شانس بقا و لقاح بیشتری می‌یابند** و بیشتر شانس انتقال ژن‌های خود را به نسل بعد دارند، در حقیقت محیط برای ایجاد نسل بعد، بیشتر ژن‌های این ٪۱۰ افراد سازگارتر را انتخاب می‌کند. در نسل بعد مشاهده می‌شود که مثلاً ٪۲۰ افراد به سرما مقاومند. اگر به همین صورت زندگی در آب و هوای سرد ادامه یابد، نسل به نسل درصد بیشتری از افراد، دارای ژن‌های مقاوم به سرما می‌شوند چون والدین آن‌ها شانس بیشتری برای بقای خود و زادآوری خود داشته‌اند. به تدریج و در طول نسل‌های متمادی **چهره جمعیت** در اثر انتخاب افراد سازگارتر توسط محیط، عوض می‌شود و ممکن است جمعیت چند صد نسل بعد حاوی ٪۷۰ افرادی باشند که ژن‌های مقاوم به سرما دارند. **در این حالت می‌گوییم چهره جمعیت دگرگون شده است.** قطعاً اگر جمعیت نسل اولیه هیچ سازگاری با سرما نداشتند، این جمعیت در معرض انقراض و نابودی قرار می‌گرفت و یا اگر هیچ تفاوت فردی نداشتند و همه به سرما مقاوم بودند، تغییری در چهره جمعیت ایجاد نمی‌شد. این مثالی برای **تغییر جمعیت** بود **نه برای تغییر هر فرد در جمعیت!!**

دقت کنید که در مثال بالا از ابتدا تفاوت‌های فردی در افراد جمعیت وجود داشت و سپس در اثر تغییر شرایط محیطی، افرادی که صفت بهتر یا واضح‌تر بگوییم **صفت سازگارتر با محیط جدید** را داشتند توسط محیط انتخاب شدند که به این ویژگی محیط، **انتخاب طبیعی** گوییم. در حقیقت انتخاب طبیعی فرایندی است که با انتخاب افراد سازگارتر در محیط سبب **تغییر چهره جمعیت‌ها** می‌شود ولی صفت جدیدی را در افراد جمعیت ایجاد نمی‌کند. در حقیقت انتخاب طبیعی در جمعیت افرادی که متنوع هستند، رخ می‌دهد و با انتخاب افراد سازگارتر، فراوانی نسبی این افراد را نسل به نسل در جامعه زیاد کرده و فراوانی نسبی ناسازگارها را کاهش می‌دهد. در کلام آخر دقت کنید که:

انتخاب طبیعی فرایندی است که ویژگی جدیدی در افراد جمعیت، **ایجاد** نمی‌کند ولی با افزایش دادن درصد سازگارها نسبت به محیط، **چهره کلی جمعیت** را دگرگون می‌کند.

● خلاصه اثر انتخاب طبیعی

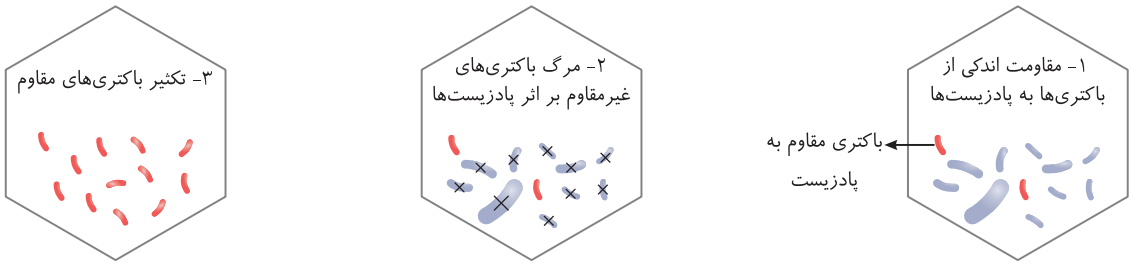


● توجیه تغییر جمعیت باکتری‌ها و مقاوم شدن آن‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها (پادزیست‌ها)

۱) در مورد جمعیت باکتری‌ها نیز انتخاب طبیعی باعث تغییر آن‌ها شده است. دقت کنید که در ابتدا باکتری‌های متفاوتی در یک جمعیت وجود داشته‌اند که **مقدار کمی** از آن‌ها به آنتی‌بیوتیک مقاوم بوده‌اند (*وجود تفاوت‌های فردی*).

۲) هنگامی که آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط اضافه شدند شاید فقط ٪۵ باکتری‌ها باقی ماندند که این گروه ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک را در ژن اصلی یا پلازمید کمکی خود داشتند.

۳) سپس این ٪۵ باکتری‌های باقی‌مانده با تقسیم دو نیم شدن در محیط زیاد شدند و کم‌کم چهره جمعیت را دگرگون کردند چون به جمعیتی تبدیل شدند که تقریباً همهٔ آن‌ها در اثر آنتی‌بیوتیک از بین نمی‌روند.



خلاصه داستان اینکه، اضافه شدن آنتی‌بیوتیک سبب ایجاد ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک در باکتری‌ها نشد بلکه این ژن از قبل در مقدار کمی از افراد جامعه وجود داشته است. وقتی شرایط محیطی عوض شد و آنتی‌بیوتیک به محیط اضافه شد، حالا داشتن ژن‌های مقاوم، نقش صفت بهتر یا در حقیقت سازگارتر را بازی کرد و ویژگی این ژن، باعث ماندگاری باکتری‌های دارای آن شد. در حقیقت انتخاب طبیعی فراوانی باکتری‌های دارای ژن مفید (*مقاوم به آنتی بیوتیک*) را در جامعه افزایش داد و چهره جمعیت را به سمتی برد که اغلب باکتری‌های جمعیت به آنتی‌بیوتیک مقاوم شدند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) **محیط** تعیین می‌کند کدام صفت در جامعه به نسل بعد منتقل شود که به این فرایند برای انتخاب صفت سازگارتر با محیط، **انتخاب طبیعی** می‌گویند.

۲) جهش ← به‌طور تصادفی سبب ایجاد الل جدید در افراد می‌شود ← سبب ایجاد تفاوت در بین افراد می‌شود نه جمعیت.
- انتخاب طبیعی افراد سازگار را انتخاب می‌کند
  - در نهایت چهره جامعه را تغییر می‌دهد.
  - فرد را تغییر نمی‌دهد بلکه جامعه را تغییر می‌دهد.
  - الل جدیدی ایجاد نمی‌کند.

۳) زیست‌شناسان معتقدند که واژهٔ «صفت بهتر» از نظر علمی زیاد مناسب نیست و بهتر است به جای آن از واژهٔ «صفت سازگارتر» استفاده شود، چون در اثر تغییر شرایط محیط و ایجاد شرایط جدید می‌تواند همان صفت سازگار را به صفت ناسازگاری تبدیل کند. (*مثلاً اگر هوای گرم جدیدی به جای هوای سرد قبلی در محیط ایجاد شود، از آن به بعد، صفت سازگار مقاوم به سرما به صفت ناسازگار تبدیل می‌شود.*)

تست ۱۱ **برای تغییر در جمعیت، ..... بر دیگر عوامل تقدم دارد چون انتخاب طبیعی ..... دگره‌ها را در جامعه تغییر نمی‌دهد.**

۱) اندازهٔ جمعیت - تنوع ۲) تنوع در جمعیت - فراوانی نسبی ۳) اندازهٔ جمعیت - فراوانی نسبی ۴) تنوع در جمعیت - تنوع

پاسخ ۴ برای تغییر و تکامل گونه، تفاوت افراد یک جمعیت باعث زادآوری بیشتر، سازش و در نهایت انتخاب طبیعی می‌شود که فراوانی نسبی دگره‌ها تغییر می‌کند نه تنوع آن‌ها!! ⇐ «در حقیقت جامعه‌ای که بین افراد آن **تفاوتی** وجود نداشته باشد، **تغییر و تکاملی** در آن ایجاد نمی‌شود.»

نگاه دوباره به خزانهٔ ژنی یک جمعیت

قبل از پیدایش اصول ژنتیک، زیست‌شناسان برای تعریف و توصیف خصوصیات یک جمعیت، **صفات ظاهری** را مدنظر قرار می‌دادند. مثلاً رنگ پوست یا رنگ بال یا ضخامت پوستک در برگ گیاهان یک گونه را مبنای تعریف جمعیت می‌دانستند. بعد از اینکه قوانین ژنتیک و بررسی الل‌ها انجام شد، **ژن‌های یک جمعیت و خزانهٔ ژنتیکی را مبنای توصیف ویژگی جمعیت قرار دادند.**

خزانهٔ ژنتیکی هر جمعیت، مجموعه همهٔ الل‌های موجود در همه جایگاه‌های ژنی افراد یک جمعیت می‌باشد. مثلاً اگر در جمعیتی ۱۰۰ نفره در نظر بگیریم که ۲۰۰ الل گروه خونی Rh در کروموزوم‌های جفت ۱ آن‌ها وجود دارد. خزانهٔ ژنی به این موضوع می‌پردازد که چه نسبت از این الل‌ها مربوط به D و چه نسبت به d تعلق دارد. قطعاً این خزانهٔ ژنی در مورد این صفت با جمعیت ۱۰۰ نفره دیگری می‌تواند متفاوت باشد ولی دو جمعیت انسانی ژنوم یکسانی دارند.

جامعه تعادلی

هرگاه در یک جمعیت، فراوانی نسبی الل‌ها یا نسبت ژن‌نمودها، نسل به نسل ثابت بماند، می‌گوییم آن جمعیت در حال تعادل ژنی می‌باشد. دقت کنید مثلاً در بیماری کم‌خونی داسی‌شکل، هر فرد یکی از سه نوع ژن‌نمود AA یا Aa یا aa را می‌تواند داشته باشد یعنی برای این صفت **دو الل** دارد. اگر جمعیتی ۱۰۰۰ نفره از یک روستا را برای این صفت بررسی کنیم، در حقیقت ۲۰۰۰ الل از یک صفت تک‌جایگاهی در جامعه وجود دارد که ممکن است ۱۸۰۰ الل آن سالم مثلاً (A) و ۲۰۰ الل بیمار (a) در جامعه وجود داشته باشد. در این صورت فراوانی نسبی الل‌های سالم ۰/۹ و الل بیمار ۰/۱ می‌شود. اگر این فراوانی نسبی نسل به نسل ثابت بماند، می‌گوییم جامعه این روستا در این صفت در حال تعادل بوده است. در عالم طبیعی همواره عواملی مثل **جهش، شارش** (*مهاجرت ژن*)، **رانش** (*کاهش ژن*)، **انتخاب طبیعی** و... وجود دارند که سبب تغییر فراوانی نسبی الل‌ها شده و جامعه را از حالت تعادل اولیه خارج می‌کنند. در ادامه این گفتار به بررسی عواملی می‌پردازیم که جمعیت را تغییر داده و از حالت تعادل خارج می‌کند.

نکته

تا وقتی جامعه در حال تعادل ژنی باشد، تغییری در جمعیت ایجاد نمی‌شود و روند تغییر گونه رخ نمی‌دهد.

عواملی که سبب تغییر فراوانی الل‌ها در جمعیت می‌شود

عواملی مثل جهش، شارش، رانش و انتخاب طبیعی، **همواره** سبب تغییر در فراوانی نسبی الل‌ها شده و تعادل ژنی جمعیت را تغییر می‌دهند.

۱) جهش

در گفتار قبل کاملاً در مورد جهش‌های ژنی و کروموزومی صحبت کردیم. در حقیقت جهش‌ها در اثر عوامل مختلفی ایجاد می‌شوند و همواره سبب **ایجاد تنوع** در افراد جامعه می‌شوند و خزانهٔ ژنی را با ایجاد الل‌های جدید غنی‌تر می‌کند و **ساختار ژنی** فرد و جمعیت را تغییر می‌دهد.

در جمعیت گونه‌هایی که تولیدمثل جنسی ندارند، چون میوز و تنوع ژنتیکی ایجاد نمی‌شود، تنها عاملی که سبب ایجاد تفاوت‌های فردی در جمعیت می‌شود **جهش** می‌باشد. مثلاً در باکتری‌ها که **فقط** تولیدمثل **غیرجنسی** دارند و معمولاً هر ۲۰ دقیقه تقسیم می‌شوند، نسل‌های مختلف کاملاً مثل نسل قبل خود می‌شوند ولی وقوع جهش سبب ایجاد تنوع در جمعیت آنان می‌شود. **در حقیقت بدون جهش هیچ نوع تنوعی در افراد و جمعیت آن‌ها ایجاد نمی‌شود.**

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در جمعیت گونه‌هایی که تولیدمثل **جنسی** دارند نیز جهش منشأ تنوع و تفاوت‌های فردی می‌شود ولی به غیر از جهش، عواملی مثل نوترکیبی گامت‌ها که در میوز ایجاد می‌شود نیز سبب ایجاد گامت‌ها با ترکیب ژنی متنوع و رخ‌نمودهای جدید در نسل بعد می‌شود.

۲) جهش، مادهٔ خام و منشأ گوناگونی در افراد جمعیت می‌باشد و سبب **ایجاد الل جدید** در فرد می‌شود. این الل جدید علاوه بر اینکه خزانهٔ ژنی را غنی‌تر می‌کند، اگر سازگارتر از الل‌های قبلی باشند، می‌توانند در محیط سبب بقای بیشتر فرد شوند و احتمال انتقال آن الل به نسل بعد نیز زیاد می‌شود. البته جهش، جهت تغییرات جمعیت را مشخص نمی‌کند و انتخاب طبیعی، عاملی است که سبب افزایش فراوانی نسبی الل سازگارتر جدید در جامعه می‌شود و در نهایت با ایجاد جهت در تغییرات، چهره جمعیت را دگرگون می‌کند.

۳) لازم به ذکر است که در بیشتر موارد، جهش می‌تواند اللی ایجاد کند که با محیط ناسازگار باشد و نتواند خود را به مقدار زیادی به نسل بعد برساند چون حالت عادی را از بین می‌برد.

۴) **بسیاری** از جهش‌ها، تأثیر فوری بر رخ‌نمود ندارند و به همین دلیل ممکن است تشخیص داده نشوند. جهش همواره روی ژن‌نمود اثر می‌کند که اگر این ژن در بدن تکثیر یابد و بیان شود می‌تواند روی رخ‌نمود نیز تأثیر کند. مثلاً جهش در توالی بین ژنی یا تنظیمی روی خزانهٔ ژنی جامعه اثر ندارد و تغییری در ساختار ژنی جامعه ایجاد نمی‌کند.

۵) اگر در جامعه‌ای جهش رخ ندهد، پس از چند نسل چه در تولیدمثل جنسی و چه در تولیدمثل غیرجنسی، گوناگونی افراد یک جمعیت به تدریج کم و کمتر خواهد شد.

۶) جهش سبب تغییر در فرد می‌شود و مادهٔ خام تغییرات در جامعه می‌باشد ولی عاملی که **جهت** تغییرات را مشخص می‌کند همان سازش با محیط یا انتخاب طبیعی می‌باشد.

۷) جهش در توالی بین ژنی و بخش‌های تنظیمی، سبب ایجاد الل جدید و غنی‌سازی خزانهٔ ژنتیکی نمی‌شود.

۸) جهش هنگامی می‌تواند در حین همانندسازی DNA رخ دهد که ویرایش روی آن صورت نگرفته باشد ولی در برخی موارد ممکن است پس از همانندسازی نیز در اثر عوامل جهش‌زا، نوع ژن‌ها تغییر یابند و دچار جهش شوند.

۹) جهش فرایندی تصادفی و پیوسته می‌باشد که همواره سبب افزایش گوناگونی در جامعه و خزانهٔ ژنی می‌شود.

۱۰) گاهی ممکن است الل جدیدی که در اثر جهش ایجاد شده است و ناسازگار بوده است در اثر تغییر شرایط محیطی، به اللی سازگارتر از انواع قبلی تبدیل شود.

۱۱) اگر در اثر جهش، تعداد تغییرات ایجاد شده برای تبدیل $a \leftarrow A$ برابر با جهش‌های $A \leftarrow a$ باشد. در این صورت خزانهٔ ژنی جامعه تغییر نمی‌کند و تعادل نیز به هم نمی‌خورد.

● ۲) رانش اللی (دگره‌ای)

در جمعیت‌های مختلف در اثر رویدادهای **تصادفی** همواره ممکن است تعدادی از افراد جامعه از بین بروند یا نتوانند در انتقال ژن‌های خود به نسل بعد عمل کنند یا حتی ممکن است برخی افراد، فرزندان بیشتری ایجاد کنند به همین دلیل باید دقت کنید که ژن‌هایی که به نسل بعد می‌رسند، لزوماً ژن‌های سازگارتر و بهتری نبوده‌اند بلکه این شانس را داشته‌اند که در اثر لقاح به نسل بعد منتقل شوند. ممکن است در اثر یک زلزله، سیل، افتادن در دره و... تعدادی از افراد یک جمعیت از بین بروند با اینکه دارای ژن‌های سازگاری نیز بوده‌اند یا ممکن است فردی اصلاً توانایی تولید فرزند نداشته باشد (*یا این توانایی را قبل از بلوغ از دست داده باشد.*) ولی در برخی ژن‌ها بسیار سازگار باشد ولی با این وجود نمی‌تواند آن‌ها را به نسل بعد جامعه منتقل کند. در مثالی دیگر دقت کنید که اگر یک گله گوسفند ۱۰۰۰تایی در اثر عاملی تصادفی، ۱۰ تا از بره‌های نابالغ خود را از دست بدهد، بدیهی است که ژن‌های آن‌ها در ایجاد خزانهٔ ژنی نسل بعد تأثیری ندارند در حالی‌که ممکن است دارای ژن‌های بسیار مفیدی بوده باشند. در هر حالت جمعیت باقی‌مانده، خزانهٔ ژنی جدیدی ایجاد می‌کند که تعادل ژنی جامعه اولیه را به هم می‌زند. این فرایند که به صورت تصادفی تعدادی از افراد و الل‌های جامعه از بین برود یا به نسل بعد انتقال پیدا نکند را **رانش** می‌گویند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) رانش ژن فرایندی است که باعث **تغییر فراوانی الل‌ها** در اثر رویدادهای **تصادفی** می‌شود. در اثر رانش تعدادی از افراد جامعه از بین می‌روند یا به جای جدیدی مهاجرت می‌کنند. رانش ژن **برخلاف** انتخاب طبیعی به **سازش نمی‌انجامد**.

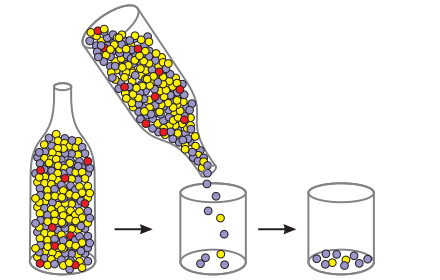
۲) **اندازهٔ هر جمعیت بیانگر تعداد افراد آن جمعیت می‌باشد** که بر **بقای جمعیت** مؤثر است. عواملی مانند مرگ‌ومیر و مهاجرت به خارج، سبب کاهش اندازهٔ جمعیت می‌شود ولی تولد زنده و مهاجرت به داخل سبب افزایش تعداد افراد جامعه می‌شود.

۳) **برای** آنکه جمعیتی در حال تعادل ژنی در الل‌های خود باشد باید **اندازهٔ بزرگی** داشته باشد تا با آمیزش‌های تصادفی تغییری در فراوانی الل‌های جامعه ایجاد نشود و از حالت تعادل خارج نشود.

۴) رانش در جمعیت‌های **کوچک** اثر بیشتری دارد چون مثلاً اگر در جامعه‌ای کوچک تعدادی از افراد از بین بروند، ممکن است یک نوع الل با خود از بین ببرند و جامعه نسل بعد فاقد آن الل باشد. مثلاً اگر در مزرعه‌ای ۱۰ بوته گل میمونی قرمز، ۲ بوته صورتی و ۴ بوته سفید وجود داشته باشد و گوسفندی همهٔ گل‌های **صورتی** (RW) و **سفید** (WW) را از بین ببرد در این صورت دیگر الل سفیدی (W) در جمعیت نسل بعد و این نسل باقی نمی‌ماند.

اثر رانش‌های بزرگ در نسل بعد

عواملی محیطی مثل سیل، زلزله، آتش‌سوزی و نظایر آن می‌توانند در برخی موارد سبب حذف تعداد زیادی از افراد یک جمعیت شوند و تعداد بازماندگان کمی بر جا بگذارد. در این حالت بیشتر خزانهٔ ژنی جمعیت از بین می‌رود و الل‌های باقی‌مانده نسل بعد را ایجاد می‌کنند. **در صورت بروز این اتفاق، نسل بعد از خزانهٔ ژنی محدودتری ایجاد شده‌اند و افراد آن به هم شبیه‌تر می‌باشند.**



«کاهش شدید در اندازهٔ جمعیت باعث تغییر فراوانی‌های دگره‌ای می‌شود.»

نکته

هرچه رانش شدیدتر باشد، خزانهٔ ژنی باقی‌مانده محدودتر می‌شود و اثر رانش بیشتر مشخص می‌شود چون فراوانی نسبی الل‌ها سریع‌تر تغییر می‌کند. مثلاً در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که در نسل بعد و جمعیت باقی‌مانده اصلاً افراد قرمز و الل‌های آن‌ها دیده نمی‌شود.

● ۳) شارش ژن

شارش ژن همان مهاجرت ژن می‌باشد و وقتی ایجاد می‌شود که تعدادی از افراد **یک گونه** از یک جمعیت به جمعیت دیگری می‌روند. در اثر مهاجرت، هم‌زمان با شارش افراد، ژن‌های آن‌ها نیز از جمعیت مبدأ به جمعیت مقصد وارد می‌شوند و اگر این روند یک‌طرفه باشد، سبب کاهش تنوع در جمعیت مبدأ و افزایش تنوع در جمعیت مقصد می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) اگر بین دو جمعیت شارش تصادفی ژن‌ها به صورت دوطرفه ادامه یابد، به تدریج و نسل به نسل خزانهٔ ژنی دو جمعیت به هم شبیه‌تر می‌شوند.

(۲) شارش ژن نیز همانند جهش، رانش و انتخاب طبیعی سبب تغییر در فراوانی نسبی الل‌ها و گوناگونی ساختار ژنی در جمعیت می‌شوند.

(۳) شارش همانند جهش، تنوع الل‌ها، گوناگونی جمعیت و خزانهٔ ژنی را متنوع‌تر می‌کند ولی همانند جهش اگر **دوطرفه و یکسان** صورت گیرد، خزانهٔ ژنی را برهم نمی‌زند. مثلاً شارش سبب می‌شود که در جمعیت پذیرنده، با ورود ژن‌ها، خزانه غنی‌تر شود ولی اگر مثلاً بین دو جمعیت ۱۰ نفر AA مبادله شوند، در این صورت خزانهٔ ژنتیکی تغییر نمی‌کند.

● ۴) آمیزش غیرتصادفی

یکی از شروط باقی ماندن جمعیت در تعادل ژنی، آمیزش‌های **تصادفی** می‌باشد. آمیزش تصادفی یعنی هر فرد بتواند با جنس مخالف خود در جمعیت با **احتمال یکسانی** آمیزش کند. در جمعیت‌های طبیعی معمولاً این اتفاق نمی‌افتد چون جانوران معمولاً جفت خود را بر اساس ویژگی‌های **ظاهری و رفتاری** انتخاب می‌کنند. به آمیزش‌هایی که انتخاب جفت بر اساس ویژگی‌های رخ‌نمودی یا ژن‌نمودی رخ می‌دهد، آمیزش‌های غیرتصادفی می‌گویند. **در این حالت نسبت خالص‌ها به ناخالص‌ها در ژن‌نمود افراد جامعه تغییر می‌یابند** و جامعه به سمت دگرگونی می‌رود (*ولی فراوانی الل‌ها تغییر نمی‌کند*). مثلاً اگر در جامعه‌ای قد بلندها با هم و قد کوتاه‌ها با هم آمیزش کنند، به تدریج فراوانی افرادی با قد متوسط کاهش می‌یابد.

● ۵) انتخاب طبیعی

در مورد انتخاب طبیعی در ابتدای این گفتار بحث کردیم و امیدوارم متوجه شده باشید که انتخاب طبیعی فرایندی است که همواره برحسب شرایط محیطی، شانس بقا و تولیدمثل افراد سازگارتر را بیشتر کرده و فراوانی نسبی الل‌های سازگارتر را نسل به نسل بیشتر می‌کند. این فرایند فراوانی نسبی الل‌های ناسازگارتر را کاهش می‌دهد. انتخاب طبیعی برخلاف سایر عواملی که در تغییر جمعیت بررسی کردیم **همواره باعث سازش** جانداران با محیط می‌شود ولی همانند جهش، شارش و رانش، سبب تغییر در فراوانی نسبی الل‌ها و جمعیت می‌شود.

نکته

انتخاب طبیعی به تنهایی سبب کاهش تفاوت‌های فردی در جامعه و کاهش تنوع می‌شود که برای بقای جامعه مناسب نیست، ولی در ادامه به بررسی عواملی می‌پردازیم که این مشکل را برطرف می‌کنند.

نکته مهم

در بین عوامل فوق، فقط جهش سبب تغییر در ساختار ژنی افراد می‌شود ولی هر عامل برهم‌زنندهٔ تعادل جمعیت، سبب تغییر در ساختار ژنی جمعیت می‌شود.

تست ۱۲ در رابطه با ..... به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر جمعیت‌های در حال تعادل می‌توان گفت قطعاً ..... (قلم‌چی)

۱) شارش ژن - تنوع دگره‌ها در جمعیت مقصد برخلاف مبدأ، افزایش می‌یابد.

۲) جهش ژنی - تنها با تغییر فراوانی نسبی دگره‌ها در جمعیت، باعث ایجاد روند تغییر در جمعیت می‌شود.

۳) انتخاب طبیعی - فراوانی دگره‌های سازگار با محیط را برخلاف فراوانی دگره‌های نامطلوب افزایش می‌دهد.

۴) رانش ژنی - با کاهش تعداد افراد یک جمعیت، میزان تنوع ژنتیکی میان افراد آن جمعیت را کاهش می‌دهد.

پاسخ ۳ انتخاب طبیعی یکی از عوامل مؤثر بر جمعیت‌های در حال تعادل است که فراوانی دگره‌های مطلوب را افزایش و فراوانی دگره‌های نامطلوب را کاهش می‌دهد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در اثر شارش ممکن است الل وارد یک جامعه شود که مشابه آن مثلاً وجود داشته باشد و فقط فراوانی آن عوض شود (*نه تنوع*). / گزینهٔ (۲): جهش می‌تواند نوع الل را نیز در جامعه عوض کند. / گزینهٔ (۴): توجه کنید که در رانش ژنی، تعداد افراد یک جمعیت کاهش می‌یابد، اما نمی‌توان گفت الزاماً تنوع ژنتیکی در جمعیت کاهش می‌یابد، زیرا ممکن است همچنان افراد با ژن‌نمودهای مشابه افراد حذف شده در جمعیت حضور داشته باشند.

تست ۱۳ کدام عبارت نادرست است؟ (قلم‌چی)

۱) رانش دگره‌ای در جمعیت‌های مختلف، تأثیرات غیریکسانی دارد.

۲) شارش ژن می‌تواند سبب افزایش ویژگی‌های مشترک دو جمعیت شود.

۳) شارش ژن همانند جهش، با تغییر در مادهٔ ژنتیک افراد، تنوع جمعیت را افزایش می‌دهد.

۴) رانش دگره‌ای برخلاف آمیزش تصادفی، فراوانی دگره‌ها را در خزانهٔ ژنی یک جمعیت تغییر می‌دهد.

پاسخ ۳ دقت کنید شارش ژنی باعث تغییر مادهٔ ژنتیکی افراد نمی‌شود، بلکه فقط باعث ورود یا خروج برخی افراد به جمعیت می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): اثر هر عامل به نوع جمعیت بستگی دارد. / گزینهٔ (۲): در مورد شارش دوسویه صحیح است. / گزینهٔ (۴): آمیزش تصادفی فراوانی الل‌ها را به هم نمی‌زند.

عواملی که تنوع یا گوناگونی را در جمعیت حفظ می‌کنند

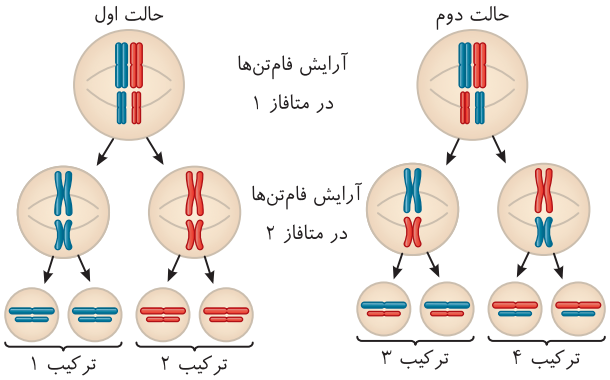
تا اینجا متوجه شدیم که شارش (*در جمعیت مقصد*) و جهش، سبب افزایش تنوع می‌شوند ولی رانش معمولاً مقدار تنوع را کم می‌کند. بررسی‌ها در مورد انتخاب طبیعی مشخص کردند که نسل به نسل فراوانی نسبی الل‌های سازگارتر بیشتر شده و الل‌های ناسازگار کمتر می‌شوند. انتظار داریم که پس از مدتی انتخاب طبیعی سبب **کاهش تفاوت‌های فردی** در جمعیت شود چون فقط فراوانی افراد سازگار بیشتر شده است ولی سازوکارهایی وجود دارد که هم‌زمان با عمل انتخاب طبیعی، تفاوت‌های فردی و گوناگونی در جامعه را **حفظ** می‌کنند. از این عوامل می‌توان به **نوترکیبی گامت‌ها** و **چلیپایی شدن** در **میوز** و **اهمیت ناخالص‌ها** در جامعه بپردازیم که سبب حفظ تنوع در جامعه و تفاوت‌های فردی افراد می‌شوند.

گوناگونی اللی در گامت‌ها (گوناگونی دگره‌ای در کامه‌ها!☺)

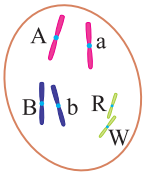
در میوز به دلیل عواملی مثل **نحوهٔ قرارگیری تتراد‌ها** در **سطح میانی یاخته** در مرحلهٔ متافاز میوز ۱ یا عمل کراسینگ‌اور (*چلیپایی شدن*) ممکن است انواع بسیار زیادی گامت‌های متنوع ایجاد شوند. این گامت‌ها که نصف الل‌های فرد بالغ را به همراه دارند به نسل بعد منتقل می‌شوند. این موارد سبب می‌شود که بدون نیاز به جهش نیز در افرادی که تولیدمثل جنسی و میوز دارند گامت‌های جدید ایجاد شود و سبب ایجاد تنوع در جامعه شوند.

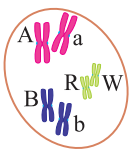
● نحوهٔ قرارگیری تتراد‌ها در استوای متافاز ۱

از سال قبل به یاد دارید که در مرحلهٔ پروفاز میوز ۱ حالت تتراد‌ی بین دو کروموزوم همتا ایجاد می‌شود و در مرحلهٔ متافاز میوز ۱ این تتراد‌ها با وضعیت‌های متفاوت می‌توانند در استوا یا وسط یاخته قرار بگیرند تا با جدا شدن کروموزوم‌های همتا، گامت‌های متنوع ایجاد شوند. دقت کنید که در **هر میوز**، تتراد‌ها می‌توانند به **یک نوع** آرایش در وسط یاخته قرار بگیرند و به‌طور معمول دو نوع یاخته ایجاد می‌کنند ولی قبل از اینکه تتراد‌ها در استوای یاخته قرار گیرند به حالت‌های بسیار متنوعی می‌توانند در وسط یاخته قرار بگیرند. بهتر است این موارد را با یک مثال برای شما توضیح بدهم تا درک آن آسان‌تر شود.



«نحوهٔ توزیع فام‌تن‌ها طی کاستمان»

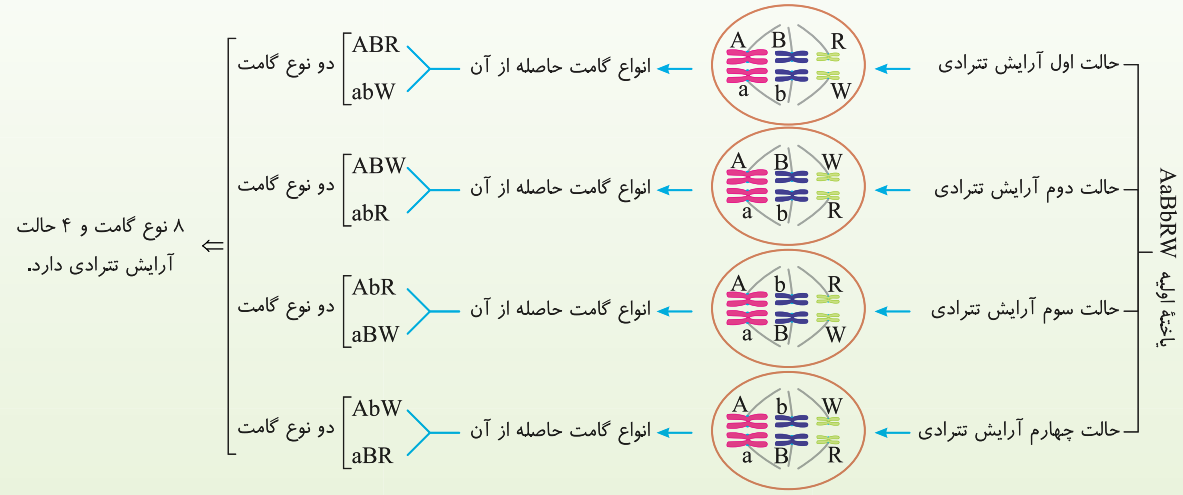
فرض کنید جانداری با ژن‌نمود AaBbRW دارای سه صفت تک‌جایگاهی ناخالص باشد. اگر این جاندار $2n=6$ باشد، یعنی سه جفت کروموزوم همتا داشته و ژن‌های این سه صفت به‌طور مستقل هرکدام روی یک جفت کروموزوم جداگانه‌ای قرار داشته باشد، 

، بعد از مضاعف شدن کروموزوم‌ها، ۳ تتراد در مرحلهٔ پروفاز ۱ تشکیل می‌دهد 

. در ادامه مشاهده می‌کنید که این ۳ تتراد توانایی دارد به **چهار** حالت زیر در وسط یاخته واقع در مرحلهٔ متافاز ۱ قرار بگیرد و در هر حالت **دو نوع گامت** ایجاد کند که ترکیب الل‌های آن‌ها با گامت‌های حالت‌های دیگر متفاوت می‌باشد. بدیهی است که از لقاح هر گامت جدید، ویژگی‌های **جدیدی** در نسل بعد جامعه ایجاد می‌شود یا سبب **حفظ تنوع** در جامعه می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) از ایـن موضـوع نتیجـه می‌گیریم که در میوز، بدون اثر جهش نیز می‌توان **ترکیبات جدیدی از الل‌ها** را به عنوان نوترکیبی مشـاهده کرد. در ادامه به قرارگیری چهار نوع مختلف آرایش ترادی این یاخته در متافاز میوز ۱ دقت کنید.



۲) در حالت‌های ترادی گفته شده، مشاهده کردید که یک جاندار در سه صفت خود، بر حسب طرز قرارگیری ترادها در متافاز ۱، می‌تواند **ترکیبات جدید اللی** در گامت‌ها ایجاد کند و سبب تنوع در نسل بعد شود.

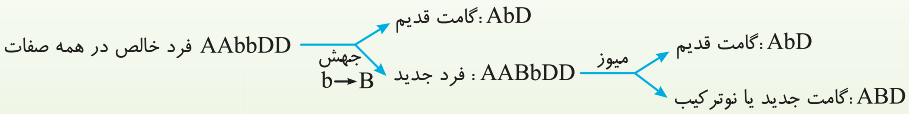
۳) هر میوز، در مرحلهٔ متافاز میوز ۱، دارای یک **حالت آرایش ترادی** در وسط یاخته بوده و **در صورت عدم انجام چلیپایی شدن**، در نهایت به دنبال هر میوز دو نوع یاخته ایجاد می‌کند.

نوترکیبی

بـه ترکیبـات جدیـدی از الل‌هـا یا ژن‌ها که طی میوز در گامت‌ها ایجاد شـده‌اند، نوترکیبی گوینـد. دقت کنید که نوترکیبی با جهش فـرق می‌کند. در جهش الل جدیدی که قبلاً در فرد وجود نداشـته اسـت ایجاد می‌شـود. مثلاً اگر فردی ژن‌نمود AABB داشته باشد و در اثر عوامل مختلفی تبدیل $A \rightarrow a$ در آن بروز یافته باشد و به صورت AaBB دربیاید، به این فرایند جهش می‌گوییم چون الل جدید (a) در این فرد ایجاد شده است. بدیهی است که در این فرد قبلاً فقط ترکیب اللی AB در گامت ایجاد می‌شده است ولی پس از جهش علاوه بر ترکیب اللی AB که همانند قبل از جهش می‌باشد، ترکیب اللی جدید **aB** نیز ایجاد می‌شود که به این گامت جدید، نوترکیب گفته می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در افـرادی کـه در همـهٔ صفات خود خالص هسـتند (*مثل*... AAbbDD)، عمل نوترکیبـی هیچ‌گاه صورت نمی‌گیرد چون همیشـه گامت آن‌ها ... AbD می‌باشد **ولی اگر جهشی در آن‌ها رخ دهد**، سپس می‌توانند ترکیب جدیدی از الل‌ها را به عنوان گامت نوترکیب نشان دهند.



۲) در مثـال قبـل مشـاهده کردید که در افرادی که **چند صفت ناخالص** دارند بدون نیاز به جهش و فقط در اثر آرایش‌هـای ترادی متنوع، گامت‌هایی با ترکیب اللی جدید یا نوترکیب ایجاد می‌شـوند. (*نوترکیبی، ترکیب جدیدی از کنار هم قرار گرفتن الل‌های خرد می‌باشد ولی الل جدیدی در خرد ایجاد نمی‌شود. در انتها لازم به ذکر است که اگر فقط یک الل در یک گامت با گامت دیگر متفاوت باشد، بیانگر ایجاد یک گامت نوترکیب بوده است. مثلاً گامت AbD با Abd متفاوت است چون در صفت D و d متفاوتند.*)

مثال: فردی با ژن‌نمود ناخالص برای سه صفت که به صورت AaBbDd می‌باشد مفروض است. اگر گامت‌های والدی ABD و abd در ایجاد آن نقش داشته‌اند، این فرد چند نوع گامت نوترکیب می‌تواند ایجاد کند؟

پاسخ: این فرد قادر به تولید ۸ نوع گامت می‌باشد که ۲ نوع ABD و abd آن قدیمی و ۶ نوع دیگر ترکیب جدید اللی یا نوترکیب هستند.

Aa Bb Dd ⟶ انواع گامت‌ها ⟶ ABD - abd - ABd - Abd - aBD- abD - aBd- AbD

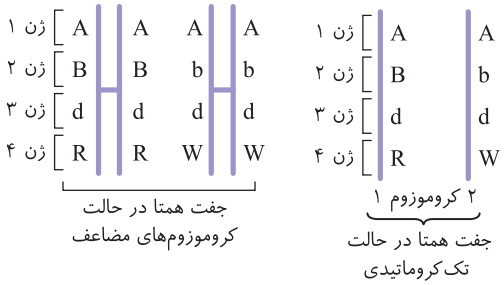
گامت والدی — گامت‌هایی با ترکیبات اللی جدید

مطلبی برای یادگیری بهتر چلیپایی شدن!!

ژن‌های روی یک کروموزوم

به ژن‌هایی که روی یک کروموزوم قرار دارند و با هم وارد یک گامت می‌شوند، ژن‌های پیوسته گفته می‌شوند.

می‌دانید که هر کروموزوم حاوی تعداد زیادی ژن می‌باشد که همهٔ آن‌ها با هم، ژن‌های پیوسته می‌باشند. در شکل روبه‌رو اگر فرض کنید که دو کروموزوم همتای شماره ۱ و ۲ انسان را نشان داده است ژن‌های ۱ تا ۴ با هم پیوسته می‌باشند. این ژن‌ها می‌توانند مثل ژن‌های ۱ و ۳ دارای دو دستورالعمل یا الل یکسان باشند و یا دارای دستورالعمل‌های متفاوتی مثل ژن‌های ۲ و ۴ باشند. دقت کنید که وقتی این دو کروموزوم همتا در آنافاز میوز ۱ از هم جدا می‌شوند، ژن‌های پیوسته نیز با هم وارد یک یاخته می‌شوند. در این مثال دو نوع گامت ABdR و AbdW ایجاد می‌شود.



کراسینگ‌اور (چلیپایی شدن)

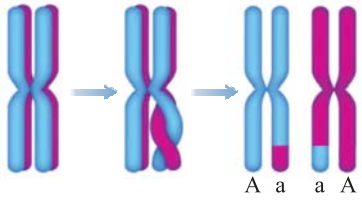
عمل چلیپایی شدن در حقیقت **نوعی نوترکیبی** است که حاصل تبادل قطعه بین دو کروماتید غیرخواهری از کروموزوم‌های همتای یک تتراد می‌باشد. اگر عمل تبادل قطعه بین قسمت‌هایی انجام شده باشد که **الل‌های متفاوتی** داشته باشد، می‌تواند در نهایت **ترکیب جدیدی** از الل‌ها را در کروماتیدها ایجاد کند که با حالت قبل از چلیپایی شدن در برخی از آن‌ها تفاوت‌هایی دیده شود. این فرایند نوعی **نوترکیبی** است و جهش نمی‌باشد که در پروفاز میوز ۱ رخ می‌دهد و سبب **حفظ تنوع** در گامت‌های فرد و سپس در گوناگونی جامعه می‌شود.

فرایندهای تنوع‌زا در میوز

در طبیعت منشأ تنوع در افراد، **جهش‌هایی** است که در ماده ژنتیکی آن‌ها رخ می‌دهد. این جهش‌ها که اغلب در اثر عوامل محیطی رخ می‌دهند سبب تغییر در ساختار یا تعداد ژن‌ها یا کروموزوم‌ها می‌شوند. در اینجا می‌خواهیم به دو عامل نوترکیبی همراه **چلیپایی شدن و نوترکیبی** بدون چلیپایی شدن در میوز بپردازیم که هر دو **نوعی جهش نمی‌باشند** ولی سبب ایجاد تنوع در یاخته‌های حاصل از میوز و سپس تنوع در نسل بعد جاندار می‌شوند.

۱) نوترکیبی در اثر کراسینگ‌اور (چلیپایی شدن)

فرایندی است که در **پروفاز میوز ۱** رخ می‌دهد. در این فرایند بخش‌هایی از کروماتیدهای غیرخواهری **یک تتراد** با هم تبادل قطعه می‌کنند. این فرایند جهش نمی‌باشد ولی سبب می‌شود که در بسیاری از موارد از یک میوز، **چهار یاخته متنوع** ایجاد شود. (در حالت عادی هر میوز، دو نوع یاخته ایجاد می‌کند ولی با چلیپایی شدن ممکن است از هر میوز، چهار یاخته با محتوای ژنتیکی متنوع ایجاد می‌شود.)



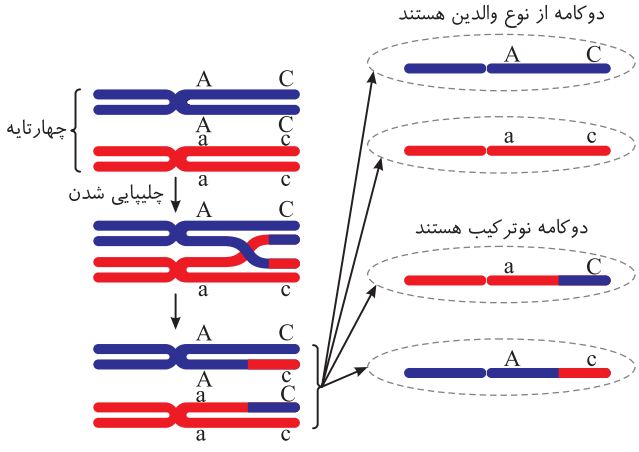
«طرح ساده‌ای از کراسینگ‌اور بین کروموزوم‌های همتا در پروفاز ۱»

نکته

طی چلیپایی شدن، پیوند فسفودی‌استر دو کروماتید غیرخواهری از کروموزوم‌های همتا شکسته شده و سپس دوباره تشکیل می‌شود ولی ژن‌های موجود در فرد، تغییر نمی‌کند. ولی دقت کنید که ژن‌های هر کروموزوم می‌تواند دچار تغییر شوند و اللی که در کروموزوم همتا بوده‌اند، حالا به کروموزوم دیگر همتا رسیده باشند. مثلاً در شکل بالا کروموزوم سمت چپ قبلاً فقط دو ژن A داشته است ولی در اثر چلیپایی شدن حالا یک کروماتید آن A و کروماتید خواهری دیگر، ژن a دارد.

نکته

در صورت انجام عمل چلیپایی شدن، یک یاخته میوز دهنده توانایی ایجاد چهار نوع یاخته مختلف دارد. البته در صورتی که این عمل بین دو کروماتید با دستورالعمل‌های ژنی متفاوت رخ داده باشد.

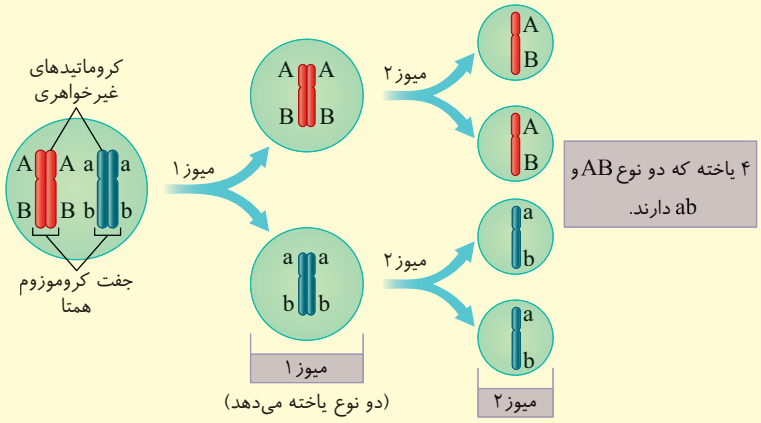


«نوترکیبی بر اثر چلیپایی شدن»

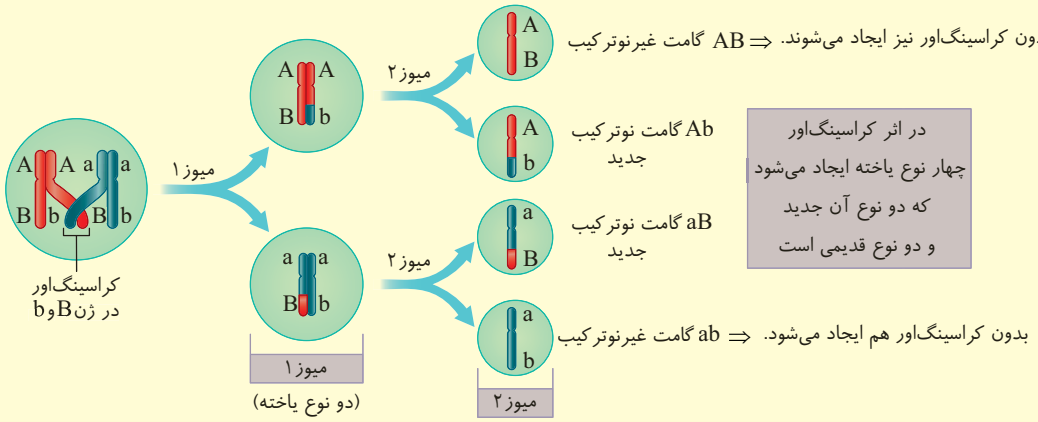
مثال: **فردی با ژن‌نمود AaBbDd که ۲n=۶ می‌باشد، در صورت چلیپایی شدن چند نوع گامت می‌دهد؟**

پاسخ: چون الل‌های این سه جفت ژن مستقل هستند و روی کروموزوم یکسانی قرار ندارند، چلیپایی شدن در آن‌ها معنی ندارد و همواره توانایی ایجاد ۸ نوع گامت دارند.

میوز یاخته $2n=2$ با فرمول ژنتیکی AaBb در میوز بدون چلیپایی شدن ⇐ دو نوع گامت AB و ab می‌داده است.



میوز یاخته $2n=2$ با فرمول ژنتیکی AaBb در میوز همراه با عمل چلیپایی شدن ⇐ حالا چهار نوع گامت می‌دهد که دو تای آن قدیمی و دو تای آن ترکیب جدید دارد.

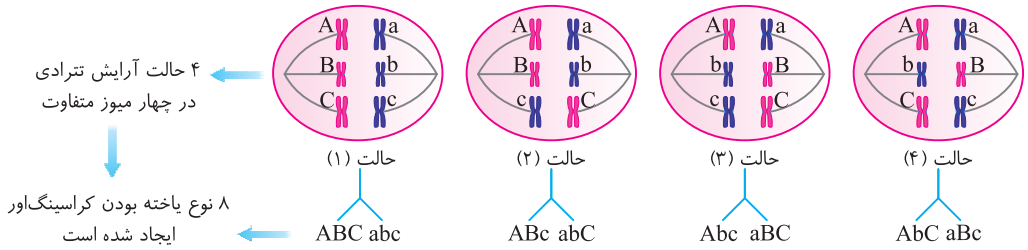


مثال: فردی با ژن‌نمود $Aa\frac{B\ D}{b\ d}$ در اثر چلیپایی شدن چند نوع گامت جدید ایجاد می‌کند؟ (ژن‌های D و B روی یک کروموزوم قرار دارند.)

پاسخ: این فرد در حالت عادی (*بدون چلیپایی شدن*)، قادر به تشکیل ۴ نوع گامت ABD ، Abd ، aBD و abd می‌باشد ولی در حالت چلیپایی شدن توانایی تشکیل 2^3 یا ۸ نوع گامت می‌باشد (*چون سه صفت خالص دارد*) که ۴ نوع آن قدیمی است که در حالت عدم چلیپایی شدن هم ایجاد شده‌اند ولی ۴ نوع گامت ABd ، aBd ، AbD و abD از نوع جدید یا نوترکیب می‌باشند.

● ۲) نوترکیبی بدون نیاز به کراسینگ‌اور (چلیپایی شدن)

انواع مختلف قرارگیری آرایش تترادها در متافاز ۱ می‌تواند سبب ایجاد انواع گامت جدید و نوترکیبی شود. مثلاً یک فرد AaBbCc در شکل زیر انواع چهار آرایش تترادی را در یاخته $2n=6$ با توانایی ایجاد 2^3 یا ۸ نوع گامت ملاحظه می‌کنید.



«انواع حالات ممکن آرایش‌های کروموزوم‌ها در متافاز ۱ میوز. یاخته‌های حاصل از نظر نوع کروموزوم با سایرین تفاوت دارند.»

نکته

همواره در حالت عادی، هر حالت آرایش تترادی در متافاز ۱ می‌تواند دو نوع یاخته در میوز ایجاد کند ولی با چلیپایی شدن هر حالت آرایش تترادی، حداکثر سبب ایجاد چهار نوع یاخته می‌شود.

وجود سازگاری بیشتر افراد ناخالص و نقش آن‌ها در حفظ تنوع در جمعیت

در مبحث ژنتیک متوجه شدیم که افراد دارای رخ‌نمود نهفته فقط به صورت خالص یعنی aa در جامعه دیده می‌شوند و می‌توانند رخ‌نمود خود را بروز دهند. الل نهفته اگر در فرد ناخالص قرار گیرد (Aa)، در این حالت تحت تأثیر الل بارز A قرار می‌گیرد و این فرد، رخ‌نمود بارز (A) را نشان می‌دهد. در حقیقت ژن‌نمود ناخالص، عاملی برای حفظ الل‌های نهفته در جامعه می‌باشند. مثلاً در بیماری تالاسمی که یک بیماری نهفته مستقل از جنس و کشنده است، افراد tt بیمار هستند و بیشتر آن‌ها به سن بلوغ نمی‌رسند و الل‌های آن‌ها به نسل بعد نمی‌رسد، در حالی که افراد TT و Tt سالم هستند. افراد Tt را سالم ناقل می‌گویند که الل بیماری تالاسمی یا t را در جامعه حفظ می‌کنند. در واقع اگر در این صفت، افراد ناخالص وجود نداشتند، الل‌های نهفته کشنده پس از مدتی از جمعیت حذف می‌شدند. (*در این بیماری حجم گویچهٔ قرمز بسیار کم شده و قدرت حمل O_2 کاهش می‌یابد.*)

نکته

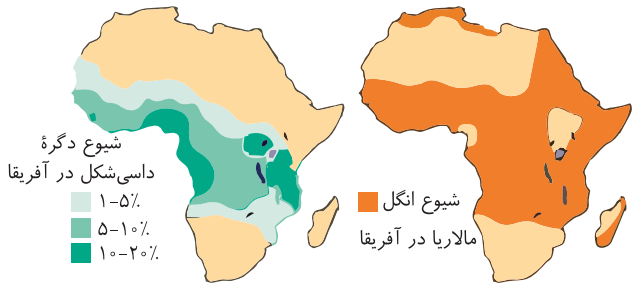
الل بیماری بارز کشنده سریع‌تر از الل نهفته کشنده در جامعه رو به حذف شدن می‌رود چون در حالت ناخالص (Aa) نیز، بیماری بارز نمایان می‌شود و فرد از بین می‌رود ولی در حالت نهفته، الل بیماری (a) می‌تواند در افراد ناخالص Aa باقی بماند و بیماری بروز نیابد.

برتری یا اهمیت افراد ناخالص بیماری کم‌خونی داسی‌شکل در نواحی مالاریاخیز

بیماری کم‌خونی داسی‌شکل را به خوبی می‌شناسید. یک بیماری مستقل از جنس نهفته که افراد بیمار دارای هموگلوبین و گویچهٔ قرمز داسی‌شکل می‌شوند که معمولاً این افراد به سن بلوغ نمی‌رسند و در سن پایین می‌میرند.

ژن‌نمود بیماران را به صورت Hb^SHb^S یا (SS) نشان می‌دهیم که در هر جامعه‌ای معمولاً در اثر بیماری کم‌خونی داسی‌شکل و به دام افتادن گویچه‌های قرمز در مویرگ‌ها از بین می‌روند. افرادی که کاملاً سالم هستند به صورت ژن‌نمود (AA) یا Hb^AHb^A هستند و افرادی که ناقل بیماری می‌باشند نیز سالم بوده و ژن‌نمود (AS) یا Hb^AHb^S دارند (Hb *مخفف هموگلوبین است*). افراد ناقل در حالت محیطی عادی و با اکسیژن طبیعی، رخ‌نمود سالمی دارند ولی اگر مقدار اکسیژن محیط کم شود، مقداری از هموگلوبین‌های آن‌ها داسی‌شکل شده و کمبود حمل اکسیژن پیدا می‌کنند (*در حقیقت الل بیماری Hb^S در افراد ناخالص بقی می‌ماند*). وقتی ژنتیک‌دانان به مطالعه توزیع بیماری داسی‌شکل در دنیا پرداختند، مشاهده کردند **که فراوانی الل** این بیماری یا Hb^S در مناطقی که شیوع بیماری مالاریا زیاد است، بسیار بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. (*مالاریا نوعی بیماری عفونی است که توسط نوعی انگل آغازی تک یاخته‌ای که در گویچه‌های قرمز زندگی می‌کنند ایجاد می‌شود.*)

وقتی محققین دنبال دلیل این موضوع رفتند، فهمیدند که افراد (SS) یا بیماران کم‌خون داسی‌شکل در هر دو جامعه عادی و مالاریاخیز، معمولاً در اثر بیماری داسی شدن هموگلوبین از بین می‌روند. ولی افراد سالم خالص یا (AA یا Hb^AHb^A) اگر به مالاریا مبتلا شوند، انگل درون‌یاخته‌ای سریعاً در گویچهٔ قرمز کروی آن‌ها تکثیر یافته و این افراد در اثر مالاریا از بین می‌روند. اگر افراد ناخالص داسی‌شکل (AS یا Hb^AHb^S) آلوده به عامل مالاریا شوند، سریعاً گویچه‌های قرمز آن‌ها داسی‌شکل شده و انگل مالاریا را از بین می‌برند. در حقیقت افراد ناخالص AS در برابر مالاریا **مقاوم** بوده و بیمار نمی‌شوند (*فقط برخی از گویچه‌های قرمز آن‌ها کوره می‌شود*). پس شانس بقا و لقاح بیشتری از سایر افراد سالم AA و بیمار SS دارند. این مطلب باعث حفظ الل‌های سالم A و بیمار S در جامعه می‌شوند که وجود Hb^S باعث حفظ تنوع در جمعیتی می‌شود که همواره تنوع سه نوع ژن‌نمود AA ، AS و SS را دارد.



نکته

از مثال توزیع بیماری داسی‌شکل در نواحی مالاریاخیز متوجه می‌شویم که: **شرایط محیطی تعیین‌کننده صفتی است که حفظ می‌شود.**

تست ۱۴ کدام گزینه درست است؟

۱) اثر بیماری مالاریا روی حفظ تنوع ژن‌نمودی بیماری داسی‌شکل مثالی از اثر عوامل ارثی در حفظ صفات می‌باشد.

۲) دگره Hb^S در مناطق مالاریاخیز، سبب بقای جمعیتی می‌شود که دارای فرزندانی با امکانِ داشتنِ انواع ژن‌نمود صفت گردی یا داسی گویچهٔ قرمز می‌باشد.

۳) باکتری عامل مالاریا نمی‌تواند درون گویچه‌های قرمز افراد ناخالص از نظر بیماری کم‌خونی داسی‌شکل زنده بماند.

۴) معمولاً افراد Hb^AHb^A در مناطق مالاریاخیز، شانس انتقال ژن‌های خود به نسل بعد را ندارند.

پاسخ ۲ به دلیل مقاومت افراد Hb^AHb^S نسبت به مالاریا، دگره Hb^S که در اغلب مناطق دگره مناسبی **نیست** ولی در مناطق مالاریاخیز دگره مناسبی به حساب می‌آید. **این دگره باعث بقای جمعیت نسبت به صفت داسی‌شکل می‌شود.** اهمیت و برتری بقا و لقاح افراد Hb^AHb^S در این مناطق سبب شده است که آمیزش دو نفر ناخالص، شانس بیشتری داشته باشد و به همین دلیل احتمال به دنیا آمدن هر نوع ژن‌نمود برای این صفت همواره وجود دارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): اثر بیماری مالاریا روی کم‌خونی داسی‌شکل، مثال خوبی است که نشان می‌دهد **شرایط محیط**، تعیین کنندهٔ صفتی است که حفظ می‌شود (*نه عامل ارثی!!!*). / گزینهٔ (۳): عامل مالاریا انگل آغازی می‌باشد نه باکتری!! / گزینهٔ (۴): افراد Hb^AHb^A اگر به مالاریا مبتلا شود، نمی‌تواند مقاومتی به مالاریا نشان دهد و در صورت عدم درمان، در اثر مالاریا از بین می‌روند ولی دقت کنید که قرار نیست هر فردی که به مناطق مالاریاخیز رفت، مالاریا بگیرد و از بین برود بلکه این بیماری راه پیشگیری یا حتی درمان دارد.

تست ۱۵ **کدام گزینه عبارت زیر را به‌طور مناسب کامل می‌کند؟** (قلم‌چی)

«هر یک از عوامل خارج‌کنندهٔ جمعیت از حال تعادل که ..... ، به‌طور حتم .....»

۱) خزانهٔ ژنی جمعیت را غنی‌تر می‌کند - دگره‌هایی سازگار با محیط ایجاد می‌کند.

۲) گوناگونی افراد را در جمعیت کاهش می‌دهد - در طی گونه‌زایی دگرمیهنی رخ می‌دهد.

۳) فراوانی دگره‌ها را در خزانهٔ ژنی تغییر می‌دهد - موجب افزایش توانایی بقای جمعیت می‌شود.

۴) فراوانی نسبی دگره‌ها را از نسلی به نسل دیگر تغییر نمی‌دهد - فراوانی نسبی ژن‌نمودها را تغییر می‌دهد.

پاسخ ۴ اگر در جمعیتی فراوانی نسبی دگره‌ها یا ژن‌نمودها از نسلی به نسل دیگر حفظ شود، آنگاه می‌گویند جمعیت در حال تعادل ژنی است، بنابراین هریک از عوامل خارج‌کنندهٔ جمعیت از حال تعادل، حداقل یکی از این موارد را (*فراوانی نسبی دگره‌ها و فراوانی نسبی ژن‌نمودها*) تغییر می‌دهد. گزینهٔ (۴) در مورد آمیزش‌های غیرتصادفی است که بدون تغییر در فراوانی الل‌ها، سبب تغییر در تعادل و نسبت‌های ژن‌نمودی می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): جهش و شارش از عوامل برهم‌زنندهٔ تعادل هستند که خزانهٔ ژنی جمعیت را غنی‌تر می‌کنند ولی فقط دگره‌هایی که در اثر جهش ایجاد می‌شوند، می‌توانند سازگار و یا ناسازگار با محیط باشند. / گزینهٔ (۲): **رانش** دگره‌ای و انتخاب طبیعی باعث کاهش گوناگونی افراد در جمعیت می‌شوند. در گونه‌زایی دگرمیهنی، اگر جمعیت جدا شده **کوچک** باشد، رانش دگره‌ای در گونه‌زایی مؤثر خواهد بود. / گزینهٔ (۳): رانش دگره‌ای از عوامل خارج‌کنندهٔ جمعیت از حال تعادل است که فراوانی دگره‌ها را در خزانهٔ ژنی جمعیت تغییر می‌دهد و می‌تواند موجب کاهش توانایی بقای جمعیت شود.

درسنامه

گفتار ۳ تغییر در گونه‌ها

در این فصل تا اینجا تغییر در ساختار ژنی فرد در اثر جهش، تغییر در ساختار ژنی جمعیت در اثر عواملی مثل شارش، رانش، جهش، آمیزش غیرتصادفی و انتخاب طبیعی را بررسی کردیم. حالا می‌خواهیم به بررسی **تغییر در گونه** و عواملی که سبب شباهت و تفاوت‌های چند گونه مختلف و گونه‌زایی می‌شود بپردازیم.

حتماً می‌دانید که در ابتدا، تعریف گونه را از روی شباهت‌ها و ویژگی‌های ظاهری بررسی می‌کردند و سپس با کشف ژنتیک، گونه و خزانهٔ ژنی آن را به‌طور دقیق‌تری بررسی کردند. با تحقیقاتی که در زمینه فسیل‌شناسی انجام شد، دیرینه‌شناسان متوجه شدند که گونه‌ها در طول زمان تغییر کرده‌اند به‌طوری **که بسیاری از گونه‌های قدیمی، در حال حاضر وجود ندارند و بسیاری از گونه‌های کنونی نیز در زمان‌های قدیم، به این شکل وجود نداشته‌اند.**

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی شواهدی بپردازیم که مشخص می‌کند، گونه‌ها تغییرپذیر بوده‌اند و با هم خویشاوند بوده‌اند. از این شواهد می‌توان به بررسی‌های فسیلی، آناتومی و مولکولی اشاره کرد. در ابتدا بهتر است که با تعریف قدیمی و جدید گونه آشنا شوید.

تعریف قدیمی گونه (تعریف لینه)

لینه معتقد بود که گونه مجموعه افراد مشابهی می‌باشند که فرزندان مشابه و والدین مشابه دارند.

تعریف جدید گونه (تعریف ارنست مایر)

پس از پیدایش ژنتیک، ارنست مایر گفت، گونه مجموعهٔ افرادی است که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های **زیستا و زایا** ایجاد کنند ولی با گونه‌های دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز نخواهند داشت (*این تعریف فقط برای گونه‌هایی است که تولیدمثل جنسی دارند*).

نکته

زاده زیستا، یعنی زاده‌ای که قدرت میتوز و رسیدن به سن بلوغ دارد و زایا، یعنی زاده‌ای که قدرت تولید گامت و ایجاد نسل بعد را دارد.

شواهد تغییر گونه

الف) سنگواره‌ها (فسیل‌ها)

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) فسیل مستقیم‌ترین و بهترین شاهدی است که تغییر گونه را بین جانداران مختلف نشان می‌دهد.
۲) سنگواره، بقایای یک جاندار یا **آثاری** از جانداری است که در گذشته **دور** زندگی می‌کرده است.
۳) معمولاً مناطق سخت بدن جانداران، فسیلی می‌شوند مثلاً استخوان‌های مهره‌داران یا اسکلت خارجی حشرات بهتر از بدن کرم خاکی امکان فسیلی شدن دارند.
۴) در برخی موارد کل بدن یک جاندار فسیل می‌شود مثل ماموت‌های منجمد شده که حتی پوست و موی آن‌ها نیز حفظ شده‌اند یا حشراتی که در رزین‌های گیاهی به دام افتاده‌اند.
۵) در زیست یازدهم خواندیم که حشرات کوچک نمی‌توانند روی برگ‌های کرکدار به راحتی حرکت کنند و ترشح مواد چسبناک از گیاه می‌تواند حرکت گیاه را دشوار یا غیرممکن کند. حتی برخی گیاهان در پاسخ به زخم، ترکیباتی ترشح می‌کنند که سبب محافظت آن‌ها می‌شود و اگر حجم این ترکیبات زیاد شود و حشره به دام بیفتد با سخت شدن این ترکیبات، سنگواره‌هایی از بدن حشره ایجاد می‌شود.
۶) دیرینه‌شناسی شاخه‌ای از زیست‌شناسی است که به مطالعهٔ فسیل‌ها می‌پردازد و اطلاعات فراوانی از گذشته به ما می‌دهد.
۷) جانداران و گونه‌هایی مثل دایناسورها بوده‌اند که در گذشته زندگی می‌کرده‌اند ولی در حال حاضر وجود ندارند و منقرض شده‌اند.
۸) جانداران و گونه‌هایی هستند که در حال حاضر زندگی می‌کنند ولی در گذشته زندگی نمی‌کرده‌اند مثل گل لاله و گربه.
۹) جانداران و گونه‌هایی مانند درخت گیسو هستند که از گذشته‌های دور تا زمان حال زندگی می‌کرده‌اند. این درخت در ۱۷۰ میلیون سال اخیر وجود داشته است.
۱۰) دیرینه‌شناسان عمر فسیل‌ها را تعیین می‌کنند و می‌دانند که در هر زمان چه جانداراني زندگی کرده‌اند.
۱۱) با بررسی سنگواره‌ها می‌توان متوجه شد که در **زمان‌های مختلف**، زندگی به **شکل‌های مختلفی** جریان داشته است.

تست ۱۶ کدام گزینه دربارهٔ دیرینه‌شناسان صحیح نیست؟ (قلم‌چی)

۱) آن‌ها می‌دانند که جانداراني مانند دایناسورها و درخت گیسو در چه زمانی زندگی کرده‌اند.
۲) به مطالعهٔ بقایای یک جاندار یا آثار پیکر جانداری که در گذشتهٔ دور زندگی می‌کرده است، می‌پردازند.
۳) معتقدند که در طول زمان‌های مختلف، زندگی به شکل‌های مختلف جریان داشته و تغییر گونه‌ها در طول زمان انجام شده است.
۴) در تشریح مقایسه‌ای به کمک بررسی ساختارهای همتا در مهره‌داران، گونه‌های خویشاوند با یکدیگر را در یک گروه قرار می‌دهند.

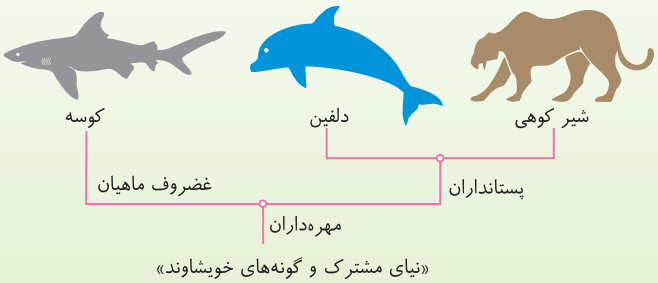
پاسخ ۴ رده‌بندی جانوران براساس اندام‌های همتا بر عهدهٔ سایر زیست‌شناسان می‌باشد و دیرینه‌شناسان در این موضوع نقشی ندارند ولی سایر گزینه‌ها خط کتاب درسی هستند.

ب) تشریح مقایسه‌ای (مقایسه آناتومی) بین گونه‌های مختلف

وقتی برخی ساختارهای بدنی را در برخی گونه‌ها با هم مقایسه می‌کنیم، مشاهده می‌کنیم که برخی از آن‌ها **اساس ساختاری** و **طراحی** مشابهی با هم دارند. در حقیقت آناتومی آن‌ها در گونه‌های مختلف، شباهت‌های اساسی با هم دارند که این موضوع را دلیلی بر **خویشاوندی** بین آن گونه‌ها و داشتن **نیای مشترک** برای آن‌ها می‌دانند. مثلاً وقتی **اندام حرکتی جلویی** در مهره‌داران را با هم مقایسه می‌کنیم، می‌بینیم که طرح ساختاری آن‌ها یکسان بوده و همگی حاوی استخوان‌های بازو، زند زیرین، زند زبرین، استخوان‌های مچ، کف دست و بند انگشتان می‌باشد. به اندام‌هایی که اساس یا طرح ساختاری یکسانی دارند (*مثل دست انسان با بال پرنده یا باله دلفین و دست گربه*)، اندام‌ها یا ساختارهای همتا یا همولوگ گفته می‌شود. این اندام‌ها ممکن است کارایی داشته باشند یا نداشته باشند یا کارایی کمی داشته باشند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در بررسی اندام‌های همتا، نکتهٔ مهم، داشتن ساختار و طرح یکسان می‌باشد و کارایی آن‌ها در درجهٔ دوم اهمیت می‌باشد.
۲) علت وجود ساختارهای همتا در گونه‌های متفاوت، داشتن **نیای مشترک** بین آن گونه‌ها می‌باشد. این گونه‌های دارای ساختار همتا را **گونه‌های خویشاوند** می‌گویند. مثلاً محققین معتقدند که مهره‌داران دارای یک نیای مشترک هستند چون در همهٔ آن‌ها می‌توان ساختارهای همتای متعددی مشاهده کرد.
۳) در نمودار خویشاوندی مقابل مشاهده می‌شود که دلفین و شیر کوهی چون هر دو شباهت‌های فراوانی با هم دارند، در یک رده به نام پستانداران قرار می‌گیرند. شباهت آن‌ها به هم بسیار بیشتر از شباهت آن‌ها به کوسه ماهی می‌باشد ولی همگی نیای مشترک دیگری داشته‌اند.
۴) زیست‌شناسان با استفاده از ساختارهای همتا، می‌توانند **رده‌بندی** جانداران را انجام دهند و جانداران خویشاوند را در یک گروه قرار دهند. مثلاً هر جانوری که ستون مهره دارد را در گروه شاخه مهره‌داران (*طبداران*) قرار می‌دهند.



● ساختارهای آنالوگ

گاهی در بین گونه‌های مختلف، ساختارهایی دیده می‌شوند که **کار یکسانی دارند** ولی **طراحی و ساختار متفاوتی** دارند. مثلاً پای انسان و پای عنکبوت هر دو برای راه رفتن می‌باشند و کار یکسانی دارند ولی پای انسان برخلاف پای عنکبوت ساختار استخوانی دارد. به این ساختارهای همکار ولی غیر هم‌ساختار، ساختارهای آنالوگ می‌گویند. بال کبوتر و بال پروانه نیز آنالوگ هستند چون هر دو برای پرواز هستند ولی بال پروانه برخلاف بال پرنده ساختار استخوانی ندارد.

نکته مهم

ساختارهای آنالوگ برای پاسخ به یک **نیاز مشترک** (*مثلاً پرواز*) به وجود آمده‌اند ولی در گونه‌های مختلف، سازش آن‌ها و ساختار آن‌ها به روش‌های مختلفی بوده است. این اندام‌ها برخلاف اندام‌های همتا، دلیلی برداشتن یک نیای مشترک به حساب نمی‌آیند.

● ساختارهای وستیجیال

وقتی آناتومی و ساختار بدن را در بین **گونه‌های مختلف** مقایسه می‌کنیم، علاوه بر پیدا شدن خویشاوندی گونه‌ها، مشاهده می‌شود که این ساختارهای همتا، در برخی گونه‌ها بسیار کارامد هستند مثل ران سوسمار که در حرکت کارایی زیادی دارد ولی در برخی گونه‌های دیگر این ساختارها کوچک یا ساده‌تر شده‌اند و حتی ممکن است فاقد کارایی خاصی باشند. **به این ساختارهای کوچک، ساده یا ضعیف شده، ساختارهای وستیجیال** (*به معنی ردپا*) **می‌گویند**. مثلاً لگن و ران در مارها وستیجیال هستند و منشأ آن لگن و ران سوسمار بوده است که دارای کارایی می‌باشد. یعنی لگن و ران در سوسمار و مار با هم همتا می‌باشند که در مار وستیجیال شده چون نیازی به داشتن پا و راه رفتن ندارد ولی در سوسمار کارایی دارد و وستیجیال نمی‌باشد.

مثالی دیگر از وستیجیال: مار پیتون، فاقد پا می‌باشد اما بقایای پا در لگن آن به صورت وستیجیال وجود دارد. این اندام مشخص می‌کند که این گونه با سایر مهره‌داران رابطهٔ خویشاوندی دارد.

نکته

شواهد متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، مارها از تغییر یافتن و تکامل سوسمارها ایجاد شده‌اند.

● دلیل وستیجیال شدن یک ساختار

در طبیعت می‌گویند یاخته واحد عقلانی است چون انرژی را بیهوده مصرف نمی‌کند. به همین دلیل در دنیای زنده نیز همین مسئله وجود دارد که چون حفظ یک ساختار انرژی‌بر می‌باشد، پس جاندار باید در مسیر تکاملی خود، ساختارهایی را در بدن حفظ کند که این ساختارها کارایی داشته باشند و جاندار از آن‌ها استفاده بهینه کند. بدیهی است که اگر جانداری، مقداری از انرژی خود را صرف نگه داشتن اندامی کند که هیچ کارایی ندارد، پس آن مقدار انرژی را بیهوده از دست داده است و در سیستم رقابتی با جانداران دیگر حذف می‌شود. به همین دلیل، جانداران در طی تکامل خود، ساختارها و اندام‌هایی که کارایی ندارند را به تدریج حذف می‌کنند یا به صورت وستیجیال درمی‌آورند که ساده و کوچک می‌شوند.

نکته

بقایای پای مار وستیجیال است ولی با پای مهره‌داران دیگر همتا می‌باشد.

ج) بررسی مولکول‌های زیستی در خویشاوندی گونه‌ها

در علم مقایسه ژنتیکی ژنوم (*ژنگان*) جانداران، هنگامی که ژنوم **گونه‌های مختلف** را با یکدیگر مقایسه می‌کنند، مشاهده می‌شود که برخی ژن‌ها در برخی گونه‌ها مشترکند و در عوض برخی ژن‌ها، ویژه یک گونه خاص می‌باشند. از این مقایسه‌ها اطلاعات ارزشمندی در علم ژنگان‌شناسی مقایسه‌ای به دست می‌آورند.

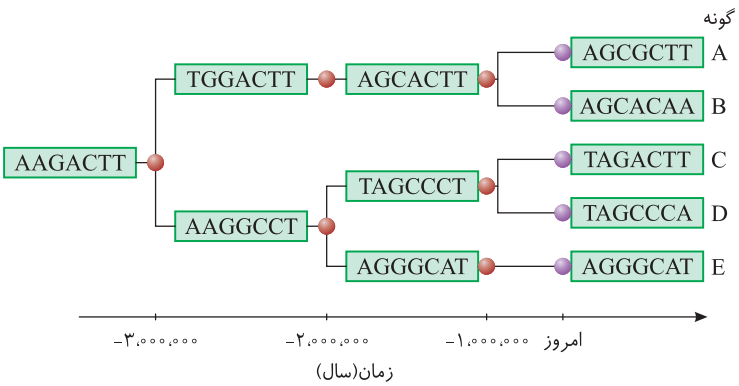
وقتی زیست‌شناسان، **DNA گونه‌های مختلف ولی نزدیک به هم** را با هم مقایسه می‌کنند، مشاهده می‌کنند که هرچه DNA دو جاندار شباهت بیشتری به هم داشته باشد، خویشاوندی نزدیک‌تری دارند و با این روش می‌توان به تاریخچه تغییر گونه‌های آن‌ها پی ببرند.

● بررسی توالی‌های حفظ شده

وقتی توالی یک ژن خاص را در برخی گونه‌های مختلف با هم مقایسه می‌کنیم، مشاهده می‌شود که قسمت‌ها یا توالی‌های خاصی، در بین گونه‌های مختلف وجود دارند که هیچ تفاوتی در توالی نوکلئوتیدی با هم ندارند. به این توالی‌ها، **توالی‌های حفظ شده** می‌گویند.

مثالی برای درک بهتر توالی‌های حفظ شده: در ۵ گونه فرضی روبه‌رو که از یک نیای مشترک ایجاد شده‌اند نوکلئوتید پنجم همگی C بوده و یکسان می‌باشد. این مطلب نشان می‌دهد که پنج گونه فوق از یک نیای مشترک، اشتقاق یافته‌اند و طی تکامل به گونه‌های متفاوتی مشتق شده‌اند.

در این شکل گونه‌های A و B و همچنین C و D به هم شبیه‌تر و خویشاوندتر می‌باشند یعنی در گذشته نزدیک‌تری و از نیای نزدیک‌تری مشتق شده‌اند.



«چگونگی مشتق شدن پنج گونهٔ فرضی از یک نیای مشترک»

تست ۱۷ **ساختارهایی که نشان می‌دهند سفره‌ماهی‌ها و گربه دارای نیای مشترکی هستند، .....** (قلم‌چی)

۱) همواره دارای اندازه‌ای بزرگ هستند و بسیار کارآمد می‌باشند.

۲) می‌توانند نشان دهندهٔ آن باشند که ساختار بدنی بعضی گونه‌ها از طرح مشابهی برخوردار است.

۳) ممکن است در برخی مهره‌داران کار و طرح ساختاری متفاوتی داشته باشند.

۴) نشان می‌دهد که در همهٔ مهره‌داران اندام جلویی دارای ساختار و کار یکسانی هستند.

پاسخ ۲ مقایسهٔ اندام‌های **همتا** نشان می‌دهد ساختار بدنی برخی گونه‌ها از طرح مشابهی برخوردار است. این ساختارها می‌توانند هر اندازه‌ای داشته باشند و در اندام‌های مختلفی (*نه‌فقط اندام جلویی!*) بررسی شوند.

تست ۱۸ **کدام گزینه درست است؟**

۱) پای مار پیتون با پای سوسمار، وستیجیال است.

۲) اندام جلویی در افراد یک جمعیت با هم همتا می‌باشند.

۳) بال پروانه اندامی آنالوگ می‌باشد.

۴) بال مرغ همانند بقایای پای مارها اندامی وستیجیال بوده ولی با هم غیرهمتا هستند.

پاسخ ۴ پای مار و بال مرغ، وستیجیال می‌باشند ولی پای مار اندام عقبی جانور بوده است و با اندام جلویی سایر مهره‌داران مثل مرغ، همتا یا هم‌ساختار نمی‌باشد (*درستی گزینهٔ ۴*)). **دقت کنید که واژهٔ آنالوگ یا همتا برای مقایسهٔ دو اندام به کار می‌روند** و نمی‌توان گفت که یک اندام مثل بال پروانه آنالوگ یا همتا است (*نادرستی گزینهٔ ۳*)). همواره برای آنالوگ یا همتا باید حداقل دو اندام در دو گونهٔ مختلف را با هم مقایسه کرد. چون در یک جمعیت، فقط افراد **یک گونه** وجود دارند که مقایسهٔ همتا یا آنالوگ در مورد آن‌ها صورت نمی‌گیرد. پس گزینهٔ ۲ نیز نادرست است.

◄ از طرفی واژهٔ وستیجیال، یک واژهٔ مقایسه‌ای نیست. مثلاً می‌گوییم بقایای پای مار پیتون، یک اندام وستیجیال می‌باشد و این ویژگی ربطی به وستیجیال بودن یا نبودن یک اندام گونهٔ دیگر ندارد (*نادرستی گزینهٔ ۱*)).

تست ۱۹ **در مورد جانداران گونه‌هایی که در گذشته نزدیک‌تری از نیای مشترک مشتق شده‌اند، چند مورد زیر صحیح می‌باشد؟**

الف) توالی‌های حفظ شده مشترک کمتری دارند.

ب) خویشاوندی بیشتری دارند.

ج) فاقد ساختارهای آنالوگ می‌باشند.

د) دارای برخی اندام‌های همتا ولی وستیجیال شده می‌باشند.

۱) ۳ مورد ۲) ۴ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۱ مورد

پاسخ ۱ موارد (*ب*)، (*ج*) و (*د*) صحیح می‌باشند.

هرچه دو گونه در گذشتهٔ **نزدیک‌تری** از یک نیای مشترک مشتق شده باشند، ویژگی‌های **شبیه‌تری** دارند و اندام‌های همتا با ساختار مشابه‌تری دارند. این گونه‌ها توالی‌های حفظ شدهٔ مشترک بیشتری دارند و دارای رابطهٔ خویشاوندی نزدیک‌تری می‌باشند (*درستی ب و نادرستی الف*). در این گونه‌ها ممکن است مثل مار و سوسمار، در برخی اندام‌های همتا، اندامی وستیجیال مثل بقایای پای مار ایجاد شود (*درستی د*).

نکته: اندام‌های آنالوگ در مورد جانداران بسیار متفاوت مثل بال در پروانهٔ بی‌مهره با بال در کبوتر مهره‌دار دیده می‌شوند که رابطهٔ خویشاوندی ندارند یا آنقدر نیای دوری دارند که فاقد ساختار همتا می‌باشند (*درستی ج*).

گونه‌زایی

◄ هر تعریفی برای گونه در محدوده مشخصی کارآمد می‌باشد. مثلاً تعریف اولیه محققین (*نِما*) برحسب شباهت ظاهری افراد و تعریف ارنست مایر بر مبنای تولیدمثل جنسی بود.

تعریف گونه از نظر ارنست مایر

وی برای جاندارانی که تولیدمثل **جنسی** دارند بیان کرد که گونه در زیست‌شناسی به مجموعه افرادی گفته می‌شود که **می‌توانند** در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های زیستا (*قدرت زنده ماندن و میتوز کردن*) و زایا (*قدرت تولید گامت و لقاح*) به وجود آورند ولی نمی‌توانند با گونه‌های دیگر **آمیزش موفقیت‌آمیز** کنند یعنی نمی‌توانند با گونه‌های دیگر نیز زاده زیستا و زایا ایجاد کنند.

نکته

◄ آمیزش موفقیت‌آمیز در گونه ← یعنی زاده زیستا و زایا ایجاد می‌کند.

◄ آمیزش غیر موفقیت‌آمیز بین دو گونه
- یا همواره زاده نازا ایجاد می‌کنند.
- یا همواره زاده نازیستا ایجاد می‌کنند.
- یا همواره زاده نازا و نازیستا ایجاد می‌کنند.
- البته دقت کنید که فرد نازیستا، حتی اگر عقیم نباشد به زایا بودن نمی‌رسد.

جدایی خزانهٔ ژنی دو گونه

در طبیعت، به‌طور معمول افراد دو گونه مختلف نمی‌توانند با هم به تبادل ژنی و آمیزش موفقیت‌آمیز بپردازند. در حقیقت اعضای دو گونه، ژنوم و خزانهٔ ژنی متفاوتی دارند. از طرفی هرگاه بین افراد یک گونه به هر دلیلی جدایی تولیدمثلی ایجاد شود به‌طوری که نتوانند با هم آمیزش کنند، آنگاه خزانهٔ ژنی گونه به دو جمعیت جدا تبدیل می‌شود و شرایط برای گونه‌زایی فراهم می‌شود. این عوامل می‌توانند در اثر جدایی‌های جغرافیایی یا زمانی و... رخ می‌دهد.

انواع گونه‌زایی

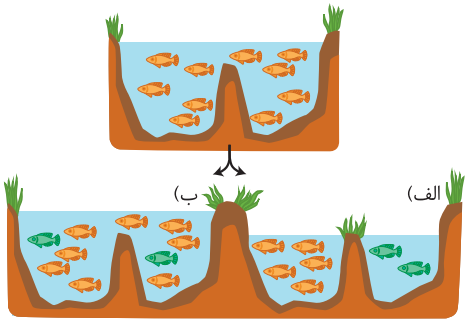
در این قسمت که آخرین بخش از این فصل می‌باشد می‌خواهیم دریابیم که چگونه دو گونهٔ مختلف از یک گونه مشتق می‌گیرند. به‌طور کلی اگر میان افراد یک گونه، **جدایی تولیدمثلی** رخ دهد، به تدریج خزانهٔ ژنی آن‌ها از هم جدا شده و به سوی تشکیل گونهٔ جدیدی می‌روند. جدایی تولیدمثلی، در اثر عواملی ایجاد می‌شود که مانع لقاح و آمیزش بعضی افراد یک گونه با افراد دیگر از همان گونه می‌شوند.

در طبیعت دو نوع سازوکار گونه‌زایی به صورت دگرمیهنی و هم‌میهنی وجود دارد که در هر دو مورد ابتدا باید بین افراد دو گونه، **جدایی تولیدمثلی** اتفاق بیفتد تا مانع آمیزش بعضی از افراد یک گونه با بعضی دیگر شود. در اثر جدایی تولیدمثلی، ابتدا خزانهٔ ژنی دو جمعیت از یکدیگر جدا شده تا احتمال تشکیل گونهٔ جدید فراهم شود.

نکته

در ادامه مشاهده می‌کنید که اساس جدایی تولیدمثلی در گونه‌زایی **دگرمیهنی** بر پایه جدایی **جغرافیایی** بوده ولی در گونه‌زایی **هم‌میهنی** جدایی تولیدمثلی بدون جدایی جغرافیایی رخ می‌دهد.

در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید که ابتدا در محیط بالا یک گونه ماهی وجود داشته است. در محیط پایین (تخلیه (الف))، گونه‌زایی دگرمیهنی با جدایی کامل جغرافیایی و عدم شارش بین آن‌ها را می‌بینید که دو گونهٔ جدید ایجاد شده‌اند ولی در شکل (ب)، گونه‌زایی هم‌میهنی را نشان می‌دهد که در همان محیط اولیه، گونهٔ جدیدی از ماهی‌ها در دو سمت ایجاد شده‌اند درحالی که شارش ژنی متوقف نشده است.

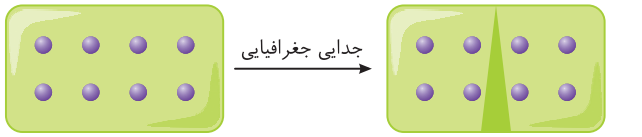


«الف) گونه‌زایی دگرمیهنی و ب) هم‌میهنی»

گونه‌زایی دگرمیهنی

در این نوع گونه‌زایی به ترتیب وقایع زیر اتفاق می‌افتد تا افراد یک جمعیت به دو گونهٔ مجزا تبدیل شوند:

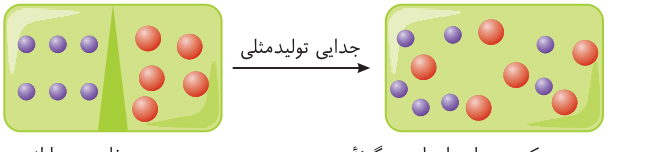
۱) ابتدا بر اثر رخدادهای زمین‌شناختی، **سدهای جغرافیایی** ایجاد می‌شود که سبب می‌شود افراد **یک جمعیت** که یک خزانهٔ ژنی داشته‌اند به دو جمعیت تبدیل شوند به‌طوری که شارش ژن بین این دو جمعیت متوقف شود. (مثلاً یک دره یا کوه بین دو جمعیت ایجاد شد.) در این حالت دو خزانهٔ ژنی مختلف وجود دارد ولی چون هنوز یک گونه هستند، ژنوم (ژنگان) یکسانی دارند.



۲) در هر جمعیت برحسب سازش با محیط جدید خود و رخ دادن جهش، نوترکیبی، رانش و انتخاب طبیعی، به تدریج ویژگی‌های جدیدی ایجاد می‌شود و تفاوت‌های آن‌ها به تدریج زیاد می‌شود. به دلیل نبودن شارش، به تدریج این تفاوت‌ها بیشتر و بیشتر می‌شود که می‌تواند روی رخ‌نمود آن‌ها نیز مؤثر باشد. (مثلاً اگر گروهی در سمت منطقه سردسیرتر باشند، رنگ روشن‌تری خواهند داشت.)



۳) در طول زمان آن‌قدر تفاوت ساختار ژنی و خزانهٔ ژنی دو جمعیت زیاد می‌شود که حتی اگر دوباره در کنار همدیگر قرار بگیرند، آمیزشی بین آن‌ها رخ نخواهد داد و جدایی تولیدمثلی (مثلاً زمان جفت‌گیری عوض شده باشد) در آن‌ها ایجاد می‌شود. در این حالت خزانهٔ ژنی دو جامعه را به صورت دو ژنگان جدید از دو گونه جدید مجزا در نظر می‌گیریم و آن‌ها را دو گونهٔ مختلف می‌دانیم که تشکیل یک اجتماع داده‌اند.



نکته

میزان عامل جغرافیایی جداکننده برای گونه‌زایی دگرمیهنی، به میزان **حرکت جانداران** آن گونه بستگی دارد. هرچه میزان تحرک گونه بیشتر باشد، سد جغرافیایی باید بزرگ‌تر باشد. *(مثلاً برای جدایی جغرافیایی پرندگان، باید سد جغرافیایی آنقدر بزرگ باشد که با پرواز هم به همدیگر نرسند ولی برای حلزون‌ها، یک خشکی چند متری نیز برای ایجاد سد جغرافیایی، کافی می‌باشد.)*

نکته

اگر جمعیت اولیه‌ای که در اثر جدایی جغرافیایی از جمعیت اصلی جدا شده باشد، یک جمعیت با **اندازهٔ کوچک** باشد، در آن صورت **رانش** ژن نیز در جمعیت نقش مهمی دارد و بر میزان تفاوت بین دو جمعیت می‌افزاید. در حقیقت رانش ژن وقتی نقش **مهمی** دارد که در جمعیت‌هایی با اندازه کوچک رخ دهد.

● مثالی برای فهم گونه‌زایی دگرمیهنی

جمعیتی از موش‌هایی را در نظر بگیرید که رنگ روشن داشته‌اند. در اثر بروز آتشفشان، برخی از موش‌ها به سمتی می‌روند که خاکسترهای آتشفشانی وجود دارد. در این صورت اگر ارتباط جمعیت جدید با جمعیت اولیه قطع شود، به تدریج برحسب سازش با محیط، موش‌هایی که رنگ روشن کمتری دارند یعنی کمی تیره‌تر از بقیه هستند با محیط جدید سازگارترند و شانس بقای بیشتری دارند و ژن‌های بیشتری از خود را به نسل بعد می‌دهند. به تدریج جمعیت جدید نسل به نسل تیره‌تر می‌شوند و با جمعیت اولیه متفاوت‌تر می‌شوند. این تفاوت ظاهری می‌تواند آن‌قدر زیاد شود که حتی اگر این موش‌ها که قبلاً از یک گونه بوده‌اند، دوباره در کنار هم قرار گیرند، دیگر با هم آمیزش نمی‌کنند. در این حالت موش‌های تیره و روشن را دو گونه با دو خزانهٔ ژنی متفاوت در نظر می‌گیریم.

تست ۲۰ **در طی پدیدهٔ گونه‌زایی دگرمیهنی، هر عاملی که تفاوت‌ها را در بین دو جمعیت افزایش می‌دهد، .....**

۱) می‌تواند باعث افزایش تنوع ژن‌نمودی در بین افراد جمعیت شود.

۲) باعث انتقال ژن‌های سازگارتر با محیط به نسل بعد می‌شود.

۳) در خزانهٔ ژنی نسل بعد آن‌ها تغییراتی ایجاد می‌کند.

۴) باعث حفظ گوناگونی ژنتیکی در جمعیت می‌شود.

پاسخ ۳ در گونه‌زایی دگرمیهنی، جهش، انتخاب طبیعی و رانش ژن از طریق تغییر در فراوانی دگره‌ها باعث تغییر در خزانهٔ ژنی نسل بعد می‌شوند. نوترکیبی نیز از طریق ایجاد ژن‌نمودهای جدید در نسل بعد، باعث تغییر جمعیت‌ها می‌شود.

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۴): رانش تنوع را کم می‌کند. / گزینهٔ (۲): رانش و جهش در جهت سازش نیستند.

گونه‌زایی هم‌میهنی

در برخی موارد که اغلب در گونه‌زایی گیاهان، دیده می‌شود، گونهٔ جدید به صورت زیستا و زایای با کروموزوم‌های پلی‌پلوئیدی از گونهٔ دیپلوئید اولیه ایجاد می‌شود. این گونهٔ جدید پلی‌پلوئید بدون جدایی جغرافیایی و فقط به دلیل اختلال در تقسیم یاخته‌ای و ایجاد یاخته‌هایی با تعداد کروموزوم‌های غیرعادی ایجاد شده‌اند ولی به هر حال سبب جدایی تولیدمثلی و ایجاد گونهٔ جدید شده‌اند. **دقت کنید که در این گونه‌زایی‌ها، افراد گونه‌های پلی‌پلوئید جدید نمی‌توانند با گونهٔ اولیه، آمیزش موفقیت‌آمیز کنند** و یا اگر آمیزش کنند زاده‌های زیستا و زایا ایجاد نمی‌کنند. به همین دلیل از ابتدا دارای دو ژنوم و خزانهٔ ژنی جدید می‌شوند. در ادامه به بررسی انواع حالات ممکن در اثر اشکالات تقسیم کروموزوم‌ها در گونه‌زایی هم‌میهنی و اثرات آن‌ها می‌پردازیم.

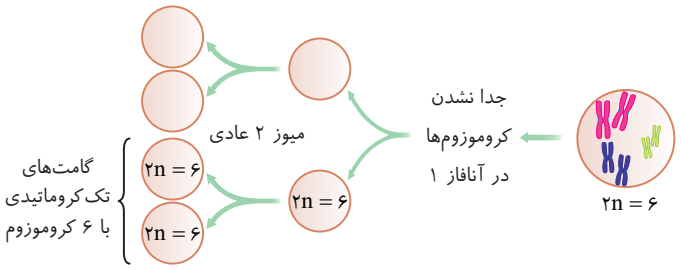
نکته

اثر جهش، انتخاب طبیعی و رانش در این گونه‌زایی نیز مهم است.

● الف) اگر جدا نشدن کروموزوم‌ها در میوز ۱ اتفاق بیفتد

اگر طی مرحلهٔ میوز ۱، همهٔ کروموزوم‌ها به یک یاخته بروند ولی میوز ۲ به درستی انجام شود در این صورت از چهار یاخته حاصله، دو یاخته فاقد کروموزوم بوده و دو یاختهٔ دیگر دارای تعداد کروموزوم‌هایی برابر با یاختهٔ اولیه ولی تک‌کروماتیدی خواهند شد که به صورت روبه‌رو می‌باشند. *(فرض کنید یاخته پیکری گونه ۶=۲n می‌باشد.)*

روند گونه‌زایی: به خاطر دارید که روند جدایی کروموزوم‌ها در میوز ۲ همانند میتوز انجام می‌شد، پس از یاخته ۶=۲n مضاعف، طی میوز ۲، دو یاخته یا گامت ۶=۲n ولی تک‌کروماتیدی ایجاد می‌شود. حال اگر این گامت‌های دیپلوئید با هم لقاح کنند، جاندار تتراپلوئید زیستا و زایا به عنوان یک گونه جدید ایجاد می‌شود.



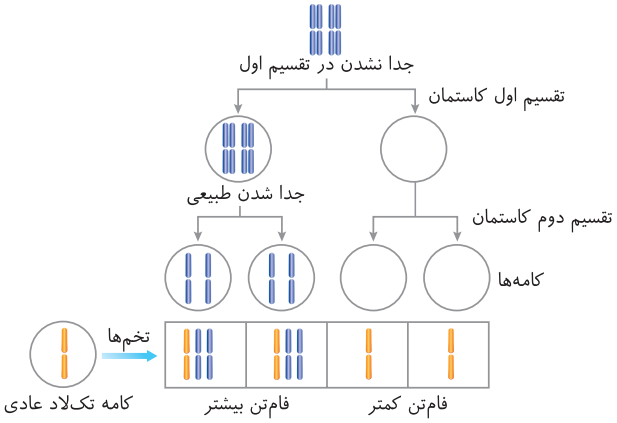
حـال اگر ایـن گامت‌هـا بـا گامت‌های عـادی $n=3$ لقـاح کنند، حالت‌های منوزومی و تریزومی مقابل در تخم‌ها ایجاد می‌شـوند که قادر به بقا و زایا بودن نمی‌باشند. (*به‌خاطر دارید که میوز ویژه یاخته‌های زوج n زایش است.*)

گامت عادی + گامت غیرعادی ⟵ تخم‌های حاصله

$n=3$ + صفر کروموزومی ⟵ $n=3$

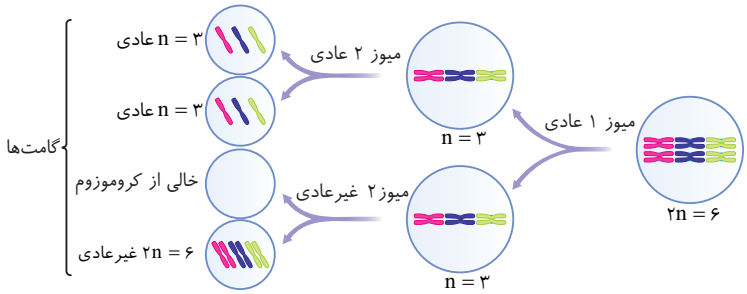
$n=3$ + $2n=6$ ⟵ $3n=9$

قدرت میوز و باروری ندارند.



● ب) اگر یک یاخته محصول میوز ۱ در مرحلهٔ میوز ۲ دچار جدا نشدن کروموزوم شود

اگـر فرض کنیم که در یاختـه‌ای $2n=6$، مرحلهٔ میوز ۱ به درسـتی انجام شود در این صورت دو یاخته $n=3$ مضاعف ایجاد می‌شـود. اگر یکی از این دو یاخته میوز ۲ را به درسـتی انجام دهد، حاصل آن دو گامت طبیعی $n=3$ تک‌کروماتیدی می‌شود ولی اگر یاخته دیگر بعد از مرحله آنافاز ۲ و جدا شدن کروماتیدهـا، همـهٔ آن‌هـا را به یک یاخته بدهـد، حاصل این تقسـیم ایجاد یک گامـت غیرعادی بدون کرومـوزوم و یک گامت $2n$ با ۶ کروموزوم تک‌کروماتیدی می‌شود.



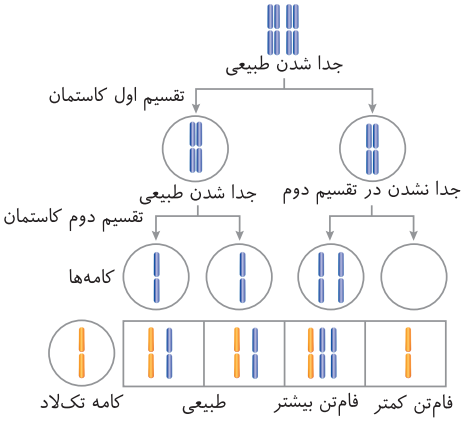
اگـر ایـن ۳ نـوع گامت با گامت‌های $n=3$ عادی لقاح کنند، حاصل آن ایجاد سـه نوع تخم $2n=6$ طبیعی، $n=3$ منوزومـی نازا و $3n=9$ نازای غیرعادی می‌شود. البته دقت داشته باشید که اگر دو نوع گامت $2n=6$ از دو میوز غیرعادی دو جاندار با هم ترکیب شوند، یک فرد $4n=12$ ایجاد می‌شود که می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد گونه جدیدی بشود.

گامت غیرعادی + گامت عادی ⟵ انواع تخم‌ها

$n=0$ + $n=3$ ⟵ $n=3$ منوزومی نازا (تک‌لادی)

$n=3$ (عادی) + $n=3$ ⟵ $2n=6$ تخم عادی (دولادی)

$2n=6$ + $n=3$ ⟵ $3n=9$ تریزومی نازا (سه‌لادی)



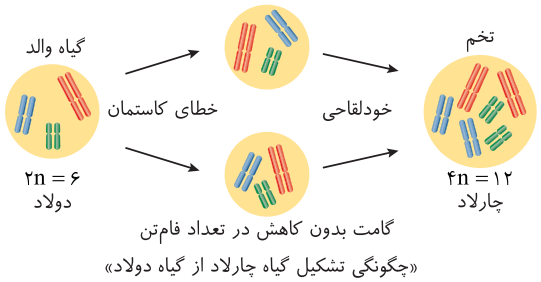
نکته

گیاهان پلی‌پلوئیدی، معمولاً در اثر گونه‌زایی هم‌میهنی ایجاد شـده‌اند. این گیاهان زیسـتا و زایا هستند ولی نمی‌توانند در اثر آمیزش با گونه نیایی خود، زاده‌های زیستا و زایایی ایجاد کنند.

● ج) جدا نشدن کروموزوم‌ها در میوز و خودلقاحی گامت‌ها (گونه‌زایی دگرمیهنی)

در برخی اوقات دیده می‌شود که کروموزوم‌های گونه‌های گیاهی در میوز از هم جدا نمی‌شوند و در نهایت گامت‌های دیپلوئیدی ایجاد می‌کنند. اگر اسپرم‌های دیپلوئید حاصل از تقسیم میوز نادرست در کیسه گرده گیاهی با تخم‌زاهای دیپلوئید مادگی همان گیاه که هر دو دچار این میوز غیرعادی شده باشند، لقاح کنند، حاصل این عمل ایجاد تخمی **تتراپلوئید** ($4n$) می‌شود که **زیستا و زایا** می‌باشد. این تخم از هر ردیف کروموزوم دو عدد دارد که با هم همتا می‌باشد و به راحتی قدرت میتوز و سـپس میوز دارد. از تقسـیم این تخم گونهٔ تتراپلوئید جدید ایجاد می‌شـود که نوعی گونه‌زایی هم‌میهنی است. چون گونه $4n$ (*تتراپلوئید*) دیگر با $2n$ (*دیپلوئید*) اولیه لقاح نمی‌کند و اگر هم لقاح کند تخم $3n$ ایجاد می‌کند که نازا می‌باشد و خزانهٔ ژنی و گونهٔ جدیدی ایجاد نمی‌کند. در اثر این اتفاق خزانهٔ ژنی گونهٔ دیپلوئید از خزانهٔ ژنی گونهٔ تتراپلوئید جدا می‌شود.

در شکل روبه‌رو گونه اولیه $2n=6$ بوده است که در اثر خطای میوز ۱، گامت‌های $2n=6$ ایجاد کرده است. در اثر خودلقاحی این گامت‌ها، تخم $4n=12$ ایجاد شده است که زیستا و زایا می‌باشد و منشأ ایجاد گونهٔ جدیدی شده است.



«چگونگی تشکیل گیاه چارلاد از گیاه دولاد»

مثالی از گونه‌زایی هم‌میهنی در گیاهان طبیعت

در اوایل دههٔ ۱۹۰۰، دانشمندی به نام هوگو دووری با گل مغربی‌های $2n=14$ آزمایش می‌کرد. در حالت عادی، این گیاهان گامت‌های $n=7$ داشتند. پس از مدتی وی مشاهده کرد که یک گل مغربی با رخ‌نمود متفاوت و بزرگ‌تر در مزرعه وی دیده شد. هنگامی‌که کروموزوم‌های آن را بررسی کرد، متوجه شد که به جای $2n=14$، حاوی هسته‌های $4n=28$ می‌باشد و تتراپلوئید است. در حقیقت این گیاه از آمیزش گامت‌های $2n=14$ ایجاد شده بود که در اثر اشکال در میوز تشکیل یافته است. هوگو دووری مشاهده کرد که گیاهان $4n=28$، دارای گامت $2n=14$ بوده و اگر خودلقاحی کنند یا با $4n$ دیگری آمیزش کنند، زاده‌های زیستا و زایای $4n=28$ ایجاد می‌کنند ولی قادر به آمیزش با انواع $2n=14$ نیستند. اگر هم لقاح کنند زاده‌های نازای $3n=21$ ایجاد می‌کنند. وی متوجه شد که در اثر تقسیم نادرست یاخته‌ای، گونهٔ جدیدی به صورت $4n=28$ در مزرعه آزمایش او ایجاد شده است.

گل مغربی دیپلوئید $(2n=14)$	گل مغربی تتراپلوئید $(4n=28)$
هر مجموعهٔ کروموزومی آن دارای ۷ کروموزوم غیر همتا می‌باشد	هر مجموعهٔ کروموزومی آن دارای ۷ کروموزوم غیر همتا می‌باشد.
دو مجموعه کروموزوم دارد.	چهار مجموعهٔ کروموزوم دارد.
یاخته‌های حاصل از میوز آن فاقد کروموزوم همتا می‌باشد.	یاخته‌های حاصل میوز آن دارای کروموزوم همتا می‌باشد.
تخم اصلی $2n$ و تخم ضمیمه $3n$ دارد.	تخم اصلی $4n$ و تخم ضمیمه $6n$ دارد.

تست ۲۱ **چند مورد عبارت «گامت‌های گل مغربی $4n$، .....» را به درستی تکمیل می‌کند؟**

الف) فاقد فام‌تن همتا هستند.
ب) در اثر چلیپایی شدن، در هر تقسیم ۴ نوع مختلف می‌باشند.
ج) ۱۴ فام‌تن در یک ردیف دارند.
د) حاصل تلوفاز میتوز هستند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۱ فقط مورد (د) صحیح است. می‌دانید که در گیاهان، حاصل میوز، یاخته‌ای با قدرت میتوز می‌باشد. پس گامت‌ها محصول میتوز هستند نه میوز! گامت‌های گل مغربی $4n$ نیز باید یاخته‌هایی $2n=14$ باشند که دو ردیف فام‌تن همتا دارند (*نادرستی الف و ج*). دقت کنید که گامت این گیاهان در اثر میتوز یاخته $2n=14$ به دست می‌آید.

نکته: از آنجایی که گامت گیاهان، حاصل میتوز می‌باشد، پس در تولید آن‌ها از یاخته مادری، چلیپایی شدن نقشی ندارد (*نادرستی ب*).

تست ۲۲ **در مورد زاده‌های حاصل از خودلقاحی گیاه تتراپلوئید در پژوهش‌های هوگو دووری نمی‌توان گفت .....** (قلم‌چی)

۱) در همان نسل، تفاوت آن‌ها با گیاهان جمعیت نیایی خود در اثر تغییرات تدریجی افزایش می‌یابد.
۲) در صورت آمیزش با جمعیت گیاهان دیپلوئید، زاده‌های حاصل، در صورت بقا از طریق تکثیر رویشی، بتوانند منجر به گونه‌زایی هم‌میهنی شوند.
۳) زاده‌هایی زیستا و زایا بوده ولی نمی‌توانند در حالت طبیعی با گونهٔ نیایی آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند.
۴) در صورت لقاح با گامت‌های گیاهان جمعیت نیایی خود، یاختهٔ تخم حاصل نمو طبیعی خواهد داشت.

پاسخ ۱

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۲): تغییرات تدریجی در هنگام گونه‌زایی دگرمیهنی مشاهده می‌شود. یکی از سازوکارهای گونه‌زایی هم‌میهنی، آمیزش بین افراد متعلق به دو گونهٔ مختلف است. اگرچه زاده‌های حاصل از آمیزش بین‌گونه‌ای، زیستا و زایا نیستند، اما در صورت امکان بقا از طریق تکثیر رویشی، گاهی به لطف خطای کاستمانی، امکان ایجاد گونهٔ جدید به خصوص در گیاهان فراهم می‌شود. / گزینهٔ (۳): مطابق تعریف گونه از نظر ارنست مایر است. / گزینهٔ (۴): طبق کتاب درسی گیاه سه‌لاد حاصل از نمو این تخم، نازاست، اما این تخم نمو می‌یابد و به گیاه تبدیل می‌شود.

فصل پنجم
از مـــاده به انـــرژی

درسنامه

قطعاً می‌دانید که **جانوران** با خوردن مواد غذایی، انرژی به دست می‌آورند. این جملهٔ ساده حاوی معانی علمی بسیار مهمی است که در این فصل به بررسی آن می‌پردازیم. از طرفی در سال‌های قبل آموختیم که مثلاً پمپ سدیم پتاسیم در غشای یاخته‌ها، با مصرف ATP، انرژی زیستی فرایند خود را به دست می‌آورد. در این فصل می‌خواهیم ببینیم چگونه از مواد غذایی گیاهی یا جانوری که وارد بدن یک جانور می‌شود، مولکول‌هایی انرژی‌زا به نام ATP در بدن ایجاد می‌شوند؟ در حقیقت، ATP **سوخت اصلی و رایج یاخته‌ها** یا **انرژی زیستی یاخته** می‌باشد و پول نقدی است که واکنش‌های یاخته‌ای خرج می‌کنند تا آنزیم‌ها و سایر عوامل بتوانند کار خود را انجام دهند.

محققین می‌دانند که **گلوکز مهم‌ترین** منبع انرژی برای به دست آوردن ATP در فرایندهایی به نام **تنفس یاخته‌ای** می‌باشد. در این فصل به‌طور کامل به بررسی واکنش‌های تجزیهٔ گلوکز در جهت به دست آوردن انرژی می‌پردازیم.

نکته

در بدن جانوران، ورزش و فعالیت شدید بدنی، سبب گرمازایی بیشتر شده که ضمن آن با عرق کردن باعث از دست دادن آب بدن نیز می‌شود.

نکته

جانوران گیاه‌خوار (*زراضه و ملخ*)، گوشت‌خوار (*ما*) و همه‌چیزخوار (*انسان*)، منبع غذایی متفاوتی دارند ولی همگی انرژی مورد نیاز را با **شیوهٔ یکسانی** به دست می‌آورند که به همین دلیل به آن‌ها جانداران **مصرف‌کننده** می‌گویند. این جانداران نمی‌توانند با تولید مواد آلی از مواد معدنی، به ذخیرهٔ انرژی بپردازند و محتاجند که این مواد آلی را از محیط کسب کنند.

