فصل اول

زیست‌شناسی، دیروز، امروز و فردا

درسنامه

این فصل در ابتدای زیست‌شناسی دهم به معرفی علم زیست‌شناسی و شاخه‌های قدیمی تا نوین آن می‌پردازد و در انتها خدمات زیست‌شناسی به انسان را بررسی می‌کنیم.

مقدمه

مونارک نوعی **پروانه** از گروه **حشرات** می‌باشد که **نوزاد** آن **کرمی‌شکل** بوده و **از برگ** به عنوان منبع غذایی استفاده می‌کند، این پروانه به کمک **نورون‌های** خود (**یاخته‌های عصبی**)، تعیین **جایگاه خورشید در آسمان** و **جهت** مقصد خود را تشخیص داده و هر سال هزاران کیلومتر را برای رسیدن به **محل مناسب زندگی** مهاجرت می‌کند (از مکزیک تا جنوب کانادا و برعکس).

نکته: 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.

نکته: پروانه‌های مونارک با چشم **مرکب** خود، نور خورشید را گرفته و پس از پردازش در **مغز** به کمک یاخته‌های عصبی ویژه‌ای، جهت مقصد خود را در **روز** تشخیص می‌دهند.

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

نکته: مونارک حشره‌ای از نوع پروانه‌ها می‌باشد که لولهٔ گوارش، گردش خون **باز**، همولنف، قلب **پشتی**، مغز دارای **چند** گره عصبی به همراه طناب عصبی **شکمی** و توانایی دفع مادهٔ زائد نیتروژن‌دار از **روده** به نام **اوریک اسید** دارد. تنفس از راه نایدیس‌های خود و **بدون** کمک دستگاه گردش مواد انجام می‌دهد. همهٔ این نکات را به تدریج در فصل‌های جلوتر می‌خوانیم.

گفتار ۱ زیست‌شناسی چیست؟

زیست‌شناسی یا بیولوژی، شاخه‌ای از **علوم تجربی** است که به کمک **مشاهده**، به بررسی **علمی جانداران و فرایندهای زیستی** می‌پردازد. در حقیقت 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.

نکته: زیست‌شناسان هم به **رازهای آفرینش** پی می‌برند و هم به حل مسائل و مشکلات زندگی اجتماعی انسان کمک می‌کنند.

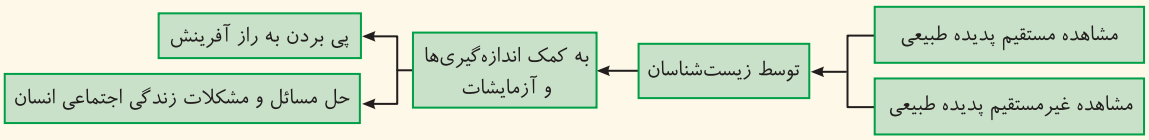
نکته: علوم تجربی، علومی مثل زیست‌شناسی، فیزیک، شیمی و... می‌باشد که با مشاهده، آزمایش و اندازه‌گیری به نتایج بسیاری می‌رسند.

محدودهٔ علم زیست‌شناسی

دانشمندان و پژوهشگران **علوم تجربی** به دلیل اینکه می‌دانند، **مشاهده، اساس علوم تجربی است، فقط** در جستجوی علت‌های پدیده‌های **طبیعی** و **قابل مشاهده‌اند** و **فقط** ساختارها و فرایندهایی که به‌طور **مستقیم یا غیرمستقیم** قابل **مشاهده و اندازه‌گیری** باشند را بررسی می‌کنند.

نکته: محققین علم تجربی، **نمی‌توانند** در مورد پدیدهٔ **غیرقابل رؤیت و قابل اندازه‌گیری** مثل زشتی یا زیبایی، خوبی و بدی و ارزش‌های هنری یا ادبی یا تصور یک پدیده نظر بدهند. مثلاً یک زیست‌شناس 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 زیست‌شناسی نمی‌باشد.

نکته:



برخی نکات در مورد محدودهٔ پیدا شدهٔ علم زیست‌شناسی

۱) امروزه مقدار قابل توجهی از غذایی که می‌خوریم از جانوران و گیاهان **اصلاح شده** که محصولات **بیشتر و بهتر** ایجاد می‌کنند، تهیه می‌شود.

۲) امروزه بیماری‌هایی مانند **مرض قند (دیابت) و فشار خون بالا**، به دلیل پیدا شدن روش‌های **درمانی با داروهای** جدید، دیگر مرگ‌آور نیستند (مثلاً تهیه داروهایی همانند **انسولین** که با مهندسی ژنتیک به دست آمده‌اند).

۳) امروزه با استفاده از **DNA (دِنا)** افراد، هویت انسان را **به آسانی** شناسایی می‌کنند و با **خواندن** اطلاعات روی آن از **بیماری‌های ارثی** او خبردار می‌شوند.

۴) امروزه علم زیست‌شناسی در مبارزه با آفت‌های کشاورزی، **حفظ تنوع زیستی** و بهبود طبیعت و زیستگاه به ما کمک می‌کند.

نکته: علم زیست‌شناسی به دلیل محدودیت‌هایی که دارد، نمی‌تواند به **همهٔ** پرسش‌های بشری پاسخ دهد و همهٔ مشکلات را برطرف کند.

نکته: با اینکه زیست‌شناسی، علم **بررسی حیات** است 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 جانداران** را بررسی کنیم.

هفت ویژگی مشترک در همهٔ جانداران

الف) نظم و ترتیب

هر جانداری، **سطوحی** از نظم و سازمان‌یابی دارد و **همگی** باید فعالیت‌های **منظم** داشته باشند. (مثلاً هر اندامک کار خاصی دارد یا هر یاخته در جانداران پریاخته‌ای، 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**، مقدار آن را در خون زیاد کند، یا باز و بسته شدن روزنه گیاهان برای تنظیم آب درون گیاه در محیط‌های مختلف انجام گیرد.

نکته: 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.

ج) رشد و نمو

هر جانداری با استفاده از اطلاعات ژنتیکی موجود در **DNA (دِنای)** خود، الگوهای **رشد و نمو** خود را **تنظیم** می‌کند.

نکته: رشد، افزایش **تعداد** یا **حجم** یاخته‌های جاندار به صورت برگشت‌**ناپذیر** است ولی نمو به وجود آمدن ویژگی **جدیدی** در جاندار 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.

نکته: رشد یک فرایند **کمی** ولی نمو یک فرایند **کیفی** می‌باشد.

نکته: در جانوران، رشد در **همهٔ** قسمت‌های بدن صورت می‌گیرد ولی رشد در گیاهان مخصوص بافت‌ها و مناطق خاص جاندار می‌باشد.

د) فرایند جذب انرژی و استفاده از آن

هر جانداری باید قدرت **گرفتن انرژی** را از محیط داشته باشد. سپس با انجام **تنفس یاخته‌ای** بتواند انرژی مواد **آلی** غذایی را به صورت **ATP** ذخیره کرده و برای انجام فعالیت‌های زیستی از آن استفاده کند. همچنین می‌تواند بخشی از انرژی را نیز به صورت **گرما** از دست بدهد.

نکته: جانداران تولیدکننده (مثل گیاهان و...) از **نور خورشید** یا مواد **معدنی** و جانداران مصرف‌کننده از مواد **آلی** به عنوان منبع اصلی انرژی استفاده می‌کنند ولی همگی در تنفس یاخته‌ای خود با تجزیه مواد **آلی**، انرژی زیستی یا ATP را به دست می‌آورند.

ه) پاسخ به محیط

هر جانداری باید بتواند به محرک‌های محیطی پاسخ بدهد. مثلاً ساقهٔ گیاهان با نورگرایی مثبت به سمت نور خم می‌شوند.

و) تولیدمثل

می‌توان گفت مهم‌ترین ویژگی موجود زنده، توانایی **تولیدمثل** می‌باشد تا بتواند برای حفظ **نسل و گونهٔ** خود، موجوداتی **کم و بیش** شبیه خود ایجاد کند.

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. در تولیدمثل **جنسی** وجود **دو والد** در آن الزامی است. **(البته به‌جز خودلقاحی یا بکرزایی که در برخی گیاهان و جانوران دیده می‌شود!)**

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** می‌شود یا مثلاً گلبرگ‌های گیاه ادریسی در خاک اسیدی، با جذب **آلومینیوم** و تغییر رنگ کریچه‌ها به صورت **آبی**‌رنگ درمی‌آیند و در خاک قلیایی و خنثی به رنگ عادی **صورتی** می‌باشند.

نکتهٔ مهم: 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 / فرمانرو	نوع	هسته و اندامک غشادار	تولیدمثل	منبع اصلی انرژی	تعداد یاخته	هر ۷ ویژگی حیات
گیاهان	یوکاریوت (هوهسته‌ای)	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 (پیش‌هسته‌ای)	ندارند	غیرجنسی	مواد آلی یا **معدنی** یا نور خورشید	فقط تک‌یاخته‌ای	دارند

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 و جانداران آن شامل اقیانوس‌ها، خشکی و دریاچه‌ها پایان می‌پذیرد که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته‌ایم:

ترتیب سطوح حیات (در یک نگاه!)

یاخته ← بافت ← اندام ← دستگاه ← جاندار ← جمعیت ← اجتماع ← بوم‌سازگان (اکوسیستم) ← زیست‌بوم ← زیست‌کره

چند نکتهٔ ابتدایی برای فهم بهتر سطوح حیات

A) اندامک‌ها **اجزای عملکردی یاخته‌اند**، مانند **راکیزه (میتوکندری)** برای تنفس یاخته‌ای و انرژی‌زایی و یا **هسته** که جایگاه ذخیره اطلاعات در دِنا (DNA) است.

B) شبکه‌های آندوپلاسمی مختلف، اندامک مسئول ساخت لیپیدها، پروتئین‌ها و انتقال مواد می‌باشد. دستگاه گلژی در **بسته‌بندی** آن‌ها و نقل و انتقال‌شان در درون محل خاصی از یاخته و یا به خارج یاخته نقش دارد.

C) پروکاریوت‌ها یا پیش‌هسته‌ای‌ها که شامل انواع مختلف **باکتری‌ها** می‌شوند، فاقد اندامک غشادار می‌باشند ولی اتم، مولکول، ریبوزوم و مواد آلی مختلفی دارند.

D) برخی ساختارهای فاقد غشا مثل ریبوزوم، اسکلت یاخته‌ای و سانتریول، در یاخته‌ها وجود دارند ولی به آن‌ها اندامک نمی‌گویند. (ریبوزوم در یاخته پروکاریوتی و یوکاریوتی وجود دارد و مسئول سنتز رشته‌های **پلی‌پپتیدی** می‌باشد.)

بررسی سطوح مختلف حیات

۱) یاخته: یاخته کوچک‌ترین واحدی است که **همهٔ ویژگی‌های حیات** در آن وجود دارد. هر یاخته از مولکول‌ها و ساختارهایی تشکیل شده که با هم در تعامل‌اند، به گونه‌ای که مجموع این تعامل‌ها را حیات می‌نامیم. (هر یاخته، ماده ژنتیکی، غشا و میان‌یاخته یا سیتوپلاسم دارد.)

* یاختهٔ یوکاریوتی برخلاف پروکاریوتی اندامک‌های غشادار و هستهٔ مشخص دارد.

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

نکته: جانوران اغلب حاوی بافت‌های پوششی، پیوندی، عصبی و ماهیچه‌ای می‌باشند. اغلب گیاهان نیز سامانه‌های بافتی پوششی، زمینه‌ای و آوندی دارند.

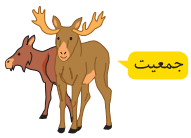
۳) اندام: هر اندام از چند **بافت مختلف** تشکیل می‌شود، مانند **استخوان** که در این شکل نشان داده شده است و از بافت پیوندی و پوششی روی آن و... تشکیل شده است.

نکته: بافت استخوانی را با استخوان اشتباه نگیرید، بافت استخوانی نوعی **بافت پیوندی** است ولی استخوان، **اندامی** شامل چند بافت مختلف می‌باشد.

۴) دستگاه: بدن گوزن نشان داده شده در شکل مقابل **از چند دستگاه** و هر دستگاه از چند **اندام** تشکیل شده است؛ مثلاً دستگاه حرکتی از غضروف، ماهیچه‌ها و استخوان‌ها تشکیل شده است. (بافت تمایز یافته، اندام و دستگاه، ویژگی جانوران و گیاهان می‌باشد که البته خزه‌گیان اندام و دستگاه مشخصی ندارند.)

۵) جاندار: جانداری 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.



۷) اجتماع: مجموعهٔ چند جمعیت که حاوی گونه‌های **متعدد** می‌باشند و با هم ارتباط **زیستی** دارند را یک **اجتماع** می‌گویند.

۸) بوم‌سازگان: در هر بوم‌سازگان (اکوسیستم) جمعیت‌های گوناگون با هم **تعامل** دارند و **یک اجتماع** را به وجود می‌آورند.

نکته: اجتماع، مجموعه جانداران گونه‌های مختلف در حال تعامل است ولی وقتی تعامل آن‌ها را با محیط **غیرزنده** اطراف بررسی کنیم، به آن یک اکوسیستم یا بوم‌سازگان می‌گویند. در بوم‌سازگان همان‌قدر که بررسی جانداران اجتماع آن مهم است، بررسی **محیط زیست** آن‌ها نیز مهم است.

نکته: بوم‌سازگان بر سه نوع خشکی، آبی و آبی خشکی می‌باشند.

۹) زیست‌بوم: از چند بوم‌سازگان تشکیل می‌شود که همگی زیستگاهی شامل دشت، کوهستان و مناطق آبزی زندگی می‌کنند.

نکته: هر زیست‌بوم شامل چندین بوم‌سازگان و اجتماع است که هرکدام در یک منطقه با شرایط یکسان از نظر مکان و آب و هوا قرار دارند. مثلاً قاره اروپا به همراه جانداران آبزی و خشکی‌زی و غیره اطراف آن یک زیست‌بوم به حساب می‌آید و قاره آفریقا زیست‌بوم دیگری به حساب می‌آید.

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

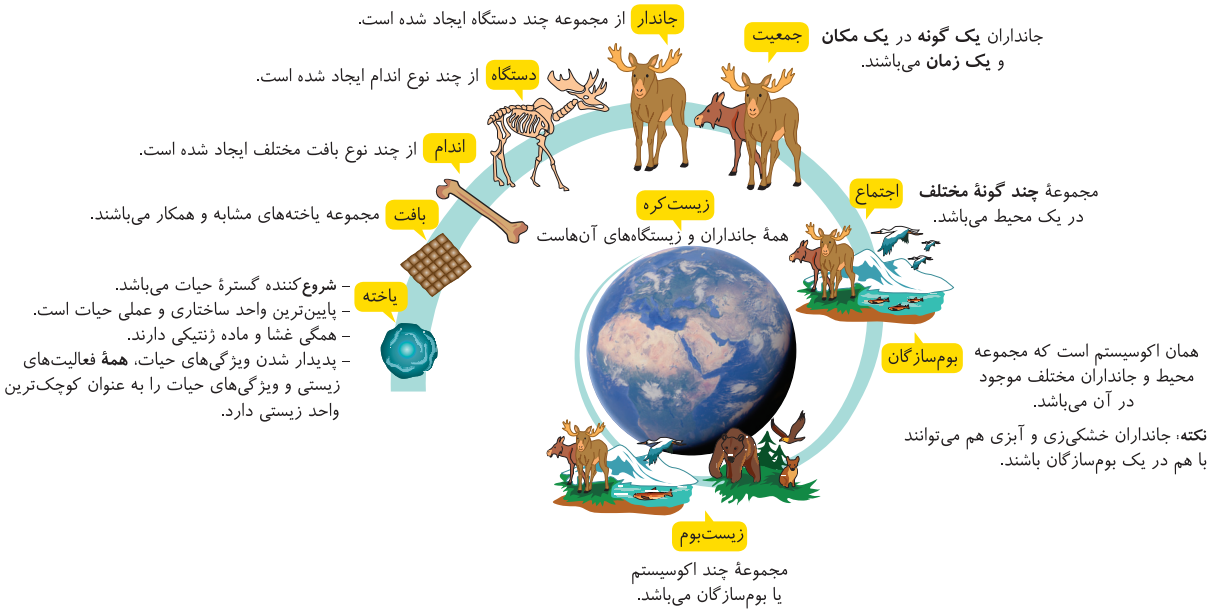
یادآوری: طبقه‌بندی جانداران را قبلاً خوانده‌اید که به صورت زیر می‌باشد:

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

نکتــه: در طبیعــت ۵ فرمانرو پروکاریوت‌ها (باکتری‌ها)، آغازیــان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران وجود دارد. در این سیســتم طبقه‌بندی هرچه از فرمانرو به ســمت گونه و نژاد می‌رویم، شــباهت 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.

نکته: گونه مجموعه افراد مشابهی با قابلیت **تولیدمثل** می‌باشند که فرزندان مشابه با قابلیت زندگی و تولیدمثل ایجاد می‌کنند.

نکته: زیســت‌بوم، مجموعهٔ چندین بوم‌ســازگان مختلف نزدیک هم می‌باشند که شــرایط محیطی 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 با محیط، با هم ارتباط دارند ولی زیســت‌بوم مجموعه بوم‌ســازگان جنگل و مناطق مرتفع کوهستانی نزدیک هم می‌باشد که ممکن است جانداران این دو بوم‌سازگان ارتباط زیادی با هم نداشته باشند.



نکات یاخته و ویژگی‌های آن

۱) **یاخته** واحد **ســاختار** و **عمل** در همهٔ جانداران می‌باشــد زیرا **ویژگی‌های حیات** (۷ ویژگی گفته شــدهٔ قبل) در این ســطح **پدیدار** می‌شود و در حقیقت **پایین‌ترین** سطح ساختار سازمان‌یابی حیات است که **همهٔ** فعالیت‌های زیستی در آن انجام می‌شود.

۲) همــهٔ جانــداران **یاختــه** دارند که یا یک‌یاخته‌ای (باکتری‌ها، اغلب آغازیان و برخی قارچ‌ها) و یــا پریاخته‌ای (برخی آغازیان و قارچ‌ها و همهٔ جانوران و گیاهان) می‌باشند.

۳) توانایی **تقسیم شدن یاخته** و ایجاد یاخته‌های جدید، اساس تولیدمثل و رشد و نمو در همهٔ گونه‌ها و ترمیم موجودات پریاخته‌ای می‌باشد.

۴) همهٔ یاخته‌ها **غشایی** برای تنظیم مواد عبوری دارند و اطلاعات لازم زندگی آن‌ها در مولکول‌های **DNA (دِنا)** 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 مثل یاختهٔ عصبی (نورون) و ماهیچه اسکلتی، پس از تولد دیگر **تقسیم** نشوند.