گفتار ۱ تأمین انرژی و تنفس یاخته‌ای

تنفس یاخته‌ای ⇐ هر نوع آن ATP تولید می‌کند

همهٔ **جانداران** طبیعت از ساده‌ترین که باکتری‌ها (*پروکاریوت‌ها*) هستند تا پیچیده‌ترین که انسان‌ها می‌باشند، از گیاه گرفته تا قارچ و جانور آغازی و تولیدکننده و مصرف‌کننده، همه و همه **برای انجام فعالیت‌های زیستی خود محتاج انرژی می‌باشند**. در **همهٔ** جانداران با واکنش‌های درون‌یاخته‌ای به نام **تنفس یاخته‌ای**، مقداری **انرژی زیستی** به صورت **ATP** به دست می‌آید. به‌طور **معمول** ماده‌ای که طی تنفس یاخته‌ای جانداران تجزیه می‌شود، از گروه **هیدرات‌های کربن** می‌باشد که انرژی حاصل از تجزیهٔ آن، مقداری به صورت **گرما** آزاد شده و مقداری نیز به صورت **ATP** ذخیره می‌شود.

سوخت‌وساز (متابولیسم)

متابولیسم یا سوخت‌وساز همان انجام واکنش‌ها در درون موجود زنده و به کمک آنزیم‌ها می‌باشد که دو قسمت مهم دارد، یکی واکنش‌های **ساخت مواد آلی** (*آنابولیسم*) که در فصل آینده به آن خواهیم پرداخت و دیگری **سوختن مواد آلی** (*کاتابولیسم*) که در این فصل به‌طور کامل بررسی می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) **بسیاری** از جانداران قادرند در صورت نبودن گلوکز یا قند کافی به ترتیب از موادی مثل **چربی‌ها** انرژی‌زایی کنند و اگر ذخیرهٔ چربی نیز تمام شد، جاندار به سمت خودسوزی رفته تا با تجزیهٔ پروتئین‌های خود به ویران کردن ساختار بدن برای به دست آوردن انرژی بپردازد تا شاید اندکی مدت زمان حیات خود را طولانی‌تر کند.

۲) به‌طور طبیعی قند و چربی‌ها به مصرف انرژی‌زایی می‌رسند ولی بدن از پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها در کارهای ساختاری و اطلاعاتی استفاده می‌کند.

③ **اکسایش** در اصطلاح شیمی به معنی **از دست دادن الکترون** یا ترکیب شدن با اکسیژن می‌باشد که سبب **افزایش عدد اکسایش** آن‌ها می‌شود.

④ **کاهش یا احیا شدن** در اصطلاح شیمی به معنی **گرفتن الکترون** می‌باشد که سبب **کاهش عدد اکسایش** آن ماده می‌شود.

انواع تنفس یاخته‌ای و کل فصل در یک نگاه!

در جانداران طبیعت، **دو نوع تنفس یاخته‌ای** وجود دارد که در هر دو نوع، **گلوکز** تجزیه یا اکسایش می‌شود و از انرژی حاصل از شکسته شدن پیوندهای بین اتم‌های کربن و هیدروژن آن، مقداری ATP به دست می‌آید.

نگاه کلی به هدف تنفس یاخته‌ای

در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، هدف، **تولید ATP** با استفاده از تجزیهٔ مواد **آلی** می‌باشد. در این واکنش‌ها معمولاً از تجزیهٔ گلوکز به عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود. گلوکز طی سلسله مراتبی تجزیه شده و طی اکسایش به مولکول‌های آلی مثل پیروات یا استیل و... تبدیل می‌شود و مقداری الکترون پرانرژی از دست می‌دهد که باید بالاخره برای هدر نرفتن این انرژی‌ها، به کمک واکنش‌های آنزیمی به تولید ATP پرداخته شود که در ادامه به بررسی کامل واکنش‌ها می‌پردازیم.

نوع اول تنفس: تنفس دارای بخش‌های بی‌هوازی و هوازی (معروف به تنفس هوازی)

این تنفس به‌طور کلی به **تنفس هوازی** مشهور است که **برخی** واکنش‌های آن به کمک **اکسیژن** رخ می‌دهد. در این تنفس از اکسایش هر مولکول گلوکز، مقدار **زیادی** ATP به دست می‌آید (*حداکثر* ۳۰ATP). این نوع تنفس در یوکاریوت‌ها و اغلب پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد. مرحلهٔ اول این تنفس که در **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** رخ می‌دهد به قندکافت (*گلیکولیز*) معروف است. این مرحله **بخش بی‌هوازی تنفس** است که **بدون نیاز به** O_2 صورت می‌گیرد. واکنش‌های قندکافت، مخصوص **هر نوع تنفس یاخته‌ای** (*هوازی یا بی‌هوازی*) می‌باشد که طی آن **مقدار کمی ATP** (*دو عدد*) ایجاد می‌شود. سایر مراحل تنفسی که به اختصار در ادامه طبقه‌بندی شده است درون راکیزه یوکاریوت‌ها یا در غشا و سیتوپلاسم پروکاریوت‌های هوازی صورت می‌گیرد.

نکته

در کتاب درسی معمولاً تعداد ATP تولیدی یا تعداد مولکول‌های ناقل الکترونی مثل $NADH, H^+$ یا $FADH_2$ در هر مرحلهٔ تنفس را به‌طور دقیق مشخص نکرده است و فقط به تولید محصولات در مراحل مختلف پرداخته است. به همین دلیل شما نیز در اغلب موارد نیازی به دانستن مرحلهٔ تولید مواد مختلف را ندارید. در ادامهٔ فصل به بررسی و توضیح کامل مولکول‌های ناقل الکترونی می‌پردازیم!! (*نگران نباشید!!*)

- **فرمول کلی اکسایش یا تجزیهٔ گلوکز در تنفس هوازی**

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + ADP + \text{مقداری } P \text{ (فسفات)} \xrightarrow{\text{آنزیم}} 6CO_2 + 6H_2O + ATP \text{ مقداری}$$

- **طبقه‌بندی کلی مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی**

نکته

لازم به ذکر است که اگر اولین‌بار است این بخش را از درسنامه الگو مطالعه می‌کنید و کل فصل را هنوز نخوانده‌اید، ممکن است در نگاه اول این طبقه‌بندی برای شما دشوار باشد ولی با مرور این مبحث و دوره‌های بعدی پی به اهمیت این قسمت می‌برید!! (*انشاءالله!*) (*می‌توانید بعد از مطالعهٔ دو گفتار اول برگردید و اهمیت آن را بفهمید!*)

مرحلهٔ اول = قسمت بی‌هوازی تنفس (قندکافت = گلیکولیز)

- قندکافت به معنی **تجزیهٔ گلوکز** می‌باشد.
- این مرحله **بدون نیاز به** O_2 در **هر جانداری** رخ می‌دهد.
- همهٔ واکنش‌های آن درون **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** در روز و شب رخ می‌دهد.
- مقدار کمی ATP در سطح پیش‌ماده و مقداری NADH می‌سازد. (*در ادامه توضیح می‌دهیم اینا چی هستن!*)
- CO_2 تولید و مصرف نمی‌کند یعنی واکنش‌هایی **مستقل از نور و** CO_2 می‌باشد.
- **فرمول قندکافت:** $C_6\text{(گلوکز)} \xrightarrow{\text{سیتوپلاسم}} 2C_3\text{(پیروات)} + 2ATP + 2NADH$
- قندکافت، مرحلهٔ اول یا بخش اول هر نوع تنفس یاخته‌ای می‌باشد.
- طی واکنش‌های آن که در ادامه مشاهده می‌کنید مقداری ATP (۲ *عدد*) برای فعال‌سازی اولیه واکنش مصرف می‌شود ولی مقدار بیشتری ATP (۴ *عدد*) در انتها تولید می‌شود.

نکته: بخش هوازی تنفس، در راکیزه یوکاریوت‌ها یا در غشا و سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد. واکنش‌هایی محتاج O_2 بوده که به نسبت قند کافت سبب تولید مقدار ATP بیشتری می‌شود.

مرحلهٔ دوم یا بخش **هوازی** تنفس

اکسایش پیروووات تا تولید استیل کوآنزیم A

- اکسایش پیروووات در راکیزه صورت می‌گیرد تا در نهایت گروه استیل دو کربنی تولید شود.
- **مجموعه آنزیمی** انجام مراحل آن در **غشای درونی راکیزه** یا غشای پروکاریوت‌ها قرار گرفته‌اند.
- واکنش‌ها درون بسترهٔ راکیزه در مجاور سطح درونی غشای داخلی چین خورده انجام می‌شود.
- علاوه بر دو مولکول استیل کوآنزیم A، $2CO_2$ و $2NADH$ نیز تولید می‌کند.
- واکنش کلی:

$$2C_3\text{(پیروووات)} + 2\text{CoA (کوآنزیم A)} + 2NAD^+ \rightarrow \underbrace{2C_2\text{CoA}}_{\text{استیل CoA}} + 2CO_2 + 2NADH + H^+$$

مراحل هوازی تنفس یاخته‌ای

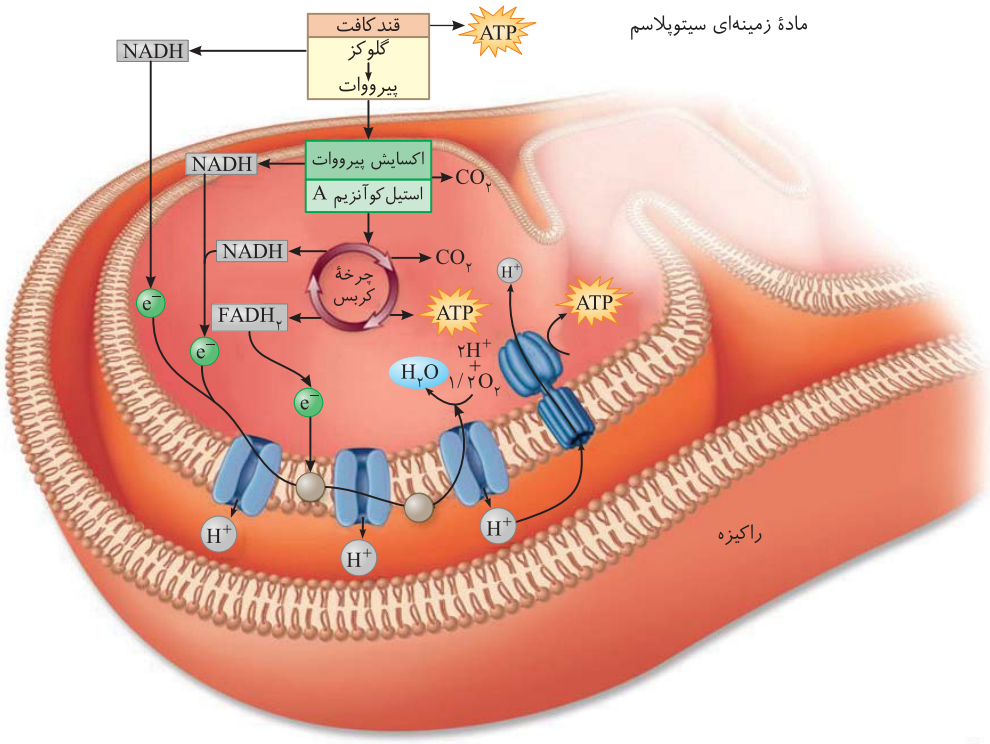
چرخهٔ کربس (اکسایش گروه استیل)

- واکنش‌هایی چرخه‌ای برای اکسایش گروه استیل می‌باشد.
- در بستره (*درون راکیزه*) یا مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها توسط مجموعه‌ای آنزیمی به نام چرخهٔ کربس رخ می‌دهد.
- مقداری $NADH, H^+$، $FADH_2$ و ATP در سطح پیش‌ماده به همراه $2CO_2$ در مراحل مختلف هر چرخهٔ کربس ایجاد می‌شود.

زنجیرهٔ انتقال الکترون

- توسط عوامل موجود در غشای درونی چین خورده راکیزه یا غشای پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد.
- مسئول اکسایش ناقلین الکترونی NADH و $FADH_2$ می‌باشد.
- الکترون‌ها و پروتون‌های $NADH, H^+$ و $FADH_2$ را به O_2 می‌رساند تا آب تولید کند.
- آخرین گیرندهٔ الکترون و پروتون آن **مادهٔ معدنی** O_2 می‌باشد.
- در تولید مقدار زیادی **ATP اکسایشی** نقش دارد.
- در غشای درونی راکیزه سبب دوباره‌سازی NAD^+ و FAD می‌شود.

● تنفس یاخته‌ای در یک شکل



«خلاصه‌ای از تنفس هوازی»

نوع دوم تنفس: تنفس کاملاً بی‌هوازی (تخمیر)

این نوع تنفس در برخی باکتری‌ها مثل باکتری تولید محصولات لبنی یا مواد غذایی مثل خیارشور یا برخی قارچ‌ها (*قارچ مخمر نان*) و یا حتی در ماهیچهٔ اسکلتی انسـان و برخی گیاهان **در شرایط کمبود اکسیژن** رخ می‌دهد. همهٔ مراحل این نوع تنفس در **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** صورت گرفته و دارای واکنش‌هایی اسـت که **بدون نیاز به اکسیژن** رخ می‌دهد. این تنفس قادر است از اکسایش **یک مولکول گلوکز** فقط **دو مولکول ATP** تولید کند. بقیه انرژی مولکول گلوکز در مواد آلی تولید شده در انتهای واکنش‌ها ذخیره می‌شود.

این تنفس نیز در مرحلهٔ اول خود واکنش‌های گلیکولیز یا قند کافت دارد ولی برخلاف واکنش‌های تنفس هوازی، ادامهٔ واکنش‌های آن بدون نیاز به O_2 و در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم طی می‌شوند که در گفتار آخر این فصل به‌طور مفصل آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

● فرمول کلی تنفس بی‌هوازی (تخمیر)

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{آنزیم}]{\text{سیتوپلاسم}} \text{۲ماده آلی} + 2ATP$$

بررسی کلی مراحل تخمیر (تنفس بی‌هوازی)

۱) گلیکولیز (قند کافت)
- در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و بدون نیاز به O_2 در همهٔ جانداران رخ می‌دهد.
- ۲ATP به همراه ۲NADH و دو مولکول پیرووات ایجاد می‌کند.

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P + 2NAD^+ \rightarrow 2C_3(\text{پیرووات}) + 2ATP + 2NADH + 2H^+$$

۲) ادامه تخمیر
- در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسمی برخی یوکاریوت‌ها و برخی پروکاریوت‌ها رخ می‌دهد.
- طی آن الکترون‌ها و پروتون‌های NADH به **ماده آلی** منتقل می‌شود.
- در این مرحله ATP تولید نمی‌شود ولی دوباره‌سازی NAD^+ رخ می‌دهد. (*در ادامه توضیح می‌دهیم.*)
- انواع الکلی و لاکتیکی دارد.

$$\underbrace{\text{ادامه تنفس بی‌هوازی} + \text{گلیکولیز (قند کافت)}}_{\text{تخمیر در سیتوپلاسم}}$$

تمام واکنش‌های گفته شده و عوامل مورد نیاز را در ادامه بررسی می‌کنیم. در نگاه اول فقط قصد داشتیم یک نمای کلی از تنفس در ذهن شما شکل بگیرد.

بررسی ساختمان ATP

ATP انرژی‌زا، نوکلئوتیدی آزاد سه فسفاته با قند ریبوز به نام کلی آدنوزین تری‌فسفات می‌باشد که به عنوان **انرژی زیستی** رایج و قابل استفاده یاخته **برای اغلب واکنش‌های انرژی‌خواه یاخته‌ای** می‌باشـد. وجود این مولکول که در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای ایجاد می‌شـود، **سـبب فعالیت جاندار می‌شود** و به جاندار قدرت **حفظ** ویژگی‌هایی مثل **رشد و نمو و تولیدمثل** می‌دهد. در حقیقت هیچ **جانداری** بدون وجود ATP، زنده نمی‌ماند و در حقیقت پس از مدتی، **جاندار مورد نظر، دیگر «جان» ندارد.**

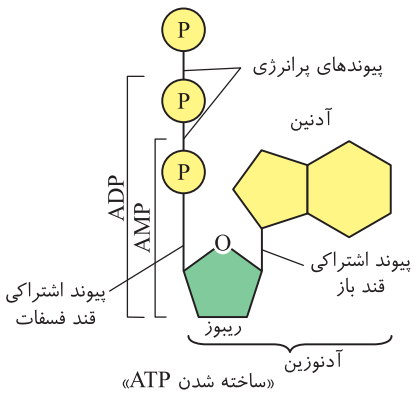
نوجه: ATP با قند دئوکسی‌ریبوز نیز در یاخته به صورت آزاد وجود دارد ولی از این مولکول فقط برای **همانندسازی** دنا استفاده می‌شود و مصرف انرژی‌زایی ندارد.

اجزای ATP

۱) قنـد پنتـوز: قندی با یک حلقـه ۵ ضلعی از نوع **ریبوز** می‌باشـد که در نوکلئوتیدهـای مورد نیاز در ساخت رنا (RNA) نیز وجود دارد. این قند با پیوندهای اشتراکی (*کووالانسی*) از یک طرف به باز آلی آدنین متصل می‌شـود و مجموعاً مولکول **آدنوزین** را تشـکیل می‌دهند. قند ریبوز از سمت دیگر خود به زنجیره‌ای شامل سه گروه فسفات متصل می‌باشد.

۲) باز آلی آدنین: از نوع پورین‌های دوحلقه‌ای نیتروژن‌دار می‌باشـد که به همراه قند ریبوز سـبب ایجاد مولکول **آدنوزین** می‌شود. (*دو حلقه آلی ۵ و ۶ ضلعی دارد که از حلقه ۵ ضلعی خود با قند ریبوز پیوند اشتراکی دارد.*)

۳) گروه‌های فسـفات: سـه گروه فسـفات متصـل به هم، از یک سـمت به قند ریبـوز ATP متصل می‌شـوند. بین فسـفات‌ها پیوندهای **پرانرژی اشتراکی** وجود دارد که با شکسـتن هر کدام از آن‌ها انرژی مورد نیاز فعالیت‌های زیستی جانداران تأمین می‌شود.



«ساخته شدن ATP»

نکته

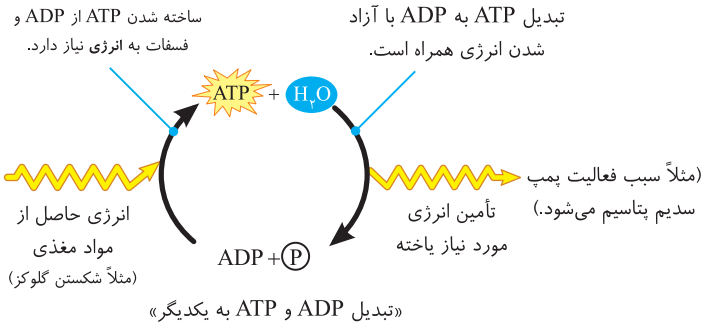
اضافه شدن سه گروه فسفات به آدنوزین، طی **سه مرحله** صورت می‌گیرد. ابتدا با صرف انرژی و اضافه شدن یک فسفات و تشکیل پیوند کم‌انرژی‌تر، مولکول AMP ایجاد می‌شود، سپس با اضافه شدن هر فسفات و ایجاد **پیوند پرانرژی بین فسفاتی**، به ترتیب ابتدا ADP و سپس ATP ایجاد می‌شود.

تولید و تجزیه ATP در یاخته

۱) تبدیل ATP و ADP به همدیگر

به‌طور **معمول** واکنش‌های تولید و تجزیهٔ ATP، از طریق **ADP** صورت می‌گیرد. تولید ATP مانند تولید هر مادهٔ آلی زیستی، واکنشی **انرژی‌خواه** می‌باشد، یعنی برای ایجاد ATP، ابتدا یک گروه فسفات با پیوند پرانرژی و همراه با واکنش‌های آنزیمی سنتز آبدهی به ADP (*آدنوزین دی‌فسفات*) اضافه می‌شود.

$$ADP+P\ (\text{فسفات})+\text{انرژی}\rightarrow ATP+H_2O$$



$$ATP+H_2O \underset{\text{آنزیم ATPساز}}{\overset{\text{آنزیم هیدرولاز}}{\rightleftharpoons}} ADP+P+\text{انرژی}$$

نکته

انرژی لازم برای تبدیل ADP به ATP، از تجزیهٔ مواد مغذی مثل گلوکز و... حاصل می‌شود.

◀ در موقع نیاز به مصرف انرژی، به‌طور معمول یاخته طی واکنش‌های انرژی‌زایی، همراه با آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ آب، با شکستن پیوند پرانرژی بین فسفات‌ها، ATP را به ADP تبدیل می‌کند.

$$ATP+H_2O\rightarrow ADP+P+\text{انرژی}$$

درون یاخته، برای تولید ATP از ADP می‌توان به قسمت‌های زیر اشاره کرد: (*در ادامه همهٔ آن‌ها را می‌خوانیم!*)

الف) درون مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم، در واکنش‌های مرحلهٔ آخر گلیکولیزی (*قندکافت*)

ب) درون بستره راکیزه در واکنش‌های چرخهٔ کربس

ج) در بستره راکیزه توسط آنزیم ATPساز بعد از عمل واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون (*تولید ATP اکسایشی*)

د) در بستره تیلاکوئیدهای سبزدیسه‌ها در واکنش‌های **نوری** فتوسنتز (*تولید ATP نوری*)

ه) در **تأمین انرژی** ماهیچه‌ها از طریق کراتین فسفات ($\underset{\text{کراتین فسفات}}{CP}+ADP\rightarrow \underset{\text{کراتین}}{C}+ATP$)

و) در مجاورت سر میوزین تارچه‌های ماهیچه‌ای در حال استراحت

نکته

به‌طور معمول، تقریباً در هر قسمتی از یاخته که **فعالیت‌های زیستی** انرژی‌خواه انجام می‌شود، نیاز به هیدرولیز یا تجزیه ATP وجود دارد. به‌طور مثال عمل پمپ سدیم پتاسیم، انتقال فعال مواد برای جذب در لولهٔ گوارش و قسمت اعظمی از فرایند بازجذب و ترشح در کلیه‌ها، واکنش‌های شروع انقباض ماهیچه‌ای برای اتصال سر میوزین به اکتین و... محتاج مصرف ATP می‌باشند.

۲) تبدیل ATP به AMP

در مقدار **کمی** از واکنش‌های زیستی، ATP با از دست دادن دو گروه فسفات و آزاد کردن انرژی بیشتر، به AMP تبدیل می‌شود. مثلاً برخی هورمون‌های پلی‌پپتیدی در مکانیسم اثر خود نیازمند ایجاد AMP از ATP می‌باشند که البته در کتاب درسی شما این مطلب وجود ندارد.

فقط اطلاع داشته باشید که یاخته همواره گول انرژی بیشتر را نمی‌خورد. مثلاً واکنش تبدیل ATP به AMP، سبب تولید انرژی بیشتری برای یاخته می‌شود ولی چون این واکنش یک‌طرفه بوده و ATP اولیه دوباره‌سازی نمی‌شود، این واکنش به‌طور معمول صورت نمی‌گیرد و برای یاخته مقرون به صرفه نمی‌باشد.

روش‌های ساخته شدن ATP در واکنش‌های سوخت‌وسازی درون یاخته

الف) تولید ATP در سطح پیش‌ماده

ب) تولید ATP به کمک زنجیرهٔ انتقال الکترون ← ATP اکسایشی تنفس هوازی / ATP نوری فتوسنتز

الف) تولید ATP در سطح پیش‌ماده

در این روش، ابتدا از یک پیش‌ماده فسفات‌دار، گروه فسفات آن جدا می‌شود و سپس با اتصال گروه فسفات به ADP، مولکول ATP تولید می‌شود که به آن **تولید ATP در سطح پیش‌ماده** گفته می‌شود. برای تولید این مدل ATPسازی، نیازی به انتقال الکترون و واکنش‌های دیگری نمی‌باشد.



مثال‌هایی از تولید ATP در سطح پیش‌ماده

● ۱) تجزیهٔ کراتین فسفات در ماهیچه

در سیتوپلاسـم تارهای ماهیچه‌ای (نه‌تارچه‌ها!)، می‌توان با تجزیهٔ **کراتین فسـفات** که یک **منبع انرژی** می‌باشـد، مولکول فسفات جدا شده را به ADP متصل کرد تا مولکول ATP تولید شود. این ATP می‌تواند پس از پایان انقباض ماهیچه‌ای، در اتصال به سر میوزین‌ها شرکت کند و دوباره با شروع واکنش‌های انقباض ماهیچه‌ای با هیدرولیز به ADP تبدیل شود.

(کراتین فسفات یکی از منابع انرژی بوده که ویژهٔ ماهیچه‌هاست) $CP+ADP \rightarrow C$ (کراتین) $+ATP$ (کراتین فسفات)

نکته

عمل تولید ATP از کراتین فسـفات، توسـط آنزیمی صورت می‌گیرد که تعدادی جایگاه فعال در سـطح خود دارد، یکی برای کراتین فسفات و یکی برای ADP. محصول این آنزیم مولکول کراتین و ATP می‌باشد. (در این آنزیم، سه گروه فسفات در کنار هم قرار گرفته تا سبب تولید ATP شود.)

نکته

در این واکنش **کراتین فسـفات**، نوعی پیش‌ماده **آلی** برای تولید ATP می‌باشـد.

$$CP+ADP \xrightarrow[\text{ماهیچه}]{} ATP+C \text{ (کراتین)}$$

(کراتین فسفات)



«ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده»

● ۲) تولید ATP در سطح پیش‌ماده (در واکنش‌های مرحلهٔ آخر قندکافت در هر نوع تنفس یاخته‌ای!)

در تنفس یاخته‌ای جانداران مختلف و طی مرحلهٔ آخر قندکافـت خواهیـم دید که در اثر تبدیـل هر مولکول اسـید سه کربنه دو فسـفاته به مولکول‌های پیرووات، دو مولکول ATP در سطح پیش‌ماده تولید می‌شود.

واکنش مرحلهٔ آخر قندکافت:

$$\underset{\text{ترکیب اسیدی دو فسفاته}}{C(P)-C-C(P)} + 2ADP \longrightarrow \underset{\text{پیرووات}}{C-C-C} + 2ATP$$

● ۳) یکی از مراحل چرخهٔ کربس (ویژهٔ تنفس هوازی)

در بخش **هوازی** تنفس یاخته‌ای نیز مولکول ATP در یکی از مراحل واکنش‌های چرخهٔ کربس به صورت تولید ATP در سطح پیش‌ماده ایجاد می‌شود.

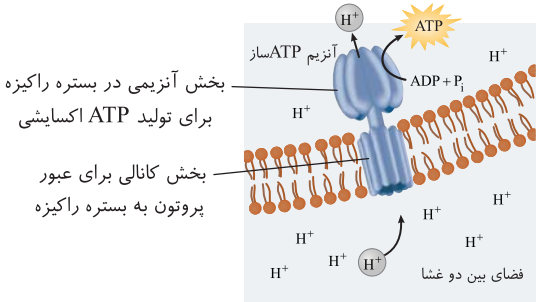
ب) تولید ATP در زنجیرهٔ انتقال الکترون

این نوع تولید ATP، مخصوص واکنش‌های سوخت‌وسـازی در راکیزه (میتوکندری) و سبزدیسـه‌ها (کلروپلاسـت) می‌باشد. در این روش، مولکول‌های ATP در اثـر انـرژی حاصل از **انتقال الکترون‌ها** در زنجیره‌های انتقال الکترون و توسـط یک مجموعـه پروتئین **کانالی** که هم نقش ترابری پروتون (H^+) دارد و هم نقش آنزیمی برای ATPسازی دارد، صورت می‌گیرد.

به‌طور کلی **دو نوع تولید ATP به این روش** وجود دارد که به صورت زیر می‌باشند:

● ۱) ساخته شدن اکسایشی برای تولید ATP (ویژهٔ تنفس هوازی)

ایـن عمل در **آخرین** مرحلهٔ تنفس **هوازی** در مجموعـه پروتئین کانالی صورت می‌گیرد که در **غشای درونی راکیزه** واقع می‌باشد. قسمت آنزیمی این مجموعه در بستره یا بخش درونی راکیزه قرار گرفته است. **این کانال یونی، با استفاده از یون فسفات و انرژی حاصل از انتقال پروتون‌ها و عمل زنجیرهٔ انتقال الکترون‌ها، به تولید ATP می‌پردازد.**

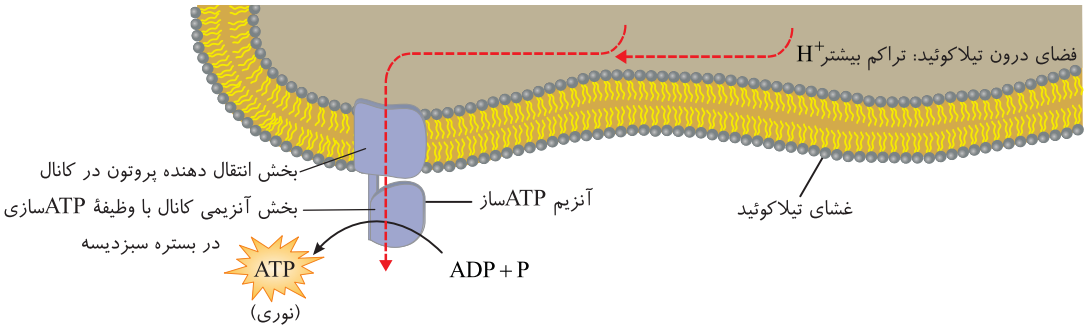


● ۲) ساخته شدن نوری ATP (ویژهٔ فتوسنتز)

در فصـل بعـد می‌خوانیم که در مراحل وابسـته به نور فتوسـنتز نیز در **غشـای تیلاکوئیدها** همانند تنفس هوازی واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترونی وجود دارد که انرژی حاصل از این الکترون‌ها نیز در نهایت به یک مجموعه پروتئین کانالی H^+ می‌رسد که در بخش آنزیمی ود در **بسترهٔ سبزدیسه**، سبب تولید ATP می‌شود. (فصل بعد کامل بررسی می‌شود.)

نکته

در اینجا فقط در خاطر داشته باشید که چون انرژی الکترون‌های فتوسنتزی در اصل از **نور خورشید** تأمین می‌شود، به این مولکول، **ATP نوری** گفته می‌شود.



مولکول‌های آلی گیرنده و ناقل الکترون در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای

در تنفس یاخته‌ای، به تدریج باید پیوندهای کربن - هیدروژن در مولکول گلوکز و سپس در مولکول‌های حاصل از تجزیه آن (*مثل پیروات یا استیل*) شکسته شوند. در اثر شکسته شدن پیوند کووالانسی بین کربن و هیدروژن، مقداری الکترون به همراه پروتون (H^+) آزاد می‌شود. این **الکترون‌ها پرانرژی** هستند که در حقیقت **انرژی پیوند کربن - هیدروژن** را در خود **ذخیره** کرده‌اند. این انرژی الکترون‌ها نباید به هدر برود و در نهایت باید در مولکول **ATP ذخیره** شود تا یاخته در موقع نیاز از آن استفاده کند. به همین دلیل درون یاخته‌ها انواعی از **گیرنده‌های** الکترون و پروتون وجود دارند که وظیفهٔ جمع کردن این الکترون‌های پرانرژی را دارند و سپس با آزاد کردن آن‌ها به تولید ATP اکسایشی کمک می‌کنند. در ادامه به بررسی این مولکول‌ها می‌پردازیم. (*هر گیرندهٔ الکترونی، بعد از جذب الکترون‌ها به عنوان ناقل الکترونی عمل می‌کند.*)

$$\underset{\text{گیرندهٔ الکترونی}}{x} + e^- + H^+ \rightarrow \underset{\text{ناقل الکترونی}}{xH}$$

الف) گیرندهٔ الکترونی NAD^+ و ناقل الکترونی $NADH, H^+$

NAD^+، یونی آلی با ماهیت دی‌نوکلئوتیدی در یاخته به نام «نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید» بوده که قابلیت **کاهش یا احیا شدن** با گرفتن **یک الکترون** دارد (*چون یک بار مثبت دارد*). این مولکول در واکنش‌های بی‌هوازی قند کافت در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و واکنش‌های هوازیِ درون راکیزه، الکترون‌ها و پروتون‌های آزاد شده را گرفته و در نهایت به صورت $NADH + H^+$ درمی‌آید. به مولکول NADH، **ناقل الکترون و پروتون** گفته می‌شود. همواره به ازای تولید هر مولکول NADH یک یون پروتون (H^+) نیز ایجاد می‌شود. در حقیقت هر NADH، حاوی دو الکترون و یک پروتون می‌باشد.

نکته

NAD^+ یک الکترون را به صورت مستقیم می‌گیرد و یک الکترون و یک پروتون را نیز به صورت اتم هیدروژن می‌پذیرد تا به NADH تبدیل شود و به همراه یک پروتون به صورت $NADH, H^+$ در یاخته منتقل می‌شود.

NAD^+ → (واکنش‌های قند کافت، تولید استیل CoA، چرخه‌های کربس) $+2H^+ + 2e^-$ → $NADH, H^+$

مقصد NADHهای ناقل الکترون پرانرژی کجاست؟

در انتهای فصل تنفس یاخته‌ای، ملاحظه خواهید کرد که مولکول‌های NADH، در تنفس **هوازی** در نهایت وارد **زنجیرهٔ انتقال الکترون** برای آزادسازی انرژی الکترون‌ها و کمک به ساخت ATP اکسایشی می‌شوند که طی این واکنش‌ها **دوباره‌سازی** NAD^+ برای تنفس‌های بعدی انجام می‌شود.

در انتهای فصل خواهید دید که:

سرنوشت NADHها

- NADH تولید شده در مراحل مختلف تنفس یاخته‌ای
  - در تنفس هوازی ← وارد زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌شوند.
    - به **اکسیژن معدنی**، الکترون می‌دهند.
    - دوباره‌سازی NAD^+ می‌کنند.
    - سبب تولید ATP اکسایشی می‌شوند.
  - در واکنش‌های تخمیری (بی‌هوازی) ← در سیتوپلاسم مصرف می‌شوند.
    - معمولاً به مواد **آلی**، الکترون و پروتون می‌دهند.
    - دوباره‌سازی NAD^+ می‌کنند ← سبب تداوم تولید ATP در قند کافت می‌شوند.

● ب) گیرندهٔ الکترونی FAD و ناقل الکترونی $FADH_2$

مـادهٔ آلـی دیگری به عنـوان گیرندهٔ الکترون درون یاخته‌های دارای **تنفس هوازی** با ماهیت دی‌نوکلئوتیدی به نام فلاویـن آدنین دی‌نوکلئوتید (FAD) وجود دارد. FAD برخـلاف NAD^+ **فاقـد بار الکتریکی** می‌باشـد و با گرفتن دو **الکترون و دو پروتـون** در مرحله‌ای از واکنش‌های چرخهٔ کربس به صورت $FADH_2$ درمی‌آید. (*این عمل در بستره یا بخش درونی راکیزه‌های یوکاریوت‌ها و سیتوپلاسم پروکاریوت‌های هوازی رخ می‌دهد.*)

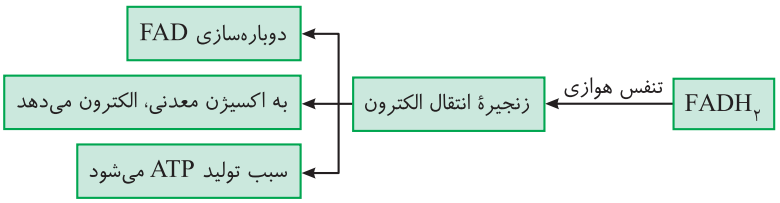
نکته

$FADH_2$ برخلاف NADH به همراه خود یک یون پروتون (H^+) حمل نمی‌کند.

$$FAD + 2e^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{چرخهٔ کربس}} FADH_2$$

مقصد $FADH_2$های ناقل الکترون پرانرژی کجاست؟

در انتهای تنفس یاخته‌ای هوازی ملاحظه خواهید کرد که $FADH_2$ یک مولکول **ناقل الکترون‌های** پرانرژی و پروتون‌ها می‌باشـد که وارد زنجیـرهٔ انتقال الکترون در تنفس **هوازی** شـده تا در غشـای درونـی راکیزه ضمن دوباره‌سـازی FAD، سـبب تولیـد ATP در کانـال آنزیمی ATPساز در سمت بستره راکیزه می‌شود.



کلی نکات مهم برای بررسی تست‌ها

۱) اگر NAD^+ و FAD در پایان انواع تنفس یاخته‌ای، دوباره‌سازی نشوند، پس از مدتی با فقدان یا کاهش این مواد، ادامه واکنش‌های تنفس یاخته‌ای بعدی با مشـکل روبه‌رو می‌شـود و ATPسـازی در بدن کم می‌شـود تا جاندار به سمت نابودی برود. (*خلاصه در سیستم‌های زیستی، همه‌چیز دوطرفه آگه باشه، داستان زندگی هم خوب پیش می‌ره!!*)

۲) لازم به یادآوری است، همان‌طور که در شیمی خوانده‌اید، در واکنش‌های شیمیایی، هر ماده‌ای که الکترون بگیرد، کاهش یافته است یا احیا شده است (*مثل* NAD^+ و FAD) و هر ماده‌ای که اکسیژن بگیرد یا الکترون از دست بدهد را افزایش یافته یا اکسایش یافته می‌گویند (*مثل* NADH *در تبدیل به* NAD^+ *یا* $FADH_2$ *در تبدیل شدن به* FAD).

۳) گیرنده‌های الکترونی مختلف پس از کسب الکترون، کاهش می‌یابند ولی ناقلین الکترون، با از دست دادن الکترون‌ها، اکسایش می‌یابند.

۴) کربوهیدرات‌ها یا قندها، مولکول‌هایی دارای کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند که مونوساکاریدهای آن و به خصوص **گلوکز** به عنوان **منبع اصلی** سوخت بدن جانداران می‌باشد. گلوکز مانند هر کربوهیدرات دیگری دارای پیوندهای کربن - هیدروژن پرانرژی می‌باشد که در هنگام تنفس یاخته‌ای نقش انرژی‌زایی بسیار مهمی دارند.

از مونوساکاریدهای دیگر می‌توان به فروکتوز و گالاکتوز اشاره کرد.

۵) از زیست دهم به یاد دارید که دی‌ساکاریدهایی مانند مالتوز (*قند جوانه جو و گندم*)، لاکتوز (*قند شیر*) و ساکارز (*قند و شکر معمولی*) نیز وجود دارند که باید تحت تأثیر آنزیم‌های آزاد شده از **دیواره رودهٔ باریک** (*مثلاً، لاکتاز یا شکراز*) به مونوساکارید تبدیل شوند تا در انرژی‌زایی از آن‌ها استفاده شود.

۶) پلی‌سـاکاریدها یـا نقش **ذخیـرهٔ انرژی** یا **سـاختاری** دارند. برخی مثل **نشاسـته**، قند **ذخیره‌ای** در **گیاهان** می‌باشـد. **گلیکوژن**، قند **ذخیـره‌ای** در یاخته‌های **کبد و ماهیچه‌ای جانوران** است. پلی‌ساکاریدهای ساختاری مثل **سلولز یا کیتین** نیز وجود دارند که سلولز در ساختار دیوارهٔ یاخته‌ای و کیتین در دیوارهٔ قارچ‌ها و اسکلت خارجی حشرات وجود دارند.

۷) مونوساکاریدها با اتصال به هم و از طریق پیوند کووالانسی (*اشتراکی*) سبب تولید دی‌ساکارید و پلی‌ساکارید با واکنش‌های سنتز آبدهی می‌شوند (*ریـت دهم*) ولی در واکنش‌های مورد نیاز برای تأمین انرژی، ابتدا با هیدرولیز، مونوساکاریدهایی مثل گلوکز ایجاد می‌شوند و سپس در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای با تجزیه یا اکسایش گلوکز، مقداری ATP حاصل می‌شود.

تست ۱ شکستن پیوند میان دو مولکول گلوکز و شکستن پیوندهای موجود در یک مولکول گلوکز به ترتیب در ..... یک فرد سالم انجام می‌گیرد.

۱) روده و تمام یاخته‌های فعال ۲) روده و منحصراً در کبد ۳) کبد و منحصراً در رودهٔ ۴) تمام یاخته‌ها و منحصراً در رودهٔ

پاسخ ۱ **نکته:** هیدرولیز مالتوز یا نشاسته که پیوند بین گلوکزها را می‌شکند در روده توسط آنزیم‌های هیدرولاز صورت می‌گیرد ولی شکستن خود گلوکز طی تنفس یاخته‌ای در همهٔ یاخته‌های زندهٔ بدن صورت می‌گیرد.

زیستن با اکسیژن

بررسی واکنش‌های تنفس یاخته‌ای هوازی (واکنش‌های محتاج O_2)

با اینکه چند بار در قسـمت‌های قبل گفتم که هر نوع تنفس یاخته‌ای چه با مصرف اکسـیژن و چه بدون مصرف اکسـیژن، **مرحلهٔ اول** آن به نام قندکافت و به صـورت بی‌هـوازی یعنی بدون نیاز به اکسـیژن صورت می‌گیرد ولی در اغلب موارد واژه تنفس یاخته‌ای را بـرای تنفس هوازی به کار می‌برند. **از اینجا تا آخر این گفتار نیز ما به بررسی تنفس یاخته‌ای همراه با مصرف اکسیژن یعنی تنفس یاخته‌ای هوازی می‌پردازیم.**

مراحل تنفس یاخته‌ای

تنفس یاخته‌ای هوازی دو مرحله دارد که مرحلهٔ اول آن قندکافت (گلیکولیز) به معنی **تجزیهٔ گلوکز** می‌باشد. واکنش‌های این مرحله نیازی به اکسیژن ندارند ولی مرحلهٔ دوم تنفس که در راکیزه یوکاریوت‌ها صورت می‌گیرد و بخش هوازی این تنفس می‌باشد، وابسته به حضور اکسیژن و برای تولید ATP بیشتر می‌باشد.

قندکافت (گلیکولیز)

قندکافت به معنی تجزیهٔ گلوکز، اولین مرحلهٔ هر نوع تنفس یاخته‌ای می‌باشد. این مرحله نیازی به O_2 ندارد و در **همهٔ جانداران** و **هر نوع تنفس یاخته‌ای**، درون **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** در چهار مرحله به صورت زنجیره‌وار انجام می‌گیرد. طی واکنش‌های قندکافت، گلوکز تجزیه شده و در نهایت دو مولکول سه کربنه به نام **پیرووات** (یون اسید پیروویک)، **دو مولکول ATP** و **دو مولکول** $NADH, H^+$ تولید می‌شود. تمام چهار مرحلهٔ این واکنش‌ها در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌های **هوازی و بی‌هوازی** صورت می‌گیرد. این واکنش‌ها نشان می‌دهند که **هر یاخته‌ای، بدون استفاده از اکسیژن نیز می‌تواند ضمن تجزیهٔ گلوکز، مقدار کمی ATP در سطح پیش‌ماده بسازد.**

● بررسی مرحله به مرحلهٔ واکنش‌های قندکافت

مرحلهٔ اول (فسفاته شدن گلوکز)

همان‌طور که در فصل اول گفتیم، هر واکنشی برای شروع، نیاز به **انرژی فعال‌سازی** دارد. در قندکافت نیز برای تجزیهٔ گلوکز و بالا بردن سطح انرژی آن، نیاز به تجزیهٔ دو مولکول ATP می‌باشد. در حقیقت این دو مولکول ATP با هیدرولیز شدن و تبدیل شدن به ADP، دو مولکول فسفات به همراه مقدار زیادی انرژی به گلوکز می‌دهند و آن را به **قند فروکتوز دو فسفاته** یا قند فسفاته شده تبدیل می‌کنند. این ماده **بسیار پرانرژی و ناپایدار** می‌باشد و در حقیقت **پرانرژی‌ترین ماده واکنش‌های تنفس یاخته‌ای** می‌باشد.

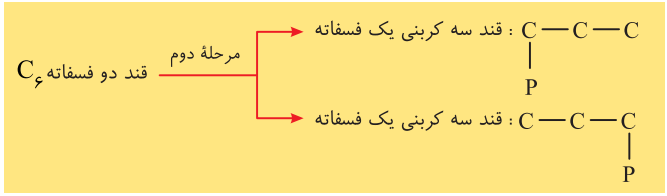
$$C_6 \text{ (گلوکز)} + 2ATP \rightarrow C_6 \text{قند شش کربنه فسفاته شده} + 2ADP$$

نکته

مرحلهٔ اول قندکافت تنها مرحلهٔ **انرژی‌خواه** واکنش‌های تنفس یاخته‌ای می‌باشد.

مرحلهٔ دوم (تجزیهٔ قند شش کربنی دو فسفاته به دو مولکول قندی سه کربنه یک فسفاته)

در این مرحله قند فسفاته شده پرانرژی که مولکولی **ناپایدار** است، از وسط نصف می‌شود و به دو مولکول **قندی** سه کربنه یک فسفاته تبدیل می‌شود که طی این عمل مقداری الکترون و پروتون در اثر شکستن پیوند آزاد می‌شود.



مرحلهٔ سوم (فسفاته شدن قندهای سه کربنه)

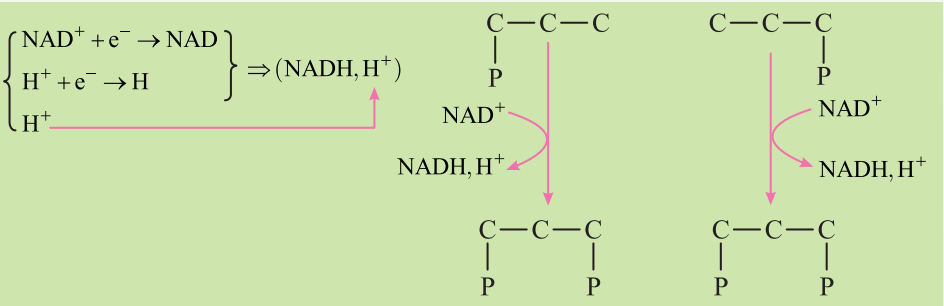
در این مرحله هر مولکول قند سه کربنه یک فسفاته، بدون اینکه ATPای تجزیه شود، از **فسفات‌های معدنی ذخیره‌ای یاخته**، یک گروه فسفات دیگر می‌گیرند و به مولکول اسید سه کربنه دو فسفاته تبدیل می‌شوند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) با اینکه در شکل کتاب عنوان شده است ولی در این مرحله دو مولکول NAD^+، الکترون و پروتون‌های آزاد شده از مرحلهٔ قبلی را جمع می‌کنند و دو مولکول NADH و دو H^+ نیز تولید می‌شود. (مرحلهٔ تولید NADHها در کتاب درسی به‌طور دقیق در شکل کتاب عنوان شده است و از شما نیز سؤال می‌شود. پس باید بدانید که در قندکافت $NADH, H^+$ ایجاد می‌شود.)

۲) NAD^+ اولین مولکول الکترون گیرنده در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای می‌باشد.

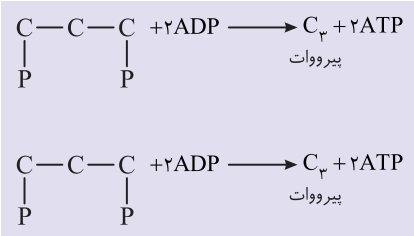
۳) برای خنثی کردن NAD^+، ابتدا یک الکترون به کار می‌رود و سپس یک H^+ به یک الکترون متصل شده و به صورت اتم هیدروژن به NAD متصل می‌شود تا NADH شود. همواره به همراه NADH یک H^+ نیز منتقل می‌شود $(NADH, H^+)$.



۴) در قندکافت، طی مراحل اول و سوم، عمل فسفاته شدن قند صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ اول، فسفات‌های لازم از هیدرولیز ATP به دست می‌آید ولی در مرحلهٔ سوم، فسفات‌های لازم از گروه‌های فسفات معدنی به دست می‌آید.

مرحلهٔ چهارم (آخر) (تولید پیرووات و انرژی‌زایی با تولید ۴ATP)

در ایـن مرحلـه طی واکنش‌هـای آنزیمی، گروه‌های فسـفات از مولکول‌های اسـید سـه کربنه دو فسفاته جدا شده و به مولکول‌های ADP متصل می‌شوند. سپس در ادامه طی واکنش‌های **سـنتز آبدهی**، چهار مولکول ATP در **سـطح پیش‌ماده** به همراه دو مولکول سـه کربنه پیرووات (بنیان پیروویک اسید) تولید می‌شود.



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) قندکافت واکنش‌هایی برای اکسایش گلوکز می‌باشد. بازده قندکافت به ازای اکسایش یک مولکول گلوکز، محصولاتی شامل دو پیرووات ($۲C_۳$)، **دو مولکول ATP** و دو مولکول $NADH, H^+$ می‌باشد. البته دقت کنید که در مرحلهٔ چهارم قندکافت، همراه تولید دو مولکول پیرووات، چهار مولکول ATP ایجاد می‌شود ولی چون در مرحلهٔ اول دو مولکول ATP مصرف شده بود، بازده تجزیهٔ گلوکز در کل مرحلهٔ قندکافت، **فقط دو مولکول ATP** می‌باشد که در همهٔ جانداران هوازی و بی‌هوازی ایجاد می‌شود.

۲) در واکنش‌های قندکافت، **مولکول اکسیژن و $CO_۲$، نه تولید می‌شوند و نه مصرف می‌شوند** ولی مولکول‌های ATP و ADP، هم تولید و هم مصرف می‌شوند. (قندکافت مستقل از $O_۲$ و $CO_۲$ انجام می‌شود.)

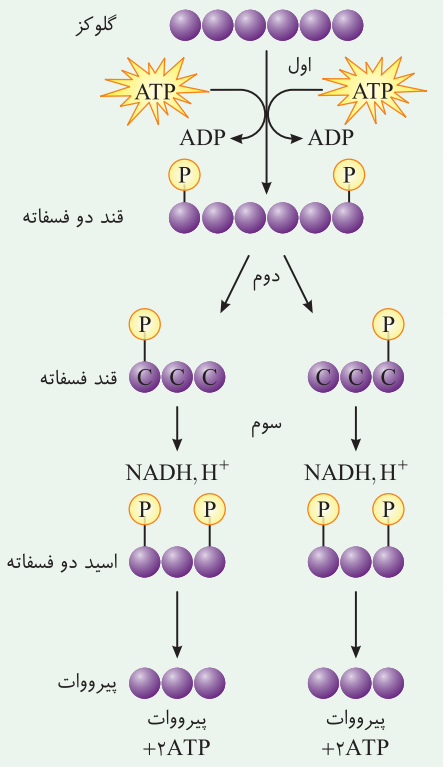
۳) مرحلهٔ اول قندکافت **انرژی‌خواه** می‌باشد که طی آن گلوکز به قند شش کربنه فسفاته تبدیل می‌شود ولی مرحلهٔ آخر آن **انرژی‌زا** بوده که همراه با تولید ATP در سطح پیش‌ماده بوده و طی آن از مولکول‌های سه کربنه دو فسفاته، مولکول سه کربنه پیرووات ایجاد می‌شود.

۴) در واکنش‌های قندکافتی، گلوکز اکسایش یافته و NAD^+، کاهش یافته است یعنی گلوکز الکترون‌دهی و NAD^+ الکترون‌گیری کرده است.

● پیش‌ماده‌ها و محصولات هر مرحلهٔ قندکافت

خلاصه واکنش قندکافت:

$$C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۲NAD^+ + ۲ADP + ۲P \rightarrow \underset{\text{پیرووات}}{۲C_۳} + ۲NADH, H^+ + ۲ATP$$

مراحل قندکافت	پیش‌ماده‌ها	محصولات	شکل
اول	گلوکز +۲ATP	قند فروکتوز دو فسفاته +۲ADP	
دوم	قند فروکتوز دو فسفاته	دو تا قند سه کربنه یک فسفاته	
سوم	دو تا قند سه کربنه یک فسفاته دو مولکول فسفات آزاد + $۲NAD^+$	دو مولکول اسید سه کربنه دو فسفاته + $۲NADH, ۲H^+$	
چهارم	دو تا مولکول اسید سه کربنه دو فسفاته چهار تا ADP	دو تا پیرووات سه کربنه بدون فسفات چهار تا ATP (در سطح پیش‌ماده)	

تست ۲ **در مرحلهٔ انرژی‌خواه قندکافت، کدام واکنش زیر صورت می‌گیرد؟**

۱) تبدیل دو نوع قند شش کربنه به همدیگر
۲) سنتز آبدهی نوعی مادهٔ نوکلئوتیدی
۳) تبدیل ترکیب سه کربنه دو فسفاته به پیروووات
۴) تبدیل قند سه کربنه به ترکیب سه کربنی دو فسفاته

پاسخ ۱ مرحلهٔ اول قندکافت تنها مرحلهٔ **انرژی‌خواه** تنفس یاخته‌ای است که در طی آن برای تجزیهٔ گلوکز، ابتدا دو تا ATP مصرف شده و انرژی آن صرف تولید قند شش کربنه دو فسفاته می‌شود. در مرحلهٔ آخر قندکافت، مادهٔ سه کربنه به پیروووات تبدیل می‌شود که انرژی‌زا با تولید چهار ATP می‌باشد. دقت کنید که گزینهٔ (۲) مربوط به تولید ATP و سنتز آبدهی می‌باشد ولی در سؤال مرحلهٔ انرژی‌خواه را مد نظر قرار داده است که تولید ADP از هیدرولیز ATP صورت می‌گیرد.

تست ۳ **در مرحلهٔ آخر قندکافت هر مولکول شروع‌کننده، ابتدا موجب ساخته شدن ..... مولکول ..... می‌گردد.**

۱) یک - ATP
۲) دو - ATP
۳) یک - $NADH , H^+$
۴) دو - $NADH , H^+$

پاسخ ۲ مرحلهٔ آخر قندکافت دو واکنش دارد، یکی تولید ATP در سطح پیش‌ماده و دیگری تولید پیروووات از ماده سه کربنی دو فسفاته! هر ماده شروع‌کننده این مرحله در حقیقت یک ترکیب سه کربنی دو فسفاته می‌باشد که طی تبدیل به پیروووات، دو مولکول ATP از آن ایجاد می‌شود.

تست ۴ **در مورد پیش‌ماده‌ای که تأمین‌کنندهٔ فسفات برای تولید ATP در قندکافت می‌باشد، چند مورد زیر نادرست می‌باشد؟**

الف) از تجزیهٔ یک قند شش کربنی حاصل شده است.
ب) در اثر فسفاته شدن یک قند ایجاد شده است.
ج) حاوی دو فسفات است که فقط یکی از آن‌ها از نوعی نوکلئوتید تأمین شده است.
د) هرکدام آن در تولید دو مولکول ATP اکسایشی نقش دارد.

۱) ۲ مورد
۲) ۳ مورد
۳) ۱ مورد
۴) ۴ مورد

پاسخ ۱ موارد (الف) و (د) نادرست می‌باشند.
منظور این سؤال ترکیب سه کربنی دو فسفاته می‌باشد که در مرحلهٔ آخر قندکافت به عنوان یک پیش‌ماده فسفات‌دار سبب تولید دو مولکول ATP از هر مولکول آن می‌شود.

تله‌های تستی الف) نادرست است. از تجزیه قند شش کربنی دو فسفاته، ابتدا قندهای سه کربنی یک فسفاته ایجاد می‌شوند و در مرحلهٔ بعد به ماده مورد نظر یعنی ترکیب سه کربنی دو فسفاته تبدیل می‌شود. / ب) درست است. در مرحلهٔ سوم قندکافت، قند سه کربنی یک فسفاته با گرفتن یک فسفات به ترکیب دو فسفاته مورد نظر تبدیل می‌شود. / ج) درست است. در ترکیب سه کربنی دو فسفاته، یک فسفات در مرحلهٔ اول قندکافت از ATP گرفته است و یک فسفات را نیز از منابع فسفاتی آزاد درون یاخته دارد. / د) نادرست است. ATPهای تولید شده در قندکافت از نوع پیش‌ماده‌ای می‌باشد.

تست ۵ **هر مولکول کربن‌دار اصلی شروع‌کننده واکنش‌های مراحل مختلف قندکافت، اگر ..... باشند، قطعاً .....**

۱) فاقد گروه فسفات - به دو مادهٔ سه کربنی تبدیل می‌شود.
۲) حاوی دو گروه فسفات - به نوعی مولکول سه کربنه تبدیل می‌شوند.
۳) فقط حاوی یک گروه فسفات - با تولید ATP به پیروووات تبدیل می‌شوند.
۴) فسفاته شده - همراه با تولید ADP ایجاد شده‌اند.

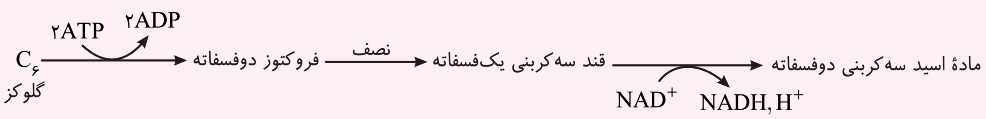
پاسخ ۲ در مسیر قندکافت دو ماده حاوی **دو گروه فسفات** وجود دارد. یکی قند شش کربنه دو فسفاته و دیگری ترکیب سه کربنی دو فسفاته می‌باشد. قند شش کربنی دو فسفاته در مرحلهٔ دوم قندکافت از وسط نصف شده تا به قند سه کربنی تبدیل شود و ترکیب سه کربنی دو فسفاته نیز در مرحلهٔ آخر قندکافت به ماده سه کربنی پیروووات تبدیل می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): گلوکز اولیه تنها مولکول شروع‌کنندهٔ مراحل قندکافت می‌باشد که فاقد گروه فسفات است. طی قندکافت، گلوکز به قند دوفسفاته تبدیل می‌شود. / گزینهٔ (۳): در مراحل قندکافت، قند سه کربنی یک فسفاته با گرفتن یک فسفات دیگر به ترکیب سه کربنی دو فسفاته تبدیل می‌شود و سپس در مرحلهٔ بعدی ATP و پیروووات ایجاد می‌شود. / گزینهٔ (۴): فقط ماده شش کربنی مرحلهٔ اول در اثر تجزیه ATP، فسفاته شده است ولی در مرحلهٔ سوم فسفاته شدن از گروه‌های فسفات آزاد استفاده می‌کند.

تست ۶ **در هر یاختهٔ ماهیچه‌ای انسان، طی اولین مرحلهٔ تنفس یاخته‌ای، به هنگام مصرف یک مولکول گلوکز و به منظور تولید هر ترکیب سه‌کربنی غیرقندی دوفسفاته به ترتیب از راست به چپ کدام تولید و مصرف می‌شود؟**

۱) $۱NADH , ۲ADP$
۲) $۲NAD^+ , ۲ADP$
۳) $۲ATP , ۱NADH$
۴) $۲NAD^+ , ۲ATP$

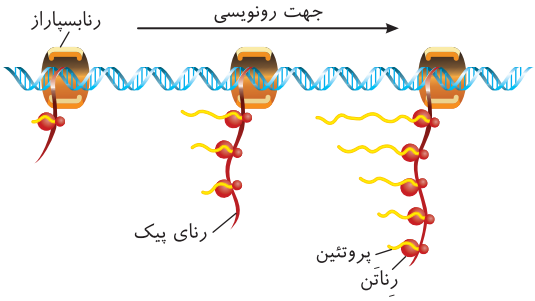
پاسخ ۳ در این تست دقت کنید که بخشی از قندکافت مدنظر بوده است که از گلوکز تا تشکیل یک مولکول اسید سه‌کربنی دوفسفاته می‌باشد. طی این قسمت‌ها دو ATP و یک NAD^+ مصرف می‌شود و دو مولکول ADP و یک NADH به همراه یک پروتون (H^+) ایجاد می‌شود.



دقت کنید که فقط تولید **یک** مادهٔ سه‌کربنی دوفسفاته را خواسته است.

ساختمان راکیزه (میتوکندری)

راکیزه اندامکی دوغشایی در یوکاریوت‌ها می‌باشد که مسئول تبدیل نوعی انرژی شـیمیایی به نوع دیگر (*از گلوکز به* ATP) می‌باشـد. در این اندامک واکنش‌های **هوازی** یا محتاج به اکسـیژن تنفس یاخته‌ای صـورت می‌گیرند و انرژی موجود در پیوند درون مواد غذایی در ATP ذخیره می‌شـود. در طی تکامل منشـأ این اندامک از باکتری‌های هوازی بوده اسـت، به همین دلیل همانند آن‌ها، DNA حلقوی بدون نوکلئوزوم و فشـردگی، **رناتن‌های مخصوص** و تقسـیم دوتا شـدن دارد. قسـمت‌های مختلـف راکیزه به همراه برخی فعالیت‌هـای آن را در ادامه مشاهده می‌کنید.



«طرحی ساده از رناتن‌هایی که چند رنای در حال رونویسی را ترجمه می‌کنند.»

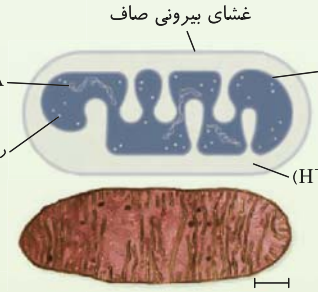
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ تقسـیم راکیزه در درون یاخته همانند باکتری‌ها به صورت دو تا شـدن می‌باشـد. در این نوع تقسیم، چرخه میتوزی وجود ندارد و تکثیر این اندامک همانند سبزدیسه می‌تواند همراه با تقسیم هسته و یا مستقل از آن صورت گیرد. (*البته بیشترین مقدار تکثیر راکیزه‌ها و سبزدیسه‌ها در مرحلهٔ G_2 از اینترفاز می‌تواند صورت بگیرد.*)

۲ درون راکیـزه و سبزدیسـه نیـز همانند پروکاریوت‌ها، می‌توان انجام هم‌زمان فرایند رونویسـی بـرای تولید mRNA و ترجمه برای تولید پروتئین را توسـط ریبوزوم‌های متعددی مشاهده کرد.

۳ اجزای راکیزه:

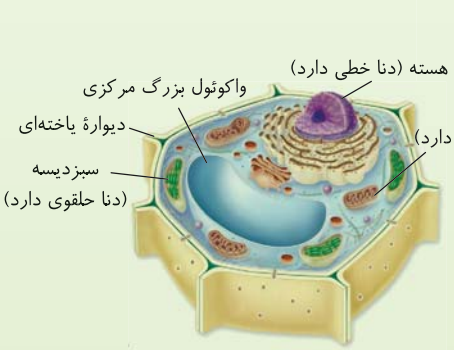
- دو غشا دارد
  - غشای خارجی آن صاف می‌باشد ← از خارج به مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و از داخل با فضای بین دو غشای راکیزه در تماس می‌باشد.
  - غشای داخلی به سمت **درون** اندامک چین خوردگی دارد
    - محل قرارگیری آنزیم‌های تولید استیل کوآنزیم A از پیرووات می‌باشد.
    - محل زنجیره‌های انتقال الکترون و کانال ATPساز می‌باشد.
- فضاهای درون راکیزه
  - بخش بیرونی
    - فضای بین دو غشای راکیزه می‌باشد.
    - مملو از H^+ بوده و شیب غلظت H^+ به سمت بخش درونی دارد.
  - بخش داخلی
    - محاصره شده توسط غشای درونی راکیزه می‌باشد.
    - محل واکنش‌های **هوازی** تنفس یاخته‌ای می‌باشد.
    - حاوی DNA حلقوی بدون نوکلئوزوم، هیستون و فشردگی می‌باشد.
    - رناتن مخصوص به خود با عمل ترجمه یا پروتئین‌سازی دارد.
    - **انواعی** از پروتئین‌های تنفس یاخته‌ای توسط ژنوم راکیزه رهبری می‌شوند.
    - راکیزه هم همراه یاخته و هم مستقل از آن، برحسب نیاز یاخته تقسیم دو تا شدن انجام می‌دهد. (*برحسب نیاز یاخته در هر زمان می‌تواند تقسیم شود.*)



«راکیزه و ترسیمی از آن»
(اندازهٔ آن بیش از ۰/۲ میکرومتر است)

۴ پروتئین‌ها و آنزیم‌های مورد نیاز تنفس یاخته‌ای، از روی تعدادی **ژن‌های** مختلف ساخته می‌شوند. مقداری از آن‌ها در ژنوم خطی هسته واقعند و در ریبوزوم‌های **سیتوپلاسمی** ترجمه می‌شوند ولی برخی نیز وابسته به ژن‌ها و ساخته شدن در ریبوزوم‌های راکیزه می‌باشند.

۵ رمـز تعـدادی از ژن‌هـای مـورد نیـاز بـرای تنفس یاختـه‌ای و محصـولات پروتئینی آن‌ها در ژنـوم حلقوی راکیزه وجود دارد و رنای آن‌هـا نیز درون راکیزه رونویسـی می‌شـوند. ژن‌های مـورد نیاز برای همانندسـازی، رونویسـی و ترجمهٔ مقداری از عوامل تنفس یاخته‌ای نیز توسط ژنوم خطی هسته رمزگردانی می‌شود.



«راکیزه در یاختهٔ گیاهی»

تست ۷ چند مورد زیر دربارهٔ ساختار و اعمال راکیزه‌ها نادرست می‌باشد؟

الف) پروتئین‌های مورد نیاز این اندامک توسط ژنوم خطی و حلقوی رمزگردانی می‌شود.

ب) این اندامک، دارای DNA مستقل از هسته و ریبوزوم مخصوص خود می‌باشد.

ج) میتوز راکیزه‌ها، مستقل از چرخه یاخته‌ای بوده ولی می‌تواند هم‌زمان با آن نیز رخ دهد.

۱) ۲ مورد ۲) ۱ مورد ۳) صفر مورد ۴) ۳ مورد

پاسخ ۲ فقط مورد (ج) نادرست می‌باشد.

ته‌های تستی الف) درست است. ژن ساخت برخی پروتئین‌هایی که در تنفس یاخته‌ای به کار می‌روند، در دنای حلقوی راکیزه وجود دارد و در رناتن خاص این اندامک ترجمه می‌شوند ولی برخی دیگر از پروتئین‌های مورد نیاز فعالیت‌های راکیزه توسط DNA خطی هسته و ریبوزوم‌های سیتوپلاسمی تولید می‌شوند. / ب) درست است. راکیزه‌ها دارای یک DNA حلقوی مستقل از ژنوم خطی هسته می‌باشند و رناتن‌های مخصوص به خود دارند. / ج) نادرست است. میتوز ویژه هسته یاخته‌های یوکاریوتی می‌باشد و این نوع تقسیم را نمی‌توانیم برای تقسیم دو تا شدن که برای پروکاریوت‌ها، راکیزه یا سبزدیسه‌ها کاربرد دارد، استفاده کنیم.

نکته: راکیزه‌ها و سبزدیسه‌ها، هم همراه با یاخته و هم مستقل از یاخته تقسیم می‌شوند.

ادامه تنفس یاخته‌ای بعد از واکنش‌های قندکافت

همان‌طور که بارها گفتیم در همهٔ جانداران و هر نوع تنفس یاخته‌ای، مرحلهٔ قندکافت اتفاق می‌افتد و بدون نیاز به اکسیژن، مقدار کمی ATP (دو عدد) ایجاد می‌شود. **پس از قندکافت، ادامه تنفس، بستگی به نوع یاخته و مقدار اکسیژن محیط دارد.** اگر مقدار O_2 محیط کافی باشد و یاخته مورد نظر نیز **توانایی تنفس هوازی** را داشته باشد، پیروواتها با **انتقال فعال** و در حضور O_2 کافی از **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** وارد **راکیزه** یوکاریوت‌ها می‌شوند. در این صورت ادامه واکنش‌ها به صورت هوازی و از اینجا به بعد به عنوان **اکسایش پیروواتها** معرفی می‌شوند **تا ATP بیشتری تولید کنند** که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

نکته

اگر مقدار O_2 محیط کافی نباشد یا یاخته قدرت تنفس هوازی نداشته باشد (مثل گویچهٔ قرمز بالغ که راکیزه ندارد یا پروکاریوت‌های بی‌هوازی گوگردی) در این صورت ادامهٔ تنفس یاخته‌ای در همان مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم به صورت **تخمیر** ادامه می‌یابد که در این صورت ATP بیشتری تولید نمی‌شود (گفتار سوم).

بررسی مراحل بخش هوازی تنفس یاخته‌ای

در صورت وجود O_2 کافی و دارا بودن عوامل مورد نیاز برای تنفس هوازی در یاخته، پیروواتهای حاصل از قندکافت با مکانیسم **انتقال فعال** (با صرف انرژی) از مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم وارد راکیزه می‌شوند. در راکیزه اکسایش پیروواتها تا مرحلهٔ نهایی تنفس به ترتیب طی سه مرحله به نام‌های اکسایش پیروات (تولید استیل کوآنزیم A)، اکسایش استیل‌ها (چرخه‌های کربس) و زنجیرهٔ انتقال الکترون انجام می‌شود تا سبب تولید ATP بیشتری شوند که در ادامه به ترتیب آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

● اکسایش پیروات تا تولید استیل کوآنزیم A

واکنش‌های این مرحله در یوکاریوت‌ها توسط **مجموعه آنزیم‌هایی** انجام می‌شوند. طی این مرحله از هر مولکول پیروات یک مولکول CO_2 آزاد می‌شود که حاصل این کار تولید بنیان استیل به همراه دو عدد الکترون و دو عدد پروتون (H^+) می‌باشد. این الکترون و پروتون‌ها را گیرنده‌ای به نام NAD^+ جمع کرده و به صورت ناقل الکترونی $NADH, H^+$ درمی‌آیند. سپس بنیان استیل به عامل کمک‌کننده آنزیمی به نام کوآنزیم A متصل می‌شود تا به مولکول استیل کوآنزیم A (استیل CoA) تبدیل شود.

فرمول کلی اکسایش هر پیروات (C_3): $C_3 + CoA + NAD^+ \rightarrow \underbrace{C_2 - CoA}_{\text{استیل CoA}} + CO_2 + NADH + H^+$

(پیروات — کوآنزیم A)

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) به دلیل اینکه در ابتدای قندکافت، یک مولکول گلوکز تجزیه شده است و در انتهای قندکافت دو مولکول پیروات ایجاد می‌شود، پس به ازای تجزیهٔ هر گلوکز، واکنش‌های اکسایش پیروات و تولید استیل کوآنزیم A نیز باید دو بار انجام شود.

فرمول کلی این مرحله: $2C_3 + 2CoA + 2NAD^+ \xrightarrow{\text{مجموعه آنزیمی موجود در غشای درونی راکیزه}} \underbrace{2C_2 - CoA}_{\text{استیل کوآنزیم A}} + 2CO_2 + 2NADH, H^+$

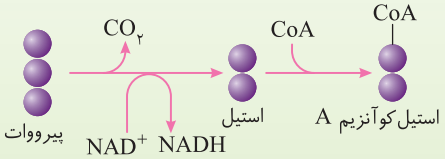
(پیروات)

۲) دقت کنید که برای اکسایش پیروات به استیل کوآنزیم A به یک مجموعهٔ آنزیمی نیاز می‌باشد نه فقط یک آنزیم خاص!

۳) مجموعه آنزیمی که سبب تبدیل پیروات به گروه استیل و تولید استیل کوآنزیم A می‌شود، برای فعالیت خود به ویتامین B_1 (تیامین) محتاج است.

۴) در شکل مقابل ملاحظه می‌کنید که در مرحلهٔ اکسایش پیروات تا تولید استیل کوآنزیم A، ابتدا تولید CO_2 و ایجاد NADH صورت می‌گیرد و سپس استیل حاصل به کوآنزیم A متصل شده که به صورت استیل کوآنزیم A درمی‌آید.

۵) با توجه به شکل کتاب می‌توان متوجه شد که مجموعه آنزیمی مورد نیاز برای اکسایش پیروات در بخش درونی راکیزه قرار دارد و واکنش‌ها و جایگاه فعال آن‌ها نیز در بستره راکیزه انجام می‌شوند.



«اکسایش پیروات و تشکیل استیل کوآنزیم A»

نکتهٔ ترکیبی مهم با زیست دهم

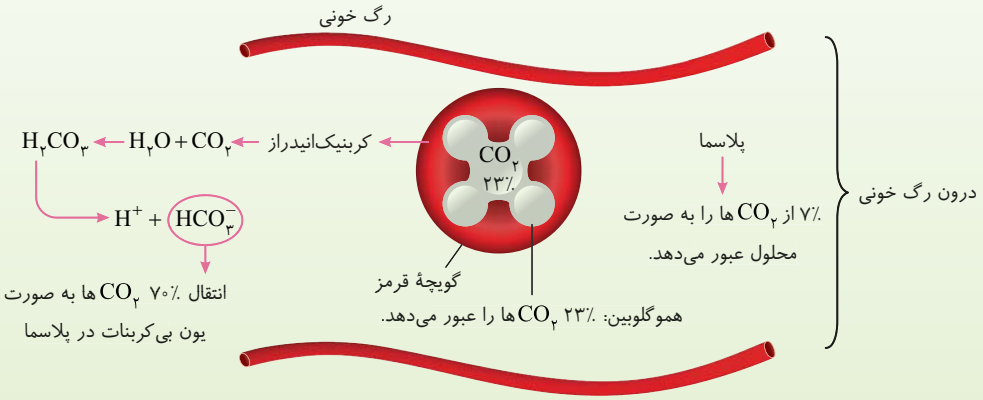
در تنفس یاخته‌ای هوازی، **اولین مرحله‌ای** که **تولید** CO_2 در آن رخ می‌دهد همین مرحلهٔ تبدیل پیرووات به استیل می‌باشد. از زیست دهم به یاد دارید که CO_2های حاصل از تنفس یاخته‌ای باید از دو غشای راکیزه و یک غشای یاخته‌ای عبور کنند و از یاخته وارد محیط داخلی یا آب میان‌بافتی (*آب سیتوپلاسم*) شوند. سپس CO_2ها به دلیل محلول بودن در آب، با سرعت زیاد و انتشار ساده از غشای یاخته‌ها وارد پلاسمای خون شوند. حتماً به خاطر دارید که ۷۰٪ CO_2های ورودی ابتدا در گویچه‌های قرمز خونی به کمک **آنزیمی** به نام **کربنیک‌انیدراز** با آب ترکیب شده و به اسید کربنیک (H_2CO_3) تبدیل می‌شوند. سپس با تجزیه سریع این اسید، **بی‌کربنات و یون هیدروژن** (H^+) ایجاد می‌شود. پس بیشترین مقدار (۷۰٪) CO_2 حاصل از تنفس یاخته‌ای به صورت **یون بی‌کربنات** در خون منتقل می‌شود. مقداری دیگر (۲۳٪) از CO_2های ورودی به خون نیز باز هم وارد گویچهٔ قرمز شده و با هموگلوبین به صورت برگشت‌پذیر ترکیب می‌شوند که به صورت $HbCO_2$ در خون منتقل می‌شوند. باقی‌مانده (۷٪) CO_2های خون، به صورت **محلول در پلاسما** به سمت شش‌ها منتقل می‌شوند. در نهایت همهٔ CO_2ها برای خروج از بدن به سوی شش‌ها رفته تا در مجاورت کیسه‌های هوایی از حالت محلول به صورت گازی تبدیل شوند و با بازدم از مجاری تنفسی خارج شوند.

نکته

گویچه‌های قرمز در انتقال بیش از ۹۰٪ CO_2های خون نقش دارند ولی به‌طور مستقیم ۲۳٪ آن را با هموگلوبین منتقل می‌کند (۷۰٪ آن به کمک عمل آنزیم کربنیک‌انیدراز و یون بی‌کربنات می‌باشد و ۲۳٪ نیز توسط هموگلوبین در درون این یاخته‌ها منتقل می‌شود).

نکته

۲۳٪ انتقال CO_2 توسط هماتوکریت (*حجم یاخته‌های خونی*) و به صورت ترکیب با هموگلوبین صورت می‌گیرد و ۷۷٪ دیگر توسط پلاسما منتقل می‌شود (۷۰٪ یون بی‌کربنات و ۷٪ محلول در پلاسما).



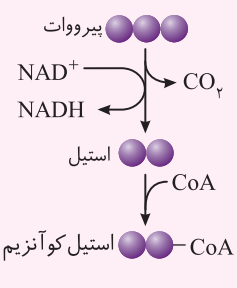
«راه‌های انتقال CO_2 در رگ خونی»

تست ۸ در مرحله‌ای از اکسایش پیرووات که فقط تا تولید مادهٔ دو کربنه حاوی مادهٔ آلی کمک‌کننده به آنزیم صورت می‌گیرد، چند مورد زیر هم‌زمان با هم اتفاق نمی‌افتد؟

الف) تولید CO_2 و NADH
ب) تولید استیل و NADH
ج) مصرف کوآنزیم A و تولید CO_2
د) مصرف NAD^+ و اتصال کوآنزیم A به گروه استیل

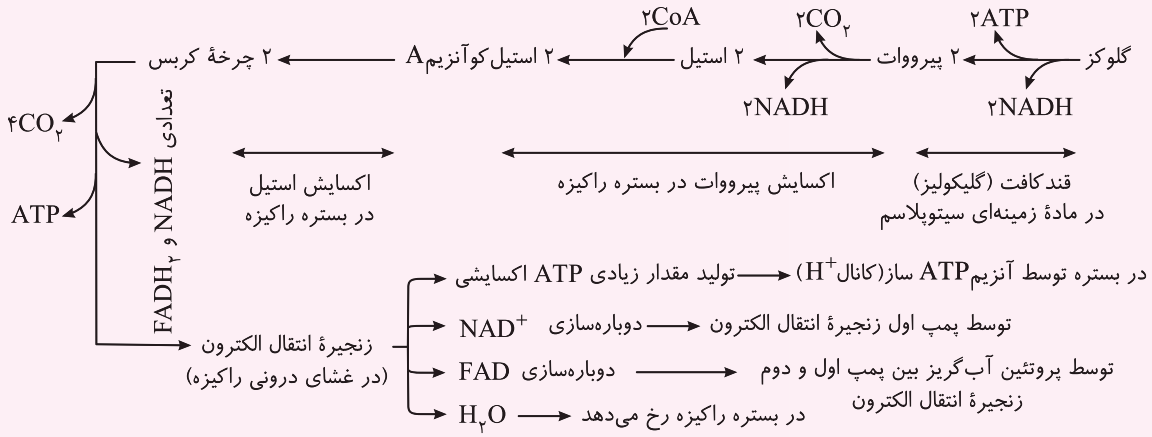
۱) ۲ مورد ۲) ۳ مورد ۳) ۱ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۱ موارد (ج) و (د) هم‌زمان رخ نمی‌دهند. اکسایش پیرووات درون راکیزه، ابتدا توسط آنزیم‌های موجود در راکیزه صورت می‌گیرد تا در بستره سبب تولید استیل کوآنزیم A شود. واکنش تبدیل پیرووات به استیل کوآنزیم A نیز دارای دو مرحله یا بخش می‌باشد که در مرحلهٔ اول هر پیرووات با از دست دادن یک CO_2 و تولید یک $NADH, H^+$ به بنیان استیل تبدیل می‌شود (C_3 پیرووات $+ NAD^+ \rightarrow C_2$ استیل $+ NADH, H^+ + CO_2$). در مرحلهٔ بعد گروه استیل به کوآنزیم A می‌پیوندد و استیل کوآنزیم A می‌سازد (C_2 استیل $+ CoA \rightarrow C_2CoA$).



تله‌های تستی الف) درست است. تولید CO_2 و NADH در مرحلهٔ تبدیل پیرووات به استیل اتفاق می‌افتد. / ب) درست است. تولید بنیان استیل، NADH و CO_2 هم‌زمان در مرحلهٔ تبدیل پیرووات به استیل رخ می‌دهد. / ج) نادرست است. مصرف CoA در مرحلهٔ دوم ولی تولید CO_2 در مرحلهٔ اول اکسایش پیرووات رخ می‌دهد. / د) نادرست است. مصرف NAD^+ در مرحلهٔ اول ولی اتصال CoA به استیل در مرحلهٔ دوم رخ می‌دهد.

تنفس هوازی در یک نگاه:



گفتار ۲

اکسایش استیل تا تولید ATPهای بیشتر

اکسایش گروه استیل در چرخهٔ کربس

خلاصه مراحل قبلی: تا اینجای تنفس یاخته‌ای، آموختیم که از **اکسایش گلوکز**، در مرحلهٔ قندکافت، دو مولکول پیروات حاصل می‌شود و سپس درون راکیزه، با **اکسایش پیروات‌ها**، دو مولکول استیل‌کوآنزیم A ایجاد می‌شود. طی این دو واکنش از یک مولکول گلوکز، دو مولکول استیل کوآنزیم A، دو مولکول ATP در سطح پیش‌ماده‌ای، دو مولکول CO_2 و مقداری NADH (*چهار عدد*) تشکیل شده است.

نکته

ماده‌ای که به‌طور مشترک در قندکافت و تولید استیل از پیروات ایجاد می‌شود، **مولکول NADH** می‌باشد.

از اینجا به بعد باید گروه‌های **استیل**، دچار اکسایش شوند و با شکستن پیوندهای کربن - هیدروژن آن‌ها به تولید مقداری دیگر مولکول مثل ATP، CO_2 و... بپردازند. **عمل اکسایش گروه استیل در مولکول استیل‌کوآنزیم A در بخش داخلی یا همان بستره راکیزه صورت می‌گیرد.** اولین‌بار هانس آدولف کربس، محقق آلمانی موفق به پیدایش **مراحل چرخه‌ای** اکسایش پیروات در بستره یا بخش درونی راکیزه شد. وی متوجه شد که واکنش‌های **اکسایش گروه استیل** به صورت زنجیره‌ای نمی‌باشد، بلکه به صورت یک **واکنش چرخه‌ای** (*که بعداً به چرخهٔ کربس مشهور شد*) صورت می‌گیرد. این واکنش‌ها با **یک مولکول چهار کربنی** آغاز می‌شود که این مولکول (*چهار کربنی شروع‌کننده چرخه*) پس از ترکیب شدن با گروه استیل دو کربنی، یک مادهٔ شش کربنی می‌سازد. این مادهٔ شش کربنی طی مراحلی دو مولکول CO_2 آزاد می‌کند. در انتهای چرخهٔ کربس دوباره باید **مولکول چهار کربنی** اولیه تولید شود تا گروه استیل دیگری را بگیرد و اکسایش کند.


هانس آدولف کربس (۱۹۸۱ - ۱۹۰۰)

نکته مهم

در واکنش‌های چرخه‌ای (*مثل چرخهٔ کربس*) برخلاف واکنش‌های زنجیره‌ای (*مثل قندکافت*) مادهٔ اولیه شروع‌کننده چرخه، باید در انتها دوباره‌سازی شود. مثلاً در انتهای قندکافت، گلوکز که شروع‌کننده واکنش بود، دوباره‌سازی نمی‌شود ولی در چرخهٔ کربس، مادهٔ چهار کربنی اولیه که با گروه استیل ترکیب می‌شود باید در انتهای واکنش دوباره تولید شود.

بررسی مراحل چرخهٔ کربس (چرخهٔ اکسایش گروه استیل)

● مرحلهٔ اول

این مرحله با یک ترکیب چهار کربنی ذخیره شده در راکیزه آغاز می‌شود. ابتدا استیل کوآنزیم A (*دوکربنی*) با مولکول چهار کربنی فوق ترکیب می‌شود که ضمن این عمل، **کوآنزیم A** جدا شده تا به گروه استیل دیگری در راکیزه متصل شود. در اثر ترکیب استیل و مولکول چهار کربنی، **یک مولکول شش کربنی** تولید می‌شود.

$$\underset{\text{استیل کوآنزیم A}}{C_4 + C_2CoA} \xrightarrow[\text{بستره میتوکندری}]{\text{آنزیم}} \underset{\text{کوآنزیم A}}{C_6 + CoA}$$

● مرحلهٔ دوم

در این مرحله مولکول شش کربنی با از دست دادن **یک** CO_2 و تولید یک $NADH, H^+$ به مادهٔ پنج کربنی تبدیل می‌شود.

$$C_6 + NAD^+ \rightarrow C_5 + CO_2 + NADH, H^+$$

پاسخ‌گویی: کتاب درسی مراحلی که NADH و $FADH_2$ در چرخهٔ کربس تولید می‌شود را دقیقاً مشخص نکرده است و قطعاً از مرحله دقیق آن‌ها نیز از شما سؤالی نه در این کتاب و نه در کنکور پرسیده نمی‌شود. فقط برای درک بهتر مراحل در اینجا آن‌ها را توضیح داده‌ام.

● مرحلهٔ سوم

در این مرحله مولکول پنج کربنه با از دست دادن کربن، سبب آزادسازی **یک مولکول** CO_2 می‌شود و به مولکول چهار کربنه‌ای تبدیل می‌شود. **این مولکول چهار کربنی با مولکول چهار کربنه شروع‌کننده چرخه متفاوت می‌باشد.** (لازم به ذکر است که در این مرحله نیز یک مولکول NADH و البته یک مولکول ATP در سطح پیش‌ماده تولید می‌شود که در کتاب درسی به‌طور واضح ذکر نشده است.)

$$C_5 + ADP + NAD^+ \rightarrow C_4 + CO_2 + ATP + NADH, H^+$$

● مرحلهٔ آخر (چهارم)

در این مرحله طی عمل آنزیم‌هایی در همان بخش درونی یا بستره راکیزه، از مولکول چهار کربنه، طی آزاد شدن تعدادی الکترون و پروتون، مادهٔ چهار کربنی شروع‌کننده چرخه بازسازی می‌شود تا چرخه دوباره تکرار شود. (در این مرحله نیز NADH و $FADH_2$ تولید می‌شود.)

$$C_4 + NAD^+ + FAD \rightarrow \underbrace{C_4}_{\text{شروع‌کننده چرخه}} + NADH + H^+ + FADH_2$$

نکته

طبق خط کتاب درسی، در مرحلهٔ اول چرخهٔ کربس یعنی ترکیب C_4 و گروه استیل، فقط مادهٔ شش کربنی تولید می‌شود ولی از اکسایش این مادهٔ شش کربنی تا رسیدن به مادهٔ چهار کربنی اولیه، در محل‌های متفاوتی از چرخه، مولکول‌های ATP، CO_2، $NADH, H^+$ و $FADH_2$ تولید می‌شود.

نکاتی مفهومی در مورد واکنش‌های چرخهٔ کربس

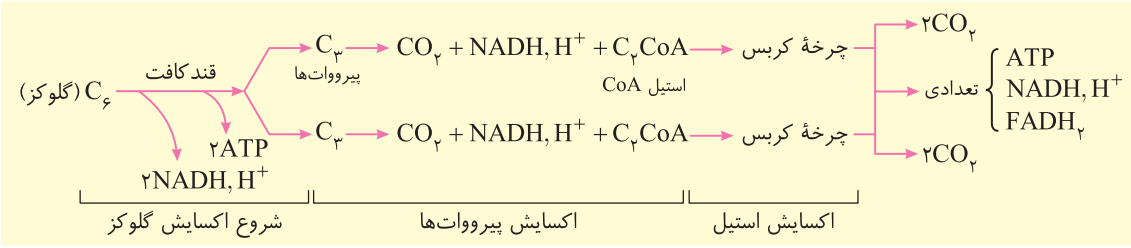
۱) محل انجام این واکنش‌ها در بستره یا بخش درونی راکیزه یعنی منطقه حاوی DNA حلقوی و ریبوزوم خاص این اندامک می‌باشد.

۲) چون از اکسایش هر گلوکز، دو مولکول پیروات و دو مولکول استیل کوآنزیم A حاصل می‌شود، پس مرحلهٔ چرخهٔ کربس نیز به ازای هر گلوکز، دو بار رخ می‌دهد.

۳) طی هر چرخهٔ کربس در نهایت از اکسایش هر گروه استیل، دو مولکول CO_2، مولکول ATP، $FADH_2$ و مقداری NADH در مراحل مختلف چرخهٔ کربس ایجاد می‌شود.

۴) بازده هر چرخهٔ کربس $2CO_2$ می‌باشد که در مراحل دوم و سوم واکنش‌های آن ضمن کاهش تعداد کربن C_6 به C_5 و C_5 به C_4 تولید می‌شود. از آنجایی که دو بار این چرخه در اکسایش هر گلوکز، انجام می‌شود، پس ۴ مولکول از ۶ مولکول CO_2 کل واکنش تنفس هوازی، در این مرحله ایجاد می‌شود. جهت حرکت این CO_2ها نیز به سمت خروج از یاخته و ورود به خون و انتقال به شش‌ها می‌باشد.

۵) واکنش‌های چرخهٔ کربس در حقیقت مسئول **اکسایش مولکول دو کربنی استیل** می‌باشند. در زیر می‌توانید کل واکنش‌های تنفس یاخته‌ای را به‌طور خلاصه از ابتدای قندکافت تا انتهای چرخه‌های کربس مشاهده کنید.

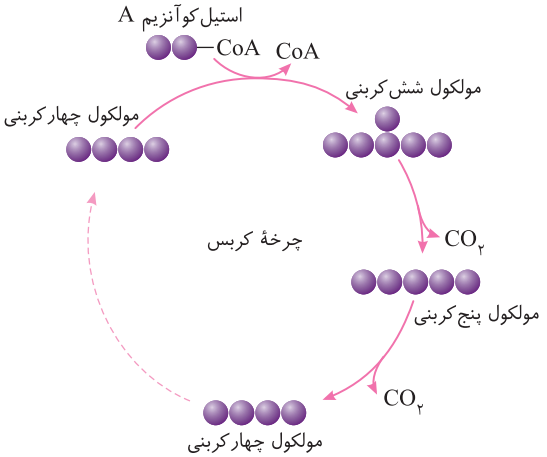


۶) تـا انتهای مرحلهٔ چرخه‌های کربس، هر ۶ مولکول CO_2ای که قرار بود از تجزیهٔ گلوکز در واکنش‌های تنفس هوازی تولید شـوند، به دسـت آمده است ولی تولید همهٔ مولکول‌های آب و مقدار زیادی از ATPهای کل واکنش هنوز انجام نشده است.

۷) همهٔ ATPهای **پیش‌ماده‌ای** که قرار بود در طی تنفس یاخته‌ای هوازی ایجاد شوند **تا انتهای چرخه‌های کربس** تولید شـده‌اند (در قندکافت و چرخه‌های کربس) ولی هنوز هیـچ ATPای از نـوع مرتبط با زنجیرهٔ انتقال الکترونی یا واکنش‌های سـاخته شـدن **ATP اکسایشی** ایجاد نشده‌اند.

۸) از ابتـدای قندکافـت تا انتهای واکنـش چرخه‌های کربس، از هـر مولکول گلوکز، ۶ مولکول CO_2 ایجاد شـده اسـت. انرژی پیوندهای شکسته شـده آن صرف تولید **مقـدار کمـی ATP پیش‌مـاده‌ای** و مقـدار **زیـادی** مولکول‌هـای حامـل الکتـرون به نام NADH و $FADH_2$ شده است.

۹) واکنش‌های چرخه‌ای کربس به صورت روبه‌رو می‌باشـد که در جدولی که در ادامه آن آمده است، مواد تولید شده و مصرف شده هر مرحله را برای شما مشخص کرده‌ایم.



«طرح ساده‌ای از چرخهٔ کربس»

نکته

در جدول زیر قسمت‌هایی که کنار آن‌ها علامت ⚠ خورده است را نیازی ندارید برای کنکور یاد بگیرید و فقط برای اطلاعات عمومی شما گنجانده شده‌اند ولی باید بدانید که در چرخهٔ کربس علاوه بر $2CO_2$، تعدادی NADH، $FADH_2$ و ATP در **محل‌های متفاوتی** یعنی در واکنش‌های متفاوتی از چرخه نیز ایجاد می‌شود. (دقت کنید که محل تولید همهٔ این مواد و واکنش‌های چرخهٔ کربس در بستره راکیزه می‌باشد.)

۱۰) تا انتهای چرخه‌های کربس، مولکول گلوکز تا سر حد مولکول‌های CO_2 تجزیه شده است که انرژی پیوندهای تجزیه شده آن صرف تولید ATP، NADH و $FADH_2$ شده است.

مرحلهٔ چرخهٔ کربس	پیش‌ماده‌ها	محصولات
اول	C_4 شروع‌کننده چرخه + C_2CoA (استیل کوآنزیم A)	ماده C_6 $CoA+C_6$ آزاد شده
دوم	مولکول C_6 ⚠ NAD^+	مولکول C_5 مولکول CO_2 ⚠ $NADH, H^+$
سوم	مولکول C_5 ⚠ NAD^+	مولکول C_4 مولکول CO_2 ⚠ $ATP+NADH, H^+$ ⚠
چهارم	مولکول C_4 ⚠ $NAD^+ + FAD$ ⚠	مولکول C_4 شروع‌کننده چرخه ⚠ $NADH, H^+ + FADH_2$

تست ۹ **کدام‌یک، در مورد مراحل «چرخهٔ کربس» نادرست است؟**

۱) در اولین مرحله، استیل کوآنزیم A با ماده چهار کربنی ترکیب می‌شود و همراه با تشکیل مولکول شش کربنی، کوآنزیم A رها می‌شود.

۲) در مرحلهٔ دوم، با جدا شدن CO_2 از ترکیب شش کربنه، یک مولکول پنج کربنه و یک CO_2 به وجود می‌آید.

۳) در مرحلهٔ سوم، با ایجاد مولکول چهار کربنه، محصولی ایجاد می‌شود که پیش‌ماده آنزیمی در گویچهٔ قرمز انسان می‌باشد.

۴) در مرحلهٔ آخر، با دوباره‌سازی مولکول شروع‌کنندهٔ چرخه، یک کوآنزیم A نیز آزاد می‌شود.

پاسخ ۴ در چرخهٔ کربس، آزاد شدن کوآنزیم A **در مرحلهٔ اول** چرخه و هم‌زمان با تولید ماده شش کربنی از اتصال مولکول C_4 و بنیان استیل صورت می‌گیرد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در متن بالا توضیح دادم. / گزینهٔ (۲) و (۳): در مرحلهٔ دوم و سوم چرخهٔ کربس با کاهش تعداد کربن، در هرکدام یک مولکول CO_2 ایجاد می‌شود. همان‌طور که می‌دانید CO_2 نوعی پیش‌ماده برای آنزیم کربنیک‌انیدراز موجود در گویچهٔ قرمز برای ترکیب با H_2O و ایجاد کربنیک‌اسید می‌باشد که در نهایت ٪۷۰ انتقال CO_2های خون را به صورت یون بی‌کربنات ایجاد می‌کنند که توسط پلاسما به سوی شش‌ها منتقل می‌شود.

تست ۱۰ **در تنفس یاخته‌ای یوکاریوت‌ها، تعداد ..... حاصل از اکسایش کامل مولکول‌های ..... تا آخر مراحل تنفس، برابر می‌باشد.**

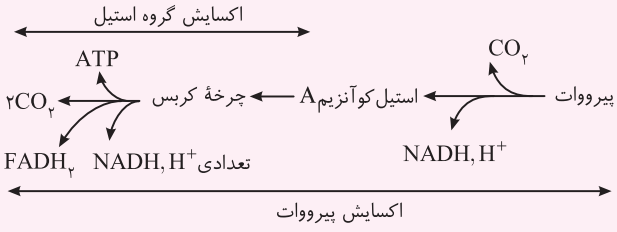
۱) $FADH_2$های - پیروات و استیل

۲) NADHهای - پیروات و استیل

۳) الکترون‌های - NAD و $FADH_2$

۴) $FADH_2$های - قند شش کربنی دو فسفاته و پیروات

پاسخ ۱ اکسایش هر مولکول پیروات و استیل در نهایت توسط واکنش‌های یک چرخهٔ کربس به انجام می‌رسد که طی آن‌ها تعداد $FADH_2$های یکسانی حاصل می‌شود ولی در اکسایش کامل پیروات، یک مولکول $NADH, H^+$ و یک CO_2 بیشتر از اکسایش استیل ایجاد می‌شود.



تله‌های تستی گزینهٔ (۲): در اکسایش پیروات یک NADH تا مرحلهٔ تولید استیل کوآنزیم A تولید می‌شود و سپس گروه استیل حاصل از آن اکسایش می‌شود. پس از اکسایش پیروات، یک مولکول NADH و یک مولکول CO_2 بیشتر تولید می‌شود. / گزینهٔ (۳): باید خیلی دقت کنید چون NAD^+ الکترون‌گیری می‌کند و NADH همانند $FADH_2$ به الکترون‌دهی و اکسایش می‌پردازد و در کل $2e^-$ و $2H^+$ ایجاد می‌شود. / گزینهٔ (۴): از هر گلوکز در آخر قندکافت دو مولکول پیروات ایجاد می‌شود و سپس هر پیروات و استیل پس از آن وارد یک چرخهٔ کربس می‌شوند تا $FADH_2$ تولید کنند. سپس محصولات هر گلوکز یا قند شش کربنی دو فسفاته در نهایت برای اکسایش کامل وارد دو تا چرخهٔ کربس می‌شوند ولی هر پیروات یا استیل وارد یک چرخهٔ کربس می‌شود و به تعداد نصف هر مولکول گلوکز، $FADH_2$ تولید می‌کنند.

زنجیرهٔ انتقال الکترون (تولید ATP بیشتر در تنفس هوازی)

در ابتدای بحث تنفس یاخته‌ای، به یک نکته کلیدی اشاره کردیم که **هدف از تنفس یاخته‌ای، تولید ATP می‌باشد.** تا پایان مراحل چرخهٔ کربس، به این نتیجه رسیدیم که از اکسایش یک مولکول گلوکز فقط تعداد کمی ATP آن هم در سطح پیش‌ماده آلی (۴ عدد) ایجاد شده است (*دوتا در قندکافت و دوتا در چرخه‌های کربس*) ولی بازده تجزیه یک مولکول گلوکز، خیلی بیشتر از این مقدار ATP می‌باشد. (*حداکثر* ۳۰ATP *می‌تواند از تجزیهٔ یک گلوکز ایجاد شود.*)

باید توجه داشت که در حین واکنش‌های مختلف تنفس یاخته‌ای، در فرایندهای قندکافت، تولید استیل کوآنزیم A و چرخه‌های کربس، علاوه بر ATP و CO_2، مقداری نیز $NADH, H^+$ و $FADH_2$ ایجاد می‌شود. از آنجایی که NADH و $FADH_2$ ها دارای **الکترون‌های پرانرژی** هستند، در انتهای تنفس یاخته‌ای، سیستم **پیچیده‌ای** در غشای **درونی** راکیزه (*یا غشای پروکاریوت‌ها*) به نام زنجیرهٔ انتقال الکترون وجود دارد. این زنجیره که از عوامل پروتئینی تشکیل شده است، با اکسایش NADHها و $FADH_2$ها سبب آزادسازی الکترون‌ها و پروتون‌های پرانرژی شده و سپس سبب **تولید ATP بیشتر و آب** می‌شود. البته ضمن این اعمال، دوباره‌سازی NAD^+ و FAD نیز صورت می‌گیرد.

اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون

این زنجیره از **سه جفت پروتونی و تعدادی ناقل الکترون** در غشای درونی راکیزه تشکیل شده است و مسئول اکسایش یا الکترون‌گیری از NADH و $FADH_2$های مراحل قبلی می‌باشد. پمپ‌ها در حقیقت پروتئین‌های سرتاسری در عرض غشای درونی راکیزه هستند که عمل انتقال فعال را برای عبور یون‌های هیدروژن انجام می‌دهند. این پمپ‌ها از الکترون عبوری خود انرژی می‌گیرند (*نه از ATP!!!*) و H^+ را از قسمت کم‌تراکم یعنی بخش درونی یا بستره راکیزه به فضای بین دو غشا (*بخش بیرونی فضای درون راکیزه*) می‌برند.

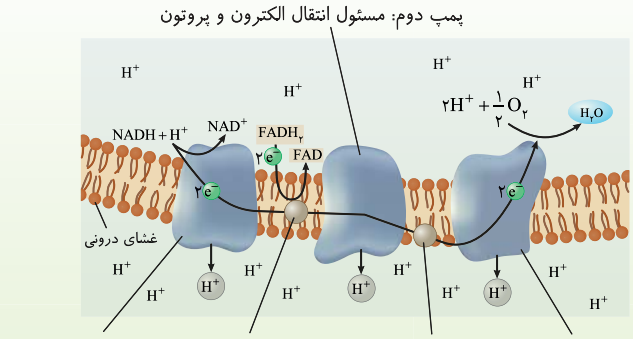
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در این زنجیره، بین پمپ اول و دوم یک ناقل الکترون در قسمت آب‌گریز غشا یعنی در مجاورت دم‌های آب‌گریز اسیدهای چرب وجود دارد ولی بین پمپ دوم و سوم یک ناقل الکترون در بخش **آب‌دوست** اسیدهای چرب در **قسمت خارجی غشای داخلی راکیزه** (*نزدیک به فضای بین دو غشا*) وجود دارد.

۲) اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون شامل سه پمپ و دو ناقل بین پمپ‌ها می‌باشد. در ادامه خواهید دید که پمپ‌ها هم در عبور الکترون و هم در عبور پروتون نقش دارند ولی دو ناقل بین پمپ‌ها، فقط در انتقال الکترون نقش دارند.

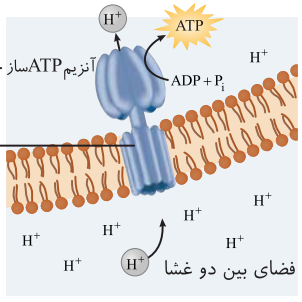
۳) هر مولکول موجود در زنجیرهٔ انتقال الکترون، با گرفتن الکترون، کاهش می‌یابند و با از دست دادن الکترون، اکسایش می‌یابند.

۴) زنجیرهٔ انتقال الکترون مسئول اکسایش NADH و $FADH_2$ می‌باشد تا سبب دوباره‌سازی NAD^+ و FAD شود.



کانال پروتئینی H^+ با نقش ATPساز

در غشای درونی راکیزه ولی در مجاور زنجیرهٔ انتقال الکترون، یک مجموعه پروتئینی در عرض غشا به نام کانال H^+ وجود دارد. این مجموعه پروتئینی ATPساز، از یک طرف نقش کانال H^+ را دارد که با **انتشار تسهیل شده** پروتون‌ها را از قسمت پرتراکم یعنی از فضای بین دو غشای راکیزه (*بخش بیرونی*) به بخش داخلی یعنی فضای درونی یا بستره راکیزه می‌آورد. از طرف دیگر بخشی از این مجموعه در **قسمت درونی راکیزه** (*بستره*) دارای **نقش آنزیمی** می‌باشد. این قسمت با استفاده از **انرژی جنبشی پروتون عبوری** از کانال، هم‌زمان نقش آنزیمی آن فعال شده و با **صرف انرژی** سبب ترکیب ADP با فسفات و ایجاد ATP اکسایشی در بستره راکیزه می‌شود.



← با صرف انرژی ATP اکسایشی می‌سازد.
که با سنتز آبدهی همراه است.

بخش کانالی H^+ (بدون صرف انرژی زیستی فعالیت می‌کند.)
← انرژی جنبشی پروتون سبب انتشار می‌شود.

«مجموعه پروتئینی ATPساز که هم‌زمان نقش ترابری پروتون‌ها و تولید ATP اکسایشی را بر عهده دارد.»

بررسی اکسایش NADH در زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه

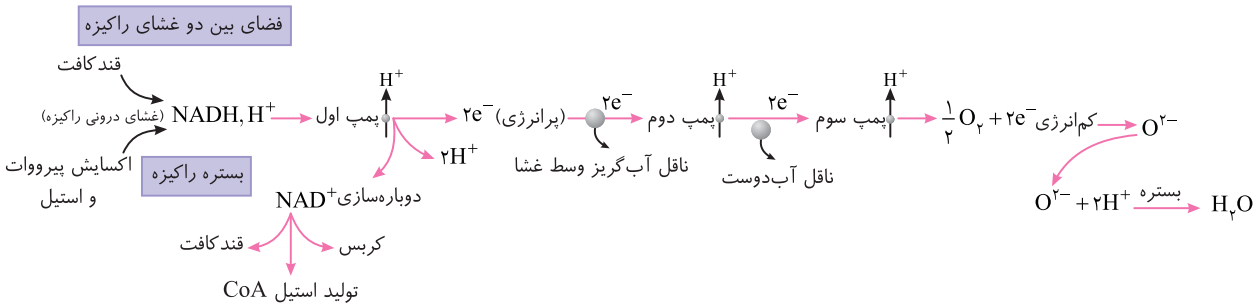
هر مولکول $NADH, H^+$ که در مراحل قندکافت، تولید استیل‌کوآنزیم A از پیرووات‌ها یا چرخه‌های کربس ایجاد شده‌اند، حاوی دو عدد الکترون پرانرژی و پروتون (H^+) می‌باشد. اگر در شکل زنجیرهٔ انتقال الکترون به دقت نگاه کنید، در خواهید یافت که هر $NADH, H^+$ برای اکسایش و خالی کردن انرژی الکترون‌های خود از **پمپ اول** وارد زنجیرهٔ انتقال الکترون در **غشای درونی راکیزه** می‌شود و ضمن دوباره‌سازی NAD^+، دو الکترون خود را به پمپ اول می‌دهد. این پمپ با گرفتن الکترون‌ها، ابتدا کاهش یافته و سپس مقداری از انرژی **الکترون‌ها** را گرفته و اکسایش می‌یابد تا الکترون‌ها را به ناقل بعد از خود و سپس به پمپ دوم برساند. پمپ اول با گرفتن انرژی از الکترون‌ها، فعال می‌شود و سبب **انتقال فعال** H^+ از فضای درون راکیزه (*بستره*) به فضای بین دو غشا می‌شود. سپس پمپ دوم نیز مقداری دیگر از انرژی‌های این دو الکترون را می‌گیرد و آن‌ها را با انرژی کمتر به یک ناقل الکترون در مجاور فضای بین دو غشای راکیزه می‌دهد. با این عمل پمپ دوم نیز فعال می‌شود و **با استفاده از انرژی الکترون‌ها**، سبب انتقال فعال H^+ دیگری از بستره راکیزه به فضای بین دو غشا می‌شود. دو الکترون وارد شده به پمپ سوم باز هم در این پمپ مقداری انرژی از دست می‌دهند و پمپ سوم را نیز فعال می‌کنند تا پروتون دیگری نیز در خلاف جهت شیب غلظت از بستره راکیزه وارد فضای بین دو غشای این اندامک شود. (*پروتون‌ها از بخش درونی راکیزه توسط پمپ‌ها به فضای خارجی درون این اندامک می‌روند.*) با این روند از یک طرف یک شیب غلظت H^+ در فضای بین دو غشای راکیزه نسبت به فضای درونی آن ایجاد می‌شود و از طرف دیگر پمپ سوم، **الکترون‌های کم‌انرژی** عبور کرده از خود را وارد **بخش درونی راکیزه** می‌کند و آن‌ها را به **مولکول‌های اکسیژن** می‌رساند. در حقیقت مولکول اکسیژن در سطح درونی غشای داخلی راکیزه **آخرین گیرنده الکترون‌های کم‌انرژی** می‌باشد که به صورت یون‌اکسید با دو بار منفی درمی‌آید. $(\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-})$

در انتهای واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون، یون‌های اکسید (O^{2-}) با پروتون‌های باقی‌مانده در **بستره** ترکیب می‌شوند و یک مولکول آب را تشکیل می‌دهند. این عمل سبب جلوگیری از تولید مقدار زیادی رادیکال آزاد اکسیژن توسط راکیزه می‌شود تا به راکیزه و یاخته آسیبی نرساند.

نکته

برای تولید هر مولکول آب، به اکسایش یک $NADH, H^+$، دو الکترون و دو پروتون نیاز می‌باشد. $\Rightarrow O^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2O$

● واکنش کلی اکسایش NADHها

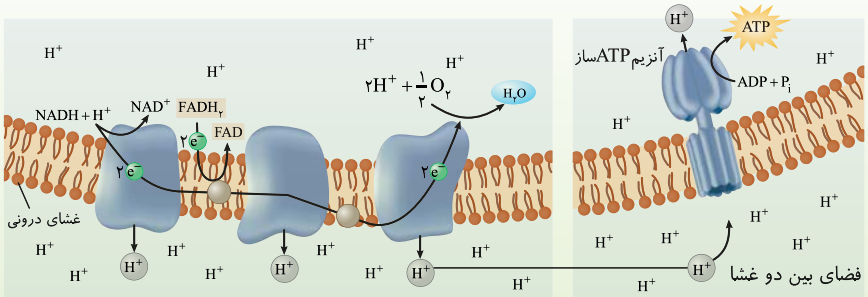


● تولید ATP اکسایشی

پس از پایان فعالیت زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه‌ای، تراکمی از H^+ در **فضای بین دو غشای راکیزه** ایجاد می‌شود و سبب ایجاد شیب غلظتی از H^+ از فضای بین دو غشای راکیزه به سمت درون راکیزه می‌شود. در این حالت مجموعه پروتئین کانالی H^+ در مجاور زنجیرهٔ انتقال الکترون فعال می‌شود و H^+ها (*پروتون‌ها*) را **با انتشار تسهیل شده** از فضای بین دو غشا به بستره راکیزه برمی‌گرداند. هنگام **عبور** H^+ **از بخش کانالی** این مجموعه پروتئینی، انرژی لازم برای فعال شدن **بخش آنزیمی** ATP**ساز** آن را ایجاد می‌کند که سبب تولید مقداری ATP اکسایشی در اثر ترکیب مقداری ADP با فسفات در **بستره** ولی در نزدیکی غشای درونی راکیزه می‌شود.

نکات مفهومی مهم در بررسی تست‌ها

۱) الکترون‌های NADH، سبب فعال‌سازی **هر سه پمپ الکترونی** موجود در زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌شود ولی **دوباره‌سازی** NAD^+ فقط در **پمپ اول** صورت می‌گیرد.



«عمل زنجیرهٔ انتقال الکترون در راکیزه برای اکسایش NADH»

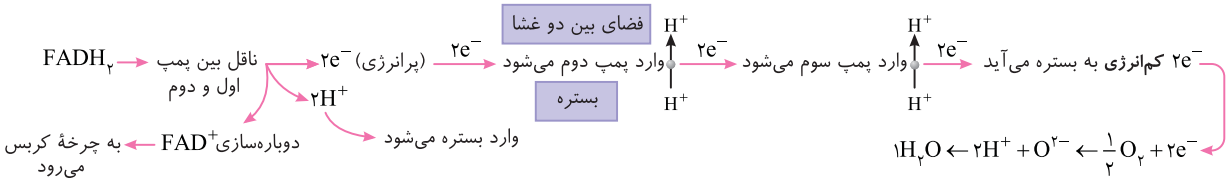
۲) NAD^+ اولیـن گیرنـدهٔ الکترونـی و پروتونـی در واکنش‌هـای قندکافت تنفس یاخته‌ای می‌باشـد که نوعی مادهٔ آلی می‌باشـد ولی آخرین مـاده‌ای که در واکنش‌های تنفس هوازی، الکترون‌گیری می‌کند، مولکول معدنی O_2 می‌باشد که سبب تولید H_2O می‌شود.

۳) در زنجیرهٔ انتقال الکترون و پروتئین کانالی، از اکسایش هر NADH ، یک مولکول آب تولید می‌شود، نصف مولکول O_2 الکترون‌گیری می‌کند و مقداری ATP اکسایشی ایجاد می‌شود.

بررسی اکسایش $FADH_2$ در زنجیرهٔ انتقال الکترون

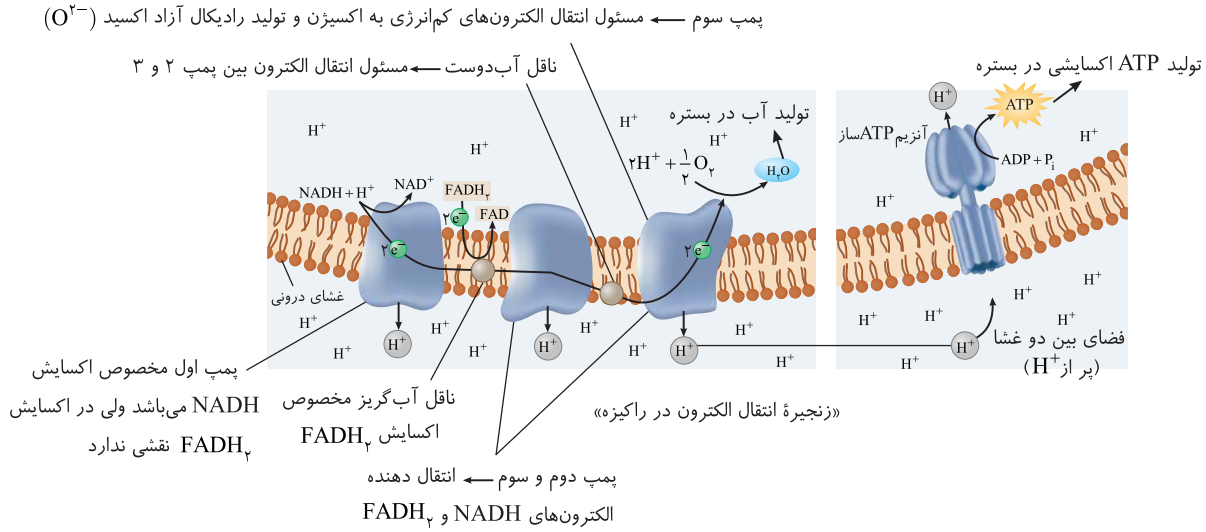
اگر به شـکل زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه دوباره دقت کنید، مشـاهده می‌کنید که مولکول $FADH_2$ که فقط در مرحله‌ای از تنفس هوازی در چرخهٔ کربس ایجاد می‌شود، **وارد جـزء اول زنجیرهٔ انتقال الکترون نمی‌شود**. در حقیقت هر $FADH_2$ در **ناقلی** آب‌گریز که بین پمپ اول و دوم است، اکسایش می‌شود و FAD را بازسازی می‌کند. دو الکترون پرانرژی حاصل از این عمل $(FADH_2 \rightarrow FAD + 2e^- + 2H^+)$ علاوه بر ناقل اولیه، از پمپ دوم و سوم و ناقل آب‌دوست بین آن‌ها نیز عبور می‌کنند. پمپ‌های دوم و سوم با استفاده از انرژی الکترون‌های عبوری، فعال می‌شوند و با انتقال فعال سبب تلمبه کردن H^+ در **خلاف شیب غلظت** از بسـتره یا داخل راکیزه به فضای بین دو غشـای آن می‌شـود و باز هم شیب غلظت بیشـتری از H^+ در فضای بین دو غشای راکیزه ایجاد می‌کند. در این عمل نیز، پمپ سوم، الکترون‌های کم‌انرژی $FADH_2$ را همانند الکترون‌های NADH به مولکول O_2 می‌رساند و ابتدا سبب تولید یون اکسید (O^{--}) یا O^{2-} شده که در انتها **در بستره راکیزه در اثر ترکیب با پروتون، به تولید آب می‌پردازد.**

خلاصه اکسایش $FADH_2$ در زنجیرهٔ انتقال الکترون



تولید ATP اکسایشی

پس از عمل زنجیرهٔ انتقال الکترون، این‌بار نیز شیب غلظت H^+ که در فضای بین دو غشای راکیزه ایجاد شده است، سبب فعال شدن مجموعه پروتئین کانالی H^+ شده که پروتون‌ها را با انتشار تسهیل شده و به کمک انرژی جنبشی از فضای بین دو غشا (*فضای خارجی راکیزه*) به بستره یا فضای داخلی راکیزه می‌آورد. انتقال H^+ سبب فعال شدن بخش آنزیمی ATPساز این کانال **در بستره** شده که با استفاده از انرژی عبور پروتون‌ها، تعدادی ATP اکسایشی در بخش درونی راکیزه (*بستره*) می‌سازد.



تست ۱۱ **انرژی لازم برای پیوستن یک گروه فسفات به مولکول ADP در راکیزه، به‌طور مستقیم از انرژی ناشی از حرکت ..... تأمین می‌شود.**

۱) الکترون‌ها در پمپ‌های موجود در غشا
۲) پروتون‌ها در جهت شیب غلظت خود
۳) الکترون‌ها از NADH به سوی اکسیژن
۴) پروتون‌ها در خلاف جهت شیب غلظت خود

پاسخ ۲ **نکته:** پمپ‌های موجود در غشـای درونی راکیزه، پروتون‌ها را از فضای درونی راکیزه وارد فضای بین دو غشـای راکیزه می‌کنند. سـپس با افزایش تراکم H^+ در این فضا، کانال ATPساز با انتقال پروتون‌ها از فضای بین دو غشا به بستره راکیزه، باعث ساخت ATP می‌شود. ساخت ATP همانند ساخت هر مادهٔ آلی به انرژی نیازمند اسـت که **این انرژی از انتقال پروتون‌ها در جهت شـیب غلظت فراهم می‌شـود.**

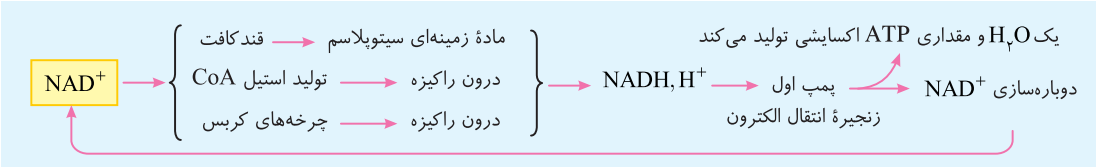
نکاتی مفهومی از نتایج واکنش‌های تنفسی هوازی

۱) مجموعه پروتئینی آنزیم ATPساز در غشای درونی و بخش درونی راکیزه قرار دارد که عمل ATPسازی را در بستره یا بخش درونی راکیزه (*در مجاورت غشای درونی*) اندامک انجام می‌دهد.

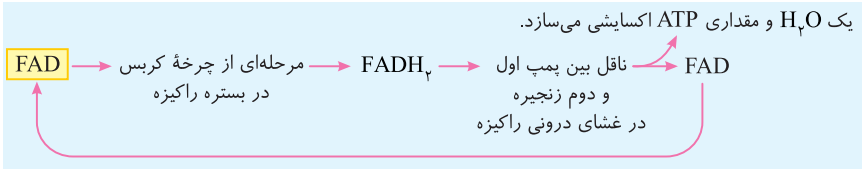
۲) **مجموعه پروتئینی آنزیم ATPساز، از اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون نمی‌باشد.** این مجموعه برای انتقال مواد، **فقط مخصوص عبور پروتون** (H^+) می‌باشد ولی **پمپ‌های** غشای درونی راکیزه، از اعضای زنجیرهٔ انتقال الکترون هستند که **علاوه بر الکترون قادر به انتقال فعال پروتون نیز می‌باشند.** (*ناقلین الکترون بین پمپ‌ها نیز فقط در انتقال الکترون نقش دارند و از اعضای زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌باشند.*)

۳) در انتهای زنجیرهٔ انتقال الکترون به ازای اکسایش **هر** $NADH+H^+$ یا هر $FADH_2$، **یک** مولکول آب تولید می‌شود و $\frac{1}{2}$ مولکول O_2 نیز با الکترون‌گیری کاهش می‌یابد.

۴) NAD^+، مولکول گیرندهٔ الکترون و پروتون می‌باشد که در مرحلهٔ قندکافت، در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و در مراحل هوازی، در بخش درونی راکیزه مصرف می‌شود تا NADH بسازد ولی دوباره‌سازی NAD^+ در غشای درونی راکیزه یعنی در **پمپ اول زنجیرهٔ انتقال الکترون** صورت می‌گیرد.



۵) FAD، مولکول **گیرندهٔ** الکترونی است که **فقط** در بستره راکیزه آن هم در **مرحله‌ای از چرخهٔ کربس** در تنفس **هوازی** مصرف می‌شود تا به صورت $FADH_2$ درآید. دوباره‌سازی FAD نیز فقط در **ناقل الکترونی بین پمپ اول و دوم** زنجیرهٔ انتقال الکترون یعنی در غشای درونی راکیزه صورت می‌گیرد.



۶) در یوکاریوت‌ها، FAD، فقط در درون راکیزه **تولید و مصرف** می‌شود ولی NAD^+ می‌تواند علاوه بر واکنش‌های چرخهٔ کربس در بستره راکیزه، در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم نیز در واکنش‌های قندکافت مصرف شود. لازم به ذکر است که تولید این دو نوع گیرندهٔ الکترونی (NAD^+ و FAD) در زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزهٔ یوکاریوت هوازی صورت می‌گیرد.

۷) در تنفس هوازی، گیرنده نهایی الکترون و پروتون، مولکول **معدنی** اکسیژن (O_2) می‌باشد.

۸) اکسیژن، NAD^+ و FAD، گیرنده‌های الکترون و پروتون در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای هستند با این تفاوت که NAD^+ و FAD، گیرندهٔ الکترون‌های **پرانرژی** هستند ولی O_2 گیرندهٔ الکترون‌های **کم‌انرژی** عبور کرده از کل زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌باشد. این الکترون‌ها از پمپ سوم این زنجیره خارج شده و به بستره می‌آیند.

۹) مرحلهٔ اکسایش پیرووات تا تولید استیل کوآنزیم A، تنها مرحله‌ای از تنفس یاخته‌ای هوازی می‌باشد که **مستقیماً** تولید ATP (*پیش‌ماده‌ای یا آک‌یشی*) در آن صورت نمی‌گیرد.

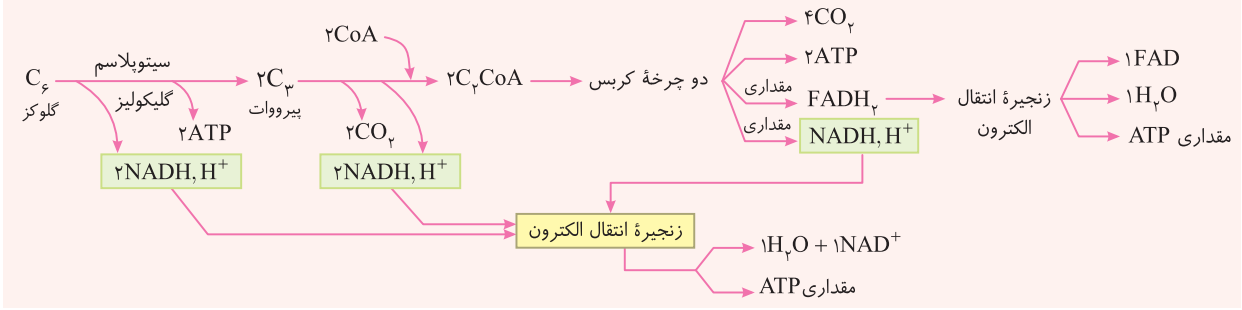
۱۰) ورود و خروج H^+ بین فضای درونی راکیزه و فضای بین دو غشای آن نیازی به **مصرف ATP** ندارد. دقت کنید که برای خروج پروتون‌ها از بستره انرژی مصرف می‌شود ولی این انرژی به جای ATP از الکترون‌های عبوری تأمین شده است.

دقت کنید که در تست‌ها، هرجا انرژی دیدید فقط ATP را در ذهن خود تداعی نکنید!! در حقیقت ATP شکل رایج مصرف انرژی در یاخته می‌باشد نه تنهاترین شکل برای مصرف انرژی!

۱۱) pH فضای بین دو غشای راکیزه از فضای درونی این اندامک اسیدی‌تر می‌باشد چون تراکم H^+ بیشتری دارد.

۱۲) الکترون‌های هر $FADH_2$، سبب فعال شدن دو پمپ ولی NADH سبب فعال شدن سه پمپ پروتونی در زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌شود.

● خلاصه کل واکنش تنفس هوازی



۱۳) مواد مصرفی و تولیدی در هر مرحله از تنفس یاخته‌ای و محل انجام واکنش:

مرحله	محل قرارگیری آنزیم‌ها	محل انجام واکنش‌ها	پیش‌ماده‌های واکنش	محصولات واکنش
قندکافت	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	گلوکز (C_6) PO_4 (فسفات) - ADP - ATP NAD^+ -	دو مولکول پیرووات C_3 ATP - ADP (پیش‌ماده‌ای) $NADH, H^+$ -
تولید استیل کوآنزیم A (اکسایش پیرووات)	درون راکیزه	فضای درون راکیزه	پیرووات $2C_3$ کوآنزیم A $2CoA$ $2NAD^+$	استیل کوآنزیم A $2C_2CoA$ $2NADH, H^+$ $2CO_2$
	غشای پروکاریوت هوازی	فضای درون یاخته		
چرخه‌های کربس (اکسایش استیل)	بخش درونی راکیزه	بخش درونی راکیزه	دو مولکول استیل کوآنزیم A $(2C_2)$ NAD^+ - ADP - FAD	$4CO_2$ (به ازای دو چرخهٔ کربس) $NADH, H^+$ مقداری $FADH_2$ - ATP (پیش‌ماده‌ای)
	سیتوپلاسم پروکاریوت هوازی	سیتوپلاسم پروکاریوت هوازی		
زنجیرهٔ انتقال الکترون و مجموعه پروتئینی ATPساز	غشای درونی راکیزه	غشای درونی راکیزه و فضای درون راکیزه	$NADH, H^+$ $FADH_2$ O_2 - (ADP+P)	دوباره‌سازی NAD^+ دوباره‌سازی FAD H_2O - اکسایشی ATP
	غشای پروکاریوت هوازی	غشا و سیتوپلاسم پروکاریوت هوازی		

سؤال: تا به حال فکر کرده‌اید که آیا تنها ویژگی زنجیرهٔ انتقال الکترون فقط تولید بیشتر ATP است یا فایدهٔ دیگری هم دارد؟

پاسخ: دقت کنید که زنجیرهٔ انتقال الکترون علاوه بر کمک به ATPسازی، نقش مهمی در **دوباره‌سازی** NAD^+ و **FAD** دارد تا این گیرنده‌های الکترونی دوباره در دسترس یاخته قرار گیرند و **در تنفس بعدی** مورد استفاده قرار گیرند. در غیر این صورت اگر عاملی سبب مهار واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون شود، پس از مدتی با اینکه گلوکز کافی و O_2 مناسب وجود دارد ولی به دلیل عدم وجود NAD^+ و FAD به عنوان دو گیرندهٔ الکترونی، ATP مورد نیاز برای جاندار تأمین نمی‌شود.

تست ۱۲ **در مورد عمل زنجیرهٔ انتقال الکترون و واکنش‌های مرتبط با آن کدام گزینهٔ زیر نادرست می‌باشد؟**

۱) NADH در ایجاد شیب غلظت موجود در بخش بیرونی فضای راکیزه از $FADH_2$ مؤثرتر است.

۲) اکسیژن از طریق یک نوع پمپ از $FADH_2$ و NADH الکترون می‌گیرد.

۳) عبور پروتون‌ها از پروتئین کانالی غشا، انرژی لازم برای نقش آنزیمی این مجموعه را فراهم می‌کند.

۴) مجموعه آنزیمی ATPساز برخلاف پمپ‌ها، بدون صرف انرژی، ضمن عبور الکترون و پروتون به تولید ATP می‌پردازد.

پاسخ ۴ بارها در تست‌ها این موضوع را عنوان کردیم و امیدوارم این بار دیگر در دام نیفتاده باشید. کانال ATPساز فقط عبور پروتون را انجام می‌دهد ولی در عبور الکترون نقشی ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): الکترون‌های NADH، صرف فعال کردن هر سه پمپ زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌شوند ولی $FADH_2$، سبب فعالیت **دو** پمپ می‌شود. همان‌طور که می‌دانید، هر پمپ در ایجاد تراکم زیاد H^+ در این فضا نقش دارد. / گزینهٔ (۲): الکترون‌های NADH و $FADH_2$، به صورت کم‌انرژی از پمپ **سوم** وارد بستره راکیزه می‌شوند تا با O_2 ترکیب شوند. / گزینهٔ (۳): پروتون‌های عبوری از کانال H^+ غشای داخلی راکیزه، انرژی مورد نیاز برای تشکیل ATP از ADP و گروه فسفات را تأمین می‌کنند.

تست ۱۳ **کدام‌یک از وظایف پروتئین‌هایی می‌باشد که عمل آن‌ها مستقیماً پس از فعالیت زنجیرهٔ انتقال الکترون آغاز می‌شود؟**

۱) اکسایش پیرووات
۲) انتقال فعال یون بدون استفاده از ATP
۳) تولید نوعی پیش‌ماده رناسازی با صرف انرژی
۴) تولید آب در اثر واکنش رادیکال‌های آزاد

پاسخ ۳ در غشای درونی راکیزه دو مجموعه آنزیمی مهم برای تنفس یاخته‌ای وجود دارد. یکی مجموعه آنزیمی برای اکسایش پیرووات به استیل کوآنزیم A و دیگری زنجیرهٔ انتقال الکترون و کانال ATPساز می‌باشد. منظور این سؤال کانال ATPساز است که عمل آن وابسته به فعالیت زنجیرهٔ انتقال الکترون و ایجاد شیب غلظت H^+ در فضای بین دو غشای راکیزه می‌باشد. این کانال وظیفهٔ انتشار تسهیل شده H^+ از بخش خارجی به بخش داخلی فضاهای راکیزه را دارد و از طرفی سبب تولید ATP اکسایشی نیز می‌شود. ATP هم یک ماده انرژی‌زا می‌باشد و هم به عنوان نوکلئوتیدی با قند ریبوز و سه گروه فسفات می‌تواند به عنوان یک پیش‌ماده برای رونویسی استفاده شود (*درستی گزینهٔ ۳*) و (*نادرستی گزینهٔ ۲*)).

- تولید آب در زیر پمپ سوم زنجیرهٔ انتقال الکترون یعنی در بستره راکیزه انجام می‌شود (*نادرستی گزینهٔ ۴*)).
- اکسایش پیرووات توسط آنزیم‌های موجود در غشای درونی راکیزه رخ می‌دهد ولی این عمل به‌طور مستقیم ربطی به واکنش زنجیرهٔ انتقال الکترون ندارد (*نادرستی گزینهٔ ۱*)).

تست ۱۴ **در مسیر آزادسازی انرژی از گلوکز در صورت فقدان آخرین پذیرندهٔ الکترون در زنجیرهٔ انتقال، کدام فرایند متوقف نمی‌شود؟**

۱) بازسازی NAD^+ به طریق هوازی
۲) تولید $FADH_2$
۳) تشکیل استیل کوآنزیم A
۴) تبدیل گلوکز به پیرووات

پاسخ ۴ **نکته:** مولکول‌های اکسیژن آخرین پذیرندهٔ الکترون می‌باشند که در صورت فقدان آن، قندکافت که اولین مرحلهٔ هر نوع تنفسی است بدون اشکال به صورت **بی‌هوازی** انجام می‌شود. پس تبدیل گلوکز به پیرووات بدون اشکال انجام می‌گیرد اما پیرووات‌ها مجبورند در همان مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم، ادامهٔ تنفس بی‌هوازی را به صورت مرحلهٔ دوم تخمیر انجام بدهند.

بازده انرژی در تنفس یاخته‌ای

با توجه به اینکه در **زمان‌ها و شرایط مختلف محیطی**، بازدهی و کارایی ما نیز در زندگی روزمره متفاوت می‌باشد، درون یاخته نیز نمی‌توان به آسانی اعلام کرد که با هر بار تجزیهٔ گلوکز، در تنفس یاخته‌ای همواره چند ATP ایجاد می‌شود. **تولید ATP به ازای تجزیهٔ گلوکز، در یاخته‌های متفاوت و متناسب با نیاز بدن متفاوت می‌باشد.** اندازه‌گیری‌های **واقعی** محققین در شرایط **بهینه** آزمایشگاهی نشان داده است که از تجزیهٔ **کامل** هر گلوکز و در **بهترین حالت** در حضور O_2، حداکثر ۳۰ مولکول ATP می‌توان در **یاختهٔ یوکاریوتی** به دست آورد. این ۳۰ مولکول شامل مجموع ATPهای تولیدی در سطح پیش‌ماده در مراحل قندکافت و چرخه‌های کربس و ATP های اکسایشی در زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌باشد که از انتقال الکترون‌های پرانرژی NADH و $FADH_2$ به دست می‌آیند ولی یک جمله بسیار مهم است:

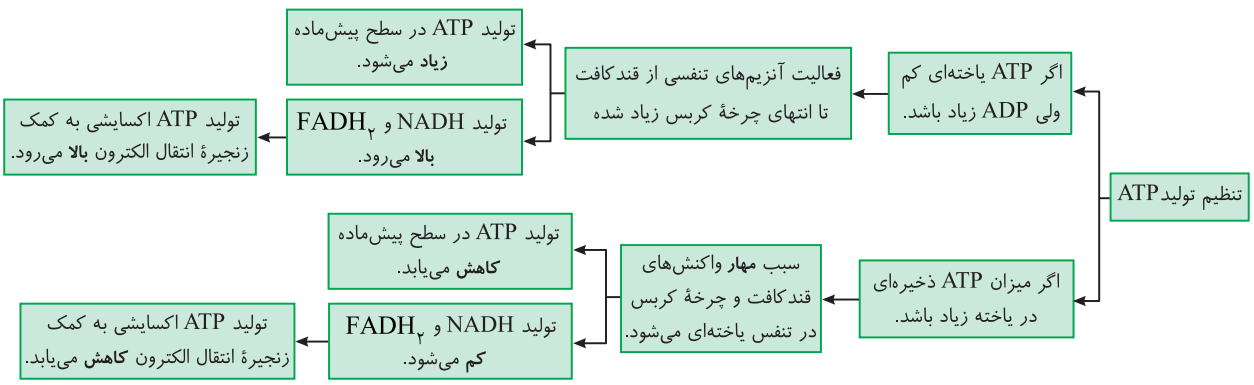
«نمی‌توان به سادگی گفت که در ازای تجزیه هر مقدار گلوکز چه مقدار ATP در یاخته‌ها تولید می‌شود!!!»

تنظیم تنفس یاخته‌ای برای تولید اقتصادی‌تر ATP در یاخته

اگر از زیست یازدهم در فصل هورمون‌ها به خاطر داشته باشید، مکانیسمی به نام **بازخوردی یا خودتنظیمی منفی** در بدن وجود دارد که سبب تنظیم مقدار ترشح هورمون‌ها برحسب مقدار آن‌ها در خون یا فراورده آن‌ها در بدن می‌شود. این مکانیسم سبب می‌شود که هرگاه به هورمون بیشتری نیاز داریم، تولید آن بیشتر شود تا انرژی مورد نیاز برای ساخت هورمون‌ها بیهوده مصرف نشود. در اینجا نیز برای تنظیم مقدار ATP یاخته‌ای، مکانیسمی وجود دارد که ابتدا مقدار **ATP و ADP** یاخته را می‌سنجد و سپس برحسب مقدار مورد نیاز یاخته و بدن، برای انرژی‌زایی به تجزیهٔ گلوکز می‌پردازد.

حتماً به خاطر دارید که دو نوع روش تولید ATP در یاخته وجود دارد، یکی به صورت تولید ATP در سطح پیش‌ماده که در واکنش‌های قندکافت و چرخه‌های کربس صورت می‌گیرد و دیگری واکنش‌های تولید ATP اکسایشی در پی فعالیت زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌باشد.

محققین مشخص کرده‌اند که تولید ATP یاخته‌ای، تحت کنترل میزان ATP و ADP یاخته می‌باشد و یاخته این عمل تنظیمی را بیشتر با فعال یا مهار کردن واکنش‌های گلیکولیزی (*قندکافت*) و چرخه‌های کربس انجام می‌دهد. بدین معنی که اگر مقدار ATP یاخته‌ای کم ولی ADP زیاد باشد، واکنش‌های قندکافت و چرخهٔ کربس هم برای تولید ATP در سطح پیش‌ماده و هم تولید موادی مثل NADH و $FADH_2$ (*برای تولید ATP در زنجیرهٔ انتقال الکترون*) افزایش می‌یابد. برعکس اگر مقدار ATP ذخیره‌ای یاخته **بیشتر** از مقدار مصرفی آن باشد، آنزیم‌های مورد نیاز برای واکنش‌های قندکافت و چرخهٔ کربس **مهار** می‌شوند تا از ATPهای ذخیره‌ای قبلی استفاده شود. **این تنظیم مانع هدر رفتن منابع و انرژی یاخته‌ای می‌شود.**



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) به‌طور طبیعی، یاخته‌های بدن **انسان و سایر جانوران** ابتدا از **تجزیهٔ گلوکز** برای انرژی‌زایی و ساخت ATP مورد نیاز فعالیت‌های خود استفاده می‌کنند. وقتی مقدار **گلوکز** در دسترس یاخته‌ها **کم** شد (*کمبود قند خون*)، در این حالت **کبد و سپس ماهیچه‌ها**، به ترتیب به کمک هورمون‌های گلوکاگون و آدرنالین، گلیکوژن ذخیره‌ای خود را به گلوکز هیدرولیز کرده تا واکنش‌های تنفس یاخته‌ای با تجزیهٔ گلوکز و ATPسازی افزایش یابند.

۲) اگر پس از استفاده از ذخایر قندی، باز هم بدن به انرژی نیاز داشت، مجبور است **ابتدا از ذخایر چربی** خود استفاده کند و با تجزیهٔ آن‌ها به گلیسرول و اسید چرب از تجزیهٔ آن‌ها طی مراحل مختلف تنفس یاخته‌ای انرژی‌زایی کند.

۳) اگر پس از مصرف ذخایر **قندی و چربی**، باز هم بدن **کمبود** منابع برای تأمین **انرژی** داشت (*مثل بیماران دیابتی*) در این صورت، بدن دست به **خودسوزی** می‌زند و شروع به **تجزیه پروتئین‌های** خود می‌کند. پروتئین‌ها اغلب در **ساختار بدن** و **فعالیت‌های بدن** شرکت دارند و به‌طور معمول در انرژی‌زایی به کار نمی‌روند ولی وقتی بدن مجبور شود، متأسفانه رو به سوزاندن و اکسایش پروتئین‌ها می‌آورد. نتیجه این عمل، تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه‌های اسکلتی بوده و یا با تجزیه و اکسایش **پروتئین‌های دفاعی** (*برای تأمین انرژی*)، بیماری‌های عفونی بیشتر شده **و نقص سیستم ایمنی** به وجود می‌آید.

۴) در افرادی که فقر غذایی و سوء تغذیه **شدید و طولانی‌مدت** دارند یا به هر دلیلی میزان غذای کافی در اختیار ندارند، مجبورند برای تأمین انرژی به سمت واکنش‌های تجزیه پروتئین‌ها بروند. این افراد دچار تحلیل و ضعف سیستم ایمنی و ماهیچه اسکلتی بدن می‌شوند.

۵) در افراد دیابتی (*نوع I و II*)، با اینکه قند خون بالاست ولی یاخته‌ها به‌طور کافی قادر به جذب گلوکز و تأمین انرژی مناسب نمی‌باشند. در این افراد به ترتیب ذخایر گلیکوژنی (*قندی*)، سپس چربی و در آخر پروتئین‌ها و حتی نوکلئیک‌اسیدها برای تأمین انرژی مصرف می‌شوند و فرد در معرض انواع بیماری‌ها قرار می‌گیرد.

درسنامه

گفتار ۳

زیستن و تنفس کردن مستقل از اکسیژن (تنفس بی‌هوازی)

ابتدا چند سؤال و چند پاسخ:

در گفتار قبل بررسی کردیم که در محیط دارای اکسیژن کافی، **اغلب** جانداران قادرند، از تجزیه گلوکز، ATP زیادی ایجاد کنند و به فعالیت‌های حیاتی خود بپردازند. در واکنش‌های هوازی، **اکسیژن** عاملی است که در نهایت الکترون و پروتون‌های گلوکز تجزیه شده را جمع‌آوری می‌کند ولی اکنون یک سؤال مطرح می‌شود. **آیا در محیط دارای اکسیژن کم یا فاقد اکسیژن، حیات وجود ندارد و جانداران زندگی نمی‌کنند؟!**

پاسخ این سؤال **قطعاً منفی** است چون برخی قارچ‌ها، باکتری‌ها و حتی جانداران دیگری نیز دیده شده‌اند که در محیط‌های حتی فاقد اکسیژن به حیات و فعالیت‌های زیستی خود ادامه می‌دهند! این جانداران با تنفس **بی‌هوازی** یا **تخمیر** به حیات خود ادامه می‌دهند!

البته در گفتار قبل بارها تأکید کردیم که در فرایند قندکافت که مخصوص همهٔ جانداران و هر نوع تنفس یاخته‌ای می‌باشد، همواره کمی ATP تولید می‌شود! ولی آیا این ATP جوابگوی نیازهای این جانداران می‌باشد؟ و اینکه مواد اولیه قندکافت مثل NAD^+ چگونه تأمین می‌شوند تا واکنش قندکافت همواره بتواند ATPسازی را هر چند اندک ادامه دهد؟

◀ اگر اجازه بدهید می‌خواهم سؤالم را طور دیگری عنوان کنم!!

سؤال: همان‌طور که می‌دانید قندکافت یا گلیکولیز واکنش بی‌هوازی زنجیره‌ای است که در چند مرحله انجام می‌شود. عدم انجام هر مرحله آن به معنی قطع زنجیره و عدم طی شدن مراحل بعدی آن می‌باشد! خب اگر مثلاً ذخیره NAD^+ یاخته تمام شود، چگونه قندکافت می‌تواند همواره به مرحله آخر خود و ایجاد ATP به همراه تولید پیرووات بپردازد؟ به عبارت دیگر، آیا امکان دارد در طبیعت واکنش‌های یک‌طرفه تا مادام‌العمر ادامه یابند؟

پاسخ: همان‌طور که قطعاً قبول دارید در زندگی همواره **دوطرفه بودن رابطه** باعث **پایداری رابطه** می‌شود!!

در اینجا نیز همین‌طور است، مثلاً در گفتار قبل مشاهده کردید که یاخته در مراحل مختلفی از تنفس یاخته‌ای به تولید NADH و $FADH_2$ می‌پردازد ولی در انتهای تنفس هوازی و در زنجیرهٔ انتقال الکترون، دوباره‌سازی NAD^+ و FAD رخ می‌دهد تا تنفس‌های بعدی نیز انجام شوند. در حقیقت همین NAD^+ یا FADهای آزاد شده از زنجیرهٔ انتقال الکترون یک تنفس، سبب گرفتن الکترون‌ها و پروتون‌های آزاد شده از گلوکز تنفس بعدی می‌شوند. جانداران دارای تنفس بی‌هوازی نیز برای ادامهٔ حیات به مرحله‌ای برای دوباره‌سازی NAD^+ نیازمند هستند تا ادامه تجزیه گلوکزهای دیگر نیز در قندکافت برای تولید ATP صورت گیرد.

پاسخ کلی: در قندکافت در مرحلهٔ تبدیل قند شش کربنه فسفاته به پیرووات ابتدا NAD^+ مصرف شده تا NADH ساخته شود و سپس در مرحلهٔ آخر با تولید پیرووات، مولکول‌های ATP نیز تولید می‌شوند. پس نتیجه می‌گیریم که اگر NAD^+ وجود نداشته باشد، تولید NADH و پس از آن تولید ATP مختل می‌شود. مرحلهٔ دوم تنفس بی‌هوازی یا تخمیر، در حقیقت واکنشی برای دوباره‌سازی NAD^+ می‌باشد تا ادامه تولید ATP در قندکافت به مشکلی برنخورد.

تخمیر (تنفس بی‌هوازی)

تخمیر نام دیگر تنفس بی‌هوازی یا تنفس بدون نیاز به اکسیژن می‌باشد که همهٔ مراحل آن در **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** رخ می‌دهد. **تخمیر هیچ‌گاه به راکیزه و زنجیرهٔ انتقال الکترون نیاز و وابستگی ندارد.**

◀ **تخمیر یا تنفس بی‌هوازی از دو قسمت تشکیل شده است.**
۱) قندکافت (گلیکولیز)
۲) بخش دوباره‌ساز NAD^+

● **مرحلهٔ اول تخمیر (قندکافت) ← تولید ATP می‌کند.**

مرحلهٔ اول تخمیر، همان گلیکولیز یا قندکافت می‌باشد که طی آن گلوکز در چهار مرحله، در نهایت به دو مولکول پیرووات تبدیل می‌شود. طی قندکافت، آموختیم که دو مولکول ATP و دو مولکول $NADH+H^+$ نیز ایجاد می‌شود. لازم به ذکر است که بازده تخمیر یا کل تنفس بی‌هوازی همین دو مولکول ATP از نوع پیش‌ماده‌ای است که در قندکافت ایجاد شده است و جاندار یا یاخته به ادامه زندگی خود با تولید و مصرف همین ATP اندک در شرایط کمبود اکسیژن رضایت داده است.

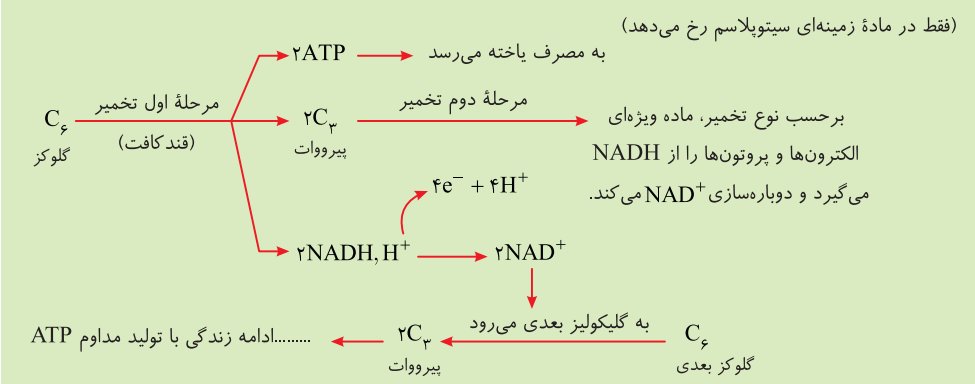
نکته

همان‌طور که گفتیم در واکنش‌های **زنجیره‌ای** قندکافت، بازدهی همین ۲ATP نیز در صورتی ادامه می‌یابد که NAD^+ مناسب وجود داشته باشد تا NADH بسازد و قندکافت‌های متوالی به تولید ATP بپردازند ولی اگر عواملی سبب مهار دوباره‌سازی NAD^+ شود، پس از مدتی واکنش‌های قندکافت بعدی و تولید همین ATP اندک نیز متوقف می‌شود و فاتحه مع‌الصلواة!! و الخلاص!

● **مرحلهٔ دوم تخمیر ← دوباره‌سازی NAD^+ می‌کند.**

این مرحله در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و بعد از گلیکولیز (*قندکافت*) ادامه می‌یابد. مرحله‌ای است که در آن ATPای **تولید نمی‌شود** ولی با اکسایش NADHهای تولیـد شـده در قندکافـت، الکترون‌ها و پروتون‌هـای آن معمولاً به یک **پذیرنـده الکترونی آلی** (*برخلاف O_2 معدنی در تنفس هوازی*) می‌رسـند و **دوباره‌سـازی** NAD^+ رخ می‌دهد. در اثر این عمل قندکافت بعدی با تجزیهٔ گلوکز آغاز می‌شود و چون NAD^+ از تخمیر قبلی تأمین شده است، دوباره NADH ایجاد شده و ATPها نیز در انتهای قندکافت، همراه با تولید پیرووات ایجاد می‌شوند. جاندار نیز با مصرف این ATPها به فعالیت‌های زیستی خود ادامه دهد.

● **خلاصه تخمیر**



انواع تخمیر

در طبیعت انواع مختلفی از تخمیر دیده می‌شـود که مرحلهٔ اول همهٔ آن‌ها، قندکافت یا گلیکولیز می‌باشـد ولی برحسـب مرحلهٔ دوم آن‌ها و **مادهٔ تولید شـده در انتهای آن** به انواعی تقسیم می‌شوند. دو نوع از مهم‌ترین تخمیرها به نام **تخمیر الکلی** و **تخمیر لاکتیکی** معروفند. از تخمیر در واکنش‌های صنایع مختلف مثل تولید نان یا فراورده‌های شیری و خوراکی استفاده می‌شود. در برخی موارد، تخمیر می‌تواند در فاسد کردن مواد غذایی نیز نقش داشته باشد.

شکار تخمیر:

مرحلهٔ اول ← ATP می‌ده واسه زندگی　　مرحلهٔ دوم ← NAD^+ می‌ده واسه ادامه زندگی

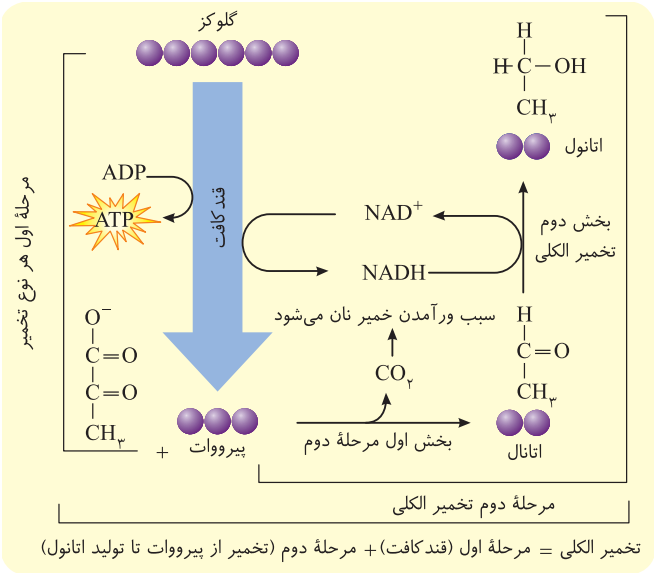
نکته

گیرندهٔ الکترون و پروتون در واکنش‌های قندکافت، NAD^+ می‌باشـد ولی در واکنش‌های مرحلهٔ دوم تخمیر، معمولاً گیرندهٔ الکترون و پروتون، یک مادهٔ آلی می‌باشـد (*در تخمیر الکلی و لاکتیکی همواره یک مادهٔ آلی با گرفتن الکترون و کاهیده شـدن به دوباره‌سـازی NAD^+ می‌پردازد ولی در بیشـتر بدانید که گیرنده بودن برخی مواد معدنی در تخمیر نیز اشاره شده اسـت*).

تخمیر الکلی

نوعـی تنفس **بی‌هوازی** اسـت که نمونـه آن را در قارچ مخمـر نان می‌توان مشاهده کرد. این تخمیر با اضافه کردن قارچ مخمر نان به خمیر نان انجام شـده و باعـث ورآمـدن یا رسـیدن خمیر شـده تا سـبب تردی نان شـود. محصـول مرحلـهٔ اول ایـن تخمیر که بارهـا گفتیم همان قندکافت اسـت و محصـول آن دو مولکـول پیـرووات، دو مولکـول ATP و دو مولکـول $NADH, H^+$ می‌باشد.

مرحلهٔ **دوم** تخمیر **الکلی** خود، دارای دو بخش می‌باشـد. در بخش اول آن یـک CO_2 از پیـرووات جدا می‌شـود و ماده‌ای آلی بـه نام **اتانال** ایجاد می‌شـود. **گاز CO_2 آزاد شـده باعث ورآمدن خمیر نان می‌شود.** در بخش دوم این مرحله، **مادهٔ آلی اتانال** با گرفتن الکترون‌ها و پروتون‌های NADHهای تولید شـده در قندکافت، کاهش یافته (*الکترون مـی‌گیرد و احیا می‌شود*) و ضمن دوباره‌سازی NAD^+، به مولکول الکل اتیلیک (*اتانول*) تبدیل می‌شود.



تخمیر الکلی = مرحلهٔ اول (قندکافت) + مرحلهٔ دوم (تخمیر از پیرووات تا تولید اتانول)

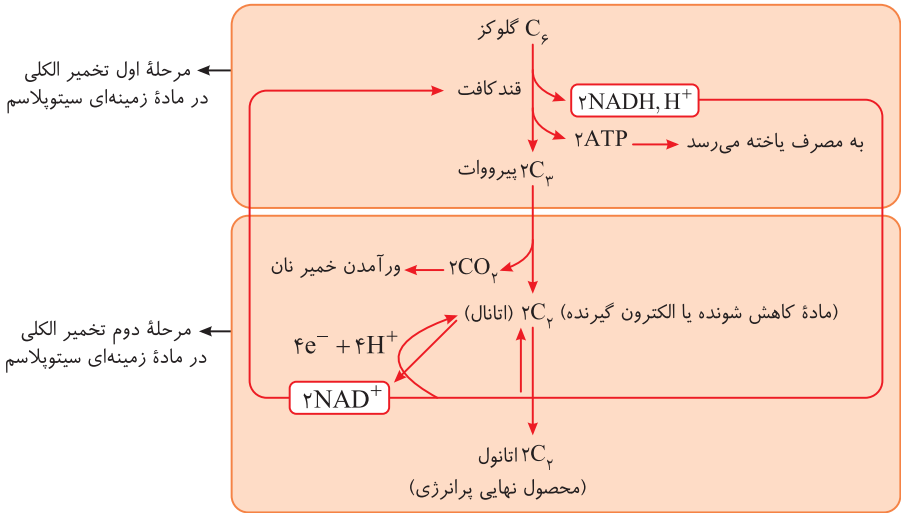
نکته

همهٔ مراحل اول و دوم هر نوع تخمیری، در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم یاخته صورت می‌گیرد.

نکته

تخمیر الکلی **همانند** تنفس هوازی به **تولید** CO_2 می‌پردازد و مرحلهٔ اول آن قندکافت می‌باشد ولی مصرف O_2 و FAD در آن صورت نمی‌گیرد.

● **خلاصه تخمیر الکلی** $C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2$فسفات$ \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$
(اتانول)



◀ جدول زیر واکنش‌ها، پیش‌ماده‌ها و محصولات هر قسمت تخمیر الکلی را نشان می‌دهد:

مراحل تخمیر الکلی	محل واکنش	واکنش	پیش‌ماده‌ها	محصولات	گیرنده نهایی الکترون و پروتون (ماده کاهش یافته)
مرحلهٔ اول (قندکافت)	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	$2ATP$ $2C_3 \leftarrow C_6$ $2NADH, H^+$	C_6 گلوکز $2NAD^+ - 2ADP$	$2C_3$ (پیرووات) $2ATP - 2(NADH, H^+)$	مولکول NAD^+
مرحلهٔ دوم	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	$2CO_2$ (اتانال) $2C_2 \leftarrow 2C_3$ $2C_2 \leftarrow 2C_2$ (اتانال) $2NAD^+$ (اتانول)	دو تا پیرووات دو مولکول NADH	دو مولکول اتانول دو مولکول CO_2 دو تا NAD^+	ماده دو کربنه آلی (اتانال)

تست ۱۵ در تخمیر الکلی بازسازی NAD^+ با استفاده از کدام پذیرندهٔ آلی الکترون انجام می‌گیرد؟

۱) اتانول
۲) $NADH+H^+$
۳) پیرووات حاصل از قندکافت
۴) ترکیب دو کربنی حاصل از تجزیهٔ پیرووات

پاسخ ۴ در تخمیر الکلی، پیرووات با از دست دادن یک CO_2 به ترکیب دو کربنه اتانال تبدیل می‌شود و این ترکیب دو کربنه با گرفتن الکترون‌های H^+ و NADH کاهش یافته و طی آن NAD^+ ساخته می‌شود.

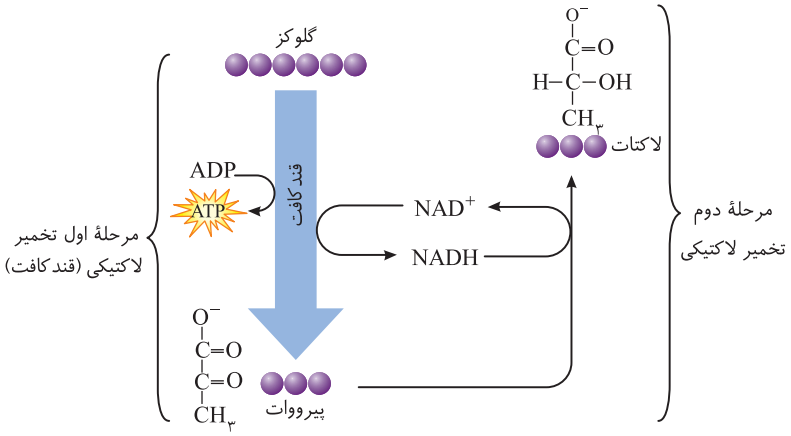
تست ۱۶ در تخمیر الکلی برای تولید اتانول، الکترون‌های یک مولکول ..... منتقل می‌شود.

۱) پیرووات به NAD^+
۲) NADH به ترکیب سه کربنی
۳) NADH به ترکیب دو کربنی
۴) پیرووات به استیل کوآنزیم A

پاسخ ۳ در تخمیر الکلی، الکترون‌های NADH به مادهٔ دو کربنه اتانال حاصل از تجزیه پیرووات منتقل شده و تولید اتانول یا الکل اتیلیک می‌کند.

تخمیر لاکتیکی

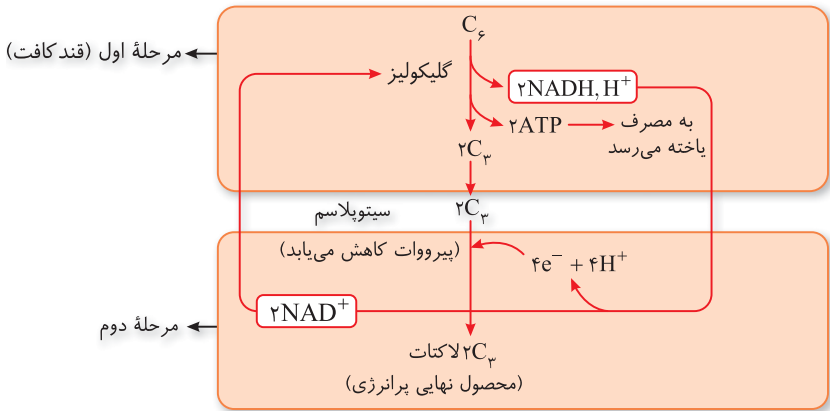
این نوع تخمیر در باکتری‌هایی که سـبب ترش شـدن شیر و فاسد شدن آن می‌شود و انواعی که سبب تولید فراورده‌های غذایی لبنی (*مثل ماست و پنیر*) یا فراورده خوراکی مثل تولید خیارشـور می‌شـوند، دیده می‌شود کـه دلیل ترشـی آن‌ها تولیـد لاکتیک‌اسـید (*لاکتات*) می‌باشـد. همچنین یاخته‌های ماهیچهٔ اسـکلتی انسان در صـورت وجود O_2 کافی، قادر به اکسـایش **کامل** گلوکز در تنفس هوازی و تولید CO_2 به همراه ATP **فراوان هسـتند ولی در صورت نبودن اکسـیژن کافی که مثلاً در فعالیت‌هـای بـدنی و ورزشی شـدید رخ می‌دهد، به تخمیر بی‌هوازی لاکتیکی** می‌پردازند. لاکتات اضافی تجمع یافته در ماهیچه سبب درد و گرفتگی ماهیچه‌ای می‌شود. بعد از استراحت، به تدریج لاکتیک‌اسید اضافی تجزیه شده و اثـرات درد و گرفتگی ماهیچه از بیـن می‌رود. (*این ویژگی فقط در ماهیچهٔ اسکلتی وجود دارد.*)



«تخمیر لاکتیکی. علت ترش شدن شیر، لاکتیک‌اسید است.»

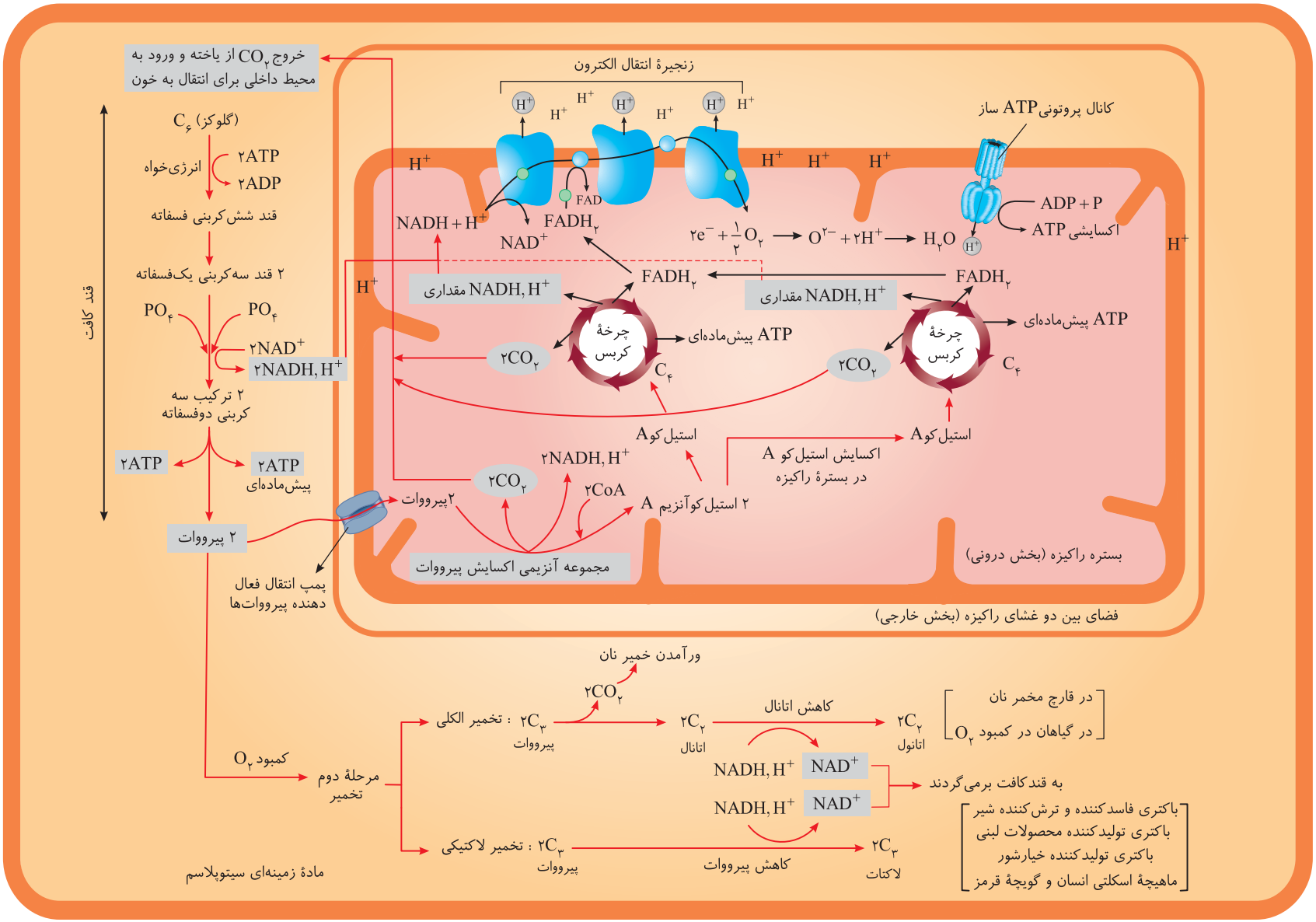
در این نوع تنفس که همانند هر تخمیری کاملاً در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسـم صورت می‌گیرد، باز هم مرحلهٔ اول همان گلیکولیز یا قندکافت اسـت که سـبب تجزیـهٔ گلوکـز بـه پیرووات و تولید دو مولکول ATP به همراه دو مولکول NADH می‌باشـد. در مرحلهٔ دوم تخمیر لاکتیکـی، خود پیرووات، ماده آلی گیرنده الکترون‌ها و پروتون‌های NADH می‌باشد که به لاکتات (*بنیان لاکتیک‌اسید*) تبدیل می‌شوند. این واکنش **یک مرحله‌ای** بوده و CO_2 **ای در این نوع تنفس ایجاد نمی‌شود** بلکه با دوباره‌سازی NAD^+ و الکترون‌گیری مولکول پیرووات، ماده‌ای آلی پرانرژی به نام لاکتات ایجاد می‌شود.

● خلاصه تخمیر لاکتیکی



جدول زیر خلاصه تخمیر لاکتیکی را با پیش‌ماده و محصولات هر مرحله نشان می‌دهد:

مراحل تخمیر لاکتیکی	محل واکنش	واکنش	پیش‌ماده‌ها	محصولات	گیرنده الکترون و پروتون
مرحلهٔ اول (قندکافت)	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	$C_6 \rightarrow 2C_3$ (پیرووات) + $2ATP$ + $2NADH, H^+$	C_6 (گلوکز) $2ADP - 2NAD^+$	$2C_3$ (پیرووات) $2ATP$ $2(NADH, H^+)$	$2NAD^+$
مرحلهٔ دوم	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	$2C_3$ (پیرووات) $+ 2NADH, 2H^+ \rightarrow 2C_3$ (لاکتات) $+ 2NAD^+$	$2C_3$ پیرووات $2NADH, H^+$	$2C_3$ لاکتات $2NAD^+$	پیرووات‌ها


خروج CO_2 از یاخته و ورود به محیط داخلی برای انتقال به خون
زنجیرهٔ انتقال الکترون
کانال پروتونی ATP ساز
قند کافت
C_6 (گلوکز)
انرژی‌خواه
۲ATP
۲ADP
قند شش‌کربنی فسفاته
۲ قند سه‌کربنی یک‌فسفاته
PO_4
PO_4
$۲NAD^+$
$۲NADH, H^+$
۲ ترکیب سه کربنی دوفسفاته
۲ATP
۲ATP پیش‌ماده‌ای
۲ پیرووات
پمپ انتقال فعال دهنده پیرووات‌ها
$NADH + H^+$
NAD^+
FAD
$FADH_2$
$۲e^- + \frac{۱}{۲}O_2 \rightarrow O^{۲-} + ۲H^+ \rightarrow H_2O$
ADP + P
ATP اکسایشی
H^+
مقداری $NADH, H^+$
چرخهٔ کربس
ATP پیش‌ماده‌ای
$۲CO_2$
C_4
استیل کوA
اکسایش استیل کو A در بسترهٔ راکیزه
۲ استیل کوآنزیم A
۲CoA
$۲NADH, H^+$
۲پیرووات
مجموعه آنزیمی اکسایش پیرووات
بستره راکیزه (بخش درونی)
فضای بین دو غشای راکیزه (بخش خارجی)
ورآمدن خمیر نان
کمبود O_2
مرحلهٔ دوم تخمیر
تخمیر الکلی : $۲C_3$ پیرووات
$۲CO_2$
$۲C_2$ اتانال
کاهش اتانال
$۲C_2$ اتانول
در قارچ مخمر نان
در گیاهان در کمبود O_2
$NADH, H^+$ NAD^+
به قندکافت برمی‌گردند
تخمیر لاکتیکی : $۲C_3$ پیرووات
کاهش پیرووات
$۲C_3$ لاکتات
باکتری فاسدکننده و ترش‌کننده شیر
باکتری تولیدکننده محصولات لبنی
باکتری تولیدکننده خیارشور
ماهیچهٔ اسکلتی انسان و گویچهٔ قرمز
مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم

نکاتی از تخمیر

۱) در تخمیـر الکلـی و لاکتیکـی برخلاف تنفس هوازی، گیرنـده نهایی الکترون و پروتون، **یک مادهٔ آلی** می‌باشـد. *(در تخمیر، NAD^+ بـه کمک یک پذیرندهٔ آلی دوباره‌سازی می‌شود.)*

۲) در تخمیر الکلی و تنفس هوازی برخلاف تخمیر لاکتیکی، CO_2 تولید می‌شود. *(عدم تولید CO_2 فقط در تنفس لاکتیکی دیده می‌شود.)*

۳) در هر نوع **تخمیری**، مراحل بعد از قندکافت، قدرت تولید ATP ندارند.

۴) **در صورت نبودن** O_2 کافی به عنوان آخرین پذیرندهٔ الکترون و پروتون واکنش‌های تنفس هوازی، زنجیرهٔ انتقال الکترون در یاخته کارآمد نمی‌باشد. به همین دلیل فرایندهای تخمیر، به سمت گرفتن الکترون و پروتون می‌روند.

۵) در تنفس هوازی، مراحلی که تولید CO_2 می‌کنند به تولید NADH نیز می‌پردازند ولی در تخمیر الکلی، CO_2 تولید می‌شود و سپس با تجزیه NADH، مولکول NAD^+ تولید می‌شود. *(تولید CO_2 در تنفس بی‌هوازی همراه با تولید NADH نمی‌باشد.)*

۶) تارهای ماهیچهٔ اسکلتی، گویچه‌های قرمز خونی، قارچ‌های مخمر و یاخته آبکشی بالغ در گیاهان، با اینکه مربوط به جاندار یوکاریوتی هستند ولی قدرت انجام تخمیر بی‌هوازی دارند. *(گویچه‌های قرمز و یاخته آبکش بالغ هسته ندارند.)*

۷) گیاهانی که به‌طور **طبیعی** در شرایط غرقابی رشد می‌کنند، هم تولید هورمون اتیلن در آن‌ها بالاست و هم با ایجاد بافت‌های پارانشیمی هوادار یا شُش ریشه‌ها که در درختان حرا دیده می‌شود، سازوکارهایی برای تأمین اکسیژن فراهم کرده‌اند. البته هر دو نوع تخمیر الکلی و لاکتیکی در موارد کمبود اکسیژن در گیاهان مختلف دیده می‌شود که تجمع **الکل یا لاکتیک‌اسید** در یاخته گیاهی، سبب مرگ می‌شود. به همین دلیل این محصولات سریعاً باید از یاخته دور شوند.

۸) واکنش‌هایی که مرتبط با تنفس یاخته‌ای و فتوسنتز بوده و به تولید CO_2 می‌پردازند.
- الف) واکنش‌های تخمیر الکلی در تجزیه پیروات به اتانال
- ب) واکنش تبدیل پیروات به استیل‌کوآنزیم A در تنفس هوازی
- ج) واکنش تبدیل ماده شش کربنه به پنج کربنه در چرخهٔ کربس
- د) واکنش تبدیل ماده پنج کربنه به چهار کربنه در چرخهٔ کربس
- هـ) تجزیهٔ بی‌کربنات و $HbCO_2$ *(هموگلوبین ترکیب شده با CO_2)* در مویرگ مجاور شش‌های انسان برای خروج CO_2 تنفسی.
- و) تبدیل اسید C_4 به CO_2 و اسید C_3 در غلاف آوندی گیاهان C_4 *(فصل ۶)*
- ز) تبدیل اسید C_4 به CO_2 و اسید C_3 در گیاهان CAM *(فصل ۶)*
- ح) آزاد شدن CO_2 از مادهٔ دو کربنی در راکیزه در انتهای تنفس نوری *(فصل ۶)*

۹) واکنش‌هایی که به تولید ATP می‌انجامند
- ۱) مرحلهٔ آخر قندکافت
- ۲) مرحله‌ای از چرخهٔ کربس
  - تولید ATP در سطح پیش‌ماده
- ۳) واکنش‌های مرتبط با زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه (ATP آب‌پز)
- ۴) تولید ATP نوری در واکنش‌های نوری فتوسنتز *(فصل ۶)*
- ۵) تجزیهٔ کراتین فسفات و تولید کراتین

۱۰) واکنش‌های بازسازی NAD^+
- در تنفس هوازی
  - با الکترون‌گیری O_2 معدنی
  - در سطح درونی راکیزه در پمپ اول زنجیرهٔ انتقال الکترون
- در تنفس بی‌هوازی
  - تخمیر الکلی
    - همراه با تولید اتانول از اتانال
    - در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم
  - تخمیرلاکتیکی
    - همراه با تولید لاکتات از پیروات

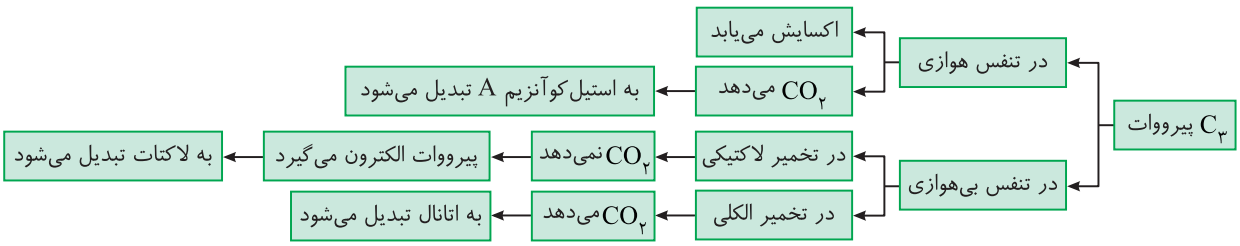
۱۱) مرحلهٔ دوم هر تخمیری، فرایندی از نوع الکترون‌گیری یا کاهشی برای دوباره‌سازی NAD^+ در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم می‌باشد.

۱۲) **اکسایش یا الکترون‌دهی پیروات** مربوط به تنفس هوازی در بخش درونی راکیزه برای ایجاد استیل‌کوآنزیم A می‌باشد.

۱۳) **کاهش یا الکترون‌گیری پیروات** مربوط به تخمیر لاکتیکی در سیتوپلاسم می‌باشد که به تولید لاکتات یا لاکتیک‌اسید می‌انجامد.

۱۴) در تخمیر لاکتیکی عدد اکسـایش کربن در لاکتات از پیروات کمتر می‌باشـد و در تخمیر الکلی، عدد اکسـایش اتانول از اتانال کمتر می‌باشـد چون شکل کاهش یافته ماده قبلی می‌باشد.

۱۵) واکنش‌هایی که منجر به آزادسازی CO_2 از پیروات می‌شود را هم در **تنفس هوازی** و همراه **اکسایش** آن برای تبدیل به استیل‌کوآنزیم A و هم در **تخمیر الکلی** و همراه با **تولید اتانال** می‌توان مشاهده کرد.



۱۶) جدول مقایسه تخمیر الکلی و لاکتیکی به صورت زیر می‌باشد:

نوع تخمیر	نوع جاندار	ماده نهایی الکترون گیرنده از NADH	بازده نهایی محصولات
الکلی	قارچ تولید نان	اتانال دو کربنه	$2C_2+2CO_2+2ATP$ اتانول
لاکتیکی	باکتری تولید محصولات لبنی باکتری فاسدکننده شیر باکتری تولید خیارشور ماهیچهٔ اسکلتی انسان (گویچه‌های قرمز خونی Rbc)	پیروات سه کربنه	$2C_3+2ATP$ لاکتات

تست ۱۷ **در تخمیر لاکتیکی ..... تخمیر الکلی، ..... تولید نمی‌شود.**

۱) برخلاف - ATP ۲) همانند - NAD^+ ۳) همانند - ماده دو کربنه ۴) برخلاف - CO_2

پاسخ ۴ در تخمیر لاکتیکی، CO_2 تولید نمی‌شود ولی در مرحلهٔ دوم هر دو تخمیر الکلی و لاکتیکی، تولید ATP وجود ندارد. NAD^+ در هر تخمیری دوباره‌سازی می‌شود ولی تولید ماده دو کربنه ویژهٔ تخمیر الکلی است.

تست ۱۸ **در تار ماهیچه‌ای، در صورت وجود اکسیژن کافی، پیروات در ..... به ..... تبدیل می‌شود.**

۱) مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم - لاکتیک‌اسید ۲) مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم - بنیان استیل
۳) بستره راکیزه - لاکتیک‌اسید ۴) بستره راکیزه - بنیان استیل

پاسخ ۴ اگر O_2 محیط کافی باشد، یاخته پس از قندکافت، از اکسایش پیروات در راکیزه‌ها، استیل CoA ایجاد می‌کند که این فرایند در بستره یا بخش درونی راکیزه‌ها رخ می‌دهد.

تست ۱۹ **در تخمیر الکلی، پذیرندهٔ اولیه الکترون ..... است که در ..... بازسازی شده است.**

۱) ترکیب دو کربنی - مرحلهٔ آخر قندکافت ۲) ترکیب دو کربنی - مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم
۳) NAD^+ - در ضمن مصرف اتانال ۴) NAD^+ - ضمن ایجاد اتانال

پاسخ ۳ وقتی صحبت کلی از تخمیر می‌شود، دقت کنید که واکنش‌های قندکافت نیز مرحلهٔ اول تخمیر به حساب می‌آیند. در هر نوع تنفس یاخته‌ای، NAD^+ اولین مولکول گیرنده الکترون می‌باشد. همان‌طور که می‌دانید NAD^+ در مرحلهٔ دوم تخمیر الکلی و هم‌زمان با تبدیل اتانال به اتانول دوباره‌سازی می‌شود.

گیرنده‌های الکترونی:

نوع تنفس	اولین نوع گیرنده الکترونی	دومین نوع گیرنده الکترونی	سومین نوع گیرنده الکترونی
هوازی	NAD^+ قندکافت	FAD در چرخهٔ کربس	O_2 در انتهای زنجیرهٔ انتقال الکترون
تخمیر الکلی	NAD^+ قندکافت	اتانال دو کربنی	ندارد
تخمیر لاکتیکی	NAD^+ قندکافت	پیروات سه کربنی	ندارد

تست ۲۰ **کدام در انجام مرحلهٔ دوم فرایند تخمیر مؤثر نیست؟**

۱) تراکم خیلی زیاد $NADH, H^+$ ۲) تراکم زیاد NAD^+
۳) وجود یک پذیرندهٔ آلی هیدروژن ۴) فقدان آخرین پذیرندهٔ الکترون

پاسخ ۲ وقتی تراکم NAD^+ در یاخته زیاد است دیگر نیاز به تخمیر نیست زیرا هدف اصلی فرایند مرحلهٔ دوم تخمیر، تولید NAD^+ می‌باشد. تراکم خیلی زیاد NADH در یاخته، فقدان آخرین پذیرندهٔ الکترون یعنی اکسیژن و وجود پذیرندهٔ آلی الکترونی باعث می‌شود که تنفس بی‌هوازی به صورت تخمیر ادامه یابد.

تست ۲۱ **در تخمیر لاکتیکی ..... نمی‌شود.**

۱) NADH به NAD^+ ، تبدیل ۲) ترکیب سه کربنه، کاهیده
۳) کربن دی‌اکسید از ترکیب سه کربنه، تولید ۴) ترکیب سه کربنه دو فسفاته از ترکیب سه کربنه یک فسفاته، تولید

پاسخ ۳ هدف اصلی از انجام تخمیر لاکتیکی، تولید $NADH, H^+$ از NAD^+ می‌باشد که طی آن خود پیروات (ترکیب سه‌کربنی) کاهش می‌یابد و ترکیب سه‌کربنی دیگری به نام لاکتات را تولید می‌کند، اما طی این واکنش‌ها، CO_2 ای تولید نمی‌شود. (گزینهٔ ۴) در قندکافت که مرحلهٔ اول تخمیر است رخ می‌دهد.)

تست ۲۲ **در مرحلهٔ دوم تخمیر لاکتیکی برخلاف مرحلهٔ دوم تخمیر الکلی، ..... تولید نمی‌شود.**

۱) ATP ۲) NAD^+ ۳) $NADH+H^+$ ۴) CO_2

پاسخ ۴ تخمیر لاکتیکی در نهایت دو تا لاکتات سه کربنه می‌سازد و CO_2 در آن تولید نمی‌شود ولی هر دو تخمیر دوباره‌سازی NAD^+ دارند.

تست ۲۳ در شرایطی که یک یاخته با مصرف گلوکز، ..... بسازد، این واکنش توانایی تولید ..... را ندارد.

۱) لاکتات - NAD^+ ۲) اتانول - NADH ۳) پیرووات - کربن دی‌اکسید ۴) استیل کوآنزیم A - لاکتات

پاسخ ۴ تولید **استیل CoA** در یک واکنش، نشان دهنده **هوازی** بودن تنفس می‌باشد که در این نوع تنفس اتانول و لاکتات تولید نمی‌شود. (گزینهٔ (۱) و (۲) در مورد تخمیرهای متنوع و گزینهٔ (۳) در تنفس هوازی رخ می‌دهد.)

تست ۲۴ در همهٔ باکتری‌ها ..... یاخته‌های ماهیچه‌ای انسان ..... ساخته می‌شود.

۱) همانند - CO_2 ۲) همانند - NADH ۳) برخلاف - اتانول ۴) برخلاف - گلوکز

پاسخ ۲ همهٔ یاخته‌های زندهٔ طبیعت می‌توانند در قندکافت یا واکنش‌های قندکافت، NADH بسازند ولی ساخت گلوکز مخصوص فتوسنتزکننده‌هاست، تولید CO_2 و اتانول نیز در تخمیر لاکتیکی صورت نمی‌گیرد.

سلامت بدن (پاداکسنده‌ها)

تعریف رادیکال‌های آزاد: رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها یا ترکیباتی با الکترون‌های **جفت نشده** می‌باشند که قدرت واکنش‌پذیری بالایی دارند. این رادیکال‌های آزاد می‌توانند در واکنش با **مولکول‌های تشکیل دهنده بافت‌های بدن** به آن‌ها آسیب برسانند.

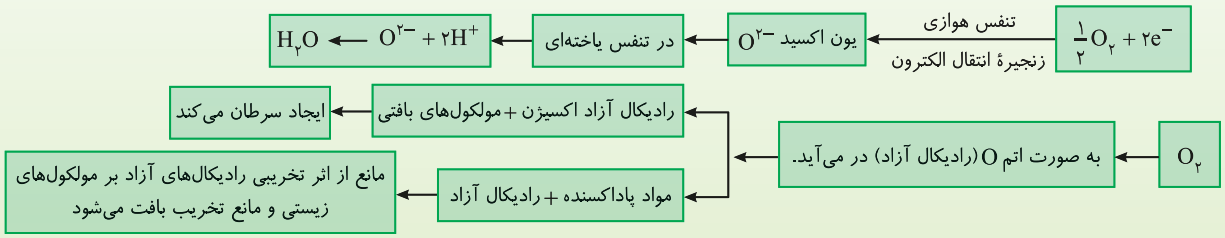
لازم به ذکر می‌باشد که رادیکال‌های آزادی که در راکیزه ایجاد می‌شوند، مانند سایر رادیکال‌های آزاد می‌توانند با **مولکول‌های تشکیل دهنده بافت‌های بدن** واکنش دهند و الکترون‌های خود را جفت کنند، **در این صورت احتمال ایجاد سرطان را بالا می‌برند.** در مرحلهٔ آخر تنفس هوازی، مولکول‌های اکسیژن ابتدا به صورت اتم اکسیژن درمی‌آیند و سپس اغلب ابتدا با الکترون‌های آزاد ترکیب می‌شوند و به صورت یون اکسید دو بار منفی (O^{2-}) درمی‌آیند، گاهی ممکن است قبل از پیوند این یون‌ها با پروتون‌ها برای تشکیل آب، درصدی از این اکسیژن‌های اتمی، تبدیل به رادیکال آزاد شده و با مولکول‌های بدن واکنش دهند و ایجاد بیماری کنند. به همین دلیل **راکیزه‌ها** نیز مانند سایر اندامک‌ها به مواد پاداکسنده‌ای مثل **کاروتنوئیدها** یا **رنگیزه‌های درون واکوئول‌ها** نیاز دارند تا با واکنش بین رادیکال‌های آزاد **و پاداکسنده‌ها**، از اثر تخریبی این رادیکال‌ها ممانعت به عمل بیاید.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) عزیزان توجه کنید که انواع مختلفی رادیکال آزاد وجود دارد که یکی از آن‌ها رادیکال آزاد اکسیژن می‌باشد.

۲) از کتاب دهم به یاد دارید که مواد رنگی درون واکوئول‌ها (آنتوسیانین‌ها) و مواد رنگی پلاستیدهای رنگی (کاروتنوئیدهایی مثل کاروتن و...)، از مواد پاداکسنده‌ای هستند که در پیشگیری از سرطان و بهبود کارکرد **مغز و اندام‌های دیگر** نقش مثبت دارند. به همین دلیل خوردن **میوه و سبزیجات**، در حفظ سلامت بدن مؤثر است.

۳) مقصد یون اکسید (O^{2-}) تولید شده در تنفس هوازی در بدن:



تجمع رادیکال‌های آزاد

اگر به هر دلیلی، سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از سرعت مبارزه با آن‌ها یا خنثی کردن آن‌ها توسط موادی مثل پاداکسنده‌ها، بیشتر باشد، تجمع رادیکال آزاد در راکیزه ایجاد شده که در این صورت **راکیزه تخریب شده** و در ادامه **سبب نابودی یاخته** می‌شود. عواملی از نوع **نقص‌های ژنی** یا **مصرف زیاد الکل** سبب می‌شود که مبارزه راکیزه‌ها با رادیکال‌های آزاد و ترکیب شدن آن‌ها با مواد پاداکسنده به مشکل برخورد کند و در نتیجه سرعت تخریب یاخته و بافت در بدن زیاد شود که در ادامه به بررسی این عوامل می‌پردازیم.

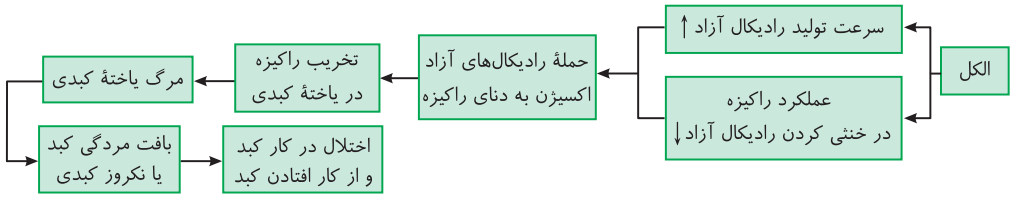
● اثر الکل بر ایجاد رادیکال آزاد

نوشیدن مشروبات الکلی، **سبب افزایش سرعت تشکیل** رادیکال‌های آزاد **اکسیژن** در راکیزه‌های **یاخته‌های کبدی** می‌شود. در این صورت راکیزه قدرت ترکیب کردن همهٔ اکسیژن‌ها با پروتون و تشکیل آب ندارد. با حملهٔ رادیکال‌های آزاد حاصل از اکسیژن درون راکیزه به **DNA حلقوی این اندامک**، ساخت اغلب پروتئین‌های تنفس یاخته‌ای و سایر فعالیت‌های راکیزه مختل می‌شود. از بین رفتن DNA راکیزه سبب مرگ یاخته‌های کبدی و نکروز یا مرگ بافت کبدی می‌شود. به همین دلیل یکی از اثرات کشنده اعتیاد به الکل، **اختلال در کار کبد** می‌باشد.

نکته

الکل علاوه بر اینکه سرعت تشکیل رادیکال آزاد از اکسیژن را بالا می‌برد، مانع خنثی شدن این رادیکال‌های آزاد نیز می‌شود یعنی مانع ترکیب آن‌ها با مواد پاداکسنده می‌شود. به همین دلیل مصرف زیاد الکل سبب اختلال در بقای دنای راکیزه و مرگ یاختهٔ کبدی می‌شود و احتمال سرطان‌زایی را بالا می‌برد.

اثر الکل بر ایجاد رادیکال آزاد حاصل از اکسیژن‌های ترکیب نشده با الکترون:



یادآوری

در سال قبل آموختید که کمترین مقدار الکل (*اتانول*) نیز بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد چون هم از دستگاه گوارش به سرعت جذب می‌شود و هم روی مغز اثر می‌گذارد تا علاوه بر دوپامین انواعی از ناقل‌های تحریک‌کننده و بازدارنده را ترشح کند. همچنین این ماده در ایجاد گامت نامناسب و تشکیل ناهنجاری کروموزومی بین نسل‌ها اثرگذار است.

● تأثیر نقص ژنی در ایجاد رادیکال‌های آزاد

همان‌طور که می‌دانید ساخت برخی پروتئین‌های مورد نیاز تنفس یاخته‌ای بر عهدهٔ ژن‌های راکیزه و برخی بر عهدهٔ هسته می‌باشد. پروتئین‌هایی که باعث انتقال فعال H^+ می‌شوند نیز از همین پروتئین‌ها می‌باشند. مثلاً برخی از آن‌ها مثل پمپ سوم، سبب ورود الکترون‌ها به بستره و ترکیب آن‌ها با اکسیژن شده و سپس ترکیب یون اکسید با پروتون‌ها باعث کامل شدن فرایند ایجاد آب می‌شود.

در برخی موارد، **نقص ژنی** مربوط به ساخت **پروتئین‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون** رخ می‌دهد و پروتئین‌های **غیرعادی** می‌سازد، راکیزه‌ای که این پروتئین‌های معیوب را دارد، نمی‌تواند سبب ایجاد یون اکسید (O^{2-}) و ترکیب آن‌ها با پروتون شود، در نتیجه این راکیزه‌ها، عملکرد تنفسی مناسب و قدرت کافی برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد نخواهند داشت.

توقف انتقال الکترون و نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) مواد سمی **زیادی** وجود دارند که با مهار **یک یا تعدادی** از واکنش‌های تنفس **هوازی**، سبب توقف این نوع تنفس و تولید ATP اکسایشی شده که به دنبال آن مرگ یاخته‌ای و در صورت تأثیر وسیع مرگ ایجاد می‌شود.

۲) موادی سمی مثل سیانیدهای آزاد شده از ترکیبات سیانیددار و مونواکسید کربن می‌توانند زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه‌ای را مختل کنند و **مانع رسیدن الکترون به اکسیژن** شوند. این مواد سمی مانع تولید یون اکسید می‌شوند و در ادامه سبب توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون و توقف تولید ATP اکسایشی می‌شوند.

۳) **سیانید** نوعی مادهٔ **سمی** است که **پمپ سوم** زنجیرهٔ انتقال الکترون را مهار کرده و مانع واکنش **نهایی** آن برای انتقال الکترون‌ها به مولکول اکسیژن و تشکیل O^{2-} می‌شود. در حقیقت سیانیدها مستقیماً **مانع ایجاد یون اکسید** می‌شوند ولی به‌طور غیرمستقیم باعث توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون شده و در نهایت تولید ATP اکسایشی را مهار می‌کنند که در نهایت سبب مرگ یاخته‌ای و یا حتی مرگ جاندار می‌شوند.

نکته مهم

چون سیانیدها، **مراحل نهایی** زنجیرهٔ انتقال الکترون در رسیدن الکترون به O_2 را متوقف می‌کنند، پس در دوباره‌سازی NAD^+ یا FAD که در مراحل ابتدایی زنجیره صورت می‌گیرد، مستقیماً تأثیری ندارند.

۴) **کربن مونواکسید**، گازی سمی است که وقتی از طریق دود سیگار یا دود خارج شده از خودروها با تنفس وارد خون شود، تمایل زیادی به ترکیب شدن **پایدار** با هموگلوبین دارد. **این گاز سمی به محل اتصال اکسیژن در هموگلوبین متصل می‌شود** ولی **برخلاف** اکسیژن اتصال **پایداری** با این مولکول پروتئینی دارد و به سختی از آن جدا می‌شود و شخص را دچار گاز گرفتگی می‌کند. اتصال این گاز به هموگلوبین سبب عدم اتصال مقدار مناسب اکسیژن به هموگلوبین می‌شود. با کمبود اکسیژن خون و اکسیژن بافت‌ها، واکنش‌های تنفس هوازی دچار اختلال می‌شود و شخص دچار کمبود انرژی می‌شود.

۵) وجود کربن مونواکسید، سبب **توقف واکنش‌های مربوط به انتقال الکترون به اکسیژن** نیز می‌شود و با ایجاد اشکال در زنجیرهٔ انتقال الکترون تولید ATP اکسایشی را نیز کاهش می‌دهد. در حقیقت مونواکسید کربن، همانند سم سیانید، مانع تولید یون اکسید تنفسی (O^{2-}) می‌شود. این مواد نه تنها احتمال ایجاد رادیکال آزاد از اکسیژن را به‌طور غیرمستقیم بالا می‌برند بلکه کارایی تنفسی جاندار را کاهش می‌دهند.

عامل مؤثر	اثر در تولید رادیکال آزاد اکسید	اثر در خنثی کردن یون اکسید (O^{2-})
الکل	سرعت تولید رادیکال آزاد از اکسیژن را بالا می‌برد.	قدرت راکیزه را در خنثی کردن O^{2-} پایین می‌آورد.
نقص ژنی	کتاب به این موضوع اشاره‌ای نکرده است.	با تولید پروتئین معیوب در زنجیرهٔ انتقال الکترون، مانع ترکیب یون اکسید (O^{2-}) با پروتون می‌شود و مقدار بیشتری از اتم‌های اکسیژن می‌توانند به رادیکال آزاد تبدیل شوند.
ترکیبات سیانیددار و مونواکسید کربن	مانع مرحلهٔ نهایی الکترون‌رسانی به O_2 شده و مانع ایجاد یون اکسید می‌شوند. یعنی سبب توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون و ATPسازی می‌شوند.	-

نکته

کربن مونواکسید از روش دیگری هم باعث کاهش کارایی تنفس می‌شود که ارتباطی به رادیکال‌های آزاد ندارد.

تست ۲۵ **چند مورد زیر دربارهٔ عوامل مؤثر در تنفس یاخته‌ای، نادرست می‌باشد؟**

الف) مونواکسید کربن و سیانید از عوامل ایجادکننده یون اکسید به عنوان رادیکال‌های آزاد در تنفس یاخته‌ای می‌باشند.

ب) سیانید در انتقال الکترون بین پمپ‌های زنجیرهٔ انتقال الکترونی راکیزه اختلال ایجاد می‌کند.

ج) تولید اتانول زیاد برخلاف ترکیبات سیانیددار، در گیاه سبب مرگ یاخته‌ای می‌شود.

د) مونواکسید کربن با اتصال به هموگلوبین سبب توقف واکنش انتقال الکترون به اکسیژن می‌شود.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (الف)، (ب) و (د) نادرست هستند. در گیاهان تجمع اتانول و لاکتیک‌اسید سبب مرگ یاخته‌های گیاهی می‌شوند ولی ترکیبات سیانیددار گیاهی برای خود گیاه مضر نمی‌باشد (درست ج).

تله‌های تستی الف) مونواکسید کربن و سیانیدها مانع ایجاد یون اکسید می‌شود (که این یون رادیکال آزاد نمی‌باشد). این مواد مانع عمل زنجیرهٔ انتقال الکترون شده و از انتقال الکترون به اکسیژن و تولید یون اکسید اکسیژنی ممانعت می‌کنند. / ب) سیانیدها در مراحل **نهایی** انتقال الکترون در زنجیرهٔ انتقال الکترونی، مهار یا اختلال ایجاد می‌کنند ولی در مراحل اولیه که الکترون بین پمپ‌ها منتقل می‌شود اثر زیادی ندارند. / د) مونواکسید کربن دو اثر دارد، یکی با اتصال به هموگلوبین و ظرفیت حمل O_2 خون را **کاهش** می‌دهد و دیگری توقف در زنجیرهٔ انتقال الکترون برای رساندن الکترون‌ها به اکسیژن عمل می‌کند (توجه داشته باشید که این دو مکانیسم، متفاوت هستند و ربطی به هم ندارند).

تست ۲۶ **در انسان، محصول نهایی نوعی تنفس یاخته‌ای سبب افزایش احتمال حمله رادیکال‌های آزاد به DNA حلقوی می‌شود، در این نوع تنفس چند واکنش زیر رخ نمی‌دهد؟**

الف) تولید ATP در عدم وجود اکسیژن

ب) بازدهی ATP و CO_2 در مرحلهٔ دوم تنفس آن

ج) تولید ماده‌ای که سبب درد ماهیچه‌ای در ورزش طولانی می‌شود.

د) تولید $FADH_2$ و $NADH_2$ در حین اکسایش ماده دو کربنی

۱) ۳ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۴ مورد **۴)** ۱ مورد

پاسخ ۱ موارد (ب)، (ج) و (د) رخ نمی‌دهند.

منظور سؤال **تخمیر الکلی** است که الکل حاصله می‌تواند با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد سبب تخریب دنای راکیزه و مرگ یاختهٔ کبدی شود.

تله‌های تستی الف) رخ می‌دهد. مرحلهٔ اول تخمیر، همان قندکافت است که بدون نیاز به O_2 می‌تواند ATP در سطح پیش‌ماده ایجاد کند. / ب) رخ نمی‌دهد. مرحلهٔ دوم تخمیر یعنی مراحل پس از قندکافت، که تولید ATP در این مراحل صورت نمی‌گیرد.

نکته: تمام ATP محصول تخمیر در مرحلهٔ اول و همهٔ NAD^+ محصول آن در مرحلهٔ دوم ایجاد می‌شوند.

ج) رخ نمی‌دهد. تجمع لاکتیک‌اسید در ماهیچه سبب درد ماهیچه‌ای می‌شود که در تخمیر لاکتیکی ایجاد می‌شود نه الکلی!! / د) رخ نمی‌دهد. ایجاد $FADH_2$ و $NADH_2$ به‌طور هم‌زمان در واکنش‌های اکسایش ماده دو کربنی استیل در چرخهٔ کربس رخ می‌دهد ولی در تخمیر که بی‌هوازی است تولید $FADH_2$ صورت نمی‌گیرد.

تست ۲۷ **سیانید به کدام طریق بر یاختهٔ جانوری تأثیر می‌گذارد؟**

۱) آنزیم ATP ساز موجود در غشای خارجی راکیزه (میتوکندری) را غیرفعال می‌سازد.

۲) مانع از پمپ شدن یون‌های هیدروژن به فضای داخلی راکیزه (میتوکندری) می‌شود.

۳) از تشکیل آب در بخش داخلی راکیزه (میتوکندری) ممانعت به عمل می‌آورد.

۴) ابتدا بر تجزیهٔ NADH تأثیر می‌نماید.

پاسخ ۳ سیانیدها مانع ورود الکترون‌ها به بستره شده و تولید آب را مختل می‌کنند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): این آنزیم‌ها در غشای درونی راکیزه قرار دارند. / گزینهٔ (۲): سیانید روی ورود H^+ نقشی ندارد. / گزینهٔ (۴): سیانید روی تجزیهٔ NADH اثری ندارد.

یادآوری

۱) به یاد دارید که **سیانیدها و آرسنیک‌ها** موادی سمی هستند که سبب **پر شدن جایگاه فعال آنزیم‌ها** می‌شوند و اتصال پیش‌ماده به آنزیم را مهار می‌کنند.

۲) برخی گیاهان، **ترکیباتی سیانیددار** تولید می‌کنند که **با توقف در تنفس یاخته‌ای**، سبب مرگ یا بیماری در گیاه‌خواران می‌شوند. جالب است بدانید که این ترکیبات سیانیددار روی تنفس یاخته‌ای خود گیاه اثری ندارد ولی در جانور گیاه‌خوار، این **ترکیبات تجزیه شده** و سیانید سمی جدا شده از آن، سبب توقف تنفس یاخته‌ای در جانور فوق می‌شود (زیست یازدهم).

فصل ششم

از انرژی به ماده

درسنامه

در فصل قبل به‌طور کامل بررسی کردیم که چگونه طی انواع واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، مولکول گلوکز تجزیه می‌شود و انرژی ذخیره شده در پیوندهای کربن - هیدروژن آن صرف تولید ATP می‌شود. جاندار پس از تنفس یاخته‌ای، فعالیت‌های خود را با تجزیه ATP و آزاد کردن انرژی انجام می‌دهد. در این فصل به دنبال پاسخ به این پرسش هستیم که چگونه توسط برخی جانداران، مواد آلی مثل گلوکز تولید می‌شوند و در حقیقت انرژی پیوندهای کربن - هیدروژن آن‌ها در اثر چه واکنش‌هایی و از چه منابعی تأمین شده است!؟

در این فصل ابتدا می‌خواهیم بررسی کنیم که جانداران تولیدکننده و مصرف‌کننده چه تفاوت‌هایی با هم دارند و اینکه جانداران تولیدکنندهٔ مواد آلی، طی چه واکنش‌هایی و از چه منابعی، انرژی می‌گیرند تا گلوکز و سایر مواد آلی را پرانرژی بسازند که **البته ۹۹ درصد جواب این سؤالات به نور خورشید برمی‌گردد که منبع اصلی انرژی در طبیعت است!** در ادامه نیز به روش‌های تولید مواد آلی از مواد معدنی در محیط‌های متفاوت و جانداران مختلف می‌پردازیم.

انواع جانداران از نظر سوخت‌وساز مواد آلی

در فصل قبل آموختیم که همهٔ جانداران (*باکتری‌ها، قارچ‌ها، آغازیان، گیاهان و جانوران*) قادرند طی فرایندهای تنفس یاخته‌ای، مولکول گلوکز را تجزیه کنند و از آن ATP به دست بیاورند. **در این فصل به دنبال روش‌های ساخت مواد آلی هستیم!**

الف) جانداران مصرف‌کننده

این جانداران که شامل همهٔ جانوران، همهٔ قارچ‌ها، اغلب باکتری‌ها و برخی آغازیان می‌شوند، قدرت تولید مواد آلی را از مواد کانی (*معدنی*) ندارند. این جانداران از **مواد آلی** انرژی به دست می‌آورند.

نکته

دقت کنید که مصرف‌کننده‌ها، می‌توانند مواد آلی را با تغییر و تبدیل مواد آلی به همدیگر ایجاد کنند ولی **نمی‌توانند مواد معدنی را به مواد آلی تبدیل کنند.** مثلاً انسان، موجودی مصرف‌کننده می‌باشد که قادر است طی همانندسازی، ماده آلی DNA و طی ترجمه ماده آلی پروتئینی بسازد ولی این مواد را از تبدیل مواد آلی به همدیگر ایجاد می‌کند.

یادآوری

دوستان عزیزم در تست‌ها به یک نکته از کتاب زیست دهم، خیلی دقت کنید. در بدن انسان، کبد توانایی دارد با ترکیب مواد معدنی مثل آمونیاک و CO_2، ماده آلی زائد نیتروژن‌دار **اوره** تولید کند. این مورد را در تست‌ها در مورد اندام تولیدکنندهٔ مواد آلی در جانوران همواره به خاطر داشته باشید!

ب) جانداران تولیدکننده یا سنتزکننده

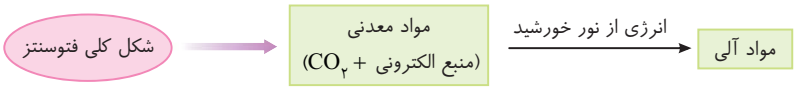
این گروه شامل گیاهان، برخی باکتری‌ها و برخی آغازیان (*مثل جلبک‌ها و برخی اوگلناها*) می‌باشند که **قادرند مواد معدنی را با گرفتن انرژی و الکترون، به مواد آلی پرانرژی تبدیل کنند.** جانداران تولیدکننده برحسب **منبع انرژی** آن‌ها که باعث تبدیل مواد معدنی به آلی می‌شود به دو دستهٔ **فتوسنتزکننده** و **شیمیوسنتزکننده** تبدیل می‌شوند که ابتدا به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

مادهٔ آلی ← (انرژی) مادهٔ الکترون دهنده + CO_2

وظیفهٔ مشترک هر تولیدکننده در طبیعت

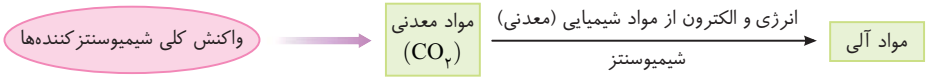
A) جانداران فتوسنتزکننده

این گروه شـامل گیاهان، برخی آغازیان و برخی باکتری‌ها می‌شـود که **انرژی** تبدیل مواد معدنی به آلی را **فقط** از **نور خورشـید** تأمین می‌کنند. در حقیقت این گروه انرژی نور خورشید را می‌گیرند و طی واکنش‌هایی که به‌طور مفصل در این فصل می‌خوانیم این انرژی را در پیوندهای کربن - هیدروژنِ گلوکز و سایر مواد آلی ذخیره می‌کنند. در واکنش‌های فتوسـنتزی، **همواره** CO_2 **مصرف می‌شـود** و با اسـتفاده از **انرژی نور خورشـید**، مادهٔ آلی قندی تولید می‌شود ولی **منبع الکترون** این واکنش می‌تواند **متفاوت** باشد.



B) جانداران شیمیوسنتزکننده

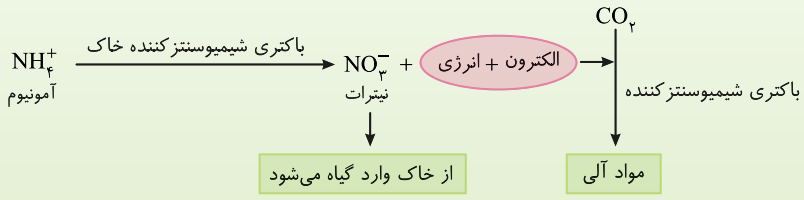
این گروه که در گفتار ۳ همین فصل به آن‌ها اشاره شده است، شامل **برخی باکتری‌ها** می‌باشد که در مناطقی زندگی می‌کنند که **نور به آن‌ها نمی‌رسد** (*مثلاً در اطراف دهانهٔ آتشفشان‌ها یا اعماق اقیانوس‌ها یا معادن*). این باکتری‌ها نیز قادرند مواد معدنی را با گرفتن انرژی و اسـتفاده از یک منبع الکترون به مادهٔ آلی تبدیل کننـد ولـی **انرژی و الکترون** عمل آن‌ها از **اکسـایش مواد معدنی** (*غیرآلی*) مثل H_2S ، NH_3 یا... تأمین می‌شـود. **در واکنش‌های تولیدکنندگی ایـن گروه نیز همانند فتوسنتزکننده‌ها** CO_2 **مصرف و مواد آلی قندی تولید می‌شوند با این تفاوت که منبع انرژی آن‌ها به جای نور خورشید از مواد معدنی می‌باشد.**



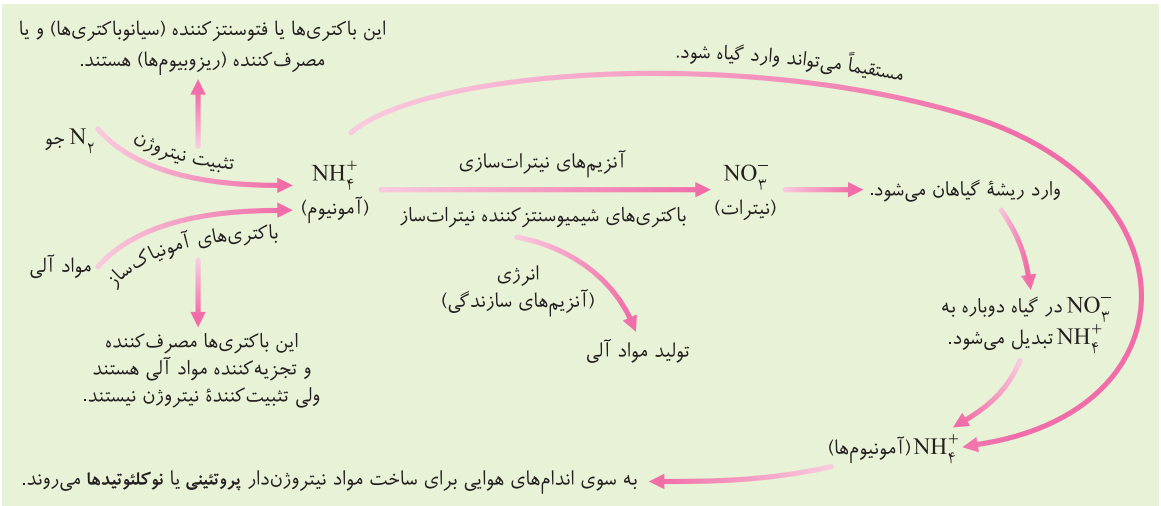
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) باکتری‌هایی که در قسمتی از **چرخهٔ نیتروژن خاک**، سبب **تبدیل آمونیوم** (NH_4^+) **به نیترات** (NO_3^-) می‌شوند، از نوع شیمیوسنتزکننده هستند. این باکتری‌ها، CO_2 را از محیط گرفته و با استفاده از انرژی و الکترون ناشی از اکسایشِ آمونیوم (*محلول آمونیاک*)، ضمن تولید نیترات، به تولید مواد آلی قندی مورد نیاز خود نیز می‌پردازند.

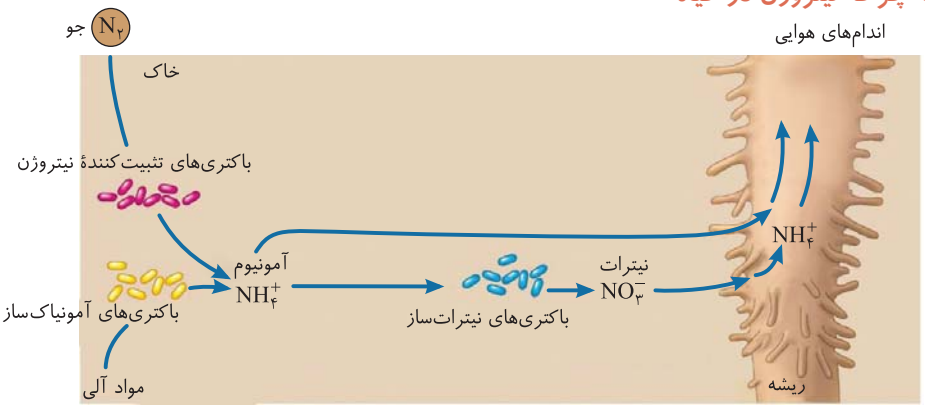
۲) دقـت کنید که این باکتری‌ها با فعال کردن سیسـتم آنزیمی خاصی سـبب تبدیل آمونیوم به نیترات می‌شـوند. ضمن این عمل انـرژی و الکترون‌هایی آزاد می‌شود که توسط مجموعهٔ آنزیمی دیگری گرفته شده و با استفاده از تثبیت کربن موجود در CO_2 به تولید مواد آلی می‌پردازند.



این نمودار در مورد چرخهٔ نیتروژن بوده که بسیار در طرح تست‌های کنکوری کاربرد دارد (*ریـت رهم*).



نگاهی ساده‌تر به چرخهٔ نیتروژن در گیاه



«تغییرات مواد نیتروژن‌دار و چگونگی جذب آن‌ها از خاک»

توجه: دوستان عزیز اگر در پاسخ به تست‌های درسنامه دچار مشکل شدید، مهم نیست چون در بخش تست‌های آموزشی به راحتی مطلب برای شما با تدریس QR Codeها باز می‌شود.

تست ۱ **برخی شیمیوسنتزکننده‌ها، ..... ریزوبیوم، سبب تبدیل ..... می‌شود.**

۱) برخلاف - آمونیوم به نیترات **۲)** همانند - N_2 به آمونیوم **۳)** برخلاف - CO_2 به قند **۴)** همانند - آمونیوم به نیترات

پاسخ ۱

نکته: درستی گزینهٔ (۱) و نادرستی گزینه‌های (۲) و (۴) را می‌توانید از روند زیر تشخیص دهید.

$$N_2 \xrightarrow[\text{ریزوبیوم (مهم‌ترین)- برخی از سیانوباکتری‌ها}]{\text{تثبیت نیتروژن}} \underset{\text{آمونیوم}}{NH_4^+} \xrightarrow[\text{شیمیوسنتزکننده‌های خاک}]{\text{نیترات‌سازها (اکسیداسیون)}} \underset{\text{(شوره یا نیترات)}}{NO_3^-} \Rightarrow \text{رایج‌ترین شکل‌های نیتروژن ورودی به گیاه}$$

نکته: تبدیل CO_2 به قند طی عمل تثبیت کربن و تولیدکنندگی در **همهٔ** شیمیوسنتزکننده‌ها رخ می‌دهد (*نادرستی گزینهٔ (۳)*).

تست ۲ **باکتری‌هایی که می‌توانند از انرژی هیدروژن سولفید برای تولید مواد آلی استفاده کنند با باکتری‌های ..... در یک گروه قرار می‌گیرند.**

۱) گوگردی بی‌هوازی **۲)** مصرف‌کننده‌های هوازی

۳) مصرف‌کنندهٔ آمونیوم و تولیدکنندهٔ نیترات **۴)** سازندهٔ آمونیوم در چرخهٔ نیتروژن

پاسخ ۲ در صورت سؤال به کلمهٔ **انرژی** دقت کن! پس فتوسنتزکننده‌ها می‌رن کنار!! چون **منبع انرژی فتوسنتزکننده‌ها، نور** است. **مصرف‌کننده‌ها نیز می‌رن کنار!! چون منبع انرژی آن‌ها مواد آلی است.** از میان گزینه‌ها دنبال شیمیوسنتزکننده می‌گردیم که فقط گزینهٔ (۳) می‌ماند. گزینهٔ (۱) در مورد فتوسنتزکننده‌ها و گزینه‌های (۲) و (۴) در مورد مصرف‌کننده‌هایی مثل ریزوبیوم می‌باشد.

یادآوری

از زیست دهم الگو به یاد دارید که:

ویژگی / فرمانرو	نوع	هسته و اندامک غشادار	تولیدمثل	منبع انرژی	تعداد یاخته	هر ۷ ویژگی حیات
گیاهان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	نور خورشید	پریاخته‌ای	دارند
جانوران	یوکاریوت	دارند	اغلب جنسی	مواد آلی	پریاخته‌ای	دارند
قارچ‌ها	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد آلی	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
آغازیان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد آلی یا نور خورشید	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
باکتری‌ها	پروکاریوت	ندارند	غیرجنسی	مواد آلی **یا معدنی** یا نور خورشید	فقط تک‌یاخته‌ای	دارند

گفتار ۱ کلیات فتوسنتز و عوامل دخالت‌کننده در آن

فتوسنتز، مهم‌ترین فرایند ساخت **مواد آلی** در طبیعت می‌باشد. این واکنش که انرژی خود را از **نور خورشید** تأمین می‌کند، سبب تبدیل مواد معدنی (*مثل* CO_2 *و آب*) به مواد آلی (*گلوکز*) می‌شود. این فرایند در گیاهان، برخی باکتری‌ها و برخی آغازیان (*جلبک‌ها*) رخ می‌دهد.

● فرمول کلی فتوسنتز

واکنش‌های فتوسنتزی، برعکس واکنش‌های تنفس یاخته‌ای می‌باشند و **همواره انرژی‌خواه می‌باشند**. این واکنش‌ها با گرفتن CO_2 و یک ماده الکترون و پروتون دهنده، به سمت تولید مادهٔ آلی قندی حرکت می‌کنند.

واکنش کلی و عمومی فتوسنتز:
$$\underbrace{6\,CO_2}_{\text{گیرنده نهایی الکترون و پروتون}} + \underbrace{12\,H_2X}_{\text{ماده الکترون و پروتون دهنده}} \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 12X + 6H_2O$$

چند نکتهٔ بسیار مهم در بررسی تست‌ها

۱) با توجه به فرمول قبل مشاهده می‌کنیم که در هر نوع فتوسنتزی، نور خورشید به عنوان **منبع انرژی** و CO_2 به عنوان ماده کربن‌دار وجود دارند **ولی منبع ایجادکنندهٔ الکترون و پروتون در جانداران مختلف می‌تواند متفاوت باشد**. البته در ادامه می‌خوانیم که در گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری‌ها، منبع الکترون فتوسنتز، **مولکول آب** می‌باشد که در این واکنش‌ها که در زیر مشاهده می‌کنید، **اکسیژن آزاد می‌شود**.

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow$$

- واکنش خلاصه شده است و آب تولید شده را با آب مصرفی ساده کرده‌ایم.
- فتوسنتز در گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها (*منبع الکترون آب است*)

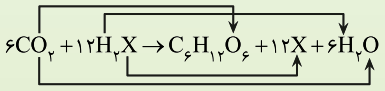
۲) در این فصل می‌آموزید، که هر نوع جانداری که به تولید مادهٔ آلی از مواد معدنی مبادرت می‌کند، در نهایت فارغ از اینکه منبع الکترون و پروتون آن چه ماده‌ای است، همواره مقداری آب نیز تولید می‌کند.

۳) در انتهای این فصل می‌خوانیم که برخی باکتری‌های فتوسنتزکننده مثل **گوگردی‌های سبز یا ارغوانی** وجود دارند که **غیراکسیژن‌زا** می‌باشند و منبع الکترون واکنش‌های فتوسنتزی آن‌ها به جای آب، **مولکول** H_2S است. این گروه نیز از نور خورشید انرژی می‌گیرند و CO_2 را به کمک الکترون‌ها و پروتون‌های H_2S به گلوکز آلی تبدیل می‌کنند **ولی به جای آزاد کردن اکسیژن، به تولید گوگرد می‌پردازند.** فرمول فتوسنتز باکتری‌های گوگردی به صورت زیر می‌باشد:

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$$

۴) با اینکه در کتاب درسی اشاره نشده است ولی به خاطر داشته باشید که باکتری‌های گوگردی، **بی‌هوازی** هستند و از راه تخمیر، انرژی به دست می‌آورند، به همین دلیل قدرت **تولید و مصرف** O_2 را ندارند.

۵) منشأ اکسیژن متصاعد شده یا گوگرد آزاد شده در واکنش‌های فتوسنتزی از مادهٔ الکترون دهنده (H_2O یا H_2S) می‌باشد ولی منشأ اتم‌های اکسیژن در مولکول‌های قندی و آب تولید شده، اکسیژن موجود در CO_2 می‌باشد.



تست ۳ حاصل واکنش روبه‌رو در صورت استفاده از اکسیژن رادیوایزوتوپ در CO_2 کدام است؟
$$CO_2^{18} + H_2O^{16} \xrightarrow{\text{نور و کلروفیل}} .$$

۱) $C_6H_{12}O_6^{18} + O_2^{16} + H_2O^{18}$
۲) $C_6H_{12}O_6^{16} + O_2^{18} + H_2O^{16}$
۳) $C_6H_{12}O_6^{16} + O_2^{18} + H_2O^{18}$
۴) $C_6H_{12}O_6^{18} + O_2^{16} + H_2O^{16}$

پاسخ ۱

- در فتوسنتز گیاهان، فقط منشأ اتم اکسیژن در مولکول O_2 متصاعد شده، از مولکول آب می‌باشد و منشأ بقیهٔ اکسیژن‌ها از اکسیژن موجود در مولکول CO_2 است. (*در واکنش‌های کلی فتوسنتز یوکاریوت‌ها و سیانوباکتری‌ها آب هم تولید و هم مصرف می‌شود ولی مصرف آب مقدار بیشتری دارد.*)
- در فتوسنتز باکتری‌های گوگردی، آب **فقط تولید** می‌شود.

بررسی فتوسنتز در گیاهان

در آخرین گفتار این فصل به‌طور ویژه به بررسی واکنش‌های فتوسنتزی در گیاهان مختلف و سازش آن‌ها در مناطق معتدل و گرم و خشک می‌پردازیم. باز هم یادآوری می‌کنم که واکنش‌های **فتوسنتزی** برخلاف واکنش‌های تنفس یاخته‌ای از نوع **انرژی‌خواه** می‌باشند و منبع **انرژی** همهٔ آن‌ها **نور خورشید** می‌باشد.

یادآوری: اگر در سؤالی منبع انرژی جاندار تولیدکننده را خواست، خیلی خیلی دقت کنید! چون اگر منظور باکتری شیمیوسنتزکننده باشد، منبع انرژی آن **مواد شیمیایی (معدنی)** می‌باشد ولی اگر منظور هر جاندار فتوسنتزکننده باشد، منبع انرژی آن‌ها **نور خورشید** می‌باشد.

نوع جانداران	منبع انرژی	منبع الکترون و پروتون	ویژگی
مصرف‌کننده‌ها (جانوران - قارچ‌ها)	مواد آلی	مواد آلی	مواد آلی را از مواد معدنی نمی‌سازند. (مگر در مواردی مثل کمک‌کنید در تولید اوره از آمونیاک و CO_2)
فتوسنتزکننده‌ها (گیاه - آغازی - سیانوباکتری)	نور خورشید	آب ← O_2 تولید می‌کنند.	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.
فتوسنتزکننده‌ها (باکتری گوگردی)	نور خورشید	H_2S ← به جای O_2، گوگرد تولید می‌کنند.	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.
شیمیوسنتزکننده‌ها (باکتری‌های نیترات‌ساز)	مواد معدنی	مواد معدنی	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.

دورهٔ تنفس هوازی در یک نگاه!

از فصل قبل به یاد دارید در هر واکنش تنفس یاخته‌ای، **گلوکز تجزیه شده، منبع انرژی، الکترون و پروتون** می‌باشد. در طی واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، پیوندهای کربن - هیدروژن قند، شکسته شده و انرژی آن‌ها در مولکول ATP ذخیره می‌شود. **پس تنفس یاخته‌ای، واکنشی انرژی‌زا می‌باشد.** اگر در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای از O_2 استفاده شود، در نهایت آب و تعداد بیشتری ATP اکسایشی تولید می‌شود و طی این واکنش‌ها از هر گلوکز، ۶ مولکول CO_2 نیز تولید می‌شود.

واکنش کلی و خلاصه شده تنفس هوازی: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{آنزیم‌ها}} 6CO_2 + 6H_2O +$ ATP مقداری

نکته

در واکنش‌های تنفس هوازی و فتوسنتز (بجز در غیر اکسیژن‌زاها)، همواره مولکول آب هم تولید و هم مصرف می‌شود ولی اغلب در واکنش‌ها به صورت خلاصه شده می‌نویسند و آب تولیدی را با مولکول‌های آب مصرفی ساده می‌کنند.

فتوسنتز گیاهان در یک نگاه!