نکات یگانگی و گوناگونی حیات

۱) تنوع از ویژگی‌های حیات و شگفتی‌های آفرینش است که این تنوع در جاندارانی که با چشم **مسلح** (مثلاً با میکروسکوپ) دیده می‌شود از جاندارانی که با چشم **غیرمسلح** دیده می‌شوند، بسیار **بیشتر** است.

۲) زیست‌شناسان معتقدند که تعداد جانداران **ناشناخته** بسیار بیشتر از شناخته‌شده‌ها است.

۳) یکی از اهداف زیست‌شناسان مشاهدهٔ **تنوع زیستی** است تا بتوانند **ویژگی‌های مشترک گونه‌های مختلف** را پیدا کنند.

۴) DNA (دِنا) یکی از شباهت‌های جانداران **مختلف** است که در همهٔ جانداران وجود دارد و **کار یکسانی** را انجام می‌دهد، واحد سازندهٔ آن‌ها نیز در جانداران مختلف **یکسان** می‌باشد، ولی ترتیب قرارگیری واحدهای سازندهٔ آن در جاندار متفاوت می‌باشد. (همهٔ **جانداران** DNA دارند ولی در جانداران پریاخته‌ای، ممکن است برخی **یاخته‌ها** با اینکه زنده هستند ولی ماده ژنتیکی یا DNA نداشته باشند. مثل گویچهٔ قرمز بالغ و یاخته تشکیل دهندهٔ آوند آبکش گیاهان)

۵) جانداران یک گونه ژن‌های یکسان با دستورالعمل‌های **مختلف** دارند. در یک گونه جایگاه ژن‌ها روی کروموزوم‌ها در افراد مختلف **یکسان** می‌باشد.

۶) تنوع نه تنها در بین جانداران، بلکه در بدن **هر** جاندار نیز وجود دارد. (مثلاً تنوع در برگ‌های یک درخت!)

گفتار ۲ 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؟!☺ (حالا بریم ببینیم یعنی چی که میگن: **کل، بیشتر از اجتماع اجزاست.**)

در مثالی می‌توانید انواع چند جمعیت مختلف مثل گیاهان یک منطقه، گوزن‌ها و گرگ‌های آن منطقه را به صورت جدا بررسی کنید. در این حالت به روابط بین این جانداران با هم توجهی نمی‌کنید ولی وقتی در قالب یک **اجتماع** و روابط آن‌ها نگاه می‌کنید، به بررسی همزیستی‌ها و زندگی صیادی و غیره بین آن‌ها برای پایداری محیط پی می‌برید.

نکات زیست‌شناسی نوین

۱) 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.

۲) زیست‌شناسان، جانداران را **نوعی سامانهٔ پیچیدهٔ بزرگ** می‌دانند که اجزای آن با هم ارتباط‌های **چندسویه** دارند. این پیچیدگی‌ها وقتی جالب توجه‌تر می‌شود که ارتباط **جاندار و اجزای** تشکیل دهندهٔ آن را با **محیط زیست** بررسی کنیم که این ویژگی‌ها ابتدا در **بوم‌سازگان** قابل مشاهده و بررسی می‌باشد. (اگر از درسنامهٔ قبل یادتان باشد، بررسی محیط به همراه جاندار از بوم‌سازگان‌ها شروع می‌شود.)

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

۳) 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).

۴) همواره کل (ترکیب اجزاء) مواردی بیشتر از اجتماع اجزاء می‌باشد، مثلاً نمی‌توان یک سامانهٔ پیچیده‌تر و مرکب‌تر مانند **یاخته** یوکاریوتی را **فقط** در سطح کار **هر اندامک** بررسی کنیم و مطمئناً یاخته، چیزی بیشتر از مجموع اندامک‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهندهٔ آن است. در نتیجه **ارتباط بین اجزاء** نیز مانند **خود اجزاء** در تشکیل جاندار مؤثر است. **(کل، همواره بیشتر از اجتماع اجزاء می‌باشد.)**

۵) زیست‌شناسان **امروزی** معتقدند که بهتر است برای درک **سامانه‌های زنده، جزءنگری** را **کنار بگذارند** و بیشتر «**کل‌نگری**» کنند تا ارتباط بین اجزاء شناخته شود و تصویر بزرگ‌تر و کامل‌تری به دست بیاورند. **به همین دلیل برای بررسی یک موجود زنده به همهٔ عوامل زنده و غیرزندهٔ اطراف و در ارتباط با آن نیز که بر حیات آن مؤثر است، توجه می‌کنند.**

۶) امروزه مشخص شده است که علاوه بر نقش برهم‌کنش اجزای مختلف بدن یک جاندار، ارتباط تنگاتنگی نیز **بین جانداران و ریزاندامگان (میکروارگانیسم‌های) همزیست** وجود دارد.

نکته: انواع روابط جانداران با هم
- همیاری ← نوعی همزیستی است که هر دو طرف سود می‌برند.
- همسفرگی ← نوعی همزیستی است که یکی سود می‌برد و دیگری نه سود و نه زیان.
- انگلی ← در این رابطه انگل سود می‌برد ولی میزبان زیان می‌بینند. (دقت کنید که انگل برای ادامهٔ حیات به زنده بودن میزبان وابسته است.)
- صیادی ← در این رابطه صیاد سود می‌برد و صید خود را از بین می‌برد.

نگرش بین رشته‌ای

زیست‌شناسان امروزی برای **کل‌نگری به سامانه‌های زنده** علاوه بر توجه به شاخهٔ علم زیست‌شناسی، از اطلاعات سایر علوم تجربی و رشته‌های رایانه‌ای، فنی و ریاضی، رباتیک، آمار، شیمی و... نیز بسیار استفاده می‌کنند. این نگرش‌ها و روش‌ها پس از شناخت **ساختار مولکول دنا (DNA)** در سال ۱۹۵۳ متحول شد.

نکته: امروزه فناوری‌ها و علوم نوین مختلف، در بالاتر رفتن انتظارات و پیشرفت علم زیست‌شناسی نقش داشته است.

نکته: دقت کنید که شناخت و کشف DNA خیلی قبل‌تر از سال ۱۹۵۳ که شناخت **ساختار DNA** صورت گرفت، شکل گرفته بود. در حقیقت دانشمندی سوئیسی به نام **میشر**، اولین بار در سال ۱۸۶۹ نوکلئیک اسیدها را کشف کرد. در سال ۱۹۴۴ ایوری و همکارانش نشان دادند که دنا (DNA)، مادهٔ ژنتیک یاخته می‌باشد ولی در سال ۱۹۵۳ محققینی به نام واتسون و کریک ساختار مدل مارپیچ دو رشته‌ای دنا را ارائه کردند.

فناوری‌های نوین زیست‌شناسی

الف) فناوری اطلاعاتی و ارتباطی
- 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 برابر با یک تریلیون بایت می‌باشد.)

ب) فناوری مشاهدهٔ سامانه‌های زیستی **زنده**
- زمان قدیم با کشتن و **رنگ‌آمیزی**، یاخته و اجزای درون آن را می‌دیدند.
- امروزه اشیاء چند آنگسترومی را تصویربرداری می‌کنند و می‌توانند یاخته‌های زنده را مشاهده کنند.
- امروزه حتی می‌توانند **جایگاه** یاخته‌ها را در بدن شناسایی کنند.
- با این روش، می‌توانند درشت‌مولکول‌هایی مانند پروتئین را در یاخته‌های **زنده** شناسایی و ردیابی کنند.
- حتی به کمک ماهواره از فاصلهٔ دور از بوم‌سازگان و جانداران مختلف تصویربرداری می‌کنند.

ج) مهندسی ژن (ژنتیک)

در چند سال اخیر زیست‌شناسان می‌توانند ژن‌های یک جاندار را در بدن جاندار دیگر وارد کرده و با فعالیت آن ژن در جاندار جدید، ویژگی جاندار قبلی را در جاندار جدید پدیدار کنند.

نکته: به روشی که باعث انتقال صفت یا صفاتی از یک جاندار به جانداران دیگر می‌شود **مهندسی ژن** می‌گویند که در پزشکی، کشاورزی و پژوهش‌های علوم پایه نقش دارد. البته روش‌های دیگری نیز همراه با دستکاری ژنی به نام مهندسی **پروتئین** نیز وجود دارد که در سال دوازدهم به مطالعهٔ آن‌ها می‌پردازید.

نکته: به جاندارانی که ژن‌های افراد **گونهٔ دیگر** را می‌گیرند و بروز می‌دهند، **جانداران تراژنی** می‌گویند که با این روش حتی ژن‌های انسان را به گیاه، باکتری و... نیز منتقل کرده‌اند. به جانداران تراژنی، جاندار تغییر یافتهٔ ژنتیکی نیز می‌گویند.

نکته: در مهندسی ژن (ژنتیک)، می‌توان برخلاف روش تراژنی، انتقال ژن را بین افراد **یک گونه** و یک جمعیت نیز انجام داد. مثلاً روشی به نام **ژن‌درمانی** وجود دارد که ژن سالم را از انسانی سالم به فرد بیمار منتقل می‌کنند تا بیماری فرد به تدریج از بین برود. در این حالت به فرد گیرندهٔ ژن دیگر واژهٔ تراژنی اطلاق نمی‌شود (زیست دوازدهم).

اخلاق زیستی

پیشرفت سریع علم زیست‌شناسی به علت همکاری با پژوهشگران دیگر علوم تجربی به ویژه در **مهندسی ژنتیک** و دست‌ورزی ژن‌های جانداران، نگرانی‌هایی در جامعه ایجاد کرده است که از موضوع‌های **اخلاق زیستی** می‌باشد که از آن جمله می‌توان به محرمانه بودن اطلاعات ژنی (ژنتیک) و نیز اطلاعات پزشکی افراد، فناوری مختلف ژن‌درمانی، حقوق جانوران و جانداران تراژن و همچنین سوء استفاده در تولید سلاح‌های زیستی و

تولید عوامل بیماری‌زای مقاوم به داروها اشاره کرد.

* در زیست دوازدهم به‌طور کامل در مورد دستکاری‌های ژنتیک برای مهندسی ژنتیک، مهندسی پروتئین و مهندسی بافت مطلب جالب می‌آموزید!

نکتهٔ مهم: دست‌ورزی ژنی یعنی قرار دادن قسمتی از یک DNA بیگانه در DNA جاندار یا در سیتوپلاسم یاختهٔ آن جاندار! **(زیاد بهش فکر نکن. در فصل ۷ دوازدهم خیلی در موردش مطلب می‌خونی!)**

گفتار ۳ زیست‌شناسی در خدمت انسان

در **حال حاضر** به دلیل فعالیت‌های انسانی در کسب راحت‌تر **انرژی**، برخی بوم‌سازگان (اکوسیستم‌ها) در **حال تخریب و نابودی** هستند به همین دلیل پژوهشگران به دنبال جایگزین‌هایی هستند تا با عدم تخریب محیط زیست بتوانند انرژی سالم‌تر و آسان‌تری به دست بیاورند.

همان‌طور که می‌دانید سوخت‌های **فسیلی** یا انرژی‌های تجدید **نشدنی** مثل نفت، گاز، بنزین و گازوئیل، تمام شدنی، تجدیدناپذیر، آلوده‌کنندهٔ هوا و **افزایندهٔ** گرمای زمین می‌باشند، از طرفی **استخراج** آن‌ها تخریب‌کنندهٔ محیط زیست می‌باشد. در حالی که انرژی‌های **تجدیدپذیر** مثل آب‌های روان، باد، خورشید، زمین **گرمایی** و سوخت‌های **زیستی** فاقد این مشکلات می‌باشند و باید استفاده از آن‌ها را متداول کرد، چون اثرات مخرب سوخت‌های فسیلی را برای بوم‌سازگان‌ها ندارند.

انواع کمک انسان به بوم‌سازگان و زیست‌شناسی:
- الف) تأمین **غذای** سالم و کافی
- ب) حفاظت از **بوم‌سازگان‌ها** به همراه ترمیم و بازسازی آن‌ها
- ج) تأمین انرژی‌های تجدید**پذیر**

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 و پیش‌بینی می‌شود که تا حدود سال ۲۰۳۰ این مقدار به حدود **۵** برابر (۴/۸ میلیارد نفر) برسد.

۲) یکی از راه‌های به دست آوردن غذای بیشتر و بهتر، **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.)

* موارد مهم برای تأمین غذای بیشتر و بهتر از گیاهان:
- الف) شناخت **بیشتر** گیاهان
- ب) شناخت روابط گیاهان **زراعی** و محیط زیست
- ج) شناخت اجتماع‌های پیچیدهٔ میکروبی در **خاک**
- د) استفاده از مهندسی ژنتیک در انتقال برخی ژن‌های گیاهان **خودرو** به **زراعی**

۳) یکی از ویژگی‌های **گیاهان خودرو**، **سازگاری آن‌ها برای ماندن و رشد در زیستگاه‌های مختلف**، قدرت رویش و رشد **سریع** و تولید فراورده **دانه و میوهٔ** زیاد در مدت **کوتاه** می‌باشد. همهٔ این ویژگی‌ها به دلیل وجود **ژن‌های مناسب** برای رشد در دنا (DNA) این گیاهان است. در حال حاضر با مهندسی ژنتیک این ژن‌ها را از **گیاهان خودرو** (مثل **خرزهره**) جدا کرده و به **گیاهان زراعی** (مثل **غلات** و **حبوبات**) منتقل می‌کنند تا آن‌ها نیز سرعت رشد و تولید محصول زیادتر و مناسب‌تری داشته باشند. (این کار سبب ایجاد گیاهان **زراعی تراژنی** می‌شود.)

۴) یکی دیگر از راه‌های افزایش کمیت و کیفیت غذای انسان، شناخت روابط **گیاهان زراعی** 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) و غیرزنده (دما، نور، رطوبت و...) محیط در ارتباط هستند که می‌تواند برای این گیاهان مفید یا مضر باشد.

۵) **اجتماع‌های پیچیدهٔ میکروبی در خاک** (اجتماعات میکروبی)، علاوه بر تأثیر بر سلامت انسان، در تهیهٔ مواد مغذی و محافظت گیاهان در مقابل **آفت‌ها و بیماری‌ها** نیز نقش مهمی دارند. پس شناخت این **اجتماعات میکروبی**، به پیدا کردن راه‌های افزایش **تولیدکنندگی گیاهان** کمک می‌کند. (گیاهان برای رشد بهتر می‌توانند با باکتری‌ها و قارچ‌ها همیاری کنند. مثلاً در فصل ۷ می‌آموزید که ریشهٔ برخی گیاهانی که در مناطق فقیر از نظر نیتروژن زندگی می‌کنند برای ادامهٔ حیات مجبور به همزیستی با باکتری‌هایی مثل **ریزوبیوم‌ها** و **سیانوباکتری‌ها** هستند.)

۶) امروزه از **مهندسی ژنتیک** در بهبود مقاومت گیاهان به بیماری‌های گیاهی با عوامل ویروسی، باکتریایی، قارچی و مقابله با حشرات آفت کمک می‌گیرند و آن‌ها را مقاوم می‌کنند.

ب) حفاظت از بوم‌سازگان‌ها، ترمیم و بازسازی آن‌ها

همان‌طور که گفتیم بوم‌سازگان از جانداران و محیط آن‌ها ایجاد شده است. در این بخش می‌خواهیم به بررسی بوم‌سازگان‌های انسانی و فعالیت‌های انسان در پایداری و بهبود عوامل آن بپردازیم.

● 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: 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.

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.

● مثالی از یک بوم‌سازگان آسیب دیده در ایران

دریاچهٔ ارومیه که بزرگ‌ترین دریاچهٔ داخلی ایران است، چندین سال است که در خطر خشک شدن قرار دارد چون تا سال ۱۳۹۴، مساحت زیادی از آن خشک شده است.

علل خشک شدن تدریجی دریاچهٔ ارومیه:
- **۱)** خشکسالی
- **۲)** حفر بی‌حساب چاه‌های کشاورزی در **اطراف** دریاچه
- **۳)** بی‌توجهی به قوانین طبیعت
- **۴)** احداث بزرگراه روی دریاچه
- **۵)** استفادهٔ **غیرعلمی** از آب‌های رودخانه‌هایی که به آن می‌ریزند.
- **۶)** سدسازی در مسیر رودهای وارد شونده به این دریاچه (نه سدسازی در این دریاچه!!)

نکته: 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 که به دلیل **قطع درختان جنگل‌ها** برای استفاده از **چوب یا زمین** جنگل می‌باشد.

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

ج) انواع انرژی‌های طبیعت و تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر

۱) بیش از سه چهارم نیازهای انرژی **کنونی** جهان از **منابع فسیلی** مثل نفت، گاز و بنزین تأمین می‌شود که هم باعث افزایش CO_2 جو، آلودگی هوا و **گرمایش زمین** می‌شوند و هم **استخراج** آن‌ها به محیط زیست ضرر می‌رسانند و تجدید**ناپذیر** هستند.

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) انسان‌های اولیه با سوزاندن چوب و برگ درختان، از آن‌ها انرژی گرمایی به دست می‌آوردند ولی زیست‌شناسان امروزی کاربرد مؤثرتری برای استفاده از چوب و برگ درختان و تغییرات روی **سلولز** آن‌ها برای کسب سوخت **زیستی** به دست آورده‌اند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۴) در حال حاضر زیست‌شناسان می‌کوشند که برخلاف انسان‌های اولیه که با سوزاندن چوب و برگ درختان، انرژی به دست می‌آوردند، **سلولز را به سوخت‌های زیستی دیگر** تبدیل کنند. می‌توان برای این کار، با انتخاب **مصنوعی**، یعنی انتخاب گیاهانی که **سلولز بیشتری** تولید می‌کنند را جدا کرد و کاشت داد و یا با **مهندسی ژنتیک** تولید **سلولز** را در گیاهان زیاد کرد ولی مصرف انرژی و آب و کود را در آن‌ها کاهش می‌دهند.

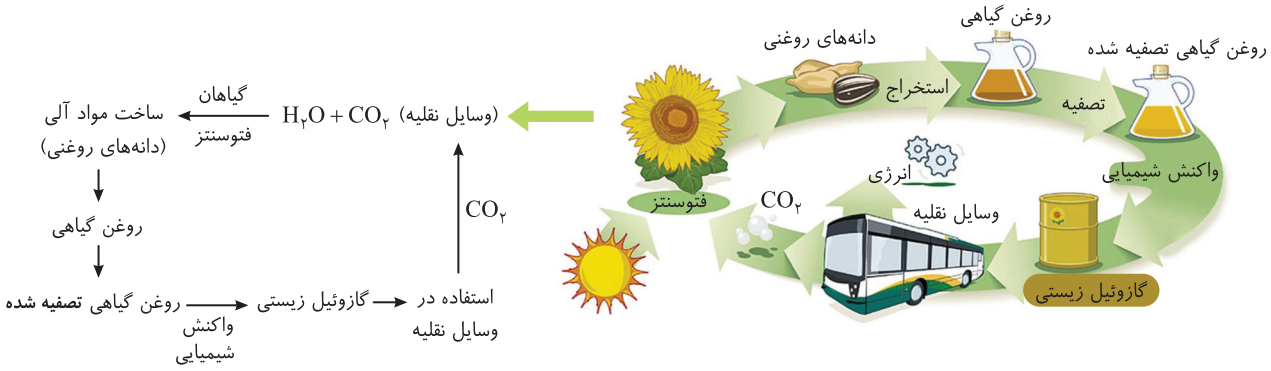
نکته: محققین با استفاده از مهندسی **ژنتیک**، توانسته‌اند، آنزیم‌های **سلولاز** بهتر و بیشتری را ایجاد کنند تا تجزیه سلولز و استفاده از انرژی گلوکز آن را آسان کنند. لازم به ذکر است که آنزیم سلولاز به‌طور طبیعی اغلب در **باکتری‌ها** تولید می‌شود ولی هر جاندار گیاه‌خوار یا همه‌چیزخواری برای گوارش غذا و گرفتن انرژی سلولز به این آنزیم محتاج است.