واکنش‌های فتوسنتزی در **گیاهان**، دقیقاً برعکس واکنش‌های تنفس هوازی می‌باشند. طی فتوسنتز، گیاه با گرفتن CO_2های گازی از محیط و ثابت یا تثبیت کردن کربن آن‌ها طی واکنش‌هایی که با آب انجام می‌دهند، مواد آلی می‌سازند. در حقیقت برعکس تنفس که در انتهای آن آب تولید می‌شد در فتوسنتز، پس از جذب انرژی نور خورشید، ابتدا مولکول‌های آب به عنوان منبع اصلی الکترون و پروتون تجزیه می‌شوند و طبق واکنش $(H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+)$، O_2 تولید می‌شود. سپس الکترون‌ها و پروتون‌های آب باید طی فرایندهایی در نهایت به گیرنده نهایی آن‌ها یعنی CO_2 برسند تا با ساخت پیوندهای کربن - هیدروژن، مولکول‌های آلی قندی (گلوکز) تشکیل شوند. **این مولکول‌های قندی در همهٔ جانداران برای تنفس یاخته‌ای و تولید دوباره انرژی استفاده می‌شوند و یا به صورت پلی‌ساکاریدهای مختلف در فرایندهای ذخیره‌ای یا ساختاری به کار می‌روند.**

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \uparrow$$

نکته مهم

گیاهان از محصولات قندی فتوسنتز برای ساخت پلی‌ساکاریدهای دیوارهٔ یاخته‌ای (سلولز) و همچنین ذخیرهٔ نشاسته استفاده می‌کنند. البته گیاهان برای ساخت پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها نیز به قند و مواد آلی حاصل از فتوسنتز نیازمند هستند.

نکته مهم

گیاهان از قند و O_2 تولید شده در فتوسنتز، در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای خود نیز استفاده می‌کنند و ATP به دست می‌آورند ولی قند و O_2 حاصل از آن‌ها علاوه بر مصرف خود گیاه به مصرف سایر جانداران نیز می‌رسد.

تفاوت فتوسنتز و تنفس هوازی در گیاهان

تنفس هوازی در گیاهان	فتوسنتز در گیاهان
انرژی‌زا می‌باشد و قند را تجزیه می‌کند	انرژی‌خواه می‌باشد و قند را تولید می‌کند
در انتهای واکنش O_2 مصرف می‌کند تا آب بسازد	در ابتدا، آب را تجزیه می‌کند تا O_2 آزاد کند
در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و راکیزه‌ها رخ می‌دهد	کاملاً در سبزدیسه‌ها رخ می‌دهد
آخرین گیرنده الکترون و پروتون آن، اکسیژن است	آخرین گیرنده الکترون و پروتون آن، CO_2 است
O_2 می‌گیرد، CO_2 می‌دهد	CO_2 می‌گیرد، O_2 می‌دهد
انرژی قند را در ATP ذخیره می‌کند	انرژی نور خورشید را در قند ذخیره می‌کند
انرژی شیمیایی قند را به نوعی انرژی شیمیایی دیگر در ATP تبدیل می‌کند	انرژی نوری را به انرژی شیمیایی در قند تبدیل می‌کند

عوامل مورد نیاز برای فتوسنتز بهینه در گیاهان

فرمول فتوسنتز در گیاهان: $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{سیستم‌های جذب کنندهٔ نور}]{\text{منبع انرژی: نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$

با توجه به فرمول کلی فتوسنتز در گیاهان، برخی آغازیان و سیانوباکتری‌ها متوجه می‌شویم که برای فتوسنتز بهینه به عوامل بیرونی مثل CO_2، آب، دما و نور خورشید و عوامل درونی مثل آنزیم‌ها و سیستم‌های جذب‌کنندهٔ نور خورشید و... نیازمند می‌باشند.

نکته

در هر نوع واکنش فتوسنتزی، مقداری آب تولید می‌شود ولی در اغلب موارد، واکنش را خلاصه می‌کنند و فقط ۶ مولکول آب مصرفی را به صورت زیر در نظر می‌گیرند.

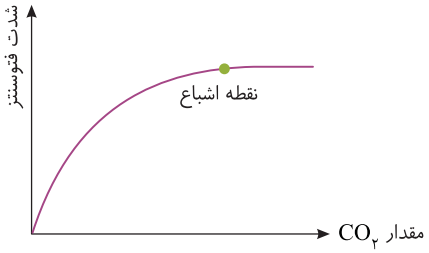
$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

بررسی تأثیر عوامل بیرونی بر فتوسنتز گیاهان

تذکر: دوستان عزیزم ممکن است کتاب درسی را که گفتار به گفتار جلو می‌روید این مطالب را به صورت پراکنده ببینید. من برای فهم بهتر شما آن‌ها را متمرکز کرده‌ام.

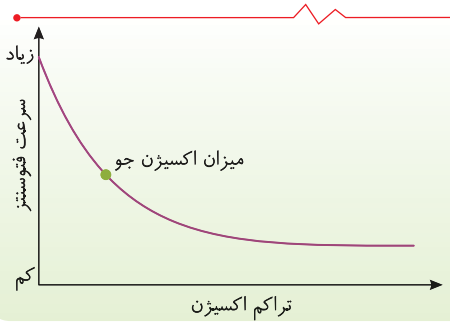
الف) CO_2 و O_2 محیط

گیاهان، **بیشتر** CO_2 مورد نیاز فتوسنتز را از محیط اطراف و معمولاً از طریق روزنه‌های هوایی خود به دست می‌آورند (*در سال دهم خواندید که کمی CO_2 نیز به صورت محلول بیکربنات از ریشه جذب می‌شود*). البته ممکن است طی تنفس هوازی نیز مقداری CO_2 در یاخته ایجاد شود که از آن در فتوسنتز استفاده شود ولی مقدار CO_2 حاصل از تنفس، برای فتوسنتز گیاه بسیار کم می‌باشد. **در فرایندهای فتوسنتزی، مقدار CO_2 با شدت فتوسنتز رابطهٔ مستقیم دارد.** یعنی هرچه مقدار CO_2 بالاتر رود، شدت فتوسنتز و ساخت مواد آلی نیز بیشتر می‌شود. **البته لازم به ذکر است که افزایش CO_2 تا هنگامی بر شدت فتوسنتز می‌افزاید که آنزیم‌های عمل‌کننده دارای جایگاه فعال خالی برای گرفتن CO_2 باشند.** پس هرگاه آنزیم‌ها از CO_2 اشباع شدند، افزایش CO_2 اثری بر شدت و مقدار فتوسنتز ندارد.



نکته

از آنجایی که در فتوسنتز، گیاهان O_2 تولید می‌کنند و این واکنش‌های سوخت‌وسازی جانداران از نوع برگشت‌پذیر می‌باشند، پس مقدار O_2 محیط نیز در شدت فتوسنتز مؤثر است و با آن رابطهٔ عکس دارد (O_2 محیط روی شدت تنفس هوازی اثر مثبت ولی روی شدت فتوسنتز تأثیر منفی دارد. *البته در گفتار ۳ این مطلب را دوباره خواهید خواند*).



● ب) آب

گیاه، آب را از خاک و از طریق تارهای کشنده خود جذب می‌کند و از طریق مسیرهای **سیمپلاستی، عرض غشایی و آپوپلاستی** در عرض ریشه عبور می‌دهد تا به آوندهای چوبی برسد و از آنجا به محل فتوسنتز که اغلب برگ‌ها می‌باشد، صعود می‌کند. **آب** در واکنش فتوسنتزی گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری‌ها به عنوان **دهندهٔ اصلی الکترون‌ها و پروتون‌های** واکنش می‌باشد و اکسیژن آزاد شده نیز از تجزیهٔ آب ایجاد می‌شود.

همان‌طور که گفتیم تجزیهٔ آب در فتوسنتز توسط انرژی نور خورشید صورت می‌گیرد و این الکترون‌ها و پروتون‌ها که انرژی نور خورشید را در خود ذخیره کرده‌اند، در نهایت برای تولید قند به مولکول CO_2 می‌رسند. (*منشأ اکسیژن در مولکول قند یا آب تولید شده در واکنش‌های فتوسنتزی از مولکول CO_2 می‌باشد.*)

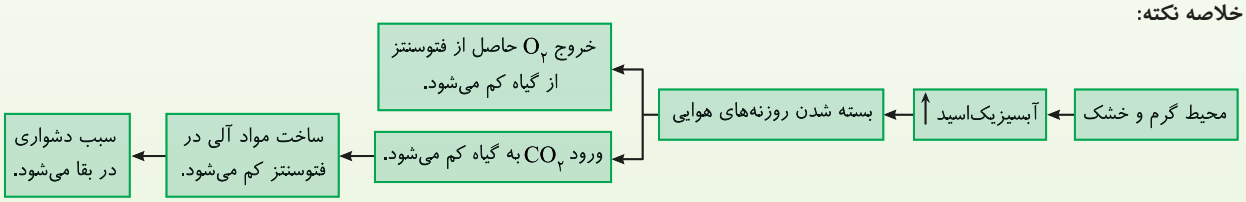
نکته

خزه‌گیان ریشه ندارند و آب و سایر مواد محلول مورد نیاز را با انتشار و اسمز از خاک به دست می‌آورند.

نکته

در محیط گرم و خشک (*کم‌آب*)، به دلیل اینکه جبران آب از دست داده به سختی صورت می‌گیرد، ابتدا تولید هورمون **آبسیزیک‌اسید** در گیاه بالا رفته، این هورمون با کاهش فشار تورژسانس در یاخته‌های نگهبان روزنه، سبب بسته شدن روزنه‌های هوایی می‌شود تا گیاه آب خود را حفظ کند. وقتی روزنه‌های هوایی مسدود می‌شوند، ورود CO_2 نیز در گیاه کم می‌شود که این حالت سبب کاهش فتوسنتز و ساخت مواد آلی در گیاه می‌شود. **به همین دلیل در محیط گرم و خشک و کم‌آب، تنوع گیاهان نیز کم می‌باشد** و فقط برخی گیاهان که در گفتار ۳ بررسی می‌کنیم به دلیل سازش‌های خود توانایی رشد و تکامل مناسب‌تری دارند.

خلاصه نکته:



نکته

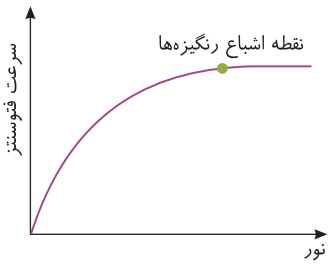
باکتری‌های گوگردی فتوسنتزکننده و باکتری‌های شیمیوسنتزکننده نیز قادرند CO_2 را از حالت گازی درآورند و در مادهٔ آلی قندی تثبیت کنند ولی برای تأمین الکترون‌ها و پروتون‌های واکنش خود از آب استفاده نمی‌کنند و O_2 نیز تولید نمی‌کنند بلکه به آزادسازی گوگرد می‌پردازند.

خلاصه تولیدکنندگی باکتری‌های گوگردی: $6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{الکترون از } H_2S]{\text{انرژی از نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$

خلاصه تولیدکنندگی برخی شیمیوسنتزکننده‌ها: $6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{الکترون از } H_2S]{\text{انرژی از } H_2S} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$

تفاوت این دو گروه قطعاً در **منبع انرژی** آن‌ها است ولی منبع **الکترون** در باکتری‌های گوگردی و **برخی** شیمیوسنتزکننده‌ها از مولکول معدنی H_2S می‌باشد.

● ج) نور خورشید (محسوس‌ترین عامل مؤثر در فتوسنتز)

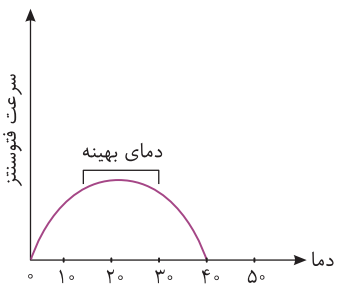


همان‌طور که تا به اینجا بارها ذکر کرده‌ایم، فتوسنتز واکنشی انرژی‌خواه می‌باشد که منبع انرژی آن، نور خورشید می‌باشد. در حقیقت **فتوسنتز فرایندی است که انرژی نور خورشید را در مواد شیمیایی ذخیره می‌کند**. شدت فتوسنتز با **شدت و مدت زمان** تابش خورشید رابطهٔ **مستقیم** دارد. از آنجایی که نور خورشید باید توسط مولکول‌هایی به نام **رنگیزه** جذب شود، پس تا جایی که رنگیزه‌های گیرندهٔ نور، اشباع شوند، شدت فتوسنتز افزایش می‌یابد ولی شدت نور بالاتر از آن حد، بر مقدار فتوسنتز تأثیر محسوسی ندارد.

نکته

همان‌طور که در فیزیک خوانده‌اید، نور **مرئی** خورشید آمیخته‌ای از ۷ رنگ مختلف می‌باشد. همهٔ طول موج‌ها و رنگ‌های نور مرئی خورشید در فتوسنتز مؤثر است ولی بیشترین تأثیر را طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر در رنگ **بنفش و آبی** و طول موج‌های ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در رنگ‌های **نارنجی و قرمز** دارند. این طول موج‌ها از همه بیشتر توسط رنگیزه‌های مختلف فتوسنتزی جذب می‌شوند. (*در قسمت رنگیزه‌ها بیشتر به این مطلب می‌پردازیم.*)

● د) دمای محیط



از آنجایی که هر واکنش متابولیسمی درون جانداران، توسط آنزیم‌ها، کاتالیزور انجام می‌شود، فتوسنتز نیز توسط آنزیم‌های متنوعی در درون یاخته انجام می‌شود. ساختار سه‌بعدی این آنزیم‌های پروتئینی نیز مانند سایر پروتئین‌ها در دمای بالا تغییر می‌یابد و غیرفعال می‌شوند. به همین دلیل بهینه‌ترین دما برای انجام فتوسنتز در گستره **خاصی** که آنزیم‌های جاندار فعالند، صورت می‌گیرد.

بررسی تأثیر عوامل درونی گیاه در فتوسنتز

به‌طور کلی فتوسنتز در اندام‌های سبز و کلروپلاست‌دار (*سبزدیسه‌دار*) گیاه **به ویژه در برگ‌ها** انجام می‌شود. بدیهی است که هرچه سطح پهنک برگ و مقدار سبزدیسه‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی آن بیشتر باشد، هم تعداد روزنه‌ها برای ورود CO_2 بیشتر می‌شود و هم عمل فتوسنتز و جذب نور با شدت بیشتری صورت می‌گیرد.

الف) برگ گیاهان نهاندانه

برگ در اکثر گیاهان، مناسب‌ترین و تخصصی‌ترین ساختار فتوسنتزی می‌باشد که تعداد فراوانی کلروپلاست (*سبزدیسه*) در **اغلب** یاخته‌های آن وجود دارد.

خزه‌گیان برگ، ریشه و ساقه ندارند و از طرفی گیاهان انگل نیز توانایی فتوسنتز ندارند.

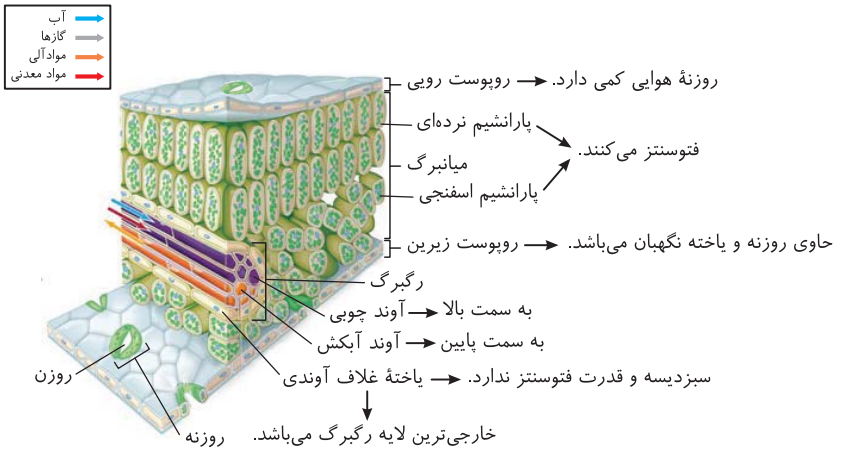
ساختار برگ در نهاندانگان

در نهاندانگان **دولپه‌ای** برخلاف تک‌لپه‌ای‌ها، برگ دارای **دمبرگ** می‌باشد. در برش عرضی، ساختار برگ در تک‌لپه‌ای و دولپه‌ای‌ها دارای سه قسمت **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی** (*رگبرگ*) می‌باشد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم (*لازم به توجه است که طبق متن کتاب درسی، ذکر شده که دولپه‌ای‌ها پهنک و دمبرگ دارند*).

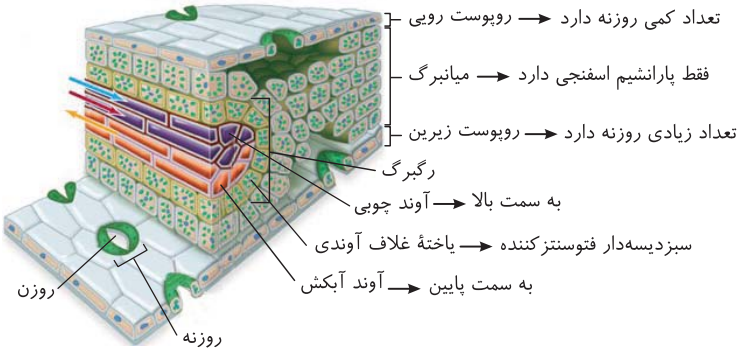
- روپوست (*اپیدرم*)
  - معمولاً از یک لایه یاخته‌ای در سطح بالایی (*روی برگ*) و یک لایه یاخته‌ای در سطح زیرین برگ ایجاد شده است.
  - تعداد روزنه‌های هوایی در سطح زیرین بیشتر از روپوست فوقانی می‌باشد. (*روپوست رویی در برگ دولپه‌ای‌ها، روزنهٔ هوایی کمی دارند.*)
  - در سطح خارجی یاخته‌های روپوستی برگ، پوستکی از مواد لیپیدی نازک یا ضخیم وجود دارد.
  - یاخته‌های روپوستی
    - کرک ← سبزدیسه ندارد، با حفظ رطوبت در اطراف روزنه‌ها، سبب ممانعت از بخار آب می‌شود و نقش محافظ را دارد.
    - نگهبان‌های دو طرف روزنهٔ هوایی ← سبزدیسه دارند و سبب تنظیم باز و بسته شدن روزنهٔ هوایی می‌شوند.
    - یاخته‌های دیگر ← سبزدیسه ندارند و در اطراف یاخته‌های نگهبان و دیگر یاخته‌ها قرار دارند (*مثلاً نقش ترشح دارند*).
- میانبرگ
  - یاخته‌هایی فتوسنتزکننده از بافت پارانشیمی دارد.
  - میانبرگ **نرده‌ای** یاخته‌هایی **استوانه‌ای به هم فشرده** می‌باشند که به صورت چند لایه به سمت روپوست رویی دولپه‌ای‌ها قرار گرفته‌اند.
  - میانبرگ **اسفنجی** یاخته‌هایی **کروی** با فضای بین‌یاخته‌ای **زیاد** هستند این یاخته‌ها در میانبرگ دولپه‌ای‌ها به سمت روپوست زیرین قرار گرفته‌اند ولی در برگ تک‌لپه‌ای‌ها، کل فضای میانبرگ آن‌ها را اشغال کرده است.

نکته

فضای بین یاخته‌های اسفنجی میانبرگ‌ها، اشباع شده از بخار آب می‌باشد.



«الف) گیاه دولپه»



«ب) گیاه تک‌لپه»

رگبرگ
- به دسته‌های آوندی برگ‌ها، رگبرگ می‌گویند.
- در رگبرگ نهاندانگان، دور آوندهای چوبی و آبکش، **یک لایه** یاخته‌ای محافظ آوندها به نام **غلاف آوندی** وجود دارد.
- آوندهای چوبی رگبرگ در سطح بالاتری از رگبرگ قرار دارند که مسئول انتقال شیرهٔ **خام** به بخش فتوسنتزکننده برگ می‌باشند.
- آوندهای آبکش در سطح تحتانی رگبرگ مسئول انتقال شیرهٔ **پرورده** ساخته شده در برگ به همه جای گیاه می‌باشند.
- غلاف آوندی در برگ دولپه‌ای‌ها **فاقد سبزدیسه** بوده ولی در تک‌لپه‌ای‌ها، **سبزدیسه‌دار و فتوسنتزکننده** می‌باشد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) رگبرگ، در بین میانبرگ قرار گرفته است، پس در تک‌لپه‌ای‌ها، هر سه بخش برگ، واجد یاختهٔ فتوسنتزکننده می‌باشد.

۲) خروج آب به همراه ورود و خروج O_2 و CO_2 از راه روزنه‌های هوایی صورت می‌گیرد.

۳) در برگ نهاندانگان، روزنه‌های هوایی در مجاورت فضای بین یاخته‌های اسفنجی میانبرگ می‌باشند تا بخار آب و گازهای تنفسی را از راه آن‌ها با محیط اطراف مبادله کنند. به دلیل وجود لایه‌های نرده‌ای فشرده در سطح فوقانی میانبرگ دولپه‌ای‌ها، گازهای تنفسی و بخار آب در بین آن‌ها فضایی برای تجمع ندارند و روپوست رویی آن‌ها نیز معمولاً روزنهٔ هوایی و یاختهٔ نگهبان کمی دارند.

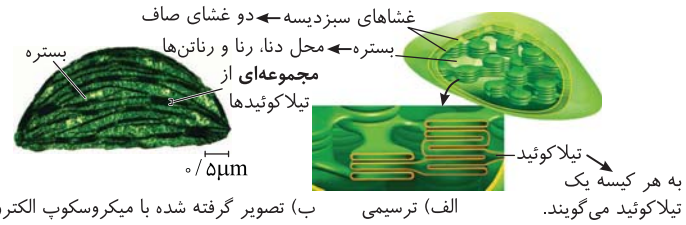
۴) یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی میانبرگ و یاختهٔ نگهبان روزنه، در اغلب گیاهان، سبزدیسه‌دار فتوسنتزکننده می‌باشند ولی غلاف آوندی معمولاً فقط در برگ تک‌لپه‌ای‌ها دارای قدرت فتوسنتز می‌باشد. (*در مورد استثنائات گیاهان و یاخته‌های فتوسنتزکننده در گفتار ۳ در مورد گیاهان C_3 و C_4 می‌خوانیم.*)

ب) ساختار سبزدیسه (کلروپلاست)

واکنش‌های فتوسنتزی یوکاریوت‌ها، درون اندامکی به نام سبزدیسه (*کلروپلاست*) صورت می‌گیرد. این اندامک در برخی یاخته‌های گیاه مثل غلاف آوندی برگ تک‌لپه‌ای‌ها، یاخته‌های نگهبان روزنهٔ هوایی، میانبرگ نرده‌ای و اسفنجی وجود دارد که با رنگیزه‌های خود نور خورشید را جذب می‌کنند.

ساختار سبزدیسه

غشاها
- **دو** غشای **صاف** دارد که **کمی** از هم فاصله دارند ولی این غشاها در واکنش‌های فتوسنتزی نقشی **ندارند**.
- غشای بیرونی صاف که از **خارج** در تماس با مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم می‌باشد.
- غشای درونی صاف که از **داخل** در تماس با بستره اندامک می‌باشد.



تیلاکوئیدها
- ساختارهایی از جنس **غشا** و کیسه مانند می‌باشد.
- فضای **درون** سبزدیسه را به دو بخش درون تیلاکوئید و بستره تبدیل می‌کند.
- هر تیلاکوئید، کیسه‌ای است که به سایر تیلاکوئیدهای **مجاور** خود متصل است.
- سامانه‌های جذب نور خورشید (*فتوسیستم‌ها*) و برخی واکنش‌های فتوسنتزی در آن‌ها قرار دارند.

فضاهای سبزدیسه

فضای بین دو غشای صاف سبزدیسه
- نقشی در فتوسنتز ندارند.
- خارجی‌ترین فضای سبزدیسه می‌باشد.

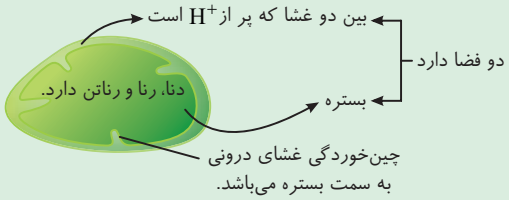
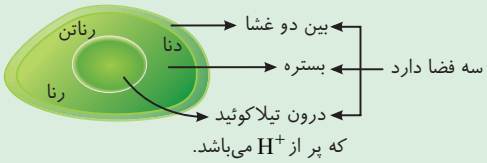
فضاهای ایجاد شده توسط تیلاکوئیدها

فضای درون تیلاکوئید
- درونی‌ترین فضای سبزدیسه می‌باشد.
- تجزیهٔ نوری آب در آن انجام می‌شود.
- محل تجمع H^+ در واکنش‌های نوری می‌باشد. (pH پایین دارد.)

بسترهٔ سبزدیسه
- حاوی DNA می‌باشد ← همانندسازی و رونویسی دارد.
- RNA دارد ← ۳ نوع RNA در آن ایجاد می‌شود.
- رناتن مخصوص دارد ← عمل ترجمه یا پروتئین‌سازی دارد.
- واکنش‌های **مستقل از نور** فتوسنتز برای ساخت قند در آن صورت می‌گیرد.

- مستقل یا همراه هسته می‌تواند تقسیم شود.
- **برخی** پروتئین‌های مورد نیاز خود را از سیتوپلاسم و رمزگردانی توسط DNA هسته می‌گیرند.
- همانند راکیزه، برخی پروتئین‌های مورد نیاز خود را می‌سازند و تقسیم دوتا شدن بدون چرخهٔ میتوز و نقاط وارسی دارند.

جدول مقایسهٔ میتوکندری (*راکیزه*) و کلروپلاست (*سبزدیسه*):

راکیزه (میتوکندری)	سبزدیسه (کلروپلاست)
غشای بیرونی صاف و غشای درونی چین خورده با فاصله از هم دارد.	دو غشای صاف فاصله‌دار از هم دارد.
	
مسئول بخش **هوازی** تنفس یاخته‌ای است.	مسئول کل واکنش‌های فتوسنتزی در یوکاریوت‌هاست.
در بستره، DNA حلقوی، RNA و رناتن دارد.	در بستره، DNA حلقوی، RNA و رناتن دارد.
مستقل از یاخته نیز می‌تواند تقسیم شود.	مستقل از یاخته نیز می‌تواند تقسیم شود.
O_2 می‌گیرد و ضمن تجزیهٔ مواد آلی به تولید CO_2 و ATP می‌پردازد.	کیسه‌های غشایی متصل به هم به نام تیلاکوئید دارد. CO_2 و آب می‌گیرد و O_2 آزاد می‌کند تا مواد آلی بسازد.

تست ۴ **در میانبرگ گیاهی که ساقهٔ آن فقط یک دایره حاوی دستجات آوندی ..... ، قطعاً پارانشیم‌های ..... در مجاورت ..... اپیدرم (روپوست) قرار گرفته است.**

۱) دارد - نرده‌ای - یک
۲) ندارد - نرده‌ای - یک
۳) دارد - اسفنجی - هر دو
۴) ندارد - اسفنجی یا نرده‌ای - هر دو

پاسخ ۱ در مورد گیاهان دولپه‌ای دانستن ۸ ویژگی اختصاصی برای کنکور شما لازم است:

۱) گیاهان دولپه‌ای، دانه بالغ و بدون آندوسپرم دارند (*فصل ۸ یازدهم*).

۲) برگ گیاهان دولپه‌ای پهنک و دمبرگ دارد.

۳) در ساقهٔ خود فقط یک دایره از دستجات آوندی دارد (*فصل ۶ دهم*).

۴) پارانشیم نرده‌ای چندلایه‌ای به هم فشرده در مجاور روپوست رویی برگ آن‌ها وجود دارد.

۵) غلاف آوندی برگ آن‌ها سبزدیسه ندارد.

۶) در برش عرضی ریشهٔ آن‌ها، **پوست** بیشترین فضا را دارد و آوندهای **نخستین** آن‌ها به صورت **یک در میان** قرار گرفته‌اند (*فصل ۶ دهم*).

۷) کامبیوم یا همان مریستم پسین برای رشد ثانویه قطری می‌توانند داشته باشند (*فصل ۶ دهم*).

۸) روپوست بالایی برگ آن‌ها، روزنهٔ هوایی کمتری به نسبت روپوست زیرین دارد.

تست ۵ **محل انجام فتوسنتز در جاندارِ دارایِ ..... ، قطعاً با اسپیروژیر ..... است.**

۱) آندوسپرم - متفاوت
۲) هیستون - متفاوت
۳) ژن سازنده پروتئین مهارکننده ژنی - یکسان
۴) سه نوع رنابسپاراز - یکسان

پاسخ ۴ اسپیروژیر نوعی یوکاریوت آغازی بوده که جلبک سبز پریاخته‌ای است. محل انجام فتوسنتز در آن، اندامک کلروپلاست (*سبزدیسه*) است، ولی فتوسنتز پروکاریوت‌ها در غشا و سیتوپلاسم یاخته‌ای انجام می‌شود. یاخته‌ای که سه نوع رنابسپاراز یا هیستون یا آندوسپرم دارد، قطعاً یوکاریوت است که نوع فتوسنتزکننده آن حاوی سبزدیسه می‌باشد ولی ژن ساخت پروتئین مهارکننده و فعال‌کننده در پروکاریوت‌ها وجود دارد.

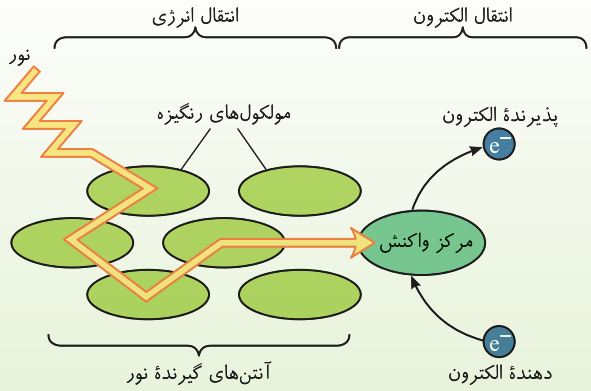
ج) سامانهٔ جذب نور خورشید و تبدیل انرژی (فتوسیستم‌ها)

در **غشای** تیلاکوئیدها، سامانه‌هایی برای تبدیل انرژی به نام **فتوسیستم‌ها** وجود دارند که حاوی **مقداری رنگیزه و انواعی از پروتئین‌ها** می‌باشند. این ساختارها که به دو نوع **فتوسیستم ۱ و ۲** نام‌گذاری شده‌اند، **مسئول جذب نور خورشید و شروع واکنش‌های فتوسنتزی** می‌باشند. هر فتوسیستم شامل **دو قسمت** می‌باشد. **قسمت اول**، آنتن‌های گیرندهٔ نور می‌باشند که **هر آنتن**، رنگیزه‌های **متفاوت** سبزینه‌ای (*سبزینه a و b*) و کاروتنوئیدی به همراه **انواعی از پروتئین‌ها** دارد. آنتن‌ها توسط **همهٔ** رنگیزه‌های خود و برحسب تمایل آن‌ها به طول موج خاصی، نور مناسب را از خورشید جذب می‌کنند.

قسمت دوم هر فتوسیستم از یک **مرکز واکنش** تشکیل شده است که **فقط** حاوی **یک نوع رنگیزه** به نام **سبزینه a** می‌باشد که در **بستری پروتئینی** قرار گرفته است.

نکته

آنتن‌های گیرنده نوری در هر فتوسیستم بعد از اینکه با انواع رنگیزه‌های خود انرژی نور خورشید را گرفتند، این **انرژی** را همه با هم به رنگیزهٔ سبزینه a موجود در بخش **مرکز واکنش** منتقل می‌کنند. *(در گفتار بعد به‌طور مفصل دربارهٔ نحوهٔ انتقال الکترون و انرژی در فتوسیستم بحث می‌کنیم!)*



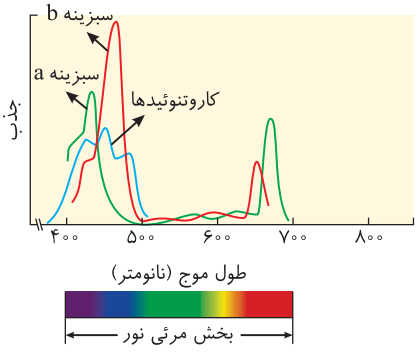
«انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن»

رنگیزه‌های فتوسنتزی

- در یوکاریوت‌ها همگی در فتوسیستم‌های قرار گرفته در غشای تیلاکوئید واقع می‌باشند ولی در پروکاریوت‌ها، در غشای خود یاخته وجود دارند.
- سبزینه‌ها، بیشترین و مؤثرترین رنگیزه‌های موجود در سبزدیسه‌ها یا کلروپلاست‌ها می‌باشند.
- سبزینه‌ها به همراه کاروتنوئیدها مسئول جذب طول موج‌های مختلفی از نور خورشید هستند.
- رنگیزه‌های سبزینه‌ای و کاروتنوئیدی، در بخش آنتن‌های گیرنده نوری فتوسیستم در کنار هم قرار دارند.

سبزینه‌ها

- بیشترین و مهم‌ترین رنگیزه‌های فتوسنتزی هستند.
- در گیاهان دو نوع سبزینه وجود دارد
  - a
    - در مرکز واکنش و آنتن‌های فتوسیستم وجود دارد.
    - مهم‌ترین رنگیزه فتوسنتزی می‌باشد.
    - در رنگ **بنفش و قرمز** بیشترین جذب نور را دارند.
    - در مرکز واکنش فتوسیستم‌های ۱ و ۲، به P۶۸۰ و P۷۰۰ معروفند.
  - b
    - فقط در بخش آنتن‌های فتوسیستم قرار دارند.
    - بیشترین جذب آن‌ها در **نور آبی** می‌باشد.
- بیشترین توانایی جذب نوری آن‌ها در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر *(بنفش و آبی)* و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر *(نارنجی و قرمز)* می‌باشد.



«طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی»

- دلیل سبز دیدن برگ درختان، مقدار زیاد سبزینه آن‌هاست که رنگ سبز را منعکس می‌کنند و بازتاب آن توسط رنگیزه‌های درون چشم ما جذب می‌شود.

کاروتنوئیدها

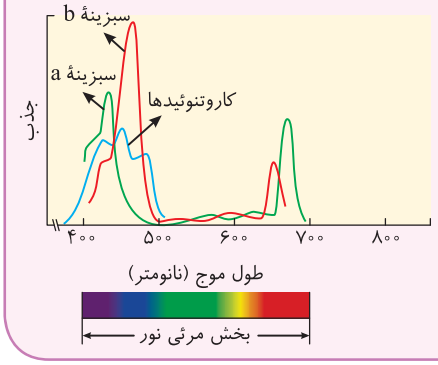
- در **سبزدیسه و رنگ‌دیسه‌های** دیگر وجود دارند.
- جزء مواد **پاداکسنده** می‌باشند که قدرت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد سرطان‌زا در راکیزه و سایر قسمت‌ها را دارند.
- بیشترین قدرت جذب نوری را در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و برای رنگ‌های **سبز و آبی** دارند.
- در آنتن‌های گیرندهٔ نور فتوسیستم‌ها در مجاورت سبزینه‌ها قرار دارند.
- در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها وجود **ندارند**.
- به دلیل عدم جذب زیاد رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز، این رنگیزه‌ها به این سه رنگ دیده می‌شوند.
- کاروتن‌های نارنجی که در **یاخته‌های ریشه گیاه هویج** فراوان است در **رنگ**‌دیسه‌ها تراکم یافته‌اند.
- در سبزدیسه‌ها، کاروتنوئیدها توسط سبزینه‌ها پوشیده می‌شوند.

- برحسب شرایط محیطی مختلف مثل کاهش طول روز و کم شدن نور در پاییز، **سبزینه** برگ‌ها می‌توانند **تجزیه** شوند و مقدار کاروتنوئیدها در پلاست‌ها زیاد می‌شود.

تست ۶ نور آبی و سبز بیشتر توسط ..... جذب می‌شود در حالی‌که سبزینه b ، بیشتر نور ..... را منعکس می‌کند.

۱) سبزینه a – سبز و زرد ۲) کاروتنوئید – سبز و زرد ۳) سبزینه a – آبی و قرمز ۴) کاروتنوئید – آبی و قرمز

پاسخ ۲ نور آبی در حد فاصل طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر قرار دارد که توسط سبزینه‌های a و b و کاروتنوئیدها، جذب مناسبی دارد ولی نور زرد که در حد فاصل ۵۵۰ تا ۶۰۰ نانومتر می‌باشد، توسط هر سه نوع رنگیزه جذب مناسبی نداشته و بیشتر منعکس می‌شود (البته این تست را بدون توجه به نمودار و فقط با بلد بودن متن کتاب درسی نیز می‌شد حل کرد).



انواع فتوسیستم‌ها

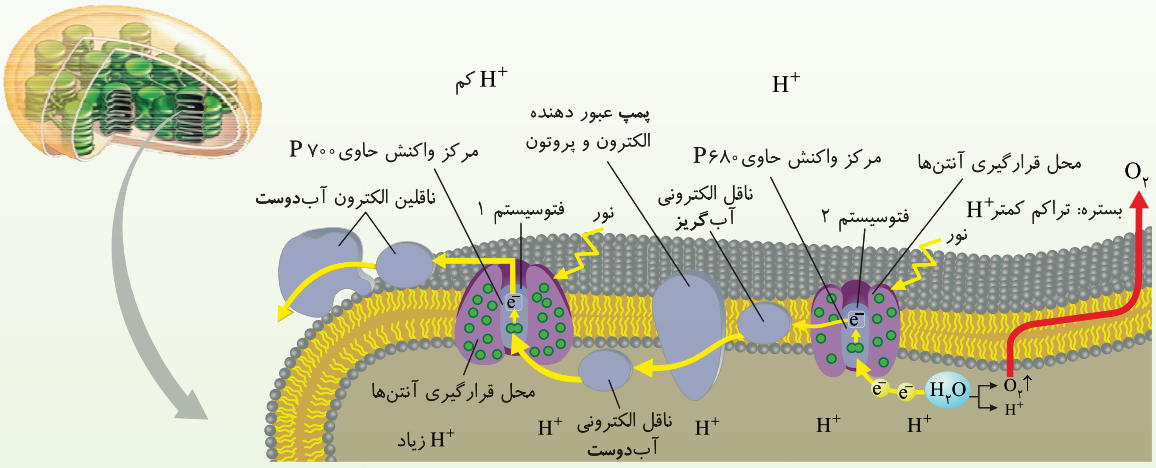
توجه: مقداری از مطالب این قسمت به گفتار ۲ کتاب مربوط است که دوباره توضیح داده خواهند شد.

تفاوت دو نوع فتوسیستم ۱ و ۲ قرار گرفته در غشای تیلاکوئیدها، در **نوع سبزینه** a موجود در مرکز واکنش آن‌ها می‌باشد. در **مرکز واکنش فتوسیستم ۱**، نوعی سبزینهٔ a وجود دارد که در طول موج ۷۰۰ نانومتر (قرمز) **حداکثر** جذب را دارد به همین دلیل به **سبزینه یا کلروفیل a** موجود در فتوسیستم ۱، واژهٔ دیگری به نام P۷۰۰ نیز اطلاق می‌شود. در حالی‌که سبزینه یا کلروفیل a موجود در **مرکز واکنش** فتوسیستم ۲، نام دیگری نیز به صورت P۶۸۰ دارد که **حداکثر** جذب انرژی خود را در طول موج ۶۸۰ نانومتر انجام می‌دهد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) این دو رنگیزه (سبزینه P۶۸۰ و P۷۰۰) مسئول خروج **الکترون‌های پرانرژی** از فتوسیستم‌ها نیز می‌باشند که در گفتار بعدی به‌طور مفصل در مورد کار آن‌ها بحث می‌کنیم. لازم به ذکر است که انرژی لازم برای خروج این الکترون‌ها را همهٔ رنگیزه‌ها فراهم کرده‌اند.

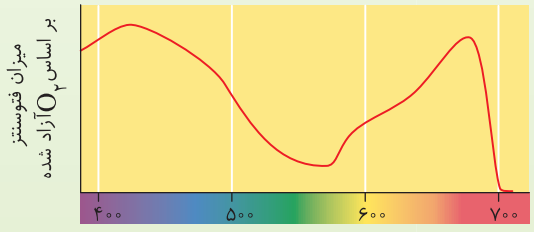
۲) در غشای تیلاکوئیدها، بین دو فتوسیستم ۲ و ۱، مولکول‌هایی پروتئینی به نام **ناقل الکترون** نیز وجود دارند که همانند فتوسیستم‌ها می‌توانند الکترون بگیرند یا از دست بدهند (یعنی با گرفتن الکترون، کاهش می‌یابند و با از دست دادن الکترون، اکسید می‌شوند یا اکسایش می‌یابند).



«طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون بین آن‌ها»

۳) امیدوارم به خاطر داشته باشید که منشأ همهٔ پروتون‌ها و الکترون‌های فتوسنتزی، در گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری‌ها، **مولکول آب** می‌باشد.

۴) نمودار روبه‌رو نشان می‌دهد که در هر طیف نور مرئی، گیاه قادر به فتوسنتز و آزاد کردن O_2 می‌باشد ولی بیشترین شدت فتوسنتز و O_2 تولیدی در هنگامی صورت می‌گیرد که گیاه رنگ‌های دو انتهای طیف نور مرئی خورشید یعنی از طول موج زیاد در قرمز، نارنجی، آبی و بنفش (کمترین طول موج) را جذب کند. (همان‌طور که می‌دانید بخش مرئی نور، فقط بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس می‌باشد.)



۵) اسپیروژیر، جلبک **سبز رشته‌ای پرياخته‌ای** می‌باشد که همانند گیاهان، فتوسنتز می‌کند و از **آب** به عنوان **منبع الکترون** استفاده می‌کند. این جلبک، **سبزدیسه‌های نواری درازی** حاوی **انواع رنگیزه‌ها** را دارد ولی همانند گیاهان در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر قدرت فتوسنتز بیشتری دارد.

⑥ طول هر یاخته این جلبک، بیش از ۱۰۰ میکرومتر است ولی اندازهٔ این جلبک که آغازی پریاخته‌ای است، بسیار بیشتر است.



«اسپیروژیر»

سؤال: چرا اغلب گیاهان را به رنگ سبز می‌بینیم یا میوهٔ گوجه‌فرنگی رسیده را قرمز رنگ می‌بینیم؟

پاسخ: همان‌طور که گفته شد، هر رنگیزه‌ای یک‌سری طول موج‌ها را بیشتر جذب کرده و یک‌سری از طول موج‌ها را نیز بازتاب می‌کند که جذب کمتری برای آن‌ها دارد. رنگیزه‌ها از انرژی طول موج‌های جذب شده، در واکنش‌های خود استفاده می‌کنند. به دلیل اینکه در گیاهان، مقدار رنگیزه **سبزینه** از سایر رنگیزه‌ها بیشتر است. این رنگیزه به‌طور ویژه طول موج‌های مربوط به رنگ‌های **قرمز، نارنجی، آبی، و بنفش** را جذب کرده ولی نور سبز را بیشتر منعکس می‌کند، پس بازتاب زیاد رنگ سبز توسط این رنگیزه‌های گیاهی، سبب جذب نور سبز توسط رنگیزه‌های چشم انسان شده و گیاهان را بیشتر به رنگ سبز مشاهده می‌کنیم.

در مورد میوهٔ گوجه‌فرنگی نیز چون رنگیزه لیکوپن (*لیکوپن* زیادی در کروموپلاست (*رنگ دیسه*) آن‌ها دیده می‌شود، پس انعکاس زیاد رنگ قرمز در مقابل جذب سبز و آبی، سبب دیده شدن آن‌ها به رنگ قرمز می‌شود.

نتیجه: هر جسمی به رنگی دیده می‌شود که اغلب رنگیزه‌های آن جسم، آن رنگ یا طول موج مربوط به آن را منعکس می‌کنند.

درسنامه

گفتار ۲ واکنش‌های فتوسنتزی

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی جزئیات واکنش‌های فتوسنتزی گیاهان در هر مرحلهٔ آن بپردازیم. در ابتدا باید یادآوری کنم که هر واکنش فتوسنتزی **فقط در حضور نور** انجام می‌پذیرد چون انرژی این واکنش‌ها از نور خورشید تأمین می‌شود. حالا که در گفتار اول، عوامل مورد نیاز در فتوسنتز و کلیات واکنش را شناختیم، بهتر است یک‌بار دیگر به فرمول خلاصه شدهٔ فتوسنتز در گیاهان بپردازیم:

$$6CO_2+6H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6+6O_2\uparrow$$

اگر بخواهیم یک‌بار دیگر واکنش‌های فتوسنتز گیاهان را به‌طور کلی بیان کنیم، باید ذکر شود که در این واکنش ابتدا باید با استفاده از نور خورشید، مولکول‌های آب تحت تجزیهٔ نوری قرار گیرند تا اکسیژن آن‌ها آزاد شود. $(H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2+2e^-+2H^+)$

پس باید طی سلسله مراتبی الکترون‌های پرانرژی و پروتون‌های حاصل از تجزیه آب، به مولکول CO_2 رسانده شده تا کاهش یابد (*به آن الکترون رسانی شود*).

در نهایت، این سلسله مراتب سبب تولید مولکول **آلی هیدرات کربنی** می‌شود. در این واکنش‌ها، آب در حقیقت دهندهٔ اصلی الکترون و پروتون بوده و CO_2 گیرندهٔ اصلی آن‌ها می‌باشد.

$$H_2O \xrightarrow{\text{نور}} \uparrow \boxed{\frac{1}{2}O_2} + \boxed{2e^-+2H^+} \rightarrow \text{به } CO_2 \text{ می‌رسد} \rightarrow \text{قند تولید می‌شود}$$

واکنش‌های فتوسنتزی در یوکاریوت‌ها

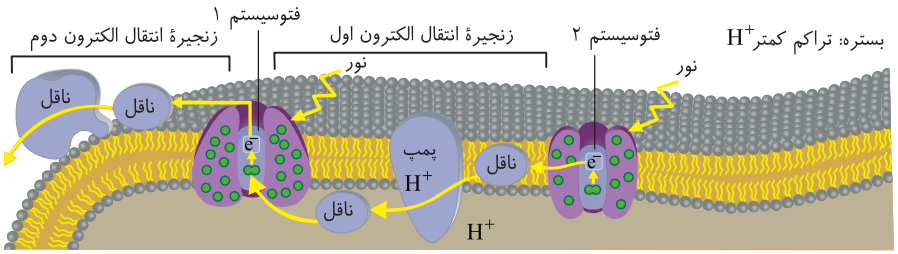
واکنش‌های فتوسنتزی به دو گروه تقسیم می‌شوند، گروه اول واکنش‌های وابسته به نور یا واکنش‌های تیلاکوئیدی می‌باشند که شروع آن‌ها در حضور نور انجام می‌پذیرد و گروه دوم، واکنش‌های **مستقل از نور** یا تثبیت‌کنندهٔ کربنِ CO_2 می‌باشند که قصد آن‌ها ساخت مواد آلی قندی است چون واکنش‌های مستقل از نور نیز محتاج به مصرف برخی محصولات مرحلهٔ نوری می‌باشند، واکنش‌های این مرحله نیز فقط در حضور نور انجام می‌شوند. در ادامه به‌طور دقیق به بررسی این واکنش‌ها، پیش‌ماده‌ها و محصولات آن‌ها می‌پردازیم.

بررسی کلی واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتزی = واکنش‌های تیلاکوئیدی

از آنجایی که نور خورشید، منبع انرژی برای واکنش‌های فتوسنتزی می‌باشد، محققین با بررسی این واکنش‌ها، متوجه شدند که برخی واکنش‌های فتوسنتزی فقط در **حضور نور** انجام می‌شوند و یا به عبارتی دیگر برای انجام آن محتاج به **حضور نور** می‌باشند. این واکنش‌ها که به تجزیهٔ آب، آزاد کردن O_2 و فعالیت زنجیره‌های انتقال الکترون می‌انجامند، همگی به کمک **عوامل تیلاکوئیدی** گیاهان رخ می‌دهند. انجام واکنش‌های نوری (*تیلاکوئیدی*)، مستقل از CO_2 می‌باشند (*یعنی بود و نبود CO_2، مستقیماً در انجام آن‌ها بی‌تأثیر است*).

این واکنش‌ها از یک طرف سبب تولید و آزاد شدن O_2 می‌شوند و از طرف دیگر انرژی نوری خورشید را در مواد شیمیایی مثل ATP نوری و NADPH ذخیره می‌کنند تا از انرژی موجود در الکترون‌های آن‌ها در واکنش‌های قندسازی یا مستقل از نور استفاده شوند.

همان‌طور که در گفتار قبل توضیح دادیم در **غشای تیلاکوئیدها**، دو نوع سامانه تبدیل انرژی به نام **فتوسیستم ۱ و ۲** وجود دارد که تفاوت آن‌ها در **نوع سبزینه a** مرکز واکنش‌های آن‌ها می‌باشد. (*سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱ را P۷۰۰ و در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ را P۶۸۰ می‌نامند.*) در غشای تیلاکوئیدها، بین دو فتوسیستم ۲ و ۱ یک نوع زنجیرهٔ انتقال الکترون، حاوی مولکول‌های مخصوص انتقال الکترون و **یک پمپ** انتقال دهندهٔ **الکترون و پروتون** وجود دارد. بعد از فتوسیستم ۱ نیز زنجیرهٔ انتقال الکترون دیگری وجود دارد که فقط حاوی یک‌سری مولکول‌های ناقل الکترون می‌باشد. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید در غشای تیلاکوئیدها، این دو زنجیرهٔ انتقال الکترون یکی بین فتوسیستم ۲ و ۱ بوده و دیگری بعد از فتوسیستم ۱ می‌باشد.



«طرحی از فتوسیستم‌ها و دو زنجیرهٔ انتقال الکترون در واکنش‌های نوری»

یادآوری ساختار فتوسیستم و بررسی فعالیت آن

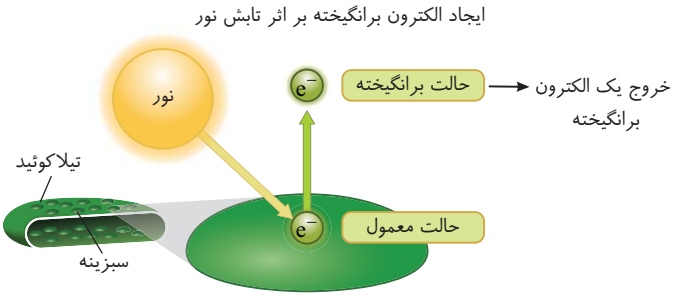
در گفتار قبل گفتیم که در غشای تیلاکوئیدها، سامانهٔ جذب انرژی یا فتوسیستم دارای یک بخش به نام **آنتن‌های گیرندهٔ نوری** و یک بخش به عنوان **مرکز واکنش** می‌باشد. در آنتن‌ها، انواعی از رنگیزه‌های سبزینه‌ای و کاروتنوئیدی به همراه انواع پروتئین‌ها وجود دارند ولی در مرکز واکنش هر فتوسیستم، فقط سبزینه a خاص آن در بستری پروتئینی قرار گرفته است.

دقت کنید که همهٔ رنگیزه‌های موجود در آنتن‌های فتوسیستم برحسب توانایی خود، در طول موج‌های خاصی از نور خورشید انرژی جذب می‌کنند. رنگیزه‌ها می‌توانند این انرژی را به همدیگر نیز منتقل کنند ولی همه در نهایت باید **مجموع انرژی‌های** جذب شده خود را به **سبزینهٔ a** (P_{680} و P_{700}) موجود در **مرکز واکنش** بدهند تا با خارج شدن الکترون P_{680} و P_{700} از فتوسیستم‌ها، فرایند زنجیرهٔ انتقال الکترون در فتوسنتز آغاز شود.

نکتهٔ مهم این است که همهٔ رنگیزه‌ها و مولکول‌های پروتئینی درون آنتن‌ها و سبزینه‌های a که در مرکز واکنش قرار دارند، حاوی **الکترون** می‌باشند. این الکترون‌ها با گرفتن مقدار مشخصی انرژی می‌توانند به صورت **الکترون برانگیخته** از مدار خود **خارج** شوند و به انجام واکنش‌های نوری فتوسنتزی در غشای تیلاکوئیدها کمک کنند.

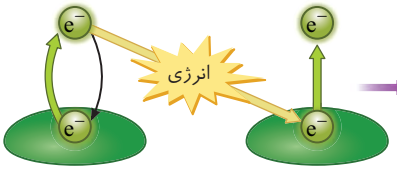
بررسی مراحل خروج الکترون‌ها از یک فتوسیستم

هر روز با طلوع خورشید، نور به رنگیزه‌های درون آنتن‌های هر فتوسیستم برخورد می‌کند. این رنگیزه‌ها، حاوی الکترون‌های ذخیره‌ای از مولکول‌های آب تجزیه شدهٔ روز قبل هستند که سطح انرژی آن‌ها با گرفتن طول موج‌هایی از نور، به تدریج بالاتر می‌رود. **اگر این الکترون‌ها انرژی مناسبی ذخیره کنند**، می‌توانند به صورت **الکترون برانگیخته** درآیند و از مدار خود **در آن رنگیزه** خارج شوند (دقت کنید که الکترون آنتن‌ها هیچ‌گاه از یک فتوسیستم خارج نمی‌شود بلکه فقط انرژی آن می‌تواند از آنتن خارج شود). شکل روبه‌رو ایجاد یک الکترون برانگیخته و خارج شده از مدار خود در یک فتوسیستم را نشان می‌دهد.



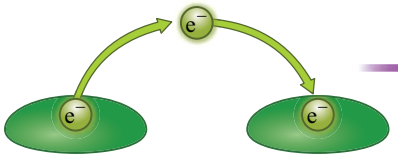
● انواع مقصد الکترون برانگیخته شده

۱) درون فتوسیستم، پس از خروج الکترون‌های برانگیخته ممکن است دو حالت پیش آید. در حالت اول الکترون‌های برانگیخته، **فقط انرژی** خود را به **مولکول رنگیزه** مجاور می‌دهند و خودشان در همان رنگیزه دوباره با همان سطح انرژی معمولی قرار می‌گیرند. این کار سبب برانگیخته کردن الکترون‌ها در مولکول رنگیزه مجاور می‌شود. (لازم به ذکر است که خود این رنگیزه نیز با گرفتن نور خورشید، قبلاً مقداری انرژی گرفته بوده است و با گرفتن انرژی از مولکول مجاور می‌تواند سریع‌تر الکترون برانگیخته ایجاد کند.)



این شکل انتقال انرژی را از الکترون برانگیخته به رنگیزه مجاور نشان می‌دهد که خود الکترون از رنگیزه اولیه منتقل نمی‌شود.

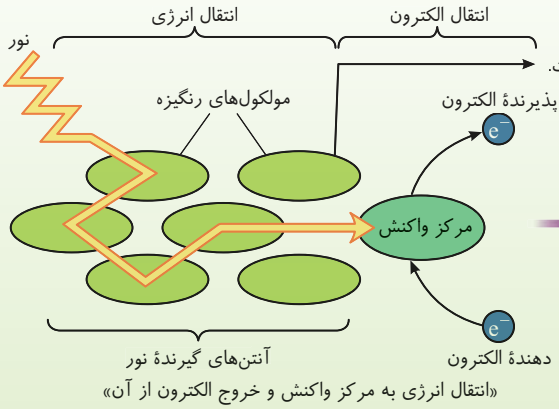
۲) حالت دوم این است که وقتی الکترون برانگیخته از رنگیزهٔ فتوسیستمی خارج می‌شود، کل الکترون به همراه انرژی آن به **مولکول پروتئینی** یا **رنگیزه** مجاور در همان آنتن منتقل می‌شود.



این شکل انتقال الکترون پرانرژی را از یک رنگیزه به بخش نوری دیگر نشان می‌دهد.

نکته

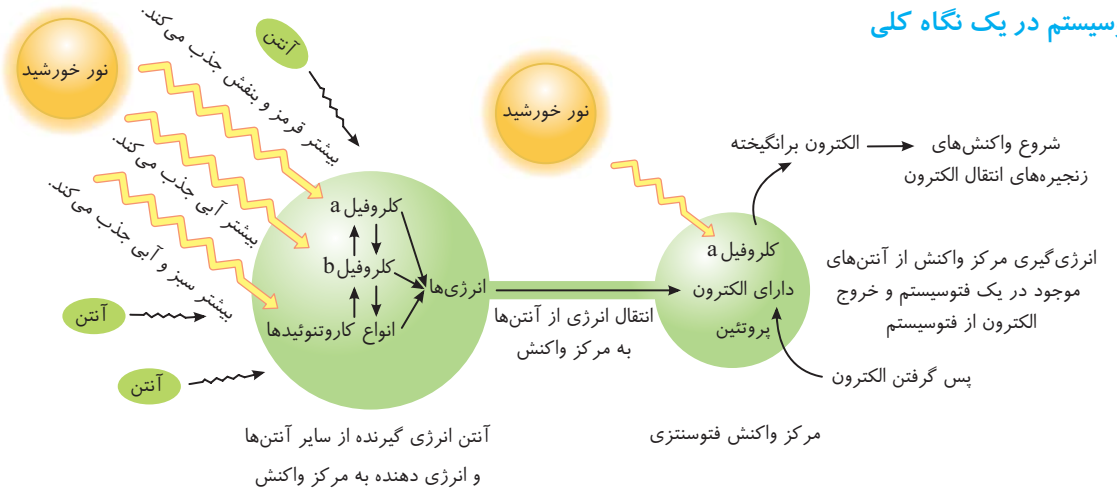
در هر فتوسیستم، در نهایت بالاخره **انرژی** گرفته شده توسط همهٔ آنتن‌ها به **سبزینهٔ a** واقع در **مرکز واکنش** آن فتوسیستم می‌رسد که سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینهٔ a می‌شود. این الکترون‌ها از فتوسیستم ۱ یا ۲ خارج می‌شوند و واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون را شروع می‌کنند.



این شکل نشان دهندهٔ همکاری اغلب آنتن‌های یک فتوسیستم برای انرژی‌رسانی به مرکز واکنش یک فتوسیستم می‌باشد تا از سبزینهٔ a موجود در مرکز واکنش، الکترون برانگیخته خارج شود.

«انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن»

● فتوسیستم در یک نگاه کلی



چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

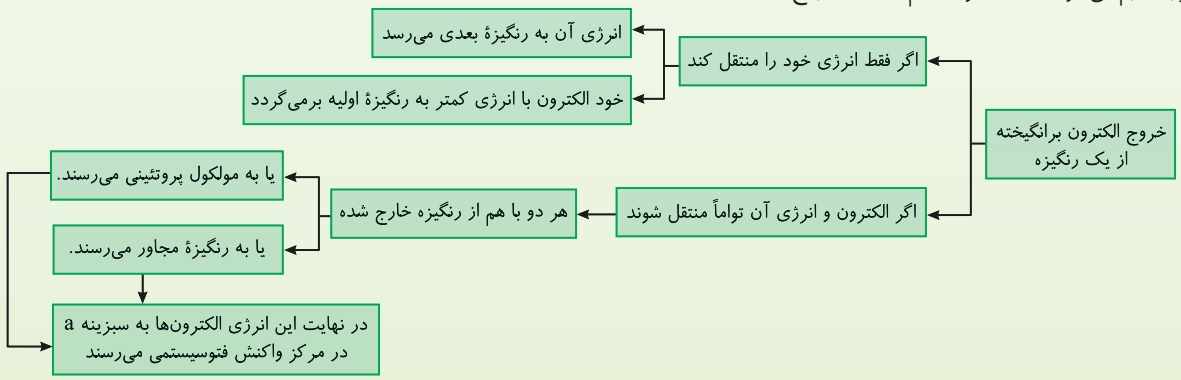
۱) با طلوع خورشید به تدریج طول موج نورهای خورشید از زیاد به کم (*در ظهر*) تبدیل می‌شود که با این کار انرژی نورها افزایش می‌یابد و الکترون‌های رنگیزه‌ها سریع‌تر به مدار پرانرژی‌تر و برانگیخته‌تر تبدیل می‌شوند (*به همین دلیل گیاهان خورشید در وسط ظهر بیشتر از ابتدای سپیده‌دم حرکت می‌کنند*).

نتیجه‌گیری: همهٔ رنگیزه‌ها کنند یاری ← تا سبزینه a ول کند باری (e^-)

۲) در واکنش‌های فتوسنتزی هر رنگیزه یا مولکولی که الکترون از دست می‌دهد باید جای آن را با الکترون‌های دیگری پر کند تا این واکنش‌ها دائماً ادامه یابند.

۳) اگر الکترونی **فقط انرژی** خود را از دست بدهد و خودش به مدار قبلی در همان رنگیزه برگردد، انرژی خود را فقط به **رنگیزه** مجاور می‌دهد ولی اگر این الکترون برانگیخته دوباره به همان رنگیزه برنگردد، می‌تواند توسط **مولکول‌های پروتئینی** درون فتوسیستمی یا **رنگیزه‌ها** گرفته شود. در نهایت **انرژی** مجموعهٔ آنتن‌ها با خروج از یک آنتن به سبزینهٔ a در مرکز واکنش منتقل شود تا الکترون این سبزینه a، ضمن برانگیخته شدن، این‌بار از کل فتوسیستم ۱ یا ۲ خارج شود و نوعی واکنش زنجیرهٔ انتقال الکترون را شروع کند.

۴) همان‌طور که ذکر کردیم در فتوسنتز، دو نوع زنجیرهٔ انتقال الکترون وجود دارد. الکترون‌های برانگیختهٔ خارج شده از مرکز واکنش فتوسیستم ۲، سبب شروع زنجیرهٔ انتقال الکترون بین دو فتوسیستم ۲ و ۱ می‌شوند ولی الکترون‌های خارج شده از $P_{۷۰۰}$ در فتوسیستم ۱، سبب شروع واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون دوم می‌شوند که در فتوسیستم ۱ به بعد واقع شده‌اند.



۵) دقت کنید که بین دو آنتن و بین آنتن‌ها و مرکز واکنش، الکترونی منتقل نمی‌شود، بلکه فقط انرژی آنتن‌ها به یکدیگر و در نهایت به مرکز واکنش هر فتوسیستم منتقل می‌شود.

بررسی جزء به جزء واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون (واکنش‌های وابسته به نور یا تیلاکوئیدی)

در غشای تیلاکوئیدها **دو زنجیرهٔ انتقال الکترون** وجود دارد که فعالیت خود را تقریباً هم‌زمان آغاز می‌کنند. زنجیرهٔ انتقال الکترون اول بین فتوسیستم ۲ و ۱ قرار دارد که انرژی نوری جذب شده توسط فتوسیستم ۲ را صرف **تولید ATP نوری** پرانرژی می‌کند. زنجیرهٔ انتقال الکترون دوم بعد از فتوسیستم ۱ می‌باشد که انرژی نوری جذب شده را صرف **تولید مادهٔ پرالکترون و پرانرژی NADPH** می‌کند که در ادامه به بررسی جزء به جزء آن‌ها می‌پردازیم.

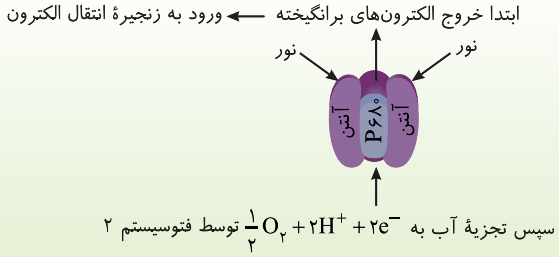
- انواع زنجیرهٔ انتقال الکترون تیلاکوئیدی
  - زنجیرهٔ اول ← بین فتوسیستم ۲ و ۱ ← واکنش‌های آن به تولید $O_۲$ و ATP نوری می‌پردازند.
  - زنجیرهٔ دوم ← از انتهای فتوسیستم ۱ به بعد ← به تولید NADPH می‌پردازد.
- در انتهای فتوسنتز، خواهید دید که ATP نوری و NADPH تولید شده در واکنش‌های نوری، سرانجام در واکنش‌های مستقل از نور، به مصرف می‌رسند تا به همراه $CO_۲$، در تولید مادهٔ آلی قندی شرکت کنند.

● الف) واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون بین فتوسیستم ۲ و ۱ ⇐ تولید O_2 و ATP نوری

همان‌طور که گفتیم واکنش‌های فتوسنتزی، از طلوع خورشید تا غروب آفتاب رخ می‌دهند. با طلوع خورشید و برخورد طول موج‌های نور خورشید به رنگیزه‌ها، همهٔ رنگیزه‌های درون فتوسیستم ۲ و ۱ انرژی می‌گیرند. انرژی جذب شده در بین رنگیزه‌های آنتن‌ها، منتقل می‌شود تا در نهایت انرژی آن‌ها به رنگیزه مرکز واکنش فتوسیستم ۲ یعنی به P۶۸۰ (*سبزینه*a) و یا در مرکز واکنش فتوسیستم ۱ به P۷۰۰ (*سبزینه*a) منتقل شود. در این هنگام الکترون‌های برانگیخته پرانرژی از P۶۸۰ و سپس P۷۰۰، از فتوسیستم مربوط به آن‌ها خارج می‌شوند. در اثر خروج الکترون‌ها از **فتوسیستم ۲**، آنزیمی در این فتوسیستم که به سطح **داخلی** غشای تیلاکوئید **نزدیک** است، فعال شده و سبب تجزیهٔ آب در فضای درون تیلاکوئید به صورت $(H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+)$ می‌شود. ضمن این عمل مقداری مولکول اکسیژن آزاد شده که با خروج از روزنه‌های هوایی، عدسک‌ها و پوستک‌های گیاه وارد جو می‌شود و یا به مصرف تنفس یاخته‌ای خود گیاه می‌رسد. پروتون‌ها (H^+) در فضای درون تیلاکوئید باقی مانده ولی الکترون‌های حاصل از تجزیهٔ آب، به P۶۸۰ در **مرکز واکنش فتوسیستم ۲** می‌روند. در حقیقت الکترون‌های حاصل از تجزیهٔ آب، جای خالی الکترون‌های برانگیخته و خارج شده از P۶۸۰ را پر می‌کنند. در فتوسنتز **به واکنش تجزیهٔ آب در اثر نور، تجزیهٔ نوری آب** (*فتولیز*) **گفته می‌شود.**

نکته

در شکل مقابل ابتدا فتوسیستم ۲ توسط P۶۸۰ الکترون از دست می‌دهد، سپس به تجزیهٔ آب می‌پردازد.



● اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون اول بین دو فتوسیستم ۲ و ۱

بعد از فتوسیستم ۲، در زنجیرهٔ انتقال الکترون اول به ترتیب، پروتئین ناقل الکترونی آب‌گریز، پمپ ناقل الکترون و پروتون و در نهایت یک پروتئین ناقل الکترون آب‌دوست وجود دارد تا الکترون به مرکز واکنش فتوسیستم ۱ یعنی به P۷۰۰ برسد.

الکترون‌های برانگیخته خارج شده از فتوسیستم ۲، در غشای تیلاکوئید وارد زنجیرهٔ انتقال الکترون بین دو فتوسیستم می‌شوند. این الکترون‌ها ضمن عبور از مولکول به مولکول دیگر زنجیره، مقداری از انرژی خود را نیز از دست می‌دهند.

به‌طور مثال و برای راحتی درک مطلب، فرض کنید الکترون برانگیخته P۶۸۰ با ۱۰۰ انرژی از فتوسیستم ۲ خارج شده است. وقتی این الکترون‌ها به **اولین ناقل آب‌گریز** در قبل از پمپ H^+ می‌رسند، انرژی آن‌ها مثلاً به ۹۰ رسیده است. این الکترون‌ها حالا باید از پمپی با نقش انتقال دهندهٔ الکترون و پروتون که در سرتاسر عرض غشای تیلاکوئید است، عبور کنند. این پمپ **مقدار زیادی انرژی** از الکترون‌های عبوری می‌گیرد و مثلاً انرژی آن‌ها از ۹۰ به ۲۰ می‌رسد. این پروتئین سرتاسری نقش پمپ پروتونی H^+ دارد که با **انتقال فعال** و با استفاده از **انرژی الکترون عبوری** (نه ATP!) فعال می‌شود و سبب انتقال فعال H^+ از بسترهٔ سبزدیسه به فضای درون تیلاکوئید می‌شود. به یاد دارید که در این فضا توسط فتوسیستم ۲، در اثر تجزیهٔ نوری آب نیز مقداری H^+ (*پروتون*) انباشته می‌شد، سپس با ادامهٔ این روند و در اثر **فعالیت پمپ غشایی** H^+ **و تجزیهٔ آب**، به تدریج تراکم H^+ درون فضای تیلاکوئید، بیشتر و بیشتر می‌شود تا شیب غلظتی برای تراکم H^+ **از درون** تیلاکوئید **به فضای بیرون** آن یعنی به سمت بستره سبزدیسه ایجاد شود. این شیب غلظت H^+، **مجموعه پروتئینی ATPساز** را در غشای تیلاکوئید فعال می‌کند تا **بدون صرف انرژی زیستی** و با فعالیت کانالی خود با **انتشار تسهیل شده** (H^+ *با انتشار ساده عبور نمی‌کند!!*) از درون تیلاکوئید، در جهت شیب غلظت به بستره سبزدیسه برود. هنگامی که از بخش کانالی این مجموعه پروتئینی، H^+ عبور می‌کند، **نقش آنزیمی این کانال** که درون **بستره** قرار دارد، فعال می‌شود. این مجموعهٔ پروتئینی به نام آنزیم ATPساز **درون بستره** و با **صرف انرژی** حاصل از عبور پروتون‌ها، با ترکیب کردن ADP و گروه فسفات، یک مولکول **ATP نوری** طی یک واکنش سنتز آبدهی ایجاد می‌کند. **این مولکول ATP را به این دلیل ATP نوری می‌نامند که انرژی اولیه برای تشکیل آن را نور تأمین کرده است.** (*دقت کنید که این ATP یک محصول موقت است که فقط در واکنش‌های مربوط به ساخت قند در بستره سبزدیسه به مصرف می‌رسد، یعنی ATP های نوری تولید شده در سبزدیسه برخلاف ATPهای تولید شده در راکیزه، نمی‌توانند به هر مصرفی در یاخته برسند.*)

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) اگر به چند خط بالاتر رجوع کنید، می‌بینید که الکترون‌های برانگیخته فتوسیستم ۲، پس از عبور از پمپ H^+، انرژی زیادی را از دست دادند که البته این انرژی به‌طور غیرمستقیم به مصرف تولید ATP در کانال ATPساز رسید.

(۲) **اما سرانجام الکترون‌های برانگیخته خارج شده از فتوسیستم ۲ که از پمپ H^+ عبور کرده‌اند چه می‌شود؟**

پاسخ ساده است، این الکترون‌ها در غشای تیلاکوئید از مولکول‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون یکی یکی عبور می‌کنند و با انرژی کمی ابتدا به مولکول ناقل قبل از فتوسیستم ۱ و سپس با کمترین انرژی (*مثلاً حدود ۱۰ از ۱۰۰ اولیه*) به P۷۰۰ یا سبزینه a درون **مرکز واکنش فتوسیستم ۱** می‌رسند.

(۳) در زنجیرهٔ انتقال الکترون بین دو فتوسیستم، سبزینه a یا P۶۸۰ درون مرکز واکنش فتوسیستم ۲، کمبود الکترونی خود را توسط الکترون‌های آب جبران می‌کند ولی در ادامه خواهید دید که P۷۰۰ در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، کمبود الکترونی یا الکترون‌های خارج شده خود را توسط الکترون‌های فتوسیستم ۲ جبران می‌کند.

(۴) انرژی واکنش‌های انجام شده در زنجیرهٔ انتقال الکترون اول که بین دو فتوسیستم واقع شده است، در اصل از نور خورشید تأمین شده است و این انرژی توسط **الکترون‌هایی** منتقل می‌شود که از فتوسیستم ۲ خارج شده‌اند.

۵) واکنش‌های انجام شده که زنجیرهٔ انتقال الکترون بین دو فتوسیستم در آن نقش دارند، به صورت زیر می‌باشند:

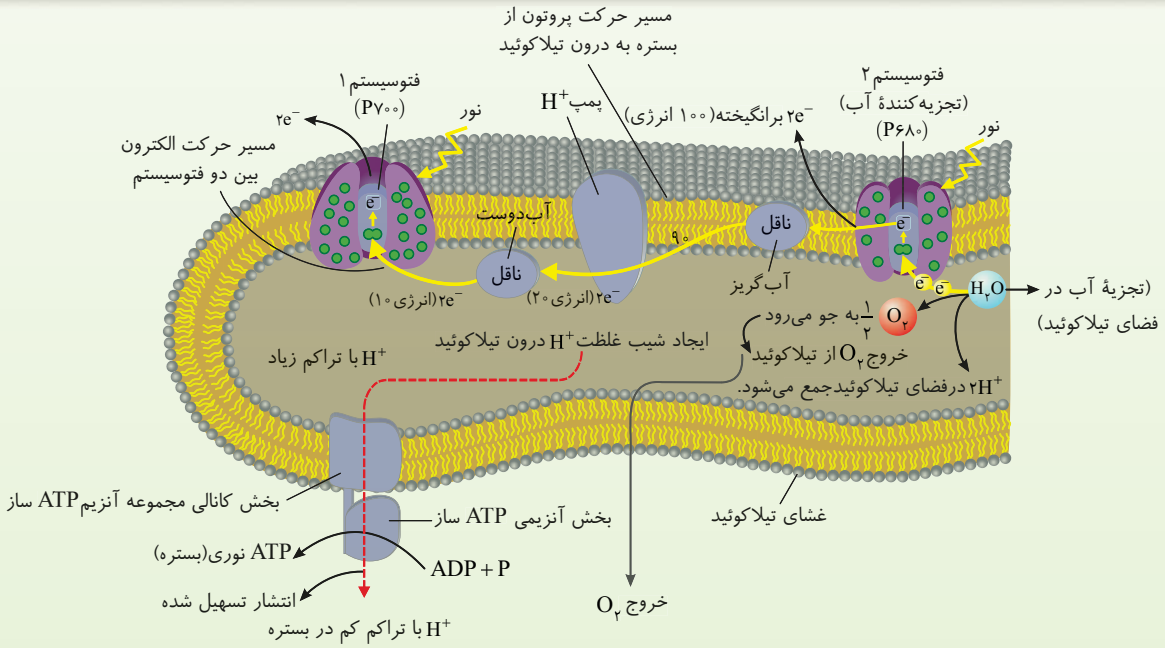
به فتوسیستم ۲ می‌رود
در فضای تیلاکوئید می‌ماند

$H_2O \xrightarrow[\text{فضای تیلاکوئید}]{\text{تجزیهٔ نوری آب}} \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+$ ⇒ این واکنش توسط فتوسیستم ۲ ولی در سطح داخلی تیلاکوئید صورت می‌گیرد.

$ADP + P \xrightarrow[\text{ساخته شدن نوری ATP}]{\text{بستره}} ATP$ ⇒ این واکنش توسط پروتئین کانالی و در بستره انجام می‌شود.

۶) مجموعهٔ پروتئینی کانال H^+ (آنزیم ATPساز)، از اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون نمی‌باشد و الکترونی را عبور نمی‌دهد. این مجموعه فعالیت ترابری H^+ را بدون صرف انرژی زیستی ولی نقش آنزیمی ATPسازی را با صرف انرژی حاصل از شیب غلظت پروتون انجام می‌دهد.

توجه: عددهای گفته شده برای درک بهتر شما از مقدار انرژی الکترون‌ها در هر منطقه می‌باشد و ارزش علمی ندارند.



۷) پمپ H^+ و کانال H^+، هر دو ناقلی برای انتقال پروتون هستند ولی پمپ H^+ به انتقال الکترون نیز می‌پردازد و بخشی از زنجیرهٔ اول انتقال الکترون می‌باشد.

۸) عوامل مورد نیاز برای تجزیهٔ آب در سطح تحتانی فتوسیستم ۲ قرار دارد که درون فضای تیلاکوئید (در نزدیکی سطح داخلی تیلاکوئید) سبب تجزیهٔ نوری آب می‌شوند. ضمن تجزیهٔ آب با آزاد کردن O_2، مقداری الکترون و پروتون نیز در فضای تیلاکوئید ایجاد می‌شود.

۹) همانند آنچه در زنجیرهٔ انتقال الکترون تنفس هوازی راکیزه‌ها آموختید، در سبزدیسه و در غشای تیلاکوئید نیز مجموعهٔ پروتئینی به نام آنزیم ATPساز وجود دارد که الکترون‌ها از آن عبور نمی‌کنند و از اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون نمی‌باشد ولی هم با انتشار تسهیل شده نقش کانال H^+ دارد و هم نقش آنزیمی برای ساخت ATP دارد.

● ب) زنجیرهٔ انتقال الکترونی که پس از فتوسیستم ۱ قرار دارد ⇐ تولید ناقل الکترونی NADPH می‌کند.

همان‌طور که در ابتدای زنجیرهٔ قبل گفتیم، هم‌زمان با طلوع خورشید، P۶۸۰ و P۷۰۰ در فتوسیستم‌های ۲ و ۱ با فاصله زمانی اندکی الکترون‌های برانگیخته خود را خارج می‌کنند. تکلیف الکترون‌های P۶۸۰ را یاد گرفتید که در نهایت با انرژی کم به P۷۰۰ در فتوسیستم ۱ می‌رسند و انرژی آن‌ها در بین دو فتوسیستم صرف **تجزیهٔ آب و ساخت ATP نوری** می‌شود. اما تکلیف الکترون‌های پرانرژی خارج شده از P۷۰۰ در فتوسیستم ۱ چه می‌شود؟

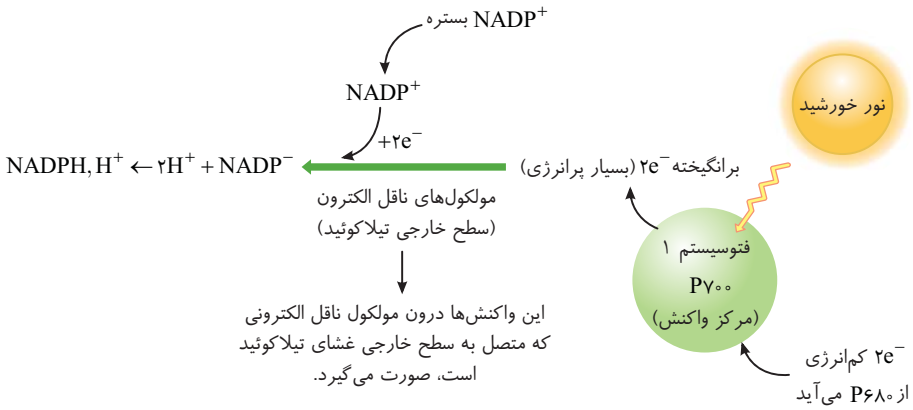
همان‌طور که بررسی کردیم، همهٔ این الکترون‌ها در حقیقت حاصل از تجزیهٔ آب بوده‌اند که به همراه پروتون‌ها ایجاد شده‌اند. اما این الکترون‌ها و پروتون‌ها در نهایت باید در واکنش‌های نهایی، به مولکول CO_2 برسند تا **پیوندهای پرانرژی کربن - هیدروژن** در مواد آلی ساخته شوند (*یادآوری می‌کنیم که این پیوندها همان پیوندهایی می‌باشند که در تنفس یاخته‌ای می‌شکنند و از آن ATP ایجاد می‌شد!!*). در اینجا همانند تنفس یاخته‌ای نیاز به یک گیرندهٔ الکترون و پروتون داریم تا آن‌ها را به مرحلهٔ بعد برای تولید مادهٔ آلی منتقل کند. درون سبزدیسه‌ها الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم ۱، ابتدا به **مولکول‌های ناقل آب‌دوستی** که به **سطح خارجی غشای تیلاکوئید** متصلند، وارد می‌شوند. گیرندهٔ الکترونی به نام $NADP^+$ (نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات) وجود دارد که **ابتدا دو الکترون** پرانرژی خارج شده از این ناقلین را جذب کرده و به صورت یون منفی $NADP^-$ درمی‌آید $(NADP^+ + 2e^- \rightarrow NADP^-)$. سپس $NADP^-$ با یک پروتون (H^+) ترکیب شده و به صورت مولکول ناقل الکترونی NADPH درآمده که همواره به همراه یک پروتون دیگر $(NADPH, H^+)$ تولید و ادامهٔ مسیر می‌دهد. **NADPH مولکول ناقل برای الکترون‌های پرانرژی خارج شده از فتوسیستم ۱ می‌باشد که به همراه ATP نوری سبب انتقال انرژی، الکترون و پروتون‌های مورد نیاز برای ساخت مادهٔ آلی قندی در مرحلهٔ آخر فتوسنتز یا همان مراحل مستقل از نور می‌شوند.**

نکته

واکنش تبدیل $NADP^+$ به $NADPH$ توسط ناقل الکترونی متصل به سطح خارجی غشای تیلاکوئید ولی در حقیقت درون بسترهٔ سبزدیسه‌ها (*نه درغشای تیلاکوئید*) انجام می‌شود.

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \xrightarrow[\text{(متصل به سطح خارجی تیلاکوئید)}]{\text{ناقلین پس از فتوسیستم ۱}} NADPH, H^+$$

خلاصه واکنش‌های زنجیرهٔ دوم الکترونی (پس از فتوسیستم ۱)

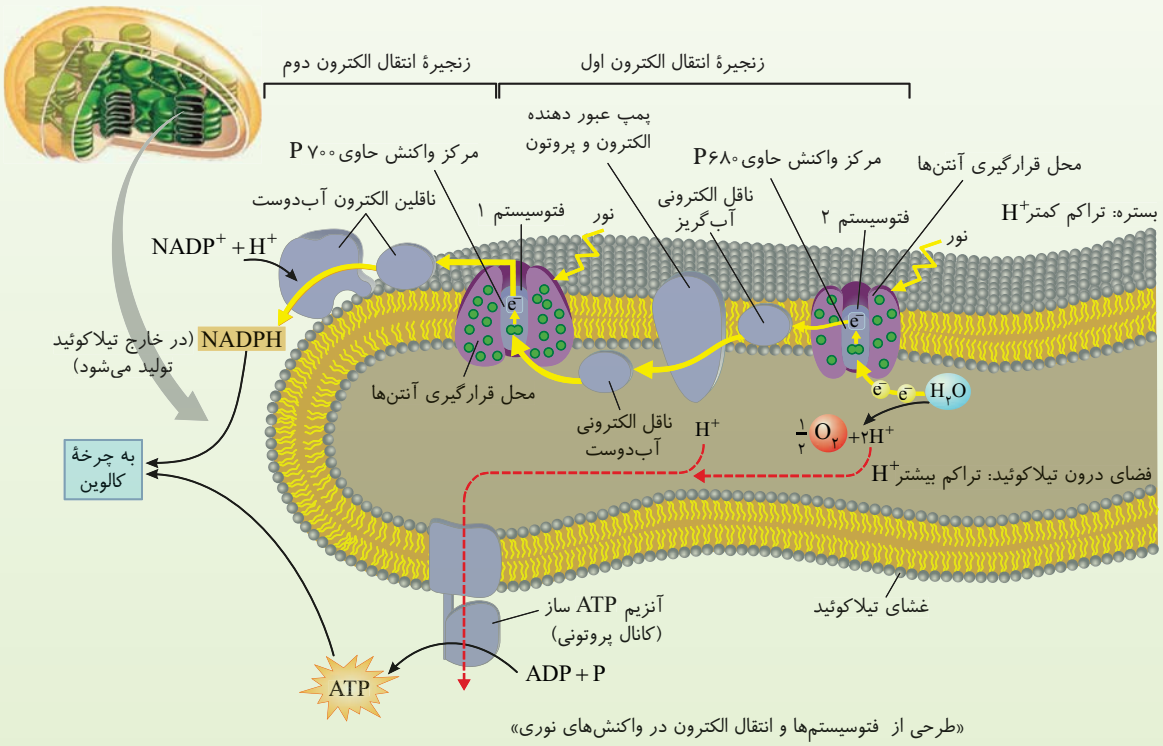


چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) الکترون‌های کم‌انرژی وارد شده به فتوسیستم ۱، کمی انرژی باقی‌مانده از فتوسیستم ۲ را با خود به همراه دارند و جایگزین الکترون‌های خارج شده از P۷۰۰ می‌شوند. این الکترون‌ها پس از جذب نور توسط رنگیزه‌های فتوسیستم ۱، با بیشترین انرژی از P۷۰۰ خارج می‌شوند تا از طریق دومین زنجیرهٔ انتقال الکترون، در نهایت به $NADP^+$ برسند.

(۲) ATP نوری و NADPH که محصول مرحلهٔ وابسته به نور فتوسنتز می‌باشند، همگی در بستره سبزدیسه تولید شده و در همان‌جا نیز برای تولید قند در واکنش‌های مستقل از نور (*چرخهٔ کالوین*) به کربن‌های CO_2 رسیده و مصرف می‌شوند.

(۳) در شکل، می‌توانید مشاهده کنید که بین فتوسیستم ۲ و پمپ H^+، یک ناقل الکترونی در بخش آب‌گریز فسفولیپیدها (*مجاور دم اسیدهای چرب*) وجود دارد ولی بین پمپ H^+ و فتوسیستم ۱، ناقل الکترونی آب‌دوست به سطح درونی غشای تیلاکوئید متصل است. بعد از فتوسیستم ۱ نیز چند ناقل الکترونی آب‌دوست در سطح خارجی غشای تیلاکوئید (*در تماس با بستره*) وجود دارند که الکترون‌های فتوسیستم ۱ را به گیرندهٔ الکترونی $NADP^+$ منتقل می‌کنند.



«طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون در واکنش‌های نوری»

④ **سؤال:** چرا در هنگام غروب، واکنش‌های فتوسنتزی و تولید O_2، ATP و NADPH متوقف می‌شوند؟

پاسخ: همان‌طور که انشاءالله کامل متوجه شده‌اید، **حضور نور** باعث خروج الکترون‌های برانگیخته از دو فتوسیستم ۲ و ۱ شد، پس بدیهی است که طی یک سلسله مراتب خاص، اگر نور کافی وجود نداشته باشد، الکترون‌ها، برانگیخته نشده و آزاد نمی‌شوند و مولکول آبی نیز توسط فتوسیستم ۲ تجزیه نمی‌شود و O_2 ای آزاد نمی‌شود. در ادامه با عدم خروج الکترون از فتوسیستم ۲، زنجیرهٔ انتقال الکترون بین دو فتوسیستم و پمپی برای عبور H^+ فعال نمی‌شود. با عدم انجام این واکنش‌ها، تراکم و شیب غلظت H^+ در فضای درون تیلاکوئید ایجاد نمی‌شود، کانال H^+ با نقش ATPساز فعال نمی‌شود و ATPای ساخته نمی‌شود. در نهایت وقتی الکترونی برانگیخته نشود، NADPH نیز تولید نمی‌شود. دقت کنید که واکنش‌های مستقل از نور نیز انرژی خود را برای ساخت قند از ATP و NADPHهای مرحلهٔ نوری می‌گیرند. در نتیجه با غروب آفتاب و با اتمام تولید ATP نوری و NADPHها، واکنش‌های قندسازی یا مستقل از نور فتوسنتز نیز متوقف می‌شوند.

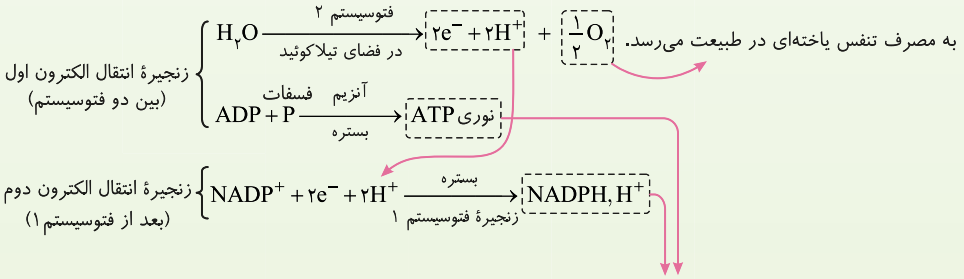
⑤ **سؤال:** چرا از قدیم می‌گفتند، شب زیر درختان بلند نخوابید چون احتمال خفگی وجود دارد!؟

پاسخ: در سؤال قبل گفتیم که از هنگام غروب تا صبح، به دلیل عدم حضور نور خورشید، واکنش‌های فتوسنتز و تولید O_2 در گیاه متوقف می‌شوند. O_2های حاصل از فتوسنتز گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها، تا هنگام غروب، کمی به مصرف تنفس یاخته‌ای خود جاندار تولیدکننده می‌رسند ولی مقدار اعظم آن از روزنه‌های هوایی خارج شده تا به مصرف تنفس در سایر موجودات زنده برسند.

در شب هنگام، بدیهی است که با متوقف شدن واکنش‌های فتوسنتز، تولید O_2 در گیاه متوقف می‌شود و آزادسازی آن صورت نمی‌گیرد. از طرفی گیاه نیز موجود زنده است و همانند سایر موجودات ۲۴ ساعته در حال تنفس یاخته‌ای می‌باشد. یعنی در شب نیز O_2 محیط را می‌گیرد و با تنفس هوازی به تولید و آزاد کردن CO_2 می‌پردازد. پس اگر شب زیر درختان بلند و عظیم بخوابیم، علاوه بر اینکه از نعمت آزادسازی O_2 توسط گیاه محروم هستیم، این جاندار با تنفس یاخته‌ای در حال آزادسازی CO_2 زیادی به محیط می‌باشد. این CO_2 خروجی از گیاهان، می‌تواند سبب اشکال در تنفس و حتی خفگی برای جانداری شود که در زیر آن به راحتی آرمیده است. حتی ممکن است سبب خواب آخر آن مرحوم شود!!

⑥ منشأ تمام الکترون‌های واکنش‌های فتوسنتزی و الکترون‌های ذخیره شده در رنگیزه‌ها و مولکول‌های فتوسنتزی از مولکول‌های آب تجزیه شده می‌باشد.

⑦ واکنش‌های کلی بخش نوری فتوسنتز در گیاهان به صورت زیر می‌باشند:



برای تولید قند، درون بستره کلروپلاست یعنی در واکنش‌های چرخهٔ کالوین مصرف می‌شوند.

⑧ در واکنش‌های نوری فتوسنتز، دهندهٔ اصلی الکترون، هیدروژن‌های مولکول آب می‌باشند که به صورت H^+ درمی‌آیند. مولکول O_2 حاصل از تجزیهٔ آب نیز متصاعد می‌شود.

⑨ در ادامه می‌خوانیم که وجود آب برای فتوسنتز برخی باکتری‌ها الزامی نیست. به‌طور مثال در باکتری‌های **گوگردی، به جای آب، مولکول** H_2S، دهندهٔ اصلی الکترون و پروتون می‌باشد. این جانداران غیراکسیژن‌زا بوده و به جای آزاد کردن اکسیژن، سبب تولید گوگرد می‌شوند.

⑩ خلاصه واکنش‌های نوری فتوسنتز در کل دو زنجیره گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$H_2O + ADP + P\ (\text{گروه فسفات}) + NADP^+ \xrightarrow[\text{رنگیزه‌ها}]{\text{نور خورشید}} ATP + \frac{۱}{۲}O_2 \uparrow + NADPH, H^+$$

واکنش‌های نوری فتوسنتز، مستقل از CO_2 می‌باشند و تولید قند نمی‌کنند.

⑪ کمبود نور و یا طول موج نامناسب نور و افزایش O_2، باعث کاهش فرایندهای نوری فتوسنتز و کاهش تولید ATP و NADPH در سبزدیسه‌ها می‌شوند.

⑫ همهٔ فتوسنتزکنندگان طبیعت، رنگیزه، دنای حلقوی (*در ژنوم اصلی باکتری‌ها یا در سبزدیسه یوکاریوت‌ها*) و استفاده از CO_2 برای تولید قند دارند ولی همهٔ آن‌ها برای فتوسنتز، از آب استفاده نمی‌کنند و بدیهی است که همهٔ آن‌ها نیز O_2 تولید نمی‌کنند.

⑬ در جانداران مختلف هر یاخته رنگیزه‌داری را نمی‌توان فتوسنتزکننده در نظر گرفت، مثلاً بدیهی است که چشم انسان نیز رنگیزه جذب نور دارد ولی توانایی فتوسنتز ندارد. ☺

⑭ O_2 تولید شده در فتوسنتز برای خروج از یاخته و رسیدن به محیط داخلی یعنی آب سیتوپلاسمی یا میان‌بافتی باید به ترتیب از یک غشای تیلاکوئید، دو غشای صاف سبزدیسه و یک غشای یاخته‌ای عبور کند (*مجموعاً باید از ۴ غشا و ۸ لایه فسفولیپیدی عبور کند*).

(۱۵) $NADP^+$ گیرندهٔ نهایی **الکترون** در واکنش‌های **نوری** فتوسنتز می‌باشد ولی $NADP^-$ گیرندهٔ نهایی **پروتون** در این واکنش‌ها می‌باشد. (*اگر در تست، گیرندهٔ نهایی پروتون را در واکنش‌های نوری سؤال کرده بود و در بین گزینه‌ها $NADP^-$ نبود، آن موقع $NADP^+$ را گیرندهٔ نهایی الکترون و پروتون در واکنش‌های نوری فتوسنتز می‌دانیم. در ادامه خواهیم دید که CO_2 یا اسید سه کربنه چرخهٔ کالوین، گیرندهٔ نهایی الکترون و پروتون و انرژی برای تولید قند می‌باشد.*)

(۱۶) $NADP^+$ و مجموعه پروتئینی کانال ATPساز از اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون نمی‌باشند ولی در به نتیجه رسیدن هدف واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون برای تولید ATP و NADPH نقش دارند.

(۱۷) **ورود و خروج** H^+ در تیلاکوئید **بدون صرف ATP** انجام می‌شود. لازم به ذکر است که عبور H^+ از بستره به درون تیلاکوئید با صرف انرژی صورت می‌گیرد ولی این انتقال فعال، انرژی خود را از الکترون عبور کرده از پمپ تأمین می‌کند.

(۱۸) دقت کنید که تولید ATP نوری، واکنشی برای تولید مادهٔ آلی و محتاج انرژی است که توسط نقش آنزیمی کانال H^+ انجام می‌شود. این انرژی در اصل توسط رنگیزه‌های فتوسیستم ۲ به دام انداخته شده است که در الکترون‌های عبوری بین دو زنجیره برای ایجاد شیب غلظت پروتون‌ها مصرف شده است.

(۱۹) سیانوباکتری‌ها و سایر باکتری‌های فتوسنتزکننده، تیلاکوئید و کلروپلاست (*سبزدیسه*) ندارند ولی رنگیزه فتوسنتزی و واکنش‌های نوری و مستقل از نور مربوط به آن را دارند. این واکنش‌ها در بخشی از غشا و سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها انجام می‌پذیرند.

(۲۰) عبور H^+ هیچ‌گاه به طریق **انتشار ساده** از بین فسفولیپیدها صورت نمی‌گیرد، این یون‌ها برای ورود به تیلاکوئید ضمن انتقال فعال به پمپ غشایی و برای خروج از تیلاکوئید طی انتشار تسهیل شده به کانال ATPساز محتاج می‌باشند.

(۲۱) در واکنش‌های فتوسنتزی، همانند واکنش‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه‌ای، تولید ATP **در سطح پیش‌ماده** صورت **نمی‌گیرد**.

(۲۲) ATPهای حاصل از عمل زنجیره‌های انتقال الکترون را در راکیزه، ATP اکسایشی می‌نامیم ولی در سبزدیسه ATP نوری نامیده می‌شوند. دقت کنید که برای تولید ATP اکسایشی، ابتدا باید ناقلین الکترونی NADH و $FADH_2$، در زنجیرهٔ انتقال الکترون راکیزه اکسایش شوند ولی تولید ATP نوری سبزدیسه‌ها مستقل از ایجاد ناقل الکترونی NADPH ایجاد می‌شود و نیازی به اکسایش NADPH ندارد.

تست ۷ **در سبزدیسه، زنجیرهٔ انتقال الکترون در ..... واقع است که مسئول انتقال الکترون از ..... می‌باشد.**

۱) غشای تیلاکوئید - آب به P۶۸۰ ۲) غشای تیلاکوئید - P۷۰۰ به نوعی مادهٔ نوکلئوتیددار

۳) غشای داخلی سبزدیسه - P۶۸۰ به P۷۰۰ ۴) غشای داخلی سبزدیسه - P۷۰۰ به نوعی مادهٔ نوکلئوتیددار

پاسخ ۲ زنجیره‌های انتقال الکترون سبزدیسه، در **غشای تیلاکوئیدها** رخ می‌دهد که یکی الکترون را از فتوسیستم ۲ به ۱ منتقل می‌کند و همچنین یک زنجیرهٔ دیگر الکترون‌های P۷۰۰ در فتوسیستم ۱ را به $NADP^+$ که نوعی دی‌نوکلئوتید است، منتقل می‌کند. (*انتقال الکترون از آب به فتوسیستم ۲ جزو مراحل زنجیرهٔ انتقال الکترون به حساب نمی‌آید.*)

تست ۸ **خروج H^+ از محدوده داخل تیلاکوئید به بستره با ..... و ورود آن به داخل تیلاکوئید با ..... همراه است.**

۱) کم کردن شیب غلظت - مصرف انرژی ۲) ایجاد شیب غلظت - فعال شدن ATPسازی کانال

۳) نقش آنزیمی کانال - فعالیت پمپ ۴) فعال شدن نقش آنزیمی کانال - مصرف ATP

پاسخ ۱ صرفاً خروج H^+ از محدودهٔ تیلاکوئید به بسترهٔ سبزدیسه، توسط کانال پروتونی و بدون نقش آنزیمی کانال انجام می‌شود که به انرژی نیازی ندارد. این فرایند با نقش انتقالی صورت می‌گیرد که از نوع انتشار تسهیل شده می‌باشد. این عمل سبب کاهش تفاوت تراکم H^+ در دو سوی غشای تیلاکوئید می‌شود، اما ورود H^+ به تیلاکوئید، با صرف انرژی از الکترون عبوری و انتقال فعال می‌باشد که به همراه تجزیهٔ آب در ایجاد شیب غلظت پروتون در فضای تیلاکوئید نقش دارد.

تست ۹ **چند مورد عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟**

«در مرحلهٔ وابسته به نور فتوسنتز، ضمن تجزیهٔ نوری آب در .....، اکسیژن تولید می‌شود و طی این واکنش، کمبود الکترون‌های ..... جبران می‌شود.»

الف) درون تیلاکوئید - نوع خاصی از رنگیزهٔ فاقد عمل پاداکسنده‌ای

ب) محل شیب غلظت پروتون - آنتن‌های فتوسیستم ۲

ج) بستره سبزدیسه - P۷۰۰ در فتوسیستم ۱

د) مجاورت P۶۸۰ - انواع سبزینه‌های نوعی فتوسیستم

۱) ۱ مورد ۲) ۲ مورد ۳) ۳ مورد ۴) ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (*ب*)، (*ج*) و (*د*) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. عمل تجزیهٔ آب، در فتوسنتز گیاهان درون تیلاکوئید انجام می‌شود که طی آن الکترون‌های P۶۸۰ در فتوسیستم ۲ جبران می‌شود. همان‌طور که می‌دانید در مرکز واکنش فتوسیستم، فقط سبزینهٔ a وجود دارد که فاقد قدرت پاداکسنده‌ای می‌باشد. / ب) نادرست است. آنتن‌ها از بیرون الکترون نمی‌گیرند. / ج) نادرست است. تجزیهٔ آب در بسترهٔ سبزدیسه نمی‌باشد. / د) نادرست است. آب، فقط کمبود الکترونی، سبزینهٔ a (P۶۸۰) موجود در فتوسیستم ۲ را جبران می‌کند.

واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز = واکنش‌های تثبیت کربن در مادهٔ آلی

قبل از شروع خواندن این قسمت حالا با خیال راحت و داشتن علم بیشتر از مراحل نوری فتوسنتز یک‌بار دیگر به فرمول کلی فتوسنتز، نگاهی کنید:

$$۶CO_۲ + ۶H_۲O \xrightarrow[\text{رنگیزه}]{\text{نور خورشید}} C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۶O_۲$$

تا اینجای مبحث متوجه شدید که در واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز گیاهان، ابتدا باید در اثر انرژی نوری، مولکول آب تجزیه و $O_۲$ ساخته شود. پس آب یکی از پیش‌ماده‌های واکنش‌های نوری و $O_۲$ یکی از محصولات این واکنش‌ها می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه کردید تا پایان مراحل نوری فتوسنتز، صحبتی در مورد استفاده از $CO_۲$ و تولید قند نشده بود، به همین دلیل **واکنش‌های نوری را مستقل از $CO_۲$ و محتاج نور می‌دانیم**. اما در واکنش‌های نوری مشاهده کردید که مقداری از انرژی نوری در الکترون صرف تولید ATP و $NADPH, H^+$ می‌شود. این دو محصول یعنی **ATP و NADPH**، در حقیقت در اثر تبدیل **انرژی نوری خورشید به انرژی شیمیایی** ایجاد شده‌اند. این دو مادهٔ آلی را **محصولات موقت فتوسنتز** می‌دانیم و به همین دلیل نیز در فرمول کلی فتوسنتز آن‌ها را به حساب نمی‌آوریم. در حقیقت دو ماده ATP نوری و NADPH الکترون‌های پرانرژی و پروتون‌های مرحلهٔ آخر فتوسنتز یا واکنش‌های **مستقل از نور** را تأمین می‌کنند تا در بسترهٔ سبزدیسه و به کمک مولکول $CO_۲$، سبب ایجاد پیوند کربن - هیدروژن در ساخت مولکول‌های آلی قندی شوند.

پیش‌ماده‌ها و محصولات فتوسنتز گیاهان همراه با مرحلهٔ آن‌ها:

$$\underbrace{۶CO_۲}_{\substack{\text{پیش‌ماده مرحلهٔ}\\\text{مستقل از نور}}} + \underbrace{۶H_۲O}_{\substack{\text{پیش‌ماده}\\\text{مرحلهٔ نوری}}} \longrightarrow \underbrace{C_۶H_{۱۲}O_۶}_{\substack{\text{محصول مرحلهٔ}\\\text{مستقل از نور}}} + \underbrace{۶O_۲}_{\substack{\text{محصول}\\\text{مرحلهٔ نوری}}}$$

الکترون گیرنده (کاهش شونده) — الکترون دهنده (اکسید شونده)

بررسی مرحله به مرحلهٔ واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز (واکنش‌های تثبیت کربن)

ملوین الیس کالوین، دانشمندی آمریکایی بود که برای اولین‌بار واکنش‌های تولید مواد آلی در فتوسنتز را با **ردیابی اتم‌های کربن** در نوعی جلبک سبز تک‌یاخته‌ای پیدا کرد و موفق به دریافت جایزهٔ نوبل **شیمی!** شد. کالوین متوجه شد که واکنش‌های تولید قند از $CO_۲$ در واکنش‌های **چرخه‌ای** و طی ۴ مرحله در بستره سبزدیسه یوکاریوت‌ها انجام می‌شود. در این واکنش‌ها، ATP حاصل از مرحلهٔ نوری، انرژی فرایند را تأمین می‌کند و NADPH نیز الکترون‌های پرانرژی و پروتون‌های واکنش‌ها را تأمین می‌کند. این واکنش‌ها همگی در **بستره سبزدیسه** (کلروپلاست) **یوکاریوت‌ها** اتفاق می‌افتند که با گرفتن $CO_۲$ و کاهش عدد اکسایش کربن آن (به‌دلیل گرفتن الکترون)، صورت می‌گیرد که در نهایت به تولید مادهٔ آلی قندی می‌انجامد. **به واکنش‌های استفاده از $CO_۲$ برای تولید ترکیبات آلی، تثبیت کربن گفته می‌شود.**

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) طی هر نوع واکنش تثبیت کربن، این اتم در مولکول $CO_۲$ در یک **مادهٔ آلی اسیدی** تثبیت می‌شود.

۲) واکنش‌های چرخهٔ کالوین، **مستقل از نور** می‌باشند ولی به $CO_۲$، انرژی و یک منبع الکترونی محتاج هستند، البته تداوم این واکنش‌ها به وجود ATP و NADPHهای مرحلهٔ نوری وابسته است، به همین دلیل با غروب خورشید و اتمام تولید این مولکول‌ها در سبزدیسه واکنش‌های مستقل از نور نیز متوقف می‌شوند.

۳) هر واکنشی در فتوسنتز، چه وابسته به نور (تیلاکوئیدی) و چه مستقل از نور (تثبیت کربن)، همواره در روز یا در حضور نور صورت می‌گیرد.

چرخهٔ کالوین

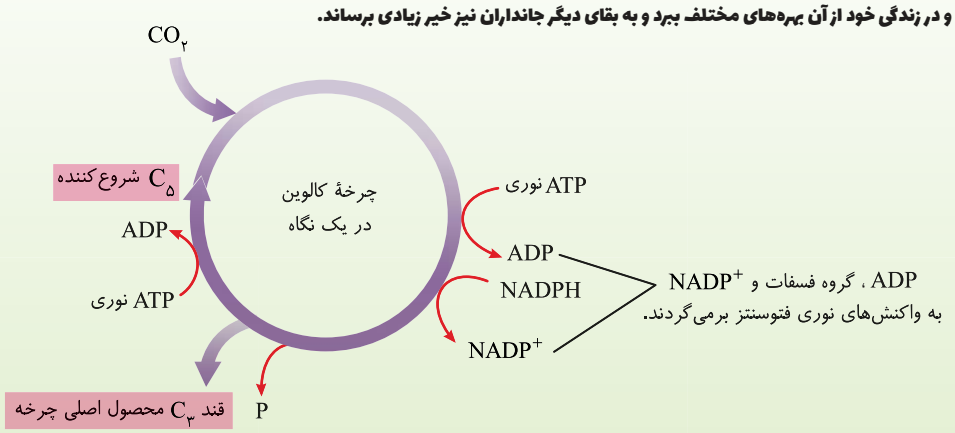
واکنش‌های مستقل از نور یا چرخهٔ کالوین که در **بسترهٔ سبزدیسه** انجام می‌شوند، همانند واکنش‌های چرخهٔ کربس، از نوع چرخه‌ای می‌باشند. این واکنش‌های چرخه‌ای با یک مادهٔ اولیه شروع شده که باید این ماده در انتهای چرخه **دوباره‌سازی** شود. در چرخهٔ کربس مادهٔ شروع‌کننده یک **مادهٔ چهارکربنی** بود که در نهایت دوباره‌سازی می‌شد ولی واکنش‌های چرخهٔ کالوین با یک **قند پنج کربنه دوفسفاته** به نام **ریبولوزبیس فسفات** آغاز می‌شوند که این قند باید در مرحلهٔ آخر واکنش دوباره‌سازی شود تا همچنان چرخهٔ آن بچرخد و قندسازی در طبیعت ادامه یابد.

توجه: واکنش‌های قندکافت را زنجیرهٔ بدون چرخه‌ای می‌گویند و آن‌ها را با چرخهٔ کالوین و کربس اشتباه نگیرید.

به خاطر داشته باشید که همین الآن که در حال خواندن این متن هستید، در حال تجزیهٔ قندهای حاصله از چرخهٔ کالوین و تولید ATP در تنفس یاخته‌ای هستید! (خسته نباشی دلاور!!!)

نکته

به‌طور کلی واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز با مصرف CO_2 ، ATP و NADPH همراه بوده و به تولید قند سه‌کربنی و دوباره‌سازی ADP ، گروه فسفات و $NADP^+$ می‌انجامد. **یاختهٔ تولیدکننده، پس از انجام چرخه‌های کالوین متعدد می‌تواند با ترکیب کردن هر دو مولکول قند سه‌کربنی خارج شده از چرخه، یک گلوکز در خارج از چرخه بسازد و در زندگی خود از آن بهره‌های مختلف ببرد و به بقای دیگر جانداران نیز خیر زیادی برساند.**



مراحل چرخهٔ کالوین

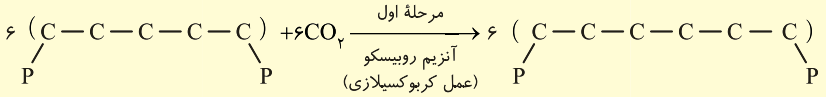
توجه: کتاب درسی مرحله‌بندی خاصی برای چرخهٔ کالوین انجام نداده است ولی من برای راحتی فهم آن، این تقسیم‌بندی را انجام داده‌ام.

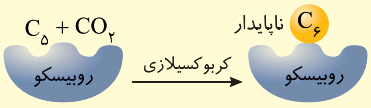
● مرحلهٔ اول

این مرحله توسط آنزیمی با نام مستعار و مخفف **روبیسکو** (*ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز - اکسیژناز*) در بسترهٔ سبزدیسه آغاز می‌شود. این آنزیم یک جایگاه فعال برای مولکول قندی پنج‌کربنی دوفسفاته به نام ریبولوزبیس فسفات دارد ولی جایگاه دیگر آن حالت رقابتی بین اکسیژن و CO_2 دارد (*که بعداً به آن می‌پردازیم!*). در واکنش‌های چرخهٔ کالوین باید **عمل کربوکسیلازی** آنزیم یعنی ترکیب CO_2 با قند پنج‌کربنی و تشکیل **گروه اسیدی کربوکسیل** صورت گیرد.

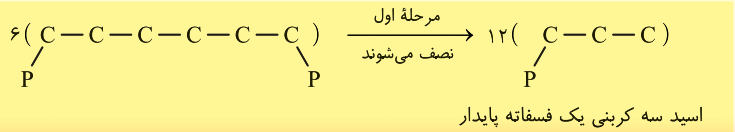
در این مرحله مولکول‌های **شش‌کربنی ناپایداری** ایجاد می‌شوند که **به دلیل ناپایداری، هنوز کربن در آن‌ها تثبیت نشده است.**

نکته: چون در نهایت می‌خواهیم یک مولکول گلوکز یا قند شش‌کربنی ایجاد کنیم پس همانند کتاب درسی ضریب واکنش‌ها را با ۶ مولکول CO_2 آغاز می‌کنیم.