۵) در حال حاضر می‌توان از **ضایعات چوب**، تفاله‌های محصولات کشاورزی مثل نیشکر و غلات، روغن‌های گیاهان و سبزیجات، **سوخت زیستی** مثل **گازوئیل زیستی و الکل** تولید کرد که اثر سرطان‌زا ندارند و تولید باران اسیدی هم نمی‌کنند.

۶) امروزه در برخی کشورها از سوخت‌های **زیستی** برای به حرکت درآوردن خودروها استفاده می‌کنند که منشأ زیستی دارند.

۷) به نظر می‌رسد که تا سال ۲۰۳۰ نیاز مردم به انرژی حدود ۶۰ درصد از امروزه بیشتر شود. از طرفی دقت کنید که هم سوخت‌های فسیلی و هم سوخت‌های زیستی هر دو منشأ **زیستی** دارند. منشأ زیستی سوخت فسیلی از جانداران **قدیمی** و در مورد سوخت زیستی از جانداران **امروزی** می‌باشد.

۸) با توجه به طرح زیر، درمی‌یابیم که **روغن گیاهی** را می‌توان از **دانه‌های روغنی** استخراج کرد و با تصفیه آن، روغن گیاهی تصفیه شده ایجاد کنیم. از این روغن گیاهی تصفیه شده، طی واکنش‌های شیمیایی **گازوئیل زیستی** حاصل می‌شود. گازوئیل زیستی می‌تواند سوخت وسایل نقلیه را تأمین کند، در این حالت از CO_2 حاصل از سوخت آن‌ها دوباره در فتوسنتز گیاهان استفاده می‌شود. چون این واکنش‌ها **چرخه‌ای** می‌باشند پس این انرژی‌ها نیز تجدیدپذیر هستند و با فتوسنتز گیاهان، دوباره دانه روغنی اولیه را ایجاد می‌کنند.



انواع سوخت‌ها
- فسیلی
  - از موجودات زنده **قدیمی** ایجاد شده‌اند.
  - تجدید**ناپذیر** و آلوده‌کننده محیط زیست هستند.
  - بیش از **سه چهارم** نیاز انرژی کنونی جهان را برطرف می‌کنند.
  - CO_2 هوا و 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 گیاهی تصفیه شده به دست می‌آیند.
  - الکل نوعی از آن است.

سلامت و درمان بیماری‌ها

پزشکی شخصی

روش تازه‌ای است که پزشکان با **بررسی اطلاعات ژن‌های 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، به جای مشاهدهٔ **حال** بیمار برای تشخیص و درمان بیماری‌ها با بررسی ژنی آن‌ها، روش درمان هر فرد به صورت **اختصاصی** صورت می‌گیرد.

نکته: برخی داروها در درمان برخی بیماری‌ها روی برخی از افراد جواب مثبت می‌دهند ولی همین دارو ممکن است به دلیل عوامل ژنی روی فرد دیگر اثر نکند و باعث اثرهای جانبی خطرناک نیز بشود.

فصل دوم

گوارش و جذب مواد

درسنامه

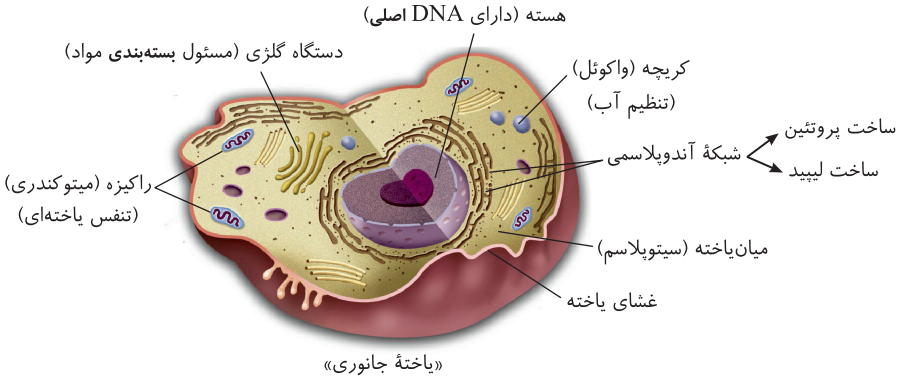
گفتار ۱ یاخته (سلول)

در هر جانداری، یاخته (سلول) واحد **ساختار** و **عملکرد بدن** می‌باشد. در فصل قبل دیدیم 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، باید فضای **بین**یاخته‌ای نسبتاً پایداری با عمل هومئوستازی وجود داشته باشد 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.

نکته: مایع بین‌یاخته‌ای به‌طور **دائم**، مواد مختلفی را با **خون** مبادله می‌کند به همین دلیل ترکیب مواد در مایع بین‌یاخته‌ای، **شبیه پلاسما (خوناب)** می‌باشد.

اجزای یاخته
- غشا ← از دو لایهٔ فسفولیپیدی به همراه پروتئین و کربوهیدرات ایجاد شده است که در جانوران حاوی **کلسترول** نیز می‌باشد.
- سیتوپلاسم (میان‌یاخته)
  - مادهٔ زمینه‌ای
    - مایعی است که فرایندهای مختلفی مثل پروتئین‌سازی یا برخی قسمت‌های تنفس مثل **قندکافت** و **تخمیر** در آن صورت می‌گیرد.
    - ساختارهایی مثل **رناتن‌ها (ریبوزوم‌ها)** در آن قرار دارند.
  - اندامک‌ها
    - بخش‌های غشاداری ویژهٔ یوکاریوت‌ها مثل راکیزه (میتوکندری)، کریچه (واکوئل) و ... می‌باشند.
    - واکنش‌های مختلف یاخته را انجام می‌دهند.
- هسته ← اندامکی حاوی دو غشای **منفذدار** در یوکاریوت‌ها می‌باشد که مادهٔ ژنتیکی اصلی یاخته در آن قرار دارد.



«یاختهٔ جانوری»

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

محیط داخلی

در جانـداران پریاختـه‌ای به مجموعهٔ **مایع بین‌یاخته‌ای** بافت‌های مختلف بدن به همراه **خون و لنـف**، محیط داخلی می‌گویند، این محیط با عمل **هم‌ایستایی** (هومئوستازی)، باید **نسبتاً** پایدار بماند. (زلالیه چشم و مایع مغزی - نخاعی نیز جزء محیط داخلی هستند.)

نکتـه: محیـط زندگی یاخته‌ها یا همان **فضای بین‌یاخته‌ای** از اعضای محیط داخلی بدن می‌باشـد ولی **خود یاخته‌ها** و سیتوپلاسـم درون آن جزء محیط داخلی بدن محسوب نمی‌شوند.

نکته: هر یاخته، **غشـایی** با نفوذپذیری انتخابی یا تراوایی نسـبی دارد که از مولکول‌های لیپیدی، پروتئینی و کربوهیدراتی (قندی) تشـکیل شده است. دقت کنید که فقط **برخی** از مولکول‌ها یا یون‌ها می‌توانند از غشا عبور کنند.

نکته: در یاختهٔ جانوری، بخش لیپیدی غشـا از فسـفولیپید دولایه‌ای و کلسترول‌های بین آن‌ها تشکیل شده است. مواد مختلف یا از فضای بین مولکول‌های لیپیدی و یا از **پروتئین‌های** ویژه و با مکانیسم‌های خاصی عبور می‌کنند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

نکات کلی ساختار غشای یاخته

۱) وظیفهٔ غشا، کنترل عبور مواد به درون یا بیرون یاخته می‌باشد.

۲) بیشـترین مولکول‌های تشـکیل دهندهٔ غشـای یاخته‌ای، **فسفولیپیدها** هسـتند که دو بخش آب‌دوسـت (دارای گروه فسفات) و آب‌گریز (دم اسید چربی یا بخش لیپیدی) دارند. به همین دلیل، اجتماع فسـفولیپیدها در آب، به صورت دولایه‌ای قرار می‌گیرند که دم‌های آب‌گریز هر لایه به سمت همدیگر در وسط غشا و سرهای آب‌دوست در **دو طرف** با آب در تماس می‌باشند.

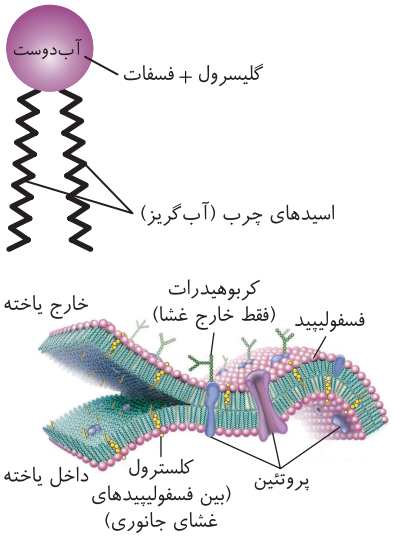
۳) در بخش لیپیدی غشای یاخته‌های **جانوری**، مولکول‌های **کلسترول** در **بین** فسفولیپیدها وجود دارند.

۴) 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).

۵) به **برخی** از پروتئین‌ها و لیپیدهای سطح **خارجی** غشا، مولکول‌های **کربوهیدرات** نیز متصل‌اند.

۶) غشـای پلاسـمایی سـدی با **تراوایی نسـبی** بین محیط بیرون و فضای درون یاخته به وجود می‌آورد که مولکول‌ها و یون‌ها با روش‌های ویژه‌ای می‌توانند از عرض غشا عبور کنند.

۷) غشای یاخته دور سیتوپلاسم یا میان‌یاخته را فرا گرفته است ولی درون یاخته‌های یوکاریوتی، می‌توان اندامک‌هایی حاوی غشا را نیز مشاهده کرد.



«غشای یاخته»

بـرای تعییـن راه‌های انتقال مواد در بدن، **ابتدا** به **نوع مـادهٔ** عبوری دقت کنید. مولکول‌های **کوچک** مثل آب، یون، اغلب ویتامین‌ها، مونومرها یا گازهای تنفسـی بر اسـاس **تفاوت غلظت** آن ماده بین بیرون و درون یاخته منتقل می‌شوند ولی عبور مولکول‌های **درشت** مثل بسپاره‌ها (پلیمرها) روش انتقال متفاوتی دارند و همواره با صرف انرژی منتقل می‌شوند.

الف) اگر مولکول عبوری، مواد کوچک بودند

* چون مولکول‌ها انرژی جنبشی دارند، **همیشه** در حال حرکت هستند. (مانند باز کردن در ظرف عطر و به مشام رسیدن تدریجی بوی عطر!)
* در عبور مولکول‌های **کوچک** باید به تفاوت تراکم آن مولکول یا همان **شـیب غلظت** آن ماده در دو طرف غشـای عبوری دقت کنید. دو نوع انتقال را می‌توان برای عبور این مواد در نظر گرفت: ۱- انتشار، ۲- انتقال فعال.

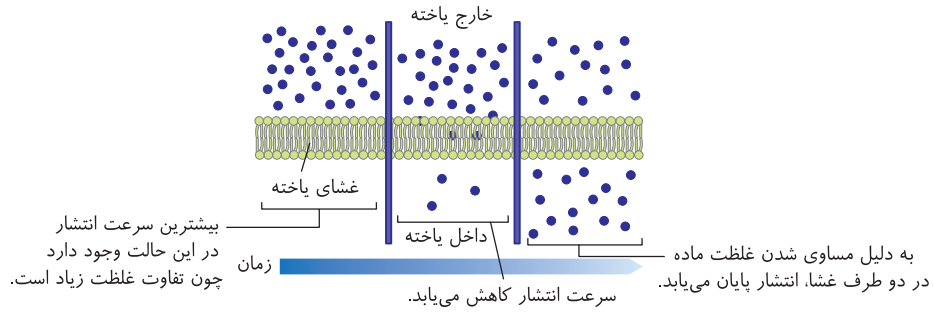
۱) انتشار

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 یک ماده، انرژی مصرف نمی‌کند. در انتشار مولکول‌ها می‌توانند از منافذ بین فسفولیپیدها، یا 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 محیط قرار دارد.

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 در انواع انتشار، انرژی جنبشی مولکول مورد نظر در عبور آن نقش دارد.

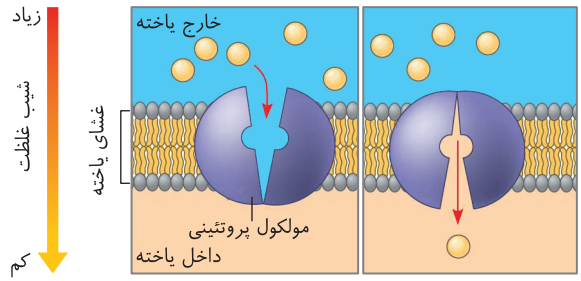
انواع انتشار (منتشر شدن مواد)

- انتشار ساده
  - عبور ماده از هر قسمتی از فضای بین **لیپیدهای** غشا برحسب شیب غلظت می‌باشد.
  - موادی مانند آب، گازهای تنفسی، اغلب ویتامین‌ها و برخی 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.



«انتشار ساده»

- انتشار تسهیل‌شده
  - در این روش پروتئین‌های **کانالی** غشا، انتشار ماده را در **جهت شیب غلظت** تسهیل می‌کنند.
  - عبور مولکول **کوچک** از طریق پروتئین‌های کانالی دریچه‌دار یا فاقد دریچه غشا صورت می‌گیرد.
  - 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.
  - **خروج** گلوکز و اغلب آمینواسیدها از یاخته‌های روده‌ای و ورود به مایع بین‌یاخته‌ای برای انتقال به خون از این طریق است (گفتار ۳).
  - برخی پروتئین‌های کانالی همواره بازند (مانند کانال‌های **نشتی**) و برخی باز و بسته می‌شوند (مانند کانال‌های **دریچه‌دار**).
  - پروتئین‌های کانالی عبوری در این روش، عمل **اختصاصی** دارند و فقط یک ماده را عبور می‌دهند.
  - 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»

نکتهٔ مهم: تفاوت انتشار ساده و تسهیل‌شده در **نحوهٔ عبور ماده** از غشا می‌باشد. البته قدرت **حل شدن مادهٔ مورد نظر در لیپیدها** نیز در انتشار نقش دارد. مثلاً O_2، CO_2 و اوره که در **لیپید** حل می‌شوند به راحتی از بین فسفولیپیدها به طریق انتشار **ساده** عبور می‌کنند ولی یون‌ها، گلوکز و آمینواسیدها، چون در لیپیدها حل نمی‌شوند، اغلب به پروتئین کانالی نیاز دارند و با روش انتشار **تسهیل‌شده** عبور می‌کنند. دقت کنید که مولکول‌های **آب** از هر دو مسیر بین فسفولیپیدی و پروتئین‌های کانالی عبور می‌کنند.

نکته: 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.

نکته: در زیست دوازدهم، پروتئین‌هایی کانالی با دو نقش کاملاً متفاوت را بررسی می‌کنیم. یکی برای انتشار تسهیل‌شده پروتون (H^+) در راکیزه (میتوکندری) و سبزدیسه (کلروپلاست) و دیگری، نقش آنزیمی آن‌ها را در تولید ATP مطالعه خواهیم کرد.

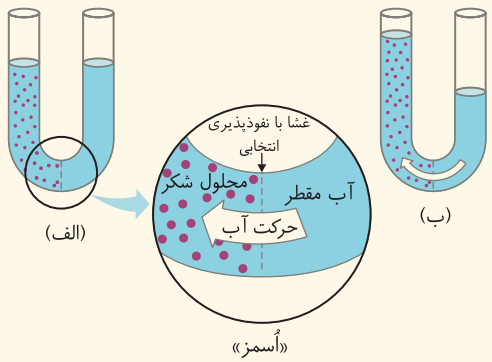
● اسمز (گذرندگی) = انتشار سادهٔ مولکول آب

* با اینکه غشای یاخته لیپیدهای زیادی با خاصیت آب‌گریزی دارد، اما مولکول‌های آب، **بیشترین** ماده‌ای است که از غشای یاخته‌ها **منتشر** می‌شود. **(به انتشار سادهٔ آب از یک غشا با نفوذپذیری انتخابی، اسمز می‌گویند.)**

* 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 **پتانسیل آب بیشتری دارد** به محیط **غلیظ‌تر** با پتانسیل 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.

نکته: در شکل روبه‌رو می‌بینیم که **فقط** مولکول‌های آب به آسانی از عرض غشا عبور می‌کنند. مقدار مولکول‌های آب در سمت راست بیشتر است و تمایل به انتشار به سمت چپ دارند که سبب بالاتر رفتن سطح محلول در سمت چپ می‌شود.



نکته: فشار اسمزی، فشاری بین دو محیط با تراکم آب مختلف می‌باشد و در حقیقت به مقدار فشاری برای عبور آب گفته می‌شود که سبب می‌شود انتشار آب به سمت دیگر متوقف شود. بین دو محیط، هرچه تفاوت غلظت دو محلول در دو سوی غشا بیشتر باشد، فشار اسمزی یا فشار آب‌گیری محلول **غلیظ‌تر** بیشتر 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 آب طبق اسمز از محلول اول به سمت محلول دوم می‌رود. این عمل تا جایی انجام می‌شود که غلظت هر دو محلول با هم برابر و به اندازهٔ ٪۳۰ شود.

نکته: آب توانایی دارد به هر دو سمت غشا عبور کند، ولی **انتشار** یا اسمز آب به سمتی است که در آن، نسبت آب به مواد محلول کمتر باشد (از راست به چپ در شکل بالا) ولی پس از اینکه غلظت محلول در دو سمت غشا نفوذپذیر متعادل شد، عبور آب در دو سمت یکسان می‌شود. دقت کنید که وقتی دو محلول با غلظت برابر در دو سمت غشا وجود داشته باشد، دیگر به انتقال آب بین آن‌ها اسمز گفته نمی‌شود.

فشار اسمزی (فشار آب‌گیری)

تمایل یک محلول **غلیظ** به جذب مولکول‌های آب خالص است، به‌طوری که هرچه یک محلول غلیظ‌تر باشد، تمایل به گرفتن آب آن یا همان فشار اسمزی آن **بیشتر** است و آب، سریع‌تر با مکانیسم اسمز جابه‌جا می‌شود.

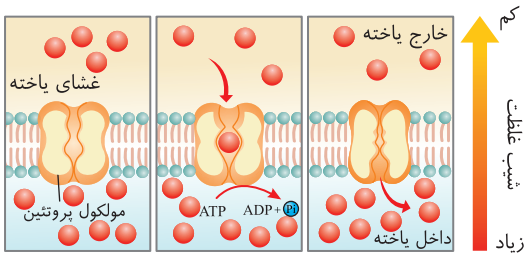
نکته: فشار اسمزی در اثر مواد **حل شده** در آب ایجاد می‌شود، نه هر مادهٔ موجود در آب. مثلاً در خون، یاخته‌های خونی، **نامحلول** در آب پلاسما هستند و در ایجاد فشار اسمزی پلاسما نقشی ندارند. فشار اسمزی پلاسمای خون به دلیل وجود مواد **محلولی** مثل **املاح و پروتئین‌های** آن می‌باشد.

نکته: در انسان، چون غلظت مواد در مایع بین‌یاخته‌ای و خون، 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.

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.

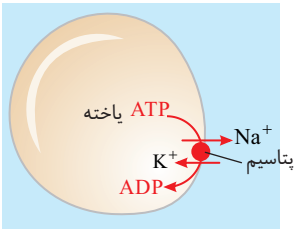
۲) انتقال فعال

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** موجود در **عرض غشا** صورت می‌گیرد که انرژی مورد نیاز این واکنش، **در اغلب موارد** از مولکول ATP به دست می‌آید.



نکته: در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که پروتئین مسئول انتقال فعال مادهٔ مورد نظر، قدرت تجزیهٔ ATP و تبدیل آن به ADP را نیز دارد.

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.



نکتهٔ ترکیبی

در زیست دوازدهم می‌خوانید 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

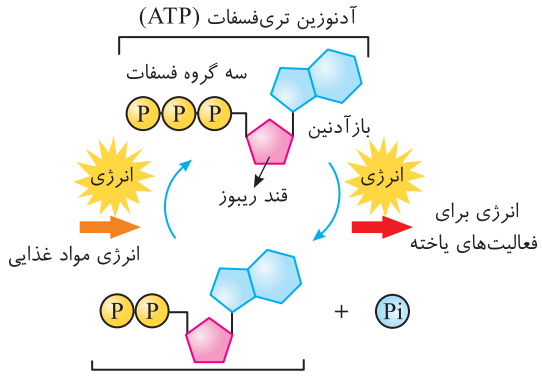
غذایی که می‌خوریم حاوی موادی مانند نشاسته، گلیکوژن و لیپید است که در پیوندهای شیمیایی آن‌ها، انرژی برای مدت طولانی ذخیره می‌شود. یاخته‌های زنده طی تنفس یاخته‌ای، اغلب با تجزیه (اکسایش) **گلوکز**، انرژی پیوندهای شیمیایی آن‌ها را در مولکول ATP ذخیره می‌کنند. یاخته، برای نیاز فوری، باید با شکستن پیوندهای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

نکتهٔ ترکیبی

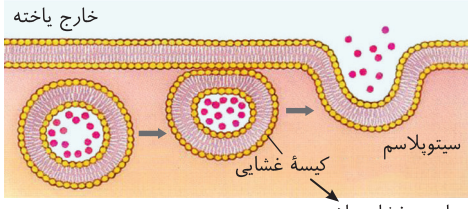
مواردی که برای کنکور باید بدانید که با انتقال فعال منتقل می‌شوند

- **۱)** انتقال فعال سدیم به خارج و پتاسیم به داخل یاخته، از طریق پمپ‌های غشایی یاخته‌ای
- **۲)** جذب کلسیم و آهن در **رودهٔ** انسان
- **۳)** جذب برخی ویتامین‌های محلول در **آب** در رودهٔ انسان
- **۴)** **اغلب** مکانیسم بازجذب و ترشح در نفرون‌ها
- **۵)** ورود H^+ به فضای **بین دو غشای** راکیزه و فضای درون **تیلاکوئید** سبزدیسه
- **۶)** ورود پیرووات‌های تنفس یاخته‌ای به **درون** راکیزه‌ها
- **۷)** جذب نمک و یون‌ها به **آبشش‌های** ماهیان آب شیرین
- **۸)** انتقال یون‌های معدنی از درون پوست و استوانهٔ مرکزی ریشهٔ گیاهان به درون آوندهای چوبی **(فشار ریشه‌ای)**
- **۹)** 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 مولکول‌های 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 می‌گیرند.

نکته: در آندوسیتوز (درون‌بری)، غشای یاخته، اطراف مواد بزرگ را احاطه کرده و با تولید کیسه‌های 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.



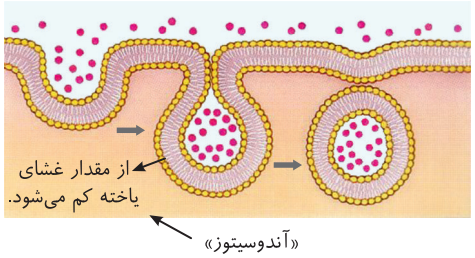
* **خروج آنزیم‌های** گوارشی از لولهٔ گوارش یا خروج ناقلین عصبی از انتهای **آکسون** نورون‌ها، نمونه‌ای از **اگزوسیتوز** (برون‌رانی) می‌باشد ولی جذب ویتامین B_{12} در روده به صورت آندوسیتوز (درون‌بری) رخ می‌دهد.

بیشتر بدانید

انواع آندوسیتوز (درون‌بری)

الف) پینوسیتوز: روشی که درشت‌مولکول‌های **محلول** از طریق کیسهٔ غشایی وارد یاخته می‌شوند. مانند انتقال مواد محلول مویرگی

ب) فاگوسیتوز: روشی که درشت‌مولکول‌ها به صورت ذرهٔ جامد و از طریق کیسهٔ غشایی وارد می‌شوند. مانند عمل ذره‌خواری (بیگانه‌خواری) نوتروفیل و ماکروفاژ در دفاع بدن



انسان و سایر مهره‌داران دارای **چهار نوع بافت اصلی** به نام پوششی، پیوندی، ماهیچه‌ای و عصبی هستند که ابتدا برای درک بهتر هر فصل از کتاب سال دهم و بررسی دستگاه‌های بدن جانوران، بهتر است آن‌ها را بررسی کنیم:

نکته: 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.

نکته: مایع بین‌یاخته‌ای (بخشی از محیط داخلی) و سازمان‌یابی بافت‌های بدن، ویژه 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

۱) این بافت از ساده‌ترین بافت‌های جانوری می‌باشد که **پوشش سطح بدن** (لایه **خارجی** پوست) و سطح **داخلی** حفره‌ها و مجاری درون بدن (مثل دهان، روده‌ها، رگ‌ها، مجاری تنفسی و...) را پوشانده است.

نکته: 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 **رشته‌ای** می‌باشد.

۲) یاخته‌های این بافت بسیار به یکدیگر **نزدیک** هستند و فضای بین‌یاخته‌ای **اندکی** بین آن‌ها وجود دارد.

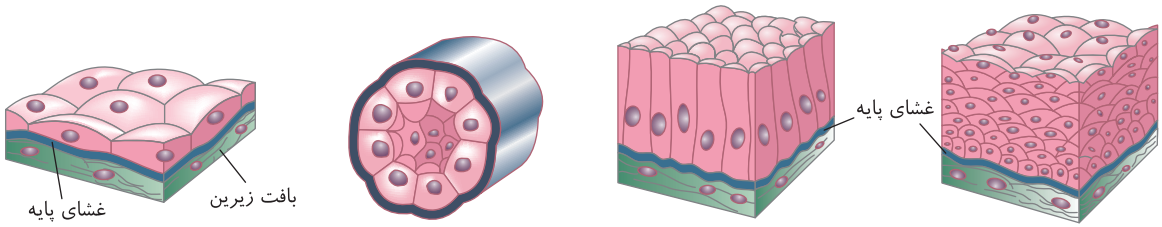
۳) اغلب یاخته‌های این بافت طول **عمر کوتاه** ولی سرعت **تقسیم زیادی** دارند.

۴) در **زیر** داخلی‌ترین یاخته‌های این بافت، بخشی به نام **غشای پایه** وجود دارد که **فاقد یاخته** و فعالیت **متابولیسمی** است. غشای پایه شبکه‌ای از رشته‌های **پروتئینی** به همراه ترکیب **کربوهیدرات و پروتئین** (گلیکوپروتئینی) می‌باشد که هم **داخلی‌ترین** یاخته‌های بافت پوششی را به یکدیگر متصل نگه می‌دارد و هم بافت پوششی را به بافت‌های زیرین آن متصل می‌کند.

۵) یاخته‌های بافت پوششی به شکل‌های سنگ‌فرشی، مکعبی و استوانه‌ای در **یک یا چند لایه** قرار گرفته‌اند.

۶) بافت پوششی می‌تواند یک‌لایه‌ای (ساده)، اغلب برای نقل و انتقال مواد و یا چندلایه‌ای (مرکب) سازمان یافته باشد که نوع چندلایه‌ای بیشتر نقش **محافظت** دارد (مثل سنگ‌فرشی چندلایه‌ای اپیدرم پوست). هر دو نوع بافت پوششی یک یا چند لایه‌ای می‌توانند **قدرت ترشح** مواد داشته باشند.

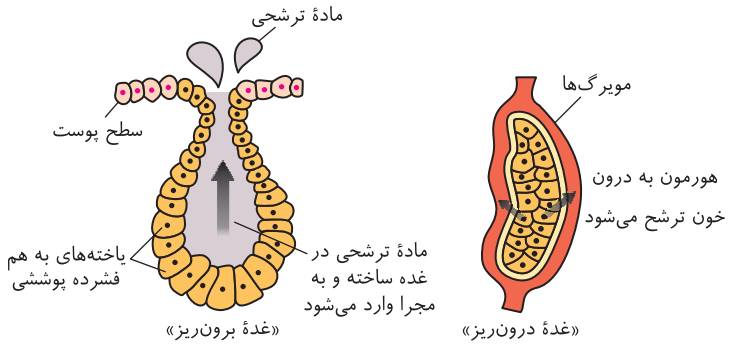
۷) انواع بافت پوششی
- سنگ‌فرشی یک‌لایه ← در داخل رگ‌ها - کیسه‌های حبابکی شش‌ها - سطح **خارجی** کپسول بومن - در پیراشامه (پریکارد)، برون‌شامه (اپی‌کارد) و درون‌شامه قلب (آندوکارد) وجود دارد.
- مکعبی یک‌لایه ← قسمت‌های مختلف مجاری نفرون (با شکل و کار متفاوت)
- استوانه‌ای یک‌لایه ← لایهٔ مخاطی داخل معده و روده
- سنگ‌فرشی چندلایه‌ای ← دهان، مری و لایهٔ خارجی پوست (اپیدرم)



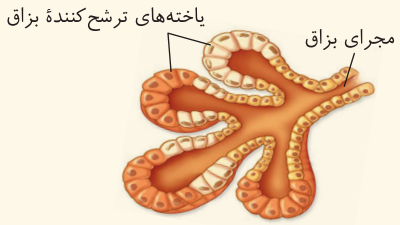
سنگ‌فرشی چندلایه‌ای (مری) — استوانه‌ای یک‌لایه‌ای (روده و معده) — مکعبی یک‌لایه‌ای (گردیزه/نفرون) — سنگ‌فرشی یک‌لایه‌ای (دیوارهٔ مویرگ)

۸) بافت پوششی در برخی مناطق مثل مجاری تنفسی، **مژکدار** می‌باشد که در دفاع یا ایمنی بدن نیز نقش مهمی دارد ولی در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش به صورت سنگ‌فرشی یا استوانه‌ای **ولی بدون مژک** وجود دارد.

۹) بافت پوششی غده‌ای: در برخی بخش‌های بدن، تراکم بافت پوششی ترشح‌کنندهٔ مواد، سبب ایجاد غده‌های مختلف می‌شود. این غده‌ها دو نوع هستند که نوع اول آن‌ها غده‌های **درون‌ریز** با قدرت تولید هورمون و **بدون** مجرای مشخص برای خروج فراورده هورمونی خود بوده ولی نوع دوم آن‌ها غده‌های **برون‌ریز** با مجاری ترشحی مشخص به درون یا سطح بدن می‌باشند که موادی مثل آنزیم‌ها و یا عرق را ترشح می‌کنند.



نکته: در غده‌های بزاقی، یاخته‌های پوششی، بزاق را می‌سازند و به درون مجراهایی که به **دهان** راه دارند، ترشح می‌کنند. معده و روده نیز غده‌ها و یاخته‌های ترشحی پوششی دارند که مواد ساخته شدهٔ خود را به فضای درون اندام‌های معده و روده ترشح می‌کنند.



نکته: غدد مختلف بدن، چون بافت **پوششی** دارند، معمولاً فضای بین‌یاخته‌ای کم داشته و روی غشای پایه قرار دارند.

ب) بافت پیوندی

بافتی **با فضای بین‌یاخته‌ای معمولاً زیاد** است که فاصلهٔ بین بافت‌ها و یاخته‌های مختلف را پر کرده است. در حقیقت بافت پیوندی، بافت‌های مختلف را به هم پیوند زده است.

* بافت پیوندی از انواع یاخته‌ها و مادهٔ بین‌یاخته‌ای ایجاد شده است. در مادهٔ بین‌یاخته‌ای آن، رشته‌های **پروتئینی** کلاژن (محکم) و کشسان (ارتجاعی) به همراه **مادهٔ زمینه‌ای** وجود دارد. این **رشته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای** را **یاخته‌های** درون هر بافت پیوندی ساخته است. در انواع بافت پیوندی، **مقدار و نوع** رشته‌ها و مادهٔ زمینه‌ای متفاوت است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

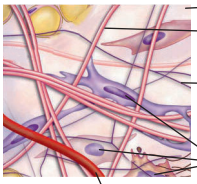
نکتهٔ مهم: در تست‌ها دقت کنید که هر یاختهٔ پیکری زندهٔ هسته‌دار بدن، حاوی همهٔ ژن‌های لازم برای فعالیت‌های مختلف می‌باشد ولی در اثر تمایز، هر یاخته یا بافت‌های مختلف حاوی نقش خاص و ژن‌های فعال مخصوص به خود می‌باشند. مثلاً ژن‌های مربوط به تولید کلاژن در هر یاختهٔ زنده هسته‌دار پیکری ما وجود دارد ولی این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

نکتهٔ مهم: **مادهٔ زمینه‌ای** مخصوص بافت پیوندی می‌باشد که در هر بافت پیوندی توسط **یاخته‌های** آن بافت تولید می‌شود.

انواع بافت پیوندی

۱) پیوندی سست

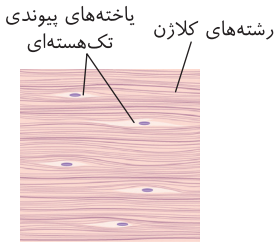
- **انواع یاخته‌ها** با فضای بین‌یاخته‌ای فراوان، رشته‌های پروتئینی **متنوع** و مادهٔ زمینه‌ای دارد.
- یاخته‌ها و بافت‌های مختلف را به هم پیوند می‌زند. این بافت، **قابل انعطاف بوده که معمولاً پشتیبانی برای بافت پوششی می‌باشد.**
- مادهٔ **زمینه‌ای** آن مخلوطی از انواع مولکول‌های **درشت** مانند **گلیکوپروتئین** دارد که سست، شفاف، بی‌رنگ و چسبنده است.



- این بافت **انعطاف‌پذیر** است و به نسبت بافت پیوندی رشته‌ای مقاومت **کمتری** در برابر کشش دارد.
- در زیر بافت پوششی مخاط لولهٔ گوارش، **یک** لایه بافت پیوندی سست برای پشتیبانی وجود دارد.
- در هر چهار لایهٔ بیرونی، ماهیچه‌ای، زیرمخاطی و مخاطی لولهٔ گوارش وجود دارد.
- این بافت حاوی رشته‌های پروتئینی کلاژن و کشسان می‌باشد.

۲) پیوندی رشته‌ای (متراکم)

- بافتی محافظت‌کننده با رشته‌های پروتئینی اغلب **پرتراکم** می‌باشد که فاصلهٔ زیاد بین یاخته‌ها 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.

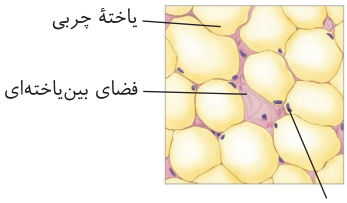


- در لایه‌های مختلف قلب (پریکارد، اپی‌کارد و میوکارد) وجود دارد.
- در **زردپی‌ها** برای ارتباط ماهیچهٔ اسکلتی به استخوان وجود دارد.
- در **رباط‌ها** و غشای مفصلی و کپسول رشته‌ای در نواحی مفصلی برای ارتباط دو استخوان وجود دارد.
- در لایهٔ **درونی** پوست (درم) به صورت محکم و به عنوان یک سد دفاعی وجود دارد که در تولید **چرم** به کار می‌رود.

* بین یاخته‌های بافت پیوندی سست، بیشتر مادهٔ زمینه‌ای و در بافت پیوندی رشته‌ای، بیشتر رشته‌های کلاژن قرار گرفته‌اند.

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.
- در دو لایه کیسهٔ اطراف قلب (پیراشامه و برون‌شامه) وجود دارد.
- یاخته‌هایی سرشار از چربی ذخیره‌ای دارند که هستهٔ آن به کنار زده شده است.



- محل ذخیرهٔ لیپیدهای کیلومیکرون‌ها می‌باشد که در ادامهٔ فصل بررسی می‌کنیم.
- حاوی مویرگ‌های **پیوسته** با ارتباط تنگاتنگ یاخته‌ای می‌باشد.
- تجزیه بیش از حد این بافت در بدن، سبب افتادگی کلیه و تاخوردگی **میزنای** می‌شود.
- در کف دست‌ها و پاها، نقش ضربه‌گیری دارد و به عنوان یک عایق حرارتی نیز عمل می‌کند.

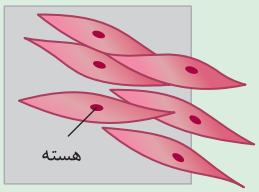
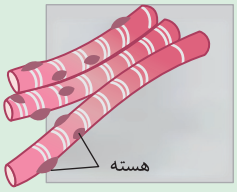
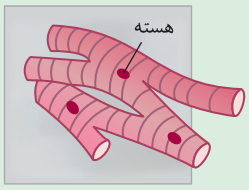
۴) خون ← از مادهٔ زمینه‌ای پلاسمای مایع و یاخته‌های خونی (هماتوکریت) ایجاد شده است که در فصل ۴ به‌طور کامل آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

۵) غضروف ← بافت پیوندی با رشته‌های کشسان و **انعطاف‌پذیر** 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 مادهٔ بین‌یاخته‌ای با **کلاژن و کلسیم** زیادی دارد. (در زیست یازدهم می‌خوانیم.)