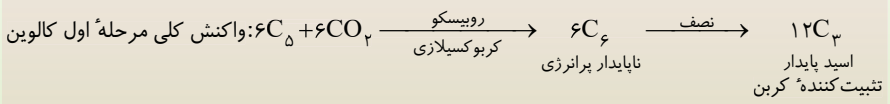


در ادامهٔ مرحلهٔ اول، این مولکول‌های شش‌کربنی پرانرژی، بلافاصله هرکدام از وسط نصف می‌شوند و دو مولکول **اسید سه‌کربنی پایدار** ایجاد می‌کنند.



نکته

اسیدهای سه‌کربنی پایدار، **اولین مواد آلی پایداری** در فتوسنتز اغلب گیاهان می‌باشند که کربن مولکول CO_2 را در خود تثبیت کرده‌اند. به همین دلیل در گفتار بعد می‌آموزید که به گیاهانی که **فقط** می‌توانند کربن را در **چرخهٔ کالوین** تثبیت کنند، **گیاهان** C_3 می‌گویند. لازم به ذکر است که **اغلب گیاهان طبیعت، از نوع گیاهان** C_3 **می‌باشند.** چنانچه در گفتار بعد مشاهده خواهید کرد، این گیاهان در محیط گرم و خشک، رشد مناسبی ندارند چون در این شرایط، آنزیم روبیسکو در گیاهان C_3 قادر به انجام واکنش‌های کربوکسیلازی و شروع چرخهٔ کالوین برای ساخت مادهٔ آلی نمی‌باشد.



مرحلهٔ دوم

در این مرحله، درون بستـرهٔ سبزدیسـه به ازای هر مولکول اسـید سه‌کربنی، ابتدا یک ATP و سپس یک NADPH مصرف می‌شود. اسیدهای سه‌کربنی طی الکترون‌گیری و کاهیده شدن به یک مولکول قند سه‌کربنی یک‌فسفاته همراه با دوباره‌سازی ADP و $NADP^+$ تبدیل می‌شوند.

$$\underset{\text{اسید پایدار}}{۱۲C_۳} + ۱۲ATP + ۱۲NADPH \rightarrow \underset{\text{قند سه کربنی}}{۱۲C_۳} + ۱۲ADP + ۱۲P + ۱۲NADP^+$$

چند نکتهٔ مهم در این مرحله

(۱) هر دو محصول موقت ATP و NADPH، در مرحلهٔ مستقل از نور فتوسنتز برای تبدیل اسید سه‌کربنی یک‌فسفاته به قند سه‌کربنی یک‌فسفاته استفاده می‌شود.

(۲) در چرخهٔ کالوین برای تبدیل اسـید سـه‌کربنی به قند سـه‌کربنی، ابتدا ATP و سـپس NADPH مورد اسـتفاده و تجزیه قرار می‌گیرند (*تولید ADP به تولید* $NADP^+$ *مقدم‌تر می‌باشد*).

(۳) در این مرحله آخرین عملی که انجام می‌شود، خروج فسفات حاصل از تجزیهٔ ATP، از واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد.

(۴) ADP، گروه‌های فسـفات و $NADP^+$ حاصل از این واکنش‌ها، دوباره در مرحلهٔ نوری فتوسـنتز مورد اسـتفاده واکنش‌های تیلاکوئیدی قرار می‌گیرند.

(*یادتان در فصل قبل گفتم «همه چیز در طرح خوب و ادامه‌دار!!»*)

مرحلهٔ سوم

در این مرحله به ازای هر ۶ مولکول قند سـه‌کربنی تولید شـده، **یکی از آن‌ها از چرخه خارج می‌شـود** و به مصرف قندسـازی (*گلوکز، نشاسته و...*) می‌رسـد ولی سایر قندهای سه‌کربنی ($\frac{۵}{۶}$ *قندها*) واکنش‌های چرخهٔ کالوین را ادامه می‌دهند تا به سمت تولید ماده اولیه آن یعنی ریبولوزبیس فسفات برسند.

واکنش‌های چرخهٔ کالوین را ادامه می‌دهند.

$۱۲C_۳$ (قند سه کربنی) → $۱۰C_۳$ قند

از چرخه خارج شده تا به تولید سایر قندها مثل گلوکز و ترکیبات آلی دیگر برسد.

$۲C_۳$ قند

مرحلهٔ چهارم (آخر)

در این مرحله طی واکنش‌هایی از ۱۰ مولکول قند سه کربنه‌ای که چرخه را ادامه داده‌انـد، ابتـدا ۶ مولکول قند پنج‌کربنی یک‌فسـفاته به نام **ریبولوز مونوفسـفات** ساخته می‌شود. سپس در ادامه، هر قند پنج‌کربنی فوق با مصرف یک ATP به یک مولکول قند پنج‌کربنی دوفسـفاته اولیه یا **ریبولوزبیس فسفات** تبدیل می‌شود تـا دوباره توسـط آنزیم روبیسـکو و $CO_۲$، واکنش‌های تولید قنـد را در چرخهٔ بعدی شروع کنند.

تعدادی فسفات از چرخه آزاد می‌شود.

$۱۰C_۳$ (قند سه کربنی یک فسفاته (۳۰ کربن)) → $۶C_۵$ (ریبولوز مونوفسفات) —۶ATP→ $۶C_۵$ (ریبولوزبیس فسفات)

۶ADP

به ازای تولید هر قند شش کربنه، به تعداد کربن‌های آن یعنی شش مولکول $CO_۲$، سه برابر تعداد کربن‌های آن یعنی ۱۸ مولکول ATP و دو برابر کربن‌های آن یعنی ۱۲ مولکول NADPH مصرف می‌شود که ۲۴ الکترون و ۲۴ پروتون نیز مورد نیاز است.

$$۶CO_۲ + ۱۸ATP + ۱۲NADPH, H^+ \xrightarrow[\text{چرخهٔ کالوین}]{\text{بستره}} ۲(C_۳H_۶O_۳) + ۱۸ADP + ۱۸PO_۴ + ۱۲NADP^+$$

سپس به $C_۶H_{۱۲}O_۶$ یا گلوکز تبدیل می‌شود.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

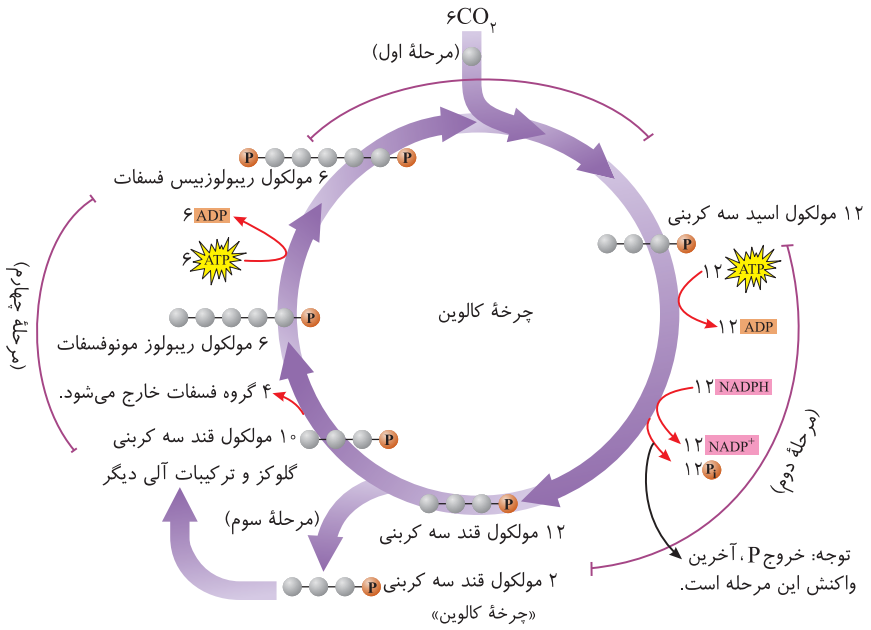
(۱) اگر به دقت در واکنش‌های تبدیل ۱۰ قند سـه‌کربنی یک‌فسـفاته به ۶ قند پنج‌کربنی یک‌فسـفاته توجه کنید، خواهید دید که طی این واکنش‌ها، چهار گروه فسفات نیز از چرخه خارج می‌شود.

(۲) قطعاً در کنکور مراحل ۱ تا ۴ چرخهٔ کالوین را برای شـما سـؤال نمی‌دهند ولی در سـؤالات به پیش‌ماده و محصولات هر مرحله اشـاره می‌کنند که می‌توانند سؤالات بسیار سخت و ترکیبی از آن‌ها طرح کنند.

جدول پیش‌ماده‌ها و محصولات هر مرحلهٔ چرخهٔ کالوین

مرحله‌بندی صورت گرفته در جدول زیر براساس واکنش‌های چرخهٔ کالوین در کتاب درسی است ولی در کتاب مرحله‌بندی نشده‌اند.

مرحله	پیش‌ماده‌ها	محصولات
اول	CO_2 + قند ریبولوزبیس فسفات	ترکیب شش‌کربنی پرانرژی ناپایدار و سپس ترکیبات اسیدی سه‌کربنی پایدار
دوم	اسیدهای سه‌کربنی پایدار NADPH - ATP	قندهای سه‌کربنی پایدار $NADP^+ + ADP + P$
سوم	از هر شش قند سه‌کربنی	۵ تا از آن‌ها چرخه را ادامه می‌دهند. یکی از آن‌ها از چرخه خارج می‌شوند تا سایر ترکیبات آلی را بسازند.
چهارم	قند سه‌کربنی و ATP	ریبولوزبیس فسفات اولیه و ADP



تست ۱۰ **از الکترون‌های NADPH در کدام واکنش چرخهٔ کالوین و برای الکترون دادن به کدام ماده استفاده می‌کنیم؟**

۱) تولید قند C_3 - اسید سه کربنه
۲) دوباره‌سازی ماده شروع‌کنندهٔ چرخه - قند سه کربنه
۳) تبدیل دو مولکول سه‌کربنی به هم - قند سه کربنه
۴) شکستن ماده پرانرژی ناپایدار - اسید سه کربنه

پاسخ ۱ در چرخهٔ کالوین، ATP و NADPH مصرف شده و اسید سه‌کربنی به قند سه‌کربنی تبدیل می‌شود.

دقت کنید که گیرندهٔ نهایی الکترون و پروتون در واکنش‌های فتوسنتزی، اسید سه کربنه موجود در چرخهٔ کالوین می‌باشد که طی این عمل قند سه کربنه ایجاد می‌شود (*در مورد گزینهٔ (۴)، باید بدانید که شکستن مادهٔ پرانرژی، چون ناپایدار است به آنزیم نیز ندارد و خودبه‌خود صورت می‌گیرد*).

تست ۱۱ **در کدام‌یک از واکنش‌های فتوسنتزی زیر تجزیهٔ مولکول آب نیاز نمی‌باشد؟**

۱) تبدیل اسید سه‌کربنی به قند سه‌کربنی
۲) تشکیل ماده شش‌کربنی ناپایدار توسط روبیسکو
۳) تبدیل دو نوع قند پنج‌کربنی به همدیگر
۴) جبران الکترون‌های P۶۸۰

پاسخ ۲ در واکنش‌های فتوسنتزی، **تجزیهٔ آب** در دو قسمت انجام می‌شود یکی تجزیهٔ نوری آب در واکنش‌های تیلاکوئیدی می‌باشد که برای جبران الکترون‌های P۶۸۰ فتوسیستم ۲ می‌باشد و دیگری در بستره اندامک برای واکنش‌های مستقل از نور صورت می‌گیرد. در چرخهٔ کالوین در هنگام تجزیه ATP به ADP، مولکول آب نیز تجزیه می‌شود چون این واکنش از نوع هیدرولیزی می‌باشد. تجزیه یا مصرف ATP در مراحل مختلف چرخهٔ کالوین برای تولید قند C_3 و قند ریبولوزبیس فسفات (C_5) انجام می‌شود (*رد گزینهٔ (۱)، (۳) و (۴)*).

◀ تشکیل ماده C_6 ناپایدار چرخهٔ کالوین در اثر عمل روبیسکو و ترکیب CO_2 با C_5 صورت می‌گیرد.

تست ۱۲ در واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز، .....

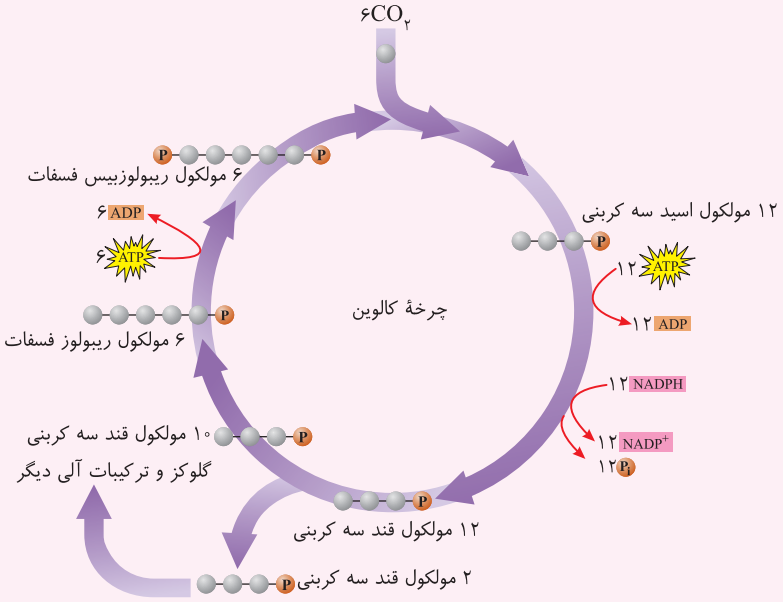
۱) بیشتر قندهای سه‌کربنی تولید شده به مصرف ساخت گلوکز و ترکیبات آلی دیگر می‌رسد.

۲) بیشتر ATPهای مصرفی برای دوباره‌سازی مادهٔ شروع‌کننده چرخه استفاده می‌شود.

۳) هر مولکول یک‌فسفاته واکنش‌ها خاصیت هیدرات کربنی دارد.

۴) تعدادی فسفات برای ساخت قندهای پنج‌کربنی از سه‌کربنی در بستره آزاد می‌شود.

پاسخ ۴ چرخهٔ کالوین مجموعهٔ واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز می‌باشد. اگر به مراحل چرخهٔ کالوین دقت کنید، متوجه می‌شوید که پس از خروج دو قند سه‌کربنی که هرکدام یک فسفات دارند، ۱۰ قند سه‌کربنی یک‌فسفاته دیگر دوباره وارد چرخه می‌شوند. پس این ۱۰ قند سه‌کربنی یک‌فسفاته که مجموعاً ۱۰ گروه فسفات در خود ذخیره دارند، به تولید ۶ مولکول قند پنج‌کربنی یک‌فسفاته می‌پردازند (*مجموعاً ۶ گروه فسفات*). یعنی در هنگام تبدیل ۱۰ قند سه‌کربنی به ۶ قند پنج‌کربنی، ۴ گروه فسفات آزاد می‌شوند.



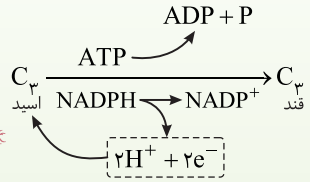
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): از هر ۶ قند سه‌کربنی ساخته شده در چرخهٔ کالوین، **یکی** از آن‌ها از چرخه خارج شده و **۵ تای دیگر** در چرخه شرکت می‌کنند. / گزینهٔ (۲): برای تولید گلوکز، در دو مرحله از چرخهٔ کالوین، ATP مصرف می‌شود، یکی برای تبدیل ۱۲ مولکول اسید سه‌کربنی به ۱۲ تا قند سه‌کربنی که در این واکنش‌ها ۱۲ مولکول ATP مصرف می‌شود و دیگری در تبدیل ۶ مولکول قند C_5 یک‌فسفاته به ۶ مولکول قند C_5 دوفسفاته اولیه که در این واکنش‌ها نیز ۶ مولکول ATP مصرف می‌شود. / گزینهٔ (۳): در بین مولکول‌های سه‌فسفاته چرخهٔ کالوین، اسید سه‌کربنی هم علاوه بر قند سه‌کربنی و **قند** پنج‌کربنی وجود دارد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) مصرف ATP نوری در مراحل ساخت قند سه‌کربنی یک‌فسفاته و ریبولوزبیس فسفات پنج‌کربنی صورت می‌گیرد ولی مصرف NADPH فقط در مرحلهٔ ساخت قند سه‌کربنی از اسید سه‌کربنی به کار می‌رود.

۲) واکنش‌های چرخهٔ کالوین برخلاف واکنش‌های چرخهٔ کربس، همراه با مصرف ATP بوده و انرژی‌خواه می‌باشد.

۳) برای تبدیل هر اسید سه‌کربنی به یک قند سه‌کربنی در چرخهٔ کالوین ابتدا به یک مولکول ATP و سپس به یک مولکول NADPH و دو الکترون و دو پروتون نیاز می‌باشد.



توجه: طی واکنش‌های فتوسنتزی گیاهان، ابتدا دوازده مولکول آب شکسته می‌شود و ۲۴ الکترون و پروتون آزاد می‌شود ولی در انتها ۶ مولکول آب دوباره‌سازی می‌شود.

۴) اسید سه‌کربنی و کربن‌های CO_2 تثبیت شده در آن‌ها، آخرین موادی هستند که الکترون‌ها و پروتون‌های آب تجزیه شده در واکنش‌های نوری فتوسنتز را جذب می‌کنند تا پیوندهای کربن - هیدروژن را در مواد آلی ایجاد کنند.

۵) مسیر الکترون در واکنش‌های فتوسنتزی (*بهتر در باکتری‌های غیراکسیژن‌زا*) به صورت زیر می‌باشد:

الکترون آب ← فتوسیستم ۲ (P۶۸۰) ← ناقل ← پمپ H^+ ← ناقل ← فتوسیستم ۱ (P۷۰۰) ← ناقل‌ها ← $NADP^+$ ← اسید سه کربنی (CO_2) ← قند محصول

۶) در واکنش‌های فتوسنتزی یوکاریوت‌ها و سیانوباکتری‌ها، فقط منشأ اکسیژن متصاعد شده از آب می‌باشد ولی سایر اتم‌های اکسیژنی که در محصولاتی مثل قند و آب تولیدی یافت می‌شود، از مولکول CO_2 حاصل شده است. تعدادی آب نیز همواره در واکنش‌های فتوسنتزی تولید می‌شود که حتی منشأ اکسیژن این آب‌های تولیدی نیز از مولکول CO_2 می‌باشد. در واکنش زیر که از آب سنگین ردیاب با اکسیژن رادیوایزوتوپ ۱۸ استفاده شده است، می‌توانید اتم‌های اکسیژن را در واکنش فتوسنتزی گیاهان ردیابی کنید:

$$۶CO_2^{16} + ۱۲H_2O^{18} \xrightarrow{\text{نور}} C_6H_{12}O_6^{16} + ۶O_2^{18}\uparrow + ۶H_2O^{16}$$

درسنامه

گفتار ۳

فتوسنتز در شرایط دشوار

در این گفتار به دنبال پاسخ به این پرسش هستیم که چرا در شرایط بد محیطی برای رشد گیاهان مثل نور شدید و خشکی زیاد (*رطوبت زیاد*)، برخی از گیاهان رشد می‌کنند و اغلب آن‌ها نه؟! راستی چه چیزی سبب می‌شود که این شرایط مانع رشد اغلب گیاهان شود؟

ویژگی آنزیم روبیسکو

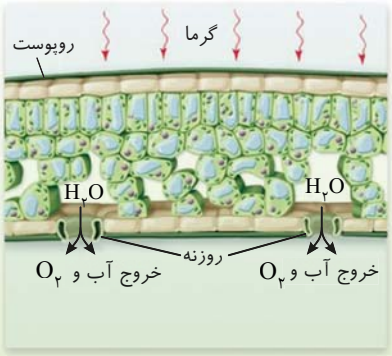
در گفتار قبل و در واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز مشاهده کردید که آنزیمی به نام روبیسکو، شروع کنندهٔ واکنش‌ها می‌باشد. این آنزیم به اختصار روبیسکو نامیده می‌شود. ولی نام علمی آن **ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز- اکسیژناز** می‌باشد که بیانگر دو نقش کربوکسیلازی و اکسیژنازی برای این آنزیم است. یکی از پیش‌ماده‌های این آنزیم، همواره قند پنج کربنی دو فسفاتهٔ شروع کنندهٔ چرخهٔ کالوین یا همان ریبولوزبیس فسفات می‌باشد ولی پیش‌مادهٔ دیگر آن بستگی به نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه دارد. برای سادگی درک آن یاد بگیرید که بین این دو گاز O_2 و CO_2، هرکدام که مقدار بیشتری داشت با قند ریبولوزبیس فسفات ترکیب می‌شود.

● الف) فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو

هنگامی که در گیاه، میزان CO_2 از O_2 بیشتر باشد (*یعنی وقتی روزنه‌های هوایی باز هستند*)، روبیسکو به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی در چرخهٔ کالوین می‌رود و سبب ایجاد مرحلهٔ اول چرخهٔ کالوین با ترکیب کردن قند ریبولوزبیس فسفات و CO_2 می‌شود. حاصل این کار شروع واکنش‌های **مستقل از نور** فتوسنتز، مصرف ATP و NADPH و تولید مواد آلی قندی برای رشد مناسب گیاه می‌باشد.

نکته

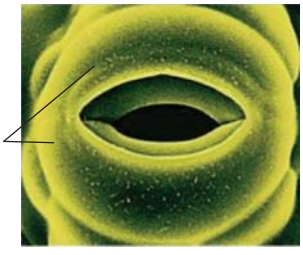
همان‌طور که در شکل مقابل مشاهده می‌کنید، روپوست فوقانی در برگ‌های دولپه‌ای دارای روزنهٔ هوایی کمی می‌باشد. البته هر دو روپوست فوقانی و تحتانی آن حاوی پوستک کوتینی محافظ می‌باشد ولی حفره‌های دارای بخار آب و گازهای تنفسی، اغلب در مجاور روپوست زیرین قرار گرفته‌اند. در این برگ‌ها چند لایه پارانشیم نرده‌ای به هم فشرده به سمت روپوست رویی وجود دارد.



روزنه‌های هوایی باز، سبب ورود CO_2 جو و خروج بخار آب و O_2 می‌شود تا با بیشتر شدن مقدار CO_2 به O_2، روبیسکو به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی و شروع چرخهٔ کالوین برود و گیاه با تولید مادهٔ آلی رشد کند.

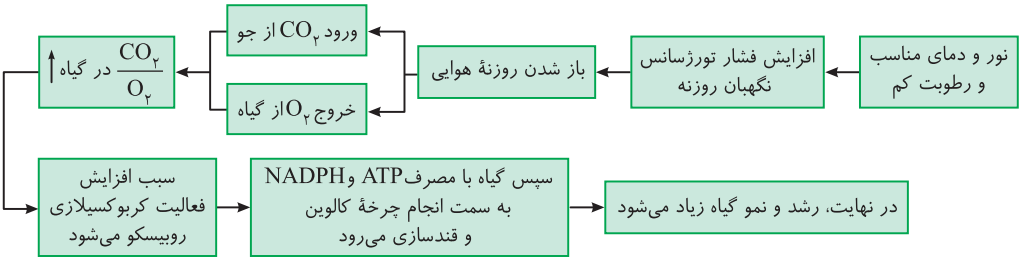
شرایط مناسب برای فتوسنتز و قندسازی

در زیست دهم خواندید که دو طرف روزنه‌های هوایی، **دو یاخته لوبیایی شکل فتوسنتزکننده به نام نگهبان وجود دارد** که دیوارهٔ آن‌ها به سمت دهانهٔ روزنه **ضخیم‌تر** از سمت مقابل می‌باشد. روزنه‌های هوایی به‌طور معمول در شرایط نور و دمای مناسب و کم بودن رطوبت، باز می‌شوند. مکانیسم باز شدن آن‌ها با **تورژسانس یا آب‌گیری یاخته‌های نگهبان** از یاخته‌های روپوستی مجاور صورت می‌گیرد. این حالت از یک طرف سبب ورود CO_2 مورد نیاز برای فتوسنتز می‌شود و از طرفی دیگر بخار آب موجود در **فضای بین یاخته‌های اسفنجی** در اثر تعرق و O_2 حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز از برگ خارج می‌شوند. ادامه این حالت به تدریج شرایط را در گیاه به سمتی می‌برد که نسبت CO_2 به O_2 در فضاها و یاخته‌های برگ زیاد می‌شود و فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و شروع چرخهٔ کالوین را تحریک کند. در این صورت **قندسازی و رشد گیاه** افزایش می‌یابد.



یاخته‌های نگهبان
- به انباشت ساکارز تولیدی خود می‌پردازد.
- از یاخته‌های مجاور خود یون و سپس آب گرفته است.
- قطر آن به دلیل فیبریل‌های سلولزی ثابت می‌ماند.
- با دور شدن از همدیگر منفذ روزنه باز می‌شود.
- طول هر یاخته در اثر تورژسانس زیاد می‌شود.

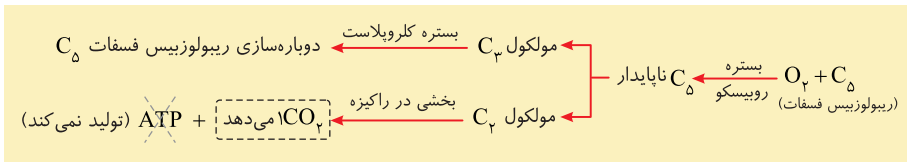
● رابطهٔ باز شدن روزنه‌های هوایی و افزایش رشد گیاه در یک نگاه



● ب) فعالیت اکسیژنازی روبیسکو (تنفس نوری)

اگر در محیط عملکرد روبیسکو یعنی درون یاخته‌های برگ و فضاهای بین‌یاخته‌ای آن، **نسبت** O_2 **به** CO_2 **بالا** باشد، در این حالت آنزیم روبیسکو به سمت فعالیت **اکسیژنازی بر روی** قند ریبولوزبیس فسفات (C_5) می‌رود که این، آغاز فرایند **تنفس نوری** است. در این واکنش‌ها ابتدا در بسترهٔ سبزدیسه، روبیسکو سبب ترکیب C_5 (*ریبولوزبیس فسفات*) با اکسیژن شده و آن را به ترکیبی **پرانرژی و ناپایدار** تبدیل می‌کند. این مولکول C_5 **ناپایدار** در همان سبزدیسهٔ تجزیه شده و **به یک مولکول سه‌کربنی و یک مولکول دوکربنی** تبدیل می‌شود. **مادهٔ سه‌کربنی** در بسترهٔ سبزدیسه باقی می‌ماند تا برای **بازسازی ریبولوزبیس فسفات** استفاده شود ولی مادهٔ دوکربنی از دو غشای سبزدیسه و دو غشای راکیزهٔ آن یاخته گذشته، وارد بستره راکیزه (*میتوکندری*) می‌شود و در واکنش‌هایی که **بخشی از آن‌ها** در **راکیزه** انجام می‌شود سبب تولید **یک مولکول** CO_2 می‌شود. این فرایند به تنفس نوری مشهور است ولی چرا؟

واکنش کلی تنفس نوری:



واکنش‌های تنفس نوری، همانند تنفس هوازی O_2 **می‌گیرند و مادهٔ آلی قندی را تجزیه می‌کنند تا** CO_2 **ایجاد کنند**. به همین دلیل به واکنش آن‌ها واژهٔ تنفس اطلاق می‌شود ولی برخلاف هر نوع تنفس یاخته‌ای، **در واکنش‌های تنفس نوری مولکول** ATP **تولید نمی‌شود**. از طرفی دلیل به کار بردن واژهٔ نوری برای این نوع تنفس، این است که واکنش‌های آن فقط در شرایط سخت محیطی یعنی **دما و نور شدید و خشکی** صورت می‌گیرند که در حقیقت واکنش‌هایی **وابسته به نور** می‌باشند. واکنش‌های تنفس نوری باعث عدم اقدام نقش آنزیمی روبیسکو به واکنش‌های چرخهٔ کالوین می‌شوند و ساخت فراوردهٔ آلی فتوسنتزی و رشد گیاه را کاهش می‌دهند.

نکته مهم

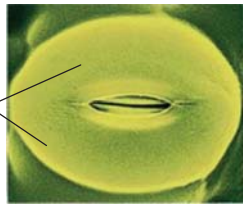
در حقیقت تنفس نوری واکنش‌هایی می‌باشند که مخالف انجام واکنش‌های **مستقل از نور** یا چرخهٔ کالوین در تولید مواد آلی در گیاهان می‌باشند ولی دقت کنید که تنفس نوری، از همان ابتدا سبب کاهش واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز نمی‌شود.

جدول مقایسه تنفس نوری و تنفس هوازی

تنفس یاخته‌ای هوازی	تنفس نوری گیاهان
تقریباً در همهٔ جانداران و هر یاخته زنده آن‌ها رخ می‌دهد.	فقط در یاخته‌های سبزدیسه‌دار گیاهان رخ می‌دهد.
در هر شرایطی به‌جز کاهش شدید O_2 رخ می‌دهد.	در حالتی که نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ گیاه بالاست، رخ می‌دهد.
آنزیم روبیسکو نمی‌خواهد.	محتاج عمل اکسیژنازی آنزیم روبیسکو می‌باشد.
قسمتی در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و قسمتی در راکیزه رخ می‌دهد.	قسمتی از آن در سبزدیسه و قسمتی در راکیزه رخ می‌دهد.
قند C_6 (*گلوکز*) را می‌سوزاند.	قند C_5 (*ریبولوزبیس فسفات*) را می‌سوزاند.
O_2 می‌گیرد و CO_2 می‌دهد.	O_2 می‌گیرد و CO_2 می‌دهد.
همواره ATP تولید می‌کند.	هیچ‌گاه ATP تولید نمی‌کند.
در نور و تاریکی رخ می‌دهد. (*مستقل از نور است*)	فقط در نور و دمای شدید رخ می‌دهد. (*وابسته به نور است*)

چرا در شرایط دشوار محیطی مثل نور و دمای شدید، نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه بالا می‌رود و تنفس نوری رخ می‌دهد؟

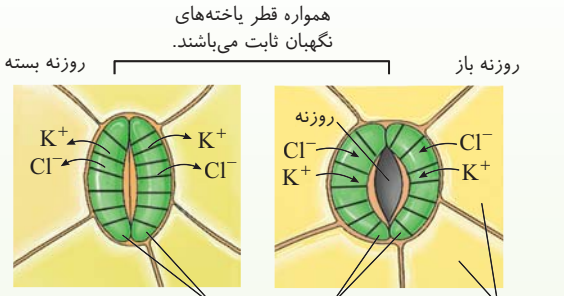
در شرایطی که دما و نور بسیار شدید باشد، مقدار هورمون آبسیزیک‌اسید در گیاه بالا می‌رود، این هورمون سبب خروج املاح و آب از یاخته‌های نگهبان روزنه به یاخته‌های کناری روپوستی می‌شود تا روزنه‌های هوایی مسدود شود. علت این کار این است که گیاه نمی‌خواهد در شرایط گرم و خشک محیطی، آب خود را با تعرق از دست بدهد و به دلیل حفظ آب، روزنه‌های هوایی خود را تقریباً مسدود می‌کند. در این حالت CO_2 جو وارد گیاه نمی‌شود و از طرفی با انجام فرایندهای وابسته به نور فتوسنتز، آب تجزیه شده و O_2 تولید می‌شود. ادامهٔ بسته بودن روزنه‌های هوایی، به تدریج سبب افزایش نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در فضاها و یاخته‌های گیاهی می‌شود. در نهایت، شرایط برای انجام فرایندهای تنفس نوری و اکسیژنازی روبیسکو مهیا می‌شود.



یاخته‌های نگهبان روزنه
- پلاسمولیز یا آب‌دهی انجام داده‌اند.
- به یاخته‌های کناری خود آب و املاح داده‌اند.
- دو یاختهٔ نگهبان، با قطر ثابت به سمت هم آمده‌اند.
- روزنهٔ هوایی را مسدود کرده‌اند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

① در هر دو حالت باز شدن یا بسته بودن روزنه‌های هوایی، **قطر هر یاختهٔ نگهبان** به دلیل وجود آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی یاختهٔ نگهبان **ثابت** باقی می‌ماند.

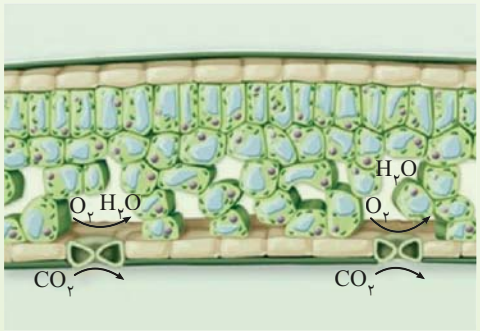


در این حالت هر یاختهٔ نگهبان طویل‌تر می‌شود. ⇒ در حال تورژسانس و باز شدن روزنهٔ هوایی

⇐ در حال پلاسمولیز و بستن روزنهٔ هوایی در این حالت طول یاخته‌های نگهبان، کوتاه می‌شود.

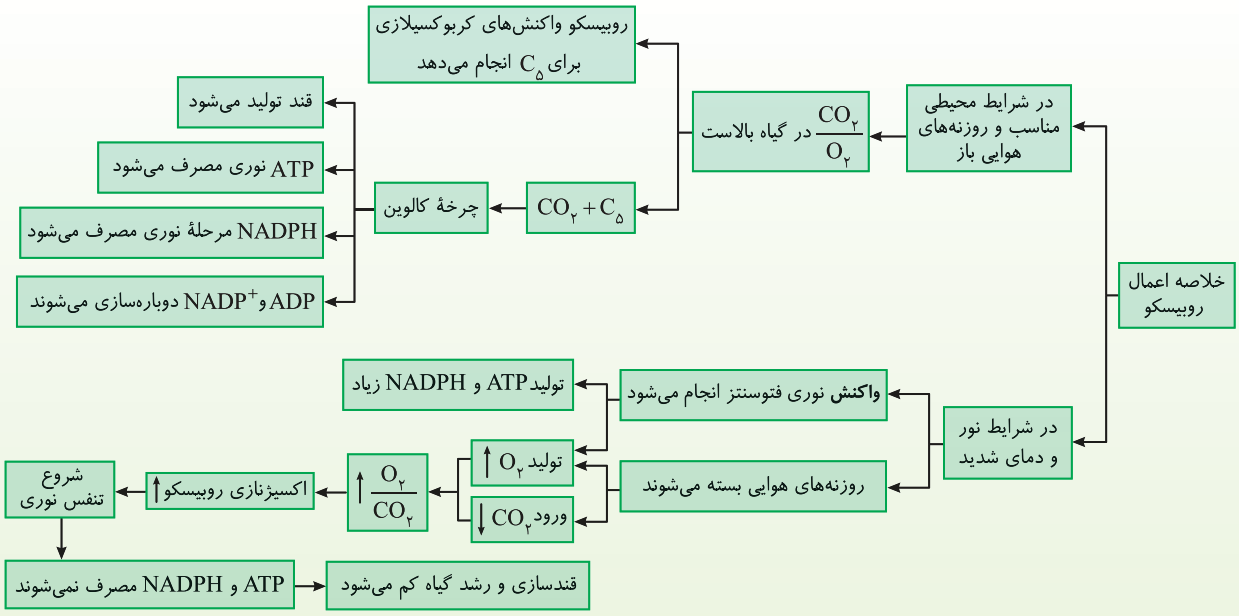
② در هنگام نور و دمای شدید محیطی، روزنه‌های هوایی گیاه که اغلب در سطح تحتانی برگ گیاهان وجود دارند، **بسته می‌باشند**. علاوه بر اینکه آب از گیاه خارج نمی‌شود، CO_2 کافی برای فتوسنتز نیز وارد گیاه نمی‌شود ولی یادتان باشد که واکنش‌های نوری فتوسنتز که محتاج نور هستند، در حال برگزاری می‌باشند. به تدریج با وجود واکنش‌های نوری فتوسنتز، مقدار O_2، ATP و NADPH در گیاه بالا می‌رود ولی این O_2 به دلیل روزنه‌های بسته نمی‌تواند از گیاه خارج شود. پس از مدتی نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه بالا و بالاتر رفته و روبیسکو به جای واکنش‌های قندسازی چرخهٔ کالوین، به سمت واکنش‌های اکسیژنازی می‌رود و قند ریبولوزبیس فسفات را در تنفس نوری تجزیه می‌کند. این واکنش سبب عدم ساخت مادهٔ آلی و عدم رشد مناسب گیاهان در این شرایط می‌شود.

با بسته بودن روزنه‌های هوایی، CO_2 جو وارد گیاه نمی‌شود ولی به دلیل انجام مراحل نوری فتوسنتز، تولید O_2 و احتباس آن در گیاه زیاد می‌شود و به تدریج نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ بالا رفته تا واکنش‌های تنفس نوری با نقش اکسیژنازی روبیسکو آغاز شوند. (رشد گیاه کم می‌شود.)



روزنه‌های هوایی بسته گیاهان در محیط نور و دمای شدید

③ از نزدیک‌های غروب خورشید که هوا کمی خنک‌تر می‌شود، تا صبح که نور در اطراف گیاه وجود ندارد و دمای هوا نیز کاهش می‌یابد واکنش‌های تنفس نوری نیز متوقف می‌شوند. از طرفی در این شرایط واکنش‌های نوری فتوسنتز و تولید O_2 در گیاه نیز متوقف می‌شوند ولی با باز شدن تعدادی از روزنه‌ها، با ورود O_2، واکنش‌های تنفس یاخته‌ای سبب مصرف O_2ها و تولید CO_2 می‌شود. به تدریج در این هنگام نسبت $\frac{CO_2}{O_2}$ در گیاه بالا رفته و واکنش‌های تنفس نوری روبیسکو متوقف می‌شود.



۴ همان‌طور که در گفتار قبل آموختید، واکنش‌های فتوسنتزی وابسته به نور نیز برای انجام خود به ADP و $NADP^+$ محتاج هستند. از طرفی این مواد محصولات فرعی چرخهٔ کالوین می‌باشند. پس با اینکه تنفس نوری سبب توقف چرخهٔ کالوین می‌شود ولی پس از مدتی، با وقفه در ایجاد این چرخه و کم شدن ADP و $NADP^+$، واکنش‌های تیلاکوئیدی وابسته به نور نیز دچار اختلال می‌شوند.

۵ روزنه‌های **آبی** گیاهان که مخصوص عمل **تعریق** می‌باشند، **همواره باز** هستند و نقشی در ایجاد تنفس نوری یا متوقف کردن آن ایفا نمی‌کنند.

۶ آنزیم روبیسکو، در شرایط نور و دمای شدید به سمت فعالیت اکسیژنازی می‌رود ولی دقت کنید که این آنزیم در دمای بالا نسبت به سایر آنزیم‌های سبزدیسه‌ای مقاومت بیشتری دارد ولی مانند هر آنزیمی در اثر بالاتر رفتن و گذشتن دما از یک گسترهٔ دمایی خاص، سبب تغییر ساختار این آنزیم نیز می‌شود که در آن موقع واکنش تنفس نوری نیز متوقف شده و کلاً گیاه به سوی مرگ می‌رود (*یکی از دلایل عدم رشد تقریباً همهٔ گیاهان در کویرها*).

تست ۱۳ **در مقایسهٔ «تنفس نوری» و «تنفس یاخته‌ای هوازی» کدام عبارت، درست نیست؟**

۱) بخشی از هر دو فرایند در راکیزه صورت می‌گیرد.
۲) در هر دو فرایند CO_2 تولید می‌شود.
۳) هر دو فرایند وابسته به نور می‌باشد.
۴) در هر دو فرایند اکسیژن مصرف می‌شود.

پاسخ ۳ تنفس نوری برخلاف تنفس یاخته‌ای، واکنشی وابسته به نور می‌باشد که همانند تنفس هوازی، بخشی از آن در راکیزه و با تولید CO_2 رخ می‌دهد. در هر دو واکنش نیز مصرف O_2 صورت می‌گیرد.

تست ۱۴ **در مقایسهٔ «تنفس نوری» و «چرخهٔ کالوین» کدام عبارت، صحیح است؟**

۱) در هر دو واکنش، سطح انرژی قند C_5 بالا می‌رود.
۲) در هر دو، انرژی رایج و قابل استفادهٔ یاخته تولید می‌شود.
۳) انجام شدن آن‌ها با افزایش کربن دی‌اکسید رابطهٔ مستقیم دارد.
۴) تمام مراحل هر دو فرایند در بسترهٔ سبزدیسه انجام می‌شود.

پاسخ ۱ در شروع هر دو فرایند تنفس نوری و چرخهٔ کالوین، **روبیسکو** سبب تولید نوعی مادهٔ پرانرژی ناپایدار می‌شود. روبیسکو در چرخهٔ کالوین، واکنش کربوکسیلازی و در تنفس نوری، اکسیژنازی می‌کند (*درستی گزینهٔ (۱)*). طی هیچ کدام از واکنش‌ها ATP به عنوان انرژی رایج یاخته‌ای، تولید نمی‌شود (*نادرستی گزینهٔ (۲)*). پر واضح است که بخشی از واکنش‌های تنفس نوری در راکیزه هم انجام می‌شود تا CO_2 ایجاد کند و در آخر دقت کنید که افزایش CO_2 با سرعت انجام چرخهٔ کالوین و غذاسازی گیاه رابطهٔ مستقیم دارد (*نادرستی گزینهٔ (۳) و (۴)*).

تست ۱۵ **پس از فعال شدن آنزیم روبیسکو در جهت اکسیژنازی، .....**

۱) مصرف ADP در بستره زیاد می‌شود.
۲) NADPH اکسایش می‌شود.
۳) تولید O_2 در واکنش با ماده C_5 افزایش می‌یابد.
۴) دوباره‌سازی مادهٔ شروع‌کنندهٔ چرخهٔ کالوین متوقف نمی‌شود.

پاسخ ۴ تنفس نوری از شدت مرحلهٔ مستقل از نور فتوسنتز می‌کاهد، به دلیل اینکه در تنفس نوری نسبت O_2 به CO_2 بیشتر است، پس آنزیم روبیسکو به طرف واکنش اکسیژناسیون می‌رود یعنی O_2 را با C_5 وارد واکنش می‌کند ولی ATP تولید نمی‌کند و NADPH را نیز مصرف نمی‌کند (*نادرستی گزینه‌های (۱)، (۲) و (۳)*). دقت کنید که مادهٔ سه‌کربنی حاصله در تنفس نوری، به مصرف دوباره‌سازی ریبولوزبیس فسفات یا قند شروع‌کنندهٔ چرخهٔ کالوین می‌رسد.

انواع گیاهان از نظر سازش در مناطق دارای نور و دمای شدید و خشک

تا اینجای کار به این نتیجه رسیدیم که روبیسکو آنزیمی نون به نرخ روز خورا! و بوقلمون صفتِ مُلَون! می‌باشد که با بالا رفتن نسبت CO_2 به O_2 یا O_2 به CO_2، مسیر فعالیت خود را به ترتیب به سمت ماده‌سازی (*چرخهٔ کالوین*) یا ماده‌سوزی (*تنفس نوری*) می‌برد.

از طرفی دانستیم که واکنش‌های تنفس نوری، فقط در شرایط دشوار محیطی یعنی در محیط گرم و خشک با نور و دمای شدید رخ می‌دهد، ولی چطور برخی گیاهان در این شرایط رشد می‌کنند و حتی برخی رشد خوبی هم دارند؟ در ادامه به بررسی انواع گیاهان C_3، C_4 و CAM در مورد سازگاری با شرایط نامساعد می‌پردازیم.

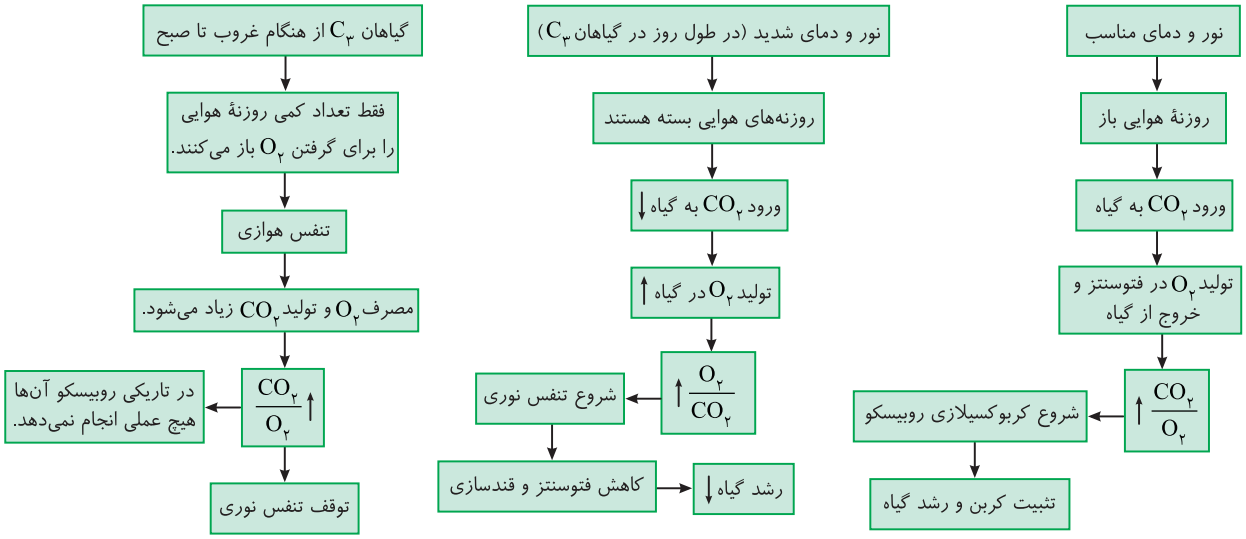
۱) فتوسنتز در گیاهان C_3

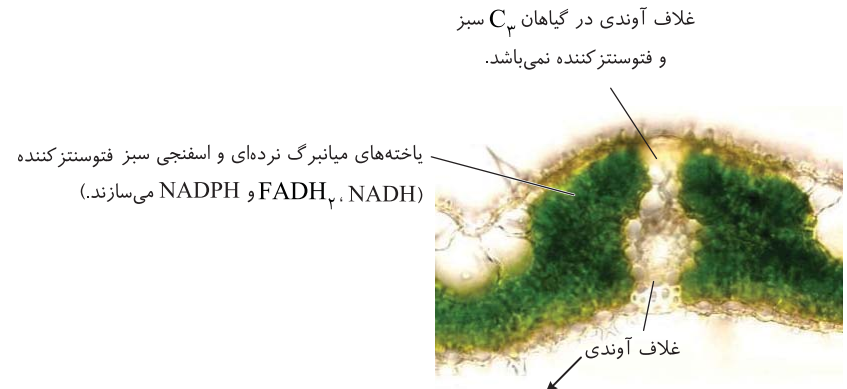
این گیاهان که اغلب گیاهان طبیعت را شامل می‌شوند، **فقط** می‌توانند **کربن را در چرخهٔ کالوین** و به کمک واکنش‌های **کربوکسیلازی روبیسکو** تثبیت کنند، در نتیجه در دما و نور بسیار شدید، قدرت چندانی برای تولید مواد آلی و رشد مناسب ندارند. **این گیاهان نمی‌توانند بر تنفس نوری غلبه کنند و مانع آن شوند.** غلاف آوندی برگ‌ها در این گیاهان فاقد سبزدیسه (*کلروپلاست*) می‌باشد. به همین دلیل، این گیاهان فتوسنتز را فقط در شرایط مساعد و آن هم در یاخته‌های نگهبان یا میانبرگ‌ها انجام می‌دهند.

نکته

گیاهان C_3، اغلب از نوع **دولپه‌ای‌ها** می‌باشند که **غلاف آوندی** آن‌ها **فاقد** سبزدیسه، قدرت فتوسنتز و تثبیت کربن می‌باشد.

● زندگی گیاهان C_3 در شرایط گرم و خشک





«برگ گیاه C_3»

قدرت تولید NADH و $FADH_2$ دارند ولی NADPH نمی‌سازند.

نکته

واکنش‌های چرخهٔ کالوین و عملکردهای روبیسکو در گیاهان C_3 و سایر گیاهان، **فقط** در نور انجام و ادامه می‌یابد.





تثبیت کربن در گیاهان C_3 فقط در روز و فقط توسط روبیسکو در چرخهٔ کالوین رخ می‌دهد.

۲) فتوسنتز در گیاهان C_4

این گیاهان با سیستم‌های ژنتیکی متفاوتی که دارند، در محیط گرم و خشک و دارای نور و دمای بالا، قادرند تولید مواد آلی فتوسنتز را توسط یاخته‌های غلاف آوندی در چرخهٔ کالوین به صورت بهینه انجام دهند و **تقریباً** از انجام تنفس نوری ممانعت به عمل بیاورند. این گیاهان **کربن** را در دو مرحله تثبیت می‌کنند که مرحلهٔ اول در یاختهٔ میانبرگی، در مولکول اسیدی چهارکربنی (C_4) و مرحلهٔ دوم در چرخهٔ کالوین غلاف آوندی در ترکیب اسید سه‌کربنی (C_3) تثبیت می‌کنند.

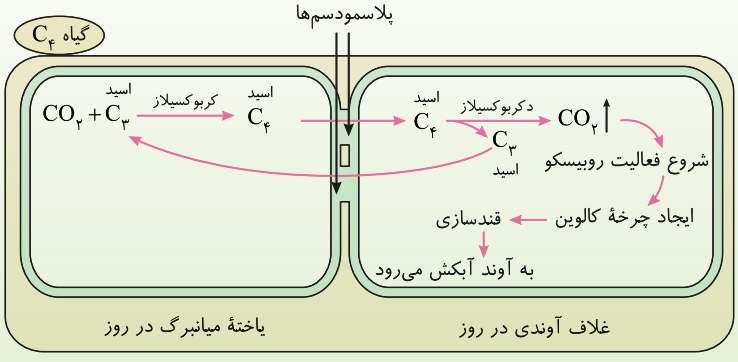
این گیاهان در روز که در معرض نور و دمای شدید محیطی قرار دارند، روزنه‌های هوایی تقریباً بسته‌ای دارند که مانع ورود CO_2 شده و همچنین مانع خروج O_2 حاصل از فتوسنتز می‌شوند. البته هدف این گیاهان از بستن روزنه‌ها، جلوگیری از تبخیر آب در عمل تعرق می‌باشد تا آب گیاه در محیط گرم و خشک حفظ شود. **این گیاهان سازش یافته‌اند که یک کربن را در دو مرحله تثبیت کنند.** بدین صورت که بار اول در یاخته‌های **میانبرگ** خود که اسید سه کربنه زیادی ذخیره داشته‌اند، آنزیمی مخصوص اتصال با CO_2، **سبب ترکیب اسید سه کربنه با** CO_2 می‌شود و کربن آن را در **اسید چهارکربنهٔ پایداری** تثبیت می‌کنند. دلیل نام‌گذاری این گیاهان به نام C_4 نیز همین موضوع است زیرا اولین **مادهٔ پایداری** که کربن در آن تثبیت می‌شود یک **مولکول اسیدی چهارکربنی** می‌باشد. یاخته‌های میانبرگ سپس اسیدهای چهار کربنه خود را از طریق **پلاسمودسم‌های** موجود در دیوارهٔ یاخته‌ای خارج کرده و به یاخته‌های فتوسنتزکننده در اطراف آوندها به نام یاخته‌های **غلاف آوندی** می‌دهند. در این یاخته‌ها، ابتدا طی عمل دکربوکسیلاسیون، CO_2 از اسید چهارکربنی **خارج** می‌شود. این عمل بارها تکرار می‌شود و به تدریج مقدار CO_2 درون یاخته غلاف آوندی، بالا می‌رود. این مسیر افزایش CO_2، سبب **شروع فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو** در **غلاف آوندی** می‌شود، در نتیجه در غلاف آوندی چرخهٔ کالوین به راه می‌افتد و همان کربن تثبیت شده قبلی، **یک‌بار دیگر** در اسید سه‌کربنی چرخهٔ کالوین ترکیب می‌شود. با این عمل واکنش‌های چرخهٔ کالوین و قندسازی در غلاف آوندی گیاهان C_4 شروع می‌شود و در حالی که محیط دارای نور و دمای شدید است و روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند، گیاه رشد مناسبی پیدا می‌کند.



«برگ گیاه C_4»

نکات مهم در بررسی تست‌ها

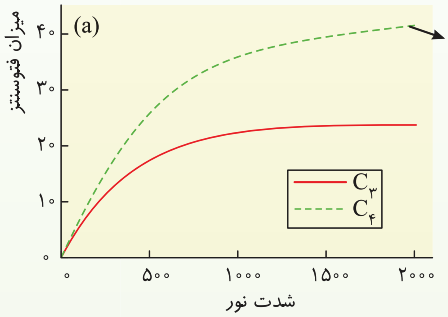
۱) در گیاهان C_4، یک کربن دو بار تثبیت می‌شود، بار اول در یاختهٔ میانبرگ که به صورت اسید چهارکربنی در **روز** تثبیت شده و بار دوم نیز در روز به کمک روبیسکو در واکنش‌های چرخهٔ کالوین به صورت اسید سه‌کربنی تثبیت می‌شود.



(۲) همان‌طور که می‌دانید، روبیسکو در غلاف آوندی، هم می‌تواند با O_2 و هم با CO_2 واکنش دهد ولی گیاهان C_4 شرایط را طوری مهیا می‌کنند که همواره مقدار CO_2 در اطراف روبیسکو، بیشتر از O_2 باشد و به ندرت تنفس نوری رخ می‌دهد.

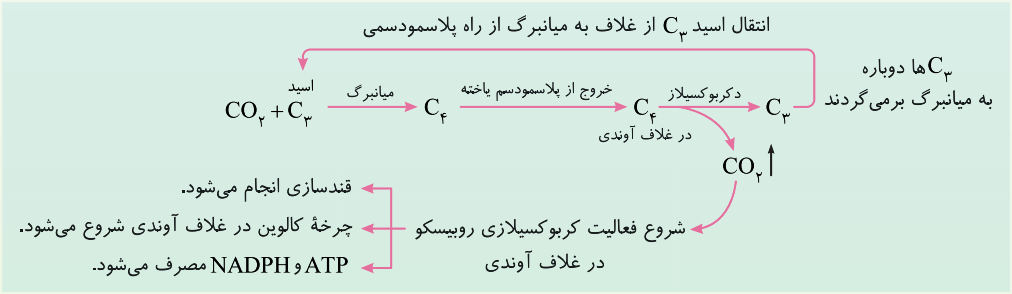
(۳) آنزیمی که در میانبرگ گیاهان C_4، قادر به ترکیب CO_2 با اسید سه‌کربنی و تثبیت کربن می‌باشد، **فقط دارای جایگاه اتصال اختصاصی با** CO_2 می‌باشد و هیچ تمایلی به ترکیب با اکسیژن ندارد.

(۴) گیاهان C_4 با سازشی که برای غلبه بر تنفس نوری دارند، در شرایط محیطی نامساعد گرم و خشک، مقدار فتوسنتز و رشدی در حدود دو برابر گیاهان C_3 دارند.

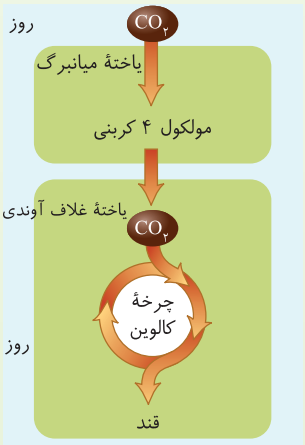


در نور زیاد گیاه C_4 فتوسنتزی حدود دو برابر گیاه C_3 دارد.

(۵) در گیاهان C_4، اسید چهارکربنی تثبیت‌کننده اولیه کربن، در یاخته‌های میانبرگ ایجاد می‌شود. این مولکول اسیدی چهارکربنی باید با عبور از سیتوپلاسم و منافذ پلاسمودسمی این یاخته و ورود به یاختهٔ غلاف آوندی، ابتدا CO_2 خود را جدا کند و سپس اسید سه‌کربنی (C_3) حاصل را از همین راه دوباره به میانبرگ برگرداند. در ادامهٔ این روند مقدار CO_2 در غلاف آوندی زیاد شده و آنزیم روبیسکو موجود در غلاف آوندی، به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی چرخهٔ کالوین و قندسازی می‌رود (*در غلاف آوندی گیاهان C_4، همواره غلظت CO_2 در مجاور آنزیم روبیسکو، بالا می‌باشد*).



(۶) در گیاهان C_4، یک کربن موجود در CO_2، در **دو یاخته** تثبیت می‌شود یعنی تقسیم‌بندی **مکانی** برای تثبیت کربن دارند. اولین تثبیت کربن در میانبرگ به صورت اسید C_4 و دومی در چرخهٔ کالوین غلاف آوندی و به صورت اسید C_3 صورت می‌گیرد. هر دو فرایند در روز (*روشنایی*) یعنی بدون تقسیم‌بندی زمانی صورت می‌گیرند.



«ذرت»

(۷) به دلیل بالا بودن غلظت CO_2 در اطراف آنزیم روبیسکو، واکنش‌های تنفس نوری در گیاهان C_4، **به ندرت** رخ می‌دهد.

(۸) گیاهان C_4، در دما و نور بسیار زیاد ولی رطوبت کم (*کمبود آب*)، در حالی‌که روزنه‌های هوایی آن‌ها بسته‌اند، قادرند ضمن اینکه از تبخیر آب اضافی یاخته جلوگیری کنند، مقدار تراکم CO_2 را نیز در غلاف آوندی سبزدیسه‌دار زیاد کنند و واکنش‌های کربوکسیلازی روبیسکو را در بستره سبزدیسه حفظ کنند. قدرت رشد و فتوسنتز این گیاهان در شرایط گرم و خشک، بیش از گیاهان C_3 می‌باشد زیرا گیاهان C_3، فقط می‌توانند کربن را به صورت اسید C_3 در چرخهٔ کالوین تثبیت کنند. بدیهی است که در شرایط گرم و خشک، روبیسکو گیاهان C_3 به سمت تنفس نوری رفته و فتوسنتز گیاه را متوقف می‌کند.

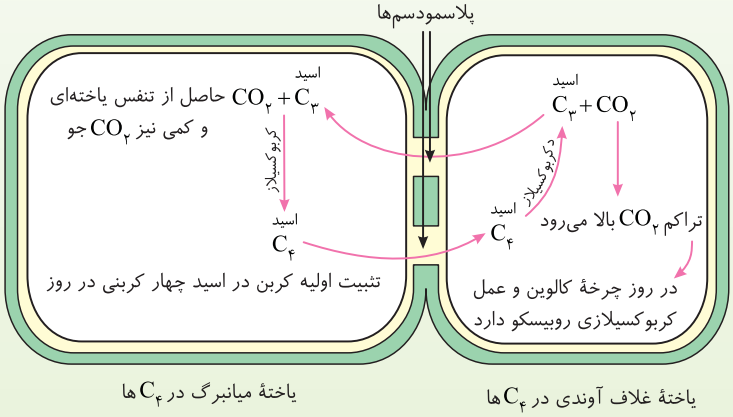
(۹) اغلب گیاهان C_3، در شرایط گرم و خشک قادر به ممانعت از واکنش‌های تنفس نوری نمی‌باشند ولی گیاهان C_4 قادرند مقدار تنفس نوری را به حداقل برسانند یا حذف کنند.

⑩ در گیاهان C_4، آنزیم‌های گوناگون تثبیت‌کنندهٔ کربن، عمل متفاوتی دارند. در این گیاهان اسید چهارکربنی تولید شده در میانبرگ، ابتدا پس از ورود به غلاف آوندی با دکربوکسیلاسیون، CO_2 خود را از دست می‌دهد و سپس با ایجاد چرخهٔ کالوین و ادامهٔ واکنش‌های فتوسنتزی، ATP و NADPH تولید شده در مراحل قبلی را به مصرف می‌رساند. (*در گیاهان C_4 مصرف ATP نوری و NADPH در غلاف آوندی صورت می‌گیرد.*)

⑪ در گیاهان C_4، تثبیت هر کربن طی دو مرحله و در دو یاختهٔ مختلف از برگ (*تقسیم مکانی*) صورت می‌گیرد. اولی در میانبرگ که CO_2های حاصل از تنفس یاخته‌ای و تنفس نوری و کمی CO_2 جو را جمع کرده و طی کربوکسیلاسیون با یک اسید سه‌کربنی عمل می‌کند. دومی تثبیت همین کربن در غلاف آوندی است که توسط آنزیم روبیسکو و طی کربوکسیلاسیون در چرخهٔ کالوین به صورت اسید سه‌کربنی صورت می‌گیرد.

⑫ در گیاهان C_4، میزان CO_2 در مجاورت محل عملکرد آنزیم روبیسکو در غلاف آوندی به اندازه‌ای بالا نگه داشته می‌شود که مانع عمل اکسیژنازی آنزیم روبیسکو در آن‌ها می‌شود و بازدارندهٔ تنفس نوری می‌باشد. به همین دلیل تنفس نوری در این گیاهان، به ندرت رخ می‌دهد.

⑬ چرخهٔ کالوین در گیاهان C_4، **فقط** در یاخته‌های غلاف آوندی صورت می‌گیرد. یعنی چرخهٔ کالوین در یاخته‌های سبزدیسه‌دار میانبرگ نرده‌ای یا اسفنجی آن‌ها رخ نمی‌دهد.

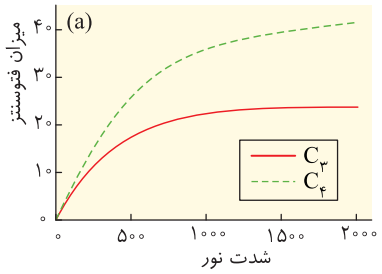


⑭ هر دو نوع واکنش‌های تثبیت کربن در گیاهان C_4 در روز انجام می‌شود ولی در دو یاختهٔ مختلف از برگ صورت می‌گیرد.

⑮ انتقال اسید C_4 از میانبرگ به غلاف آوندی و انتقال اسید C_3 از غلاف آوندی به میانبرگ، همگی از راه منافذ دارای سیتوپلاسم به نام **پلاسمودسم‌های موجود در دیوارهٔ یاخته‌ای** صورت می‌گیرد.

⑯ در گیاهان C_4، آنزیمی که بار اول کربن را در میانبرگ و در یک اسید چهارکربنی تثبیت می‌کند، فقط به‌طور **اختصاصی** وظیفه ترکیب با CO_2 یا کربوکسیلازی $(CO_2 + C_3)$ دارد ولی آنزیم روبیسکو که بار دوم این کربن را در غلاف آوندی تثبیت می‌کند، هم فعالیت اکسیژنازی و هم کربوکسیلازی می‌تواند انجام دهد.

● مقایسهٔ اثر شدت نور بر میزان فتوسنتز گیاهان C_3 و C_4

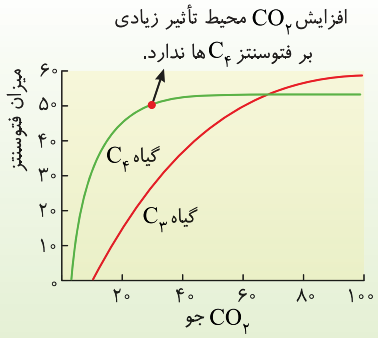


گیاهان C_3 در شرایطی رشد مناسب دارند که **شدت نور طبیعی** باشد ولی نور و دمای شدید، سبب بسته شدن روزنه‌های هوایی آن‌ها و شروع تنفس نوری می‌شود. در این حالت، میزان فتوسنتز این گیاهان **کم** می‌شود. در گیاهان C_4، چون سازش یافته‌اند، حتی در نور شدید نیز بر تنفس نوری غلبه می‌کنند و با انجام چرخهٔ کالوین در غلاف آوندی به ماده‌سازی می‌پردازند. به همین دلیل همان‌طور که در نمودار روبه‌رو مشاهده می‌کنید، مقدار رشد گیاهان C_4 در نور شدید، تقریباً دو برابر گیاهان C_3 می‌باشد.

● مقایسهٔ اثر میزان CO_2 جو بر میزان فتوسنتز گیاهان C_3 و C_4

گیاهان C_4 برای فتوسنتز، بیشتر وابسته به CO_2های تولید خود در تنفس یاخته‌ای یا کمی در تنفس نوری می‌باشند و کمی نیز CO_2 جو را قادرند جذب کنند. به همین دلیل زیاد متکی و وابسته به CO_2 جو نمی‌باشند. در این گیاهان وجود CO_2 اندکی در جو سبب شروع سریع واکنش‌های چرخهٔ کالوین در غلاف آوندی می‌شود ولی افزایش بیشتر CO_2 جو سبب افزایش شدت فتوسنتز در آن‌ها نمی‌شود. در گیاهان C_3 مقدار CO_2 جو و شدت فتوسنتز تا هنگام اشباع آنزیم‌ها از CO_2، رابطهٔ مستقیم دارند.

نکته



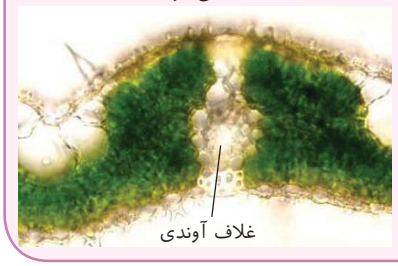
نمودار روبه‌رو تأثیر میزان CO_2 جو را بر میزان فتوسنتز در گیاهان C_3 و C_4 نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، در گیاهان C_4، وجود مقدار کمی CO_2 جو، سریعاً سبب افزایش میزان فتوسنتز می‌شود ولی پس از اینکه میزان CO_2 کمی بیشتر شد (*بالاتر از ۲۰*)، میزان فتوسنتز ثابت می‌شود. ولی در گیاهان C_3 افزایش میزان CO_2 جو، همواره تا اشباع آنزیم‌ها و تا حد بالاتر از ۸۰ نیز بر شدت فتوسنتز اثر مثبت دارد.

تست ۱۶ کدام‌یک، در رابطه با «گیاهان C_4» درست است؟

۱) همانند اغلب گیاهان، یاخته‌هایی به هم فشرده با قدرت تثبیت کربن در اطراف بافت آوندی دارند.
۲) یک کربن در این گیاهان توسط دو نوع سیستم آنزیمی تثبیت می‌شود.
۳) در روز CO_2های فراوانی را از جو گرفته و طی دو مرحله در یاخته‌های سبزدیسه‌دار تثبیت می‌کنند.
۴) CO_2 خارج شده از اسید چهارکربنی آن‌ها از طریق پلاسمودسم وارد غلاف آوندی می‌شود.

پاسخ ۲

نکته: در گیاهان C_4، کربن یک مولکول CO_2، دو بار در روز ولی در دو یاختهٔ مختلف به ترتیب در میانبرگ و غلاف آوندی تثبیت می‌شود.


غلاف آوندی

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در اغلب گیاهان که C_3 و دولپه‌ای هستند، غلاف آوندی سبزدیسه و قدرت فتوسنتز ندارد (*شکل مقابل*). / گزینهٔ (۳): روزنه‌های هوایی گیاهان C_4، C_3 و CAM در روزهای گرم و خشک، معمولاً بسته هستند و قدرت زیادی برای جذب CO_2 جو ندارند. / گزینهٔ (۴): در گیاهان C_4، اسید چهارکربنی میانبرگ که برای اولین‌بار کربن CO_2 در آن تثبیت شده است از راه پلاسمودسم به غلاف آوندی می‌رود و در آنجا ضمن تجزیه، CO_2 آن آزاد می‌شود.

۳) فتوسنتز در گیاهان CAM

این گیاهان در محیط‌هایی با نور شدید و دمای بالا همراه با **خشکی و کم‌آبی** زندگی می‌کنند. آب و هوای محیط این گیاهان روزهای بسیار گرم و شب‌های سرد است و غالباً بیابانی هستند. این گیاهان همواره به دلیل کم‌آبی محیط خود، مشکل گرفتن آب دارند. **به همین دلیل در طول روز برای توقف در عمل تعرق، روزنه‌های هوایی خود را می‌بندند و CO_2 ای از جو جذب نمی‌کنند.** روزنه‌های هوایی برگ و ساقه این گیاهان در شب با افزایش فشار تورژسانس یاخته‌های نگهبان، باز می‌شوند و **مقدار زیادی CO_2 جو** را جذب گیاه می‌کنند. آناناس و کاکتوس از جمله گیاهان CAM هستند که دارای برگ یا ساقه یا هر دو این اندام‌ها به صورت **گوشتی پر آب** می‌باشند. **واکوئول‌های این گیاهان حاوی ترکیباتی برای نگهداری آب هستند.** (*در هر دو اندام برگ و ساقه آن‌ها نیز می‌توان حفظ آب و گوشتی بودن را مشاهده کرد.*)

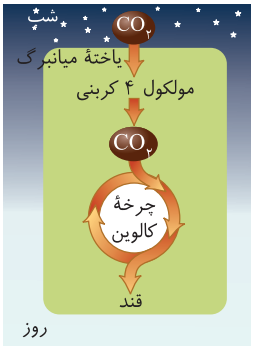
نکته

گیاهان CAM نیز همانند C_4ها، تثبیت یک کربن را دوبار و طی دو مرحله در اسید C_4 و C_3 (*کالوین*) انجام می‌دهند و واکنش‌هایی مشابه هم دارند ولی به دلیل کمبود وسعت برگ و ذخیرهٔ سبزینه‌ای، مقدار فتوسنتز در گیاهان CAM (*کم*) از C_3 و C_4 کمتر می‌باشد. این گیاهان، با اینکه به تنفس نوری غلبه می‌کنند ولی در شرایط نور و دمای شدید برخلاف گیاهان C_4 رشد قابل توجهی ندارند (*چون دیگر در حین خوستز نمی‌توانند CO_2 جذب کنند*).

● مراحل تثبیت کربن در گیاهان CAM

در این گیاهان شب هنگام روزنه‌های هوایی باز هستند و CO_2 زیادی را از جو جذب می‌کنند. این CO_2ها در شب توسط آنزیمی با اسید سه‌کربنی ترکیب می‌شوند و کربن آن‌ها در **اسید** C_4 تثبیت می‌شود. با طلوع خورشید و شروع شرایط نور و دمای بسیار شدید و بسته شدن روزنه‌های هوایی، در **همان یاخته‌ای** که اسید چهارکربنی را شب قبل ساخته است، عمل آزادسازی CO_2 صورت می‌گیرد. این CO_2ها در روز وارد سبزدیسهٔ یاختهٔ میانبرگی شده و سبب افزایش تراکم CO_2 می‌شوند تا فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو آغاز شود و چرخهٔ کالوین همراه با قندسازی به کار بیفتد. باید دقت کنید که مقدار فتوسنتز این گیاهان، به دلیل مقدار کم رنگیزه‌های فتوسنتزی و کمبود میزان CO_2، **اندک** می‌باشد. این گیاهان مثل آناناس یا کاکتوس رشد کمی دارند (CAM *کم*).

- دو نوع تثبیت کربن
  - در گیاهان C_4
    - تقسیم‌بندی مکانی **دارد** ← در میانبرگ و غلاف صورت می‌گیرد.
    - تقسیم‌بندی زمانی **ندارد** ← فقط در روز صورت می‌گیرد.
  - در گیاهان CAM
    - تقسیم‌بندی مکانی **ندارد** ← در یاختهٔ میانبرگی رخ می‌دهد.
    - تقسیم‌بندی زمانی **دارد** ← یک‌بار در شب (C_4) و یک‌بار در روز به صورت (C_3) انجام می‌شود.



(آناناس)

تست ۱۷ کدام گزینه نمی‌تواند تکمیل‌کنندهٔ عبارت زیر باشد؟

«در گیاه آناناس، زمانی‌که روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند، .....»

۱) از اسید آلی چهارکربنی، کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.

۲) کربن دی‌اکسید برای تثبیت توسط آنزیم روبیسکو نیاز به عبور از دو غشای سبزدیسه را دارد.

۳) تراکم کربن دی‌اکسید درون اندامکِ دارای قدرت تولید ATP نوری، به تدریج افزایش می‌یابد.

۴) در دو اندامک به‌طور هم‌زمان ولی توسط سیستم آنزیمی متفاوت، تثبیت کربن رخ می‌دهد.

پاسخ ۴ دقت کنید که گیاهان CAM (آناناس) روزنه‌های هوایی خود را در هنگام روز می‌بندند. این گیاهان در روز از ترکیب اسیدی C_4 ذخیره شده در شب، دی‌اکسید کربن آزاد می‌کنند که از دو غشای سبزدیسه عبور کرده و وارد سبزدیسه می‌شود. در هنگام **روز** دی‌اکسید کربن به سمت سبزدیسه می‌رود یعنی تراکم CO_2 در اندامکِ دارایِ قدرت تولید ATP نوری، افزایش می‌یابد.

بررسی نادرستی گزینهٔ (۴): نکتهٔ شایان توجه این است که سیستم‌های آنزیمی برای تثبیت دو مرحله‌ای کربن، در واکوئول و سبزدیسه، متفاوت است. آنزیم روبیسکو در جریان تثبیت دوم کربن در سبزدیسه، نقش ایفا می‌کند، به بیان دیگر آنزیم روبیسکو تنها درون سبزدیسه دیده می‌شود و از طرفی تثبیت اولیهٔ کربن هنگام شب و تثبیت دوم کربن هنگام روز انجام می‌شود (نه هم‌زمان).

تست ۱۸ کدام گزینه درست است؟

۱) در گیاه C_4 برخلاف گیاهان C_3، دوباره‌سازی $NADP^+$ در روز رخ می‌دهد.

۲) در گیاه C_3 برخلاف گیاهان دیگر، اولین مولکول پایدار حاصل از تثبیت کربن، قند سه‌کربنی است.

۳) در گیاه آناناس برخلاف C_4ها، دو نوع تثبیت کربن در زمان‌های متفاوت ولی در یک واحد زیستی رخ می‌دهد.

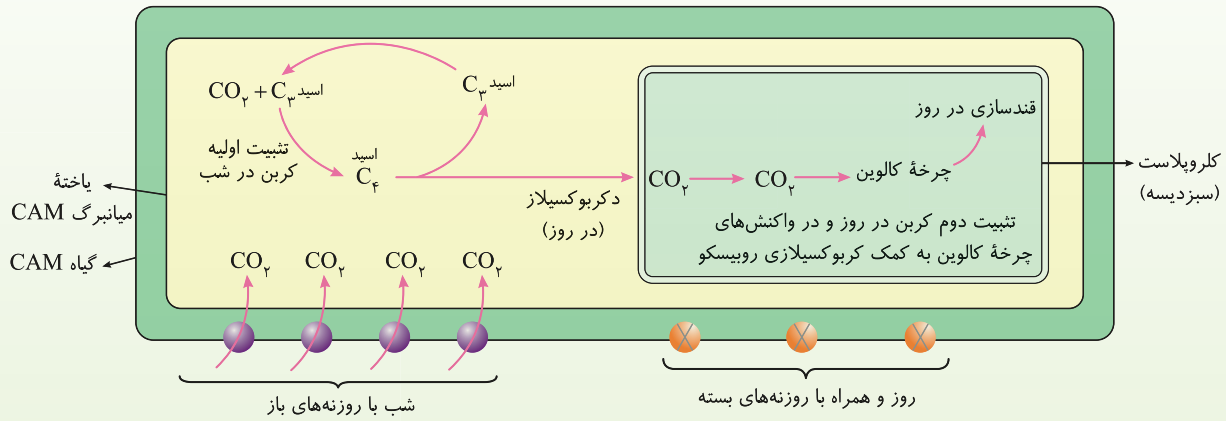
۴) دو نوع تثبیت کربن در گیاهان مقاوم به نور و دمای بالا، همواره زمان و مکان جداگانه‌ای دارند.

پاسخ ۳ هر دو تثبیت کربن در گیاهان CAM در یک یاخته ولی یکی در شب و دیگری در روز رخ می‌دهد ولی در گیاهان C_4 هر دو تثبیت در روز ولی در دو یاختهٔ مختلف صورت می‌گیرد (درستی گزینهٔ (۳) و نادرستی گزینهٔ (۴)). دوباره‌سازی $NADP^+$ در چرخهٔ کالوین هر گیاهی در روز صورت می‌گیرد (نادرستی گزینهٔ (۱)). اولین مولکول تثبیت شده در چرخهٔ کالوین **اسید سه کربنه** است نه قند سه کربنه! (نادرستی گزینهٔ (۲)).

چندنکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) عمل تثبیت برای هر کربن در گیاهان CAM، دوبار و در یک یاخته (بدون تقسیم‌بندی مکانی) رخ می‌دهد. این تثبیت‌ها یک‌بار در شب به صورت تولید اسید C_4 و بار دیگر در روز و در بسترهٔ سبزدیسهٔ همان یاخته به صورت اسید C_3 در چرخهٔ کالوین انجام می‌شود.

۲) گیاهان CAM برخلاف گیاهان C_4 و C_3 در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز به تثبیت کربن می‌پردازند.



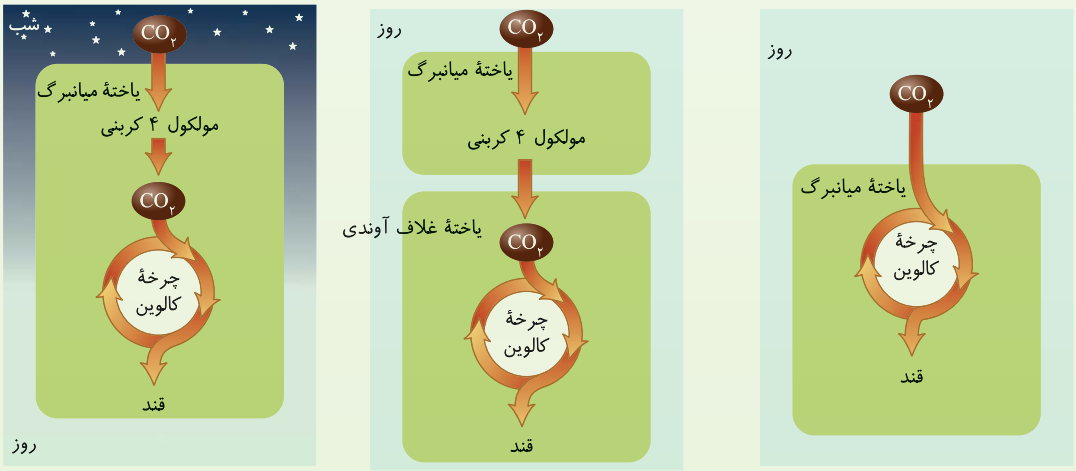
۳) در هر سه نوع گیاهان C_3، C_4 و CAM، واکنش‌های تثبیت کربن به صورت اسید سه‌کربنی در چرخهٔ کالوین، **فقط در روز** و همراه با واکنش‌های نوری فتوسنتز صورت می‌گیرد که منجر به مصرف ATP و NADPH و تولید قند با فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو می‌شود.

۴) در شروع روز و با آغاز واکنش‌های فتوسنتزی مقدار مواد اسیدی در گیاهان CAM از سایر گیاهان بیشتر می‌باشد چون کربن در شب در اسید چهارکربنی تثبیت شده است. به همین دلیل pH عصاره گیاهان CAM در ابتدای روز از سایر گیاهان اسیدی‌تر و پایین‌تر می‌باشد.

۵) تثبیت کربن در شب، مخصوص گیاهان CAM می‌باشد که به صورت اسید چهارکربنی آن را تثبیت و ذخیره می‌کنند (البته در ادامه می‌خوانیم که باکتری‌های شیمیوسنتزکننده نیز در هر شرایطی توانایی تثبیت کربن دارند).

⑥ مقایسهٔ گیاهان C_3، C_4 و CAM در یک نگاه!

گیاهان C_3	گیاهان C_4	گیاهان CAM
اغلب گیاهان هستند.	اغلب تک‌لپه‌ای هستند.	تعداد کمی مثل آناناس هستند.
فقط در چرخهٔ کالوین تثبیت کربن دارند.	دو نوع تثبیت کربن به صورت C_4 و C_3 (*کالوین*) دارند.	دو نوع تثبیت کربن به صورت C_4 و C_3 (*کالوین*) دارند.
فقط در روز و به صورت C_3 تثبیت کربن دارند.	فقط در روز و به دو صورت C_4 و C_3 تثبیت کربن دارند.	تثبیت کربن به صورت C_4 در شب و به صورت C_3 در روز دارند.
بر تنفس نوری غلبه‌ای ندارند.	بر تنفس نوری غلبه **دارند**.	بر تنفس نوری غلبه **دارند**.
تثبیت یک کربن را فقط در سبزدیسه یک یاخته و در یک مرحله انجام می‌دهند.	یک کربن را طی دو مرحله و در دو یاختهٔ مختلف میانبرگ (*تثبیت* C_4) و غلاف آوندی (*تثبیت* C_3) ولی **فقط در روز** انجام می‌دهند.	تثبیت یک کربن را در **یک یاخته** میانبرگی ولی در **دو زمان مختلف** انجام می‌دهند. شب ← تثبیت کربن به صورت C_4 روز ← تثبیت کربن در کالوین به صورت C_3
در شرایط نور و دمای شدید، رشد کمی دارند.	در شرایط دما و نور شدید، رشد مناسبی دارند.	همواره رشد کمی دارند و در محیط خشک زندگی می‌کنند.
در روز معمولی روزنه‌های هوایی باز دارند و مقدار CO_2 جو در فتوسنتز آن‌ها اثر مستقیم دارد.	در روز گرم، روزنه‌های هوایی تقریباً بسته‌ای دارند و فتوسنتز آن‌ها با مقدار اندک CO_2 جو رابطهٔ مستقیمی دارد و سپس ثابت می‌ماند.	در روز روزنه‌های هوایی بسته دارند ولی در شب جذب CO_2 جو از روزنه‌های باز دارند.



⑦ از غروب خورشید تا طلوع صبح بعد، واکنش‌های تنفس نوری و واکنش‌های فتوسنتزی در هیچ گیاهی انجام نمی‌شود ولی تنفس یاخته‌ای همهٔ جانداران طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز رخ می‌دهد.

⑧ یاخته‌هایی که در گیاهان C_4 مخصوص فتوسنتز و چرخهٔ کالوین می‌باشند، همان غلاف آوندی هستند که یاخته‌هایی به هم فشرده در اطراف آوندها در رگبرگ می‌باشند (*مصرف ATP نوری و NADPHها فقط در غلاف آوندی آن‌ها رخ می‌دهد*) ولی در گیاهان C_3 و CAM هر یاخته سبزدیسه‌داری در صورت وجود شرایط مناسب و CO_2 و نور مناسب، فتوسنتز می‌کند و چرخهٔ کالوین را به راه می‌اندازد.

⑨ در گیاهان C_4، واکنش تثبیت کربن طی روز ابتدا در یاخته‌های میانبرگ در مولکول اسید چهارکربنی انجام می‌شود ولی در گیاهان CAM، واکنش اولیه تثبیت کربن در شب و در هر یاختهٔ سبزدیسه‌داری انجام می‌شود. دقت کنید که تثبیت دوم کربن در هر دو نوع گیاه C_4 و CAM فقط در روز و به صورت چرخهٔ کالوین رخ می‌دهد.

⑩ در نور شدید و هنگام انجام چرخهٔ کالوین در گیاهان C_4 و CAM، با افزایش هورمون آبسیزیک‌اسید، روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند تا تعرق سبب مرگ گیاه نشود.

⑪ تجزیهٔ اسید چهارکربنی تثبیت‌کنندهٔ کربن طی واکنش‌های جدا کردن CO_2 (*دکربوکسیلازی*) رخ می‌دهد ($C_4 \rightarrow C_3 + CO_2$). این واکنش در گیاهان C_4، **درون غلاف آوندی** و در **روز** صورت می‌گیرد و سبب **افزایش تراکم** CO_2 **در غلاف آوندی** می‌شود. در CAMها نیز این واکنش در **روز** انجام می‌شود ولی سبب افزایش تراکم CO_2 **در سبزدیسه همان یاخته میانبرگی اولیه** می‌شود.

انواع واکنش‌های تثبیت کربن در گیاهان

$CO_2 + C_3 \longrightarrow C_4$: تولید اسید چهار کربنی
- روز در یاختهٔ میانبرگ گیاهان C_4 انجام می‌شود
- شب در هر یاختهٔ سبزدیسه‌دار گیاه CAM رخ می‌دهد

$C_4 \longrightarrow C_3 + CO_2$: تجزیهٔ اسید چهار کربنی
- همواره در روز در گیاهان C_4 و CAM رخ می‌دهد
- در غلاف آوندی گیاهان C_4 رخ می‌دهد
- در هر یاختهٔ سبزدیسه‌دار گیاه CAM رخ می‌دهد

همواره در **روز**، در گیاه C_3، $\longrightarrow$ تثبیت کربن در اسید سه کربنی $\xrightarrow[\text{روبیسکو}]{\text{چرخهٔ کالوین}}$ $C_5 + CO_2$: واکنش کربوکسیلازی روبیسکو
C_4 یا CAM رخ می‌دهد.

نکته

در گیاهان CAM انتقال اسید چهارکربنی تثبیت‌کنندهٔ کربن از طریق **پلاسمودسم‌ها** صورت نمی‌گیرد، چون برخلاف گیاهان C_4 همهٔ واکنش‌های تثبیت اولیه و ثانویه کربن، در یک یاخته و بدون تقسیم‌بندی مکانی انجام می‌شود. دقت کنید که در گیاهان CAM، دو نوع تثبیت کربن در دو قسمت مختلف یک یاخته صورت می‌گیرد ولی در گیاهان C_4 این دو نوع تثبیت کربن، در یک زمان (*روز*) ولی در دو یاختهٔ مختلف رخ می‌دهد.

نکته

به دلیل اینکه روزنهٔ هوایی گیاهان CAM فقط در شب باز می‌باشند، این گیاهان، تثبیت کربن را در شب برای CO_2 جو انجام می‌دهند ولی در روز، عمل تثبیت کربن را برای همان اتم تثبیت شده در شب قبل انجام می‌دهند. یعنی گیاهان CAM در روز، عمل تثبیت کربن را برای CO_2 جو انجام نمی‌دهند.

نکته

چون گیاهان CAM، در شب به ذخیرهٔ اسید چهارکربنی می‌پردازند، به همین دلیل در ابتدای صبح، pH این گیاهان از سایر گیاهان کمتر می‌باشد.

تست ۱۹ **کدام گزینه، برای تکمیل عبارت زیر مناسب است؟**

«در همهٔ گیاهانی که تولید قند سه‌کربنی حاصل از فتوسنتز در آن‌ها، فقط به هنگام روز صورت می‌گیرد، به‌طور حتم آنزیمی باعث .....می‌شود.»

۱) ترکیب شدن O_2 با مولکولی پنج‌کربنی
۲) افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج‌کربنی دوفسفاته
۳) ترکیب شدن CO_2 با اسید سه‌کربنی و تشکیل اسید چهارکربنی
۴) تجزیه شدن مولکول پنج‌کربنی به دو مولکول سه‌کربنی و دوکربنی

پاسخ ۲ ابتدا باید توجه داشته باشید که در تمام گیاهان فتوسنتزکننده، تولید قند سه‌کربنی حاصل از فتوسنتز تنها در روز صورت می‌گیرد پس باید به دنبال گزینه‌ای بود که در هر سه نوع گیاه C_3، C_4 و CAM صدق کند. می‌دانیم که هر نوع گیاهی، برای فتوسنتز باید توسط فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو، CO_2 را به مولکول ریبولوزبیس فسفات که مولکولی پنج‌کربنی و دوفسفاته است اضافه کند (*درستی گزینهٔ ۲*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): ترکیب شدن مولکول اکسیژن با ریبولوزبیس فسفات در شرایط نور شدید و بیشتر در گیاهان C_3 صورت می‌گیرد. هر چند به ندرت در گیاهان C_4 هم شاهد آن هستیم (*اما نه به‌طور حتم*). / گزینهٔ (۳): ساخته شدن اسید چهارکربنی از اسید سه‌کربنی در گیاهان C_3 رخ نمی‌دهد. / گزینهٔ (۴): تجزیهٔ مولکول پنج‌کربنی ناپایدار به ترکیبات دو و سه‌کربنی طی تنفس نوری رخ می‌دهد که به ندرت در گیاهان C_4 دیده می‌شود.

تست ۲۰ **کدام عبارت، در مورد پاسخ گیاهان C_4 به آب و هوای گرم و خشک صادق است؟** (سراسری خارج از کشور - ۹۷)

۱) همانند گیاهان CAM، آنزیم تثبیت‌کنندهٔ کربن آن‌ها، به میزان زیاد فعالیت اکسیژنازی هم انجام می‌دهد.
۲) برخلاف گیاهان C_3، اسیدهای آلی حاصل از تثبیت کربن جو را در واکوئول‌های خود برای حفظ آب نگه می‌دارند.
۳) برخلاف گیاهان C_3، با تجزیهٔ یک ترکیب دوکربنی در خارج از سبزدیسه، CO_2 تولید می‌کنند.
۴) همانند گیاهان CAM، توانایی انجام واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز را دارند.

پاسخ ۴ هر گیاهی توانایی انجام چرخهٔ کالوین و واکنش‌های مستقل از نور دارد (*به‌جز برخی گیاهان انگل که فتوسنتز ندارند*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در گیاهان C_4 و CAM به دلیل سازش با گرمای شدید، واکنش‌های تنفس نوری و اکسیژنازی روبیسکو، به ندرت رخ می‌دهد. / گزینهٔ (۲): ذخیرهٔ ترکیباتی در واکوئول برای حفظ آب از ویژگی‌های گیاهان CAM می‌باشد. / گزینهٔ (۳): تولید CO_2 از ترکیب دوکربنی، ویژهٔ مرحلهٔ آخر تنفس نوری در راکیزه می‌باشد که به ندرت در گیاه C_4 رخ می‌دهد ولی در گیاه C_3 و در شرایط گرم و خشک به مقدار زیادی رخ می‌دهد.

انواع جانداران تولیدکننده

- اغلب فتوسنتز طبیعت توسط انواعی از جانداران آغازی و باکتری رخ می‌دهد که خشکی‌زی نیستند.
- همگی از نور خورشید انرژی می‌گیرند.
- **گیاهان**
  - از **نور خورشید** انرژی می‌گیرند و همواره از **آب** الکترون گرفته و O_2 آزاد می‌کنند.
  - بخش عمده فتوسنتز طبیعت را انجام **نمی‌دهند** (*گیاهان انگل خودسترند ندارند*).
  - انواع C_3، C_4 و CAM دارند.
- **برخی آغازیان**
  - انواع فتوسنتزکننده مثل جلبک‌ها (*پرویاخته‌ای و تک‌یاخته‌ای*) و برخی تک‌یاخته‌ای‌ها مثل اوگلنا می‌باشند.
  - نقش مهمی در تولید مواد آلی از مواد معدنی دارند.
  - همگی از **نور خورشید**، انرژی می‌گیرند و از **آب** الکترون گرفته و O_2 می‌سازند.
  - انواعی از آغازیان خشکی‌زی یا آبزی فتوسنتزکننده وجود دارد.
  - جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای فتوسنتزکننده وجود دارد (*گول رنگ آن‌ها را نخورید!*).
  - اسپیروژیر ← جلبک سبز رشته‌ای **پریاخته‌ای** با سبزدیسهٔ نواری دراز می‌باشد.
  - **اوگلنا**
    - آغازی **تک‌یاخته** فتوسنتزکننده می‌باشد.
    - در حضور نور، فتوسنتز می‌کند و مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازد.
    - در عدم حضور نور
      - **سبزدیسه‌های** خود را از دست می‌دهند.
      - به صورت جاندار مصرف‌کننده از مواد آلی محیط، انرژی می‌گیرند و تغذیه می‌کنند.



- یوکاریوت‌های فتوسنتزکننده (*گیاهان و آغازیان*)، انواع سبزینه، کاروتنوئید و فتوسیستم دارند.

الف) فتوسنتزکننده‌ها

- **برخی باکتری‌ها**
  - باکتری‌ها فاقد اندامک غشاداری مثل سبزدیسه و راکیزه هستند.
  - همگی رنگیزه‌های جذب‌کنندهٔ نور خورشید دارند و از نور خورشید انرژی می‌گیرند.
  - برخی باکتری‌های فتوسنتزکننده، سبزینه دارند.
  - **سیانوباکتری‌ها** (*خودسترکننده اکسیژن‌زا*)
    - در غشای خود، سبزینه **نوع a** برای جذب **نور خورشید** دارند.
    - با استفاده از CO_2، آب و نور خورشید، فتوسنتز می‌کنند.
    - مواد آلی می‌سازند و O_2 تولید می‌کنند.
    - باکتری‌های فتوسنتزکننده و اکسیژن‌زا می‌باشند.
    - **برخی** قدرت تثبیت نیتروژن ($N_2 \rightarrow NH_4^+$) دارند.
    - با تثبیت نیتروژن می‌توانند با گیاهانی مثل آزولا یا گونرا هم‌زیستی کنند.
    - این باکتری‌ها با اینکه تولیدکننده‌اند ولی در همزیستی با گیاهان می‌توانند مقداری مواد آلی به دست بیاورند.
  - **فتوسنتزکننده‌های غیراکسیژن‌زا**
    - از نور خورشید برای تبدیل مواد معدنی به آلی استفاده می‌کنند.
    - رنگیزهٔ باکتریوسبزینه (*متفاوت با سبزینه*) در **غشای** خود دارند.
    - **انواع گوگردی آن‌ها**
      - گوگردی ارغوانی و سبز دارند.
      - رنگیزه‌های فتوسنتزی به نام باکتریوسبزینه دارند.
      - CO_2 را تثبیت کرده و مواد آلی می‌سازند.
      - آب به عنوان **منبع الکترون** فتوسنتز آن‌ها **نمی‌باشد**.
      - از H_2S به عنوان منبع الکترون در فتوسنتز استفاده می‌کنند.
      - در فتوسنتز به جای O_2، به تولید **گوگرد** می‌پردازند.
      - از آن‌ها در تصفیه فاضلاب‌ها برای حذف H_2S (*هیدروژن سولفید*) استفاده می‌کنند.
      - قدرت تولید و مصرف O_2 ندارند.
      - H_2S گازی بی‌رنگ می‌باشد که بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.
      - واکنش فتوسنتزی آن‌ها:

$$6CO_2 + 12H_2S + \text{نور} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$$

    - **انواع غیرگوگردی**
      - رنگیزه باکتریوسبزینه دارند.
      - خارج از مبحث کتاب درسی است ولی منبع الکترون آن‌ها نه آب است و نه H_2S!!! ولی منبع انرژی آن‌ها نیز نور خورشید می‌باشد و تثبیت CO_2 می‌کنند.

ب) شیمیوسنتزکننده‌ها

- هر جاندار فتوسنتزکننده‌ای، حاوی رنگیزه جذب‌کنندهٔ نور و دنای حلقوی می‌باشد.

همگی ضمن جذب انرژی، طی تثبیت کربن سبب تبدیل مواد معدنی به مواد آلی می‌شوند.

انواع جانداران تولیدکننده مواد آلی از مواد معدنی

- انواعی از باکتری‌های تولیدکننده می‌باشند که در محیط فاقد نور نیز تولیدکنندگی را ادامه می‌دهند.
- به جای نور، از مواد معدنی انرژی می‌گیرند (*توانایی فتوسنتز ندارند*).
- با استفاده از انرژی و الکترون مواد معدنی، به ساخت مواد آلی می‌پردازند.
- در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانه آتشفشان‌های زیر آب وجود دارند.
- **بدون** نیاز به نور، مواد معدنی (CO_2 و *منبع الکترون*) را به مواد آلی تبدیل می‌کنند.
- محل زیست آن‌ها برای زندگی **بسیاری** از جانداران غیرممکن است.

ب) شیمیوسنتزکننده‌ها

- محققین معتقدند که از قدیمی‌ترین جانداران روی زمین هستند.
- انرژی واکنش ساخت مواد آلی را از اکسایش ترکیبات معدنی به دست می‌آورند.
- باکتری‌های نیترات‌ساز خاک که آمونیوم (NH_4^+) را به نیترات (NO_3^-) تبدیل می‌کنند نمونه‌ای از این گروه هستند.
- هم منبع الکترون و هم منبع انرژی آن‌ها یک نوع مادهٔ معدنی (*غیرآلی*) می‌باشد.
- واکنش نمونه از عمل یک شیمیوسنتزکننده:

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow{H_2S \text{ منبع انرژی و الکترون است}} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$$

- باکتری‌های شیمیوسنتزکننده و گوگردی ضمن عمل تولیدکنندگی خود، آب تولید می‌کنند ولی در این واکنش‌ها، از آب استفاده نمی‌کنند.

تست ۲۱ **چند مورد زیر در مورد باکتری‌های دارای سبزینه a نادرست می‌باشد؟**

الف) از نوع اکسیژن‌زا هستند که فاقد باکتریوسبزینه می‌باشند.

ب) فقط واجد آنزیم‌هایی برای تثبیت یک نوع عنصر می‌باشند.

ج) طی هم‌زیستی، از مواد آلی برخی گیاهان نیز استفاده می‌کنند.

د) منبع انرژی و الکترون آن‌ها با انواع جلبک‌های آغازی مشابه می‌باشند.

۱) ۲ مورد **۲)** ۱ مورد

۳) ۳ مورد **۴)** صفر مورد

پاسخ ۲ فقط مورد (ب) نادرست می‌باشد.

◀ سبزینه a در بین باکتری‌ها فقط در سیانوباکتری‌ها دیده می‌شود.

تله‌های تستی الف) درست است. سیانوباکتری‌ها، تولید O_2 می‌کنند ولی باکتریوسبزینه رنگیزه موجود در غشا باکتری‌های فتوسنتزکننده غیراکسیژن‌زا می‌باشد. / ب) نادرست و (ج) درست است. **برخی** سیانوباکتری‌ها علاوه بر تثبیت کربن قدرت تثبیت نیتروژن نیز در خاک‌های دارای نیتروژن کم دارند و با گیاهانی مثل آزولا یا گونرا هم‌زیستی می‌کنند و از مواد آلی آن‌ها استفاده می‌کنند (*زیست دهم*). / د) درست است. گیاهان، جلبک‌ها، برخی اوگلناها و سیانوباکتری‌ها، از نور خورشید، انرژی می‌گیرند و از آب نیز تأمین الکترون می‌کنند.

تست ۲۲ **کدام، در مورد همهٔ جانداران تولیدکننده صدق نمی‌کند؟**

۱) واکنش‌هایی مستقل از نور برای تولید ATP دارند.

۲) مواد معدنی را به ترکیبات آلی تبدیل می‌کنند.

۳) CO_2 را توسط واکنش‌های چرخهٔ کالوین تثبیت می‌کنند.

۴) از ترکیبات آلی یا معدنی، پروتون و الکترون دریافت می‌کنند.

پاسخ ۳ تثبیت کربن توسط چرخهٔ کالوین ویژهٔ اغلب فتوسنتزکنندگان می‌باشد ولی در شیمیوسنتزکننده‌ها، واکنش‌های چرخهٔ کالوین وجود ندارد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، از واکنش‌های مستقل از نور می‌باشند که به تولید ATP می‌پردازند. (*دقت کنید که در تست‌ها، واکنش‌های وابسته به نور یا مستقل از نور دیدید، نباید فقط به فتوسنتز فکر کنید!*) / گزینهٔ (۲): هر تولیدکننده‌ای، می‌تواند مواد آلی را از مواد معدنی بسازد. / گزینهٔ (۴): در تنفس یاخته‌ای، گرفتن الکترون و پروتون از مواد آلی (*گلوکز*) گرفته می‌شود ولی در فتوسنتز مادهٔ معدنی مثل آب یا H_2S، دهندهٔ پروتون و الکترون می‌باشند.

تست ۲۳ **هر باکتری ..... ، می‌تواند .....** (سراسری خارج از کشور - ۹۳)

۱) فتوسنتزکننده - از میزان سولفید هیدروژن محیط بکاهد.

۲) نیترات‌ساز - بنیان پیرووییک‌اسید را تولید و مصرف نماید.

۳) مصرف‌کننده - از طریق زنجیرهٔ انتقال الکترون، NAD^+ را بازسازی نماید.

۴) تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن - با استفاده از کربن غیرآلی، ترکیبات آلی متنوعی بسازد.

پاسخ ۲ باکتری‌های مختلف می‌توانند به دلیل واکنش‌های قندکافت، پیرووات (*بنیان پیرویک اسید*) بسازند و با تنفس هوازی یا بی‌هوازی آن را مصرف کنند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): فقط باکتری‌های گوگردی از H_2S محیط استفاده کرده و ضمن تجزیهٔ آن‌ها از مقدار آن‌ها می‌کاهند که در تصفیهٔ فاضلاب‌ها از آن‌ها استفاده می‌شوند. / گزینهٔ (۳): باکتری‌های مصرف‌کنندهٔ **بی‌هوازی** NAD^+ را در تخمیر بازسازی می‌کنند و قدرت بازسازی آن را در زنجیرهٔ انتقال الکترونی ندارند. / گزینهٔ (۴): ریزوبیوم‌ها، تولیدکننده نیستند ولی تثبیت کنندهٔ نیتروژن می‌باشند.

تست ۲۴ **هر باکتری که بتواند برای ساختن ترکیبات آلی خود، از ..... به عنوان منبع الکترون استفاده کند، .....** (سراسری - ۹۴)

۱) ترکیبات غیرگوگردی - در پی تولید NAD^+ ، به‌طور مداوم ATP می‌سازد.

۲) آب - انرژی زیستی قابل استفاده خود را تنها در حضور اکسیژن به دست می‌آورد.

۳) ترکیبات گوگردی - برای بازسازی NAD^+ به یک ترکیب غیرآلی نیاز دارد.

۴) ترکیبات غیرآلی - در غشای خود فاقد رنگیزه‌های فتوسنتزی است.

پاسخ ۱

نکته: هر باکتری اعم از هوازی یا بی‌هوازی اگر NAD^+ را دوباره‌سازی کند، می‌تواند به‌طور مداوم در اثر قندکافت ATPسازی خود را ادامه دهد (*درستی گزینهٔ (۱)*).

نکته: سیانوباکتری از آب الکترون می‌گیرد و قادر به انجام قندکافت بدون نیاز به O_2 می‌باشد (*نادرستی گزینهٔ (۲)*).

نکته: باکتری‌های گوگردی، بی‌هوازی هستند و طی مرحلهٔ دوم تخمیر، با استفاده از ترکیبات **آلی**، دوباره‌سازی NAD^+ را در سیتوپلاسم انجام می‌دهند (*نادرستی گزینهٔ (۳)*).

نکته: باکتری‌های گوگردی، سیانوباکتری و شیمیوسنتزکننده‌ها، از ترکیبات **معدنی**، الکترون می‌گیرند ولی فقط انواع شیمیوسنتزکننده‌اند که در غشای خود رنگیزه جذب نور خورشید ندارند.

نکته: دوباره‌سازی NAD^+
- توسط مادهٔ معدنی (O_2) ← نشان دهندهٔ تنفس هوازی و زنجیرهٔ انتقال الکترون است.
- توسط مادهٔ آلی ← منظور مرحلهٔ دوم تخمیر می‌باشد (*تنفس بی‌هوازی*).

تست ۲۵ **در ..... ، هم واکنش‌های چرخهٔ کالوین و هم چرخهٔ کربس انجام می‌شود.**

۱) اوگلنایی که مدت‌هاست در معرض نور قرار ندارد

۲) باکتری گوگردی

۳) جلبک قهوه‌ای

۴) قارچ مخمر نان

پاسخ ۳ جلبک‌های مختلف سبز، قرمز و قهوه‌ای همانند گیاهان و باکتری‌های هوازی فتوسنتزکننده، هم توانایی انجام تنفس هوازی (*چرخهٔ کربس، اکسایش پیروات و...*) و هم توانایی انجام چرخهٔ کالوین دارند.

- برخی اوگلناها از آغازیان فتوسنتزکننده‌هایی هستند که اگر به مدت طولانی در محیط فاقد نور قرار بگیرند، سبزدیسه‌های خود و واکنش‌های فتوسنتزی خود را از دست می‌دهند (*نادرستی گزینهٔ (۱)*).
- باکتری‌های گوگردی، قدرت تولید و مصرف O_2 ندارند، پس تنفس بی‌هوازی دارند و فاقد چرخهٔ کربس می‌باشند و از طرفی قارچ مخمر نان نیز فاقد قدرت تولیدکنندگی و انجام چرخهٔ کالوین می‌باشند (*نادرستی گزینه‌های (۲) و (۴)*).

سوخت‌وساز جانداران در یک نگاه								
فرمانرو	تولیدکننده یا مصرف‌کننده	نوع تنفس یاخته‌ای	منبع انرژی	منبع الکترونی در فتوسنتز	تولید *ATP* نوری	تولید *ATP* در سطح پیش‌ماده تنفسی (ویژگی مشترک همهٔ جانداران)	تولید *ATP* به کمک زنجیرهٔ انتقال الکترون	تثبیت کربن CO_2
جانوران	همگی مصرف‌کننده‌اند	هوازی در ماهیچه‌های اسکلتی، نوع بی‌هوازی هم دیده می‌شود.	تجزیهٔ مواد آلی	ندارند	ندارند	دارند	در تنفس هوازی دارند (ATP اکسایشی)	
قارچ‌ها	همگی مصرف‌کننده‌اند	هوازی برخی بی‌هوازی هم دارند (مخمرها)	تجزیهٔ مواد آلی	ندارند	ندارند	دارند	در تنفس هوازی دارند (ATP اکسایشی)	ندارند
گیاهان	به‌جز برخی انواع انگل (سس و گل جالیز) سایر گیاهان تولیدکننده و فتوسنتزکننده‌اند	هوازی برخی توانایی تخمیر بی‌هوازی دارند	نور خورشید	آب (O_2 تولید می‌کنند)	دارند	دارند	در تنفس هوازی و در مراحل نوری فتوسنتز دارند (ATP اکسایشی و ATP نوری)	دارند (C_4 و CAM در دو مرحله دارند)
آغازیان مصرف‌کننده	مصرف‌کننده‌اند (آمیب - پارامسی - عامل مالاریا)	اغلب هوازی	تجزیهٔ مواد آلی	مواد آلی	ندارند	دارند	در تنفس هوازی دارند (ATP اکسایشی)	ندارند
آغازیان فتوسنتزکننده	تولیدکننده اسپیروژیر - اوگلنا - جلبک‌های قرمز - سبز و قهوه‌ای	هوازی	نور خورشید	آب (O_2 تولید می‌کنند)	دارند	دارند	در تنفس هوازی و مراحل نوری فتوسنتز دارند. (ATP اکسایشی و ATP نوری)	دارند

سوخت‌وساز جانداران در یک نگاه								
فرمانرو	تولید یا مصرف‌کننده	نوع تنفس یاخته‌ای (البته در کتاب اشاره مستقیم در مورد باکتری‌ها نداریم)	منبع انرژی	منبع الکترونی در فتوسنتز	تولید ATP نوری	تولید ATP در سطح پیش‌ماده تنفسی (ویژگی مشترک همهٔ جانداران)	تولید ATP به کمک زنجیرهٔ انتقال الکترون	تثبیت کربن CO_2
اغلب باکتری‌ها	مصرف‌کننده‌اند	هوازی یا بی‌هوازی	مواد آلی	فتوسنتز ندارند	ندارند	دارند	هوازی دارند (ATP اکسایشی) بی‌هوازی‌ها ندارند	ندارند
باکتری‌های فتوسنتزکننده اکسیژن‌زا	تولیدکننده‌اند (برخی سیانوباکتری‌ها قدرت تثبیت نیتروژن و هم‌زیستی با گیاهان دارند)	هوازی	نور خورشید	آب (قدرت تولید O_2 دارند)	دارند	دارند	در تنفس هوازی و مراحل نوری فتوسنتز دارند (ATP اکسایشی و ATP نوری)	دارند
باکتری‌های فتوسنتزکننده غیراکسیژن‌زا	تولیدکننده	بی‌هوازی	نور خورشید	نوع گوگردی سبز و ارغوانی آن‌ها از H_2S الکترون می‌گیرند. (O_2 تولید نمی‌کنند)	دارند	دارند	در مراحل نوری فتوسنتز دارند (ATP نوری دارند)	دارند
باکتری‌های شیمیوسنتزکننده	تولیدکننده	هوازی یا بی‌هوازی	اکسایش مواد معدنی	تولیدکننده‌اند و اکسایش مواد معدنی الکترون می‌گیرند (ولی خودشان ندارند).	**ندارند**	دارند	در تنفس هوازی دارند (ATP اکسایشی)	دارند

مقایسهٔ انواع تنفس در طبیعت				
نوع تنفس / نکات	تنفس دارای بخش هوازی	تخمیر الکلی	تخمیر لاکتیکی	تنفس نوری
قدرت تجزیهٔ مادهٔ آلی (قند)	دارد	دارد	دارد	دارد
اولین مادهٔ تجزیه شونده	قند شش کربنی (*گلوکز*)	قند شش کربنی گلوکز	قند شش کربنی گلوکز	قندپنج کربنی ریبولوزبیس فسفات
جانداران انجام دهنده	هر نوع جانداری	قارچ مخمر نان و برخی گیاهان	ماهیچهٔ اسکلتی جانوران در ورزش شدید. باکتری‌های تولیدکنندهٔ خیارشور و محصولات لبنی و ترش‌کنندهٔ شیر (*برخی گیاهان نیز این نوع تنفس را دارند*)	در اغلب گیاهان **مخصوصاً** C_3ها صورت می‌گیرد. (*البته کتاب در مورد تنفس نوری باکتری‌ها بحثی نکرده است*)
شرایط انجام	در شب و روز در صورت وجود O_2 کافی	در شب و روز در موارد کمبود یا فقدان O_2	در شب و روز و در موارد کمبود یا فقدان O_2	در نور و دمای بسیار شدید و محیط خشک
مصرف اکسیژن	دارد	ندارد	ندارد	دارد
تولید CO_2	دارد	دارد	**ندارد**	دارد
تولید ATP در سطح پیش‌ماده	دارند (*قندکافت*)	دارند (*قندکافت*)	دارند (*قندکافت*)	**ندارد**
تولید ATP نوری	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
تولید ATP اکسایشی	**دارد**	ندارد	ندارد	ندارد
محل انجام واکنش	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم + راکیزه (*بخش هوازی*)	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم	بستره سبزدیسه، به کمک آنزیم روبیسکو و بخشی در راکیزه
مرحلهٔ نیاز به مصرف ATP	مرحلهٔ اول قندکافت	مرحلهٔ اول قندکافت	مرحلهٔ اول قندکافت	ندارد

فصل هفتم
فناوری‌های نوین زیستی

درسنامه

در این فصل می‌خواهیم یکی از جدیدترین فناوری‌ها در زمینهٔ زیست‌شناسی را بررسی کنیم. مهندسی ژنتیک، مهندسی پروتئین و کلاً فناوری‌های جدیدی زمینه‌ساز پیشرفت زندگی بشری در زمینه‌های پزشکی، کشاورزی، دامپروری و... شده است که در این قسمت تاریخچه و روش آن‌ها را مطالعه می‌کنیم.

مثلاً سال‌ها بود که از پلاستیک‌های **غیرقابل تجزیه** در طبیعت بیشتر استفاده می‌شد که آلوده‌کنندهٔ محیط‌زیست نیز بودند ولی در حال حاضر، به کمک روش‌های زیست‌**فناوری**، پلاستیک‌های **قابل تجزیه** با **هزینهٔ کمتر** ایجاد شده‌اند. این عمل با وارد کردن ژن‌های تولیدکننده این مواد از **باکتری به گیاه** امکان‌پذیر شده است که اصل درس این فصل در مورد مراحل این فعالیت‌ها می‌باشد.

تا چند سال قبل اگر در مورد انتقال ژن از گوجه‌فرنگی به باکتری و تولید آن در باکتری صحبت می‌شد، فقط برای خنده و رویاهای آینده جالب بود ولی در حال حاضر با انتقال ژن‌های مفید از جانداران مختلف به همدیگر، سعی در **تولید انبوه این ژن‌ها** و **محصولات مفید** آن‌ها می‌شود تا در بهبود مشکلات زیستی بشر و محیط‌زیست از آن‌ها استفاده شود.

گفتار ۱ زیست‌فناوری و مهندسی ژنتیک

تا چند سال قبل دیابت شیرین یا مرض قند یکی از بی‌علاج‌ترین و کشنده‌ترین بیماری‌های شایع بود و افراد بیمار هزینه بسیار سنگینی بابت تهیهٔ هورمون **انسولین** می‌پرداختند (*چون انسولین را به صورت طبیعی (مثلاً از لوزالمعدهٔ گاو) به‌دست می‌آوردند.*) ولی در حال حاضر با روش‌های فناوری زیستی، در مهندسی ژنتیک می‌توان به کمک **باکتری‌ها**، مقدار زیادی انسولین را به صورت ساده و ارزان قیمت به دست آورد.

همان‌طور که در فصل ۴ مشاهده کردید، **جهش‌ها** سبب ایجاد بیماری‌های **ژنتیکی** مختلفی می‌شوند که **بسیاری** از آن‌ها سبب **نقص در فعالیت پروتئینی خاص** شده‌اند. مثل افراد هموفیل در اثر ژن جهش یافته، عامل انعقادی VIII (۸) خون را نمی‌سازند و مشکل انعقاد خون دارند. زمان قدیم باید از خون افراد سالم ماده دارویی (*عامل ۸ خون*) را به دست می‌آوردند که این فعالیت می‌توانست سبب انتقال بیماری‌های نهفته شود. در حال حاضر **با انتقال ژن سازندهٔ این ماده به جاندار ساده‌ای مثل باکتری**، می‌توانند مقدار فراوانی مادهٔ انعقادی توسط باکتری‌ها تولید کنند. در این قسمت می‌خواهیم به بررسی روش‌های تولید یک پروتئین انسانی در باکتری‌ها با انتقال ژن از انسان به باکتری بپردازیم. **مثلاً می‌خواهیم ببینیم باکتری چگونه ژن تولید هورمون رشد انسانی را می‌پذیرد؟ و آیا آن را بیان می‌کند؟ که مبحثی بسیار جالب می‌باشد.**

نکته

برای اینکه باکتری یا هر جاندار دیگری بتواند ژن گونهٔ دیگری را بیان کند، ضرورت دارد که تمام احتیاجات این فرایندها در باکتری و ... فراهم شود.

زیست‌فناوری چیست؟

به هر گونه فعالیت **هوشمندانه بشر** که با استفاده از **موجودات زنده** سبب تولید محصولات گوناگونی شود یا سبب **بهبود** و تغییر آن محصول شود، **زیست‌فناوری** می‌گویند. در حال حاضر زیست‌فناوری به شاخصی برای **نشانه پیشرفت کشورها** در قرن کنونی تبدیل شده است. این علم، قلمروی **بسیار گسترده‌ای** در شاخه‌های کشاورزی، پزشکی، دامپروری، صنعتی، غذایی و... دارد که گرایش‌های مختلف علمی مثل علوم زیستی، فیزیک، ریاضیات و علوم مهندسی و... را دربرمی‌گیرد.

زیست‌فناوری، روش‌های متنوعی مثل **مهندسی ژنتیک** (*برای تولید انبوه ژن‌ها و محصولات مفید*)، مهندسی **پروتئین** (*برای تولید پروتئین‌های جدید دستکاری شده*) و مهندسی **بافتی** (*برای ایجاد بافت از یاخته‌های تمایز نیافته*) دارد که در این فصل به تدریج آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

نکته

از آنجا که زیست‌فناوری شاخه‌ای از علم تجربی زیست‌شناسی می‌باشد، پس
۱) به بررسی علمی جانداران و فرایندهای زیستی می‌پردازد.
۲) فقط در جست‌وجوی پدیده‌های طبیعی و قابل مشاهده می‌باشند.
۳) اساس آن، مشاهده است.

تاریخچه زیست‌فناوری

مطالعات و روش‌های زیست‌فناوری از سال‌های بسیار دور آغاز شده است که **سه دورهٔ زمانی** برای آن از ابتدا تاکنون در نظر می‌گیرند:

الف) زیست‌فناوری سنتی

از زمان‌های بسیار دور، بشر محصولاتی غذایی مثل سرکه، نان، محصولات لبنی (*ماست، پنیر*) و... را با استفاده از محصولات **تخمیری** به دست می‌آورده است که این روش را زیست‌فناوری **سنتی** می‌گویند که قدمت بسیار زیادی دارد. (*تولید محصولات شیری و خیارشور با تخمیر لاکتیکی یا تولید نان در اثر تخمیر الکلی، نمونه‌هایی از زیست‌فناوری سنتی می‌باشند.*)

نکته

در زیست‌فناوری سنتی، از کشت ریزجانداران و انتقال ژن، استفاده نمی‌کردند ولی از جانداران تخمیرکننده استفاده می‌شد (*بدون کشت دادن آن‌ها*).

ب) زیست‌فناوری کلاسیک

در این روش، **انسان** از مدتی قبل با استفاده از روش‌های تخمیر یا **کشت** ریزجانداران مثل باکتری، قارچ تک‌یاخته‌ای و... موادی مثل آنتی‌بیوتیک‌ها (*پادزیست*)، آنزیم‌ها و مواد غذایی ایجاد می‌کرد ولی هنوز از انتقال ژن و دستکاری ژنتیکی برای ایجاد محصول، خبری نبود.

نکته

تولید مواد دارویی و برخی مولکول‌های زیستی مثل آنزیم با روش تخمیر، اولین‌بار در این روش انجام شد.

پ) زیست‌فناوری نوین

این دوره که قدمت خیلی زیادی ندارد، از وقتی آغاز شد که محققین توانستند ابتدا با **انتقال ژن** بین **دو میکروارگانیسم** (*مثل دو باکتری*)، تغییر یا اصلاحی در ریزجانداران گیرنده ژن ایجاد کنند. در حقیقت، سبب ایجاد ترکیبات جدید و با **کیفیت و مقادیر** بیشتر شدند. در این فصل به مبحث **زیست‌فناوری نوین** در زمینهٔ مهندسی ژنتیک، مهندسی پروتئین و بافت می‌پردازیم و خدماتی را که در زمینهٔ کشاورزی، پزشکی یا دامپروری انجام داده‌اند را تا حدودی بررسی می‌کنیم.

نکته

در زیست‌فناوری **نوین** سه روش بسیار مهم وجود دارد:
۱) مهندسی **ژنتیک** ← تولید انبوه ژن یا فراوردهٔ ژنی توسط موجودات ساده (*بدون تخمیر در محصول*)
۲) مهندسی **پروتئین** ← **تغییر** در ویژگی پروتئین‌ها و عملکرد آن‌ها (*محصول با نوع اولیه متفاوت است*)
۳) مهندسی **بافت** ← تولید بافت‌های متنوع از یاخته‌های **تمایز نیافته**

در این فصل ۳ گفتار وجود دارد. در گفتار اول به بررسی اهداف و روش **مهندسی ژنتیک** می‌پردازیم، در گفتار بعد به **مهندسی پروتئین** و **بافت** می‌رسیم و در گفتار آخر به **کاربرد زیست‌فناوری** در رشته‌های مختلف و کمک به جامعهٔ بشری می‌پردازیم.

تست ۱ اولین مدل زیست‌فناوری ..... جدیدترین نوع زیست‌فناوری .....

۱) همانند - از روش‌های تخمیری، پادزیست‌ها را ایجاد کرد.
۲) برخلاف - فقط در تولید مواد غذایی، استفاده بهینه می‌کرد.
۳) همانند - سبب انتقال ژن بین دو ریزجانداران نمی‌شد.
۴) برخلاف - به تولید آنزیم‌هایی در ایجاد مواد غذایی می‌پرداخت.

پاسخ ۲ انتقال ژن فقط در روش زیست‌فناوری نوین به کار می‌رود ولی تخمیر و تولید مواد غذایی در هر دو نوع زیست‌فناوری سنتی و کلاسیک مشاهده می‌شود.

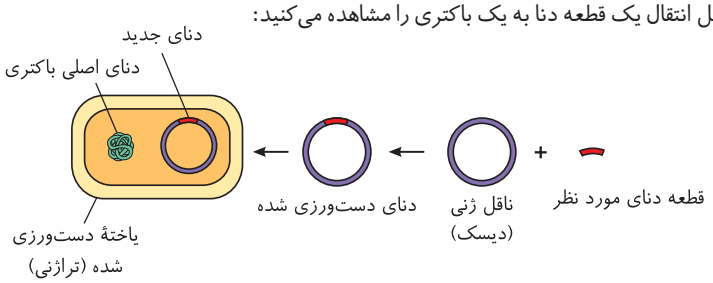
انواع زیست‌فناوری	روش استفاده	تولیدات (محصولات)
زیست‌فناوری سنتی	**تخمیر** مواد غذایی توسط ریزجانداران	محصولات تخمیری مانند سرکه، نان و فراورده‌های لبنی دارد.
زیست‌فناوری کلاسیک	تخمیر و کشت ریزجانداران (*میکروارگانیسم‌ها*)	موادی مثل پادزیست‌ها (*آنتی‌بیوتیک‌ها*)، آنزیم‌ها و مواد غذایی ایجاد شدند.
زیست‌فناوری نوین	انتقال ژن بین دو جاندار	شروع آن با انتقال ژن بین دو میکروارگانیسم بود. تغییرات و اصلاحاتی در خصوصیات ریزجانداران ایجاد کردند و ترکیبات جدید را با مقدار و کارایی بالاتر ایجاد کردند.

مهندسی ژنتیک

مهندسی ژنتیک یکی از روش‌های مهم و مؤثر از زیست‌فناوری نوین (*بیوتکنولوژی*) می‌باشد که ژن یا محصول مفیدی از آن را **بدون اینکه تغییری در ژن‌ها ایجاد کنند**، به انبوه‌سازی می‌رسانند. به‌طور کلی در مهندسی ژنتیک، **قطعه‌ای از DNA یک گونه** که دارای ژن‌ها یا ژن مفیدی می‌باشد را جدا کرده، سپس به کمک مولکول ناقل ژنی (*مثل ریبک‌ها*)، آن ژن را به یاختهٔ دیگر از **جاندار گونهٔ دیگری** انتقال می‌دهند. در این حالت، **یاختهٔ** دریافت‌کننده قطعه DNA مورد نظر را **یاختهٔ دست‌ورزی شده** ژنتیکی می‌نامند که دارای صفت جدید می‌باشد. به **جانداری** که این ترکیب جدید مادهٔ ژنتیکی را دارد، جاندار تغییر یافته ژنتیکی یا **تراژنی** می‌گویند.

دقت کنید که جاندار تراژنی، **گونه‌ای متفاوت** با جاندار دهنده ژن دارد و **ژنوم** آن‌ها متفاوت است. این روش، اولین‌بار در انتقال ژن به **باکتری‌ها** انجام شد. در حقیقت باکتری‌ها **اولین** جانداران **تراژن** بودند ولی با پیشرفت‌های بعدی دست‌ورزی ژنتیکی در یاخته‌های موجودات تکامل یافته گیاهی و جانوری نیز انجام شد.

در تصویر زیر به‌طور خلاصه مراحل انتقال یک قطعه دنا به یک باکتری را مشاهده می‌کنید:



نکته

در فصل اول زیست دهم بیان شد که **گیاهان خودرو** به دلیل **سازش**، می‌توانند در محیط‌ها و اقلیم‌های مختلف به آسانی رویش کنند، رشد و **زادآوری سریعی در زمان کوتاه** داشته باشند. از طرفی تولیدکنندگی این گیاهان بسیار زیاد با تولید **دانه و میوه** می‌باشد. محققین فناوری زیستی از **ژن‌های** گیاهان خودرو برای تولید محصولات بهتر و مقاومت در شرایط متفاوت برای **گیاهان زراعی** نیز استفاده می‌کنند که این روش با مهندسی ژنتیک صورت می‌گیرد. در این حالت گیاهان زراعی تولید شده را **جاندار تراژنی** می‌گویند.

ژن مفید در گیاهان خودرو + ناقل ژنی ← انتقال به گیاه زراعی ← **ایجاد صفت گیاه خودرو در گیاه زراعی**

● خلاصه مراحل ایجاد گیاهان زراعی تراژنی از طریق مهندسی ژنتیک با ژن‌های گیاه خودرو مقاوم به خشکی

۱) تعیین صفت یا صفات مطلوب از گونه دیگر ← مثلاً پیدا کردن ویژگی مقاومت به خشکی در گیاهان خودرو

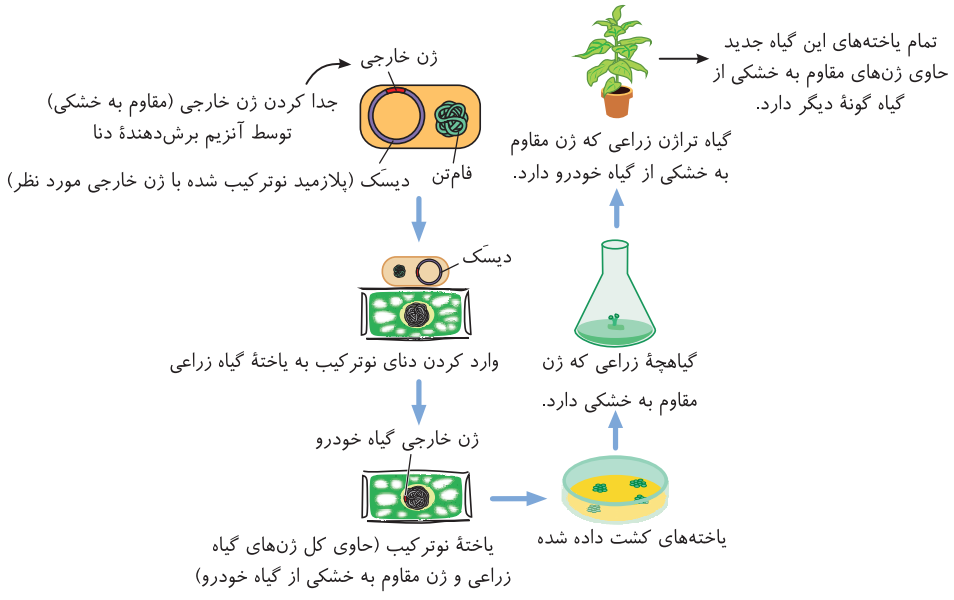
۲) استخراج ژن یا ژن‌های صفت مقاومت به خشکی در گیاهان خودرو ← توسط آنزیم‌های برش‌دهندهٔ دنا (*در ادامهٔ فصل می‌خوانیم*)

۳) ادغام ژن مورد نظر با یک **ناقل ژنی** مثل دیسک‌ها (*پلازمیدها*) و انتقال آن‌ها به یاخته گیاه زراعی (*ایجاد یاخته نوترکیب یا دست‌ورزی شده*)، سپس باید یاخته‌های نوترکیب را در محیطی کشت داد تا **گیاهچه کوچکی با ژن‌های مفید** ایجاد شود.

۴) ایجاد گیاه زراعی تراژنی که در همهٔ یاخته‌های خود، ژن مفید مقاومت به خشکی دارند (*این ژن در ابتدا فقط در گیاه خودرو وجود داشت*).

۵) بررسی دقیق و اثبات اینکه این گیاه تراژنی جدید، برای **انسان و محیط‌زیست** بی‌خطر باشد (*ایمنی زیستی*).

۶) در صورت مفید بودن و مثبت بودن آزمایش و ایجاد محصولات بهینه باید با رعایت اصول ایمنی زیستی، گیاه تراژنی حاصل را کشت داد و تکثیر کنیم.



«روش عمومی تولید یک گیاه زراعی تراژنی»

نکته

جاندار تراژن یا تغییر یافتهٔ ژنتیکی ایجاد شده در روش بالا، جانداری است که **همهٔ** یاخته‌های آن از تکثیر یک یاختهٔ نوترکیب شده ایجاد شده است. این جاندار در همهٔ یاخته‌های خود، ژن مورد نظر را دارد و می‌تواند ویژگی جدید خود را به نسل بعد هم منتقل کند.

● هدف مهندسی ژنتیک

همان‌طور که گفتیم یکی از اهداف اصلی مهندسی ژنتیک، تولید انبوه از ژن‌ها و فراورده‌های ژنی (RNA و *پروتئین*) می‌باشد. به تکثیر انبوه **یک یا چند ژن** که با جدا کردن آن‌ها از جاندار اولیه شروع می‌شود، **همسانه‌سازی DNA** (*دنا*) می‌گویند.

به‌طور خلاصه باید بدانید که برای مهندسی ژنتیک ابتدا با ابزارهای مختلفی در **خارج یاخته**، ژن یا ژن‌های مورد نیاز را از کل مادهٔ وراثتی تهیه می‌کنیم و سپس به وسیلهٔ یک ناقل همسانه‌سازی (*مثل ریسک یا باکتریوفاژها*)، این ژن‌ها را به درون ژنوم میزبان جدیدی منتقل می‌کنیم. هدف از این کار در ابتدا تولید مقادیر زیادی از DNA خالص جدا شده می‌باشد و سپس می‌توان با بیان این ژن‌ها و ایجاد محصولات خاص، در مصارف تحقیقاتی، از آن‌ها استفاده کرد.

تذکر: کل محتوای ژنتیکی درون یاخته اعم از درون هسته و سیتوپلاسم (راکیزه و سبزدیسه) می‌باشد.

بررسی مرحله به مرحلهٔ مهندسی ژنتیک برای همسانه‌سازی دِنا

۱) جداسازی قطعهٔ مورد نظر از ژنوم اصلی
۲) اتصال قطعهٔ مورد نظر (*حتوی یک یا چند ژن*) به ناقل ژنی و تشکیل DNA نوترکیب
۳) وارد کردن DNA نوترکیب به یاختهٔ میزبان و تکثیر دنا (*همانندسازی دنا*)
۴) جداسازی یاخته‌های تراژنی

مرحلهٔ اول: جداسازی قطعهٔ مورد نظر از کل DNA (دنا) ژنوم

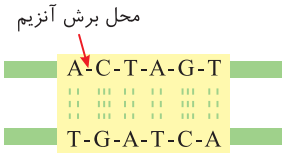
همواره در مهندسی ژنتیک ابتدا باید ژن یا ژن‌های مورد نظر را از کل ژنوم جاندار جدا کنیم که این کار توسط انواعی از **آنزیم‌های باکتریایی** خاص به نام **آنزیم برش‌دهنده** صورت می‌گیرد. این آنزیم‌ها توانایی **برش DNA** را در بخش‌های **خاصی** دارند که برای بهتر فهمیدن ادامهٔ مراحل مهندسی ژنتیک بهتر است ابتدا نکاتی را در مورد فعالیت این آنزیم‌ها بدانید:

ویژگی آنزیم‌های برش‌دهنده

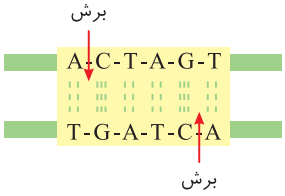
۱) این مولکول‌ها، آنزیم‌هایی پروتئینی با **نقش نوکلئازی برای DNA** می‌باشند که **فقط در باکتری‌ها ساخته می‌شوند**، یعنی رمز ژنتیکی ساخت آن‌ها روی ژنوم اصلی باکتری قرار دارد (*ژن رمزکنندهٔ ساخت آنزیم محدودکننده روی دنای حلقوی قرار دارد*). البته این آنزیم‌ها در رناتن سیتوپلاسمی و به‌طور مستقیم از روی رمزه‌های رنای پیک طی ترجمه تولید می‌شوند.
۲) این آنزیم‌ها قسمتی از **سامانه دفاعی** باکتری‌ها بوده‌اند تا بتوانند سبب **تخریب DNA** در یاخته‌ها و جانداران مزاحم آن‌ها شوند.
۳) اولین مرحلهٔ همسانه‌سازی ژن‌ها در مهندسی ژنتیک، توسط این آنزیم صورت می‌گیرد که باعث جداسازی ژن مورد نظر می‌شود.
۴) این آنزیم‌ها، **توالی‌های نوکلئوتیدی** خاصی به نام **جایگاه تشخیص آنزیم** را در DNAهای **خطی و حلقوی** شناسایی می‌کنند و برش می‌دهند. این جایگاه برای هر آنزیم برش‌دهنده، **اختصاصی** می‌باشد و شامل **چند جفت** نوکلئوتید خاص در دو رشته DNA می‌باشد.

۵) توالی نوکلئوتیدی هر جایگاه تشخیص این آنزیم‌ها طوری در دنا قرار گرفته‌اند که **در دو رشتهٔ دنا، از دو طرف مخالف، به‌طور یکسان قرار گرفته‌اند**. مثلاً توالی $\begin{pmatrix} CATATG \\ GTATAC \end{pmatrix}$ می‌تواند یک توالی تشخیص برای یک آنزیم برش‌دهنده باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید اگر رشتهٔ بالایی را از چپ به راست بخوانید ($\xrightarrow{CATATG}$)، همان توالی را دارد که اگر رشتهٔ پایینی را از راست به چپ بخوانید ($\xleftarrow{GTATAC}$). این نکته در مورد هر جایگاه تشخیص این نوع آنزیم‌ها باید رعایت شوند.
۶) هر آنزیم برش‌دهنده، در هر جایگاه تشخیص خود **قطعاً دو پیوند فسفودی‌استر را در دو جایگاه مشابه برش می‌دهد.** یعنی در هر رشته از جایگاه تشخیص خود، یک پیوند فسفودی‌استر را برش می‌دهد. به دنبال این عمل معمولاً تعدادی پیوند هیدروژنی نیز شکسته می‌شود. در نهایت در اثر عمل این آنزیم‌ها در هر جایگاه تشخیص، انتهایی از مولکول دنا ایجاد می‌شود که در یک رشته توالی بلندتری دارد که به آن **انتهای چسبنده** گفته می‌شود.

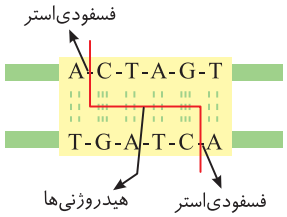
به‌طور مثال اگر آنزیم برش‌دهنده‌ای دارای جایگاه تشخیص با توالی



باشد، در هر جایگاه تشخیص این آنزیم ۱۰ پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدها **وجود دارد.** این آنزیم مثلاً می‌تواند دو پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهای دارای باز آلی A و C (*هر رشته یکی*) را **فقط** برش دهد. در این جایگاه تشخیص در حالت عادی (*قبل از برش*)، ۱۴ پیوند هیدروژنی بین بازها موجود بوده است ولی پس از برشِ دو پیوند فسفودی‌استر

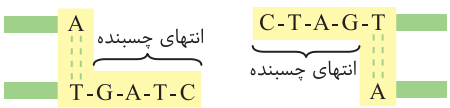


، در ادامه پیوندهای هیدروژنی بین ۴ جفت نوکلئوتید دیگر نیز شکسته می‌شود.



(*بین A و T، دو پیوند هیدروژنی ولی بین C و G، سه پیوند هیدروژنی وجود دارد.*)

در نهایت پس از جدا شدن این دو قسمت، در هر سمت، قطعه حاصله **یک انتهای چسبنده** وجود دارد که قسمت تک‌رشته‌ای بلندتر با توالی (C-T-A-G) ایجاد می‌شود.



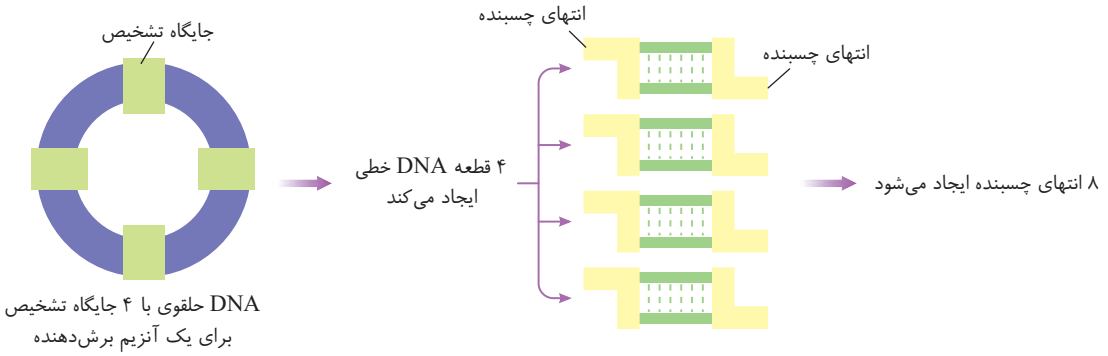
نکته

آنزیم دنابسپاراز و برش‌دهندهٔ ژنی برخلاف هلیکاز و رنابسپاراز، به‌طور مستقیم سبب برش پیوند هیدروژنی نمی‌شوند ولی طی فعالیت آن‌ها در ویرایش و یا برش دنا، تعداد کمی پیوند هیدروژنی نیز شکسته می‌شود.

نکته

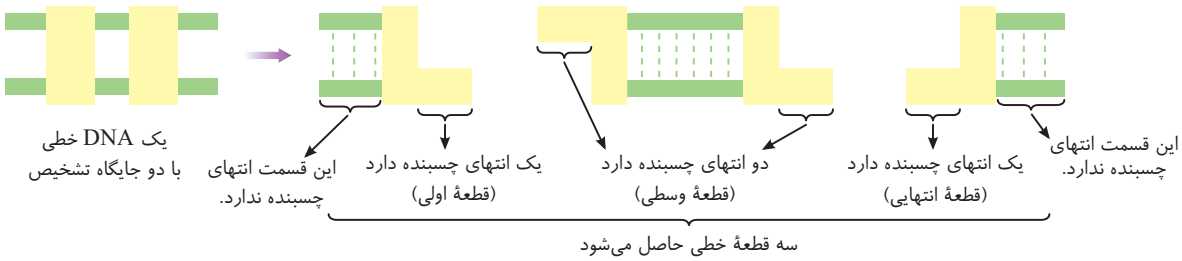
هر انتهای چسبنده (*رشتهٔ بلند تک‌رشته‌ای*) توانایی ایجاد **یک** پیوند فسفودی‌استر (*در این مثال از سمت* C) و تعدادی پیوند هیدروژنی بین بازهای آلی خود (G-A-T-C) با مکمل خود دارد. دقت کنید که نوکلئوتیدهای ($\frac{A}{T}$) که پیوند هیدروژنی بین آن‌ها شکسته نشده است، جزء انتهای چسبنده به حساب نمی‌آیند ولی قسمتی از جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده می‌باشد.

۷) از اثر هر آنزیم برش‌دهنده بر یک DNA حلقوی که دارای n جایگاه تشخیص می‌باشد، n قطعهٔ خطی حاصل می‌شود و بدیهی است که از برش هر جایگاه نیز **دو انتهای چسبنده تک‌رشته‌ای** ایجاد می‌شود.



۸) از اثر هر آنزیم برش‌دهندهٔ دنا بر یک DNA خطی، اگر این DNA دارای n جایگاه تشخیص برای آنزیم فوق باشد، $(n+1)$ قطعهٔ خطی حاصل می‌شود.

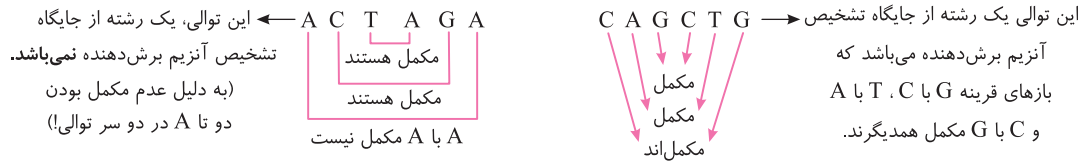
قطعات حاصل که در دو سر مولکول دنای اولیه قرار داشته‌اند، حاوی یک انتهای چسبنده می‌شوند ولی قطعاتی که بین دو جایگاه برش بوده‌اند، دارای دو انتهای چسبنده می‌شوند.



۹) بر طبق قانون احتمالات، هرچه **مقدار نوکلئوتیدهای** یک مولکول DNA، بیشتر باشد، **احتمال** تکرار جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده نیز بیشتر می‌باشد.

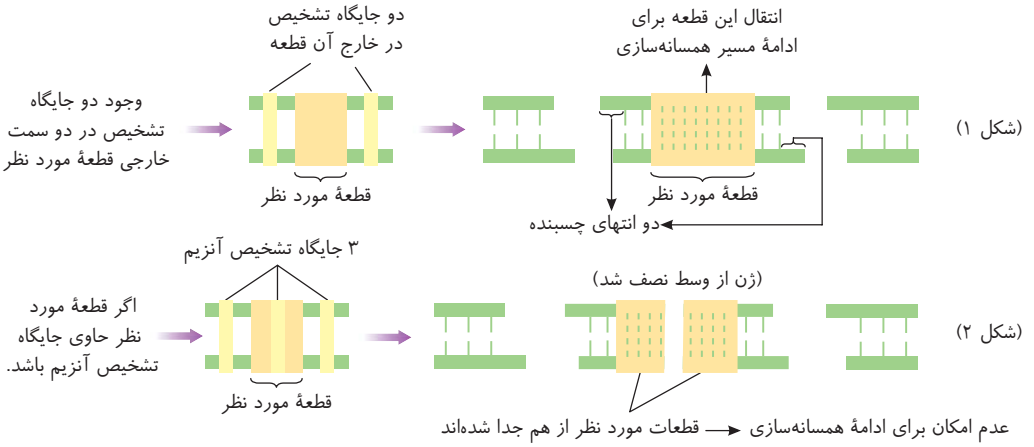
۱۰) هرچه **تعداد جایگاه تشخیص** یک آنزیم برش‌دهنده در مولکول DNAای بیشتر باشد، **تعداد قطعات** حاصله **بیشتر** شده ولی **اندازهٔ** قطعات **کوچک‌تر** می‌شوند.

۱۱) یک راه تشخیص برای اینکه بفهمید یک توالی می‌تواند جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده باشد یا نه، این است که **در هر رشته دنا** از جایگاه تشخیص آن آنزیم، بازهای آلی نوکلئوتیدهای قرینه هم، باید با هم مکمل باشند.



۱۲) هر جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده، حاوی توالی **کوتاه و خاصی** از نوکلئوتیدهای DNA می‌باشد که **فاقد قند ریبوز و باز آلی یوراسیل** می‌باشد. (*مثلاً آنزیم‌های برش‌دهنده، قدرت برش رونوشت‌های آگزون و اینترون را ندارند ولی اینترون و آگزون‌های روی دنا را می‌توانند برش دهند. حتماً به خاطر دارید که رونوشت‌ها، قسمتی از* mRNA *می‌باشند که آنزیم برش‌دهنده روی آن‌ها اثری ندارد.*)

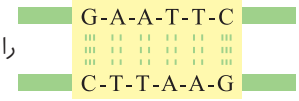
۱۳) برای جدا کردن یک ژن یا یک قطعه از DNA، حتماً باید **حداقل دو جایگاه تشخیص** برای آنزیم مورد استفاده در **دو سمت خارجی** آن قطعه وجود داشته باشد (*شکل ۱*). یعنی نباید در **وسط توالی ژنی** که می‌خواهیم جدا کنیم، جایگاه تشخیص آن آنزیم برش‌دهندهٔ خاص وجود داشته باشد چون در این صورت آن ژن نیز از وسط برش خواهد خورد و نمی‌توان آن را به‌طور کامل همسانه‌سازی کرد. برای درک این مطلب، به شکل‌های زیر دقت کنید:



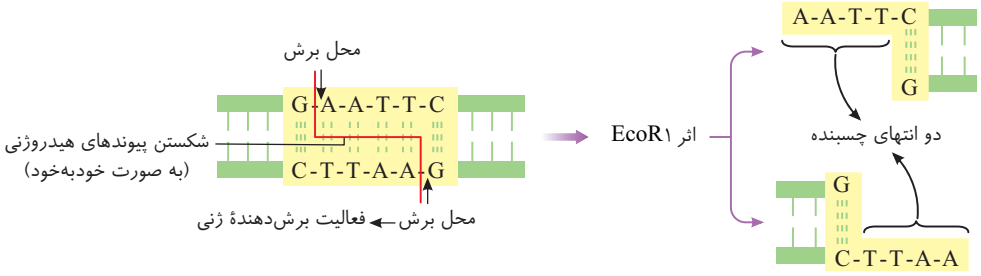
۱۴) آنزیم‌های برش‌دهندهٔ دنا **همانند** نقش ویرایشی DNA پلیمراز (*رنبه‌پرار*)، فعالیت نوکلئازی با شکستن پیوند فسفودی‌استر در DNA دارند ولی آنزیم برش‌دهنده، **برخلاف** DNA پلیمراز، قدرت **تشکیل** پیوند فسفودی‌استر ندارد.

۱۵) آنزیم‌های برش‌دهنده، با روش‌های خاصی، جایگاه تشخیص خود را شناسایی می‌کنند و قطعات را جدا می‌کنند.

۱۶) دقت کنید که آنزیم برش‌دهندهٔ دنا، **فقط** توانایی **شکستن پیوند فسفودی‌استر** دارد ولی در ادامهٔ عمل، تعداد کمی پیوند هیدروژنی نیز شکسته می‌شوند. شکستن پیوند هیدروژنی از اعمال آنزیم برش‌دهندهٔ دنا و دنابسپاراز نمی‌باشد.

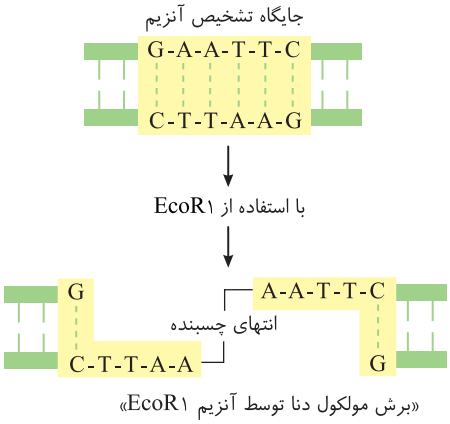
۱۷) آنزیم EcoR۱، اولین آنزیم برش‌دهنده‌ای بود که شناسایی شد، این آنزیم توسط باکتری اشرشیاکلای ساخته می‌شود که می‌تواند در DNAهای خطی و حلقوی، جایگاه تشخیص 

را شناسایی کند. این آنزیم **در هر رشته** با قطع پیوندهای فسفودی‌استر بین دو نوکلئوتید دارای باز آلی G و A عمل می‌کند و در ادامه با شکسته شدن خودبه‌خود ۸ پیوند هیدروژنی بین ۴ جفت بازهای A و T، سبب برش DNA می‌شود.



انتهای چسبنده حاصل از عمل EcoR۱ دارای توالی AATT می‌باشد. این انتهای چسبنده، که از قسمتی که نوکلئوتید آدنین‌دار دارد می‌تواند با قطعهٔ دیگری، یک پیوند فسفودی‌استر برقرار کند.

در اثر فعالیت آنزیم EcoR۱ ، دو پیوند فسفودی‌استر (*لوواکنش یا اشتراکی*) شکسته شده و به دنبال آن ۸ پیوند هیدروژنی نیز شکسته می‌شود.



«برش مولکول دنا توسط آنزیم EcoR۱»

تست ۲ به‌طور معمول، ژنی که تعداد جایگاه‌های تشخیص بیشتری برای یک آنزیم برش‌دهنده داشته باشد، باید قطعات ایجاد شدهٔ آن ..... و تعداد قطعات ..... باشد.

۱) کوچک‌تر - بیشتر ۲) بزرگ‌تر - بیشتر ۳) کوچک‌تر - کمتر ۴) بزرگ‌تر - کمتر

پاسخ ۱ به هر حال در یک طناب هم هرچه بیشتر آن را برش دهید، تعداد قطعات بیشتر و اندازهٔ قطعات هم کوچک‌تر می‌شود. (در دنا هم هرچه تعداد جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده بیشتر باشد، تعداد قطعات بیشتر ولی اندازهٔ آن‌ها کوتاه‌تر می‌شود.)

تست ۳ عمل کدام دو آنزیم روی پیوند فسفودی‌استر همیشه مخالف هم می‌باشد؟

۱) EcoR۱ و رنابسپاراز ۲) EcoR۱ و DNA پلیمراز ۳) رنابسپاراز و DNA پلیمراز ۴) DNA پلیمراز و نوکلئازها

پاسخ ۱ EcoR۱ با فعالیت **نوکلئازی**، پیوند فسفودی‌استر را می‌شکند، ولی رنابسپاراز در رونویسی فقط پیوند فسفودی‌استر را تشکیل می‌دهد. DNA پلیمراز در ویرایش، قدرت شکستن پیوند فسفودی‌استر را دارد، ولی در همانندسازی تشکیل فسفودی‌استر را انجام می‌دهد. (در متن پرسش به کلمهٔ همیشه دقت کنید.)

● مثال عددی برای فهم بهتر عمل آنزیم‌های برش‌دهندهٔ دنا (البته مخصوص دانش‌آموزان ویژه!)

سؤال: آنزیم برش‌دهنده‌ای که جایگاه تشخیص آن حاوی ۶ جفت نوکلئوتید می‌باشد، اگر توالی یک رشته آن به صورت

محل برش

G-A-?-C-?-?

باشد، از اثر این آنزیم بر ۳ مولکول DNA خطی و ۴ مولکول DNA حلقوی، پس از اتمام فعالیت آنزیم‌ها، کلاً ۱۰۰ قطعه DNA که همگی خطی هستند ایجاد شده است. در اثر عمل این آنزیم چند پیوند فسفودی‌استر شکسته شده است و چند پیوند هیدروژنی به دنبال عمل آن شکسته می‌شود؟ (بین بازهای A و T، دو پیوند هیدروژنی و بین G و C، سه پیوند هیدروژنی وجود دارد.)

پاسخ: ابتدا باید توالی جایگاه تشخیص این آنزیم را به‌طور کامل پیدا کنید و بررسی کنید که در اثر برش در هرکدام از آن‌ها چند پیوند فسفودی‌استر و چند پیوند هیدروژنی شکسته می‌شود. همان‌طور که در نکتهٔ شماره ۱۱ گفتم، بازهای آلی یک رشته DNA در جایگاه تشخیص از دو طرف با هم مکمل هستند در نتیجه باید توالی گفته شده در سؤال به صورت روبه‌رو باشد.

G A ? C ? ? → G A G C T C

بازهای قرینه باید دوتا دوتا با هم مکمل باشند.

پس دو رشته جایگاه تشخیص به صورت

محل برش

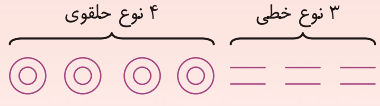
G-A-G-C-T-C
C-T-C-G-A-G

می‌باشد که با توجه به محل برش مشخص شده در هر جایگاه دو پیوند فسفودی‌استر و ۱۰ پیوند هیدروژنی شکسته می‌شود و انتهاهای چسبنده‌ای با توالی تک‌رشته‌ای AGCT ایجاد می‌شوند.

A-G-C-T-C
G
G
C-T-C-G-A

از اثر این آنزیم برش‌دهنده بر هر نوع DNA حلقوی، اگر n قطعه حاصل شود، n جایگاه تشخیص هم وجود داشته است ولی در صورت برش مولکول‌های DNA خطی، اگر در اثر برش هرکدام، n قطعه حاصل شود، یعنی $(n-1)$ جایگاه تشخیص روی آن وجود داشته است. پس وقتی کلاً ۱۰۰ قطعه DNA خطی ایجاد شده است یعنی ۹۷ جایگاه تشخیص وجود داشته است.

به‌طور مثال به حالت زیر توجه کنید:



قطعه خطی ۱۰۰ = ۱ + ۱۹ + ۲۰ + ۱ + ۲۹ + ۲۰ + ۱۰

: تعداد مولکول‌های فرضی حاصله از هرکدام

تعداد کل جایگاه تشخیص ۹۷ = ۰ + ۱۸ + ۱۹ + ۱ + ۲۹ + ۲۰ + ۱۰

: تعداد جایگاه تشخیص هر دنا

تعداد جایگاه‌های تشخیص = تعداد مولکول‌های خطی اولیه − تعداد کل قطعات خطی حاصله

نتیجهٔ نهایی: با توجه به اینکه در هر جایگاه ۲ پیوند فسفودی‌استر و ۱۰ پیوند هیدروژنی شکسته می‌شود پس:

پیوند فسفودی‌استر شکسته می‌شود ۹۷×۲=۱۹۴

پیوند هیدروژنی جدا می‌شود ۹۷×۱۰=۹۷۰

پیوند شکسته می‌شود ۹۷×۱۲=۱۱۶۴

تست ۴ اگر ژنوم اصلی یاخته در عامل ورآمدن خمیر نان توسط EcoR۱ به ۷ قطعه تقسیم شود، در مجموع این آنزیم برای ایجاد این قطعات، .....

۱) در هفت جایگاه به برش چهارده پیوند اشتراکی پرداخته است.
۲) به حداقل هفت دیسک نیاز داشته است.
۳) ۲۸ پیوند فسفودی‌استر تشکیل داده است.
۴) به شش جایگاه تشخیص و برش دوازده پیوند نیاز داشته است.

پاسخ ۴ دقت کنید که عامل ورآمدن خمیر نان، تخمیر الکلی است که توسط مخمر نان صورت می‌گیرد. این عامل نوعی قارچ بوده که یوکاریوت است و ژنوم اصلی آن خطی می‌باشد. در ژنوم خطی برای تولید n قطعه، به $(n-1)$ محل برش نیاز است که هر برش توسط EcoR۱ باعث شکسته شدن دو پیوند فسفودی‌استر بین ۲ نوکلئوتید Aدار و Gدار می‌شود. پس در ژنوم خطی این مخمر شش جایگاه وجود دارد که در هر یک ۲ پیوند اشتراکی فسفودی‌استری شکسته می‌شود (*علاوه بر شکسته شدن پیوند فسفودی‌استر، در هر جایگاه تشخیص ۸ پیوند هیدروژنی هم به دنبال عمل EcoR۱ شکسته می‌شود*). پس در کل این ۶ جایگاه، ۱۲ پیوند اشتراکی از نوع فسفودی‌استر توسط این آنزیم برش داده شده است و با توجه به متن تست این برش‌ها مربوط به دیسک نبوده و در ژن اصلی خطی یاخته رخ داده است.

مرحلهٔ دوم: اتصال قطعهٔ DNA جدا کرده به ناقل همسانه‌ساز و تشکیل DNA نوترکیب (دست‌ورزی شده)

● تعریف ناقلین همسانه‌سازی

ناقلین همسانه‌سازی، مولکول‌های DNA (*ژن‌بر*) می‌باشند که در **خارج از کروموزوم اصلی برخی جانداران** وجود دارند. این دناهای ناقل، توانایی این را دارند که هم مستقل از دنای میزبان و هم همراه میزبان تکثیر شوند. دقت کنید که این DNAها برای تکثیر شدن، به آنزیم‌های هلیکاز و دنابسپاراز میزبان خود وابسته هستند. پس **منظور از مستقل بودن آن‌ها، مستقل بودن همانندسازی آن‌ها از همانندسازی دنای اصلی می‌باشد. یعنی حتی هنگامی که میزبان آن‌ها در حال استراحت است و کروموزوم آن تقسیم نمی‌شود نیز می‌توانند تکثیر یابند** (*ولی همواره برای تکثیر شدن وابسته به آنزیم‌های میزبان می‌باشند.*)



نکته

همانندسازی ناقلین همسانه‌ساز، همانند تکثیر راکیزه و سبزدیسه‌ها می‌تواند مستقل از دنای اصلی میزبان صورت گیرد ولی آنزیم‌های مورد نیاز همانندسازی آن‌ها توسط میزبان تأمین می‌شود.

● دیسک (پلازمید)

دیسک‌ها، یکی از مهم‌ترین ناقل‌های ژنی برای همسانه‌سازی می‌باشند. دیسک یا پلازمید، یک مولکول DNA **حلقوی دورشته‌ای** بوده که خارج از کروموزوم (*خم‌تن*) اصلی یاختهٔ میزبان می‌باشد. این مولکول **معمولاً درون باکتری‌ها یا بعضی قارچ‌ها مثل مخمرها** می‌باشد که مستقل از ژنوم میزبان همانندسازی می‌کند (*البته بنز هم یادآوری می‌کنم که برای همانندسازی به هلیکاز و DNA پلیمراز میزبان خود وابسته‌اند*). **دیسک** (*پلازمید*) **را کروموزوم کمکی نیز می‌نامند چون حاوی ژن‌هایی می‌باشد که در کروموزوم اصلی میزبان خود وجود ندارند.** مثلاً **بسیاری** از دیسک‌ها ژن‌های مقاوم به انواعی از آنتی‌بیوتیک‌ها (*پادزیست‌ها*) دارند که سبب مقاومت میزبان خود به این مواد می‌شوند ولی این ژن در کروموزوم اصلی باکتری یا قارچ وجود ندارد. در حقیقت میزبان دارنده دیسک، توانایی **تغییر** آنتی‌بیوتیک‌ها را به موادی دارند که غیرکشنده شوند و قابل استفاده نیز باشند. این ویژگی دیسک‌ها در مقاومت به پادزیست‌ها، در مهندسی ژنتیک، **برای جدا کردن محصولات**، اهمیت زیادی دارد که در ادامه بررسی می‌کنیم.

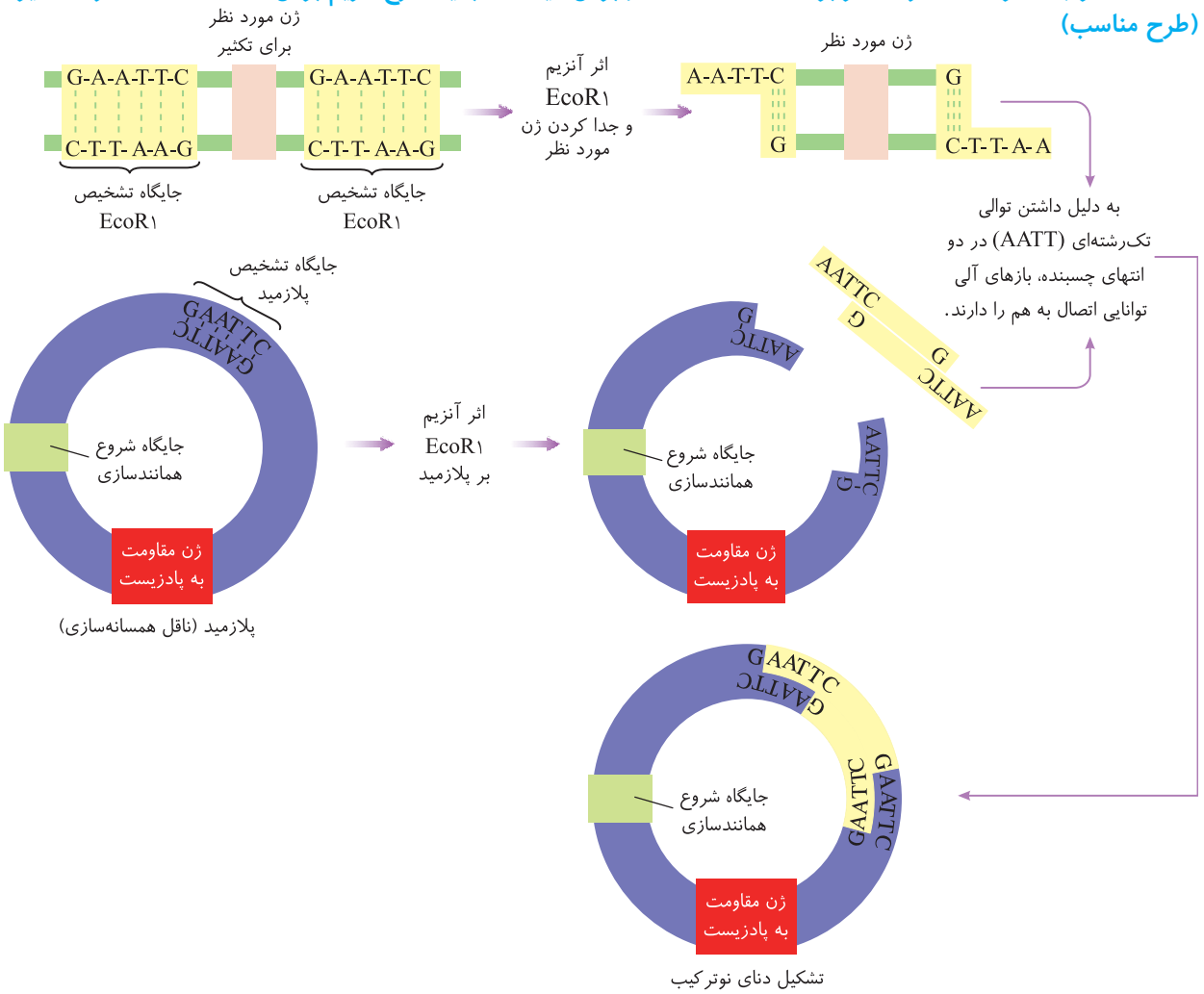


«طرح ساده از یک دیسک حاوی ژن مقاومت به پادزیست»

بررسی مرحلهٔ دوم مهندسی ژنتیک

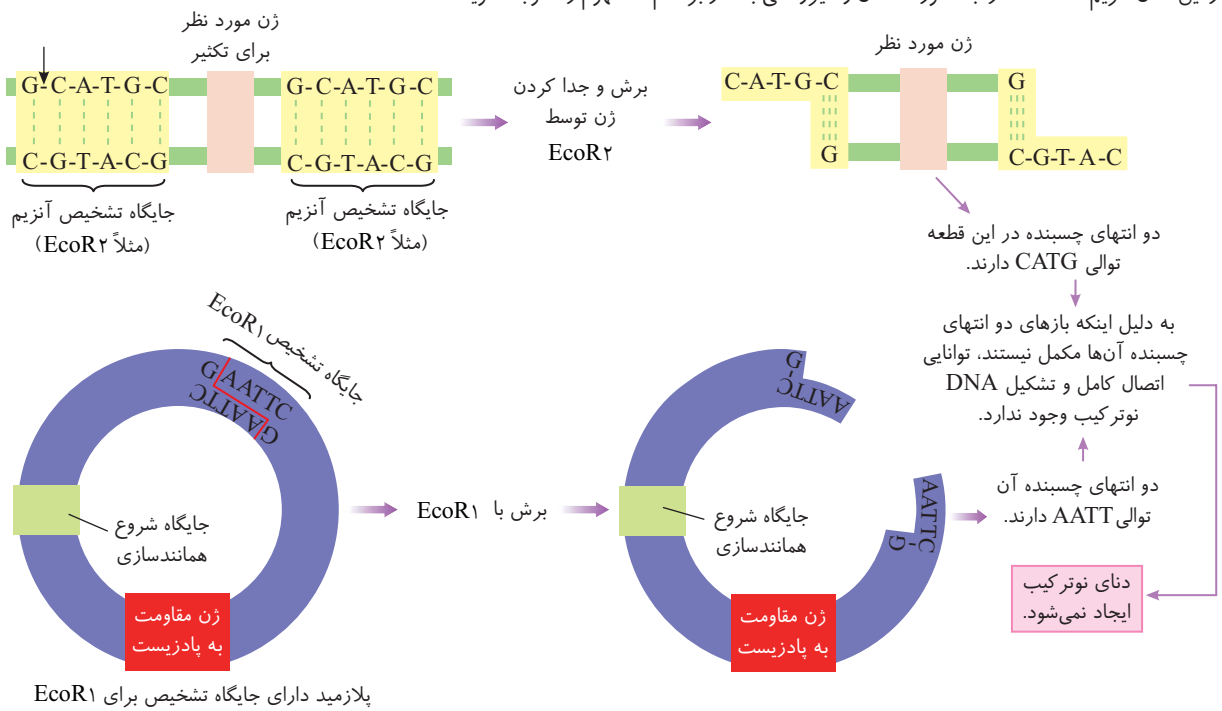
در این مرحله باید قطعه‌ای از دنا را که در مرحلهٔ اول با نوعی آنزیم برش‌دهنده جدا کرده‌ایم، به ناقل همسانه‌سازی متصل کنیم. حتماً قبول دارید که برای جدا کردن یک ژن یا یک قطعهٔ DNA از ژنوم، حداقل به دو جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده نیاز داشتیم. در این مرحله ابتدا باید دیسکی انتخاب کنیم که حتماً جایگاه تشخیصی برای **همان آنزیم برش‌دهنده‌ای** را داشته باشد که قطعهٔ DNA مورد نظر را با آن جدا کرده‌ایم. دلیل این کار نیز واضح است چون هدف ما اتصال قطعهٔ DNA مورد نظر به ناقل همسانه‌ساز می‌باشد، پس باید انتهای چسبنده آن‌ها دارای بازهای آلی مکملی باشند تا بتوانند با همدیگر **پیوند هیدروژنی** برقرار کنند. در ادامه دو طرح برای شما آورده‌ام تا دقیقاً متوجه شوید که چرا باید برای برش قطعهٔ دنای مورد نظر و دیسک، **از یک نوع آنزیم برش‌دهنده** استفاده کرد.

● الف) اگر جدا کردن ژن مورد نظر برای همسانه‌سازی و برش دیسک با یک نوع آنزیم برش‌دهنده EcoR1 صورت گیرد (طرح مناسب)



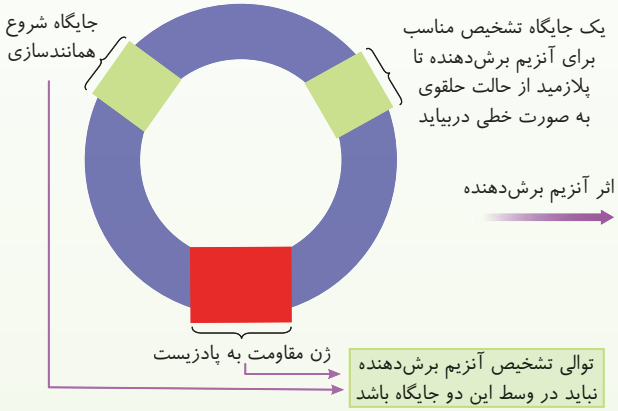
● ب) جدا کردن ژن مورد نظر و برش دیسک با دو نوع آنزیم EcoR۱ و EcoR۲ برش‌دهنده مختلف (طرح نامناسب)

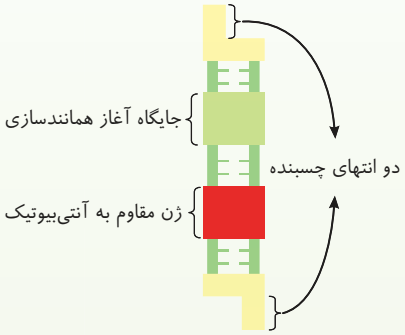
در این مثال آنزیم EcoR۲ را به صورت مثال و غیرواقعی به کار برده‌ام تا مفهوم را متوجه شوید!



نکات مهم در بررسی تست‌ها

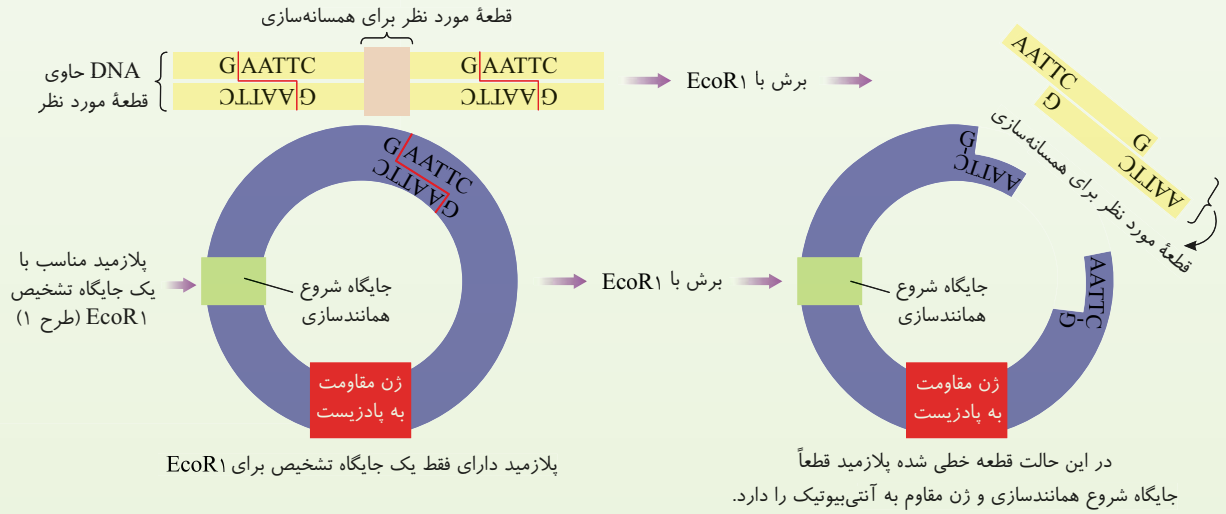
(۱) هر دیسک، معمولاً دارای **یک جایگاه شروع همانندسازی** و **ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک** می‌باشد. دقت کنید که باید دیسکی را انتخاب کنیم که جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده در وسط توالی ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک یا جایگاه شروع همانندسازی آن نباشد، چون در آن صورت اگر در وسط جایگاه شروع همانندسازی، جایگاه تشخیص آنزیم فوق وجود داشته باشد، با برش این جایگاه، همانندسازی دیسک متوقف می‌شود و ما را از هدف اصلی که ازدیاد ژن مورد نظر است دور می‌کند. از طرفی اگر در ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک نیز جایگاه تشخیص آنزیم برش‌دهنده وجود داشته باشد، در مرحلهٔ بعد از همسانه‌سازی ژن‌ها، نمی‌توانیم با اضافه کردن آنتی‌بیوتیک خاص، یاخته‌های دارای DNA نوترکیب را از سایر میزبان‌های محیط جدا کنیم.



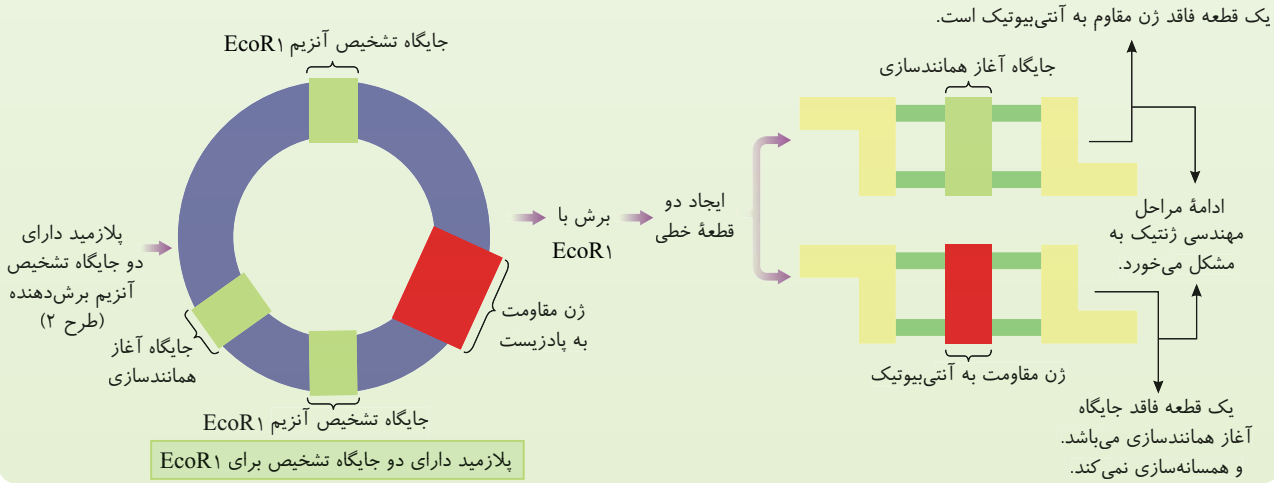


(۲) در مهندسی ژنتیک، بهتر است از دیسکی استفاده کنیم که برای آنزیم برش‌دهنده مد نظر ما، **فقط** یک جایگاه تشخیص داشته باشد، چون در این صورت ژنی از دیسک جدا نمی‌شود و عمل آنزیم برش‌دهنده فقط سبب **خطی شدن ساختار حلقوی** آن می‌شود. اگر دیسک مورد نظر **بیش از یک جایگاه تشخیص آنزیم** داشته باشد، آن آنزیم با برش این چند جایگاه، قطعاتی را از آن جدا می‌کند که ممکن است اتصال ژن مورد نظر ما را به قطعه‌ای که هم‌زمان دارای جایگاه آغاز همانندسازی و ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک باشد به مشکل بیاندازد. *(به دو طرح زیر دقت کنید تا به مفهوم این نکته پی ببرید!)*

الف) دیسکی که فقط یک جایگاه تشخیص برای EcoR۱ دارد ⇐ (قطعه‌ای از دیسک جدا نمی‌شود)



ب) دیسکی که دو جایگاه تشخیص برای EcoR۱ دارد ⇐ (در این صورت دو قطعه دنا ایجاد می‌شود که ممکن است کارایی نداشته باشند)

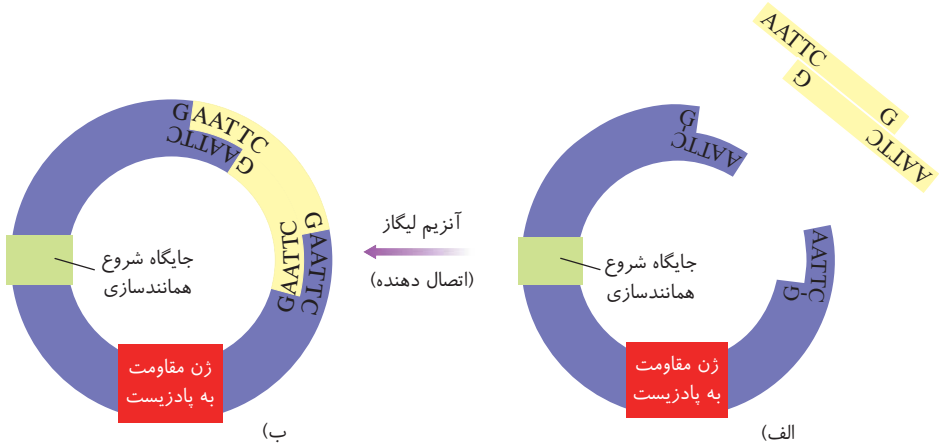


③ در ادامهٔ مراحل مهندسی ژنتیک مشاهده خواهید کرد که وجود توأم جایگاه شروع همانندسازی و ژن مقاومت به پادزیست در ناقل ژنی ضروری می‌باشد.

● ادامه مرحلهٔ دوم مهندسی ژنتیک پس از برش دیسک

پس از آنکه با **یک نوع** آنزیم برش‌دهنده، جایگاه‌های تشخیص برای جدا کردن قطعهٔ DNA مورد نظر و مولکول ناقل ژنی (*دیسک*) را برش دادیم، حالا باید این دو قطعهٔ DNA خطی را به هم متصل کنیم. در حقیقت می‌خواهیم یک DNA نوترکیب یا دست‌ورزی شده بسازیم.

ابتدا باید قطعهٔ DNA (*ژنی*) حاوی توالی مورد نظر را در دنای (DNA) ناقل (*دیسک*) **جاسازی** کنیم. هر دو این قطعات هرکدام دارای دو توالی تک‌رشته‌ای در دو سر خود به نام انتهای چسبنده می‌باشند که **بازهای آلی مکملی با هم دارند**. وقتی هر دو انتهای چسبنده در کنار هم قرار می‌گیرند، ابتدا **خود به خود** بین بازهای آلی مکمل آن‌ها پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود (*چون با یک نوع آنزیم برش‌دهنده، برش داده شده‌اند!*). سپس آنزیم **لیگاز** (*اتصال دهنده*) را به محیط آزمایش اضافه می‌کنیم. این آنزیم با تشکیل **چهار پیوند فسفودی‌استر** بین دو سر قطعهٔ دنای مورد نظر و ناقل ژنی، سبب تشکیل DNA نوترکیب یا دست‌ورزی شده می‌شود.



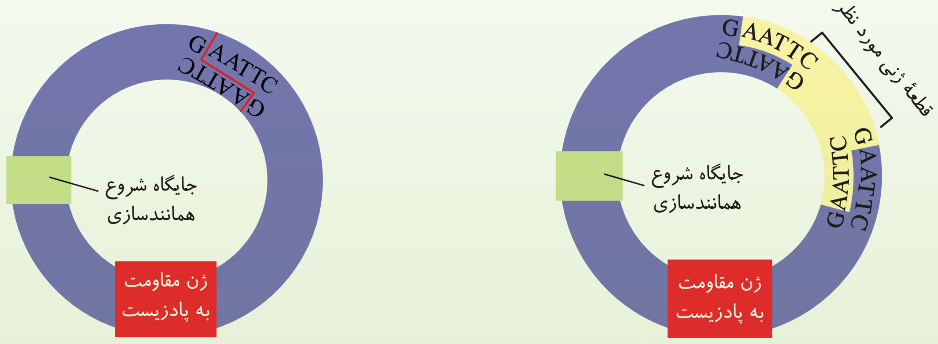
«تشکیل دنای نوترکیب: الف) قبل از تأثیر لیگاز، ب) بعد از تأثیر لیگاز»

نکته

تعداد نقاط آغاز همانندسازی در دیسک، همانند DNA اصلی باکتری معمولاً یک عدد می‌باشد ولی یادتان باشد که تعداد نقاط آغاز **رونویسی** در آن‌ها متعدد است. چون در پروکاریوت‌ها به ازای هر یک یا چند ژن مجاور، یک نقطهٔ آغاز رونویسی وجود دارد.

نکته

دیسک نوترکیب شده قطعاً حداقل دارای **دو جایگاه تشخیص** برای آنزیم برش‌دهنده واکنش می‌شود که در دو سمت قطعهٔ DNA مورد نظر وجود دارد.

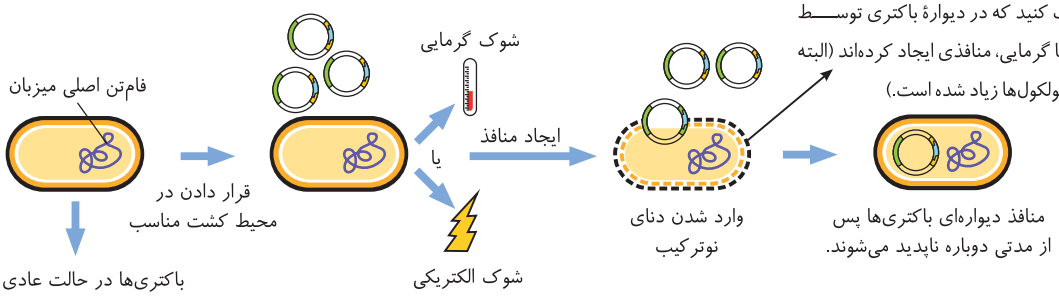


پلازمید نوترکیب دارای دو جایگاه تشخیص EcoR۱ — پلازمید قبل از نوترکیب شدن که معمولاً یک جایگاه تشخیص دارد

مرحلهٔ سوم: وارد کردن DNA نوترکیب به یاخته میزبان

در این مرحله باید مولکول‌های DNA نوترکیبی که ساخته‌ایم را بتوانیم وارد **جاندار ساده‌ای مثل باکتری** کنیم که هم ورود دیسک را قبول کند (*چون همهٔ باکتری‌ها دیسک ندارند*) و هم قدرت **تکثیر سریعی** داشته باشد تا به سرعت مولکول‌های DNA نوترکیب را به نسل بعد خود نیز منتقل کند. همان‌طور که می‌دانید **اغلب** باکتری‌ها **دیوارهٔ** یاخته‌ای در اطراف غشای خود دارند. پس باید برای ورود DNA نوترکیب، **منافذی** در دیوارهٔ باکتری‌های محیط ایجاد شود. این منافذ معمولاً با کمک **شوک الکتریکی** یا **شوک حرارتی** و همراه با **مواد شیمیایی** دیگری ایجاد می‌شوند. **البته باید ابتدا باکتری‌ها و DNAهای نوترکیب را در محیط مناسبی قرار دهیم** تا از بین نروند و سپس شوک گرمایی یا الکتریکی را انجام دهیم تا منافذی در دیواره ایجاد شود. لازم به ذکر است که پس از ورود DNAهای نوترکیب به باکتری‌ها مشاهده شد که **مقدار کمی** از باکتری‌های محیط حاوی DNA نوترکیب شده‌اند که به آن‌ها **جاندار** یا **باکتری تراژنی شده** می‌گویند ولی **بیشتر باکتری‌های** محیط **فاقد** این مولکول‌های نوترکیب شده هستند. در مرحلهٔ بعد ابتدا باید بین این دو نوع باکتری دارای دنای نوترکیب و فاقد دنای نوترکیب تفکیک قائل شویم. (*این نکتهٔ آخر را در شکل مرحلهٔ بعد مشاهده خواهید کرد.*)

در این شـــکل دقت کنید که در دیوارهٔ باکتری توســـط شـــوک الکتریکی یا گرمایی، منافذی ایجاد کرده‌اند (البته در غشا نیز فاصلهٔ مولکول‌ها زیاد شده است.)



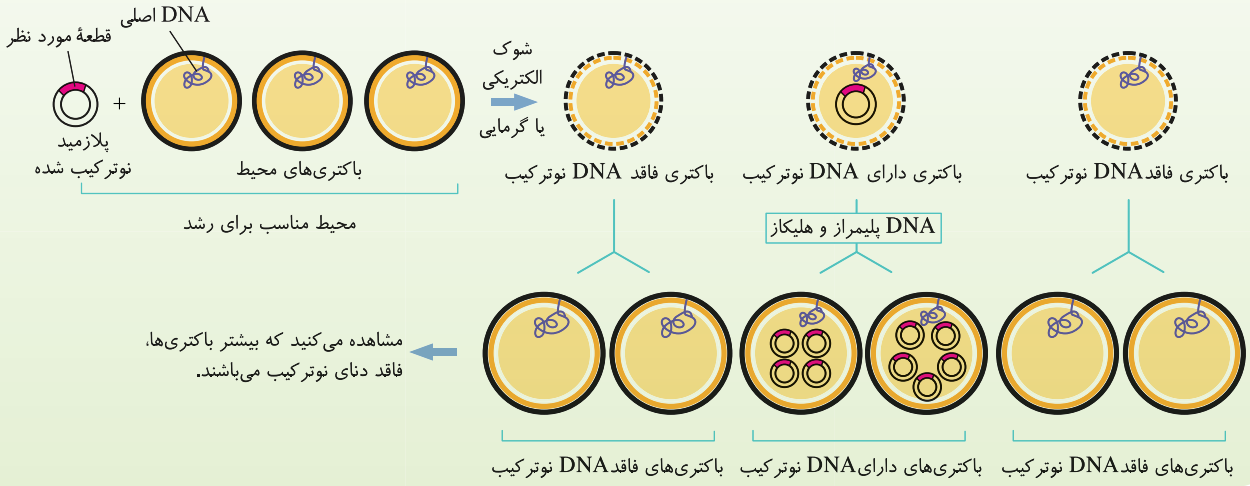
«وارد کردن دنای نوترکیب به یاخته میزبان»

نکات مهم در بررسی تست‌ها

(۱) در این مرحله و پس از ورود DNA نوترکیب به برخی باکتری‌ها، سـریعاً با اسـتفاده از دسـتگاه همانندسـازی میزبان، DNA نوترکیب به تعداد زیادی درون باکتری‌ها تکثیر یا همسانه‌سازی می‌شود. دقت کنید که با تقسیم دو تا شدن این باکتری‌ها، تعداد باکتری‌های دارای DNA نوترکیب نیز به تدریج بیشتر می‌شود.

(۲) سـاخت DNA نوترکیـب در **خـارج از باکتری** توسـط آنزیم **لیـگاز** یا اتصال‌دهنده و با ایجـاد **چهار پیوند فسفودی‌اسـتر** صورت می‌گیرد ولی تولید و انبوه‌سـازی (همـانه‌سـازی) DNA نوترکیب در **درون باکتری** توسط سیستم همانندسازی هلیکاز و DNA بسپاراز (پلیمراز) باکتری صورت می‌گیرد که مطمئناً تعداد پیوندهای فسفودی‌استر زیادی برای تولید آن‌ها ایجاد می‌شوند.

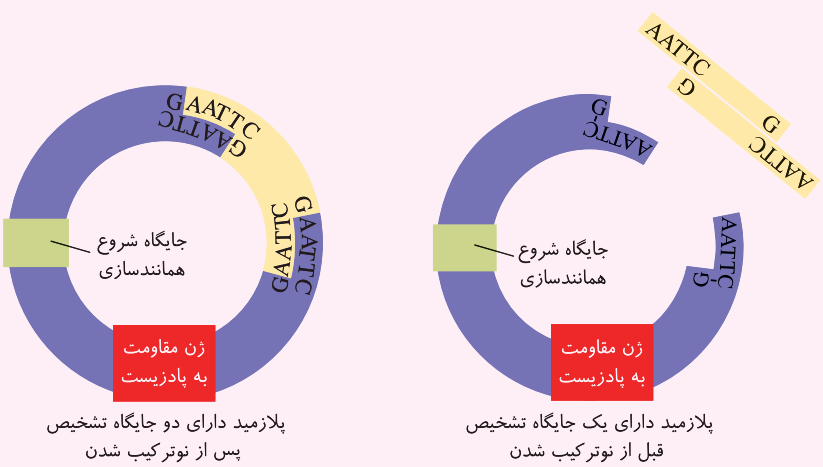
(۳) تنها آنزیم مورد نیاز و مؤثر روی پیوند هیدروژنی، هلیکاز برای همانندسازی درون باکتری یا میزبان دیگر می‌باشد.



تست ۵ **در مهندسی ژنتیک، معمولاً DNA نوترکیب ساخته شده از دیسک مناسب و ژن انسولین، در ساختار خود برخلاف دیسک اولیه، ..... دارد.**

۱) ژن مقاومت نسبت به نوعی پادزیست
۲) دو جایگاه تشخیص برای آنزیم برش‌دهنده واکنش
۳) جایگاه آغاز همانندسازی
۴) ژن سازندهٔ پروتئین مهارکننده

پاسخ ۲ دقت کنید که وقتی دیسـک نوترکیب می‌شـود، دیگـر ۲ جایگاه در دو طرف ژن خارجی برای آنزیم برش‌دهنـده دارد ولی ژن‌های مربوط به مقاومت به پادزیسـت و آغاز همانندسـازی آن دسـت نخورده باقی مانده است. *(وقتی در تسـت عنوان کرده است که دیسـک مناسـب بوده است یعنی فقط یک جایگاه تشخیص برای برش‌دهنده داشته است.)*



تست ۶ **پس از وارد کردن DNAهای نوترکیب به یاخته‌های میزبان، چند عمل زیر صورت می‌گیرد؟**

الف) برش DNA ناقل و ژن مورد نظر با یک نوع آنزیم

ب) استفاده از محصولات برخی ژن‌های دیسکی پس از مرحلهٔ جدا کردن یاخته‌های تراژنی

ج) ایجاد شوک الکتریکی یا حرارتی برای تسریع در نفوذپذیر کردن میزبان‌ها

د) استفاده از آنتی‌بیوتیکی که ژن مقاومت نسبت به آن روی دیسک قرار دارد.

۱) ۲ مورد **۲)** ۱ مورد **۳)** ۴ مورد **۴)** ۳ مورد

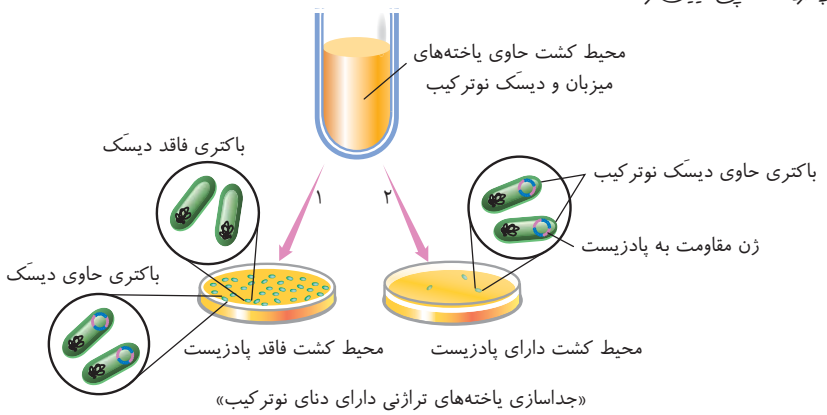
پاسخ ۱ موارد (ب) و (د) پس از ورود دنای نوترکیب به میزبان رخ می‌دهند.

ته‌های تستی الف) نادرست است. برش دنای ناقل ژنی و قطعهٔ حاوی ژن مورد نظر، قبل از ورود دنای نوترکیب به میزبان رخ می‌دهد. / ب) درست است. پس از جداسازی یاخته‌های تراژنی می‌توانیم از ژن‌های همسانه‌سازی شده در تولید محصولات مفید استفاده کنیم. / ج) نادرست است. شوک الکتریکی یا گرمایی قبل از ورود دنای نوترکیب به میزبان زده می‌شوند. / د) درست است. پس از ایجاد اولین یاخته‌های تراژنی باید پادزیست به محیط اضافه کنیم تا باکتری‌های فاقد دیسک نوترکیب از سایرین جدا شوند.

مرحلهٔ چهارم: جداسازی یاخته‌های تراژنی دارای DNA نوترکیب از سایر یاخته‌ها

در این مرحله باید باکتری‌های دارای DNA نوترکیب که ژن‌های مورد نظر ما نیز در آن‌ها وجود دارند و تکثیر شده‌اند را از سایر باکتری‌های فاقد DNA نوترکیب جدا کنیم. **مهم‌ترین تفاوت این دو نوع باکتری، داشتن یا نداشتن دیسک و ژن مقاومت به نوعی آنتی‌بیوتیک آن** (مثلاً آمپی‌سیلین) **می‌باشد.** البته در این مرحله همچنان همسانه‌سازی یا زیاد شدن ژن‌ها و قطعات مورد نظر ما ادامه دارد. دقت کنید که در شرایط مناسب، باکتری‌های دارای قطعهٔ مورد نظر یا تراژن شده نیز **به سرعت تکثیر** می‌شوند و DNAهای اصلی یا نوترکیب آن‌ها نیز **مستقلاً** در حال همانندسازی می‌باشند. در این مرحله با **روش‌های مختلفی** می‌توان باکتری‌های دارای DNA خارجی نوترکیب (یاخته‌های تراژن) را از باکتری‌های فاقد این ژن‌ها جدا کرد. **یکی** از این روش‌ها، **استفاده از آنتی‌بیوتیکی** (پادزیستی) **است که ژن مقاومت به آن روی دیسک نوترکیب وجود دارد.** اگر مثلاً این دیسک‌ها به آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین مقاوم هستند، باید همین پادزیست (آنتی‌بیوتیک) را به محیط کشت اضافه کنیم. در شکل می‌توانید مشاهده کنید که پس از اضافه کردن این ماده، **بیشتر** باکتری‌های محیط از بین می‌روند و **فقط** آن‌هایی باقی می‌مانند که دیسک آن‌ها ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین دارد. **در حقیقت فقط باکتری‌هایی باقی می‌مانند که DNA نوترکیب با قطعهٔ DNA مد نظر ما را دارند.**

توجه مهم: با مشاهدهٔ شکل زیر می‌توان متوجه شد، هنگامی که هنوز به محیط، آنتی‌بیوتیک اضافه نشده است، **تعداد زیادی** باکتری وجود دارد (قسمت ۱) ولی هنگامی که در قسمت ۲ آنتی‌بیوتیک اضافه می‌کنیم، در محیط کشت **تعداد باکتری‌های کمی** باقی مانده‌اند که **همگی تراژنی** هستند و حاوی DNA نوترکیبی از دیسک و ژن‌های مورد نظر ما می‌باشند. (از مقایسهٔ دو ظرف (۱) و (۲) در طرح زیر متوجه می‌شویم که اغلب باکتری‌ها توسط پادزیست از بین رفته‌اند، چون اغلب باکتری‌ها، ژن مقاومت به پادزیست آمپی‌سیلین را نداشته‌اند.)



«جداسازی یاخته‌های تراژنی دارای دنای نوترکیب»

پس از این عمل نیز اگر شرایط محیط کشت مناسب باقی بماند، همچنان باکتری‌های تراژنی با سرعت بالا تکثیر می‌شوند که DNAهای نوترکیب درون آن‌ها نیز مستقل از کروموزوم اصلی متصل به غشا، در حال ساخت نسخه‌های متعددی از خود می‌باشند. با هر بار همانندسازی دنای نوترکیب، همسانه‌سازی قطعهٔ DNA مورد نظر ما نیز انجام می‌شود. حال تعداد زیادی باکتری تراژن با DNA خارجی حاوی قطعات مورد نظر ما وجود دارد که می‌توانیم از آن‌ها برای تولید فراورده آن ژن در اثر **رونویسی و ترجمه** استفاده کنیم (یعنی به میزبان فرصت بدهیم تا ژن یا ژن‌های مورد نظر ما را بیان کند و محصول آن‌ها را نیز به سرعت بالا بسازد و آن‌ها را پس از استخراج، در موارد مختلف درمانی استفاده کرد. مثل هورمون انسولین در درمان دیابتی‌ها). البته می‌توانیم **ژن‌های** مورد نظر تکثیر شده را با روش‌هایی خاص جدا کنیم و از آن در مواردی مثل **ژن‌درمانی** و... که در گفتارهای بعد می‌خوانیم، استفاده کنیم.

نکته

در عصر حاضر و با پیشرفت مهندسی ژنتیک می‌توانیم علاوه بر باکتری، یاخته‌های دیگری مثل **مخمرها** یا یاخته‌های **گیاهی** و **جانوری** را با این فرایندها تراژنی کنیم و تغییر ژنتیکی دهیم. **در این صورت می‌توانیم از DNA و یا محصولات آن‌ها برای اهداف گوناگون علمی و کاربردی استفاده کنیم.**

نکته

کتاب درسی میزبان دیسک را در فصل‌های قبل برای باکتری‌ها در نظر گرفته بود ولی در این فصل این مولکول‌ها را در برخی یوکاریوت‌ها مثل قارچ‌های مخمر نیز علاوه بر باکتری‌ها در نظر گرفته است. پس یاختهٔ دارای دیسک، می‌تواند حاوی ژنوم اصلی حلقوی یا خطی باشد.

درسنامه

گفتار ۲ فناوری مهندسی پروتئین و بافت

در گفتار قبل به بررسی مهندسی ژنتیک پرداختیم که هدف آن انبوه‌سازی یک یا چند ژن خاص یا محصول پروتئینی آن ژن‌ها بود. دقت کنید که **در مهندسی ژنتیک تغییری در ژن‌های جدا شده یا محصول آن‌ها ایجاد نمی‌کنیم** و فقط همسانه‌سازی یا انبوه‌سازی آن‌ها صورت می‌گیرد ولی در این گفتار به بررسی مهندسی پروتئین می‌پردازیم و می‌خواهیم ابتدا با تغییر در ژن، در نهایت در توالی آمینواسیدی پروتئین‌ها و در حقیقت در ساختار آن‌ها تغییر ایجاد کنیم و پروتئین‌هایی با **ساختار و ویژگی جدید** ایجاد کنیم. برای این کار ابتدا نیازمند به شناخت کامل از **ساختار و عملکرد** اولیه آن پروتئین داریم. پروتئین جدیدی که با مهندسی پروتئین ساخته می‌شود می‌تواند ویژگی‌های **مفیدی** مثل **پایداری و مقاومت بیشتر به گرما و تغییرات pH** داشته باشد و یا مثلاً تغییر در آنزیم‌ها می‌تواند سبب افزایش حداکثری سرعت واکنش‌ها و تمایل بیشتر آن‌ها برای اتصال به پیش‌ماده شود.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) از این پاراگراف نتیجه گرفته می‌شود که هر تغییر در ساختار طبیعی پروتئین‌ها، لزوماً سبب کاهش عملکرد آن‌ها نمی‌شود. بلکه در برخی موارد می‌توان پروتئین فعال‌تر و پایدارتر نیز ایجاد کرد.

۲) در روش مهندسی پروتئین نیز با فعالیت هوشمندانهٔ آدمی، ابتدا دستکاری در توالی ژن سازندهٔ پروتئین خاص را انجام می‌دهند و سپس ژن‌های حاصل را در یک موجود زنده بیان می‌کنند تا پروتئین دلخواه را ایجاد کنند.

۳) انواع تغییرات روی پروتئین‌ها در اثر مهندسی پروتئین

- ۱) تغییرات جزئی
  - این تغییر در یک یا چند رمز DNA برای ایجاد پروتئین جدید انجام می‌دهند.
  - تغییری است که یک یا چند آمینواسید پروتئین را تغییر می‌دهد.
  - ساختار اول تا چهارم پروتئین را تغییر می‌دهد.
- ۲) تغییرات عمده
  - تغییرات گسترده‌ای شامل برداشتن قسمتی از ژن سازنده می‌باشد.
  - یا تغییراتی مثل ترکیب بخش‌هایی از ژن سازنده چند نوع پروتئین می‌باشد.
  - در این تغییرات توالی بخش زیادی از پروتئین را تغییر می‌دهند.
  - در این نوع تغییرات نیز کل ساختار پروتئین عوض می‌شود.

۴) در تغییرات گسترده مهندسی پروتئین، قسمتی از ژن سازنده پروتئین را تغییر می‌دهیم یا بخش‌هایی از ژن‌های چند نوع پروتئین مختلف را با هم ترکیب می‌کنیم تا محصولات آن که همان پروتئین جدید مد نظر می‌باشد در اثر بیان ژن‌های جدید، ساخته شوند ولی در تغییرات جزئی، یک یا چند نوکلئوتید در ژن به‌طور هوشمندانه و با مداخلهٔ آدمی دچار تغییر می‌شود.

۵) در تست‌ها دقت کنید، به‌طور مثال اگر مقصود ساخت انسولین برای تنظیم قند خون بود، این مهندسی ژنتیک است ولی اگر عنوان کرد که انسولینی بسازیم که سریع‌تر از حالت عادی قند خون را تنظیم کند، این بحث مهندسی پروتئین است.

افزایش پایداری پروتئین‌ها

امروزه در اغلب دستگاه‌ها و روش‌های صنعتی نیاز به **سرعت بالای واکنش** و **کم کردن خطر آلودگی آن‌ها** می‌باشد. از طرفی خیلی از واکنش‌ها، به ویژه **انواع گرمازا** نیاز به وسایل خنک‌کننده دارند تا آنزیم‌های واکنش در دمای بالا از بین نروند. چون می‌دانیم که اغلب پروتئین‌ها در دمای بالا تغییر شکل داده و فاقد فعالیت می‌شوند. در حال حاضر با روش‌های مهندسی پروتئین، **انواعی** از آنزیم و پروتئین‌ها را ایجاد کرده‌اند که **در مقابل گرما، پایدارترند** و در دمای بالا نیز حفظ می‌شوند. این پروتئین‌ها در دمای بالای موجود در صنعتی از بین نمی‌روند و دیگر نیازی به دستگاه خنک‌کننده که بسیار هزینه‌زا می‌باشد وجود ندارد. از طرفی دمای بالای آزمایش، **هم سرعت واکنش‌های** این آنزیم‌های مصنوعی را **بالا** می‌برد و هم از طرفی میکروب‌های واکنش نیز در دمای بالا از بین می‌روند و آلودگی میکروبی محیط کم می‌شود و در آخر تکرار می‌کنم که با عدم نیاز به سیستم‌های خنک‌کننده، در مصرف انرژی نیز صرفه‌جویی می‌شود.

نکته

استفاده از پروتئین تولید شده در مهندسی پروتئین
- ۱) مقاومت آن در دمای بالا، بیشتر می‌شود.
- ۲) خطر احتمال رشد میکروب‌ها در آزمایشگاه کم می‌شود.
- ۳) انرژی مصرفی برای خنک کردن واکنش کم می‌شود.

مثال‌هایی از پروتئین‌های تولید شده با مهندسی پروتئین همراه با افزایش پایداری آن‌ها

۱) آمیلازهای پایدار و مقاوم به گرما

آمیلاز یکی از آنزیم‌های **پرکاربرد** در صنعت مثل صنایع **غذایی**، **نساجی** و **تولید شوینده‌ها** می‌باشد که مولکول‌های نشاسته را با هیدرولیز به قطعات کوچک‌تری تجزیه می‌کند. این آنزیم به‌طور طبیعی در **غدد بزاقی و لوزالمعده انسان** تولید می‌شود و نشاسته درون دهان و رودهٔ باریک را هیدرولیز می‌کند. نوع طبیعی این آنزیم، به دماهای بالا حساس می‌باشد. البته انواعی از آمیلازهای مقاوم و پایدار به گرما نیز به‌طور **طبیعی** در **باکتری‌های گرمادوست** (ترموفیل) موجود در **چشمه‌های آب گرم** وجود دارند. از آنجا که **بسیاری** از مراحل تولید صنعتی در دماهای بالا انجام می‌شود، محققین زیست‌فناوری به فکر طراحی و تولید آمیلازهای مقاوم به گرما افتادند و امروزه تولید آن‌ها ممکن شده است. استفاده از این آمیلازها، سبب: **۱) کاهش زمان واکنش هیدرولیز نشاسته، ۲) صرفه‌جویی اقتصادی در عدم استفاده از خنک‌کننده‌های واکنش‌ها، ۳) افزایش بهره‌وری صنعتی با تولید بیشتر محصول شده است.**

نکته

آمیلاز بزاق و لوزالمعدهٔ انسان که به‌طور طبیعی تولید می‌شوند، در حفرهٔ دهانی و رودهٔ باریک قدرت هیدرولیز نشاسته به دی‌ساکارید مالتوز و مولکول‌های درشت‌تر قندی دارند ولی مونوساکارید ایجاد نمی‌کنند.

نکته

در روش مهندسی پروتئین با تغییراتی در ژن تولید آمیلاز، سبب تولید آمیلازهایی با مقاومت بیشتر در دمای بالا می‌شوند.

۲) تولید اینترفرون‌های پایدارتر

همان‌طور که می‌دانید در بدن، اینترفرون‌های مختلفی در حمله به **یاخته‌های آلوده به ویروس** یا **یاخته‌های سرطانی** می‌توانند تولید شوند. اینترفرون‌های **طبیعی**، ایمنی غیرفعال (با مدت کم) می‌دهند چون پایداری زیادی ندارند.

الف) تولید اینترفرون با مهندسی ژنتیک: در ابتدا محققین زیست‌فناوری به فکر تولید اینترفرون با استفاده از **مهندسی ژنتیک** افتادند و موفق شدند **اینترفرونی همانند نوع طبیعی** ایجاد کنند ولی همواره دیده می‌شد که فعالیت اینترفرون‌های تولید شده با مهندسی ژنتیک **بسیار کمتر** از نوع طبیعی بود چون در هنگام بیان ژن‌های آن‌ها در **باکتری** و شکل‌گیری کامل این پروتئین، **پیوندهای نادرستی** در هنگام تولید اینترفرون‌ها ایجاد می‌شود و این پیوندهای نامناسب، سبب ایجاد اینترفرونی با **شکل غیرعادی** می‌شود که فعالیت آن‌ها را کاهش می‌دهد.

نکته

اینترفرون تولید شده با روش **مهندسی ژنتیک**، توالی آمینواسید جدیدی ندارد ولی به دلیل پیوندهای نامناسب بین واحدهای سازنده، شکل غیرعادی با فعالیت کمتر ایجاد می‌کند.

نکته

در اینجا منظور اینترفرون نوع ۱ می‌باشد که فعالیت ضدویروسی دارد.

ب) تولید اینترفرون با مهندسی پروتئین: پس از عدم کارایی مناسب اینترفرون‌هایی که با مهندسی ژنتیک تولید شدند، محققین زیست‌فناوری به سوی تولید این پروتئین با روش مهندسی پروتئین رفتند و موفق شدند با **تغییر جزئی** و جابه‌جا کردن **رمز ژنتیکی** ایجادکننده **یک** آمینواسید به جای نوع دیگری، توالی آمینواسیدی اینترفرون را طوری تغییر دهند که هم فعالیت ضد ویروسی این اینترفرون را **به اندازهٔ** اینترفرون طبیعی رساندند (نه اینکه فعالیت آن بیشتر شد!) و **هم مشاهده کردند که این پروتئین از نوع طبیعی آن پایدارتر می‌باشد.** این اینترفرون‌های ایجاد شده با مهندسی پروتئین **چون پایداری و طول عمر بیشتری** دارند، برای استفاده **دارویی** بسیار مناسب می‌باشند.

نکته

انواع روش تولید اینترفرون
- طبیعی ← در یاخته‌های آلوده به ویروس یا سرطانی تولید می‌شود.
- با مهندسی ژنتیک ← به دلیل پیوندهای نامناسب فعالیت کمتری دارند.
- با مهندسی پروتئین ← در اثر تغییر جزئی در ژن ایجاد شده‌اند که فعالیت ضد ویروسی آن‌ها به اندازهٔ نوع طبیعی می‌باشد ولی پایداری و طول عمر طولانی‌تری دارد (این اینترفرون نوع ۱ می‌باشد).

انواع اینترفرون طبیعی
- پروتئین‌های دفاع غیراختصاصی برای مقابله با ویروس‌ها یا یاختهٔ سرطانی می‌باشند.
- نوع ۱
  - از یاختهٔ آلوده به ویروس ترشح می‌شود.
  - علاوه بر یاخته‌های آلوده، یاخته‌های سالم مجاور را نیز در برابر ویروس مقاوم می‌کند.
  - سبب افزایش فعالیت بیگانه‌خوارها نمی‌شود.
- نوع ۲
  - از یاخته‌های کشندهٔ طبیعی و لنفوسیت T ترشح می‌شود.
  - درشت‌خوارها را فعال می‌کند و در مبارزه با سرطان نقش مهمی دارد.

● ۳) تولید پلاسمین پایدارتر و بادوام‌تر

همان‌طور که در زیست دهم خواندید هنگامی که رگی تخریب می‌شود، بدن با ایجاد لخته که حاصل تجمع رشته‌های **فیبرین و یاخته‌های خونی** است، مانع ادامهٔ خونریزی می‌شود. این عمل یک فرایند زیستی مهم برای جلوگیری از اتلاف و از بین رفتن خون می‌شود. در برخی موارد در سرخرگ‌های مهمی مثل **شش، مغز و ماهیچه قلب** نیز لخته‌هایی تشکیل می‌شوند که اگر منجر به بسته شدن رگ‌ها شوند بسیار خطرناک بوده و سبب عدم خون‌رسانی به شش‌ها یا سکتهٔ مغزی و قلبی و حتی مرگ می‌شود. در **پلاسمای** بدن در حالت **طبیعی** ماده‌ای به نام **آنزیم پلاسمین** وجود دارد که می‌تواند **لخته‌ها را تجزیه کرده** و مانع بسته شدن مسیر رگ‌ها شود. پلاسمین طبیعی کاتالیزوری **بی‌دوام** است و در مدت **خیلی کوتاهی** در پلاسما غیرفعال می‌شود ولی در بدن **خاصیت درمانی** دارد.

در روش **مهندسی پروتئین**، یک تغییر **جزئی** در این پروتئین ایجاد می‌کنند به‌طوری که **یک آمینواسید آن را با نوع دیگری** عوض می‌کنند که سبب **پایداری بیشتر این ماده** در **پلاسما** شده و اثرات **درمانی** آن نیز دارای مدت **طولانی‌تری** می‌شود.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

(۱) در مکانیسم انعقاد خون، ترومبین سبب تبدیل فیبرینوژن محلول به رشته‌های نامحلول فیبرین و کمک به ایجاد لخته می‌شود ولی پلاسمین‌ها با تجزیه رشته‌های فیبرینی سبب حل کردن لخته و جلوگیری از بسته شدن رگ می‌شوند.

(۲) در مهندسی پروتئین برای تولید اینترفرون و پلاسمین، فقط یک رمز سه حرفی در توالی اگزون ژن سازندهٔ آن را تغییر می‌دهند و سپس با همسانه‌سازی ژن و تولید پروتئین مورد نظر، با استخراج، از آن استفادهٔ دارویی می‌کنند.

مهندسی پروتئین	مقایسه با نوع طبیعی
آمیلاز	صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش زمان واکنش - تولید محصولات بیشتر
اینترفرون	فعالیتی به اندازهٔ نوع طبیعی دارد ولی پایداری بیشتر و اثر دارویی دارد.
پلاسمین	مدت زمان فعالیت پلاسمایی (پایداری) و اثرات درمانی بیشتری دارد.

توجه: در تست‌ها به کلمات مهندسی **ژنتیک** یا مهندسی **پروتئین** دقت کنید.

(۳) مثلاً در بیماری کم‌خونی داسی‌شکل، از ژن‌های فرد بیمار استفاده کنیم و هموگلوبین داسی‌شکل بسازیم، مهندسی ژنتیک می‌باشد چون تغییری در ژن نداده‌ایم ولی اگر از ژن‌های فرد بیمار، بتوانیم هموگلوبین طبیعی بسازیم، یعنی با مهندسی پروتئین، در ژن تغییر ایجاد کرده‌ایم.

تست ۷ **در مورد اینترفرونی که فعالیت بسیار کمتری از نوع طبیعی دارد و با روش‌های زیست‌فناوری ایجاد شده است، کدام گزینهٔ زیر علت آن را صحیح نشان می‌دهد؟**

۱) آنزیم لیگاز سبب ایجاد پیوندهای نادرست در آن شده است.

۲) تغییرات گسترده‌ای در ژن سازندهٔ آن رخ داده است.

۳) تغییر شکل در مولکول ساخته شده و عدم فعالیت آن.

۴) تشکیل پیوندهای نادرست توسط کاتالیزورهای زیستی پروکاریوتی

پاسخ ۴ منظور سؤال اینترفرون تولید شده با مهندسی **ژنتیک** توسط **باکتری** می‌باشد که پیوندهای **نادرستی** که در هنگام **ترجمهٔ** آن در باکتری ایجاد شده است و به همین دلیل سبب این کاهش شدید فعالیتی شده است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): آنزیم لیگاز در اتصال دو قطعه ژن نقش دارد نه در تولید پروتئین در حین ترجمه!! / گزینهٔ (۲): در مهندسی ژنتیک، ژن جدا شده را برخلاف مهندسی پروتئین، بدون تغییر به ناقل ژنی اضافه می‌کنیم. / گزینهٔ (۳): فعالیت این اینترفرون به صفر نرسیده است ولی بسیار کمتر از نوع عادی می‌باشد.

تست ۸ **برای تولید کدام‌یک از موارد زیر در زیست‌فناوری، آنزیم برش‌دهنده و دنای ناقل در همسانه‌سازی ژن بدون تغییر و نوعی پروتئین مفید عمل کرده است؟**

۱) اینترفرونی که قدرت ضد ویروسی به اندازهٔ نوع طبیعی داشت.

۲) پلاسمینی که پایداری بیشتری از نوع عادی دارد.

۳) اینترفرونی که فعالیت بسیار کمتری از نوع طبیعی داشت.

۴) آمیلازی که به گرما مقاوم‌تر می‌باشد.

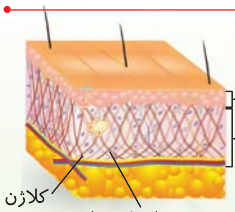
پاسخ ۳ در این تست باید در قسمتی از سؤال دقت کنید که ذکر کرده **«ژن بدون تغییر»** را در زیست‌فناوری وارد کرده‌ایم که منظور **مهندسی ژنتیک** می‌باشد تا ژن یا محصولی را انبوه‌سازی کنند. چون در مهندسی پروتئین قطعاً می‌خواهند پروتئینی با فعالیت جدید ایجاد کنند و تغییر در ژن الزامی است. در بین گزینه‌ها فقط گزینهٔ (۳) محصولی است که با مهندسی ژنتیک ایجاد می‌شود.

مهندسی بافت

در حال حاضر یکی از مشکلات اجتماعی و اقتصادی خانواده‌ها، درمان افرادی می‌باشد که در اثر **آسیب یا بیماری** دچار از دست رفتن بافتی یا اندامی خاص در بدن شده‌اند. این افراد علاوه بر زندگی دشوار به دلیل عدم توانمندی فردی به اطرافیان خود نیز آسیب فراوان **مادی و اجتماعی** وارد می‌کنند. همواره **بهترین** راه درمان و مرمت برای فردی که در اثر سوختگی، دچار اشکال در پوست خود شده بود، گرفتن پوست از فرد دیگر و **پیوند پوست** می‌باشد. اشکال این است که همیشه فرد اهداکننده پوست مناسب وجود ندارد و یا در برخی موارد در اثر سوختگی وسیع، امکان برداشت پوست از فرد آسیب دیده و جانشینی آن با پوست فرد اهداکننده وجود ندارد. در این حالت، بهترین راه برای درمان این افراد، **کشت بافت مورد نظر و پیوند پوست** می‌باشد که با روش **مهندسی بافت** اجرا می‌شود. در این روش باید بافت مورد نظر را به کمک **یاخته‌های بنیادی تمایز نیافته** در محیط کشت ایجاد کنیم. امروزه ثابت شده است که در **پوست**، یاخته‌هایی **تمایز نیافته** یا با **تمایز کم** وجود دارند که از یک طرف **قدرت تکثیر فراوان** دارند و از طرفی **توانایی تمایز** به انواع مختلف یاخته‌های پوششی، پیوندی و غیره موجود در پوست را دارند. **به‌طور کلی، در حال حاضر مهندسین بافت با جدا کردن یاخته‌های تمایز نیافته پوستی و تکثیر و تمایز آن‌ها در محیط کشت می‌توانند بافت‌های مختلف پوست را ایجاد کنند و در ترمیم افراد مورد نیاز استفاده کنند.**

نکات مهم در بررسی تست‌ها

(۱) از زیست یازدهم به یاد دارید که پوست یک اندام است که لایه‌های بیرونی از بافت پوششی و لایه‌های درونی با بافت پیوندی رشته‌ای محکم و بادوام دارد که رشته‌ها به‌طور محکم به هم تابیده هستند و سدی محکم و غیرقابل نفوذ می‌باشد.



«لایه‌های مختلف پوست»

(۲) روش‌های مختلف زیست‌فناوری نوین

۱) در مهندسی ژنتیک ← ژن و محصول مورد نظر را بدون تغییر، به همان صورت انبوه‌سازی می‌کنیم.

۲) در مهندسی پروتئین با تغییر جزئی ← در ژن ایجادکنندهٔ پروتئین تغییر جزئی در حد یک یا چند رمز آمینواسید ایجاد می‌کنیم تا پروتئینی با ویژگی جدید ایجاد شود.

۳) در مهندسی پروتئین به صورت تغییر گسترده ← بخشی از ژن پروتئین‌ساز یا ترکیب ژن‌ها را تغییر داده و محصول جدید با ویژگی جدید ایجاد می‌کنیم.

۴) در مهندسی بافت ← از یاخته **تمایز نیافته** در تولید بافت و اعضا استفاده می‌کنیم (*یعنی تعویض ژن بین دو یاخته نداریم*).

روش کار مهندسی بافت

محققین این روش یاخته‌های **تمایز نیافته** یا **بنیادی** را از **جنین یا بافت بالغ** جدا می‌کنند و با تکثیر و تمایز آن‌ها در محیط کشت، انواع مختلف بافت‌ها و اعضا را می‌سازند و از آن‌ها در درمان یا بازسازی اعضای افراد استفاده می‌کنند. در حال حاضر متخصصان مهندسی بافت با استفاده از یاخته‌های بنیادی تمایز نیافته جنینی یا بالغ می‌توانند در زمینهٔ **تولید و پیوند اعضا** نیز فعالیت کنند.

بازسازی لاله گوش در روش مهندسی بافت

در حال حاضر جراحان بازسازی‌کنندهٔ چهره از **بافت غضروف** که نوعی بافت **پیوندی** می‌باشد برای **بازسازی لاله گوش و بینی** (*نوک بینی از بافت غضروفی می‌باشد*) استفاده می‌کنند. در این روش ابتدا یاخته‌های غضروفی را از بدن جدا کرده و در محیط کشت و **روی داربست مناسب**، وادار به تکثیر و تولید غضروف‌های جدید می‌کنند. از این غضروف‌ها در مرمت لاله گوش یا نوک بینی استفاده می‌کنند.


عکس گوش طبیعی — تصویر رقمی (دیجیتالی) — غضروف گوش ساخته شده با روش مهندسی بافت بعد از دو هفته
«مهندسی بافت غضروف گوش انسان»

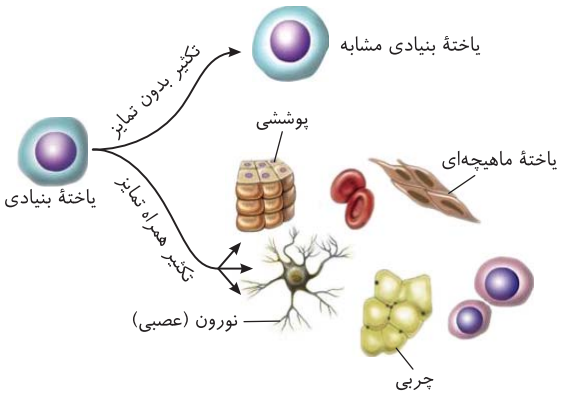
نکات مهم دربارهٔ یاخته‌های بنیادی و مهندسی بافت

۱) یاخته‌هایی مثل یاخته‌های عصبی (*نورون‌ها*) و ماهیچه‌ای که از یک طرف **تمایز یافته‌اند** و از طرفی **فاقد قدرت تکثیر** می‌باشند یا قدرت **تکثیر اندکی** دارند، نمی‌توانند در تولید سایر بافت‌ها در مهندسی بافت به کار روند. به همین دلیل در مهندسی بافت از یاخته‌هایی با قدرت تکثیر زیاد مثل یاخته‌های **بنیادی جنینی** (*در تورط موروولا و بلاستوکل*) یا یاخته **بنیادی بالغ** موجود در **بافت‌ها** استفاده می‌کنند تا با تکثیر آن‌ها، انواع مختلف یاخته و بافت ایجاد شود.

۲) در مهندسی ژنتیک و مهندسی پروتئین ابتدا باید ژن خاصی را با ناقل ژنی در یک موجود میزبان وارد کرد تا به تولید محصول بپردازد با این تفاوت که در مهندسی ژنتیک، ژن جدا کرده را تغییر نمی‌دهیم تا همان ژن یا محصول، انبوه‌سازی شود ولی در مهندسی پروتئین باید ژن تغییر یافته را در موجود زنده بیان کنیم. در مهندسی بافت معمولاً نیازی به جدا کردن ژن و ناقل ژنی نمی‌باشد بلکه باید یاختهٔ بنیادی را جدا کنیم تا با کشت آن سبب تولید یک بافت یا یاخته‌های متنوع شود.

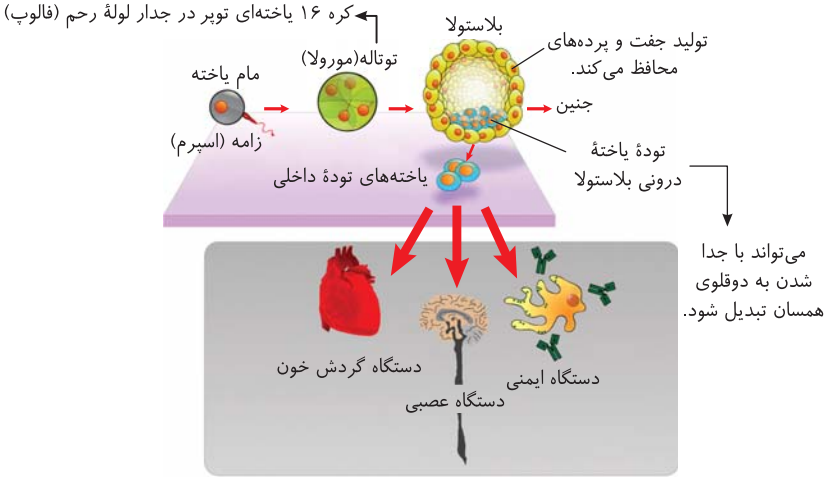
ویژگی یاخته‌های بنیادی در مهندسی بافت

- یاخته‌هـای بنیـادی قدرت **تقسـیم زیـادی** دارند و **تمایز نیافته‌انـد**، یعنی همه یا اکثر ژن‌های آن‌ها می‌توانند فعال شـده و بیان شـوند. این یاخته‌ها می‌توانند در اثر **تکثیر** به یاخته‌هایی **بنیادی** مشابه خود و در اثر **تمایز** به انواع مختلف یاخته‌های تمایز یافته تبدیل شوند.
- در شـکل مقابل می‌توانید ایجاد انواع مختلف یاخته‌های پوششـی، پیوندی، ماهیچه‌ای و عصبی را از یک یاختهٔ بنیادی مشـاهده کنید **ولی دقـت کنیـد که یاختهٔ بنیادی همـواره در اثر تکثیر مقـداری نیز یاختهٔ بنیادی می‌سازد** تا همواره در بدن مقداری یاختهٔ بنیادی حفظ شود.