ج) بافت ماهیچه‌ای

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

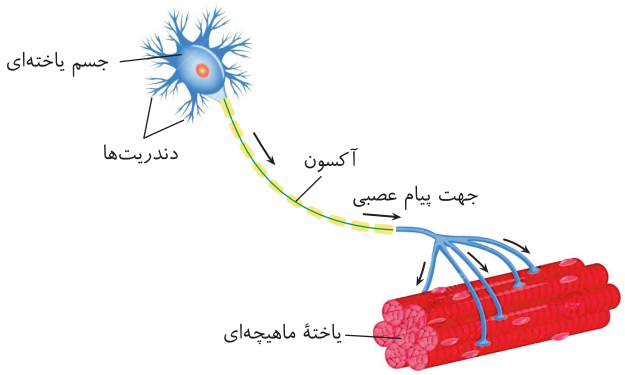
مقایسهٔ انواع ماهیچه‌های بدن		
ماهیچهٔ صاف	ماهیچهٔ مخطط اسکلتی	ماهیچهٔ قلبی
یاختهٔ رشته‌ای دوکی‌شکل دارد.	یاختهٔ رشته‌ای استوانه‌ای‌شکل دارد.	یاختهٔ منشعب استوانه‌ای با صفحات ارتباطی بینابینی (در هم رفته) می‌باشد.
یاختهٔ غیرمخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.	یاختهٔ مخطط دارد.
فاقد واحدهای انقباضی منظم می‌باشد.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

نکتهٔ مهم: در تست‌ها دقت کنید که یاختهٔ مخطط هم در ماهیچهٔ اسکلتی و هم در ماهیچهٔ قلبی دیده می‌شود که حاوی پروتئین‌های متعددی می‌باشد ولی هرگاه در سؤالات از لفظ «**ماهیچه مخطط**» استفاده شد، منظور طراح ماهیچهٔ مخطط اسکلتی بوده است.

د) بافت عصبی

بافتی برای ارتباط پیام بین بافت‌ها و اندام‌ها می‌باشد که یاختهٔ عصبی یا **اصلی** آن‌ها را نورون می‌نامند. نورون‌ها 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 و 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 که در زیست یازدهم به‌طور مفصل آن‌ها را بررسی می‌کنیم.



«یاختهٔ عصبی»

گفتار ۲ ساختار و عملکرد لولهٔ گوارش انسان

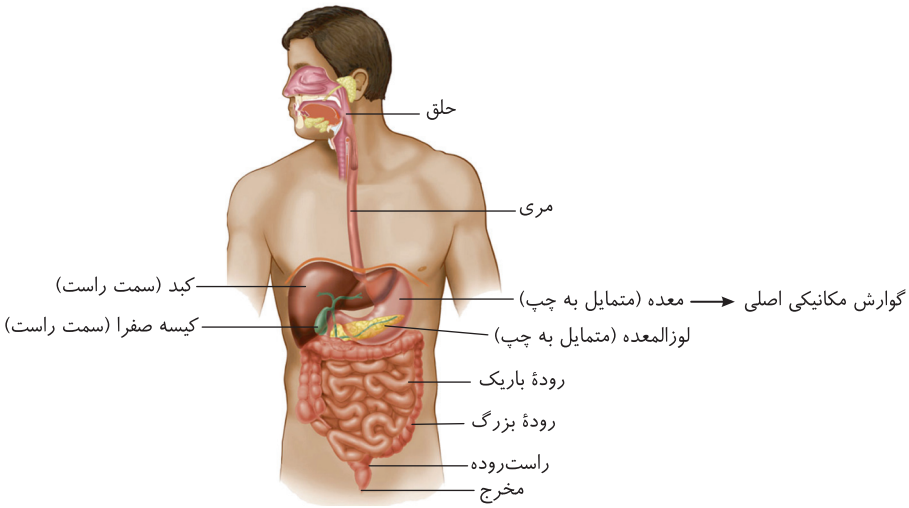
دستگاه گوارش انسان

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.

نکته: غذای **نامناسب** یا اضافه بر نیاز، مشکلاتی ایجاد می‌کند، **اضافه وزن** یکی از مشکلات امروزی جامعهٔ بشری است که در حال حاضر این مشکل در دو سوم از افراد ایران نیز مشاهده می‌شود.

❊ دستگاه گوارش انسان از دو قسمت **لولهٔ** گوارشی (از دهان تا مخرج) و **غدد** گوارشی (کبد، لوزالمعده، غدد بزاقی و کیسه صفرا) تشکیل شده است که باید به کمک هم درشت‌مولکول‌ها یا درشت مغذی‌هایی مثل پروتئین، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها را به مولکول‌های قابل جذب، تبدیل کنند و سپس مواد کوچک غذایی یا ریز مغذی‌ها (مثل ویتامین‌ها و مواد معدنی) را جذب کنند.

❊ در فعالیت‌های گوارشی، دو نوع گوارش وجود دارد، یکی گوارش مکانیکی که به خرد کردن و آسیاب کردن مواد غذایی می‌گویند و دیگری گوارش شیمیایی که به تبدیل مولکول‌های بزرگ به کوچک، توسط **آنزیم‌ها** گفته می‌شود.



«لولهٔ گوارش و اندام‌های مرتبط با آن»

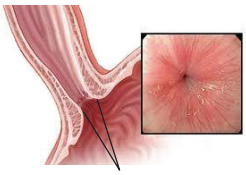
لولهٔ گوارش، لولهٔ **پیوسته‌ای** می‌باشد که به ترتیب از دهان، حلق، مری، معده، رودهٔ باریک، رودهٔ بزرگ و مخرج تشکیل شده است که تمام مراحل گوارش مکانیکی و شیمیایی غذاها به صورت **برون‌یاخته‌ای** در این لوله صورت می‌گیرد و سپس مواد مورد نیاز را از طریق بافت **پوششی** خود جذب می‌کند و مواد زائد را نیز از مخرج دفع می‌کند.

نکته: بخش‌های مختلف این لوله توسط **ماهیچه‌های حلقوی** به نام بنداره (اسفنکتر) از هم جدا می‌شود که مانند دریچه عمل می‌کنند. این دریچه‌ها، در حالت **منقبض شده، بسته** می‌باشند و از برگشت محتویات لوله به بخش **قبلی** جلوگیری می‌کنند و **فقط** هنگام عبور غذا (مواد) باز می‌شوند.

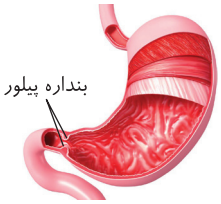
نکته: غده‌های بزاقی، کبد، کیسه صفرا و پانکراس (لوزالمعده) با لولهٔ گوارش مرتبط هستند و ترشحات خود را برای گوارش غذا به درون لولهٔ گوارش وارد می‌کنند ولی این غدد جزء لولهٔ گوارش محسوب نمی‌شوند. دقت کنید که در ابتدای این گفتار گفتیم که دستگاه گوارش شامل دو قسمت غدد و لولهٔ گوارش می‌باشد.

محل بندارهای لولهٔ گوارش

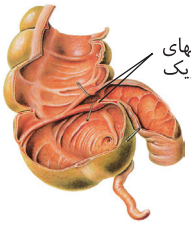
- انتهای حلق یا ابتدای مری (بین حلق و مری)
  - در کتاب، ماهیچه‌های ابتدای مری را اسکلتی (مخطط) معرفی کرده است.
  - مانع برگشت مواد از مری به دهان می‌شود.
- انتهای مری (کاردیا بین مری و معده)
  - ماهیچه **صاف**
  - مانع برگشت مواد از **معده** به مری می‌شود.
  - با **هر** حرکت مری باز می‌شود.
  - در هنگام ورود غذا به معده و استفراغ از حالت **انقباض** درمی‌آید.


بندارهٔ انتهای مری (ماهیچه صاف) (کاردیا)

- بین معده و رودهٔ باریک (دریچهٔ پیلور)
  - ماهیچه صاف با یاخته‌های **تک**هسته‌ای دوکی‌شکل
  - مانع برگشت **کیموس** از روده به معده می‌شود.



- بین رودهٔ باریک و رودهٔ بزرگ (دریچهٔ ایلئوسکال)
  - ماهیچه **صاف**
  - مانع برگشت مواد از رودهٔ بزرگ به رودهٔ کوچک می‌شود.



- دو بندارهٔ مخرج به ترتیب از نوع حلقوی صاف و مخطط در انتهای لولهٔ گوارش وجود دارد که هنگام خروج مدفوع از حالت انقباض درمی‌آیند و باز می‌شوند.

نکته: در زیست یازدهم می‌خوانیم که اعصاب **پیکری** با تحریک عضلات مخطط اسکلتی آن‌ها را به انقباض درمی‌آورند و اعصاب خودمختار نیز سبب تحریک عضلات **صاف و قلبی** می‌شوند. پس در بندارهای لولهٔ گوارش، بندارهٔ ابتدای مری و خارجی مخرج تحت کنترل اعصاب **پیکری** بوده و سایر آن‌ها تحت کنترل اعصاب **خودمختار** می‌باشند.

نکته: مری یک اندام گوارشی است که در قسمت ابتدایی خود در بالای دیافراگم بندارهای از جنس ماهیچهٔ مخطط و در زیر دیافراگم در انتهای خود بندارهای با ماهیچهٔ حلقوی صاف در محل اتصال با معده دارد.

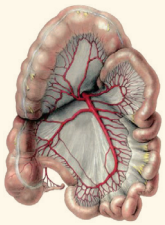
ویژگی بنداره	محل	نوع ماهیچهٔ حلقوی	عصب تحت کنترل
ابتدای مری	انتهای حلق یا ابتدای مری	مخطط ارادی	پیکری
انتهای مری (کاردیا)	بین انتهای مری با معده	صاف غیرارادی	خودمختار
پیلور	بین انتهای معده با دوازدهه	صاف غیرارادی	خودمختار
انتهای رودهٔ باریک	بین انتهای رودهٔ باریک با رودهٔ کور	صاف غیرارادی	خودمختار
داخلی مخرج	انتهای راست‌روده	صاف غیرارادی	خودمختار
خارجی مخرج	انتهایی‌ترین بخش راست‌روده	مخطط ارادی	پیکری

دیوارهٔ بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش انسان **تقریباً** ساختار **مشابهی** دارند که 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. همگی این چهار لایه در داشتن بافت **پیوندی سست** مشترک می‌باشند که به ترتیب آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم.

لایهٔ بیرونی

این لایه از **بافت پیوندی سست**، تشکیل شده است که **بخشی** از صفاق را تشکیل می‌دهد که اندام‌های شکم را از **خارج** به هم وصل می‌کند.

نکته: صفاق یا روده‌بند اندام‌های **درون شکم** را از **خارج** به هم متصل می‌کند، این اندام‌ها می‌توانند اندام‌های گوارشی، مثانه، تخمدان، رحم، کلیه و کلاً اندام‌های زیر دیافراگم و درون شکم باشند.


«بخشی از صفاق مربوط به روده‌ها»

نکته: دقت کنید که صفاق مخصوص اندام‌های درون حفرهٔ شکمی می‌باشد. لازم به ذکر است، مری که از اندام‌های گوارشی است، **بیشتر** قسمت‌های آن در قفسهٔ سینه واقع بوده و بدون صفاق یا روده‌بند می‌باشد. در حالی که قسمت **کمی** از آن که در حفرهٔ شکم و زیر دیافراگم قرار گرفته است، دارای صفاق می‌باشد.

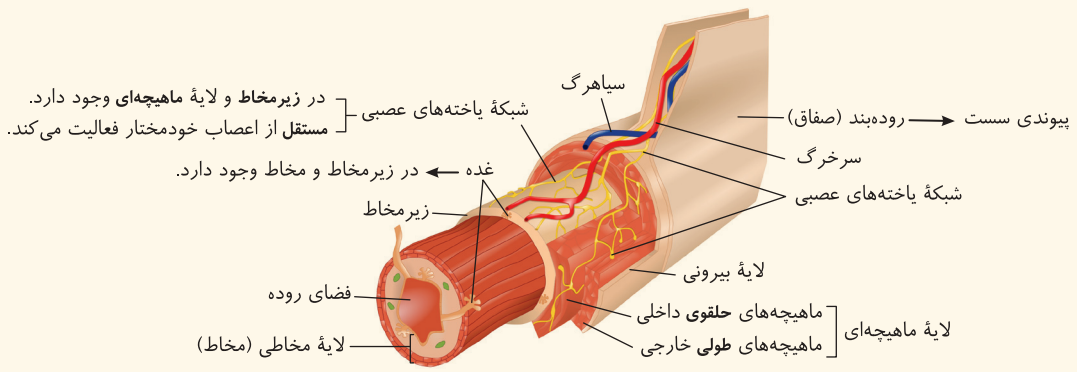
نکته: رگ‌های خونی با بافت‌های مختلف و رشته‌های عصبی (بافت عصبی) از این لایه وارد شده و تا لایه ماهیچه‌ای و زیرمخاطی ادامه دارند.

نکتهٔ مهم: در هر چهار لایهٔ لولهٔ گوارش، به دلیل وجود بافت پیوندی سست، حاوی فضای بین‌یاخته‌ای **زیاد** و مادهٔ زمینه‌ای شفافِ بی‌رنگ و **چسبنده** با مخلوطی از مواد گلیکوپروتئینی می‌باشد ولی مقاومت **کمی** در مقابل کشش دارد.

لایهٔ ماهیچه‌ای

این لایه که باعث حرکات لولهٔ گوارش و گوارش **مکانیکی** می‌شود، در **دهان، حلق، ابتدای مری و دریچهٔ خارجی مخرج** از نوع ماهیچهٔ **مخطط** ارادی می‌باشد که از یاخته‌های رشته‌ای چندهسته‌ای مخطط با انقباض ارادی و تحت کنترل **اعصاب پیکری حرکتی** تشکیل شده‌اند. سایر قسمت‌های لولهٔ گوارش، حاوی ماهیچهٔ صاف با یاخته‌های غیرارادی و تک‌هسته‌ای بدون خط بوده که انقباض غیرارادی تحت کنترل اعصاب **خودمختار** دارند.

نکته: **اجتماع** یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف لولهٔ گوارش به شکل حلقوی و طولی سازمان یافته‌اند که در بین آن‌ها بافت پیوندی سست با فضای بین‌یاخته‌ای زیاد و شبکه‌ای از نورون‌ها (بافت عصبی) و رگ‌های خونی قرار گرفته‌اند.



«ساختار لایه‌های لولهٔ گوارش»

نکته: حرکات مختلف کرمی‌شکل و قطعه‌قطعه کننده، حاصل عمل ماهیچه‌های لولهٔ گوارش می‌باشند.

نکته: در دیوارهٔ **معده**، علاوه بر لایه‌های ماهیچه‌ای حلقوی داخلی و طولی خارجی، یک لایه ماهیچه‌ای مورب نیز در **داخلی‌ترین** سطح وجود دارد.

نکته: 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.

لایهٔ زیرمخاطی

این لایه در زیر لایهٔ ماهیچه‌ای و روی لایهٔ مخاطی قرار گرفته است که حاوی بافت پیوندی **سست**، رگ‌های فراوان (خونی و لنفی) و شبکه‌ای از نورون‌ها 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.

نکته: شبکهٔ نورون‌های موجود در **لایهٔ ماهیچه‌ای و زیرمخاطی**، فعالیت‌های لولهٔ گوارش را تنظیم می‌کنند. لایهٔ ماهیچه‌ای هم از اعصاب پیکری یا خودمختار و هم از شبکهٔ عصبی یاخته‌ای می‌توانند پیام بگیرند. در انتهای این نکته دقت کنید که تنظیم فعالیت‌های لولهٔ گوارش تحت کنترل اعصاب و هورمون‌ها صورت می‌گیرد.

لایهٔ مخاطی (مخاط)

در این لایه، یاخته‌های بافت **پوششی** به هم فشرده، داخلی‌ترین قسمت آن 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، پس از غشای پایه، یک لایه پشتیبان از بافت پیوندی سست برای پشتیبانی مخاط وجود دارد.

نکته: بافت پیوندی سست در هر چهار لایهٔ لولهٔ گوارش وجود دارد ولی غدد ترشحی، فقط در لایه‌های **مخاطی** و **زیرمخاطی** وجود دارند.

نکته: در مخاطِ پرزهای موجود در رودهٔ باریک، یاخته‌های **ماهیچهٔ صاف** نیز وجود دارد که به حرکت پرز و جذب بیشتر غذا کمک می‌کنند.

● ویژگی یاخته‌های بافت پوششی لایهٔ مخاطی لولهٔ گوارش

۱) در دهان و 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 — آنزیم‌های گوارشی / اسید معده

۴) برخی توانایی ترشح **هورمون** دارند ← فعالیت‌های دستگاه گوارش را **تنظیم** می‌کنند (مانند گاسترین و سکرتین).

۵) برخی مایع مخاطی موسین‌دار را در سراسر لولهٔ گوارش ترشح می‌کنند —
- از گلیکوپروتئین ایجاد شده است. موسین 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 (بر اثر اسید و آنزیم) حفظ می‌کند.
- ذرات غذایی را به هم چسبانده و لغزنده می‌کند.

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

۷) برخی یاخته‌ها توانایی جذب مواد گوارش یافته دارند. جذب اصلی مخصوص رودهٔ باریک می‌باشد.

۸) در مخاط با لایهٔ مخاطی لولهٔ گوارش زیر بخش پوششی، ابتدا یک غشای پایهٔ گلیکوپروتئینی و سپس یک لایهٔ بافت پیوندی سست وجود دارد.

لایه‌های لولهٔ گوارش	نوع بافت‌های آن	ویژگی خاص
لایهٔ بیرونی	پیوندی سست و به همراه سایر بافت‌ها	اعصاب و رگ‌ها به آن وارد می‌شود - اندام‌های شکم را توسط صفاق از خارج به هم وصل می‌کند.
لایهٔ ماهیچه‌ای	ماهیچهٔ صاف یا مخطط و پیوندی سست	شبکهٔ عصبی و رگ خونی دارد - گوارش مکانیکی می‌دهد - در معده یک لایهٔ اضافی مورب داخلی دارد - سبب حرکات کرمی و قطعه‌قطعه کننده می‌شوند. ❊ لایهٔ ماهیچه‌ای صاف حلقوی داخلی و طولی خارجی دارد.
لایهٔ زیرمخاطی	پیوندی سست و غدد پوششی دارد	رگ فراوان دارد - شبکهٔ عصبی دارد - سبب حرکت مخاط روی ماهیچه می‌شود.
لایهٔ مخاطی	پیوندی سست - ماهیچهٔ صاف در پرز روده دارد - داخل آن پوششی است - غدد ترشحی دارد	در بافت پوششی خود ترشح شیرهٔ گوارشی و هورمون یا جذب غذا دارد.