- اغلب همان یاخته‌های تودهٔ درونی بلاستولا (*بلاستوسیـت*) در جدار رحم می‌باشند.
- ایـن یاخته‌هـا در حالت طبیعی در اثر تکثیر و تمایز، در بدن مـادر به همه انواع یاخته‌ها و بافت‌های بدن یک نوزاد طبیعی تبدیل می‌شوند.
- اگر یاخته‌های بنیادی تودهٔ درونی بلاستولا در **مراحل اولیه جنینی** درون رحم جداسازی شوند، می‌توانند دو جنین کامل تشکیل دهند و تولید دوقلوی همسان کنند.
- اگر یاخته‌های بنیادی جنینی را جداسـازی کرده و سـپس کشـت بدهیم، می‌توانیم آن‌ها را برای سـاخت **بسیاری** از انواع یاخته‌ها تحریک کنیم.
- البته دقت کنید که هنوز محققین نتوانسته‌اند در **شرایط آزمایشگاهی**، همهٔ بافت‌ها و اندام‌های بدن جنین طبیعی را با تکثیر این یاخته‌های بنیادی ایجاد کنند.
- یاخته‌هـای بنیـادی مورولا در حالت طبیعـی در بدن مادر، به **همـه** انواع یاخته‌های جنینـی (*بدن نوزاد*) و خـارج جنینـی (*جفـت و پرده‌هـای اطراف جنین*) متمایز می‌شـوند ولی جدا کـردن همین یاخته‌ها در آزمایشگاه نتایج کاملاً یکسانی نمی‌دهد.

انواع یاخته‌های بنیادی ← الف) یاخته‌های بنیادی جنینی



- یاخته‌های **بنیادی** توده داخلی از بلاستولا به انواع یاخته‌های جنینی متمایز می‌شوند ولی جفت و پرده‌های اطراف خارج جنینی را نمی‌سازند.

نکته

با توجه به مطالب فوق، نتیجه می‌گیریم که اگر **یاختهٔ بنیادی جنینی** را در مرحلهٔ **مورولا** (*توتاله*) جدا کنیم و کشت دهیم، این یاخته **توانایی** تبدیل شدن به هر نوع بافت یک فرد کامل و حتی پرده‌های اطراف جنین (*خارج جنینی*) را دارد و انواع مختلفی از یاخته‌ها از آن ایجاد می‌شود. البته لازم به ذکر است که در آزمایشگاه، با تمایز یاخته‌های بنیادی جنینی، **نمی‌توان** به همهٔ انواع یاخته‌ها و بافت‌های جنینی رسید.

نکته

یاخته‌های بنیادی درون تودهٔ داخلی بلاستولا، در صورت تمایز به بافت‌های مختلف جنینی تبدیل می‌شود ولی سبب ایجاد پرده‌های جنینی و جفت نمی‌شود.

ب) یاخته‌های بنیادی بالغ

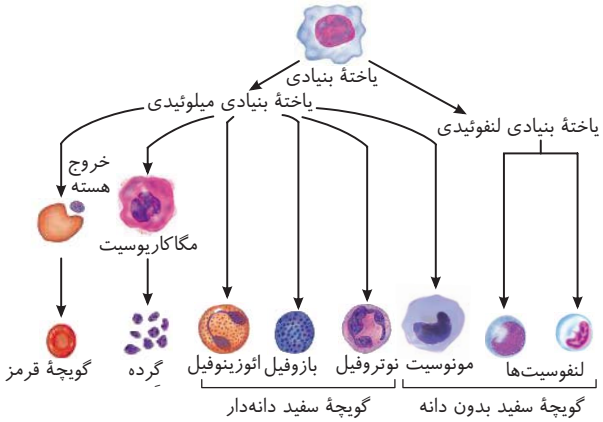
- هر اندام بدن حاوی چند نوع بافت مختلف می‌باشد که در هر بافت تعدادی یاختهٔ تمایز نیافته و تعدادی نیز یاختهٔ تمایز یافته وجود دارد.
- یاخته‌های بنیادی در **بافت‌های مختلف بدن** وجود دارند و می‌توانند با تمایز به **برخی بافت‌ها** تبدیل شوند.
- در مهندسی بافت این یاخته‌ها را از بدن خارج کرده ← در محیط کشت **تکثیر** می‌کنند ← به بافت‌های مشخصی متمایز می‌شوند.
- یاخته‌های بنیادی **بالغ کبدی** می‌توانند در خارج از بدن تکثیر شده و به **یاخته کبدی** یا **یاخته مجاری صفراوی** تمایز پیدا کنند.

انواع یاخته‌های بنیادی بالغ در مغز استخوان

- یاخته‌های بنیادی **لنفوئیدی** ← با تمایز به یاخته‌های **لنفوسیتی** خون تبدیل می‌شوند.

یاخته‌های بنیادی میلوئیدی

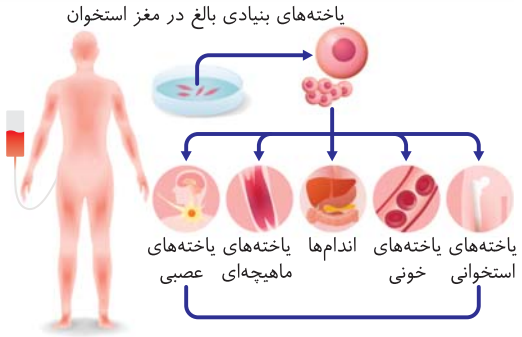
- برخی طی تمایز هستهٔ خود را از دست می‌دهند و به گویچهٔ قرمز بالغ تمایز می‌یابند.
- برخی به مگاکاریوسیت تبدیل شده و سپس قطعات سیتوپلاسمی به نام پلاکت یا گرده می‌سازند.



- سبب تولید یاخته‌های دفاعی مونوسیتی، بازوفیلی، نوتروفیلی و ائوزینوفیلی می‌شوند.

انواع دیگر از یاخته‌های بنیادی

- می‌توانند به رگ‌های خونی، ماهیچه اسکلتی، قلبی و ... تمایز یابند.



- در مهندسی بافت این یاخته‌های بنیادی را جدا کرده تا در آزمایشگاه با کشت آن‌ها و طی تکثیر و تمایز آن‌ها، انواع بافت‌ها و اندام‌ها ایجاد شوند.

تست ۹ **در زیست‌فناوری به روش مهندسی ..... برخلاف مهندسی ..... به‌طور معمول از ژن بیگانه تغییر یافته استفاده نمی‌شود.**

۱) بافت - پروتئین ۲) ژنتیک - بافت ۳) پروتئین - ژنتیک ۴) بافت - ژنتیک

پاسخ ۱ در مهندسی بافت باید یاختهٔ بنیادی مورد نیاز را بدون تغییر در محیط کشت قرار دهیم تا بافت مورد نظر را بسازد. در این روش برخلاف مهندسی پروتئین تغییری در ژن‌ها ایجاد نمی‌کنیم. (در مهندسی ژنتیک و مهندسی بافت، ژن یا یاختهٔ خارج کرده را تغییر نمی‌دهیم چون هدف همانندسازی همان نوع اولیه می‌باشد.)

تست ۱۰ **هر یاختهٔ بنیادی انسانی که در محیط کشت تکثیر شود، قطعاً .....**

۱) به یک جنین طبیعی تبدیل می‌شود. ۲) تعدادی یاختهٔ بنیادی در محیط ایجاد می‌کند.

۳) به یاخته‌ای از بافت جدا شده خودش تمایز می‌یابد. ۴) درون رحم یک مادر می‌تواند به هر یاختهٔ جنینی و خارج جنینی تبدیل شود.

پاسخ ۲ **نکتهٔ مهم:** همواره در اثر تکثیر یک یاختهٔ بنیادی، تعدادی یاختهٔ مشابه آن به صورت بنیادی ایجاد می‌شود تا در بدن نگه داشته شوند. این یاخته‌های بنیادی اگر از نوع جنینی باشند، قدرت تکثیر و تمایز برای تبدیل شدن به جنین و نوزاد کامل دارند ولی اگر از نوع بنیادی بالغ باشند، می‌توانند به یک یا چند نوع بافت یا یاخته تمایز یابند.

درسنامه

گفتار ۳ کاربردهای زیست‌فناوری

در این بخش می‌خواهیم بیاموزیم که روش‌های مختلف شاخهٔ علمی زیست‌فناوری که بررسی کردیم، چه بهره‌ای می‌تواند برای بهبود کیفیت **زندگی انسان** و **حفظ محیط‌زیست** داشته باشد. در ادامه به نقش و بررسی کاربردهای زیست‌فناوری در کشاورزی، پزشکی و دامپروری می‌پردازیم.

الف) کاربرد زیست‌فناوری در کشاورزی

تا قبل از استفاده و پیدایش **فناوری زیستی نوین**، تحول در **کشاورزی نوین** و عبور از مرحلهٔ سنتی با استفاده از کودها و سموم شیمیایی، کشت انواع مختلف محصول، استفاده از ماشین‌های مدرن کشاورزی و افزایش سطح زمین زیر کشت صورت گرفت. این عوامل توانست **افزایش چشمگیری** در محصولات کشاورزی مانند **گندم، ذرت و برنج** ایجاد کند. در کنار این ویژگی‌های مثبت، تعدادی ویژگی **منفی** و عواقب زیانباری مثل **آلودگی محیط‌زیست** در اثر کودها و سموم، دود حاصل از ماشین‌آلات کشاورزی متنوع، ایجاد شد. از طرفی **کاهش تنوع ژنی** در اثر رشد و کاشت محصولات محدودتر و پربارتر، وجود محدودیت در زمین‌های بارور، **تخریب جنگل‌ها و مراتع** برای زیر کشت درآوردن سطح بیشتری از زمین صورت می‌گرفت تا گیاهان غیرخودرو (*زراعی*) ایجاد شوند. در حال حاضر و با افزایش تعداد فراوان جانداران آفت و افزایش نیاز انسان‌ها به محصولات کشاورزی، نمی‌توان برای افزایش محصولات به هر روشی متوسل شد. از طرفی مقدار زمین کشاورزی و قابل کشت در محیط، مناسب با افزایش رشد جمعیت انسان‌ها **نمی‌باشد**. به همین دلیل محققین به فکر به کار بردن روش‌های **فناوری جدید زیستی** برای حل مشکلات کشاورزی افتادند.

بررسی مثال‌هایی از کاربردهای زیست‌فناوری نوین در کشاورزی:
۱) تولید گیاهان مقاوم به آفت‌ها
۲) اصلاح بذر گیاهان
۳) تولید گیاهان مقاوم به علف‌کش‌ها

نکته

امروزه برای ایجاد محصول بهتر، می‌توان ژن‌هایی از گیاهان **خودرو** را استخراج کرد و با فنون **مهندسی ژنتیک** ابتدا آن‌ها را همسانه‌سازی کرد و سپس به ژنوم گیاهان زراعی اضافه کرد (*ریست دهم*).

توجه: در تست‌ها خیلی دقت کنید که کشاورزی نوین را با زیست‌فناوری نوین در این قسمت و تست‌ها اشتباه نگیرید چون کشاورزی نوین با استفاده از ماشین‌آلات و کودها و قبل از زیست‌فناوری بوده است که فعالیت زیادی نیز دارد.

۱) تولید گیاهان مقاوم به آفت‌ها

● استفاده از سم‌های ضد آفات گیاهی در کشاورزی نوین قبل از پیدایش فناوری زیستی نوین

قبل از پیدایش محصولات حاصل از زیست‌فناوری نوین، برای از بین بردن جانداران مزاحم یا آفات گیاهی، از **سم‌پاشی** استفاده می‌کردند تا سم مورد نظر سبب از بین بردن آفت شود. این مسئله دو اشکال داشت، یکی اینکه این مواد **آلوده‌کننده محیط‌زیست** بودند و دیگری اینکه ممکن بود خود **گیاه نیز اگر به سم مورد نظر مقاوم نباشد، از بین برود**. مثلاً نوعی حشرهٔ کرمی‌شکل وجود دارد که به **درون** غوزه نارس پنبه نفوذ می‌کند و سبب آلودگی این گیاه می‌شود. تا چند سال قبل کشاورزان مجبور بودند برای از بین بردن این آفت‌های **درونی**، **سم‌پاشی‌های متعدد** انجام دهند چون همان‌طور که گفتیم این حشره به **درون غوزه** می‌رود و در معرض سطح گیاه قرار نمی‌گیرد تا بتوان به آسانی با یک‌بار سم‌پاشی از بین بروند. از طرفی در **انتخاب طبیعی** مشاهده کردید که جانداران به تدریج می‌توانند به مواد محیطی مقاوم شوند. پس احتمال ایجاد و تکثیر کرم‌های مقاوم پس از چند نسل وجود داشت و سبب بی‌اثر شدن سم‌ها نیز می‌شد.



گیاه آلوده　ورود آفت به درون غوزه　گیاه سالم

«آلوده شدن غوزه گیاه پنبه به آفت را نشان می‌دهد.»

● استفاده از فناوری زیستی نوین برای مقابله با آفات گیاهی

محققین شاخهٔ گیاهی علم زیست‌شناسی مشاهده کردند که **برخی از باکتری‌های خاکزی**، می‌توانند **پروتئین‌هایی** تولید کنند که برای **حشراتِ مضرِ** گیاهانِ زراعی، به عنوان یک ماده سمی به حساب آیند و می‌توانند سبب مرگ این حشرات مضر شوند. محققین با مطالعات خود در مورد این مواد پروتئینی به این نتیجه رسیدند که این باکتری‌های خاکزی، در مرحله‌ای از **رشد** خود **نوعی** پروتئین **سمی** می‌سازند که ابتدا درون یاخته باکتری به عنوان یک **پیش‌سم غیرفعال** تولید می‌شود و به باکتری آسیبی نمی‌رسانند. وقتی حشره آفت گیاهان، این باکتری‌ها و ماده پروتئینی را می‌خورد، این ماده تحت تأثیر **آنزیم‌های گوارشی** برون‌یاخته‌ای (*پروتئازها*) در لولهٔ گوارش حشره، **شکسته** شده و به مادهٔ **سمی فعالی** برای این حشره درمی‌آید. این سم فعال شده سبب تخریب **یاخته‌های** لولهٔ گوارش شده و مرگ جانور می‌شود. به این ترتیب گیاهی که در مجاور این باکتری‌ها و حشرات قرار دارد، تحت اثر آفت یا همان حشرهٔ کرمی‌شکل (*کرم*) فوق قرار نمی‌گیرد. محققین علم زیست‌فناوری به فکر تولید انبوه یا همسانه‌سازی ژن‌های سازنده پروتئین‌های آفت‌کش افتادند. آن‌ها با روش **مهندسی ژنتیک**، ابتدا ژن‌های مربوط به ساخت این پروتئین‌های سمی را **توسط آنزیم برش‌دهنده از ژنوم حلقوی باکتری جدا کردند** و به همان روش‌های گفته شده در مهندسی ژنتیک، آن‌ها را به کمک ناقل همسانه‌ساز (*ریبک*) و آنزیم‌های میزبان، انبوه‌سازی کردند. سپس این ژن‌های مورد نظر که رمز ساخت پروتئین‌های آفت‌کش را داشتند به همراه دیسک یا ناقل همسانه‌ساز جدا کرده و وارد یاخته‌ها یا بذر گیاهان زراعی مورد نظر نمودند. پس از مدتی با **بیان این ژن‌ها** در **یاخته‌های گیاهی**، مقدار زیادی از این پیش‌سم‌های غیرفعال باکتریایی، توسط یاخته‌های گیاهی ایجاد شدند و سبب مقاوم شدن گیاهان به انواع مختلف آفت‌ها شدند.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) با استفاده از این روش تاکنون **چند نوع** گیاه مقاوم مثل **ذرت، پنبه و سویا** تولید کرده‌اند که از اثر آفت‌های گیاهی در امان هستند.

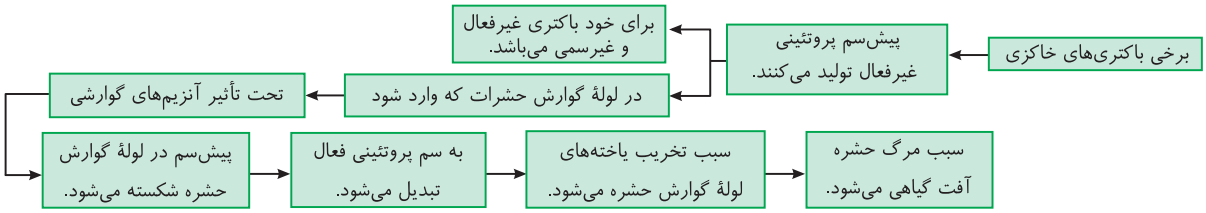
۲) تولید گیاهان مقاوم به آفت‌ها، سبب **کاهش** استفاده از **سم‌پاشی‌ها** به گیاهان می‌شود و از آلودگی محیط‌زیست و مقاوم شدن آفات به سم‌ها به طرز قابل توجهی می‌کاهد.

۳) بیان ژن تولید مادهٔ سمی ضد آفت، علاوه‌بر عوامل پروکاریوتی باکتری، درون یاختهٔ گیاه زراعی و توسط عوامل یوکاریوتی نیز صورت می‌گیرد.

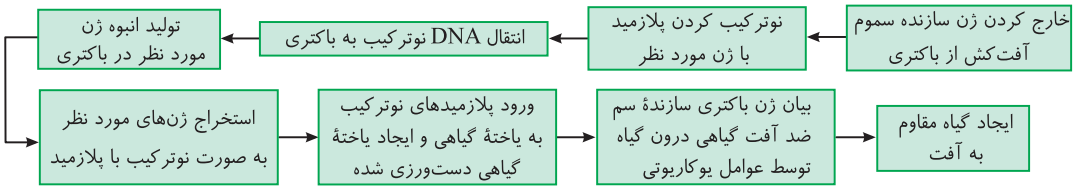
۴) امروزه با کمک فناوری زیستی، **پنبه‌های مقاومی** ایجاد کرده‌اند که این گیاهان با **تولید عوامل سمی** برای کرم‌ها، سبب از بین بردن اغلب این جانوران مزاحم شده تا آسیب‌رسانی به غورهٔ نارس پنبه‌ها کاهش یابد و نیاز به سم‌پاشی این گیاهان را **تا حدود زیادی، کاهش** داده است. (*دقت کنید که نیاز به سم‌پاشی کاهش یافته است نه اینکه از بین رفته است!*) حشره کرم آفت این پنبه‌ها، با خوردن قسمت **بیرونی** این گیاهان از بین می‌روند و فرصت ورود به **درون غوزه** را از دست می‌دهند و باز هم تکرار می‌کنیم که این کار نیاز به سم‌پاشی را در مزارع **کاهش** داده است.

۵) در تست‌ها دقت کنید که این جانور کرمی‌شکل، کرم نیست بلکه نوعی حشره با تنفس نایدیسی لوله‌های مالپیگی و سایر نکات حشرات می‌باشد.

● خلاصه اثر باکتری‌های سم‌ساز خاکزی



● راه مهندسی ژنتیک در تولید گیاهان مقاوم به آفات



نکته

چون این سم با مهندسی ژنتیک تولید شده است (*نه مهندسی پروتئین*)، پس نوع محصولی که گیاه مقاوم می‌سازد با نوع محصولی که باکتری می‌سازد یکسان و مشابه است.

۲) اصلاح بذر گیاهان با فناوری زیستی

همان‌طور که به احتمال زیاد می‌دانید در کشاورزی، به هر قسمتی از گیاهان که می‌توانند به **تکثیر و تولیدمثل** گیاه منجر شوند و نسل دیگری از همان گیاه را بسازند، **بذر** می‌گویند.

محققین در زمینهٔ زیست‌فناوری توانسته‌اند با استفاده از روش‌های **مهندسی ژنتیک**، ژن‌های مفیدی را پس از انبوه‌سازی در بذر گیاهان قرار دهند و با تکثیر آن‌ها، **گیاهان تراژنی** شده با قدرت تولید محصولات مطلوب، گیاهان مقاوم به خشکی و شوری و گیاهانی با افزایش ارزش غذایی محصولات بسازند و یا حتی توانستند سبب تنظیم سرعت رسیدن میوه‌ها شوند.

نکته

در این مثال‌ها نیز ژن مناسب، مثلاً از یک گیاهی که به خشکی مقاوم است را جدا کرده و این ژن را بدون تغییر، ابتدا با دیسک نوترکیب کرده وارد باکتری می‌کنند، پس از همسانه‌سازی این ژن، آن‌ها را وارد بذر گیاهان می‌کنند. **این بذرها با تقسیم زیاد و تکثیر خود زمینه‌ساز گیاهی تراژن شده می‌شوند که در همهٔ یاخته‌های خود ژن مقاوم به خشکی را دارد.** در صورت بیان این ژن‌ها و ساخت پروتئین‌های خاص، ویژگی مورد نظر در گیاه تراژنی جدید ایجاد می‌شود. همهٔ یاخته‌های این گیاه حاوی ژن دست‌ورزی شده می‌باشد و به خشکی نیز مقاوم می‌شود.

نکته

گیاه تراژن، گیاهی است که در **همهٔ** یاخته‌های آن ژن نوترکیب یا جدید وجود داشته باشد ولی یاختهٔ دست‌ورزی شده یعنی فقط در آن یاختهٔ ژن نوترکیب وجود دارد.

تست ۱۱ **در حال حاضر برای تولید پنبه‌های مقاوم به حشرات آفت .....**

۱) پروتئین غیرسمی را به گیاه زراعی وارد می‌کنند.

۲) ابتدا ژن تولید پروتئین فعال سمی را در باکتری همسانه‌سازی می‌کنند.

۳) دنای ناقل نوترکیب را وارد برخی یاخته‌های گیاه زراعی می‌کنند.

۴) گیاهی تراژن با توانایی تولید سم غیرفعال ایجاد می‌کنند.

پاسخ ۳ دقت کنید که برای ایجاد نوعی پنبهٔ **زراعی** مقاوم به کرم آفت، در روش مهندسی ژنتیک، ابتدا ژن تولید پروتئین پیش‌سمی غیرفعال را در باکتری همسانه‌سازی کرده و سپس این ژن بیگانه را به صورت نوترکیب با ناقل ژنی به برخی از یاخته‌های گیاه فوق اضافه می‌کنیم. در این حالت یاخته‌های فوق **دچار دست‌ورزی ژنتیکی** می‌شوند تا با بیان این ژن، پروتئین مورد نظر ایجاد شود. توجه داشته باشید که واژهٔ جاندار تراژن وقتی اطلاق می‌شود که **همهٔ** یاخته‌های جاندار حاوی ژن جدید باشند که این عمل با تغییر در بذر گیاهان صورت می‌گیرد نه اینکه فقط چند یاختهٔ آن را دست‌ورزی کرده باشیم (*نادرستی گزینهٔ (۴) و درستی گزینهٔ (۳)*).

◀ در مورد نادرستی گزینه‌های (۱) و (۲) فقط کافی است دقت کنید که پروتئین فوق ابتدا به صورت **پیش‌سم غیرفعال** در باکتری و یا گیاه تغییر یافته ایجاد می‌شود و در بدن حشره به نوع فعال سمی تبدیل می‌شود. در این روش ژن تولید پروتئین مورد نظر را به گیاه اضافه می‌کنند نه اینکه محصول پروتئینی را جدا کنند.

تست ۱۲ **در تولید یک گیاه اصلاح شدهٔ ژنتیکی به کمک تزریق دیسک نوترکیب شده، کدام مرحله از مراحل مهندسی ژنتیک مشاهده نمی‌شود؟**

۱) برش DNA

۲) تولید DNA نوترکیب

۳) ورود DNA نوترکیب به گیاه

۴) جدا کردن ژن همسانه‌سازی شده از دیسک

پاسخ ۴ در مهندسی ژنتیک در تولید یک گیاه اصلاح شدهٔ ژنتیکی، به منظور افزایش ویژگی‌های مطلوب گیاهان، ژن انبوه‌سازی شده را به همراه ناقل ژنی به گیاه وارد می‌کنند. در این حالت برش دنا و ناقل ژنی و نوترکیب شدن آن‌ها وجود دارد ولی ژن را از دیسک جدا نمی‌کنند.

۳) تولید گیاهان مقاوم به علف‌کش‌ها

امروزه با روش فناوری زیستی، از گیاهان مقاوم به علف‌کش، **ژن ویژه مقاومت به این ماده را جدا کرده** و توسط **باکتری‌ها** در مهندسی ژنتیک این ژن را انبوه‌سازی می‌کنند و سپس این ژن‌ها را وارد سایر گیاهان کرده تا این یاخته‌های تغییریافته، با بیان ژن‌های جدید سبب مقاومت گیاه به علف‌کش شوند (*در این حالت با به کار بردن علف‌کش، دیگر فقط علف‌های هرز از بین می‌روند و خود گیاه اصلی آسیب نمی‌بیند*).

توجه: در زیست‌فناوری نوین، گیاهان مقاوم به حشره (نه حشره‌کش) و گیاهان مقاوم به علف‌کش تولید می‌کنند.

ب) کاربرد زیست‌فناوری در پزشکی

۱) تولید دارو ← وسیله درمان با مهندسی ژنتیک

۲) تولید واکسن ← وسیلهٔ **پیشگیری** با مهندسی ژنتیک

۳) ژن‌درمانی با مهندسی ژنتیک

۴) تشخیص بیماری‌ها

۱) استفاده از زیست‌فناوری در تهیه داروها

تا چندی قبل از پیدایش روش‌های نوین فناوری زیستی، تهیه داروهای خاص مانند انسولین برای بیماران دیابتی نوع I و... به سختی صورت می‌گرفت و بسیار هزینه‌بر بود. این داروها را معمولاً از **منابع غیرانسانی** تهیه می‌کردند که اغلب **پاسخ‌های ایمنی** در فرد گیرنده ایجاد می‌کرد. مثلاً قبلاً انسولین را از **لوزالمعده جانورانی مثل گاو** استخراج می‌کردند و آن را جداسازی و خالص می‌کردند تا بیماران از آن استفاده کنند.

یادآوری انواع دیابت شیرین

- نوع I
  - بیماری **خودایمنی** است که سیستم ایمنی به یاخته‌های انسولین‌ساز جزایر لانگرهانس پانکراس حمله می‌کند.
  - از سنین پایین بروز می‌یابد (*معمولاً زیر ۴۰ سال*).
  - بیماران محتاج به تزریق انسولین برای کنترل قند خون خود هستند.
- نوع II
  - معمولاً در سنین بالای چهل سال رخ می‌دهد که در نتیجه **چاقی و عدم تحرک** ایجاد می‌شود.
  - بیماران اشکالی در تولید انسولین ندارند و نیازی نیز به تزریق آن ندارند.
  - انسولین به مقدار کافی در بدن بیماران وجود دارد ولی گیرنده‌های انسولین به آن پاسخ نمی‌دهند.
- یاخته‌های بدن افراد در هر دو نوع دیابت قادر به گرفتن گلوکز از خون نمی‌باشند و گلوکز خون بالا می‌رود.
- به ترتیب ذخایر گلیکوژن و چربی آن‌ها برای تولید انرژی تجزیه می‌شوند. تجزیهٔ چربی‌ها سبب می‌شود که pH خون بیماران اسیدی شود. در نهایت این افراد برای تهیهٔ انرژی مجبور به تجزیه پروتئین‌های خود می‌شوند که در پی آن مقاومت بدن آن‌ها در مقابل بیماری‌ها کم می‌شود.
- علائمی مانند پرادراری و پرنوشی (*نوشیدن زیاد آب*) دارند.

● بررسی ساختار انسولین انسانی

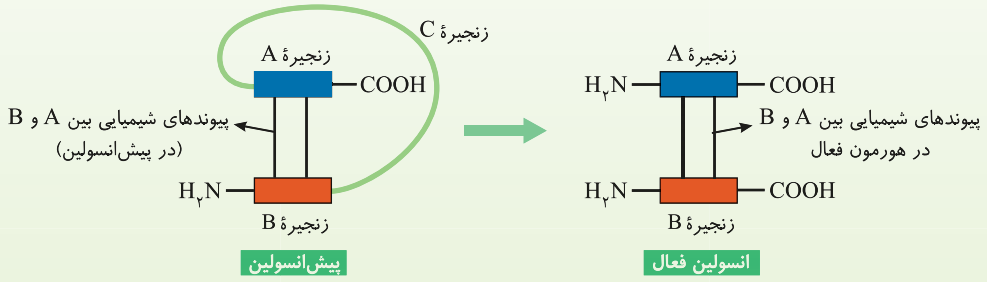
ژن مربوط به ساخت انسولین انسانی و سایر پستانداران، در هر یاخته هسته‌دار بدن آن‌ها وجود دارد ولی این ژن فقط در **نوع خاصی** از **یاخته‌های درون‌ریز جزایر لانگرهانس لوزالمعده** بیان می‌شود و به تولید هورمون انسولین می‌پردازد. انسولین ابتدا به صورت یک پیش‌هورمون غیرفعال در لوزالمعده تولید می‌شود که دارای **یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی** می‌باشد. این زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی از دو قسمت زنجیرهٔ B و زنجیرهٔ A به همراه یک زنجیرهٔ C رابط بین A و B تشکیل شده است. همه این سه زنجیره از **روی یک ژن** و به دنبال هم از توالی آمینواسیدی ساخته می‌شوند که تولید آن‌ها به ترتیب از زنجیره‌های B، سپس C و در آخر A انجام می‌شود. پیش هورمون انسولین، در قسمت‌های A و B خود، در بخش‌هایی با هم پیوند شیمیایی برقرار می‌کنند. زنجیرهٔ C نیز رابط بین دو قسمت A و B می‌باشد. مولکول پیش‌انسولین که حاوی بخش C بوده، غیرفعال می‌باشد و برای فعال شدن باید زنجیرهٔ C آن جدا شود تا به هورمون فعال انسولین با دو قسمت زنجیرهٔ A و B تبدیل شود. با حذف زنجیره C و ایجاد انسولین فعال، دو زنجیرهٔ کوتاه پلی‌پپتیدی A و B به صورت جدا از هم می‌باشند که در قسمت‌هایی با پیوند شیمیایی به هم متصلند. این انسولین فعال (*فاقد زنجیرهٔ C*) وارد **خون** می‌شود تا نفوذپذیری غشای یاخته‌های بدن را به گلوکز زیاد کند و تنفس یاخته‌ای و تولید ATP به اندازهٔ کافی صورت بگیرد.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) انسولین فعال با اینکه دو رشتهٔ پلی‌پپتیدی A و B دارد ولی این دو رشته به همراه زنجیرهٔ C، همگی از **روی یک ژن** ساخته شده‌اند. دقت کنید که آمینواسیدهای دو زنجیره A و B با پیوند پپتیدی به یکدیگر متصل نمی‌باشند. بلکه بین آن‌ها در قسمت‌هایی پیوند شیمیایی وجود دارد.

۲) مهم‌ترین مرحله در ساخت انسولین، تبدیل انسولین غیرفعال به نوع فعال می‌باشد که این عمل در پروکاریوت‌ها صورت نمی‌گیرد.

۳) در پیش انسولین، زنجیرهٔ B دارای عامل آمینی آزاد ($-NH_2$) و زنجیرهٔ A دارای عامل کربوکسیل یا اسیدی ($-COOH$) آزاد می‌باشد. در حقیقت اولین متیونین ترجمه شده برای تولید این ماده، اولین آمینواسید زنجیرهٔ B با گروه آمین آزاد بوده است.



«جدا شدن زنجیره C و تبدیل پیش‌انسولین به انسولین»

۴) همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، در انسولین فعال، دو گروه آمینی آزاد زنجیره‌های A و B در یک سمت و دو گروه کربوکسیل آن‌ها نیز در سمت دیگر قرار دارند ولی پیش هورمون یک گروه آمین و یک گروه کربوکسیل دارد.

۵) برای تبدیل پیش‌انسولین به انسولین فعال، دو پیوند پپتیدی در دو سر رشتهٔ C باید هیدرولیز شود تا کل بخش C از رشته‌های A و B جدا شود.

روش تولید داروها با مهندسی ژنتیک

در حال حاضر فناوری دنای نوترکیب به علت تولید داروهای مطمئن و مؤثر، جایگاه ویژه‌ای در صنعت داروسازی دارد. در این روش ژن داروی مورد نظر را از تعدادی یاخته‌های **فرد سالم** جدا می‌کنیم و آن‌ها را به کمک ناقل ژنی (*دیسک*) وارد باکتری کرده تا همسانه‌سازی کند. سپس این باکتری‌های تراژن را به کمک پادزیست‌ها (*آنتی‌بیوتیک‌ها*) جدا کرده و داروی مورد نظر که در اثر فرایند ترجمه در باکتری تولید شده است را از آن‌ها استخراج می‌کنیم تا برای درمان افراد بیمار استفاده می‌کنیم.

نکته

در تهیه دارو با مهندسی ژنتیک، تمام مراحل **همانندسازی، رونویسی و ترجمه** برای ساخت دارو در یاخته میزبان ساده‌ای مثل باکتری صورت می‌گیرد و داروی مورد نظر را به مصرف انسان می‌رسانیم (*یعنی ژن همسانه‌سازی شده تولید دارو را وارد بدن انسان نمی‌کنیم و در انسان یاختهٔ تراژنی ایجاد نمی‌کنند بلکه از محصول ژن برای درمان استفاده می‌کنند*).

روش تولید انسولین در مهندسی ژنتیک

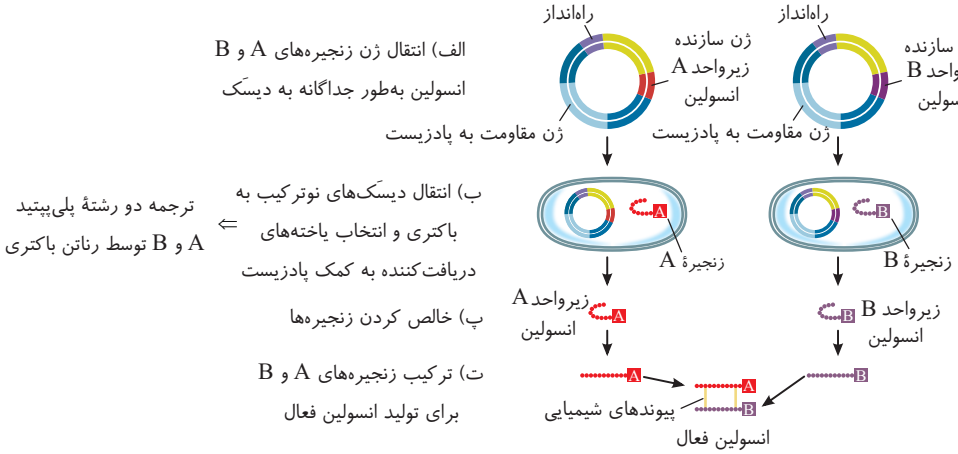
محققین در روش مهندسی ژنتیک و به کمک **باکتری‌ها**، موفق شدند که دو رشتهٔ پلی‌پپتیدی A و B موجود در **پیش هورمون غیرفعال انسولین** را توسط رناتن **باکتری‌ها** تولید کنند ولی **مهم‌ترین** مرحله در ساخت انسولین که **تبدیل انسولین غیرفعال به نوع فعال** می‌باشد، در باکتری‌ها انجام نمی‌شود به همین دلیل محققین شاخهٔ **مهندسی ژنتیک** در سال ۱۹۸۳ طرحی جدید ایجاد کردند. آن‌ها **دو توالی DNA** مربوط به ژن انسولین‌ساز که فقط مسئول ساخت زنجیره‌های A و B انسولین بودند را تولید کردند و هرکدام را توسط **دیسک نوترکیب کردند و به صورت جداگانه** وارد **باکتری** خاصی کردند. در هر نوع باکتری، یکی از زنجیره‌های پلی‌پپتیدی A یا B ساخته شد. محققین، این دو رشتهٔ پلی‌پپتیدی A و B را به‌طور خالص از باکتری‌ها استخراج کردند و **در آزمایشگاه** به وسیله پیوندهایی شیمیایی به هم متصل کردند تا انسولین فعال بسازند.

نکته

در روش ساخت انسولین با مهندسی ژنتیک، توالی DNA مربوط به ساخت زنجیره C، استفاده نمی‌شود و اصلاً زنجیره C و پیش‌هورمون تولید نمی‌شود.

نکته

دقت کنید که در روش تولید انسولین در باکتری، فقط دو رشتهٔ پلی‌پپتیدی کوتاه A و B در باکتری‌های جداگانه‌ای ایجاد می‌شود. یعنی خود **انسولین فعال نیز به‌طور کامل در باکتری تولید نمی‌شود**. بلکه اتصال این دو زنجیرهٔ A و B با پیوندهای شیمیایی غیرپپتیدی در خارج باکتری و در **محیط آزمایشگاه** صورت گرفت.





«مراحل ساخت انسولین در مهندسی ژنتیک»

تست ۱۳ **پیش‌هورمون انسولین ..... هورمون فعال آن .....**

۱) برخلاف - دارای سه رشتهٔ پلی‌پپتیدی A ، B و C می‌باشد.
۲) همانند - می‌تواند دارای ساختار نهایی چهارم پروتئینی باشد.
۳) برخلاف - دارای ساختار نهایی سوم پروتئینی می‌باشد.
۴) به تعداد - آمینواسید دارد.

پاسخ ۳ مولکول انسولین به صورت پیش‌هورمون ابتدا فقط یک رشتهٔ پلی‌پپتید متشکل از سه بخش متوالی $\left[\begin{array}{ccccc} A & \leftarrow & C & \leftarrow & B \\ / & & & & \backslash \\ COOH & & & & H_2N \end{array}\right]$ دارد که نهایتاً به دلیل تک‌رشته‌ای بودن می‌تواند در ساختار سوم سه‌بعدی پروتئین قرار گیرد ولی انسولین فعال با حذف قسمت C صورت می‌گیرد که شامل دو زنجیرهٔ پلی‌پپتید کوتاه جدا از هم بوده که با پیوندهای شیمیایی به هم متصلند و ساختاری مانند ساختار چهارم پروتئین‌ها را به خود می‌گیرد.

تست ۱۴ در روش تولید انسولین با مهندسی ژنتیک، امکان ندارد که .....

۱) mRNA رمزکنندهٔ رشتهٔ C نیاز باشد.

۲) نیازی به آنتی‌بیوتیک برای انتخاب یاخته‌های تراژن داشته باشیم.

۳) همانند مهندسی پروتئین، قسمتی از یک توالی ژن مورد استفاده قرار نگیرد.

۴) در محل تولید ATP باکتریایی، رشته‌های A و B انسولینی ساخته شوند.

پاسخ ۱ برای تولید انسولین با مهندسی ژنتیک، توالی‌های دنای A و B هرکدام در باکتری جداگانه‌ای و توسط رنابسپاراز مجزایی رونویسی می‌شوند ولی این دو آنزیم هر دو یک نوع پروکاریوتی می‌باشند. دقت کنید که در این روش، اصلاً توالی مربوط به زنجیرهٔ C در واکنش شرکت نمی‌کند.

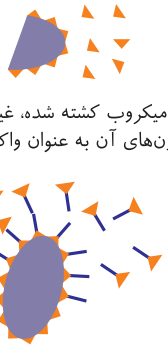
تله‌های تستی گزینهٔ (۲): در روش مهندسی ژنتیک باید پس از ورود ناقل ژنی نوترکیب شده به میزبان، برای جداسازی یاخته‌های تراژن، از پادزیست استفاده کنیم. / گزینهٔ (۳): برای تولید انسولین فعال در باکتری، اصلاً از توالی مربوط به زنجیرهٔ C استفاده نمی‌شود که همانند مهندسی پروتئین سبب تولید پروتئینی کوتاه‌تر از نوع اولیه می‌شوند ولی به این دلیل به آن مهندسی پروتئین نمی‌گویند که محصول ایجاد شده با محصول نهایی تولید شونده در جاندار فرقی نمی‌کند (در مهندسی پروتئین قطعاً تغییری در ساختار پروتئین ایجاد می‌کنند). / گزینهٔ (۴): در باکتری‌ها محل فعالیت رناتن همانند محل عمل واکنش‌های قندکافت در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم می‌باشد که هم‌زمان با ترجمه، تولید ATP نیز در یاخته انجام می‌شود.

۲) استفاده از زیست‌فناوری در تهیه واکسن‌ها

ابتدا دقت کنید که واکسن وسیله‌ای برای **پیشگیری** از بیماری‌ها می‌باشد (نه درمان!). واکسن‌ها محلولی حاوی یک یا چند نوع سم یا آنتی‌ژن (پادگن) آسیب‌رسان ضعیف شده یا میکروب‌های ضعیف یا کشته شده **خالص** می‌باشند. واکسن پس از تزریق در بدن به کمک پادتن‌ها و یاخته‌های خاطره سبب ایجاد **ایمنی اختصاصی فعالی شده** که به صورت **اکتسابی** وارد بدن شده است.

● طریقه تولید واکسن قبل از پیدایش روش‌های فناوری زیستی

قبل از کشف مهندسی ژنتیک، برای تولید واکسن، مقداری از آنتی‌ژن‌ها یا سموم میکروب یا مقداری از میکروب‌های کشته یا غیرفعال شده را جدا می‌کردند و در محلولی قرار می‌دادند. با وارد کردن این محلول به بدن، این آنتی‌ژن‌ها یا میکروب‌های غیرفعال شده، سبب مقدار کمی تحریک در یاخته‌های دفاع اختصاصی بدن می‌شدند. با تولید پادتن‌های خاص، آنتی‌ژن یا میکروب وارد شده از بین می‌رود ولی **یاخته خاطره** آن‌ها در بدن باقی می‌ماند و **ایمنی فعالی** به صورت آماده‌باش در بدن حفظ می‌شود تا با ورود ثانویه میکروب اصلی، بدن قدرت دفاع بیشتر در برابر خود داشته باشد.



«نحوهٔ عملکرد واکسن»

● مضرات راه قدیمی تولید واکسن

در تهیه واکسن به روش قدیمی، باید در نظر داشت که اگر **خطای انسانی** در غیرفعال کردن یا کشتن میکروب‌ها یا سموم آن‌ها اتفاق بیفتد، همان واکسن می‌تواند سبب ایجاد بیماری در افراد شود. به همین دلیل محققین به فکر تولید واکسن از راهی بی‌خطر افتادند.

● طرز تهیه واکسن به روش مهندسی ژنتیک

در این روش که دیگر **خطرهای اشتباهات انسانی مدل قبلی در آن وجود ندارد**، ابتدا ژن مربوط به پادگن (آنتی‌ژن) **سطحی** خاصی را از **عامل بیماری‌زا** جدا می‌کنند، سپس این ژن را به **باکتری یا ویروس غیربیماری‌زای** دیگری به عنوان میزبان انتقال می‌دهند. پس از بیان ژن بیگانه در میزبان جدید، **مقدار کمی آنتی‌ژن‌های سطحی** که مربوط به عامل بیماری‌زای اولیه می‌باشد، در سطح میزبان ایجاد می‌شود. با استخراج این میزبان‌ها و ترکیب آن‌ها با محلول ویژه‌ای، واکسن مورد نظر تولید می‌شود. با ورود این واکسن به بدن انسان و تحریک لنفوسیت‌های B، همانند قبل مکانیسم ایجاد یاخته‌های خاطره و پادتن برای مبارزه با عامل بیماری‌زای اصلی در بدن به راه می‌افتد.

نکته

دقت کنید که ویروس‌ها، جزء موجودات زنده نمی‌باشند و به تنهایی قدرت تکثیر ندارند، پس اگر میزبان یا گیرندهٔ ژن را ویروس انتخاب کنیم، ابتدا باید ویروس پذیرنده ژن عامل بیماری‌زا را **وارد یک یاخته زنده** کنیم تا با استفاده از آنزیم‌های میزبان و با تکثیر ویروس، آنتی‌ژن‌های سطحی نیز ساخته شوند.

نکته

واکسن ضد ویروس هپاتیت B را با روش مهندسی ژنتیک تولید کرده‌اند.

تست ۱۵ **در روشی از مهندسی ژنتیک که برای پیشگیری از بیماری‌ها کاربرد دارد، مادهٔ تولید شده سبب کدام‌یک از موارد زیر می‌شود؟**

۱) تحریک تولید پادتن و یاخته خاطره توسط میکروب غیر بیماری‌زا
۲) درمان برخی بیماری‌ها مثل هپاتیت نوع B
۳) تحریک یاختهٔ پادتن‌ساز و تولید پادتن توسط میکروب بیماری‌زا
۴) انتقال ژن به فرد گیرنده واکسن

پاسخ ۱ واکسن تولید شده با مهندسی ژنتیک می‌تواند سبب **پیشگیری** از عوامل بیماری‌زا شود. در این عمل، میکروب غیربیماری‌زایی که حاوی پادگن‌های سطحی میکروب مورد نظر می‌باشد، سبب تحریک ایمنی بدن و تولید پادتن و مقداری یاختهٔ خاطره می‌شود. این عوامل میکروبی سبب تحریک لنفوسیت B می‌شوند ولی یاختهٔ پادتن‌ساز یا پلاسموسیت فاقد گیرندهٔ آنتی‌ژنی بوده و پادگن مستقیماً سبب تحریک آن نمی‌شود. *(واکسن وسیلهٔ پیشگیری است نه درمان! (نادرستی گزینهٔ (۲)))*.

۳) ژن‌درمانی به کمک فناوری زیستی

با پیشرفت فناوری‌های زیستی نوین، محققین به این فکر افتادند که می‌توانند با این روش، افرادی که با بیماری **ارثی** متولد می‌شوند را درمان کنند.
قبلاً برای درمان افرادی که مثلاً **نقص ارثی** در تولید **یک آنزیم خاص** در بدن داشتند، جدا کردن آنزیم‌ها از فرد سالم و تزریق به بیماران تنها راه ممکن بود که بسیار پرهزینه بود و یا با پیوند مغز استخوان سعی در برطرف کردن بیماری می‌کردند که البته هنوز نیز انجام می‌شود.
در حال حاضر یکی از روش‌های جدید درمان بیماری‌های ژنتیکی، روش **ژن‌درمانی** می‌باشد که **خود شامل مجموعه‌ای از روش‌ها می‌باشد.**

● تعریف ژن‌درمانی

به‌طور کلی، **ژن‌درمانی یعنی قرار دادن نسخهٔ سالم یک ژن در یاخته‌های فردی که دارای نسخه‌ای ناقص از آن ژن می‌باشد.** دقت کنید که در روش ژن‌درمانی، نسخه ناقص ژن را از فرد بیمار **جدا نمی‌کنند**، بلکه این فرد در حالی که در برخی یاخته‌های خود نسخه ناقص غیرفعال را دارد، دارای نسخه ژنی سالم نیز می‌شود. در حقیقت این فرد در برخی یاخته‌های خود، دو نوع دستورالعمل برای این ژن خاص دارد.

● روش کلی ژن‌درمانی با مهندسی ژنتیک

به‌طور کلی در این روش ابتدا **نسخهٔ سالم ژن** را از تعدادی یاخته **افراد سالم** جدا می‌کنیم و به کمک ناقل ژنی، آن‌ها را در **باکتری**، همسانه‌سازی می‌کنیم. سپس ناقل حاوی ژن‌های مورد نظر را به‌طور خالص جدا کرده و وارد یاخته دارای ژن ناقص در فرد بیمار می‌کنیم. در این روش، ژن سالم وارد شده، **در بدن فرد بیمار شروع به بیان شدن می‌کند** و محصولی را که قبلاً در فرد وجود نداشت، **به تدریج** تولید می‌کند. البته با تقسیم یاخته گیرنده ژن سالم، این ژن‌های سالم به یاخته‌های دیگر نیز منتقل می‌شوند.

نکاتی مهم در ارتباط با ژن‌درمانی

۱) ژن‌درمانی زمانی مفید واقع می‌شود که یاخته ژن‌درمانی شده **قدرت تکثیر** داشته باشد تا تعداد یاخته‌های دارای ژن سالم در بدن افزایش یابند و از طرفی باید ژن وارد شده به یاخته، قدرت بیان شدن داشته باشد تا آنزیم یا محصولی که کمبود یا فقدان آن سبب بیماری شده است به تدریج در فرد بیمار تولید شود.

۲) ژن‌درمانی کردن برای بیماری‌های **ارثی** که در یاخته‌های **عصبی** یا ماهیچه‌ای اسکلتی رخ می‌دهد زیاد تأثیری ندارد چون این یاخته‌ها قدرت تکثیر ندارند یا بسیار کند تقسیم می‌شوند. در نتیجه تعداد زیادی یاخته دارای ژن سالم و محصول آن در بدن ایجاد نمی‌شود.

۳) فردی که می‌خواهیم ژن‌درمانی شود، باید به‌طور مکرر و متناوب، چند بار ژن‌درمانی شود تا به تدریج مقدار ژن و محصول در بدن وی به حد طبیعی برسد. در نظر داشته باشید که طول عمر یاختهٔ ژن‌درمانی شده در آزمایشگاه زیاد نمی‌باشد و به همین دلیل فرصت کافی برای ساخت مقدار کافی از مادهٔ مورد نظر ندارد.

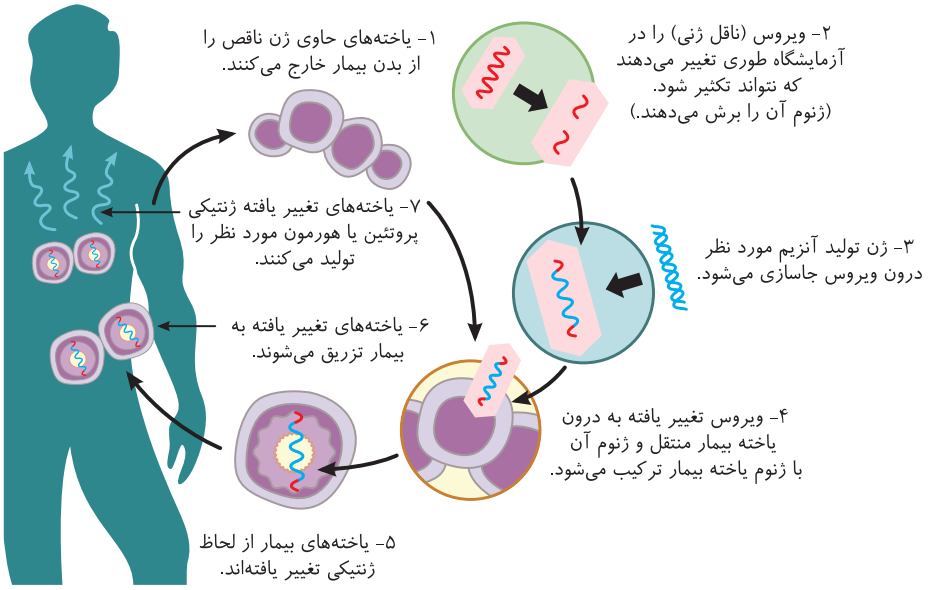
۴) در روش ژن‌درمانی، یاخته‌ای که ژن سالم را دریافت کرده است را یک یاختهٔ دست‌ورزی شده می‌نامیم.

۵) ژن‌درمانی کردن در مورد بیماری‌هایی معنی پیدا می‌کند که **نقص در ژنوم آن گونه** باشد. مثلاً اگر فرد دچار **مالاریا** شده است را نمی‌توانیم ژن‌درمانی کنیم چون این فرد به عامل بیماری‌زای گونهٔ دیگری آلوده شده است و ژن بیگانه سبب بیماری شده است نه اینکه نقص ژنی یا ارثی در فرد وجود داشته باشد.

● تاریخچه اولین ژن‌درمانی موفقیت‌آمیز روی انسان‌ها

اولین‌بار در سال ۱۹۹۰، دختربچه‌ای که دارای **نوعی نقص ژنی** در تولید **یک آنزیم مهم دستگاه ایمنی** بود، مورد ژن‌درمانی قرار گرفت که نتیجه موفقیت‌آمیزی داشت. برای ژن‌درمانی این دختربچه، ابتدا مقداری از **لنفوسیت‌های خون** او را جدا کردند و آن‌ها را در محیطی در خارج بدن کشت دادند تا مقداری از آن‌ها را به صورت ذخیره داشته باشند. سپس از افراد سالم، ژن سالم ساخت این آنزیم سیستم ایمنی را جدا کردند و وارد بخش میانی ژنوم **یک ویروس** کردند. *(ویروس به‌عنوان ناقل ژنی بود)*، در ادامه ویروس مورد نظر که حاوی ژن سالم بود را وارد یاخته‌های لنفوسیتی کردند تا **ژنوم آن با ژنوم لنفوسیت ادغام شود.** در انتها این لنفوسیت‌های تغییر یافته ژنتیکی را وارد بدن دختربچه بیمار کردند. پس از مدتی با آزمایش‌های مختلف مشاهده کردند **مقداری از آنزیم مورد نظر** برای اولین‌بار در بدن این دختربچه ایجاد شده است ولی هم مقدار این آنزیم‌ها برای زندگی طبیعی وی کم بود و هم طول عمر این لنفوسیت‌های تغییر یافته کوتاه بود، به همین دلیل لازم بود که این بیمار **به‌طور متناوب** لنفوسیت‌های مهندسی شده و تغییر یافته را دریافت کند *(به یاد دارید که مقداری لنفوسیت از این بیمار را به‌طور ذخیره نگه داشته بودند)*. بالاخره پزشکان با آزمایش‌های متعدد در این فرد، مشاهده کردند که سطح آنزیم مورد نظر و واکنش سیستم ایمنی که قبلاً در این دختربچه اصلاً تولید نمی‌شد، کم‌کم به حد طبیعی می‌رسد و تولید آن ادامه می‌یابد.

باز هم تکرار می‌کنیم که برای درمان این افراد می‌توان از روش‌های **تزریق آنزیم مورد نظر** یا **پیوند مغز استخوان** نیز استفاده کرد.



«مراحل ژن‌درمانی»

نکته

با روش ژن‌درمانی می‌توان تولید پروتئین یا هورمون خاصی را در بدن فرد بیمار القا کرد تا بیماری ژنتیکی او درمان شود.

تست ۱۶ **در یاخته‌ای که در اولین ژن‌درمانی تغییر ژنتیکی یافت، کدام‌یک از عوامل زیر وجود نداشت؟**

۱) ژن مقاوم به پادزیست
۲) قسمتی از ژنوم ویروسی
۳) ژن تولید اریتروپویتین
۴) دو نسخهٔ با فعالیت متفاوت از یک پروتئین ایمنی انسانی

پاسخ ۱ اولین ژن‌درمانی انسانی روی **لنفوسیت‌های** یک دختربچه انجام شد. این عمل با انتقال ژن سالم به همراه ناقل ژنی ویروسی صورت گرفت. همان‌طور که می‌دانید در بین ناقلین ژنی، ویروس‌ها برخلاف دیسک‌ها، ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک ندارند ولی این لنفوسیت دارای ژن تولید هر ماده عادی بدن از جمله اریتروپویتین می‌باشد و در ژن مورد ژن‌درمانی قرار گرفته، هر دو نوع ژن سالم و بیمار را حمل می‌کند.

تست ۱۷ **به چه دلیل در انسانی که اولین‌بار ژن‌درمانی شد، باید عمل ژن‌درمانی را چند بار متناوباً انجام می‌دادند؟**

۱) چون هنوز فرد گیرنده قدرت تولید آنزیم مورد نظر را نداشت.
۲) چون یاخته خونی تغییر یافته قدرت تکثیر نداشت.
۳) چون یاخته دفاعی تغییر یافته بقای زیادی نداشت.
۴) چون مقدار آنزیم در این فرد تراژنی کم بود.

پاسخ ۳ به دلیل عدم عمر طولانی لنفوسیت‌های تغییر یافته ژنتیکی، این یاخته‌ها در بدن زیاد تکثیر نمی‌یافتند و مقدار آنزیم مورد نیاز بدن را به حد نرمال نمی‌رساندند. به همین دلیل نیاز به چند مرحله ژن‌درمانی بود تا نقص برطرف شود.

۴) تشخیص بیماری‌ها به کمک فناوری زیستی

همان‌طور که می‌دانید **درمان مناسب** در بسیاری از بیماری‌ها وقتی جوابگو می‌باشد که **تشخیص اولیه بیماری** و **شناخت دقیق** آن در زمان مناسبی صورت گرفته باشد. چه بسیار افرادی که فقط به دلیل تشخیص دیرهنگام بیماری خود، از بین رفته‌اند یا سبب انتقال بیماری به افراد دیگر شده‌اند. قطعاً تشخیص بیماری زمانی که علائم آن ظاهر شده است، کار آسانی است ولی در اغلب موارد در این موقع بیماری به حد بالایی از آسیب‌رسانی خود رسیده است. مثلاً فهمیدن اینکه فردی ایدز دارد در هنگامی که علائم ایدز در آن پدیدار شده است تقریباً به این معنی است که دیگر نمی‌توان درمان و کار مناسبی برای بهبود وی انجام دهیم. در حال حاضر علاوه بر اینکه با آزمایشات دوره‌ای (چکاپ) افراد، مثل آزمایش **خون یا ادرار** و **مدفوع** می‌توانیم بسیاری از بیماری‌های نهفته فرد را پیدا کنیم، با پیدایش **فناوری‌های زیستی** و **تحقیق روی DNA** و **توالی آن‌ها**، می‌توانیم از وجود **انواع DNA بیگانه** یا نقص ژنی فرد نیز مطلع بشویم. این عمل سبب می‌شود که وقتی هنوز علائم بیماری در فرد ظاهر نشده است و میزان عامل بیماری‌زا در بدن وی پایین است، نیز به تشخیص بیماری زمینه‌ای یا نهفته او برسیم. امروزه با کمک روش‌های زیست‌فناوری می‌توانند از وجود **نوکلئیک‌اسیدهایی** بیگانه مربوط به **عامل‌های بیماری‌زا** در بدن افراد مطلع شوند.

نکته

با روش زیست‌فناوری و ردیابی ژنوم افراد می‌توانیم به **تشخیص ژن‌های جهش یافته** در بیماران **مستعد به سرطان** یا در مسائل **پزشکی قانونی** و تحقیقاتی در مورد **مادهٔ ژنتیکی فسیل‌ها** بپردازیم.

● ایدز و تشخیص زودهنگام آن

همان‌طور که در زیست یازدهم یاد گرفتید، ایدز یا بیماری **نقص ایمنی اکتسابی**، نوعی بیماری **ویروسی** است که عامل آن **ویروس رنادار HIV** می‌باشد. این ویروس سبب نقص در عملکرد سیستم ایمنی بدن می‌شود و سبب می‌شود فرد توانایی دفاع در مقابل عوامل بیماری‌زا را از دست بدهد.

این ویروس پس از ورود به بدن ممکن است بین **۶ ماه تا ۱۵** سال نهفته باقی بماند و بیماری ایجاد نکند. این فرد در این دوره آلوده به HIV می‌باشد **ولی بیمار نیست** و علائمی از بیماری ایدز ندارد. بسیار مهم است که فرد در این دوره از وجود ویروس HIV در بدن خود مطلع شود. امروزه برای تشخیص ایدز در مراحل اولیه، **DNAهای موجود در خون فرد مشکوک را استخراج می‌کنند**. این DNAها اگر فقط مربوط به یاخته‌های خونی وی باشند، که مشکلی ندارد. در این صورت فرد سالم بوده و فاقد ویروس HIV می‌باشد. ولی اگر علاوه بر DNA یاخته‌های گویچه‌های سفید و ژنوم دیگر حلقوی راکیزه‌های انسان، ژنوم دیگری نیز وجود داشته باشد، محققین زیست‌فناوری مادهٔ ژنتیکی بیگانه را استخراج کرده و تشخیص می‌دهند که مربوط به چه عاملی می‌باشد. **اگر این مادهٔ ژنتیکی مربوط به ویروس ایدز باشد**، تشخیص **زودرس** آن اهمیت زیادی دارد چون سبب اقدامات **درمانی** برای آن فرد در زمان مناسب می‌شود و با **پیشگیری‌های** لازم از انتقال این ویروس به سایر افراد جلوگیری می‌شود.

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) ویروس عامل ایدز یا همان HIV، دارای رنا می‌باشد ولی برخلاف مطالبی که تا حالا خوانده‌اید، این ویروس می‌تواند، پس از ورود به یاختهٔ زندهٔ لنفوسیت T کمک‌کننده، از روی رنای خود، دنا بسازد و این دنا سبب اختلال در یاختهٔ آلوده شود (*البته این یاخته نیز به تولید ایتروفون نوع ۱ می‌پردازد*).

۲) HIV از طریق رابطهٔ جنسی، خون و فرآورده‌های خونی آلوده و هر شیء تیز و برنده آلوده به خون ویروس‌دار می‌تواند منتقل شود و وارد مایعات بدن شود. این ویروس در دوران بارداری یا زایمان و یا از راه شیر دادن می‌تواند از مادر آلوده به جنین یا نوزاد آن منتقل شود.

۳) ترشحات عرق، اشک، بینی، خلط، بزاق، ادرار و مدفوع از مواردی نیستند که انتقال ویروس ایدز توسط آن‌ها اثبات شده باشد.

۴) ایدز تاکنون درمان قطعی ندارد و بهترین راه برای مقابله با آن، پیشگیری و افزایش آگاهی عمومی است.

۵) ویروس HIV ابتدا به نوع خاصی از لنفوسیت‌های T به نام **T کمک‌کننده** حمله می‌کند ولی متأسفانه فعالیت **هر نوع لنفوسیت B و T** به کمک **لنفوسیت T کمک‌کننده** صورت می‌گیرد. پس آلودگی به HIV باعث نقص در **کل ایمنی اختصاصی** به کمک لنفوسیت‌های B و T می‌شود.

ج) کاربرد زیست‌فناوری در تولید دام‌های تراژنی و محصولات دامپروری

نکته

در ابتدا دقت کنید که فرق یاختهٔ دست‌ورزی شده با جاندار شبیه‌سازی شده تراژنی چیست؟ جانداری را شبیه‌سازی یا تراژن کردن می‌گوییم که در همهٔ یاخته‌های بدن او، ژن بیگانه از گونهٔ دیگر وجود داشته باشد. (*مانند گیاه زراعی تراژنی ایجاد شده با دستکاری در بذر گیاه*!) ولی یاختهٔ دست‌ورزی شده به این معنی است که ژن بیگانه وارد سیستم ژنی آن شده است.

توجه: زیست‌فناوری می‌تواند با تولید جانوران تراژنی به حل خیلی از مشکلات و ابهامات بشری بپردازد که در ادامه به بررسی این واکنش‌ها می‌پردازیم.

نکته

در ایجاد جانوران تراژنی، با وارد کردن ژنی خاص به تخم یا تخمک لقاح یافته یک جانور، سبب ایجاد یک جانور بالغ می‌شوند که در همهٔ یاخته‌های خود ژن مورد نظر محقق را دارد و با بیان آن ژن به مطالعاتی مانند موارد ذکر شده، می‌پردازند.

۱) بررسی رشد دام‌ها

با استفاده از مهندسی ژنتیک می‌توانند هورمون رشد دامی را **توسط باکتری‌ها** تولید کنند و با اضافه کردن آن هورمون به دام‌های دیگر، سبب رشد بیشتر دام‌های دیگر شود. محققین شاخهٔ زیست‌فناوری با مطالعه عملکرد ژن‌های خاص در بدن مثل ژن‌های عوامل رشد می‌توانند به بررسی نقش آن‌ها در رشد دام بپردازند.

۲) مطالعه روی دام‌ها برای بررسی بیماری‌های انسانی

دانشمندان زیست‌فناوری با آزمایش کردن **ژن‌های انسانی** بیماری‌زا **روی دام‌ها** و بررسی اثرات آن‌ها در این جانوران می‌توانند به مطالعه بیماری‌های انسانی مثل انواع سرطان‌ها، آلزایمر و بیماری‌هایی خودایمنی مانند MS (ام.اس) بپردازند.

۳) تولید پروتئین‌های مفید انسانی و داروهای خاص توسط دام‌های تراژنی شده

همان‌طور که بارها گفته شد به جانداری که ژن بیگانه از گونهٔ دیگری را پذیرفته است، جاندار تراژنی می‌گویند و از طرفی می‌دانید که همهٔ یاخته‌های بدن یک جاندار پریاخته‌ای از میتوز یاخته تخم ایجاد می‌شود. **پس هر دست‌ورزی ژنتیکی در یاختهٔ تخم می‌تواند در صورت از بین نرفتن آن به تولید جانداری تراژن بیانجامد که همهٔ یاخته‌های بدنش حاوی ژن یا ژن‌های مورد نظر ما باشد.** با این روش که در ادامه به توضیح کامل آن می‌پردازیم توانستند، گاوها یا گوسفندهای تراژنی ایجاد کنند که شیر آن‌ها غنی از پروتئین خاص انسانی باشد و سپس با استخراج آن پروتئین‌ها، از آن‌ها به عنوان دارو استفاده کنند.

نکته

مصرف شیر غنی از پروتئین‌های انسانی که توسط **گاوهای تراژنی شده** تولید می‌شود، نسبت به شیر طبیعی گاو، برای انسان **مناسب‌تر** و **مفیدتر** می‌باشد.

● طرز تهیه پروتئین انسانی با استفاده از دام‌های تراژنی شده

در این روش ابتدا ژنی که یک پروتئین مهم انسانی را رمزگردانی می‌کند جدا کرده و با ناقل ژنی نوترکیب می‌کنند، سپس **یاخته تخم لقاح یافته** دامی را از بدن والـد مـاده جـدا می‌کنند و **ناقل ژنی نوترکیب که حاوی ژن مورد نظر ما می‌باشـد را وارد تخم می‌کنند**. به این تخم تراژنی شـده در آزمایشـگاه اجازه تکثیر و طی کردن مراحل اولیه رویانی (*جنینی*) می‌دهند. در نهایت آن‌ها را وارد رحم یک دام ماده از آن گونه می‌کنند تا با تکثیر بیشتر، **دامی تراژن به دنیا بیاید که همهٔ یاخته‌های هسته‌دار بدنش دارای ژن تولید پروتئین انسانی می‌باشد.** بدیهی است که با بیان یا روشن شدن این ژن در یاخته‌های پستان دام، پروتئین انسانی نیز وارد شیر دام می‌شود. سپس پروتئین‌های انسانی را از شیر دام استخراج کرده و به **مصارف دارویی** می‌رسانند.

● روش تولید جانوری تراژنی شده با ژن انسانی



«تولید پروتئین‌های انسانی با استفاده از دام‌های تراژنی»

تست ۱۸ **در مهندسی ژنتیک برای ..... کاربرد ندارد.**

۱) ساخت جانور تراژنی، دیسک
۲) تولید پروتئین‌های پیچیدهٔ انسانی، عامل رونویسی
۳) تولید هورمون انسولین، جانور تراژنی
۴) ژن‌درمانی کردن، ناقل ژنی غیردیسکی

پاسخ ۳ تولید انسـولین در مهندسـی ژنتیک توسـط **باکتری‌ها** صورت می‌گیرد نه جانوران تراژنی!

- در تولید **جانوران** تراژنی، ابتدا باید ژن مورد نظر انسانی را با دیسک باکتریایی وارد تخم دام کنیم (*نادرستی گزینهٔ ۱*).
- تولید پروتئین‌های پیچیدهٔ انسانی توسط دام‌ها و سیستم‌های یوکاریوتی دارای عامل رونویسی صورت می‌گیرد (*نادرستی گزینهٔ ۲*).
- در روش‌های ژن‌درمانی می‌توان از ناقل ژنی **ویروسی** استفاده کرد که دیسکی نمی‌باشند و فاقد ژن مقاومت به پادزیست هستند (*نادرستی گزینهٔ ۴*).

تست ۱۹ **در مراحل مورد نیاز برای تولید پروتئین‌های انسانی در دام‌های تراژنی نیازی به انجام کدام مورد زیر نمی‌باشد؟**

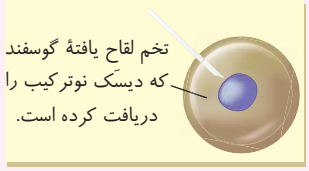
۱) قرار دادن ژن انسانی در بخشی از ژنوم باکتری
۲) بیان ژن انسانی در باکتری
۳) انتقال دیسک نوترکیب به یاخته تخم دام
۴) تولید دامی که همه یاخته‌های هسته‌دار او واجد ژن انسانی می‌باشد.

پاسخ ۲ در روش‌های تولید جانوران دامی تراژنی باید دنای نوترکیب را به تخم یک دام اضافه کنیم تا این ژن‌ها توسط دام تکثیر و بیان شوند.

نکته‌های تستی گزینهٔ (۱): برای انتقال ژن انسـانی به دام باید از دیسـک ناقل ژنی استفاده کنیم، که جزء ژنوم کمکی باکتری‌ها به حساب می‌آید.



گزینهٔ (۳): بعد از تولید دنای نوترکیب، مجموعهٔ ناقل ژنی نوترکیب را وارد یاختهٔ تخم دامی می‌کنند.



گزینهٔ (۴): در انتها دامی تراژن از تکثیر تخم تغییر یافته ایجاد می‌شود که در همهٔ یاخته‌های آن ژن مربوط به پروتئین انسانی وجود دارد ولی این ژن در یاخته‌های پستان دام بیان شده و در شیر دام ظاهر می‌شود.



زیست‌فناوری و اخلاق

شـاخهٔ علمی زیسـت‌فناوری نیز مانند هر شـاخهٔ علمی دیگری می‌تواند مضرات **اخلاقی، اجتماعی و ایمنی زیسـتی** داشـته باشـد، در نتیجه باید با ملاحظاتی همراه باشد. به همین دلیل قانون ایمنی زیستی در همهٔ کشورها از جمله ایران! تدوین و به تصویب رسیده است. در قانون ایمنی زیستی، تدابیر، مقررات و روش‌هایی برای تضمین بهره‌برداری از این فنون وجود دارد **تا آسـیبی به اخلاق بشری و محیط‌زیسـت** نرسـاند. مثلاً به دلیل محرمانه بودن اطلاعات ژنتیکی و پزشـکی افراد، این شـاخه می‌تواند مورد سـوء اسـتفاده قرار گیرد یا مثلاً ممکن است با این روش بتوان **سلاح‌های زیسـتی** ایجاد کرد که **افراد را به داروهای خاصی مقاوم کنند** یا در مواد غذایی اختلالی ایجاد کنند. به همین دلیل همواره سؤال‌های متعددی در مورد نتایج کاربردهای زیست‌فناوری وجود داشته و دارد که برای پاسخ به آن‌ها پژوهش‌های زیادی در حال انجام می‌باشد. البته نتایج پژوهش محققین توسط مجموعه‌ای از دانشمندان با تخصص‌های مختلف (*نه‌فقط زیست‌شناسی*) داوری شده و صدور مجوز نهایی داده می‌شود و **تاکنون و طبق نتایج تحقیقات، هیچ‌گونه گزارشی در مورد خطرناک بودن محصولات و آثار جانبی مخرب آن‌ها اعلام نشده است.**

چند نکتهٔ مهم

۱) دستاوردهای علمی زیست‌فناوری باید مانند سایر دستاوردهای بشری، ملاحظات اخلاقی، اجتماعی و ایمنی زیستی را دربر بگیرد.

۲) ایمنی زیستی شامل مجموعه‌ای از تدابیر، مقررات و روش‌هایی برای تضمین بهره‌برداری از فنون بدون آسیب به انسان می‌باشد.

۳) تاکنون از نتایج تحقیقات انجام شده در این شاخه، هیچ گزارشی مبنی بر شواهد و داده‌های علمی آثار جانبی این فناوری نبوده است.

نکاتی از فصل اول زیست دهم

۱) مهندسان ژن می‌توانند ژن‌های انسانی را به گیاهان، جانوران یا حتی باکتری‌ها وارد کنند.

۲) محرمانه بودن اطلاعات ژنی و پزشکی افراد، فناوری‌های ژن‌درمانی، ایجاد جانوران تراژن و حقوق جانوران از موضوعات **اخلاق زیستی** می‌باشد.

۳) در حال حاضر، روش **پزشکی شخصی** می‌تواند به بررسی اطلاعات ژنی افراد بپردازد و روش‌های دارویی و درمانی خاص هر فرد را طراحی کند.

نکته آخر: البته در پایان ذکر می‌شود که نمی‌شود صد درصد به همه چیز اعتماد کرد و باید همواره تحقیقاتی برای جلوگیری از سوء استفاده‌های ممکنه از هر علمی از جمله علم زیست‌شناسی صورت بگیرد.☺

فصل هشتم
رفتـــارهای جـــانوران

درسنامه

همان‌طور که می‌دانید انسان به همراه سایر جانداران در **بوم‌سازگان‌های مشترکی** زندگی می‌کنند. به همین دلیل مجبور است با جانداران سایر جمعیت‌ها رابطهٔ زیستی مستقیم یا غیرمستقیم برقرار کند.

مثلاً حشـراتی که آفات گیاهان مناطق زندگی ما هسـتند، شـاید به‌طور مسـتقیم به ما سود یا ضرری نرسـانند ولی برای گیاهانی که ما از آن‌ها استفاده می‌کنیم می‌توانند آسـیب‌زا باشـند. به همین دلیل **همواره زندگی انسان به داشتن اطلاعاتی دربارهٔ رفتار سایر جانوران وابسته می‌باشد.** محققین رفتارشناسی همواره به مطالعهٔ روابـط و رفتارهـای مختلف **جانوران** می‌پردازند. از ایـن راه می‌توانند به طرق مختلف در حفظ آن‌ها در مقابل **عوامل انقراض‌زا** یا **حفظ محیط‌زیسـت** بپردازند. در این فصل می‌خواهیم به رفتارهای مختلف **جانوران** در محیط بپردازیم و چگونگی و چرایی به وجود آمدن آن‌ها را با توجه به دیدگاه **انتخاب طبیعی** بررسی کنیم.

نکته

در ادامه می‌آموزید که در بررسـی رفتارهای جانوری، همواره دو سـؤال اساسـی مطرح می‌شـود که باید به بررسـی آن‌ها بپردازیم. سـؤالات **اولیه** را **پرسش‌های چگونگی** می‌نامند، برای مثال می‌پرسـند، **چگونه** برخی پرندگان با شـروع فصل **سردسـیری**، مسـیر حرکت خود را برای مهاجرت به منطقهٔ گرم‌تر پیدا می‌کنند؟ پاسـخ این پرسـش‌ها اغلب به نقش **غریزهٔ ژنی** یا **یادگیری محیطی** آن‌ها برمی‌گردد. سـؤالات نوع دوم را **پرسش‌های چرایی** می‌نامند. مثلاً می‌پرسند، **چرا پرندگان با شروع فصل سرما، مهاجرت می‌کنند؟** پاسـخ این پرسـش‌ها به دلیل **شـانس بقای بهتر و زادآوری بیشتر آن‌ها** می‌باشد که در حقیقت **فهم و درک پرسش‌های چرایی** به دلیل **انتخاب طبیعی و سازش بهتر جمعیت جانوران** تکمیل می‌شود.

- نمونه‌ای از رفتارها
  - لانه‌سازی قمری‌های خانگی با جمع‌آوری شاخه‌های **نازک** درختان
  - گریختن گوزن‌ها از شکارچی
  - به خواب زمستانی رفتن خرس‌های قطبی
  - مهاجرت سارها در زمستان به جای **گرم‌تر**

گفتار ۱ اساس و انواع رفتارها

تعریف رفتار و رفتارشناسی

رفتار شامل **واکنش یا مجموعه‌ای از واکنش‌هایی** می‌باشد که **جانور** در پاسخ به **محرک** یا محرک‌**های درونی و بیرونی** انجام می‌دهد. محرک‌های درونی می‌توانند مثل قند خون پایین برای ترشح هورمون گلوکاگون یا رفتار غذا خوردن در اثر گرسنگی باشند. از محرک‌های بیرونی نیز می‌توان به **بوی غذا** یا ترس از دشمن اشاره کرد. علمی که به مطالعهٔ رفتارهای **جانوری** می‌پردازد را **علم رفتارشناسی** می‌گویند.

نکته

دقت کنید که در این فصل و در علم رفتارشناسی به مطالعهٔ رفتارهای **جانوران** می‌پردازیم نه هر موجود زنده‌ای!!

- **انواع رفتار جانوری**
  - الف) رفتار غریزی (*ژنی*)
  - ب) رفتار همراه یادگیری (*ژنی و محیطی*)

الف) رفتار غریزی (ژنی)

رفتارهایی می‌باشند که **اساس ایجاد آن‌ها به ژنوم یک گونه** بستگی دارد. یعنی جانور برای بروز آن رفتار، **فرصت آموزش نداشته است**. این رفتارها در **همهٔ افراد یک گونه** به **شکل یکسانی** بروز می‌کند چون اثر ژنی یا ارثی دارد.

مثلاً اینکه نوزاد انسـان در بدو تولد در اثر پاسـخ به گرسـنگی، گریه می‌کند یک رفتار غریزی است یا لانه‌سازی پرنده‌های بالغ شده یا مکیدن سینهٔ مادر توسط نوزادان پستانداران، همگی نمونه‌هایی از رفتارهای غریزی می‌باشند. البته همهٔ رفتارهای **غریزی** از هنگام تولد **به صورت کامل** در فرد دیده نمی‌شود و این رفتارها کم‌کم و با عوامل محیطی (*یادگیری*) دچار **تغییرات و اصلاحاتی** می‌شوند. مثلاً قرار نیست همواره بچهٔ انسان، برای به دست آوردن غذا گریه کند، بلکه پس از مدتی یاد می‌گیرد که این رفتار غریزی را تغییر دهد و با رفتار دیگری به رفع نیاز گرسنگی بپردازد.

مثال‌هایی از رفتارهای غریزی

۱) رفتار جوجه کاکایی برای دریافت غذا


«رفتار درخواست غذا در جوجه کاکایی»

جوجه‌های **برخی** پرندگان، پس از تولد نمی‌توانند غذایابی کنند و برای گرفتن غذا و رشد کامل خود نیازمند و متکی **به یک یا هر دو والد خود** می‌باشند. مثلاً جوجه کاکایی به محض **بیرون آمدن از تخم**، برای گرفتن غذا، رفتاری غریزی را انجام می‌دهد. این جوجه کاکایی وقتی گرسنه می‌شود، **به منقار والد خود نوک می‌زند** و والد را خبردار می‌کند که گرسنه است. با این کار والد (*نمی‌دانید!*)، بخشی از غذای خورده شده را برمی‌گرداند تا جوجه از منقار والد آن غذا را بگیرد و بخورد. این رفتار غریزی که از جوجه کاکایی و والد وی سر می‌زند سبب **حفظ بقا و رشد مناسب** جوجه می‌شود. این رفتار در تمام جوجه‌های **این گونه** به شکل یکسانی رخ می‌دهد. چون همهٔ آن‌ها ژنوم یا خزانهٔ ژنی مشابهی دارند و این صفت غریزی را بروز می‌دهند. دقت کنید که جوجه کاکایی در دو روز اول پس از تولد، **به هر قسمتی** از منقار والد که بتواند نوک می‌زند و نوک زدن به جای خاصی از منقار را ترجیح نمی‌دهد. (*در ادامه در مورد این نکته بیشتر صحبت می‌کنیم!*)

سؤال: چگونه جوجه کاکایی می‌فهمد که برای غذاگیری باید به منقار والد نوک بزند؟

پاسخ: به دلیل ژنی که دارد و بیان شدن آن ژن.

سؤال: چرا جوجه کاکایی برای غذاگیری به منقار والد نوک می‌زند؟

پاسخ: تا نیاز او برطرف شود و رشد کاملی یابد و بتواند در آینده در ایجاد نسل بعد خود شریک باشد. طبق **انتخاب طبیعی** جوجه‌هایی که نمی‌توانند این عمل را انجام دهند احتمال **بقا و رشد** کمی دارند و سهم کمتری در ایجاد خزانهٔ ژنی نسل بعد خود دارند.

۲) رفتار غریزی موش ماده در مراقبت از فرزندان توسط ژن B

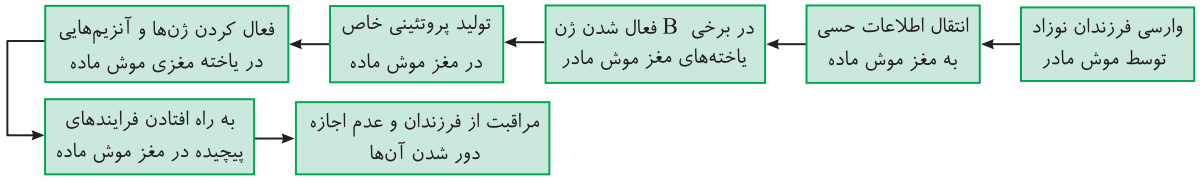

«مراقبت مادری موش مادر دارای ژن طبیعی»

رفتارشناسان مشاهده کردند که موش‌های **ماده** وقتی نوزادان خود را به دنیا می‌آورند تا مدتی اجازه دور شدن به بچه‌ها را نمی‌دهند. این رفتار به صورت **غریزی** در **همهٔ** موش‌های **ماده** آن گونه دیده می‌شود. پژوهشگران متوجه شدند که ژنی در بدن موش ماده سبب ایجاد این صفت غریزی می‌شود که به آن **ژن B** می‌گویند. موش‌های مادر پس از تولد نوزادان، ابتدا بچه‌های خود را **وارسی** (*بررسی*) می‌کنند و از راه حواس خود اطلاعاتی از شناخت فرزندان را به مغز می‌فرستند. **در یاخته‌هایی خاص از مغز مادر** (*در پیشتر بدانید ذکر شده است که این ژن در بخش از هیپوتالاموس بیان می‌شود*)، ژن B آن‌ها بیان می‌شود. فعال شدن این ژن سبب تولید **پروتئینی** در مغز مادر می‌شود که این پروتئین، سبب **فعال کردن برخی آنزیم‌ها و ژن‌های دیگر** می‌شود. در انتها فرایندهای **پیچیده‌ای** که در مغز موش‌های مادر راه می‌افتند، سبب محافظت آن‌ها از بچه‌هایشان شده و به‌طور طبیعی اجازهٔ دور شدن آن‌ها را نمی‌دهد. در این صورت اگر بچه‌ها دور شوند، مادر آن‌ها را گرفته و به سمت خود می‌کشد.

نکته

پروتئین محصول ژن B فقط در **برخی** یاخته‌های مغز موش ماده **تولید** می‌شود و با **نقش تنظیمی** در فعال شدن **برخی** آنزیم‌ها یا ژن‌های درون همان یاخته تأثیر می‌گذارد. ولی دقت کنید که این ژن در هر یاخته هسته‌دار بدن **موش نر و ماده** وجود دارد ولی فقط در برخی یاخته‌های هیپوتالاموس موش ماده **بیان** می‌شود (*آن هم در موقع تولید نوزادان!*).

خلاصه واکنش‌های صفت غریزی موش مادر



آزمایش پژوهشگران روی ژن B موش‌های ماده


«نبود مراقبت مادری در موش مادر دارای ژن جهش یافته B»

پژوهشگران، ژن B را در مغز **برخی** موش‌های **ماده** دچار جهش کردند تا **غیرفعال** شود، این موش‌های ماده **قدرت وارسی** نوزادان متولد شده خود را از دست **ندادند** ولی به دلیل عدم فعالیت ژن B و عدم تولید پروتئین خاص، این موش‌ها بقای فرزندان خود را **نادیده** می‌گرفتند و عکس‌العملی برای دور شدن آن‌ها انجام ندادند. در حقیقت محققین متوجه شدند که **این رفتار اساساً به صورت ژنی رخ می‌دهد** و عدم فعالیت ژن سبب عدم بروز این رفتار خاص می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) **وارسی** فرزندان توسط موش‌های ماده تحت کنترل ژن B **نمی‌باشد** ولی بروز فرایندهای **پیچیده** پس از وارسی نوزادان، به کمک ژن B صورت می‌گیرد.

خلاصه فعالیت دانشمندان روی ژن B:

استفاده از عوامل جهش‌زا ← جهش در ژن B و غیرفعال کردن آن در برخی یاخته‌های مغز موش ماده ← موش ماده قادر به وارسی فرزندان و انتقال اطلاعات می‌باشد. ← ژن B جهش یافته نمی‌تواند در اثر اطلاعات وارسی فرزندان فعال شود یعنی بیان نمی‌شود. ← صفت غریزی مراقبت از فرزندان صورت نمی‌گیرد.

۲) رفتارهای درونی بدن جانوران مثل تولید هورمون‌ها در اثر تغییرات قند، نمک و... برای **حفظ هومئوستازی** نمونه‌ای از رفتارهای غریزی می‌باشند.

۳) همهٔ رفتارهای غریزی به‌طور کامل هنگام تولد در جانور ایجاد نشده‌اند و به تدریج به کمک یادگیری تغییراتی در آن‌ها ایجاد می‌شود. (*در ادامه به بررسی تغییرات و اصلاحات رفتارهای غریزی می‌پردازیم.*)

تست ۱ **اساس رفتار آدم مصنوعی (روبات) به رفتاری شباهت بیشتری دارد که .....**

۱) در همهٔ افراد گونه به شکل یکسان دیده می‌شود.
۲) در آن یک محرک بی‌اثر به شرطی تبدیل می‌شود.
۳) یک پاسخ دائمی را به محرک بی‌خطر حذف می‌کند.
۴) پاسخی در اثر پاداش به جانور داده می‌شود.

پاسخ ۱ در رفتار آدم مصنوعی (*روبات*) به دستگاه اطلاعاتی داده می‌شود که باعث می‌شود روبات در شرایط خاص، رفتار خاصی را از خود نشان دهد. این رفتار کاملاً غریزی می‌باشد و فقط مانند رفتار غریزی با اطلاعات ژنتیکی می‌باشد که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم!

◀ گزینه‌های (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب بیانگر یادگیری‌های مختلف مثل شرطی شدن کلاسیک، عادی شدن و شرطی شدن فعال می‌باشد (*در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم!*).

تست ۲ **اولین مولکولی که در نتیجه بیان ژن B در ایجاد رفتار غریزی موش مادر تولید می‌شود، .....**

۱) در اثر فعالیت عوامل رونویسی و الگویی حاوی توالی‌های بیانه و میانه ایجاد شده است.
۲) ابتدا سبب فعال شدن پروتئین یا ژن‌های دیگری می‌شود.
۳) مستقیماً سبب راه‌اندازی فرایندهای پیچیده‌ای در مغز جانور می‌شود.
۴) دستورالعمل ساخت چند رشتهٔ پلی‌پپتیدی را برای یک پروتئین خاص نشان می‌دهد.

پاسخ ۱ در موش‌های ماده، با بیان ژن B ابتدا **پروتئینی** ایجاد می‌شود که سبب اثر بر سایر مولکول‌های زیستی شده و رفتار مراقبت از نوزادان را کامل می‌کند.

منظور سؤال بررسی مولکول mRNAای بوده است که مسئول ساخت پروتئین فوق می‌باشد، چون با بیان ژن، همواره ابتدا رنا تولید می‌شود.

mRNA یوکاریوتی توسط رنابسپاراز ۲ و به کمک عوامل رونویسی از قسمتی از DNA رونویسی شده است که آن قسمت حاوی توالی‌های میانه و بیانه (*ایسترون و اگزون*) بوده است (*درستی گزینهٔ (۱)*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): پروتئین تولید شده توسط mRNA فوق، سبب فعال شدن آنزیم‌ها و ژن‌های دیگری در مغز جانور می‌شود ولی دقت کنید که در این سؤال منظور mRNA بوده چون اولین مولکول حاصل از بیان ژن را خواسته است. / گزینهٔ (۳): راه‌اندازی فرایندهای پیچیده در مغز موش ماده برای ایجاد رفتار مراقبت از نوزادان در اثر فعال شدن آنزیم‌ها و سیستم‌های ژنی دیگری رخ می‌دهد. / گزینهٔ (۴): mRNA یوکاریوتی همواره مسئول ساخت یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد (*برخلاف برخی mRNAهای یوکاریوتی که پیام چند ژن مختلف مجاور را برای تولید چند رشتهٔ پلی‌پپتید منتقل می‌کنند*).

ب) یادگیری و رفتار

در بررسی رفتار غریزی مشاهده کردید که **افراد یک گونه** به یک محرک درونی (*گرسنگی جوجه کاکایی*) یا محرک بیرونی (*شناخت فرزندان موش ماده*)، یک پاسخ یکسان و مشخصی می‌دهند. تا مدت‌ها محققین تصور می‌کردند که رفتار غریزی تغییر نمی‌کند ولی وقتی نوک زدن جوجه‌های کاکایی، **بعد از دو روز** به منقار والد را بررسی کردند، به این نتیجه رسیدند که این جوجه دیگر مانند قبل به هر قسمتی از منقار والد نوک نمی‌زند. جوجه‌ها از روز دوم زندگی به بعد، به‌طور دقیق‌تر و بیشتر به **مناطق جلویی** و حساس‌تر منقار مادر نوک می‌زنند و مادر نیز **سریع‌تر** به غذادهی برای جوجهٔ خود پاسخ می‌دهد. **در حقیقت پژوهشگران دریافتند که رفتار غریزی جوجه کاکایی‌ها پس از دو روز تغییر کرده و اصلاح شده است.** در حقیقت جوجه کاکایی **یاد گرفته** است که رفتار خود را **تغییر دهد** تا پاسخ **مناسب‌تری** از والد دریافت کند. به این **تغییر رفتار** که در محیط‌های گوناگون و تجربه‌های مختلف بروز می‌کند **یادگیری** گفته می‌شود. **در حقیقت یادگیری تغییر رفتار نسبتاً پایداری است که در اثر تجربه حاصل شده است.**





نوک زدن جوجهٔ دو روزه به مناطق خاص از نوک والد

نوک زدن جوجهٔ تازه از تخم خارج شده به هر قسمت منقار والد

نکات مهم در بررسی تست‌ها

۱) **یادگیری**، **تغییر رفتار** به صورت **نسبتاً پایدار** در اثر **تجربه** می‌باشد!

۲) یادگیری به کامل شدن، شکل‌گیری و تغییر رفتار غریزی کمک می‌کند.

۳) در مثال جوجه کاکایی:
- نوک زدن به هر قسمتی از منقار والد توسط جوجه کاکایی تا دو روز اول ← رفتار غریزی
- نوک زدن **دقیق** به **جلوی** منقار والد برای گرفتن سریع‌تر غذا پس از دو روز ← تغییر رفتار (*یادگیری*)

انواع یادگیری یا تغییر رفتار:
۱) خوگیری (عادی شدن)
۲) شرطی شدن کلاسیک
۳) شرطی شدن فعال (آزمون و خطا)
۴) حل مسئله
۵) نقش‌پذیری

۱) خوگیری (عادی شدن)

تعریف: خوگیری یا عادی شدن، نوعی **تغییر رفتار** می‌باشد که جانور یاد می‌گیرد به تدریج به محرک‌های **تکراری بی‌اهمیت** که سود و ضرری برای ادامهٔ حیات او ندارد **پاسخ کمتری بدهد** و پس از مدتی ممکن است اصلاً پاسخی به آن محرک تکراری بی‌اهمیت ندهد. این نوع یادگیری از ساده‌ترین انواع یادگیری در هر جانوری می‌باشد.

نکته

در خوگیری، عدم پاسخ به محرک تکراری بی‌اثر، نشانهٔ یادگیری می‌باشد.

● مثال اول: خوگیری جوجه‌ها به افتادن برگ‌ها

جوجه پرندگانی که آشیانهٔ آن‌ها روی درخت قرار دارد با دیدن برگ‌های درختان که در بالای سر آن‌ها قرار دارند که در حال به زمین افتادن می‌باشند، ابتدا **به دلیل ترس از صدمه دیدن سر خود یا ترس از وجود شکارچی، سر خود را پایین می‌آورند و آرام می‌مانند**، با این کار به این محرک (افتادن و حرکت برگ‌ها) پاسخ می‌دهند. این جوجه‌ها وقتی پس از مدتی **می‌بینند** که افتادن برگ‌ها هر روز انجام می‌شود و ضرری برای آن‌ها ندارد، به تدریج یاد می‌گیرند که به آن‌ها پاسخ ندهند. چون بالاخره هر عملی، حرکتی یا پاسخی به محرک، نیازمند صرف انرژی بوده و جوجه با این کار مقداری از انرژی خود را بیهوده از دست می‌دهد. با تکرار افتادن برگ‌ها، پاسخ جوجه پرندگان **کاهش** یافته و پس از مدتی این محرک برای آن‌ها **عادی** می‌شود و جانور دیگر به آن پاسخی نمی‌دهند. با این کار انرژی خود را بیهوده مصرف نمی‌کنند و از این انرژی در فعالیت‌های حیاتی دیگر بهره می‌گیرند.

نکته

از فصل یک یازدهم به یاد دارید که سازش گیرنده‌های حسی (بجز درد) نیز سبب عدم مصرف انرژی بیهوده می‌شود. دقت کنید که سازش گیرنده‌ها رفتار غریزی است ولی خوگیری نوعی یادگیری می‌باشد.

● مثال دوم: خوگیری (عادی شدن) کلاغ‌ها به مترسک‌های مزارع

باغبانان در مزارع، اغلب مترسک‌هایی در جهات مختلف قرار می‌دهند تا کلاغ‌ها و سایر پرندگان با دیدن آن‌ها به مزارع آسیب نرسانند. اگر هر از گاهی جهت این مترسک‌ها یا پوشش آن‌ها را تغییر ندهند، مشاهده می‌شود که پس از مدتی، پرندگان مهاجم متوجه بی‌ضرر بودن این مترسک‌ها می‌شوند و به آن‌ها خو می‌گیرند و حتی روی آن مترسک‌ها می‌نشینند که در ادامه به مزرعه نیز آسیب می‌رسانند. در این مثال عدم ورود کلاغ‌ها به درون مزارع دارای مترسک، نشان دهندهٔ عدم خوگیری و رفتار غریزی ترس از دشمن آن‌هاست (شکل ۲) ولی وقتی با وجود مترسک‌ها، کلاغ‌ها به سمت مزرعه و مترسک می‌روند، نشانهٔ خوگیری و عادی شدن آن برای پرنده می‌شود که سبب تغییر رفتار کلاغ‌ها شده است (شکل ۳).

نکته

در برخی موارد باغبانان به مترسک‌ها قوطی‌های فلزی وصل می‌کنند تا با نشستن پرنده‌ها روی مترسک صدای قوطی دربیاید و پرنده با رفتار غریزی و ترس از دشمن فرار کند که البته این محرک نیز اگر تغییر نکند، پس از مدتی برای پرندهٔ مهاجم عادی شده و بی‌ضرر تلقی می‌شود.



(۱)
حملهٔ پرندگان به مزرعه بدون مترسک
(رفتار غذایابی)



(۲)
عدم حملهٔ پرندگان به مزرعه دارای مترسک
(رفتار غریزی ترس از خطر دشمن)
(هنوز مترسک برای آن‌ها عادی نشده است.)



(۳)
عادی شدن مترسک برای پرندگان
و حملهٔ آن‌ها به مزرعه

نکته مهم

در خوگیری، جانور می‌آموزد که به برخی محرک‌ها پاسخ ندهد و با چشم‌پوشی از محرک‌های بی‌اهمیت، انرژی خود را صرف فعالیت‌های مهم حیاتی کند.

● مثال سوم: خوگیری (عادی شدن) در بی‌مهرگان

شقایق‌های دریایی، کیسه‌تنانی با **بازوهای دهانی** هستند که در صورت تماس مکانیکی اجسام خارجی، این بازوها به انقباض درمی‌آیند. این بازوها یا نقش سمی برای مهاجمان دارند و یا در تغذیه از آن‌ها استفاده می‌کنند. بازوها در اطراف منفذ دهانی قرار دارد که با **حرکت مداوم آب** نیز دچار تکانه‌های مکانیکی می‌شوند ولی چون این حرکت آب، **تکراری** (دائمی) **و بی‌ضرر** می‌باشد، دیگر بازوهای جانور به آن پاسخ نمی‌دهند و منقبض نمی‌شوند. در حقیقت جانور به این حرکات تکراری موج آب خو گرفته است و این حرکات برای این جانوران عادی شده است.

نکته

بازوهای شقایق دریایی با حرکت اجسام درون آب و به صورت انعکاسی (غیرآگاهانه) منقبض می‌شوند ولی پس از مدتی به محرک‌های بی‌خطر یا یادگیری عادی شدن دیگر انقباض یا رفتار انعکاسی نشان نمی‌دهند. (*این مطلب در فعالیت چند صفحه جلوتر کتاب آمده است.*)

نکته مهم

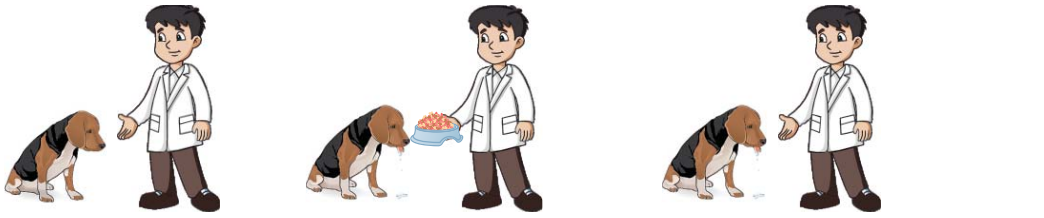
انعکاس‌های نخاعی در مهره‌داران یا انعکاس بازوهای شقایق دریایی، نوعی رفتار غریزی می‌باشند ولی **عدم انعکاس** بازوهای شقایق دریایی در اثر حرکت مداوم آب نوعی یادگیری عادی شدن می‌باشد. دقت کنید که انعکاس‌های نخاعی در مهره‌داران نمی‌توانند عادی شوند یعنی این رفتار غریزی مهره‌داران تحت یادگیری قرار نمی‌گیرد و تغییر رفتاری در آن مشاهده نمی‌شود.

۲) شرطی شدن کلاسیک

برای فهمیدن این نوع یادگیری ترجیح می‌دهم که اول مثالی از دو آزمایش پاولوف بزنم و سپس تعریف این یادگیری را به صورت علمی بیان کنم.

● آزمایش اول پاولوف

محققی روسی به نام **پاولوف**، روی رفتار سگ گرسنه آزمایش جالبی انجام داد. وی مشاهده کرد که این سگ به‌طور **غریزی** یا **طبیعی** با دیدن غذا (*پودر گوشت*) یا احساس بوی آن، به ترشح بزاق خود می‌افزاید (*حتماً یادتونه که مرکز ترشح پیاز مغزی بود اون هم از طریق اعصاب خودمختار!*). تا اینجای کار **دیدن غذا** یا **بوی غذا** یک محرک **طبیعی** بود و ترشح بزاق نیز یک رفتار **غریزی** بود. پاولوف هر روز این کار را تکرار می‌کرد و پس از مدتی متوجه شد که پس از چند روز، سگ با دیدن پاولوف نیز، حتی اگر غذا آورده نشود، باز هم ترشح بزاق آن زیاد می‌شود. در این حالت قیافهٔ پاولوف از یک **محرک بی‌اثر** به یک **محرک شرطی** تبدیل شده بود. چون در ابتدا بزاق سگ با دیدن پاولوف ترشح معمولی داشت. در حقیقت سگ به این محرک (*دیدن پاولوف*) پاسخی نمی‌داد ولی وقتی پس از مدتی **دیدن پاولوف با غذا دادن همراه شد**، سگ **ارتباطی بین این دو محرک بی‌اثر** (*قیافه پاولوف*) **و طبیعی** (*آوردن غذا*) برقرار کرد و با دیدن پاولوف شروع به ایجاد یک رفتار غریزی (*طبیعی*) یعنی ترشح بزاق برای گرفتن غذا پرداخت. در این حالت، **قیافه پاولوف را یک محرک شرطی به حساب می‌آوریم** ولی پاسخ سگ، مانند قبل، همان افزایش ترشح بزاق می‌باشد.



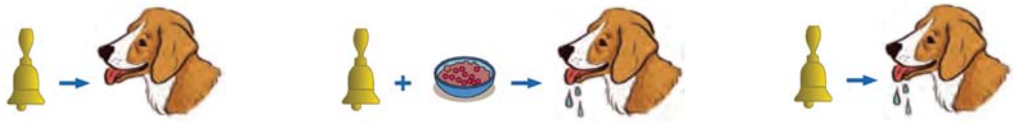
(۱) انسان محرک بی‌اثر است.

(۲) غذا محرک طبیعی است.

(۳) انسان از محرک بی‌اثر به محرک شرطی تبدیل شده است که سگ برای گرفتن غذا به آن پاسخ طبیعی افزایش ترشح بزاق می‌دهد.

● آزمایش دوم پاولوف

پاولوف در آزمایش دیگری هم‌زمان با دادن پودر گوشت به سگ، **زنگی** را در اتاق به صدا می‌آورد و هر روز این کار را تکرار کرد. سگ در ابتدا صدای زنگ را به عنوان **یک محرک بی‌اثر** در نظر می‌گرفت و فقط پاسخ غریزی یا طبیعی خود را با دیدن پودر گوشت (*محرک طبیعی*) بروز می‌داد. پس از مدتی سگ بین **صدای زنگ و پودر گوشت** ارتباط برقرار کرد چون متوجه شد که همواره صدای زنگی ایجاد می‌شود و سپس غذا آورده می‌شود. پس از مدتی وقتی پاولوف غذایی برای سگ نیاورد ولی صدای زنگ را ایجاد کرد، متوجه شد که سگ شروع به افزایش ترشح بزاق کرد و منتظر غذا ماند. **در این حالت، صدای زنگ دیگر یک محرک بی‌اثر نیست و به محرک شرطی تبدیل شده است**، چون سبب ایجاد پاسخ کامل یا یک رفتار در جانور شده است. در حقیقت جانور به این محرک (*صدای زنگ*) یک **تغییر رفتار** داده است که ابتدا به آن پاسخی نمی‌داده است ولی در حال حاضر به آن پاسخ می‌دهد.



صدای زنگ محرک بی‌اثر است.

پودر گوشت محرک طبیعی است.

صدای زنگ محرک شرطی شده است.

در شرطی شدن کلاسیک پاسخ جانور به محرک طبیعی و شرطی شده، **مشابه** می‌باشد.

نکته

در رفتار شرطی شدن کلاسیک، اگر صدای زنگ، پس از مدتی با غذا همراه نشود، این‌بار سگ خو می‌گیرد و متوجه می‌شود که صدای زنگ با غذا رابطه‌ای ندارد. در این حالت یادگیری عادی شدن (*خوگیری*) رخ می‌دهد و دیگر به صدای زنگ، پاسخی نمی‌دهد.

حالا به راحتی تعریف شرطی شدن کلاسیک را به‌طور علمی بررسی می‌کنیم:

● تعریف شرطی شدن کلاسیک

در این یادگیری، **جانور** در ابتدا به یک **محرک بی‌اثر** پاسخی نمی‌دهد و فقط به محرک طبیعی، پاسخی غریزی و مناسب می‌دهد. پس از مدتی که محرک بی‌اثر با یک محرک طبیعی همراه می‌شود، **جانور بین آن‌ها ارتباطی برقرار می‌کند.** در این حالت محرک بی‌اثر برای او یک **محرک شرطی** به حساب می‌آید و جانور به آن محرک شرطی، همان پاسخ غریزی یا طبیعی را می‌دهد که به محرک طبیعی می‌داده است.

آزمایش پاولوف	محرک بی‌اثر	محرک طبیعی	محرک شرطی شده	پاسخ طبیعی	پاسخ سگ به محرک بی‌اثر	پاسخ سگ به محرک شرطی
آزمایش اول	دیدن پاولوف	دیدن غذا یا بوی غذا	دیدن پاولوف	ترشح زیاد بزاق	عدم پاسخ	ترشح زیاد بزاق
آزمایش دوم	صدای زنگ	دیدن غذا یا بوی غذا	صدای زنگ	ترشح زیاد بزاق	عدم پاسخ	ترشح زیاد بزاق

● تفاوت یادگیری خوگیری (عادی شدن) با شرطی شدن کلاسیک

۱) در خوگیری، جانور ابتدا به محرک اولیه پاسخ می‌دهد ولی پس از مدتی به تدریج به آن محرک بی‌اثر پاسخ نمی‌دهد، ولی در شرطی شدن کلاسیک، جانور ابتدا به محرک اولیه بی‌اثر پاسخ نمی‌دهد **ولی وقتی این محرک به صورت شرطی درآمد** به آن یک پاسخ **طبیعی** می‌دهد.

۲) در خوگیری، محرک اولیه که سبب ایجاد رفتار می‌شد به محرک بی‌اثر تبدیل می‌شود که جانور به آن پاسخ نمی‌دهد ولی در شرطی شدن کلاسیک، محرک اولیه در ابتدا بی‌اثر بوده و جانور به آن پاسخ نداده ولی پس از مدتی به عنوان یک **محرک شرطی** تبدیل شده و سبب تغییر رفتار جانور می‌شود.

۳) در خوگیری، جانور در ابتدا به محرک بی‌خطر و محرک طبیعی مؤثر، **پاسخ یکسانی** می‌دهد. مثلاً کلاغ‌های مهاجم به مزرعه، هم به مترسک‌ها و هم به باغبان‌ها پاسخ می‌دهند و از ترس آن‌ها به مزرعه حمله نمی‌کنند ولی پس از مدتی به محرک بی‌خطر (*مترسک*) پاسخ نمی‌دهند در حالی که در شرطی شدن کلاسیک برعکس این موضوع انجام می‌شود یعنی در ابتدا جانور به محرک بی‌اثر پاسخ نمی‌دهد. در حقیقت جانور، ابتدا فقط نوعی پاسخ غریزی به محرک طبیعی می‌دهد ولی پس از مدتی در اثر آموزش و یادگیری، جانور به محرک بی‌اثری که حالا به صورت شرطی درآمده است نیز، پاسخ طبیعی می‌دهد. (*دقت کنید که این محرک وقتی شرطی می‌شود و سبب پاسخ جانور می‌شود، دیگر یک محرک بی‌اثر تلقی نمی‌شود!*)

● مثالی آشنا از زنگ مدرسه برای شرطی شدن کلاسیک

در روز اولی که به مدرسه رفتیم اگر نمی‌دانستیم که صدای زنگ، علامت رفتن به کلاس است، به آن پاسخی نمی‌دادیم ولی پس از مدتی وقتی صدای زنگ با صدا و داد و بیداد ناظم مدرسه همراه شد، بین این دو محرک (*صدای زنگ و داد و بیداد ناظم*) ارتباطی برقرار کردیم و فهمیدیم که زنگ مدرسه خیلی هم بی‌اثر نیست و دیگر برای ما شرطی شده است. **در زمانی که نسل ما مدرسه می‌رفت!** پس از مدتی با صدای زنگ و بدون داد و بیداد ناظم مدرسه به سرعت به سر کلاس خود می‌رفتیم!! چون صدای زنگ برای ما شرطی شده بود!!! (*یادش بخیر!!! ولی رفتار شما دانش‌آموزان نسل جدید را نمی‌دانم!*)

۳) شرطی شدن فعال (آزمون و خطا)

این یادگیری نوع دیگری از **تغییر رفتار** در اثر **شرطی** شدن می‌باشد که به **آزمون و خطا** معروف است و ما در طول زندگی خود بسیار زیاد با این نوع یادگیری در ارتباط هستیم. در این یادگیری، جانور ابتدا با یک محرکی روبه‌رو می‌شود که برای آن بی‌اثر یا بی‌تفاوت می‌باشد. در این حالت ممکن است جانور به‌طور تصادفی به آن محرک پاسخی بدهد و عکس‌العملی از رفتار خود ببیند. پس از مدتی جانور یاد می‌گیرد که پاسخ به این محرک برای او ممکن است سود یا زیانی داشته باشد. به همین دلیل **اگر رفتار او با سود بردن همراه باشد، آن کار یا رفتار را به‌طور عمدی تکرار می‌کند ولی اگر ضرر داشته باشد، به‌طور آگاهانه آن رفتار را تکرار نمی‌کند.** در زندگی روزمرهٔ خود بارها این نوع تغییر رفتار را انجام داده‌ایم. مثلاً بارها من تذکر می‌دهم که برای قبولی در کنکور یا موفقیت در آزمون‌ها لازم است که درسنامه‌ها را کامل بخوانید و تست‌ها را کامل بزنید و تحلیل کنید، ولی شما در ابتدا زیاد به این مطلب توجهی نمی‌کنید. بعد از شرکت در آزمون‌های آزمایشی می‌بینید که هرچه تست طرح می‌شود مفهوم آن یا نمونهٔ آن در درسنامه و تست‌های الگو بوده است☺. اگر از اول تصادفاً☺ به اهمیت آن پی برده بودید، چون نتیجهٔ خوبی در آزمون گرفته‌اید، این رفتار مثبت (*خواندن درسنامه‌ها و زدن تست زیاد*) که جنبهٔ پاداش داشته است را به‌طور آگاهانه ادامه می‌دهید ولی اگر قبلاً این مطالب را نمی‌خواندید و تست‌ها را نمی‌زدید، چون نتایج فاجعه‌باری در کنکورهای مختلف گرفته‌اید دیگر آن کار را تکرار نمی‌کنید و رو به خواندن همهٔ مطالب کتاب الگو می‌آورید!!! (*شوخی جدی!!!*)

نکته مهم

در شرطی شدن فعال، برخلاف شرطی شدن کلاسیک، **محرک شرطی وجود ندارد** و این خود جانور است که با انجام فعالیتی و گرفتن پاداش یا تنبیه، به صورت شرطی درآمده است. در حقیقت در شرطی شدن کلاسیک، جانور بین **دو نوع محرک** (*بی‌اثر و طبیعی*) ارتباط برقرار می‌کند ولی در نوع شرطی شدن فعال، جانور **بین رفتار خود و نتیجه آن** ارتباط برقرار می‌کند و سپس عملی را تکرار کرده یا سبب عدم تکرار آن می‌شود.

● مثال‌هایی از آزمون و خطا یا شرطی شدن فعال

۱) آزمایش اسکینر

اسکینر دانشمندی آمریکایی بود که به مطالعهٔ رفتارشناسی جانوران و یادگیری آن‌ها می‌پرداخت. اسکینر ابتدا موش گرسنه‌ای را در جعبه‌ای قرار داد که فقط در آن **یک اهرم** وجود داشت. این اهرم در ابتدا برای موش یک **محرک بیرونی بی‌اثر** بود. موش از فرط گرسنگی به در و دیوار جعبه دست و پا می‌زد و به‌طور **تصادفی** اهرم درون جعبه را نیز فشار می‌داد. با هر بار فشار دادن تصادفی اهرم، مقداری غذا وارد جعبه می‌شد و مشکل گرسنگی موش با گرفتن غذا یا همان **پاداش گرفتن** برطرف می‌شد. بعد از چند بار تکرار این رفتار و فشار دادن تصادفی اهرم، موش به ارتباطی بین فشار دادن اهرم و پاداش دریافت غذا پی برد. سپس اسکینر مشاهده کرد که از این به بعد موش‌های گرسنه به صورت **آگاهانه و عمدی**، اهرم را فشار می‌دهند تا غذا بگیرند. در حقیقت موش آموخت که اگر اهرم را فشار بدهد، پاداش می‌گیرد و غذا به دست می‌آورد و اگر اهرم را فشار ندهد، تنبیه شده و گرسنگی آن بیشتر می‌شود. پس به انجام رفتاری ادامه داد که پاداش دریافت کند.