حـرکات مختلف لولهٔ گـوارش در اثر انقباض **ماهیچه‌های** دیوارهٔ لولهٔ گوارش و به صورت **منظم** صورت می‌گیرد. این ماهیچه‌ها به‌جز در دهان، حلق، ابتدای مری و انتهای مخرج که مخطط ارادی تحت کنترل قشـر مخ و اعصاب پیکری می‌باشـند، در سـایر مناطق، ماهیچه صاف و تحت کنترل اعصاب خودمختار یا شبکهٔ عصبی روده‌ای فعالیت دارند.

انواع حرکات لولهٔ گوارش

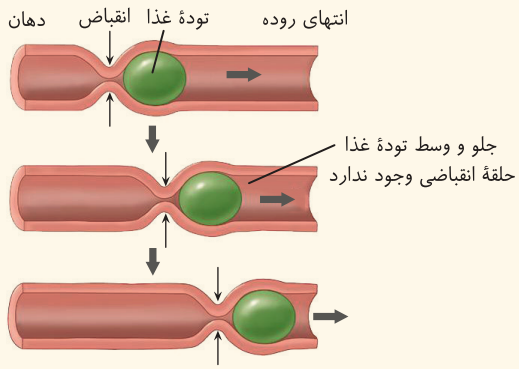
حـرکات لولـهٔ گوارش به صورت منظم به دو صورت انجام می‌شـود. نوع اول حرکات کرمـی (دودی) در کل لولهٔ گوارش و نوع دوم، حرکات قطعه‌قطعه کننده بوده که در برخی قسمت‌های لولهٔ گوارش، با عمل ماهیچه‌های دیوارهٔ لولهٔ گوارش انجام می‌شود که در ادامه این حرکات را بررسی می‌کنیم.

● ۱) حرکات کرمی‌شکل (دودی یا موجی)

این حرکات غذا را **در طول لولهٔ گوارش** با سـرعتی مناسـب برای **گوارش و جذب** به جلو (از دهان به سـمت مخرج) می‌رانند. در این حرکات با ورود غذا، **اتسـاع یا گشـاد شدن** لولهٔ گوارش روی می‌دهد که این گشادی سبب تحریک **نورون‌های** دیوارهٔ لولهٔ گوارش (در لایه‌های زیرمخاطی و ماهیچه‌ای) می‌شـود، این تحریک سـبب انقباض ماهیچه‌های دیوارهٔ لوله می‌شـود و **یک حلقهٔ انقباضی** در **پشت** تودهٔ غذای لولهٔ گوارش ایجاد می‌کند. این حلقه قسمتی از همان حرکات کرمی‌شکل است که به سمت جلو حرکت می‌کند.

نکته: وجود غذا در **هر بخشـی** از لولهٔ گوارش و اتسـاع یا گشاد شدن آن بخش سـبب تحریـک نورون‌ها، انقباض ماهیچه و تنگ شـدن لولهٔ گوارش می‌شـود. ماهیچه‌های دیواره در چند سانتی‌متر جلوتر استراحت کرده و لوله در آن قسمت گشـاد شده و مقاومت در جلوی بخش انقباض یافته کم می‌شود و به تدریج این حلقهٔ انقباضی به سمت جلوتر می‌رود و غذا را نیز به جلو می‌راند.

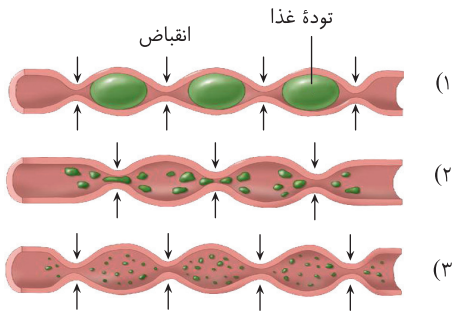
نکتـه: به‌طـور معمول حرکات کرمی‌شـکل در لولـهٔ گوارش به سـمت جلو یا انتهـای لوله صورت می‌گیرد ولی در برخی موارد مانند اسـتفراغ، جهت حرکات کرمی‌شکل معکوس می‌شود و محتویات لوله برای خروج از لولهٔ گوارش، از معده یا حتی بخش ابتدایی رودهٔ کوچک **به سـرعت** به سـمت بالا یعنی به سمت **مری و دهان** می‌روند.



«حرکات کرمی»

● ۲) حرکات قطعه‌قطعه کننده (موضعی)

این حرکات با اینکه در کتاب درسـی به آن اشـاره نشده است ولی فقط در بخش‌هایی از لولهٔ گوارش دیده می‌شـوند که به صورت **انقباض‌هـای جدا از هم** و یک در میان در پشت، وسط و جلوی تودهٔ غذایی هستند. بخش‌های منقبض شونده بین قطعه‌های شل یا گشاد قرار می‌گیرد و لولهٔ گوارش در آن قسمت به قطعه‌های فاصله‌دار تقسیم می‌شود. این حرکات و انقباض‌ها به تدریج در نقاطی از لوله که قبلاً گشـاد (شـل) 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.



«انقباض‌های قطعه‌قطعه کننده»

نکته: همان‌طور که در شـکل ۱ تا ۳ مشـاهده می‌کنید، در حرکات قطعه‌قطعه کننده، هر قسـمتی 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: حرکات کرمی‌شـکل (دودی) نیز همانند حرکات قطعه‌قطعه کننده نقش **مخلوط‌کنندگی** غذا با ترشـحات گوارشـی را دارد. عمل حرکات کرمی‌شـکل برای مخلوط کردن به ویژه وقتی مشـخص می‌شود که غذا در حرکت خود به سمت جلوی لولهٔ گوارش، به یک **اسفنکتر بسته مثل پیلور** برخورد کند. حرکات کرمی (دودی) در این حالت **متوقف** می‌شـود و این حرکات در این حالت **فقط** می‌تواند محتویات لوله را به صورت مکانیکی به هم بزند و غذا را خرد کند.

نکتــه: انقباض مورد نیاز برای حرکات کرمی‌شــکل همواره فقط در **پشــت** تودهٔ غذایی صورت می‌گیرد ولــی انقباضات مورد نیاز برای حرکات قطعه‌قطعه کننده در هر قسمت قبل، وسط و بعد از تودهٔ غذایی رخ می‌دهد.

نکته — بیشتر بدانید

حرکات کرمی یا دودی شــکل فقط با پر شــدن لولهٔ گوارش صورت نمی‌گیرد، بلکه اگر معده چند ســاعت یا بیشــتر دارای غذا نباشد و معده **خالی** باشــد نیز حرکات کرمی در آن ایجاد می‌شــود که به آن **انقباض‌های گرســنگی** می‌گویند. این انقباض‌ها به ســمت روده **ادامه** می‌یابند و در این حالت اسفنکترهای پیلور (بین معده و رودهٔ باریک) و ایلئوسکال (بین رودهٔ باریک و بزرگ) باز می‌باشند تا محتویات معده که بیشتر حاوی شیرهٔ معده می‌باشند، تخلیه شده و مواد باقی‌مانده لولهٔ گوارش وارد **رودهٔ بزرگ** می‌شوند. هنگام انقباض‌های گرسنگی **ممکن** است فرد **درد خفیفی** را در **معده** احساس کند.

گوارش غذا: در دستگاه گوارش انسان، سایر مهره‌داران و برخی بی‌مهرگان دو نوع گوارش برای غذا وجود دارد. یکی گوارش مکانیکی که طی آن با حرکات لولهٔ گوارش، مواد غذایی آســیاب می‌شــوند و دیگری گوارش شــیمیایی که به کمک آنزیم‌ها رخ داده و در نهایت ســبب تبدیل مولکول‌های درشت به واحدهای سازنده می‌شود. در ادامه به بررسی انواع این گوارش‌ها در بخش‌های مختلف لولهٔ گوارش می‌پردازیم.

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** می‌شــود و غذا به ذره‌های بســیار کوچک تبدیل می‌شــود. 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.

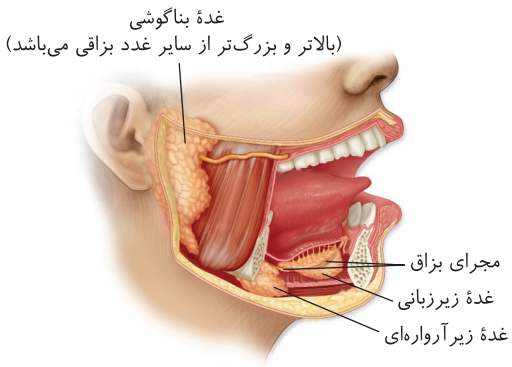
۳) در دهان ضمن گوارش مکانیکی، غذا با بزاق مخلوط شــده و به تودهٔ قابل **بلع**، تبدیل می‌شــود. در حقیقت گوارش مکانیکی سبب تسهیل بلع و تسهیل گوارش شیمیایی می‌شود.

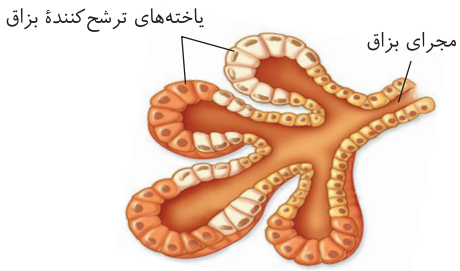
گوارش شیمیایی دهان توسط بزاق

۱) بزاق محلولی اســت که از **ســه جفت غدهٔ برون‌ریز بزرگ** (بناگوشــی، زیرآرواره‌ای و زیر زبانی) و **تعدادی** غده‌های بزاقی **کوچک** برون‌ریز با مجاری مشخص به داخل حفرهٔ دهان ترشح می‌شود. (غدهٔ **بناگوشی** از بقیه غدد بزاقی بزرگ‌تر می‌باشد و در سطح بالاتری قرار دارد.)

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

۳) غدد بزاقی از نوع **برون‌ریز** هســتند و مجرای مشــخصی برای خروج فراورده خود (بزاق) به حفرهٔ دهان دارند. این غدد نیز مانند سایر غدد، از بافت **پوششی** تشکیل شده‌اند.



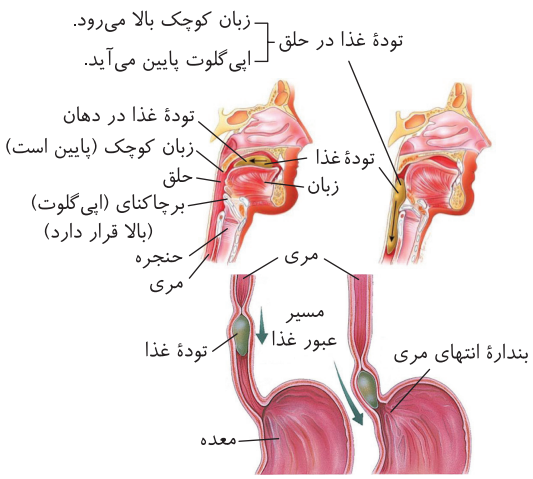


«بخشی از غدهٔ بزاقی»

- ترکیب بزاق
  - مواد معدنی
    - آب ← بیشتر حجم بزاق را تشکیل می‌دهد.
    - **بیکربنات**
  - ترکیبات آلی
    - موسین
      - از مخاط **سراسر** لولهٔ گوارش ترشح می‌شود.
      - 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.
      - خاصیت **قلیایی** دارد و لولهٔ گوارش را از اثر 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.
    - آنزیم‌های بزاق
      - ۱) آمیلاز بزاق (پتیالین) ← آنزیمی است که هیدرولیز **نشاسته** (آمیلون = آمیلوم) را در دهان انجام می‌دهد **ولی تولید گلوکز نمی‌کند**، بلکه در نهایت آن را می‌تواند به **مالتوز** تبدیل کند.
      - ۲) لیزوزیم ← در خط **اول** دفاع غیراختصاصی با اثر بر **دیوارهٔ** باکتری‌ها 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.

بلع غذا



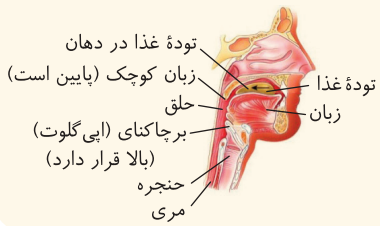
عملی شامل دو قسمت است. مرحلهٔ اول شامل ورود غذا از دهان به حلق به صورت **ارادی** بوده و مرحلهٔ دوم آن ورود غذا از حلق به مری به صورت **انعکاس** غیرارادی صورت می‌گیرد. طی بلع کامل، انتقال غذا از دهان به **معده** صورت می‌گیرد. برای شروع بلع، ابتدا باید زبان بزرگ بالا برود تا تودهٔ غذا با فشار **زبان**، به عقب دهان و داخل حلق رانده شود، سپس با تحریک گیرنده‌های **مکانیکی** حلق، انعکاس بلع صورت می‌گیرد و ادامهٔ بلع به صورت غیرارادی انجام می‌شود. در هنگام بخش غیرارادی بلع، زبان کوچک به **بالا** می‌رود تا راه بینی را ببندد. در این هنگام، مرکز **عصبی** بلع در **بصل‌النخاع**، باعث توقف عمل مرکز عصبی **تنفسی** در نزدیک خود می‌شود. به دلیل اینکه **حلق** مانند **یک چهارراه** می‌باشد که از جلو با دهان، از بالا با بینی و از پایین با مری و نای ارتباط دارد، در هنگام بلع دریچهٔ ابتدای نای (اپی‌گلوت) نیز **پایین** می‌آید تا راه نای را ببندد. سپس دیوارهٔ ماهیچه‌ای **مخطط** حلق منقبض شده و **حرکت کرمی حلق** سبب باز شدن یا رفع انقباض بندارهٔ ابتدای مری (اسفنکتر حلقی - مری) می‌شود. (این دریچه در فاصلهٔ **بین بلع‌ها**، منقبض و بسته بوده است تا **هوا** وارد مری نشود). غذا با حرکت کرمی حلق به مری می‌رسد. هنگام حرکت غذا در مری، نیروی جاذبه و عمل مادهٔ مخاطی مترشحه از غدد مری نقش **کم و کمکی** دارد و عامل اصلی عبور غذا در مری، **حرکات کرمی** خود مری می‌باشد.

نکته: در زیر دیافراگم در پایین مری و در محل اتصال مری به معده، اسفنکتر مری - معده با ماهیچهٔ **صاف** به نام کاردیا وجود دارد که در حالت عادی منقبض و بسته می‌باشد ولی با **هر** حرکت **کرمی** باز شده و شل می‌شود تا غذا، هوا و آب از مری به معده برسد.

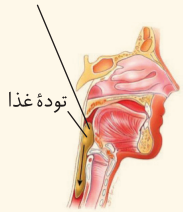
نکته: عبور غذا از دهان به حلق و از حلق به مری با انقباض ماهیچه‌های **مخطط** صورت می‌گیرد که اعصاب **پیکری** در بروز آن‌ها مؤثر می‌باشند. این انقباضات در حلق به صورت حرکات کرمی آغاز می‌شوند تا سبب باز شدن بندارهٔ ابتدای مری شوند. حتماً به یاد دارید که ماهیچه‌های موجود در دهان، حلق و **ابتدای** مری از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

نکته: مادهٔ مخاطی مترشحه از غدد مخاط مری (سنگ‌فرشی چندلایه‌ای)، هم به حفاظت لایهٔ **داخلی** مری کمک می‌کند و هم حرکت مواد در مری را آسان‌تر می‌گرداند.

نکته: 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.



نکته: 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.



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.

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

نکته: اسفنکتر مری - معدی، عملکرد حفاظتی مهمی برای **مخاط** مری و عدم برگشت محتویات معده به مری دارد.

نکته: **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.

نکته: دریچهٔ اسفنکتری ماهیچهٔ حلقوی **انتهای** مری هنگام عبور غذا، خروج گاز (باد گلو) و استفراغ، با **استراحت** و شل شدن، **باز** می‌شود.

نکته: ورود هوا از دهان به مری با شل شدن بندارهٔ **ابتدای** مری صورت می‌گیرد ولی ورود گاز و هوای بلعیده شده از معده به مری با شل شدن بندارهٔ **انتهای** مری صورت می‌گیرد.

نکته: سیگار کشیدن، مصرف نوشابه‌های الکلی، رژیم غذایی نامناسب و استفاده زیاد از غذاهای آماده به همراه تنش و استرس و اضطراب از علت‌های ریفلاکس یا برگشت اسید معده می‌باشد.

نکته: در لایه‌های موجود در مری، غدد ترشحی در **مخاط** و **زیرمخاط** وجود دارد ولی مادهٔ مخاطی برای حرکت آسان غذا در مری توسط غدد موجود در لایهٔ **مخاطی** مری ترشح می‌شود.

نکته: در اثر استفراغ و کم شدن محتویات معده، چین‌خوردگی‌های کیسهٔ معده **زیاد** می‌شود و گرسنگی آغاز می‌شود.

مکانیسم	زبان بزرگ	زبان کوچک	اپی‌گلوت	راه انتقال
بلع	**بالا** می‌رود	**بالا** می‌رود	**پایین** می‌آید	از دهان به **معده**
استفراغ	**پایین** می‌آید	**بالا** می‌رود	**پایین** می‌آید	از معده و ابتدای **روده** به دهان
عطسه	**پایین** می‌آید	**پایین** می‌آید	**بالا** می‌رود	هوای پرفشار از شش به دهان و بینی برای خروج می‌رود.
سرفه	**پایین** می‌آید	**بالا** می‌رود	**بالا** می‌رود	هوای پرفشار از شش به دهان می‌رود.

معده اندامی **کیسه‌ای**شکل بین مری و رودهٔ باریک می‌باشد که دیوارهٔ آن حاوی چین‌خوردگی می‌باشد. این چین‌ها با پر شدن معده از غذا، باز شـده و تعداد آن‌ها **کم** می‌شـود تا غذای بلع شده در آن انبار شود ولی مقدار این چین‌ها با خالی شدن آن در اثر ورود غذا به روده یا استفراغ، زیاد می‌شوند. درون معده، **بیشترین گوارش مکانیکی** بدن، در اثر حرکات و عمل ماهیچه‌های صاف **سه‌لایه‌ای** آن صورت می‌گیرد. **مقداری نیز گوارش شیمیایی** در اثر مواد موجود در **شیرهٔ معده** انجام می‌شود.

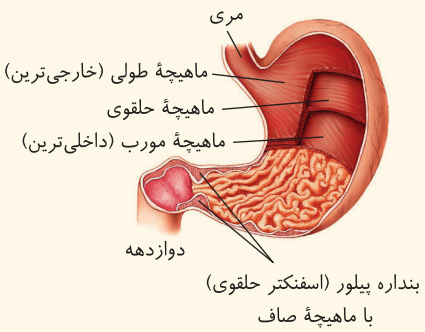
نکته: در پایان گوارش معدی، به غذای موجود در معده که به‌طور **کامل** در اثر گوارش **مکانیکی و شـیمیایی** با شـیرهٔ معده مخلوط شده باشد و حالت خمیری‌شـکل گرفته باشد، **کیموس** می‌گویند. کیموس تشکیل شده در معده وارد دوازدهه می‌شود. **(دقت کنید که استفاده از واژهٔ کیموس برای غذای موجود در دهان و مری نادرست است.)**

الف) گوارش مکانیکی معده

پس از **هر بار بلع** با ورود غذا به معده، دیوارهٔ معده، **اندکی** انبساط می‌یابد که با تحریک اعصاب جدار معده و انقباض لایه‌های ماهیچه‌ای طولی، حلقوی و مورب آن، حرکات کرمی‌شـکل یا دودی معده هر بار به صورت **یک موج** از بخش‌های بالاتر (محل اتصال مری به معده) به سـمت **پیلور** (انتهای معده در محل اتصال به رودهٔ باریک) آغاز می‌شـوند. این حرکات باعث مخلوط شـدن غذا با شـیرهٔ معده و گوارش مکانیکی آن می‌گردند. (حرکات کرمی به گوارش شیمیایی و مکانیکی کمک می‌کنند.)

دقت کنید که اسفنکتر **پیلور** در انتهای معده به‌طور معمول **منقبض و بسته** است. با هر موج حرکت کرمی معده و رانده شدن غذا به سمت پیلور، چند میلی‌لیتر از کیموس که حاوی ذرات **ریز** می‌باشـد از پیلور عبور کرده و وارد رودهٔ باریک می‌شـود ولی چون پیلور تقریباً بسته است، **(پیلور برخلاف اسـفنکتر انتهای مری با هر حرکت کرمی باز نمی‌شـود!)** از **عبور ذره‌های درشت غذا** جلوگیری می‌کند. با برگشتن این مواد، دوباره آسیاب و خرد شدن آن‌ها با حرکات کرمی بعدی صورت گرفته تا تقریباً این مواد غذایی درشت نیز به صورت مایع خمیری‌شکل به نام **کیموس** معده دربیاید. در ادامهٔ گوارش معده، به تدریج قدرت یا شدت انقباضات و حرکات کرمی معده افزایش می‌یابد و کیموس با قدرت بیشتری به پیلور برخورد می‌کند که به رفع انقباض و باز شدن آن کمک می‌کند.

نکته: هرچه حجم کیموس در **معده** بیشـتر شـود، شـدت حرکات کرمی معده نیز **افزایش** می‌یابـد و حلقه‌های انقباضی محکم‌تری به سـمت پیلور حرکت می‌کنند و این عمل سـبب کاهش تدریجی قدرت انقباضی پیلور و کاهش ایسـتادگی آن در مقابل باز شـدن شده تا در نهایـت، محتویات معده (کیموس) با **یک حلقهٔ انقباضی محکـم** و کاهش انقباض پیلور، وارد دوازدهه می‌شود.



نکتـه: در هنـگام غذا خوردن، مقدار حجم کیموس معده با شـدت انقباضـات معده رابطهٔ **مسـتقیم** دارد. یعنی هرچه حجم کیموس معده بیشتر شود، شدت انقباضات معده نیز بیشتر می‌شود که در این صورت تعداد چین‌های دیوارهٔ معده **کمتر** شده‌اند.

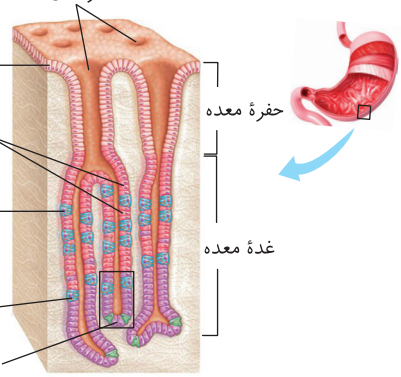
نکته: در معده برخلاف سـایر قسـمت‌های لولهٔ گوارش، که در بخش ماهیچه‌ای صاف خود، فقط لایه‌های خارجی **طولی** و داخلی **حلقوی** دارند، یک لایهٔ ماهیچه‌ای **مورب** نیز در داخلی‌ترین قسـمت ماهیچه‌ها وجود دارد. یاخته‌های لایهٔ ماهیچه‌ای معده در سـه جهت خارجی (طولی)، میانی (حلقوی) و داخلی (مورب) قرار گرفته‌اند و باعث افزایش قدرت انقباضی برای گوارش مکانیکی در معده **مخصوصاً در ناحیهٔ نزدیک پیلور** شده است.

ب) گوارش شیمیایی در معده

بررسی حفره‌ها و غدد معده

همان‌طور که می‌دانید، مخاط معده از یک لایهٔ پوششـی **اسـتوانه‌ای** سـاده و در زیر آن یک لایهٔ پیوندی **سسـت** ایجاد شـده است و سپس لایه زیرمخاط وجود دارد. یاخته‌های **پوششی** مخاط معده در بافت پیوندی سست **مخاط** فرو رفته‌اند و **حفره‌های** معده را ایجاد کرده‌اند. این حفره‌ها در ادامه به **یک یا چند** مجرای غده‌های برون‌ریز معده راه دارند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، یاخته‌های پوششی سطحی در ادامه به یاخته‌های پوششـی غدد معده متصلند. این یاخته‌های سـطحی در تولید **بیکربنات** و مادهٔ مخاطی نقش دارند. غدد معده در حقیقت از یاخته‌های پوششی تک‌لایه‌ای با کار **متفاوت** ایجاد شده‌اند که درون بافت پیوندی **مخاط** فرو رفته‌اند.

همچنین در شکل مشاهده می‌کنید که چند غدهٔ معده مجاور هم می‌توانند ترشحات خود را توسط مجاری خود، وارد یک حفرهٔ معده کنند یا اینکه هر غده با یک مجرای مشخص خود مواد را وارد یک حفره کند. در غدد معده یاخته‌های برون‌ریزی برای ترشح اسید، موسین و آنزیم وجود دارد ولی برخی یاخته‌های آن **مادهٔ مخاطی** می‌سازند. غدد معده، دارای مقدار **کمی** نیز یاخته‌های **پراکنده** درون‌ریز هورمون‌ساز در **عمق** هر غده می‌باشند که هورمون **گاسترین** را وارد **خون** می‌کنند. این هورمون بر تولید اسید و آنزیم معده مؤثر می‌باشد.



«غده‌های معده»

● ترشح شیرهٔ معده

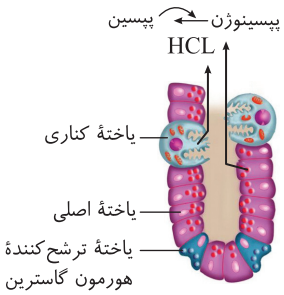
در مخاط معده، یک لایه یاخته‌های پوششی استوانه‌ای ساده **سطحی** وجود دارد که در بافت پیوندی سست زیر خود فرو می‌روند و **حفره‌های متعددی** را به وجود می‌آورند. یاخته‌های **غدد** برون‌ریز معدی ترشحات خود را به عنوان شیرهٔ معده ابتدا به درون لوله‌های مجاری مانند غدهٔ خود می‌ریزند که مجاری این غدد برون‌ریز به حفره‌های معده راه دارند. (معده پرز و ریزپرز **ندارد**!)

نکتهٔ مهم: شیرهٔ معده شامل مواد معدنی مثل **بیکربنات** و **اسید HCl** و مواد آلی مثل مادهٔ مخاطی **موسین**دار و آنزیم‌های **پروتئاز** و **لیپاز** می‌باشد که هم توسط یاخته‌های پوششی سطحی (مادهٔ مخاطی و بیکربنات) و هم توسط غدد معده (مادهٔ مخاطی، اسید و آنزیم‌ها) ترشح می‌شود.

قسمت‌های ترشح‌کننده شیرهٔ معده

۱) یاخته‌های پوششی سطحی مخاط 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 لایهٔ سطحی مخاط معده، **مایع مخاطی ژله‌ای چسبناک دفاعی** ترشح می‌کنند.
- یاخته‌های **اصلی** آن‌ها آنزیم‌های معده (پروتئاز و لیپاز) را ترشح می‌کنند. به‌طور کلی به **پیش‌ساز** پروتئازهای معده، پپسینوژن غیرفعال 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 آمینواسید از هیدرولیز مواد غذایی تولید نمی‌شود!)



- **یاخته‌های کناری (حاشیه‌ای)**
  - حجیم‌ترین یاخته‌های غدد معده می‌باشند.
  - اسید معده HCl که مادهٔ **معدنی** است را برای فعال کردن **آنزیم‌ها**، ترشح می‌کند.
  - مادهٔ **آلی گلیکوپروتئینی** 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 و حفظ B_{12} برای تولید گویچهٔ **قرمز** خونی در **مغز استخوان** ضروری است.

نکته: در معده به کمک **شیرهٔ معده** که حاوی آنزیم، اسید و... می‌باشد مقداری از **پروتئین‌ها به پپتیدهای کوچک‌تر** و مقداری هم تجزیهٔ لیپیدها توسط لیپاز صورت می‌گیرد ولی دقت کنید که در معده از هیدرولیز مواد غذایی پروتئینی، آمینواسید ایجاد نمی‌شود.

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

نکته: بیکربنات موجود در لابه‌لای 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 در شیرهٔ معده نمی‌باشند.

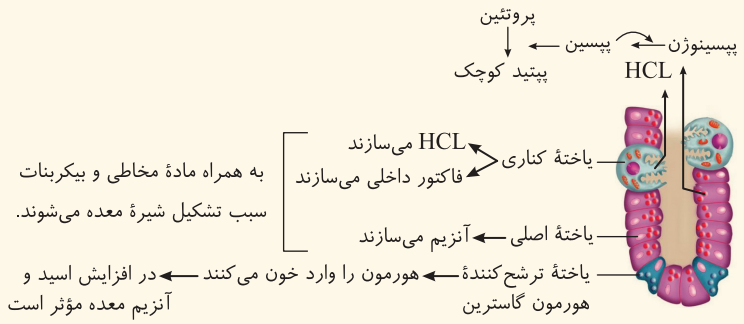
نکته: یاخته‌های پوششی در لایه‌های معده
- ۱) سطحی‌های حفره‌ساز که در ساختار غدد نیستند ← **همگی** ماده مخاط قلیایی و بیکربنات می‌سازند.
- ۲) عمقی‌ترها که تشکیل غده داده‌اند ← **برخی** از آن‌ها مادهٔ مخاطی می‌سازند.
  با توجه به شکل کتاب درسی در غدد معده تعداد یاخته‌های سازندهٔ مادهٔ مخاطی از یاخته‌های کناری و اصلی بیشتر می‌باشد. این یاخته‌ها به حفرات معده **نزدیک**ترند.

نکته: چون ویتامین $B_{۱۲}$ 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** در فعال کردن پپسینوژن‌ها، دچار **کم‌خونی** وخیم خطرناکی نیز می‌شود. چون ویتامین $B_{۱۲}$ در رودهٔ باریک آن‌ها جذب نمی‌شود و کمبود ویتامین $B_{۱۲}$ سبب کم‌کاری مغز استخوان در تولید گویچهٔ قرمز خونی می‌شود. (افرادی که معدهٔ آن‌ها را برمی‌دارند نیز به همین دلیل دچار زندگی پرخطری می‌شوند.)

نکته: در غدد معده، اندازه یاخته‌های کناری که اسید می‌سازند از یاخته‌های اصلی آنزیم‌ساز **بزرگ‌تر** است.

نکته: 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** دارند که این هورمون را پس از تولید وارد **خون** می‌کنند. گاسترین جزء شیرهٔ معده **نیست** و وارد حفرهٔ معده نمی‌شود ولی در ادامهٔ این فصل می‌خوانیم که بافت هدف آن یاخته‌های **اصلی و کناری** غدد معده می‌باشند که سبب تحریک تولید اسید و آنزیم‌های شیرهٔ معده می‌شود. (یاخته‌های ترشح‌کنندهٔ هورمون نیز در یاخته‌های عمقی غدد معده و بیشتر در نزدیک **پیلور** قرار دارند که هورمون گاسترین را وارد خون می‌کنند.)

نکته: با توجه به شکل می‌بینیم که تبدیل پپسینوژن‌های غیرفعال به پپسین‌های فعال هم در اثر HCl و هم در اثر عمل خود **پپسین** صورت می‌گیرد.



نکته: از دهان تا انتهای معده، آنزیم‌های گوارشی آمیلاز دهان روی نشاسته‌ها و در معده پروتئاز پپسین روی پروتئین‌ها و لیپازها روی لیپیدها 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.

بیشتر بدانید

زخم پپتیک: این عارضه یا در اثر ترشح بیش از حد اسید و آنزیم در معده صورت می‌گیرد و یا در اثر کاهش توانایی سد حفاظتی قلیایی مایع مخاطی در خنثی کردن اسید و آنزیم در لایهٔ مخاطی **معده یا دوازدهه** ایجاد می‌شود.

نکته: **بسیاری** از افراد مبتلا به زخم پپتیک، عفونت **مزمن** (نه حاد!) و طولانی مدت با نوعی باکتری به نام **هلیکوباکترپیلوری** دارند. این باکتری با نفوذ **در مایع مخاطی قلیایی**، این سد دفاعی را تخریب می‌کند و سبب زخم پپتیک می‌شود.

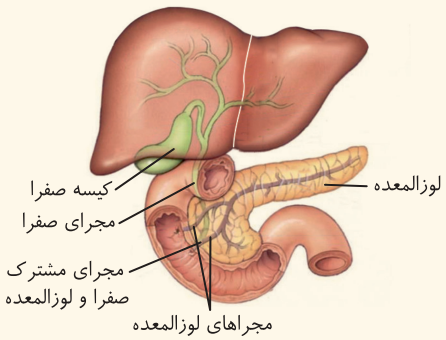
نکته: علاوه بر هلیکوباکترپیلوری، برخی از افراد در اثر هیجان، سیگار، الکل و مصرف برخی داروها از جمله **آسپرین** نیز ممکن است مایع مخاطی آن‌ها تخریب شده و زخم پپتیک در آن‌ها ایجاد شود.

نکته: عارضهٔ زخم پپتیک به هر دلیلی که صورت گیرد، علائمی دارد که یکی از آن‌ها، درد آزار دهنده در **بخش بالایی معده** است (دورتر از پیلور) که ممکن است چند ساعت **پس از خوردن غذا** ادامه پیدا کند.

نکته: درمان زخم پپتیک با آنتی‌بیوتیک‌ها و داروهای مهارکنندهٔ ترشح اسید معده انجام می‌شود.

کیموس معده که گوارش مقدماتی را در **معده** حاصل کرده است، **به تدریج** از دریچهٔ پیلور وارد **دوازدهه** در ابتدای رودهٔ باریک 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 می‌کند. در حقیقت حرکات روده سبب پیش بردن کیموس در روده و گستراندن آن در سراسر **مخاط** روده می‌شود تا تحت تأثیر **صفرا**، شیرهٔ روده و شیرهٔ **لوزالمعده**، گوارش **شیمیایی** نهایی کیموس انجام شود.

نکته: 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 مجرایی از لوزالمعده **مشترک** شده و هر دو شیرهٔ خود را تواماً وارد دوازدهه در ابتدای رودهٔ باریک می‌کنند.



نکته: 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 (مثل پروتئاز و لیپاز).

نکته: دقت کنید که **صفرا** آنزیم یا ماده دارای خاصیت آنزیمی ندارد.

نکته: گوارش مواد در لولهٔ گوارش تحت تأثیر عوامل مکانیکی (حرکات لولهٔ گوارش) و عوامل شیمیایی (شیرهٔ لولهٔ گوارش) می‌باشد که در زیر 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.

نکتهٔ مهم: حرکات رودهٔ باریک در گوارش مکانیکی غذا نقش **مستقیم** دارند ولی در گوارش شیمیایی نقش **کمکی** دارند چون سبب افزایش سطح تماس کیموس با شیرهٔ روده می‌شوند. لازم به یادآوری است که حرکات **کرمی** با برخورد دادن غذا به بندارهٔ بسته سبب گوارش مکانیکی می‌شوند ولی حرکات قطعه‌قطعه کننده در مسیر حرکت و انقباض به‌طور **مستقیم** سبب ریزتر کردن ذرات غذایی می‌شوند.

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

۱) شیرهٔ رودهٔ باریک

در مخاط رودهٔ باریک انواع یاخته‌های پوششی **استوانه‌ای ساده** با فعالیت‌های ترشحی وجود دارد که علاوه بر ترشح مادهٔ مخاطی، آب و یون‌های مختلف **از جمله بیکربنات** نیز ترشح می‌کنند. گروهی از این یاخته‌های پوششی، قدرت **ساخت** آنزیم‌های گوارشی نیز دارند که پس از مرگ این یاخته‌ها و پاره شدن غشای یاختهٔ آن‌ها، آنزیم‌ها را خارج می‌کنند. **(دقت کنید که یاختهٔ پوششی روده قدرت ترشح آنزیم‌های گوارشی ندارد ولی آنزیم لیزوزیم دفاعی را در مادهٔ مخاطی ترشح می‌کند.)**

نکته: 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. این آنزیم‌ها شامل لاکتاز، مالتاز، ساکاراز و پپتیدازها می‌باشند.

۲) صفرا

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

کار اصلی صفرا

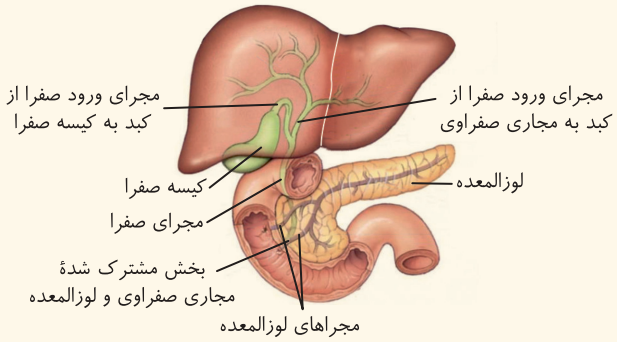
کمی پس از ورود کیموس معده به دوازدهه، صفرا نیز وارد دوازدهه شده که کار **اصلی** آن **کمک به گوارش چربی‌ها** برای عمل آنزیم **لیپاز** لوزالمعده و ورود چربی‌ها به محیط داخلی بدن **(لنف)** می‌باشد. در ادامهٔ همین گفتار در مورد این عمل بیشتر صحبت می‌کنیم.

کارهای کمکی صفرا

صفرا در خنثی کردن کیموس **اسیدی** معده و دفع مواد اضافی بدن مثل **کلسترول** اضافی یا مادهٔ دفعی **بیلی‌روبین** نقش دارد.