«موش در جعبه اسکینر (آزمون و خطا)»

۲) مطالعه روی پرنده‌ها و پروانه‌های مونارک تهوع‌آور



پرندگانی در طبیعت مشاهده شدند که در محیطی زندگی می‌کنند که برخی پروانه‌های مونارک اطراف آن‌ها **سمی** می‌باشند. عده‌ای از این پرندگان به خوردن این نوع پروانه می‌پرداختند و سریع مسموم می‌شدند. در اثر این مسمومیت، پرنده‌ها دچار تهوع و استفراغ می‌شدند و دیگر از خوردن این پروانه‌ها صرف نظر می‌کردند. این تجربه نیز نوعی آزمون و خطا (*شرطی شدن فعال*) می‌باشد که با پاسخ منفی یا تنبیهی که در اثر مسمومیت در پرنده‌ها ایجاد شد، ادامهٔ شکار این پروانه‌ها متوقف شد.

۳) مطالعه روی جانور مورد استفاده در سیرک از نوع آزمون و خطا

در سیرک‌ها نیز مشاهده می‌شود که جانور یاد می‌گیرد، اگر رفتاری مثل رد شدن از حلقه آتش را انجام دهد، پاداش می‌گیرد (*غذا می‌گیرد*) ولی اگر رد نشود، دچار تنبیه می‌شود (*مثلاً تنبیه می‌خورد*). با ادامهٔ این واکنش‌ها جانور سعی می‌کند از حلقه حتی خطرناک رد شود تا پاداش بگیرد.

نکته

در **شرطی شدن فعال**، جانور در مورد موضوع یا مشکلی که با آن روبه‌رو شده است، **نقش فعال** ایفا می‌کند و آن مورد را اگر پاداش گرفت، تکرار کرده و اگر تنبیه شد، تکرار نمی‌کند. در حقیقت **تغییر رفتار** در اثر قدرت فعالیت جانور صورت می‌گیرد. در حالی که در شرطی شدن کلاسیک، این محیط است که باعث تغییر رفتار جانور می‌شود. مثلاً در آزمایش پاولوف، صدای زنگ به عنوان محرک محیطی، همراه با آوردن غذا بود. یعنی جانور، فقط نقش در دادن پاسخ مناسب غریزی به آن داشت. ولی در شرطی شدن فعال خود جانور در ایجاد زنگ یا فشار دادن اهرم نقشی را بازی می‌کند که مستوجب پاداش یا تنبیه شود.

نکته

انواع یادگیری شرطی شدن جانوران:
- شرطی شدن کلاسیک ← جانور بین محرک بی‌اثر و محرک طبیعی ارتباط برقرار می‌کند.
- شرطی شدن فعال:
  - جانور بین رفتار تصادفی خود و نتیجه آن ارتباط برقرار می‌کند.
  - جانور پس از مدتی به صورت **عمدی** (*آگاهانه*) سبب بروز پاسخ یا عدم ادامه رفتار می‌شود.

تست ۳ **واکنش افراد، در روش یادگیری شرطی شدن فعال، چیست؟**

۱) بدون استفاده از آزمون و خطا، رفتار مناسبی نشان می‌دهد.
۲) بین تجارب گذشته ارتباط برقرار نموده و استدلال می‌نماید.
۳) در موقعیتی خاص با کمک تجربه، رفتار مشخصی را ترک می‌نماید.
۴) حتی با وجود دریافت پاداش، از تکرار مجدد رفتار خودداری می‌نماید.

پاسخ ۳ در روش یادگیری شرطی شدن فعال، جانور با آزمون و خطا یاد می‌گیرد که در **موقعیت خاص**، رفتار مشخصی انجام دهد یا اینکه آن را انجام ندهد (*دقت کنید که برنامه‌ریزی آگاهانه و استدلال ویژه یادگیری بعدی یعنی حل مسئله است*).

۴) حل مسئله

این یادگیری برخلاف سایر یادگیری‌ها در همهٔ جانوران رخ نمی‌دهد چون نیاز به **فعالیت آگاهانه** و قدرت **استدلال** و برنامه‌ریزی دارد. در یادگیری حل مسئله، جانور برای حل مسئله‌ای که **جدیداً** با آن مواجه شده است، بین **تجربه‌های گذشتهٔ** خود و موقعیت جدید ارتباطی برقرار می‌کند تا **آگاهانه** و **بدون آزمون و خطا**، همان بار اول مشکل خود را حل کند. برای درک بهتر این موضوع لازم است مثال بعد را به‌طور دقیق بررسی کنید.

● مثال اول: حل مسئله شامپانزه‌ها برای رسیدن به موزهای آویزان در اتاق

در آزمایشی، شامپانزه‌ای را در اتاقی قرار دادند که تعدادی موز از سقف آن آویزان بود. این شامپانزه قبلاً در این وضعیت قرار نگرفته بود ولی تجربه‌هایی در جنگل برای رسیدن به اجسام روی درخت با پریدن به سمت آن‌ها یا بالا رفتن به کمک اجسام مختلف را داشته است. در این اتاق چند جعبهٔ چوبی نیز قرار داده بودند. ابتدا شامپانزه با استفاده از تجارب قدیمی چند بار به سمت بالا پرید تا بتواند موزها را بگیرد ولی موفق نشد. سپس به صورت **آگاهانه** استدلال کرد که شاید با قرار دادن جعبه‌ها روی هم، بتواند راحت‌تر به موزها برسد. در حقیقت شامپانزه مورد نظر بین تجربیات گذشتهٔ خود (*بالا پریدن و یا بالا رفتن از جایی برای رسیدن به غذا*) و این مسئلهٔ جدید (*عدم رسیدن به غذا با پرش*) ارتباط برقرار کرد و به این نتیجه رسید که با بالا رفتن از جعبه‌ها می‌تواند مسئلهٔ خود را حل کند نه با پریدن!



«حل مسئله در شامپانزه»

● مثال دوم: حل مسئله شامپانزه در محیط طبیعی

رفتارشناسان متوجه شدند که رفتار حل مسئله در **محیط طبیعی** نیز رخ می‌دهد. مثلاً شامپانزه‌ها برای خوردن موریانه‌های مخفی شده در لانه یا منافذ روی درختان، **برگ**های شاخه‌های **نازک** درختان را در لانهٔ موریانه‌ها فرو می‌کنند تا موریانه‌ها از لانه خارج شوند و شامپانزه موفق به خوردن موریانه‌ها شود.

در مورد طبیعی دیگری مشاهده کردند که شامپانزه‌هایی که مایلند از **میوه‌هایی با پوستهٔ سخت** استفاده غذایی کنند، با تکه‌های چوب و سنگ به عنوان **سندان و چکش** به این میوه‌ها می‌کوبند تا با شکسته شدن پوستهٔ آن‌ها، از آن‌ها استفاده غذایی کنند.

● مثال سوم: حل مسئله در کلاغ‌ها (پرندگان)

در این مثال با توجه به شکل روبه‌رو، کلاغ سیاهی را مشاهده می‌کنید که روی شاخهٔ درختی نشسته است و در فکر خوردن تکه گوشتی می‌باشد که به نخ روی شاخه آویزان است. پس از مدتی رفتارشناسان مشاهده کردند که این کلاغ به‌طور **آگاهانه** هر بار **بخشی** از نخ را با **منقار** خود بالا می‌آورد و **پنجه** پای خود را روی آن قسمت نخ قرار می‌دهد و آن‌قدر این عمل را تکرار می‌کند تا به گوشت آویزان دست یابد.



«کلاغ با جمع کردن نخ تکه گوشت را بالا می‌کشد.»

● تفاوت یادگیری شرطی شدن فعال (آزمون و خطا) با حل مسئله

در آزمون و خطا، جانور چند بار عملی را انجام می‌دهد که اگر به‌طور **اتفاقی** (*تصادفی*) باعث تشویق یا موفقیتی شد، آن رفتار را تکرار می‌کند و اگر تنبیه شد یا نتیجه مثبتی نگرفت آن عمل را تکرار نمی‌کند. ولی در حل مسئله، جانور به‌طور **آگاهانه** فکر می‌کند و با استفاده از تجارب قبلی در موردهای مشابه (*نه یکی!*) به سمت حل مسئله یا مشکل جدید خود می‌رود. به‌طور مثال به شما یک مسئلهٔ ژنتیک می‌دهند که دقیقاً مثل آن را قبلاً دیده‌اید، در این حالت با آزمون و خطا در پی حل آن می‌روید. بدیهی است که این مسئله را از راهی حل می‌کنید که قبلاً به پاسخ رسیده‌اید و راه‌های اشتباه را تکرار نمی‌کنید ولی اگر **مسئلهٔ جدید** ژنتیک به شما بدهند که عیناً آن را حل نکرده‌اید ولی بین مسائل قبلی و داده‌های این مسئلهٔ جدید ارتباط برقرار کرده‌اید، حالا با حل مسئله و با برنامه‌ریزی آگاهانه این مشکل را حل می‌کنید. **در حقیقت در حل مسئله جانور بدون آزمون و خطا، مشکل جدید خود را حل می‌کند و رفتار مناسبی بروز می‌دهد ولی در شرطی شدن فعال، جانور با آزمون و خطا رفتار مناسب را تکرار می‌کند.**

نکته

به‌طور معمول رفتار حل مسئله در جانوران **پست‌تر** که قشر مخ چین خورده ندارند صورت نمی‌گیرد یا بسیار به سختی صورت می‌گیرد. چون این رفتار نیازمند حل مسئله یا حل مشکل به صورت آگاهانه و با کمک برنامه‌ریزی و استدلال فکری می‌باشد.

۵) یادگیری از نوع نقش‌پذیری

آخرین نوع **یادگیری**، **نقش‌پذیری** می‌باشد که **ارتباط تنگاتنگی با رفتارهای غریزی دارد**. شکل‌گیری این یادگیری در زمانی محدود به نام **دوره حساس** صورت می‌گیرد که در ادامه خواهیم دید این دوره حساس و نقش‌پذیری جانوران در **بقای جانور** و **حفظ آن گونه** نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند.

● نقش‌پذیری جوجه غازها به اجسام متحرک

مطالعات رفتارشناسان روی جوجه غازها، نشان داده است که این جوجه‌ها پس از بیرون آمدن از تخم قادرند به‌طور **غریزی** به دنبال **نخستین** جسم‌های متحرکی که می‌بینند، حرکت کنند. در حقیقت آن‌ها **سیستم‌های ژنتیکی** دارند که با حرکت نخستین اجسام یا افراد متحرک اطراف خود، این ژن‌ها بیان شده و سبب حرکت جانور می‌شود تا به دنبال آن جسم متحرک (*مادر یا دشمن یا توپ فوتبال*) بروند. حال اگر این اجسام متحرک دشمنان آن‌ها مثل گربه‌ها باشند، خب بدیهی است که دنبال گربه می‌روند که حتی می‌تواند سبب مرگ آن‌ها و به مخاطره افتادن بقای نسل آن‌ها شود. **معمولاً مادر** این جوجه‌ها در موقع بیرون آمدن آن‌ها از تخم در اطراف آن‌ها می‌باشند و نخستین جسم متحرک در اطراف جوجه‌ها، همان حرکت مادر آن‌ها می‌باشد. جوجه‌ها به دنبال مادر خود راه افتاده و پیوندی یا ارتباطی به نام **نقش‌پذیری** را طی **چند ساعت** بعد از تولد خود انجام می‌دهند. با این نقش‌پذیری، جوجه‌ها **علاوه** بر اینکه معمولاً مادر خود را می‌شناسند، می‌توانند با نقش‌پذیری، رفتارهای **اساسی** دیگر از جمله **غذایابی** یا **دوری از دشمنان** را از مادر فرامی‌گیرند.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها


«نقش‌پذیری جوجه غازها نسبت به مادر خود»



۱) نقش‌پذیری در دوره حساس، با بیشترین موفقیت انجام می‌شود ولی در خارج این دوره اثر نقش‌پذیری کمتر می‌شود. مثلاً مشاهده می‌شود جوجه‌هایی که در چند ساعت اولیه تولد، جسم متحرکی در اطراف خود نداشته‌اند، برای ادامهٔ زندگی دچار مشکل می‌شوند.

۲) در مثال جوجه غازها، در صورت نبود مادر، ممکن است نقش‌پذیری آن‌ها از جسم یا جاندار متحرک دیگری صورت بگیرد که تحت مراقبت قرار گرفتن آن‌ها و بقای آن‌ها را به خطر بیاندازد.

۳) **نکته بیشتر بدانید ولی جالب:** لورنز محققی بود که در آزمایشی روی جوجه غازها متوجه شد که اگر **خودش** به جای مادر جوجه‌ها به محض تولد آن‌ها حرکت کند، جوجه‌ها به لورنز نقش می‌پذیرند و پس از مدتی در صورت وجود مادر نیز، این جوجه‌های نقش‌پذیر یافته، به سمت لورنز حرکت می‌کنند نه به سمت مادر خود!!

۴) در رفتار جوجه غازها، حرکت **اولیه** آن‌ها به دنبال هر جسم متحرکی، نوعی صفت **غریزی** است ولی حرکت آن‌ها پس از دوره حساس که فقط به دنبال شیء یا جانور مشخصی می‌روند نوعی یادگیری از نوع نقش‌پذیری می‌باشد.

۵) نقش‌پذیری در برخی پستانداران مثل **برخی بره‌ها** نیز همانند جوجه غازها صورت می‌گیرد. به‌طوری که بره‌هایی که مادر خود را از دست داده‌اند، به دنبال انسان پرورش دهنده آن‌ها حرکت می‌کنند و تمایلی برای ارتباط با سایر گوسفندها ندارند.

۶) امروزه انسان‌ها از رفتار نقش‌پذیری جانوران در **حفظ گونه‌های در خطر انقراض** استفاده می‌کنند. مثلاً در مورد جوجه‌هایی که والدین خود را از دست داده‌اند و به‌طور طبیعی از صدای آن‌ها نقش می‌گیرند، پژوهشگران سعی می‌کنند صدای پرندگان **همان گونه** را برای آن‌ها پخش کنند تا به بقای آن‌ها کمک کنند یا مثلاً محققین ظاهر خود را شبیه آن پرندگان می‌کنند تا به نقش‌پذیری و بقای آن‌ها کمک کرده باشند.

۷) نقش‌پذیری می‌تواند با محرک‌های حرکتی یا صوتی یا شکل افراد صورت گیرد.

تست ۴ **هر نوع یادگیری که ..... در بروز آن نقش دارد، امکان ندارد که .....**

۱) شرطی شدن جانور - با برنامه‌ریزی آگاهانه به حل مسئلهٔ جدید پرداخته باشد.

۲) حل مشکل جانور - با یک حرکت تصادفی آغاز شده باشد.

۳) فقط اساس ژنی - به تغییر رفتار بیانجامد.

۴) دورهٔ حساس آموزش - با رفتار بین گونه‌های مختلفی انجام شود.

پاسخ ۱ برنامه‌ریزی آگاهانه برای حل مسئلهٔ **جدید** در زندگی جانور، در مورد یادگیری **حل مسئله** رخ می‌دهد که از نوع شرطی شدن نمی‌باشد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۲): در آزمون و خطا، برخورد تصادفی با اهرم درون جعبهٔ اسکینر سبب حل مشکل گرسنگی جانور می‌شود. / گزینهٔ (۳): رفتاری که فقط براساس ژنی رخ دهد، نوعی یادگیری به حساب نمی‌آید. / گزینهٔ (۴): دورهٔ حساس در نقش‌پذیری وجود دارد که می‌تواند مثلاً در بره‌ها و آدمی به صورت جمعی رخ داده و به برهٔ تازه متولد شده نقش‌پذیری بدهد.

برهم‌کنش غریزه و یادگیری در بروز رفتار

برای درک بهتر این پاراگراف کتاب مطالب را به صورت تیتروار گفته‌ام!

۱) **یادگیری** برای **بقای** جانوران لازم است چون محیط آن‌ها **همواره در حال تغییر** می‌باشد.

۲) **بیشتر** رفتارهای جانوران محصول برهم‌کنش **ژن‌ها** و **اثر محیطی** می‌باشد که جانور در آن زندگی می‌کند.

۳) معمولاً رفتارهای غریزی در ابتدا به‌طور کامل بروز نمی‌کند ولی **پس از مدتی** در اثر کسب تجربه و رابطهٔ فرزند با والد، به تدریج شکل‌گیری این رفتارهای غریزی کامل می‌شود. مثلاً نوک زدن جوجه کاکایی‌ها به منقار والد برای درخواست غذا ابتدا به صورت دقیق نمی‌باشد ولی پس از **دو روز** این رفتار در اثر تجربه و سرعت پاسخ والد در غذادهی، کامل‌تر و دقیق‌تر می‌شود.

۴) جانوران برای بروز رفتارهای خود، ژن یا ژن‌های خاصی دارند ولی هم‌زمان با رشد جانور، تجربه به دست آمده توسط جانوران در تکامل رفتار نقش دارد که با یادگیری باعث تغییر رفتار و اصلاح آن رفتار غریزی می‌شوند.

۵) انجام **پاسخ مناسب** به تغییرات محیطی، شرط لازم برای سازگاری جانور با محیط می‌باشد.

۶) برهم‌کنش اثر ژن‌ها و یادگیری محیطی، امکان سازگار شدن جانور با تغییرات محیطی را ایجاد می‌کند.

درسنامه

گفتار ۲ انتخاب طبیعی و رفتار

همان‌طور که در ابتدای گفتار قبل بررسی کردیم، پژوهشگران علم رفتارشناسی، در بررسی‌های خود در مورد رفتارهای مختلف همواره با **دو نوع پرسش** روبه‌رو هستند. ۱) پرسش‌های **چگونه‌ای**؟ ۲) پرسش‌های **چرایی**؟

◀ پاسخ به پرسش‌های چگونه‌ای با بررسی‌های **ژنی** و **عملکرد** بدن جانور و **رشد و نمو** یا با بررسی مکانیسم کنترل‌کنندهٔ آن و نوع محرک آن به آسانی جواب داده می‌شود مثلاً اگر سؤال کنند که رفتار جوجه کاکایی **چگونه** شکل می‌گیرد؟ در پاسخ می‌گوییم به دلیل **بیان ژن**، به **صورت غریزی** آن‌ها این رفتار را بروز می‌دهند.

◀ **پرسش‌های چرایی** در یک رفتار سبب ایجاد بررسی‌های مختلفی در علم رفتارشناسی در زمینهٔ **تکامل** می‌شود. همان‌طور که گفتیم چرایی یا **دلیل** انجام یک رفتار جانوری، معمولاً به خاطر **شانس بهتر بقا و سپس ایجاد نسل بعد** می‌باشد. در حقیقت انتخاب طبیعی جانورانی را برمی‌گزیند که بتوانند در **شرایط متغیر محیطی**، پاسخ‌های **مناسبی** بروز دهند تا شانس **بقا و زادآوری** خود را بالا ببرند.

نکته

در رفتارشناسی، پژوهشگران برای پاسخ به پرسش‌های **چرایی**، اثر **انتخاب طبیعی** در شکل دادن به رفتار را بررسی می‌کنند و به نقش **سازگارکنندگی** رفتارهای گوناگون برای آن جانور می‌پردازند. محققین دریافتند، هر رفتاری که شکل می‌گیرد قطعاً برای بروز آن انرژی مصرف می‌شود و جانور برای آن هزینه‌ای (انرژی) مصرف می‌کند. حال باید دید که در قبال این انرژی مصرفی، جانور چه سودی از رفتار خود می‌برد؟

نکته مهم

جانوران همواره سعی دارند در جهتی رفتار کنند که **حداقل هزینه و انرژی** را صرف کنند ولی **بیشترین سود خالص** را از رفتار خود دریافت کنند تا این رفتار برای آن‌ها **اقتصادی‌تر و بهینه‌تر** باشد. ولی دقت کنید که **هدف نهایی** همهٔ رفتارهای جانوری **بقای بیشتر و زادآوری بهتر** می‌باشد.

بررسی چرایی رفتار خارج کردن پوستهٔ تخم‌های جوجه کاکایی‌ها توسط پرنده کاکایی والد

در پرندهٔ کاکایی، مشاهده می‌شود که وقتی جوجه‌ها از تخم خارج می‌شوند، پرندهٔ والد **سریعاً در مدت کوتاهی** پوسته‌های **تخم شکسته شده** را از لانه خارج می‌کند تا از مجاور جوجه‌ها و آشیانه دور باشند. **ولی چرا این رفتار رخ می‌دهد؟** (*راستی دقت کردید رنگ جوجه‌های کاکائی در ابتدا چقدر با مادر متفاوت است؟*)

پژوهشگران دریافتند که رفتار خارج کردن پوسته‌های خالی تخم، **یک رفتار غریزی** می‌باشد ولی چرایی این رفتار جالب است. به راستی چرا پرندهٔ والد پوسته‌های تخم را از لانه خارج می‌کند؟ مگر تا به حال این پوسته‌ها در آشیانه وجود نداشته‌اند؟ پژوهشگران برای پاسخ به این سؤال آزمایشی را طراحی کردند.

آن‌ها تعدادی تخم‌های **مرغ خانگی** را شبیه تخم‌های کاکایی رنگ‌آمیزی کردند و **برخی از** آن‌ها را در کنار پوسته‌های تخم خالی شکسته شدهٔ کاکایی‌ها در آشیانه قرار دادند. سپس مشاهده کردند که کلاغ‌ها ابتدا با دیدن **سطح داخلی سفید** پوستهٔ تخم‌های شکستهٔ کاکایی به این محل آمده‌اند و در ادامه، **بیشتر** تخم‌های مرغ‌های خانگی را که در کنار پوسته‌ها بود را پیدا کردند و خوردند. با این آزمایش، محققین متوجه شدند که پرنده‌های کاکایی بالغ با دور کردن پوسته‌های تخم **شکسته شده** از لانهٔ خود، سبب عدم ورود کلاغ‌ها به آشیانه می‌شوند تا جوجه‌های آن‌ها بقای بیشتری پیدا کنند و احتمال شکار شدن آن‌ها کمتر شود.

دقت کنید که پرنده‌های کاکایی در فرصت **کوتاهی** و با صرف انرژی کمی، پوسته تخم‌ها را خارج می‌کنند ولی این رفتار در **بقای زاده‌های** آن‌ها نقش حیاتی دارد.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) کلاغ‌ها در این رفتار با یادگیری **شرطی شدن فعال**، ضمن دیدن سفیدی درون پوسته تخم خالی، به دنبال غذا می‌روند. (*پوسته تخم خالی، نوعی محرک می‌باشد که باعث پرداش یعنی به دست آوردن غذا شده بود.*)

۲) در حقیقت با این آزمایش مشخص شد که برای پرندگان مهاجم، **علامتی حسی** مثل **سفیدی درون تخم‌های شکسته**، یک محرک می‌باشد که به سمت آن آشیانه بیایند تا به شکار جوجه‌های کاکایی یا تخم‌های شکسته نشده بپردازند. در این آزمایش کلاغ‌ها، بیشتر تخم‌های مرغ خانگی را شکار کردند چون محققین فقط **تعدادی** از آن‌ها را در کنار پوستهٔ تخم‌ها قرار داده بودند (*نه همهٔ آن‌ها را!*) و پرندهٔ مهاجم فقط بیشتر تخم‌هایی را پیدا کرده بود که کنار پوسته‌های شکسته شده قرار داشتند. یعنی تخم‌هایی از مرغ خانگی که کنار پوسته‌های خالی سفید نبودند، توسط کلاغ‌ها شناسایی و خورده نشده بودند.


«تخم‌های کاکایی»


«جوجه‌های کاکایی»

۳) نتیجهٔ آزمایش این بود که رفتار سازگارکننده کاکایی‌های بالغ (*بیرون انداختن تخم‌های شکسته شده!*)، سبب کاهش احتمال شکار شدن جوجه‌ها شده و بقای جوجه‌ها نیز سبب بقای گونهٔ کاکایی‌ها می‌شود. **در حقیقت این رفتار سازگار، با سازوکار انتخاب طبیعی افزایش بقا و زادآوری فرد و گونه را تضمین می‌کند.** (*این رفتار در حقیقت به نفع پرنده کاکایی و زاده‌هایش می‌باشد.*)

۴) در حالت عادی و پس از خروج محیط توسط کاکایی والد، جوجه‌ها و تخم‌های کاکایی شکسته شده، در میان علف‌های اطراف آشیانه به خوبی استتار می‌شوند و توسط پرندگان شکارچی شناسایی نمی‌شوند. البته رنگ **سفید داخل** پوستهٔ تخم‌های شکسته بسیار مشخص می‌باشد و راهنمایی برای آمدن پرندگان مهاجمی مثل کلاغ‌ها به این نواحی می‌شود. (*به هر حال شانس هم در اینکه استتار تخم‌های شکسته شده به خوبی انجام شود و در اینجا مؤثر است.*)

۵) رفتار سازگارکنندهٔ خروج پوسته‌های خالی توسط کاکایی‌های بالغ، یک رفتار **غریزی** بوده که در همهٔ آن‌ها به یک شکل دیده می‌شود.

تست ۵ **در آزمایش قرار دادن تخم‌های مرغ خانگی در لانه پرنده‌های کاکایی کدام مورد زیر نادرست نمی‌باشد؟**

۱) تخم‌های طبیعی هر دو گونه به دلیل رنگ یکسان سبب اطلاع‌رسانی به کلاغ‌ها می‌شوند.

۲) کلاغ‌ها همهٔ تخم‌مرغ‌های خانگی کنار پوسته‌های شکسته را خوردند.

۳) پژوهشگران پوسته تخم‌های شکسته را در کنار همهٔ تخم‌های مرغ خانگی قرار ندادند.

۴) رنگ سفید سطح بیرونی تخم‌های شکسته محرک آمدن کلاغ‌ها به لانه می‌باشد.

پاسخ ۳ پژوهشگران تخم‌های مرغ خانگی را که شبیه تخم‌های کاکایی رنگ کرده بودند را در لانهٔ پرندگان کاکایی قرار دادند و سپس در کنار **تعدادی** از این تخم‌های مرغ خانگی، پوستهٔ تخم‌های شکستهٔ کاکایی را قرار دادند.

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۴): کلاغ‌های مهاجم با مشاهدهٔ رنگ سفید **داخل** پوستهٔ شکستهٔ تخم کاکایی‌ها به سمت آشیانهٔ آن‌ها می‌روند. / گزینهٔ (۲): کلاغ‌ها **بیشتر** تخم مرغ‌هایی را که کنار پوسته‌های تخم کاکایی قرار داشتند را پیدا کردند و آن‌ها را خوردند. در حقیقت اگر پوستهٔ تخم شکسته در کنار تخم‌ها نبود، کلاغ موفق به پیدا کردن تخم‌ها نمی‌شد.

تست ۶ **کدام عبارت، در مورد عمل رفتارشناسان درست است؟**

۱) از نظر پاسخ به پرسش‌های مربوط به تکامل یک رفتار ناتوان هستند.

۲) دریافتند که فهم و درک انتخاب طبیعی در پاسخ به پرسش‌های چرایی کمک می‌کند.

۳) در بروز شکل نهایی هر رفتار، همواره سهم بخش ژنی و بخش یادگیری را برابر می‌دانند.

۴) معتقدند، رفتارهای متنوع جانوران فقط به هدف موفقیت در حفظ بقای آن‌ها انجام می‌گیرد.

پاسخ ۲ انتخاب طبیعی با برگزیدن صفاتی که شانس بقا و زادآوری افراد را زیاد می‌کند، در پاسخ به پرسش‌های تکاملی یا چرایی عمل می‌کند (*نادرستی گزینهٔ (۱) و درستی گزینهٔ (۲)*).

- در بروز یک رفتار، سهم ژنی یا یادگیری آن با رفتار دیگر متفاوت می‌باشد (*نادرستی گزینهٔ (۳)*).
- رفتارهای جانوری برای هدف موفقیت در حفظ بقا و تولیدمثل می‌باشد (*نادرستی گزینهٔ (۴)*).

بررسی برخی رفتارهای جانوری

۱) رفتارهای زادآوری (*تولیدمثلی*) / **۲)** رفتارهای غذایابی / **۳)** رفتار قلمروخواهی / **۴)** رفتارهای مهاجرتی / **۵)** خواب زمستانی و رکود تابستانی (*رفتارهای سازگاری*)

۱) رفتارهای زادآوری (تولیدمثلی)

یکی از مهم‌ترین رفتارهای جانوری که زمینه‌ساز **بقای گونه** می‌باشد، **رفتار تولیدمثلی** آن‌ها می‌باشد. بدون شک هر جانوری تمایل دارد در ایجاد خزانهٔ ژنی نسل بعد جامعه خود سهیم باشد. از طرفی می‌دانیم که در تولیدمثل جنسی، به‌طور معمول هر والد **فقط نیمی** از ژن‌ها و صفات فرزندان را به ارث می‌رساند و نصف دیگر را والد دیگری تأمین می‌کند (*بجز در بکرزایی*). به همین دلیل **انتخاب جفت مناسب‌تر** برای داشتن نسل بعد بهتر و سازگارتر از اصول رفتار تولیدمثلی می‌باشد که در این قسمت به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

نکته

در زادآوری (*تولیدمثلی*) دو رفتار بسیار مهم وجود دارد، یکی **انتخاب جفت** می‌باشد و دیگری **نوع نظام تولیدمثلی** است که در ادامه آن‌ها را مطالعه می‌کنیم. دقت کنید که **معیار موفقیت تولیدمثل** در جانوران به **داشتن بیشترین تعداد زاده‌های سالم** بستگی دارد که به‌طور صد در صد به موفقیت در شیوهٔ انتخاب جفت و نظام تولیدمثلی وابسته می‌باشد.

الف) رفتار انتخاب جفت در زادآوری

در جانوران مختلف، نقش والد نر و ماده برای زادآوری، انرژی مصرف شده و زمان صرف کرده هرکدام برای پرورش زاده‌ها متفاوت می‌باشد. در **اغلب گونه‌ها**، بیشتر این انرژی‌ها را **معمولاً والد ماده** هزینه می‌کند. رفتارهایی مثل نگهداری از تخم‌ها و جوجه‌ها در پرندگان یا مدت بارداری و شیردهی در پستانداران ماده از فعالیت‌های بسیار پرهزینه و پرانرژی هستند که **والد ماده** صرف می‌کند. به همین دلیل والدی که انرژی بیشتری هزینه می‌کند، قطعاً برای خود حق انتخاب بیشتر و دقیق‌تری قائل است، چون می‌خواهد انرژی خود را بیهوده صرف نکند. همان‌طور که ذکر کردیم، هر والد در تأمین نصف ژن‌های فرزند دخالت دارد، پس والدی که انرژی زیادی برای نگهداری و پرورش نسل بعد مصرف می‌کند باید در انتخاب جفت خود بسیار دقت کند تا نصف دیگر ژن‌ها که از همسر خود گرفته است نیز لایق و شایسته مصرف این انرژی باشد. به همین دلیل رفتار تولیدمثل، معمولاً برای **جانوران ماده** هزینهٔ بیشتری دارد و در اغلب موارد، آن‌ها باید انتخاب جفت کنند و نری را انتخاب کنند که ژن‌ها و ویژگی‌های بارز بهتری داشته باشد تا موفقیت تولیدمثلی آن‌ها برای داشتن تعداد فرزندان سالم بیشتر، تضمین شود.

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱ جانوران انتخاب کنندهٔ جفت، که اغلب ماده‌ها می‌باشند، **ابتدا** ویژگی‌های افراد متعدد در جنس مخالف خود را بررسی می‌کنند که **معمولاً** این انتخاب از طریق **بررسی ظاهری** جفت صورت می‌گیرد.

۲ جانوران انتخاب کننده می‌دانند که باید جفتی را انتخاب کنند که ویژگی‌های ظاهری بهتری (*مثل شاخ در گوزن نر یا دم زیبای طاووس نر یا اندام بزرگ‌تر در جیرجیرک ماده*) داشته باشند، **چون هر ویژگی ظاهری سازگارتر در اثر ژن‌های سازگارتر و تغذیهٔ مناسب‌تر تولید شده است.** پس احتمال انتقال این ژن‌ها و صفات دیگر مفید آن‌ها نیز به نسل بعد وجود دارد. در این حالت جانور انتخاب کننده تقریباً مطمئن می‌شود که بقای فرزندان آن‌ها تضمین بهتری دارد. بدیهی است، فرزندی که این صفات را از والدین خود کسب کند، شانس بقای بیشتری در محیط خواهد داشت و این صفات را می‌تواند نسل به نسل نیز منتقل کند.

۳ **رقابت بین انتخاب‌شوندگان:** به‌طور کلی جانورانی که توسط جفت خود انتخاب می‌شوند، با هم به رقابت می‌پردازند. آن‌ها سعی می‌کنند صفات سازگارتری (*چشمگیرتری*) را بروز دهند تا سریع‌تر توسط جفت خود انتخاب شوند. از آنجایی که معمولاً والد ماده انتخاب جفت را انجام می‌دهد، **رقابت برای انتخاب شدن، اغلب بین نرها صورت می‌گیرد** و **نری که صفات سازگارتر بیشتری دارد، سریع‌تر انتخاب می‌شود.**

۴ لازم به توجه است که، والدی که صفت سازگارتر و چشمگیرتر بیشتری دارد، قطعاً ژن‌های مفید و مناسبی در ایجاد آن صفات داشته است. از طرفی در مقابل عوامل طبیعت در رقابت‌ها تا لحظه جفت‌گیری سازگار بوده و در جامعه باقی مانده است. این موضوع سبب **سلامت جفت دیگر** و **تضمین بقای زاده‌ها** می‌شود. دقت کنید که در برخی موارد، بروز صفات سازگارتر، سبب در معرض دید قرار گرفتن جانور می‌شود و احتمال شکار شدن آن توسط سایر جانوران را افزایش می‌دهد. به همین دلیل بروز صفات سازگارتر، پرهزینه‌تر نیز خواهد بود ولی جاندار این مسئله را قبول می‌کند چون سبب افزایش شانس تولیدمثل آن می‌شود. از طرفی مثلاً طاووسی که در ادامه می‌خوانید و پر گسترده‌تری دارد، بیشتر در معرض دید شکارچیان قرار می‌گیرد ولی وقتی این طاووس نر با تمام شرایط محیط و چشم حسود! تا لحظه لقاح باقی مانده است، نشان دهندهٔ داشتن ژن‌های سازگارتر و موفق دیگری می‌باشد که آن را در جامعه برتر کرده است.

مثال‌هایی از رفتار انتخاب جفت

I) انتخاب جفت توسط طاووس ماده

در طبیعت، طاووس‌های نر و ماده **ظاهری متفاوت** دارند. طاووس نر در **فصل غیر تولیدمثلی** دمی با پرهای **تقریباً مشابه و هم‌اندازه** با ماده‌ها دارد ولی در فصل تولیدمثل، **دم** طاووس **نر دارای پرهای پر نقش و نگاری** می‌شود و برای جلب طاووس ماده آن‌ها را مانند بادبزن می‌گستراند. با این کار این طاووس در رقابت با سایر نرها پیروز است و خود را بهتر در معرض دید طاووس‌های ماده قرار می‌دهد. **طاووس ماده ابتدا نرهای مختلف را ارزیابی می‌کند** و نری را به عنوان جفت انتخاب می‌کند که رنگ درخشان‌تر و لکه‌های چشم مانند **بیشتری** روی پرهای دم خود داشته باشد. با این کار از یک طرف در نسل بعد به احتمال زیاد ژن‌های مفیدی از والد نر به فرزندان آن‌ها می‌رسد و از طرفی این درخشان بودن پرهای والد نر نشان دهندهٔ **سلامت وی و داشتن ژن‌های مفید دیگر** و **کیفیت مناسب تغذیه** برای بیان ژن‌های آن بوده است. پس طاووس ماده با این انتخاب مناسب، سلامت و نگهداری **خود و زاده‌هایش** را در زندگی مشترک با این طاووس نر تا حدی تضمین می‌کند. دقت کنید که این طاووس نر در نگهداری فرزندان به همسر خود (*والد ماده*) **کمک مستقیمی نمی‌کند** ولی با نگهداری از قلمرو، منابع غذایی، محل لانه و پناهگاه و ایمنی آن‌ها از شکارچی، به‌طور **غیرمستقیم** به بقای ماده و بچه‌ها کمک می‌کند.

اثر منفی بروز صفات سازگار برای برخی جانوران نر

صفات چشمگیرتر ظاهری در طاووس نر یا همان صفات سازگارتر، از یک طرف شانس **انتخاب شدن** جانور برای تولیدمثل را بالا می‌برد و سبب پیروزی وی در رقابت با سایر نرها می‌شود ولی از طرف دیگر دقت کنید که بروز این ویژگی‌های ظاهری، سبب در معرض دید قرار گرفتن آن‌ها توسط دشمنان و شکارچی‌ها می‌شود و از این طریق ممکن است شانس بقای این جانور را کم کند. در هر صورت **معمولاً جانور نر هزینهٔ ایجاد این صفت پر خطر را با شانس بالای تولیدمثلی خود جبران می‌کند.** (*البته همان طور که گفتیم، صفات سازگارتر، فرموداً سبب بقای فرد نمی‌شود. بلکه شانس تولیدمثل آن جانور را زیاد می‌کند.*)

در مثال انتخاب جفت در طاووس‌ها، باید دقت کنید که ایجاد دم گسترده با پرهای درخشان، هم به دلیل وزن زیاد، حرکت جانور نر را دشوارتر می‌کند و هم آن را در برابر شکارچی‌ها آسیب‌پذیرتر می‌کند که **سبب کاهش احتمال بقای طاووس نر می‌شود** ولی در هر صورت آنقدر این ویژگی برای جانور نر ارزش داشته است که با تمام این مشکلات، این جانور به حفظ بقای خود در محیط پرداخته است و در تولیدمثل و انتخاب شدن توسط طاووس ماده نیز شرکت کرده است. پس زاده‌های آن نیز علاوه بر ژن پرهای درخشان، سایر ژن‌های سازگارتر را نیز به ارث می‌برند.

نکته

صفات سازگارتر و مناسب‌تر برای زادآوری مثل ویژگی ظاهری دم زینتی طاووس نر یا شاخ گوزن نر را **صفات ثانویه جنسی** می‌گویند که هم در هنگام جفت‌یابی ماده‌ها، سبب انتخاب زودتر آن‌ها می‌شود و هم در رقابت با سایر نرها آن‌ها را موفق‌تر می‌کند. (*البته همان طور که گفتیم، صفات سازگارتر، فرموداً سبب بقای فرد نمی‌شود. بلکه شانس تولید مثل آن جانور را زیاد می‌کند.*)



«لکه‌های چشم مانند دم طاووس نر ← در فصل تولیدمثل بروز بیشتری دارد.»

انتخاب جفت **اغلب** توسط ماده‌ها صورت می‌گیرد، ولی این ویژگی در همهٔ جانوران عمومیت ندارد!! (می‌گی نه برو مثال بعدی رو بخون!)

II) انتخاب جفت توسط جیرجیرک نر

همان‌طور که گفتیم در **اغلب** گونه‌ها، این **جانور ماده** می‌باشد که جفت خود را انتخاب می‌کند و هزینهٔ بیشتری برای پرورش زاده‌های خود صرف می‌کند ولی همیشه این‌چنین نیست! مثلاً در **نوعی** جیرجیرک، جانور نر هزینهٔ بیشتری در تولیدمثل می‌پردازد. بدیهی است که در این حالت حق جانور نر است که جفت خود را انتخاب کند. در این گونه، **جیرجیرک نر** دارای کیسه‌ای در بدن خود می‌باشد که بخش قابل توجهی از وزن بدنش را شامل می‌شود. جانور نر در این کیسه مقدار زیادی **مواد غذایی** ذخیره می‌کند. در فصل تولیدمثل، جانور نر اسپرم‌های (*زامه‌های*) زیادی را وارد کیسه کرده و **کیسه را که شامل اسپرم‌ها و مواد غذایی است** وارد بدن جیرجیرک ماده می‌کند. سپس جانور ماده برای تشکیل تخم‌ها، باید تخمک‌های خود را وارد کیسه کند و سپس با استفاده از مواد مغذی درون کیسه (*که جانور نر تصیه کرده بود!!!*) به رشد و نمو جنین‌های خود بپردازد. (*لقاح در این گونه‌ها مانند هر جانور خشکی‌زی به صورت داخلی می‌باشد ولی والد نر، غذای جنین‌ها را تأمین می‌کند.*)

در این مثال، جانور نر در بین جیرجیرک‌های ماده به ارزیابی و بررسی می‌پردازد و **به اندازهٔ بدن آن‌ها** توجه ویژه‌ای می‌کند. چون هر جیرجیرک ماده‌ای که بزرگ‌تر باشد، هم **تخمک‌های بیشتری** تولید می‌کند و هم فضای مناسب‌تری برای گرفتن کیسهٔ لقاحی مورد نظر دارد. در این مثال برخلاف طاووس‌ها، در بین جیرجیرک‌های ماده، **رقابت برای انتخاب شدن** ایجاد می‌شود و جیرجیرک نر سعی می‌کند ماده‌ای را انتخاب کند که صفت سازگارتر یعنی **اندازهٔ بدن بزرگ‌تری** داشته باشد. با این مکانیسم انرژی جیرجیرک نر در ذخیرهٔ غذا و انتقال کیسه‌های حاوی اسپرم و غذا به هدر نمی‌رود. در نهایت موفقیت تولیدمثلی خود در داشتن تعداد زاده‌های سالم بیشتر را تضمین می‌کند.



«جیرجیرک ماده‌ای که کیسه دارای اسپرم و مواد مغذی (بخش سفید رنگ) را دریافت کرده است»

نکته

جیرجیرک‌های گونه معرفی شده، **لقاح داخلی** دارند و تخم‌ها را درون کیسه‌ای تولید می‌کنند که از جانور نر به آن‌ها رسیده است و سپس با رشد و نمو جنین در این کیسه، زاده‌های زنده به دنیا می‌آورند. دقت کنید که در این گونه اسپرم توسط کیسهٔ محتوی غذا وارد بدن جانور ماده می‌شود و سپس با تخمک‌ریزی والد ماده، این کیسه حاوی تعداد زیادی تخم لقاح یافته می‌شود.

نکته

همهٔ جیرجیرک‌ها از روش کیسهٔ لقاحی و اندازهٔ ماده در جفت‌یابی استفاده نمی‌کنند. در گفتار بعد می‌آموزید که در برخی از جیرجیرک‌ها نیز صدای والد نر سبب جفت‌یابی توسط والد ماده می‌شود.

مقایسهٔ رفتار انتخاب جفت در طاووس و جیرجیرک بررسی شده

گونه طاووس	گونه جیرجیرک خاص
جانور ماده جفت خود را انتخاب می‌کند.	جانور نر جفت خود را انتخاب می‌کند.
جانور نر صفت سازگارتر ایجاد می‌کند.	جانور ماده صفت سازگارتر ایجاد می‌کند.
جانور ماده هزینهٔ بیشتری صرف پرورش زاده‌ها می‌کند.	جانور نر هزینهٔ بیشتری صرف پرورش یافتن و رشد زاده‌ها می‌کند (*با غذا و...*).
بین نرها برای انتخاب شدن، رقابت رخ می‌دهد.	بین ماده‌ها برای انتخاب شدن، رقابت رخ می‌دهد.

یادآوری

از زیست یازدهم به خاطر دارید که روی پاهای جلویی جیرجیرک‌ها، یک محفظهٔ هوا وجود دارد که پردهٔ صماخ روی آن کشیده شده است. به این پرده، گیرنده‌های مکانیکی متصل است که با لرزش پردهٔ صماخ در اثر امواج صوتی تحریک می‌شوند و سبب دریافت صدا برای جانور می‌شوند.

ب) رفتار تولیدمثلیِ نوع نظام جفت‌گیری

در قسمت‌های قبل گفتیم که در زادگیری، دو نوع رفتار نقش مهمی دارند، یکی **انتخاب جفت** که آن را بررسی کردیم و حالا به بررسی دیگر رفتار تولیدمثلی یعنی **نوع نظام جفت‌گیری** از نظر چندهمسری یا تک‌همسری می‌پردازیم.

جانوران نر معمولاً یکی از دو نظام جفت‌گیری تک‌همسری یا چندهمسری دارند. این نظام به نوع شراکت والدین در پرورش زاده‌های خود ارتباط دارد. دقت کنید که ماده‌ها اغلب باوفا و سیستم تک‌همسری دارند و در اینجا بحث در مورد نرهای دارای تک‌همسری یا چندهمسری می‌باشد!!!

I) نظام جفت‌گیری چندهمسری

در این جانوران، یکی از والدین در پرورش و نگهداری زاده‌ها نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند. این رفتار در **بیشتر پستانداران نر** دیده می‌شود که جانور ماده هزینهٔ زیادی در نگهداری و پرورش نوزادان خود دارد. البته در برخی پرندگان مانند **طاووس‌های نر** نیز سیستم چندهمسری وجود دارد. والد نر در این گروه‌ها به‌طور **غیرمستقیم** به جفت خود در رشد فرزندان کمک می‌کند. کمک جانور نر می‌تواند از طریق نگهداری از قلمرو، حمل مواد غذایی، ایجاد لانهٔ بزرگ‌تر و محافظت از جمعیت در برابر شکارچی‌ها صورت بگیرد که سبب **افزایش موفقیت تولیدمثلی هر دو جانور نر و ماده می‌شود.**

نکته

در نظام چندهمسری توجه به نکات زیر ضروری می‌باشد:

الف) **یکی از والدین** جفت خود را ارزیابی و سپس انتخاب می‌کند که این والد هزینهٔ بیشتری در پرورش زاده‌ها مصرف می‌کند (*اغلب پستانداران ماده، طاووس ماده و جیرجیرک نر دارای کیسهٔ هاگی*).

ب) والد ماده در گونهٔ طاووس‌ها یا بیشتر پستانداران یا والد نر در نوعی جیرجیرک جفت خود را انتخاب می‌کند.

ج) در این نظام، صفات سازگارتر توسط والد انتخاب شونده بروز می‌یابد و رقابت بین آن‌ها صورت می‌باشد. مثلاً در طاووس‌ها، جانور نری که سیستم چندهمسری دارد به ایجاد صفت چشمگیر یا سازگار لکه‌های درخشان در پرهای دم خود می‌پردازد و با نرهای دیگر برای انتخاب شدن به رقابت می‌پردازد.

● II) نظام جفت‌گیری تک‌همسری

بیشتر پرندگان مثل قمری خانگی سیستم جفت‌گیری تک‌همسری (*یک‌جایی*) دارند. در این گونه‌ها **هر دو والد** هزینه‌های پرورش زاده‌ها را تقریباً به صورت **مساوی** می‌پردازند و **جانور نر و ماده در انتخاب جفت نقش و سهم برابری دارند.**

مثلاً در پرندگان، پس از لقاح، والد ماده باید تخم را در بدن خود ایجاد کرده و سپس آن‌ها را از بدن خارج کند و روی آن‌ها بخوابد تا دمای مناسب به همهٔ آن‌ها برسد. در این مدت والد نر باید برای تغذیهٔ خود و والد ماده به دنبال غذایابی برود و آشیانهٔ بزرگ‌تری برای خانوادهٔ خود بسازد تا پس از تولد جوجه‌ها در آنجا با هم زندگی کنند. پس از تولد نیز معمولاً هر دو والد در غذا دادن به جوجه‌ها و رشد آن‌ها شرکت می‌کنند تا دوباره زمان آمیزش بین دو والد پیدا شود.

نکته

در جانورانی که نظام تک‌همسری دارند، صفات سازگارتر برای بقا و زادآوری در **هر دو والد** ایجاد می‌شود و رقابت برای انتخاب شدن نیز در هر دو جمعیت نرها و ماده‌ها رخ می‌دهد.

نظام چندهمسری	نظام تک‌همسری
در بیشتر پستانداران دیده می‌شود	در بیشتر پرندگان دیده می‌شود.
در پرندهٔ طاووس نر و جیرجیرک ماده دیده می‌شود.	در پرنده‌ای مثل قمری خانگی دیده می‌شود.
یک والد (*معمولاً ماده‌ها*) حق انتخاب جفت دارد و جفت خود را بررسی می‌کند.	هر دو والد حق انتخاب جفت دارند و هر دو همدیگر را بررسی می‌کنند.
یک والد در پرورش زاده‌ها سهم بسیار بیشتری دارد.	هر دو والد در پرورش زاده‌ها سهم برابر دارند.
والدی که انتخاب جفت نمی‌کند، به‌طور غیرمستقیم سبب موفقیت تولیدمثلی نر و ماده می‌شود.	هر دو والد در موفقیت تولیدمثلی نقش دارند.
رقابت برای انتخاب شدن بین والدهایی است که صفت سازگارتر دارند (*معمولاً نرها*).	رقابت برای انتخاب شدن و ایجاد صفت سازگارتر در هر دو نوع والد وجود دارد.

تست ۷ **در اغلب پستانداران ..... اغلب پرندگان، .....**

۱) همانند - انتخاب جفت را یک جنسیت انجام می‌دهد.

۲) برخلاف - نظام جفت‌گیری در ماده‌ها به صورت چندهمسری می‌باشد.

۳) برخلاف - جانور نر صفات سازگارتر و چشم‌گیرتری در محیط ایجاد می‌کند.

۴) همانند - والد ماده هزینهٔ بیشتری برای پرورش نوزاد می‌پردازد.

پاسخ ۳ در اغلب پستانداران، جانور نر صفات سازگارتری ایجاد می‌کند و توسط جنس ماده انتخاب می‌شود. در این گروه نرها سیستم جفت‌گیری چندهمسری دارند ولی در اغلب پرندگان، هر دو والد نر و ماده در پرورش جوجه‌ها و انتخاب جفت نقش دارند چون سیستم تک‌همسری دارند.

تست ۸ **کدام عبارت، در ارتباط با جانوران مهره‌دار صحیح است؟**

۱) انتخاب طبیعی، به رفتارهای گروهی هر گونه شکل می‌دهد.

۲) انتخاب طبیعی، صفاتی را برمی‌گزیند که همواره به نفع بقای هر فرد است.

۳) انتخاب جفت، همواره باعث ازدیاد صفات سازگارکننده جنسی در نرهای هر گونه می‌شود.

۴) انتخاب جفت، از عواملی است که سهم هر فرد را در ایجاد خزانهٔ ژنی نسل بعد مشخص می‌کند.

پاسخ ۴ انتخاب جفت سبب افزایش شانس تولیدمثلی و بالا بردن سهم هر فرد در خزانهٔ ژنی نسل بعد می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): برخی گونه‌ها رفتار گروهی دارند نه همهٔ آن‌ها! / گزینهٔ (۲): در برخی موارد، انتخاب طبیعی سبب کاهش بقای فرد می‌شود مثل رفتار زنبورهای کارگر که عقیم هستند و یا مانند افزایش احتمال از بین رفتن دم‌عصایی‌های نگهبان! که در گفتار بعد می‌خوانیم!/ گزینهٔ (۳): در برخی گونه‌ها مثل نوعی جیرجیرک، نرها انتخاب جفت می‌کنند و ماده‌ها صفات سازگارکننده ایجاد می‌کنند.

۲) رفتار غذایابی در جانوران

یکی از رفتارهایی که برای **حفظ بقای افراد** لازم می‌باشد، رفتار **غذایابی** آن‌ها می‌باشد. این رفتار حاصل **مجموعه رفتارهایی** است که جانور به جست‌وجوی غذا می‌پردازد تا آن را به دست بیاورد. در این مسیر خطرات جانبی حاصل از شکارچی آن‌ها، رقابت افراد دیگر بر سر آن منابع و... سبب مصرف شدن مقدار زیادی انرژی می‌شود. بدیهی است که غذاهای مختلف جانوران، اندازه‌های متفاوتی دارند و **غذاهای بزرگ‌تر انرژی بیشتری دارند** ولی از طرفی، **فراوانی** غذاهای بزرگ‌تر در محیط **کمتر** می‌باشد و امکان به دست آوردن یا شکار کردن این منابع غذایی نیز بسیار دشوار می‌باشد. به همین دلیل جانوران همواره سعی می‌کنند بین انرژی مصرفی خود برای به دست آوردن غذا و انرژی دریافتی از آن غذا **موازنه‌ای** برقرار کنند که به آن **غذایابی بهینه** می‌گویند. در حقیقت در غذایابی بهینه، **انرژی دریافتی خالص** از منبع غذایی مهم است نه مقدار انرژی آن منبع!

مهم‌ترین عامل در غذایابی برای یک جانور، میزان **انرژی دریافتی کارآمد** یا **خالص** می‌باشد. این انرژی از تفاضل مقدار انرژی دریافتی از غذا با میزان انرژی‌های مصرف شده برای غذایابی به دست می‌آید. تجربه نشان داده است که **انتخاب طبیعی** انواعی از رفتار غذایابی را برمی‌گزیند که میزان انرژی دریافتی کارآمدتری (خالص‌تری) داشته باشد تا جانور **در هر بار غذایابی بیشترین** انرژی خالص را دریافت کند. (*مثلاً اگر قرار است برای رسیدن به چلوکباب برگ، باید ۱۰ عدد مار بگیریم، جانور خوردن آب‌گوشت و نون بی‌خطر را ترجیح می‌دهد!*).

مجموعه انرژی‌های مصرف شده برای به دست آوردن غذا − انرژی دریافتی از غذا = انرژی کارآمد یا خالص

چند نکتهٔ مهم

۱) غذایابی بهینه، موازنه‌ای بین محتوای انرژی دریافتی از غذا و هزینه‌های پرداختی برای به دست آوردن غذا می‌باشد. جانور سعی می‌کند **انرژی خالص** بیشتری به دست بیاورد ولی از مصرف انرژی لازم برای به دست آوردن غذا بکاهد تا سود خالص بیشتری حاصل کند. (*لطفاً به مثال زیر توجه کنید تا کاملاً این موضوع را درک کنید!*)

۲) **غذایابی خرچنگ ساحلی**: همان‌طور که گفتیم برای جانوران، غذایی مناسب‌تر است که حاوی انرژی خالص یا کارآمد بیشتری باشد یعنی **غذایابی بهینه** را انجام دهند. مثلاً انواعی از خرچنگ‌های **ساحلی** وجود دارند که در اطراف آن‌ها صدف‌هایی با اندازهٔ کوچک، متوسط و بزرگ وجود دارد. مطمئناً صدف‌های بزرگ‌تر، انرژی بیشتری دارند ولی چون پوستهٔ آن‌ها بسیار سفت می‌باشد، خرچنگ باید برای شکستن پوستهٔ این صدف‌ها انرژی زیادی هزینه کند. به همین دلیل خرچنگ‌ها، **صدف‌های متوسط** را ترجیح می‌دهند و با این کار انرژی **خالص** یا کارآمد بیشتری به نسبت صدف‌های بزرگ به دست می‌آورند (*چون انرژی مصرفی آن‌ها برای شکستن پوستهٔ صدف‌های متوسط بسیار کمتر از شکستن صدف‌های بزرگ می‌باشد*).

۳) دقت کنید که انرژی صدف‌های بزرگ بیشتر از صدف‌های متوسط می‌باشد ولی هزینهٔ مصرفی برای شکار صدف‌های بزرگ آنقدر زیاد است که انرژی **خالص** حاصل شده از صدف‌های متوسط بیشتر از صدف‌های بزرگ می‌باشد.

۴) رفتارهای مختلف برای به دست آوردن غذا همیشه کم‌خطر نمی‌باشند. در برخی موارد رفتار غذایابی گونه‌ای در حالتی انجام می‌شود که جانوران در معرض شکار شدن و آسیب دیدن یا در محیط دارای رقابت زیاد قرار می‌گیرند. در این مواقع جانوران **رفتارهای غذایابی خود را تغییر می‌دهند** و در حالتی آماده و گوش به زنگ به غذایابی مشغول می‌شوند. **در حقیقت جانوران در شرایط سخت باید موازنه‌ای بین کسب بیشترین انرژی همراه با کمترین خطر برای به دست آوردن آن غذا برقرار کنند.**

نتیجه: جانوران در مناطق پرخطر، رفتار غذایابی خود را تغییر می‌دهند.

۵) گاهی جانوران غذایی مصرف می‌کنند که **محتوای انرژی چندانی ندارد** ولی این مواد برای سایر فعالیت‌های بدن نقش مهمی دارند (*مثل خوردن ویتامین‌ها به‌عنوان کوآنزیم برای فعالیت آنزیم‌ها*). مثلاً برخی طوطی‌ها در ساحل رود آمازون مقداری **خاک رس** می‌خورند که ارزش غذایی و محتوای انرژی ندارد ولی موادی درون خاک رس وجود دارد که مواد **سمی** حاصل از خوردن غذاهای **گیاهی** را در لولهٔ گوارش **طوطی‌ها** خنثی می‌کند. با این کار امکان انجام فرایندهای طبیعی در بدن طوطی بالاتر می‌رود.



«تغذیه طوطی‌ها از خاک رس در ساحل رود آمازون»

۳) رفتارهای جانوری از نوع قلمروخواهی

یکی دیگر از رفتارهایی که در جانوران دیده می‌شود، **قلمروخواهی** می‌باشد. در این رفتار، جانور **بخشی** از محدودهٔ جغرافیایی که در آن زندگی می‌کند را قلمرو خود می‌داند و از آن **در برابر جانوران هم‌گونه یا حتی افراد گونه‌های دیگر دفاع می‌کند** (*مثلاً دفاع هر خانواده از محیط زندگی خود یا حتی خانه و کشور خود برای حفظ هم‌نوع و یا جاندارانی که در آن زندگی می‌کنند نوعی قلمروخواهی است*). جانوران با رفتارهای **مختلفی** قلمروخواهی می‌کنند مثلاً برخی با **اجرای نمایش** و یا **تهاجم** به جانوران مزاحم دیگر از قلمرو خود دفاع می‌کنند و اعلام می‌دارند که این محل قلمرو اختصاصی آن‌هاست.

مثالی از قلمروخواهی: پرندگان معمولاً ابتدا با آواز خواندن سعی می‌کنند به سایر پرندگان مزاحم اعلام کنند که این منطقه قلمرو زندگی آن‌ها می‌باشد ولی اگر آوازخوانی مؤثر واقع نشود، ممکن است بین آن‌ها نزاع صورت گیرد و پرنده صاحب قلمرو به پرندهٔ مزاحم حمله کند. رفتار قلمروخواهی نیز با صرف **زمان و انرژی** همراه است. چون ممکن است به صدمه دیدن پرندهٔ صاحب قلمرو بیانجامد یا حتی با آواز خواندن پرنده‌ها، مکان زندگی و موقعیت آن‌ها برای شکارچیان برملا شود.



«قلمروخواهی در قو، سرخرود مازندران»

یادآوری

- گربه‌ها می‌توانند از طریق ترشح مادهٔ شیمیایی فرومون برای **تعیین قلمرو** خود استفاده کنند و از این طریق **به هم‌گونه** خود خبر دهند که این بخش از محیط قلمرو آن‌ها می‌باشد چون فرومون نوعی مادهٔ شیمیایی است که سبب ایجاد پاسخ **در بین افراد هم‌گونه** می‌شود (*فصل ۴ زیست یازدهم*).
- در فصل ۹ زیست یازدهم، آموختید که درخت آکاسیا، قلمرو زندگی نوعی از مورچه‌هاست. مورچه‌ها برای حفظ قلمرو، به جانوران ریز، گیاهان دارزی و حتی برخی پستانداران کوچک حمله می‌کنند تا از قلمرو و کیان خود دفاع کنند.

مضرات رفتار قلمروخواهی

این رفتار نیز مانند سایر رفتارها نیازمند **صرف انرژی** است و از طرفی رفتارهای قلمروخواهی، سبب در معرض دید قرار گرفتن در برابر شکارچی نیز می‌شود. مثلاً پرنده با آواز خواندن خود سبب مشخص کردن محل زندگی خود برای شکارچیان می‌شود یا حمله و تهاجم بین آن‌ها می‌تواند به آسیب دیدن جانور صاحب قلمرو نیز بیانجامد.

فواید رفتار قلمروخواهی

مشاهده کردید که رفتار قلمروخواهی، مضراتی دارد ولی با این حال جانوران معمولاً به **رفتار دفاع از قلمرو** می‌پردازند چون حفظ قلمرو **اختصاصی** سبب می‌شود که **استفاده از منابع غذایی راحت‌تر شده** و انرژی خالص دریافتی جانور بیشتر شود. کمبود جانور مزاحم در قلمرو، هزینه‌های مصرفی رفتار غذایابی بهینه را کاهش می‌دهد. همچنین امکان جفت‌یابی، دسترسی به پناهگاه برای حفظ شدن از اثر شکارچی‌ها نیز بیشتر و بهتر می‌شود.

تست ۹ در مورد رفتارهای مختلف برای قلمروخواهی، کدام عبارت نادرست نمی‌باشد؟

۱) هر گونه یک رفتار خاص برای قلمروخواهی انجام می‌دهد.
۲) در این رفتار برخلاف رفتار تولیدمثلی امکان آسیب دیدن افراد وجود ندارد.
۳) سبب افزایش موفقیت در رفتارهای غذایابی و تولیدمثلی می‌شود.
۴) این رفتار سبب دفاع در برابر هم‌گونهٔ خود برخلاف سایر گونه‌ها می‌شود.

پاسخ ۳ رفتار قلمروخواهی با کاهش حضور رقبا سبب مناسب‌تر شدن شرایط محیطی برای انتخاب جفت و غذایابی می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): برخی گونه‌ها رفتار قلمروخواهی مشابه و یکسانی مثل استفاده از فرومون دارند یا مثلاً با آواز خواندن به تعیین قلمرو می‌پردازند. / گزینهٔ (۲): امکان آسیب دیدن در هر رفتار جانوری به دلیل وجود رقابت وجود دارد. / گزینهٔ (۴): رفتار قلمروخواهی در برابر افراد هم‌گونه و سایر گونه‌ها رخ می‌دهد.

۴) رفتار مهاجرتی جانوران

مهاجرت، نوعی جابه‌جایی **طولانی** به صورت **رفت و برگشتی** می‌باشد که در **برخی** جانوران رخ می‌دهد. این رفتار را در فصل یک زیست دهم در مورد مونارک مطالعه کردید. **این رفتار، غریزی می‌باشد ولی یادگیری نیز در کامل کردن آن نقش دارد.** در حقیقت جانورانی که این رفتار غریزی را دارند، همراه با **تغییر فصل** و **نامساعد شدن شرایط محیط** و کاهش منابع مورد نیاز، مجبور می‌شوند به زیستگاه‌های مناسب‌تری برای تغذیه، بقا و زادآوری مهاجرت کنند.

نکته

بررسی روی سارها (*که به محیط گرم در زمستان مهاجرت می‌کنند*) نشان داده است که هرچه تجربهٔ مهاجرت جانوری نسبت به جانداری که نخستین‌بار است مهاجرت می‌کنند بیشتر باشد، بهتر و راحت‌تر، مسیر مهاجرت خود را تشخیص می‌دهند. در این مورد می‌توان گفت که جانور نخستین‌بار به صورت غریزی به پیدا کردن مسیر مهاجرت می‌پردازد ولی جانورانی که چندبار مهاجرت کرده‌اند با **شرطی شدن فعال**، آسان‌تر مسیر خود را پیدا می‌کنند.

مثالی از رفتار مهاجرت: هر سال با آغاز پاییز و سرد شدن هوا، پرندگان مهاجری از سیبری و اروپا به تالاب‌ها و آبگیرهای شمال ایران می‌آیند و پس از گذراندن زمستان و برطرف کردن نیازهای خود در این منطقه (*مثل حیات وحش میانکاله مازندران*)، در **اوایل بهار** و هم‌زمان با کم شدن سردی هوا به سرزمین خود بازمی‌گردند.



«پرندگان مهاجر به پناهگاه حیات وحش میانکاله مازندران»

چگونه جانوران مسیر مهاجرتی خود را تشخیص می‌دهند؟

همان‌طور که گفتیم مهاجرت یک رفتار غریزی است که تحت تأثیر **تکرار و یادگیری**، کامل‌تر می‌شود. جانوران برای جهت‌یابی مسیر حرکت خود از **نشانه‌های محیطی** استفاده می‌کنند تا در محیط‌های ناآشنا راه خود را پیدا کنند. مثلاً پرندگان در هنگام **روز** با استفاده از **موقعیت نور خورشید** (*همانند پروانهٔ مونارک*) و در **شب** با استفاده از **موقعیت ستاره‌ها** در آسمان مسیر خود را تشخیص می‌دهند.

نکته

اگر در مسیر مهاجرت بسیاری از جانوران از جاهای **جدید** عبور کنند، آن‌ها با استفاده از تجربه‌های قبلی و به کمک یادگیری **حل مسئله** می‌توانند مسیریابی کنند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات محیطی مثل موقعیت خورشید یا ستاره‌ها یا موقعیت خود نسبت به میدان مغناطیسی زمین به مسیریابی خود می‌پردازند.

سؤال: اما سؤالی که مطرح می‌شود این است که این پرنده‌ها در روز و شب‌های ابری که مشخص شدن جهت نور خورشید یا ستاره در آن به سختی صورت می‌گیرد، مسیر خود را چگونه تشخیص می‌دهند؟

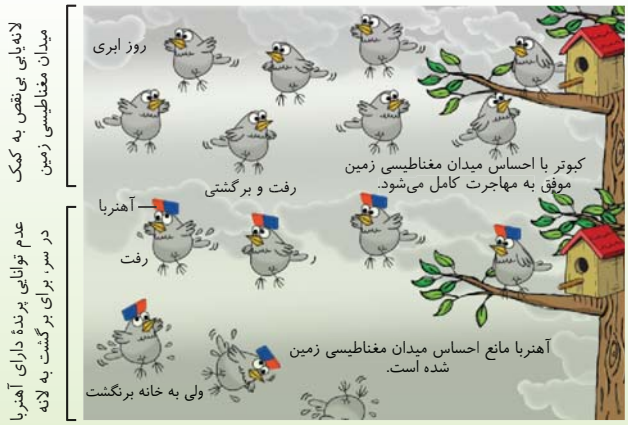
پاسخ: تحقیقات نشان داده است که **میدان مغناطیسی زمین** نیز عاملی محیطی مهمی برای جهت‌یابی مسیر مهاجرت پرنده‌ها می‌باشد که احساس این محرک و جهت‌یابی به کمک آن در کبوتران خانگی بررسی شده است. بدین صورت که آن‌ها در یک روز ابری، آهنربایی کوچک را روی سر کبوتر خانگی قرار دادند. این عمل باعث شد که پرنده نتواند میدان مغناطیسی زمین را تشخیص دهد و در ادامه پرنده با وجود این آهنربا **نتوانست** مسیر خانه را برای بازگشت تشخیص دهد.

● بررسی لانه‌یابی پرندگان در روز ابری

نکته

پژوهشگران در سر بعضی از پرنده‌ها ذرات آهن مغناطیسی نیز یافته‌اند و فهمیدند که این گروه در برخی موارد برای آشیانه‌یابی خود مشکل دارند.

در مثالی دیگر لاک‌پشتان دریایی **ماده** را بررسی کردند و متوجه شدند که این جانوران مسافت‌های طولانی دریا تا ساحل دریا را مهاجرت می‌کنند تا در ساحل تخم‌گذاری کنند و تخم خود را زیر سواحل مخفی می‌کنند و سپس دوباره پس از تخم‌گذاری به دریا برمی‌گردند. این جانوران نیز با استفاده از **میدان مغناطیسی زمین**، جهت‌یابی موفقیت‌آمیز برای مهاجرت خود انجام می‌دهند.



تست ۱۰ کدام گزینه، عبارت مقابل را به درستی کامل می‌کند؟ «هر رفتار جانوری، .....»

۱) بر اساس فرضیهٔ انتخاب فرد تفسیر می‌شود.
۲) برای بروز به محرک شرطی خاصی نیاز دارد.
۳) در جهت کاهش هزینه‌های مصرفی انتخاب شده است.
۴) به منظور دادن پاسخ مناسب به محرک بیرونی بروز می‌کند.

پاسخ ۳ **نکته:** هر رفتار جانوری در جهت کاهش هزینهٔ مصرفی و افزایش سود خالص شکل گرفته است. (گزینهٔ (۱) در مورد رفتار دگرخواهی، گزینهٔ (۲) در مورد عادی شدن و گزینهٔ (۴) در مورد پاسخ به محرک‌های درونی حذف می‌شوند.)

تست ۱۱ کدام‌یک از جملات زیر در مورد رفتارهای جانوری به درستی بیان شده است؟

۱) رفتار غریزی نمی‌تواند تحت تأثیر یادگیری قرار گیرد.
۲) بیشتر جانوران حاوی غدد شیری، نظام جفت‌گیری چندهمسری دارند.
۳) درخشان بودن رنگ پر طاووس نر، نشانه سلامت و غذایابی بهینه آن می‌باشد.
۴) جفت‌گیری طاووس دارای لکه‌های چشم مانند زیاد در پرهای دم، سلامت خود و زاده‌هایش را تضمین می‌کند.

پاسخ ۳ درخشان بودن رنگ پر و وجود لکه‌های چشمی زیاد در پرهای دمی طاووس‌های نر نشانهٔ سلامت و غذایابی بهینه می‌باشد ولی این ویژگی در **سلامت زاده‌ها و جفت مادهٔ** آن‌ها نقش دارد. صفت سازگارتر لزوماً شانس سلامت و پایداری جاندار ایجادکنندهٔ آن را تضمین نمی‌کند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): رفتارهای غریزی همراه با یادگیری تغییر یافته و اصلاح می‌شوند. / گزینهٔ (۲): بیشتر پستانداران نر سیستم چندهمسری دارند ولی همهٔ آن‌ها این ویژگی را ندارند. از طرفی دقت کنید که غدد شیری در هر پستانداری وجود دارد ولی نرهای آن‌ها سیستم چندهمسری دارند. / گزینهٔ (۴): لکه‌های چشمی پرهای طاووس نر سلامت خود را تضمین نمی‌کند ولی سلامت جانور ماده و زاده‌هایش را تضمین می‌کند.

تست ۱۲ برای جانوران میزان سود در رفتار غذایابی به کدام‌یک بستگی کامل‌تری دارد؟

۱) میزان انرژی موجود در غذا و هزینهٔ به دست آوردن غذا
۲) میزان انرژی موجود در غذا و هزینهٔ مصرف شده برای به دست آوردن غذا
۳) میزان به دست آوردن غذا در کمترین زمان و کم‌خطرترین مکان
۴) انرژی دریافتی کارآمد غذا در هر بار غذایابی

پاسخ ۲ در این سؤال باید به دقت گزینه‌ها را بخوانید و البته باید به‌طور کامل بر متن کتاب درسی نیز مسلط باشید. بر طبق متن کتاب درسی «برای بررسی میزان سود در غذایابی، میزان انرژی موجود در غذا و هزینهٔ به دست آوردن غذا و مصرف آن اهمیت دارد.»

تست ۱۳ کدام گزینه در مورد رفتارهای جانوری صحیح نمی‌باشد؟

۱) برخی مهره‌داران دارای غدد شیری پستان، توانایی تعیین قلمرو به کمک مواد شیمیایی دارد.

۲) طاووس نر با ایجاد پرهای درخشان با لکه‌های چشمی، انتقال ژن خود به نسل بعد را تسریع می‌کند.

۳) در رفتار جابه‌جایی طولانی و رفت و برگشتی جانوران در طول سال، یادگیری نیز نقش دارد.

۴) خاک رس، سبب خنثی شدن مواد سمی گیاهی در محیط داخلی طوطی می‌شود.

پاسخ ۴ در طوطی‌ها، خاک رس سبب خنثی کردن مواد سمی گیاهی در **لولهٔ گوارش** طوطی‌ها می‌شود. همان‌طور که قطعاً می‌دانید، محیط داخلی شامل خون، لنف و فضای بین‌یاخته‌ای می‌باشد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): گربه‌ها، پستانداران هستند که با کمک فرومون‌ها برای تعیین قلمرو استفاده می‌کنند. / گزینهٔ (۲): طاووس نر نیز با ایجاد صفات سازگار جنسی، شانس انتخاب شدن خود را توسط جفت ماده بالا می‌برد. / گزینهٔ (۳): یادگیری در رفتار مهاجرتی نقش دارد.

۵) رفتار خواب زمستانی و رکود تابستانی

I) خواب زمستانی

این رفتارها نیز از نوع **غریزی** می‌باشند و **اساس ژنی** دارند که در **برخی جانوران** بروز می‌یابند. در خواب زمستانی که مثلاً در برخی خرس‌ها دیده می‌شود، جانور **قبل از شروع زمستان**، مقدار زیادی غذا مصرف می‌کند و آن را به صورت **چربی** ذخیره می‌کند، سپس با شروع زمستان برای بقا به **خواب عمیق زمستانی** می‌رود. در این حالت، دمای بدن، مصرف اکسیژن، تعداد تنفس و نیاز جانور به انرژی، به مقدار زیادی کاهش می‌یابد و از چربی ذخیره‌ای برای انرژی‌گیری استفاده می‌کند.

II) رکود تابستانی



رکود تابستانی نیز نوعی **رفتار غریزی** است که در جانوران **بیابانی** که در تابستان هوای بسیار گرم و خشکی دارند، رخ می‌دهد. این جانوران در پاسخ به نبود غذا یا دوره‌های خشک‌سالی به رکود تابستانی می‌روند تا **کمبود منابع را با کاهش فعالیت جبران کنند**. این رفتار غریزی است و حتی دیده می‌شود که در برخی لاک‌پشتان دارای ژن رکود تابستانی، حتی اگر در آزمایشگاه به آن‌ها غذا و آب کافی بدهند، باز هم رفتار رکود تابستانی را بروز می‌دهند یعنی تغییر محیط سبب تغییر رفتار غریزی رکود تابستانی در این لاک‌پشتان نمی‌شود.

تست ۱۴ کدام گزینهٔ زیر نادرست می‌باشد؟

۱) رکود تابستانی در جانوران مناطقی دیده می‌شود که روزنهٔ هوایی گیاهان آن منطقه، در شب باز می‌شود.

۲) رکود تابستانی و خواب زمستانی، نوعی رفتار غریزی در پاسخ به فقدان غذا و دورهٔ خشک‌سالی می‌باشد.

۳) جانوران در هنگام خواب زمستانی یا رکود تابستانی، مقدار تولید CO_2 خود را کاهش می‌دهند.

۴) لاک‌پشت در حضور آب و غذا نیز رفتار ژنی **رکود تابستانی** خود را تغییر نمی‌دهد.

پاسخ ۲ پاسخ برخی جانوران به کمبود غذا و خشک‌سالی، رفتن به **رکود تابستانی** می‌باشد (*نه خواب زمستانی!*).

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): رکود تابستانی در تابستان‌های به شدت گرم در مناطق خشک‌سال بیابانی رخ می‌دهد که گیاهان آن‌ها نیز که اغلب از نوع CAM هستند، روزنه‌های هوایی خود را برای مقابله با تعرق مسدود کرده‌اند ولی در شب این روزنه‌ها را باز می‌کنند. / گزینهٔ (۳): جانوران با کاهش تنفس در خواب زمستانی یا رکود تابستانی، سبب کاهش تولید CO_2 و ATP می‌شوند. / گزینهٔ (۴): رفتار غریزی رکود تابستانی در لاک‌پشت‌ها با حضور آب و غذای کافی نیز تغییر نمی‌کند (*خاصیت کتاب*).

درسنامه

گفتار ۳ ارتباط و زندگی گروهی

خب طبق متن کتاب درسی، **برخی** از جانوران زندگی گروهی دارند که برای انجام آن باید بتوانند **با افراد دیگر گروه** ارتباط برقرار کنند. حالا بریم ببینیم این زندگی گروهی که فقط برخی از جانوران دارند، یعنی چی؟! برای درک آن بهتر است ابتدا بفهمیم اصلاً جانوران معمولاً چه راه‌های ارتباطی با هم می‌توانند داشته باشند؟

برخی راه‌های ارتباطی جانوران **یک گونه** با هم:
- تولید صدا ← در جیرجیرک‌های **نر** که **گونه و جنسیت خود** را به **اطلاع ماده** می‌رسانند.
- علامت‌های دیداری ← ارتباط بین زنبورهای کارگر
- بو و مواد شیمیایی ← مانند ترشح فرومون توسط زنبورها
- لمس کردن ← مانند جوجه کاکایی در نوک زدن به منقار والد خود برای درخواست غذا
- تغییر حالت فیزیکی (*رقصیدن و...*) ← ایجاد رنگ درخشان در پرهای طاووس نر

نتیجهٔ ارتباط جانوران هم‌گونه با هم، تغییر در رفتار **آن‌ها و ایجاد یادگیری می‌باشد.**

حتماً به یاد دارید که هر رفتار جانوری در جهت کاهش هزینهٔ مصرفی و افزایش سود یا انرژی خالص می‌باشد ولی هدف نهایی حفظ بقا و تولیدمثل می‌باشد.

نکته

در جیرجیرک‌ها:
- در نوعی از آن‌ها که نرها هزینهٔ زیادی برای رشد زاده‌ها می‌پردازند و انتخاب جفت می‌کنند
  - کیسهٔ لقاحی دارند.
  - در این گروه نرها انتخاب جفت می‌کنند.
- در برخی، صدای جیرجیرک نر، اطلاعاتی مانند **گونه** و **جنسیت** را به نوع ماده می‌دهد. ← در این گروه، ماده‌ها انتخاب جفت را انجام می‌دهند.

بررسی ارتباط و زندگی گروهی در زنبورهای عسل

زندگی زنبورهای عسل موجود در کندو یا آن‌هایی که در اطراف کندو زندگی می‌کنند نمونه‌ای کامل از **زندگی گروهی** و ارتباط درون گونه‌ای می‌باشد. همان‌طور که می‌دانید در گونهٔ زنبور عسل، ملکه‌ها، ماده‌های زایا و **دیپلوئیدی** هستند که با **میوز** خود تعدادی تخمک ایجاد می‌کنند و زنبور نر نیز جانداری زایا و هاپلوئید (n *کروموزوم*) می‌باشد که با **میتوز**، تعدادی اسپرم ایجاد می‌کند. از لقاح اسپرم‌ها و برخی از تخمک‌ها، زنبورهای مادهٔ **ملکه یا کارگر** حاصل می‌شوند که هر دو **دیپلوئید** هستند ولی تفاوت آن‌ها در این است که ملکه زایا می‌باشد و نسل بعد را می‌سازد (*با بکرزایی به تولید زنبور نر و با لقاح به تولید زنبور ماده می‌پردازد*) ولی **زنبورهای کارگر نازا یا عقیم هستند.**

این زنبورهای کارگر هم وظیفهٔ محافظت از کندو در برابر مهاجمان را بر عهده دارند و هم شهد و گرده گل‌های محیط را جمع‌آوری می‌کنند و به کندو می‌آورند تا از طرفی ملکه با خیال راحت به ایجاد زاده بپردازد و از طرفی دیگر زاده‌های حاصل به راحتی به مواد غذایی دسترسی پیدا کنند. اگر دقت کنید متوجه می‌شوید که زنبورهای کارگر با اینکه عقیم است ولی با غذادهی به سایر زاده‌ها که حاصل ملکه یا مادر خود می‌باشند، **در حقیقت در حال غذاسازی به خواهران و برادران خود می‌باشد که با آن‌ها ژن‌های مشترکی دارند.**

در زندگی گروهی زنبورها، وقتی زنبور کارگر **منبع** غذایی **جدیدی** در اطراف کندو پیدا می‌کند و مقداری غذا به کندو می‌آورد، در **مدت کوتاهی** تعداد زیادی **زنبور کارگر** دیگر نیز محل آن منبع غذایی **جدید** را پیدا می‌کنند که بسیار تعجب‌آور است!! انگار زنبور کارگر یابنده محل منبع غذایی جدید را به سایر زنبوران **کارگر** اطلاع‌رسانی کرده است! محققین مختلف و در رأس آن‌ها **کارل فون فریش** متوجه شدند که زنبور کارگر یابندهٔ منبع غذایی جدید، پس از بازگشت به کندو، اطلاعاتی به **سایر زنبورهای کارگر** می‌دهد که آن‌ها نیز **به راحتی** محل منبع غذایی جدید را پیدا می‌کنند!!

● چگونگی اطلاع‌رسانی بین زنبورهای کارگر

محققین متوجه شدند که زنبور کارگری که یابندهٔ منبع جدید بوده است، **حرکات ویژه‌ای** را برای سایر **زنبورهای کارگر** انجام می‌دهد و آن‌ها با مشاهدهٔ این حرکات و اطلاعات گرفته شده توسط **گیرندهٔ نوری چشم مرکب** خود، فاصله **تقریبی** منبع غذایی تا کندو و حتی **جهتی** که باید به سمت منبع پرواز کنند را متوجه می‌شوند. جالب است بدانید که هرچه فاصلهٔ منبع غذایی تا کندو دورتر باشد، مقدار حرکات موزون! زنبور یابنده برای سایر کارگرها در **مدت طولانی‌تری** انجام می‌شود. زنبور کارگر یابنده، علاوه بر حرکات مختلف، **صداهای وز وز متفاوتی** در مقایسه با حالت طبیعی ایجاد می‌کند. سایر زنبورهای کارگر با استفاده از **حرکات ویژهٔ بدنی**، **صدای وز وز ویژه** و همچنین **قدرت بویایی خود** به سمت منبع غذایی جدید که گل‌ها می‌باشند، پرواز می‌کنند و در آنجا با استفاده از **حس بویایی خود،** محل دقیق آن گل‌ها را پیدا می‌کنند. در حقیقت سایر زنبورهای کارگر، یک اطلاعات کلی از محل منبع غذایی جدید توسط زنبور کارگر یابنده دریافت می‌کنند. ولی محل دقیق را در نهایت با کمک حس بویایی خود تشخیص می‌دهند.

گیرنده‌های مورد نیاز زنبور کارگر برای یافتن منبع غذایی:
- نوری ← دیدن محل منبع و حرکات سایر زنبورهای کارگر
- شنوایی ← گیرندهٔ مکانیکی شنیدن صدای وز وز سایر کارگرها
- بویایی ← گیرندهٔ شیمیایی هر زنبور کارگر برای درک بوی گل‌ها

● فایدهٔ این ارتباط بین زنبورهای کارگر چیست؟

با اطلاع‌رسانی زنبور کارگر یابنده منبع جدید به سایر زنبورهای کارگر، سبب می‌شود که زنبورهای جدید با صرف **انرژی کمتر** و در **زمان کوتاه‌تر**، منبع جدیدی برای غذارسانی به کندو را پیدا کنند و نیاز آن‌ها به جست‌وجو برای منبع جدید کاهش می‌یابد. به علاوه شانس بقای گونه را افزوده‌اند و نیز سریع‌تر به کندو برمی‌گردند تا عمل محافظتی و نگهبانی خود از کندو را انجام دهند.

● نتیجهٔ رفتار ارتباطی زنبورهای کارگر

این رفتار نیز در جهت **کاهش هزینهٔ مصرفی** و **افزایش سود خالص یا انرژی کارآمدتر** دریافتی می‌باشد تا جمعیت آسان‌تر به بقا و زادآوری برسد.

هر آنچه باید در مورد زنبورهای عسل از کتاب دهم تا امروز بدانید

۱) لولهٔ گوارش به همراه گوارش برون‌یاخته‌ای کامل دارند یعنی همهٔ مواد آلی در خارج یاخته به واحد سازنده تبدیل می‌شوند.

۲) تنفس نایدیسی به صورت لوله‌های منشعب و مرتبط به صورت ته بسته تا نزدیکی یاخته‌ها دارند.

۳) گردش مواد **باز** همراه **همولنف** دارند. قلب پشتی دارند ولی مویرگ ندارند. (قلب آن‌ها منافذ دریچه‌دار دارد که در هنگام استراحت باز می‌شوند.)

۴) تبادل گازهای تنفسی آن‌ها وابسته به دستگاه گردش مواد نمی‌باشد. (همولنف آن‌ها فقط غذارسانی می‌کند و به انتقال گاز تنفسی نمی‌پردازد.)

۵) دفع **اوریک‌اسید** به عنوان مادهٔ زائد نیتروژن‌دار از لوله‌های مالپیگی به دستگاه گوارش (روده) خود دارند. (انتهای این لوله‌ها، باز بوده و هر چند تای آن‌ها با هم به یک طرف روده وارد می‌شوند.)

۶) مغزی از جوش خوردن **چند گره** به همراه طناب عصبی **شکمی** با چند گره مستقل دارند. هر بند از بدن آن‌ها **یک گره عصبی** دارد.

۷) چشم مرکب دارند. تصویر موزاییکی ایجاد می‌کند. هر واحد بینایی آن‌ها یک قرنیه، یک عدسی و تعدادی گیرندهٔ نوری دارد که امواج **فرابنفش** را نیز علاوه بر امواج نوری دریافت و درک می‌کند.

۸) اسکلت بدنی **بیرونی** دارند که هم حفاظتی است و هم اجازهٔ بزرگ شدن زیاد را به جانور نمی‌دهد.

۹) با ترشح مواد شیمیایی به نام **فرومون** سبب هشدار دادن و بروز رفتار اطلاع از دشمن به سایر **هم‌گونه‌های** خود می‌شوند.

۱۰) فقط ایمنی غیراختصاصی دارند و قدرت تولید پادتن ندارند. (لنفوسیت B و T ندارند.)

۱۱) جنس مادهٔ آن‌ها **دیپلوئید** می‌باشد و با **میوز** گامت می‌سازد ولی نر آن‌ها **هاپلوئید** است و با میتوز، اسپرم می‌سازند.

۱۲) زنبور ملکه با لقاح، زنبور ماده (ملکه یا کارگر) و با بکرزایی زنبور نر هاپلوئید ایجاد می‌کند.

- زنبور نر طی لقاح، قدرت تولید زنبور ماده دارد ولی در تولید زادهٔ نر، نقشی ندارد.
- زنبورهای کارگر، عقیم (نازا) می‌باشند و قدرت تولید گامت ندارند.

۱۳) زنبورهای کارگر با حرکات بدن و صوتی با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

۱۴) زنبورهای کارگر با اطلاعات بینایی، شنوایی و بویایی محل گل‌ها را پیدا می‌کنند.

۱۵) زنبورهای کارگر رفتار فداکارانه یا دگرخواهانه برای حفاظت از سایر زنبورها را دارند و به‌طور **غیرمستقیم** سبب بقای ژن‌های خود می‌شوند.

۱۶) هر زنبور نر که هاپلوئید است، همهٔ ژن‌های خود را از نصف ژن‌های مادر خود دریافت کرده است.

۱۷) هر زنبور ماده که دیپلوئید است، نیمی از ژن‌های خود را از نصف ژن‌های ملکه گرفته است و نصف دیگر ژن‌های خود را از ۱۰۰ درصد ژن‌های موجود در والد نر خود دریافت کرده است.

تست ۱۵ **چند مورد عبارت مقابل را به درستی تکمیل نمی‌کند؟ «به‌طور معمول، هر زنبور ماده‌ای می‌تواند .....»**

الف) بقای ژن‌های خود را تضمین کند.
ب) به طریقه بکرزایی به تولید نر بپردازد.
ج) به‌طور غیرمستقیم بقای ژن‌های خود را تضمین کند.
د) تخمک‌هایی با تقسیم میوز ایجاد کند.

۱) ۱ مورد **۲)** ۲ مورد **۳)** ۳ مورد **۴)** ۴ مورد

پاسخ ۳ موارد (ب)، (ج) و (د) به نادرستی تکمیل می‌کنند.

هر زنبور ماده می‌تواند کارگر یا ملکه باشد، بنابراین همهٔ زنبورهای ماده می‌توانند بقای ژن‌های خود را تضمین به‌طور مستقیم (*ملکه*) و به‌طور غیرمستقیم (*زنبور کارگر*) کنند. در مورد (ب) و (د) باید گفت که فقط زنبور ملکه به‌طور مستقیم ژن‌های خود را به نسل بعد منتقل می‌کند و زنبورهای کارگر به‌طور غیرمستقیم و با حفاظت از کندو و کمک به رشد سایر زاده‌های ملکه به بقای ژن‌هایی مشابه ژن خود کمک می‌کنند.

زندگی گروهی در جانوران

در طبیعت **برخی** جانوران **فقط** به صورت گروهی قادرند به زندگی خود ادامه دهند. در جمعیت این جانوران، **همکاری زیادی** بین افراد یک گونه در جمعیت دیده می‌شود تا بتوانند بر مشکلات خود در برابر عوامل محیطی غلبه کنند.

برخی جانوران مثل **مورچه‌ها** یا **گرگ‌ها** به شکل گروهی زندگی می‌کنند. (دقت کنید که منظور همکاری بین مورچه و گرگ و زندگی گروهی بین آن‌ها نیست، بلکه منظور زندگی گروهی بین مورچه‌ها با هم برای دفاع از قلمرو یا به دست آوردن غذا و یا گرگ‌ها با هم برای شکار و محافظت از گله می‌باشد.)

فواید زندگی گروهی برای جانوران

۱) احتمال شکار شدن آن‌ها توسط شکارچی را کاهش می‌دهد چون برخی از آن‌ها نگهبان بقیهٔ افراد هستند (*گرگ‌های نگهبان*).

۲) دسترسی افراد به منابع غذایی افزایش می‌یابد ← مانند ارتباط بین زنبورهای کارگر برای یافتن منابع غذایی

۳) شکار **گروهی** آن‌ها برای به دست آوردن غذا آسان می‌شود
- هم به صورت گروهی می‌توانند شکار بزرگ‌تری صید کنند.
- هم در مقابل شکارچی از هم محافظت می‌کنند.

● بررسی زندگی گروهی در اجتماع مورچه‌های برگ‌بر

مورچه‌ها به صورت **گروهی** زندگی می‌کنند که در اجتماع مختلف آن‌ها مورچه‌هایی با **اندازه، شکل و وظایف مختلفی** وجود دارد. مثلاً اجتماعی از مورچه‌ها به نام **مورچه‌های برگ‌بُر** وجود دارند. در این اجتماع **مورچه‌های کارگر** با اندازه‌های متفاوت وجود دارند. برخی مورچه‌های کارگر که اندازهٔ **بزرگ‌تری** دارند برگ‌ها را **برش** می‌دهند و به **لانه حمل** می‌کنند و در همین حال روی برگ‌های در حال انتقال، مورچه‌های کارگری با اندازهٔ **کوچک‌تر** وجود دارند که نقش **دفاع** از برگ را ایفا می‌کنند.

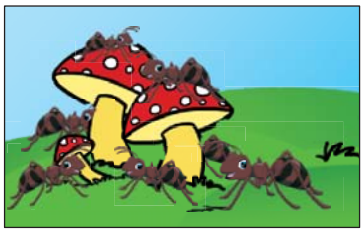
هدف اجتماع مورچه‌ها از انتقال برگ

دقت کنید که هدف این مورچه‌ها با برش برگ و انتقال آن‌ها به لانه، **تغذیه از برگ‌ها نمی‌باشد**. بلکه این مورچه‌ها از نوعی **قارچ** تغذیه می‌کنند. این قارچ که جانداری مصرف‌کننده می‌باشد، نمی‌تواند مواد معدنی را به مواد آلی تبدیل کند. به همین دلیل بین قارچ و مورچه رابطهٔ همیاری ایجاد می‌شود. به این صورت که مورچه‌ها، برگ‌های برش داده شده را به عنوان **نوعی کود آلی** درمی‌آورند و آن را به خاک محل رشد قارچ اضافه می‌کنند. با این کار قارچ مواد آلی مورد نیاز را به دست می‌آورد و با استفاده از انرژی آن‌ها رشد می‌کند تا مورچه‌ها از قارچ‌ها استفادهٔ غذایی کنند.

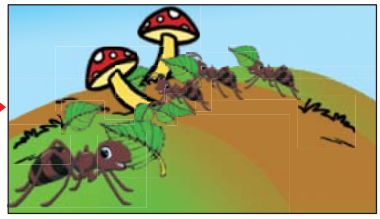


«مورچهٔ بزرگ‌تر کارگری است که برگ را برش داده و به لانه حمل می‌کند و مورچه‌های کوچک‌تر که روی برگ قرار دارند، از آن دفاع می‌کنند.»

یادآوری: مورچه‌ها دارای تنفس نایدیسی، همولنف، چشم مرکب، لوله‌های مالپیگی و قلب لوله‌ای پشتی به همراه اسکلت خارجی می‌باشند.



استفادهٔ غذایی مورچه‌ها از قارچ‌ها



انتقال برگ به خاک محل رشد قارچ‌ها



حمل برگ توسط مورچه‌ها

● زندگی گروهی مورچه‌ها روی درخت آکاسیا

از زیست یازدهم به یاد دارید که برخی مورچه‌ها روی درخت آکاسیا زندگی می‌کنند. این مورچه‌ها برای حفظ قلمرو یا محیط‌زیست خود که همان درخت آکاسیا می‌باشد، به حشرات مختلف، پستانداران کوچک و حتی گیاهان دارزی حمله می‌کنند تا محل زندگی خود را حفظ کنند. ولی همین مورچه‌ها قدرت حمله به زنبورهای گرده‌افشانِ درخت آکاسیا را ندارند.





«این مورچه‌ها در حقیقت از محل زندگی خود محافظت می‌کنند.»

تست ۱۶ **در زندگی گروهی مورچه‌های کارگر، جانوری که اندازه ..... دارد، نقش ..... را ندارد.**

۱) کوچک‌تری - دفاع از منبع آلی قارچ‌ها

۲) بزرگ‌تری - حمل برگ‌ها به لانه

۳) بزرگ‌تری - برش برگ‌ها

۴) کوچک‌تری - دفاع از منبع غذایی جانور

پاسخ ۴ در زندگی گروهی مورچه‌های کارگر، انواع بزرگ‌تر به برش و حمل برگ‌ها می‌پردازند و انواع کوچک‌تر روی برگ‌ها قرار گرفته تا در هنگام حمل آن‌ها نقش دفاعی داشته باشند. این برگ‌ها، منبع غذایی مورچه‌ها نیستند بلکه به عنوان کود آلی به مصرف قارچ‌ها می‌رسند. (*مورچه‌های کارگر از برخی قارچ‌ها به‌عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند.*)

رفتار دگرخواهی (رفتار فداکارانه یا مشارکتی)

تعریف رفتار دگرخواهی: رفتار دگرخواهی رفتاری است که در **زندگی گروهی** جانوران دیده می‌شود. دگرخواهی، رفتاری گروهی است که در آن یک یا تعدادی از جانوران گروه، شانس بقا و تولیدمثل خود را کاهش می‌دهند ولی با این عمل احتمال بقا و موفقیت تولیدمثلی سایر افراد گونهٔ خود را افزایش می‌دهند. در حقیقت این رفتار، هزینهٔ مصرفی سایر افراد جمعیت را برای بقا و تولیدمثل کاهش می‌دهد.

هدف از رفتار دگرخواهی: این رفتار که به آن رفتار اجتماعی نیز گفته می‌شود، سبب می‌شود که شانس بقا و انتقال ژن‌هایی مشابه با ژن‌های جانور دگرخواه، در جمعیت زیاد شود ولی افراد جمعیت از بین نروند (*در حقیقت جانور دگرخواه بیشتر فکر بقای جمعیت است تا بقا و لقاح خود!*).

نکته

رفتار دگرخواهی را می‌توان به سه نوع نگهبان‌ها، گروه همکاری و رفتار به نفع فرد تقسیم‌بندی کرد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

مثال‌هایی طبیعی از رفتارهای دگرخواهی

● الف) دگرخواهی نگهبان‌ها برای خویشاوندان

۱) رفتار زنبورهای کارگر

همان‌طور که در قسمت‌های قبل به‌طور مفصل در مورد زنبورها بررسی کردیم، زنبورهای کارگر، جانوران ماده‌ای دیپلوئید (۲n) هستند که نازا یا عقیم هستند و توانایی تولید تخمک ندارند. این زنبورها علاوه بر وظیفهٔ آوردن غذا (*شهد گل*) به کندو، وظیفهٔ نگهداری و پرورش زاده‌های ملکه را دارند که در حقیقت خواهران و برادران خود او هستند و **ژن‌های مشترکی دارند.**

در حقیقت زنبور کارگر با این کار از یک طرف در معرض مهاجمان کندو قرار می‌گیرد و شانس بقای خود را کم می‌کند و از طرف دیگر به پرورش زاده‌های ملکه می‌پردازند. پس زنبورهای کارگر، به‌طور مستقیم سبب **بقای** ژن‌هایی مشابه و مشترک با ژن‌های خود می‌شوند (*چون همه زاده‌ها از جمله زنبورهای کارگر زاده‌های مادر مشترکی به نام ملکه هستند.*) ولی به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش ژن‌های مشابه خود می‌شوند (*چون با این کار شانس بکرزایی و لقاح ملکه را زیاد می‌کنند.*).

نتیجه: زنبورهای نگهبان یا کارگر با رفتار دگرخواهی خود، به‌طور **غیرمستقیم** تضمین‌کنندهٔ **بقای ژن‌های** خود و به‌طور **مستقیم** سبب **بقای جمعیت** و ژن می‌شوند. دقت کنید که خود زنبور کارگر به‌طور **مستقیم** قدرت انتقال ژن‌های خود را ندارد و عقیم می‌باشد.

نکته

از زیست یازدهم در فصل ۴ به یاد دارید که زنبورها با **ترشح فرومون** برای هشدار دادن از حضور شکارچی به سایر افراد **هم‌گونهٔ** خود اطلاع‌رسانی می‌کنند.

۲) رفتار نگهبانی در دم‌عصایی‌ها (Meerkat)

در برخی گونه‌ها که زندگی **گروهی** دارند، برخی افراد نقش **نگهبان** را برای سایر افراد ایفا می‌کنند و در هنگام **احساس حضور شکارچی**، با **تولید صدا** به دیگر افراد جمعیت هشدار می‌دهند تا فرار کنند. مثلاً **دم‌عصایی** شکل مقابل، سایر افراد **خویشاوند** را با فریاد خود از حضور دشمن خبردار می‌کند. با این کار توجه شکارچی به آن‌ها زیاد می‌شود و شانس بقای خود آن‌ها (*نگهبان‌ها*) کاهش می‌یابد. این دم‌عصایی‌های نگهبان نیز به‌طور معمول در لقاح شرکت نمی‌کنند ولی با این رفتار دگرخواهی خود، **احتمال بقا و زادآوری خویشاوندان خود را افزایش می‌دهند** تا همانند زنبورهای کارگر بقای ژن‌های مشترک با خود را افزایش دهند.



«این دم‌عصایی (meerkat) در حال نگهبانی است. او در هنگام احساس وجود شکارچی دیگران را با فریاد آگاه می‌کند.»

نکته

همهٔ رفتارهای دگرخواهی در اثر انتخاب طبیعی برگزیده شده‌اند و سبب بقای جمعیت می‌شود.

نتیجه: افراد نگهبان جمعیت اگر لقاح کرده باشند، به‌طور مستقیم ژن‌های خود را گسترش می‌دهند ولی طبق متن کتاب درسی، لقاح ندارند و به‌طور غیرمستقیم، بقای ژن‌های خود یا ژن‌های مشترک خود در جامعه را تضمین می‌کنند. **در هر حالتی شانس بقا و زادآوری افراد نگهبان در این زندگی گروهی بسیار کم می‌باشد.**

● ب) رفتار دگرخواهی با ایجاد گروه همکاری در خفاش‌های خون‌آشام



«خفاش خون‌آشام از خون پستانداران تغذیه می‌کند.»

خفاش‌های خون‌آشام گونه‌ای از **پستانداران پروازکننده** هستند که به‌طور گروهی درون **غارها** یا **سوراخ درختان** زندگی می‌کنند. غذای آن‌ها خون پستانداران **بزرگ** مثل دام‌ها می‌باشد. جمعیت این خفاش‌ها یک **گروه همکاری** تشکیل می‌دهند و خونی که خورده‌اند را با هم به اشتراک می‌گذارند تا هیچ‌کدام از گرسنگی نمیرند ولی برای این کار حساب و کتاب و بده و بستون به همدیگر دارند. یعنی به محض اینکه در این زندگی گروهی، خفاشی گرسنه از خفاش دیگر خون بگیرد ولی این لطف را در آینده جبران نکند از زندگی گروهی کنار گذاشته می‌شود. در جمعیت آن‌ها، خفاشی که غذا یا در حقیقت خون تازه‌ای خورده است، **کمی** از آن خون را از دستگاه گوارش خود برمی‌گرداند تا خفاش‌های گرسنه دیگری نیز در لانه از آن استفاده کنند وگرنه ممکن است خفاش گرسنه از بی‌غذایی بمیرد. خفاشی که غذا گرفته است وظیفه دارد در آینده کار خفاش دگرخواه اول را جبران کند، چون اگر یاد نگیرد و این کار را جبران نکند، از زندگی اشتراکی گروهی کنار گذاشته می‌شود و **بقا و زادآوری او به مخاطره می‌افتد.**

نکته مهم

خفاش‌هایی که در این دگرخواهی و زندگی گروهی هستند، **لزوماً خویشاوند نیستند** و لزوماً ژن‌های مشترک ندارند ولی انتخاب طبیعی با برگزیدن این رفتار دگرخواهی، سبب بقای آن‌ها در محیط شده است.

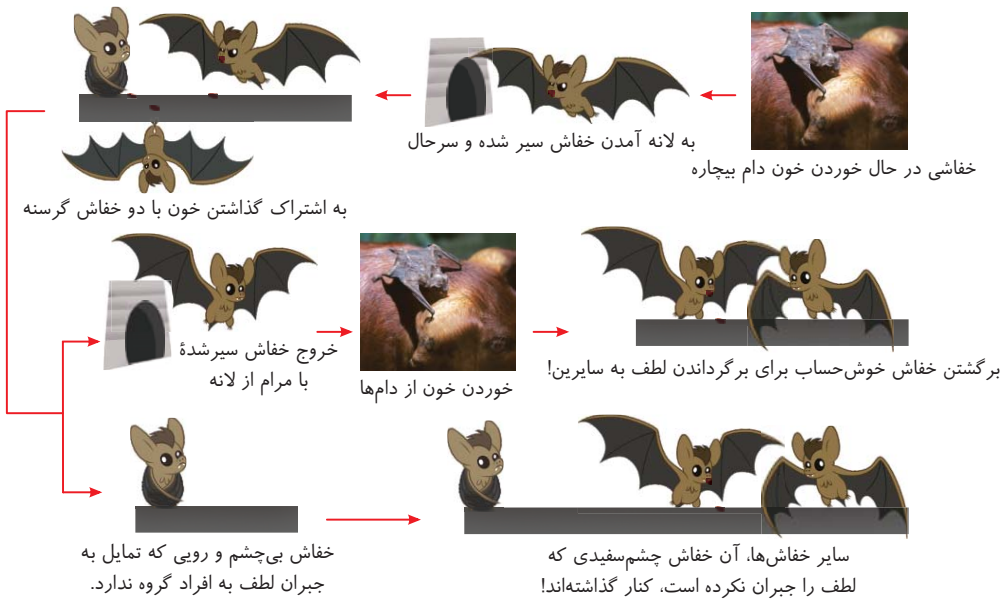


«خفاش‌ها همگی در حال زندگی گروهی در یک محیط مثل غار»

نکته

خفاشان، پستاندارانی با قدرت پرواز هستند که در اطراف شش‌های خود کیسه‌های هوادار ندارند. آن‌ها همهٔ ویژگی‌های پستانداران را در بدن خود دارند (*نه پرندگان!*).

طرحی برای گروه همکاری خفاش‌های خون‌آشام



نتیجه: هر رفتار دگرخواهی لزوماً بین خویشاوندان رخ نمی‌دهد ولی لزوماً شانس بقای جمعیت را بالا می‌برد.

● تفاوت رفتار دگرخواهی خفاش‌ها با گروه همکاری با رفتار نگهبان‌ها در زنبورهای کارگر یا دم‌عصایی‌ها

در رفتار خفاش‌ها، اولاً **رابطهٔ خویشاوندی** و ژن مشترک **ممکن** است وجود نداشته باشد و ثانیاً در این رفتار، همهٔ خفاش‌ها (*افراد جمعیت*) حالت مشابه دارند و شانس بقا و زادآوری همهٔ آن‌ها با هم برابر می‌شود ولی در زنبورهای کارگر و دم‌عصایی‌ها، شانس بقای نگهبان‌ها کاهش می‌یابد.

نکته

در رفتار دگرخواهی زنبورها یا دم‌عصایی‌ها که بدون تشکیل گروه همکاری می‌باشد، یک گروه از افراد جمعیت سود مستقیم می‌برند و بقا و لقاح آن‌ها تضمین می‌شود (*افراد غیرنگهبان*) ولی گروه دیگر که نگهبان‌ها هستند به‌طور غیرمستقیم و با انتشار ژن‌های افراد خویشاوند خود سود می‌برند. از طرفی در نوعی همانند خفاش‌ها که گروه همکاری تشکیل می‌دهند، همهٔ افراد از یکدیگر سود می‌برند و شانس بقا و تولیدمثل در همهٔ افراد خویشاوند و غیرخویشاوند به‌طور **مستقیم** بالا می‌رود.

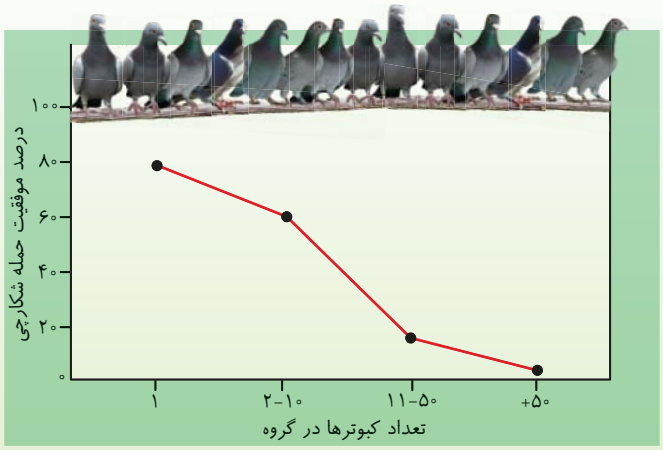
● ج) رفتار دگرخواهی گروهی یاریگرها (رفتار به نفع فرد)

گاهی در جمعیت پرنده‌ها دیده می‌شود که افراد یاریگری وارد آشیانهٔ یک خانواده پرنده می‌شوند که **ژن‌های مشترکی با آن‌ها ندارند**. این یاریگرها اغلب **پرنده‌های جوانی** هستند که در **پرورش زاده‌ها** به والدین این آشیانه کمک می‌رسانند و احتمال بقای زاده‌های آن‌ها را افزایش می‌دهند. در این رابطه، افراد یاریگر با هم‌زیستی با والدین و زاده‌های آن‌ها، **تجربهٔ زندگی** کسب می‌کنند که هنگام زادآوری خود از این تجربه و یادگیری‌های خود در پرورش زاده‌های خود استفاده می‌کنند. البته این یاریگرها آینده‌نگری هم می‌کنند و با مرگ احتمالی صاحب خانه‌ها می‌توانند به آسانی قلمرو آن‌ها را تصاحب کنند، صاحب خانه شوند و به راحتی به زادآوری بپردازند.

نتیجه: گاهی رفتار دگرخواهی به **نفع خود فرد** نیز می‌باشد، مثلاً در مثال رفتار دگرخواهی یاریگرها، این رفتار سبب افزایش شانس بقا و زادآوری خود یاریگرها در آینده می‌شود.

نکته

نمودار زیر نشان می‌دهد که هرچه تعداد کبوترها در زندگی گروهی بیشتر باشد، احتمال دفاع از جمعیت خود را بالا برده و موفقیت شکارچی‌ها در صید آن‌ها کاهش می‌یابد.



تست ۱۷ سهم انتقال ژن فرزندانِ ..... با توجه به رفتار دگرخواهی جمعیت آن‌ها ..... می‌یابد.

۱) زنبور کارگر و دم‌عصایی نگهبان - افزایش
۲) خفاشان دگرخواه و دم‌عصایی غیرنگهبان - افزایش
۳) پرندگان یاریگر و خفاشان خون‌آشام - کاهش
۴) زنبور کارگر و دم‌عصایی نگهبان - کاهش

پاسخ ۲ رفتار دگرخواهی خفاشان و دم‌عصایی‌های نگهبان، سبب افزایش شانس بقا و زادآوری غیرنگهبان‌ها و سایر خفاشان می‌شود.

تله‌های تستی گزینه‌های (۱) و (۴): زنبور کارگر عقیم بوده و همانند دم‌عصایی نگهبان، شانسی برای تولید زاده ندارد. / گزینهٔ (۳): پرندگان جوان یاریگر و خفاشان با دگرخواهی خود سبب افزایش شانس تولیدمثلی خود می‌شوند.

نکته

- زندگی گروهی ← بدون دگرخواهی ← همیاری مورچه‌های برگ‌بر با قارچ ← سبب حفظ و تولیدمثل همهٔ اعضای جامعهٔ مورچه‌ها می‌شود.
- دگرخواهی
  - نگهبان‌ها ← شانس بقا و لقاح نگهبان‌ها کاهش می‌یابد ← زنبورهای کارگر / دم‌عصایی نگهبان
  - ولی شانس بقای خویشاوندان زیاد می‌شود.
  - گروه همکاری ← شانس بقای هر فرد خویشاوند و غیرخویشاوند در گروه زیاد می‌شود.
  - به نفع خود فرد ← پرندهٔ یاریگر جوان در آشیانه سایر پرندگان

● چند مثال از نقش مواد شیمیایی فرومونی در زندگی گروهی جانوران (زیست یازدهم)

۱) **فرومون‌ها** مواد شیمیایی هستند که از یک فرد ترشح می‌شود و در فرد یا افراد دیگری از **همان گونه** پاسخ‌های رفتاری ایجاد می‌کند.

۲) **زنبورها** با تولید فرومون به افراد **هم‌گونهٔ** خود هشدار می‌دهند که **شکارچی** در اطراف کندو وجود دارد.

۳) **مارها** می‌توانند فرومون‌های ترشح شده در **هوا** از افراد **هم‌گونهٔ** خود را به کمک گیرنده‌های **شیمیایی زبان** خود تشخیص دهند و از وجود جانوران **شکارچی** یا **شکار** اطراف خود باخبر شوند.

۴) **گربه‌ها** با ترشح **فرومون** می‌توانند برای **تعیین قلمرو** خود استفاده کنند و از این طریق به **هم‌گونهٔ** خود خبر دهند که این بخش از محیط، قلمرو آن‌ها می‌باشد.

● نتیجهٔ نهایی این فصل

رفتارهای جانوری به شکل‌های **مختلفی** بروز می‌کند ولی **همگی** در جهت **کاهش هزینهٔ مصرفی** و **افزایش سود خالص** بوده و هدف **نهایی** همهٔ آن‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم **حفظ بقا و زادآوری** فرد یا جامعه می‌باشد.