نکته: بیلی‌روبین در **کبد** از تخریب هموگلوبین گویچه‌های قرمز پیر و فرسوده تولید می‌شود و نقش مهمی در تولید رنگ **ادرار و مدفوع** دارد.

نکتهٔ مهم برای بادقت‌ها: با توجه به شکل مقابل می‌بینید که مقداری از صفرای ساخته شده در کبد به کیسهٔ صفرا می‌رود و مقداری نیز مستقیماً به پایین آمده و با صفرای خروجی از کیسهٔ صفرا مخلوط می‌شود تا پس از عبور از **پشت** دوازدهه، با مجرای **لوزالمعده** نیز مشترک شده و با هم به دوازدهه در ابتدای رودهٔ باریک وارد شوند.



سنگ کیسه صفرا

در برخی مواقع اگر در بدن به هر دلیلی مثل مصرف **چند ساله** رژیم پرچربی، ترکیبات صفرا و **مخصوصاً کلسترول** زیاد شوند، ممکن است این **کلسترول‌های اضافی** در **کیسه صفرا** رسوب کرده و سنگ‌هایی را در مجرای **خروج** صفرا ایجاد کنند که سبب درد می‌شوند. در این صورت مقدار زیادی **بیلی‌روبین** از کیسه صفرا جذب **خون** شده و در بافت‌ها رسوب کرده و سبب بیماری زردی یا **یرقان** می‌شود.

«سنگ کیسه صفرا»

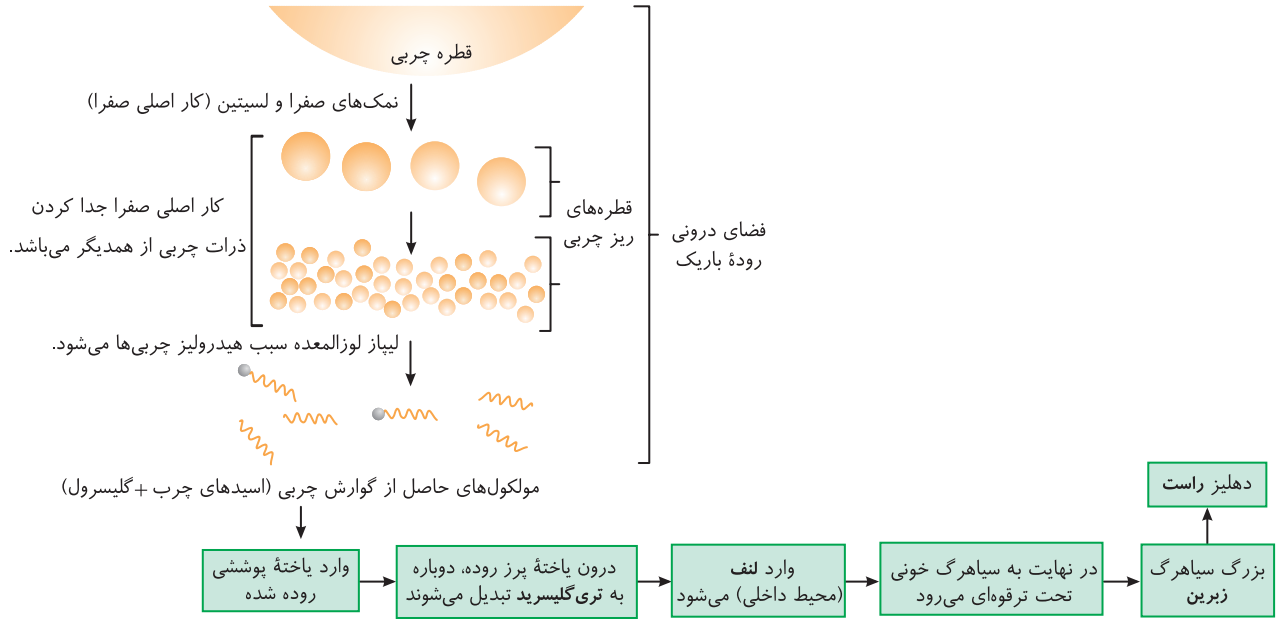
نکتهٔ ترکیبی

در اثر ایجاد سنگ در کیسه صفرا و عدم ورود صفرای کافی به دوازدهه:

۱) گوارش چربی‌ها توسط لیپاز لوزالمعده در دوازدهه **کم** می‌شود ← مدفوع چرب خارج می‌شود.
۲) با کم شدن بیلی‌روبین در **روده** ← ادرار پررنگ و مدفوع **کم‌رنگ** می‌شود.
۳) زردی یا یرقان در اثر زیادی **بیلی‌روبین** جذب شده از پشت محل انسداد مجرای کیسه صفرا صورت می‌گیرد.
۴) جذب ویتامین‌های محلول در چربی **(DAKE)** به مشکل می‌خورد ← در دراز مدت **انعقاد** خون و میزان **کلسیم** بدن نیز اختلال پیدا می‌کند.

نکته: میزان کلسترول در صفرا به میزان **چربی** غذا بستگی دارد.

نکته: کار اصلی صفرا در نخستین و مهم‌ترین گام، **گوارش** چربی‌ها می‌باشد، صفرا به کمک **نمک‌ها و لسیتین** خود، چربی‌ها را به قطره‌های ریز تبدیل کرده تا به هم نچسبند سپس لیپاز لوزالمعده به راحتی آن‌ها را **آب‌کافت (هیدرولیز)** می‌کند. (صفرا چربی را تجزیه **نمی‌کند** ولی در صورت کمبود صفرا تجزیه چربی‌ها توسط لیپاز لوزالمعده به خوبی انجام نمی‌شود.)



● ۳) شیرهٔ لوزالمعده (پانکراس)

لوزالمعده غده‌ای در **زیر و موازی با 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.

نکته: لوزالمعده دارای آنزیم‌هایی برای تجزیهٔ هر چهار نوع مادهٔ آلی قندی، لیپیدی، پروتئینی و نوکلئیک‌اسیدی می‌باشد.

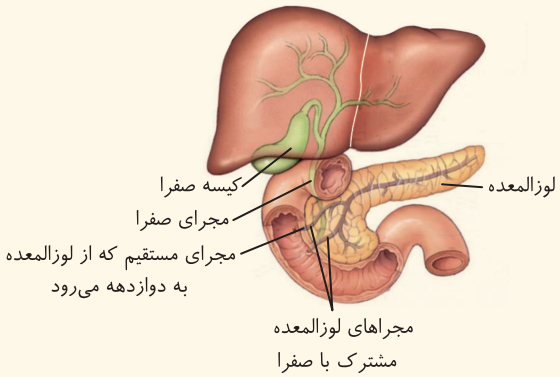
نکته: لوزالمعده آنزیم‌های لازم برای گوارش شیمیایی انواع مواد و تبدیل **اغلب** پلیمرها (بسپاره‌ها) به مونومرها (تک‌پارها یا واحد سازنده) را دارد.

نکته: لیپازها، نوکلئازها و کربوهیدرازهای لوزالمعده (از جمله آمیلاز) که به ترتیب گوارش شیمیایی چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها را بر عهده دارند به صورت **فعال** از لوزالمعده به دوازدهه ترشح می‌شوند و در رودهٔ باریک **فعالیت** می‌کنند.

نکته: 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 **قلیایی** 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.

نکته: **بیکربنات** مترشحه از لوزالمعده، باعث **قلیایی** شدن رودهٔ باریک می‌شود تا کیموس اسیدی معده، دیوارهٔ رودهٔ باریک را تخریب نکند و آنزیم‌ها نیز در این محیط قلیایی به حداکثر فعالیت خود بپردازند.

نکته: لوزالمعده تحت تأثیر هورمون **سکرتین** خون، مقدار **زیادی** بیکربنات **سدیم** به داخل **دوازدهه** ترشح می‌کند. بیکربنات‌ها اثر اسیدی کیموس معده را خنثی کرده و درون دوازدهه را **قلیایی** می‌کنند تا دیواره دوازدهه از اثر **اسید** معده حفظ شده و محیط مناسبی برای فعالیت آنزیم‌های **لوزالمعده** فراهم شود.



نکته از شکل: با توجه به شکل روبه‌رو، لوزالمعده هم می‌تواند ترشحات خود را مستقیماً از مجرای مجزایی وارد دوازدهه کند و هم می‌تواند با مجرای صفرا مشترک شده و سپس با هم وارد دوازدهه شوند.

نکته: در لولهٔ گوارش **بیکربنات** در ترشحات صفرا، شیرهٔ لوزالمعده، غدد بزاقی و ترشحات یاخته‌های پوششی **سطحی** حفرات معده و یاخته پوششی مخاط رودهٔ باریک وجود دارد. (غدد معده **برخلاف** حفرات معده به تولید بیکربنات نمی‌پردازند.)

نکته: لیپازهای لوزالمعده هم از نوع لیپاز برای هیدرولیز چربی‌ها یا همان تری‌گلیسریدها دارد و هم فسفولیپاز برای هیدرولیز فسفولیپیدها دارد.

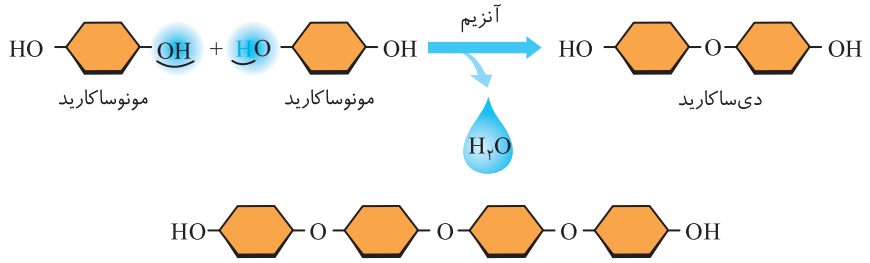
نکته: آنزیم‌های شیرهٔ معده در pH **اسیدی** ولی آنزیم‌های لوزالمعده در pH **قلیایی** رودهٔ باریک به حداکثر فعالیت خود می‌رسند.

گوارش شیمیایی مواد غذایی

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، تک‌پارها (مونومرها) می‌توانند در واکنش‌هایی به نام سنتز آبدهی، همراه با تولید آب و به کمک آنزیم، به دی‌مر **(مثلاً دی‌ساکارید)** یا پلی‌مر (بسپاره مثل پلی‌ساکارید) 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 یا هیدروکسیل یک مونوساکارید با H مونوساکارید مجاور یک مولکول آب سنتز می‌شود تا یک پیوند کووالانسی (اشتراکی) توسط یک اتم اکسیژن برقرار شود.



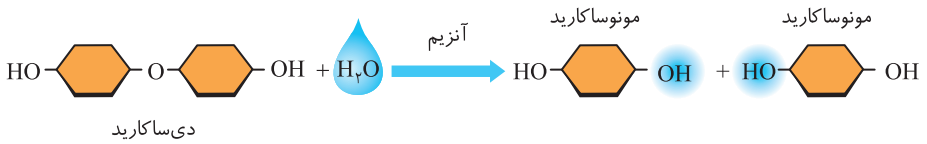
بخشی از مولکول پلی‌ساکارید

نکته: در سیستم‌های زیستی واکنش‌های **تشکیل** ماده 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.

ب) آب‌کافت (هیدرولیز)

آب‌کافت یا هیدرولیز، واکنشی **انرژی‌زا** است که به کمک **آنزیم‌های گوارشی** (هیدرولازها) صورت می‌گیرد. در این واکنش با **مصرف آب**، پیوند کووالانسی 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.

الف) گوارش کربوهیدرات‌ها

با توجه به اینکه در رژیم غذایی انسان **انواع مختلف کربوهیدرات** وجود دارد، گوارش آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:

۱) لاکتوز (قند شیر)

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

● ۲) ساکارز (قند نیشکر)

این **دی**ساکارید نیز در **رودهٔ باریک** و توسط آنزیم‌های تولید و آزاد 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)

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.

● 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 آنزیم‌های **آزاد شده از یاخته‌های خود رودهٔ باریک** (مالتاز) مالتوزها را طی هیدرولیز نهایی و با مصرف آب به گلوکز تبدیل کرده تا جذب یاخته پوششی پرز رودهٔ باریک شوند.

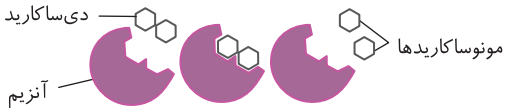
ب) سلولز

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 سلولز غذای انسان را به گلوکز تبدیل می‌کند.

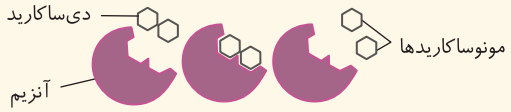
نکته: گوارش کربوهیدرات‌ها از **دهان** آغاز شده و تا روده ادامه دارد. چون بزاق حاوی آنزیم آمیلاز برای هیدرولیز **نشاسته** بوده ولی در نهایت این آنزیم‌های خارج شده از یاختهٔ پوششی رودهٔ باریک هستند که سبب ایجاد مونوساکارید می‌شوند.

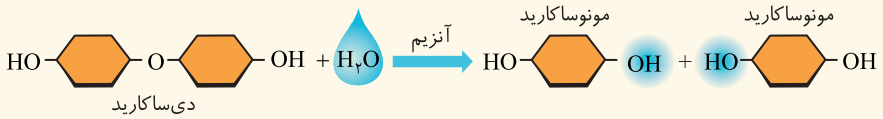
نکته: گوارش نهایی هر نوع دی‌ساکاریدی در لولهٔ گوارش و تبدیل به مونوساکارید، توسط آنزیم‌های آزاد شده از یاخته‌های **رودهٔ باریک** صورت می‌گیرد و آنزیم‌های لوزالمعده یا دهان قدرت تولید مونوساکارید از سایر قندها را **ندارند**.

* آنزیم‌های کربوهیدراز لولهٔ گوارش، نشاسته و یا گلیکوژن رودهٔ باریک را به دی‌ساکارید و تعدادی قند بزرگ‌تر هیدرولیز می‌کنند ولی خود یاخته‌های رودهٔ باریک، آنزیم‌هایی دارند که این مواد را با آب‌کافت یا هیدرولیز نهایی به مونوساکارید تبدیل می‌گردانند.



نکته: 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.





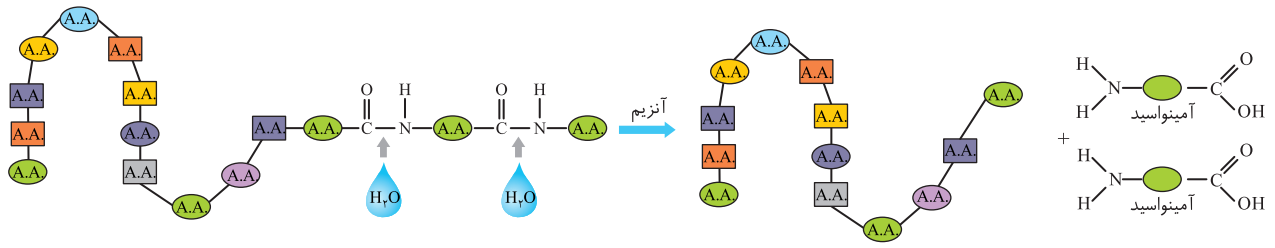
نکتهٔ مهم: گلیکوژن یک پلی‌ساکارید در غذای **جانوری** می‌باشد، پس تجزیهٔ گلیکوژن در بدن انسان و سایر جانوران همه‌چیزخوار هم به صورت **برون‌یاخته‌ای** در **رودهٔ باریک** و هم به صورت **درون‌یاخته‌ای** در **کبد و ماهیچه‌ها** صورت می‌گیرد. در جانوران گیاه‌خوار تجزیهٔ گلیکوژن فقط به صورت **درون**یاخته‌ای صورت می‌گیرد چون غذای گیاهی فاقد گلیکوژن می‌باشد. در جانوران **گوشت‌خوار** نیز تجزیهٔ گلیکوژن هم به صورت برون‌یاخته‌ای و هم درون‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد.

نکتهٔ 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.

ب) گوارش پروتئین‌ها

پروتئین‌ها در مواد غذایی، 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 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 شده‌اند به همراه آنزیم‌های آزاد شده از یاخته‌های مخاط **رودهٔ باریک**، سبب هیدرولیز نهایی و ایجاد آمینواسید می‌شوند. این آمینواسیدها ضمن فرایند جذب از رودهٔ باریک در نهایت وارد **خون** می‌شوند.

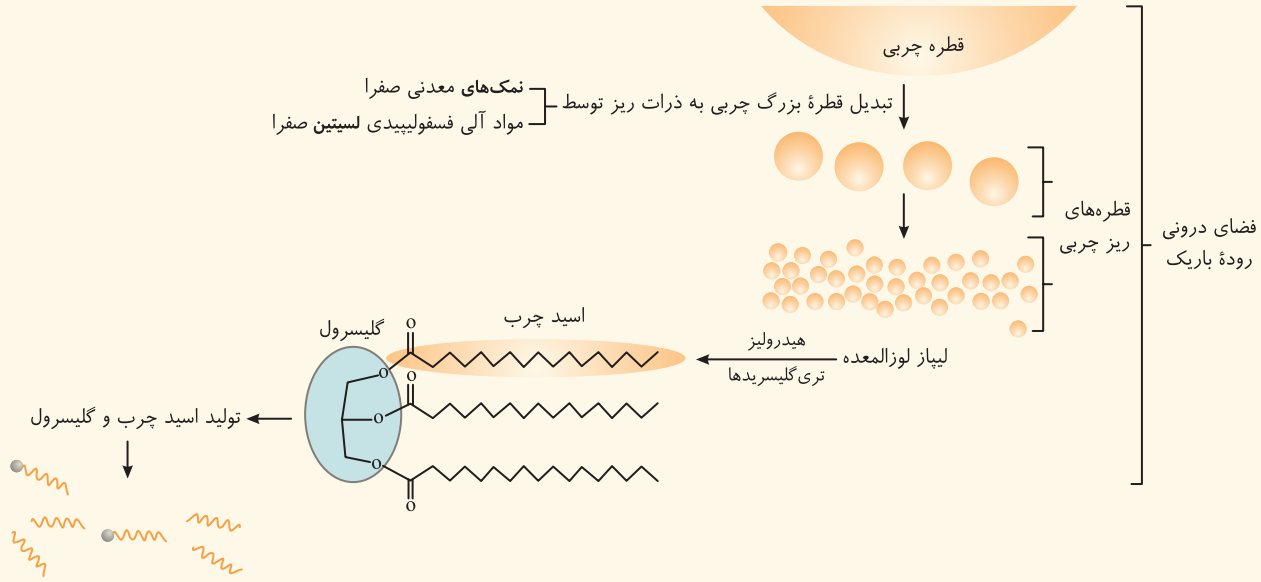


ج) گوارش چربی‌ها

لیپیدها که همگی **آب‌گریز** هستند، شامل فسفولیپیدها، کلسترول (استروئیدها)، موم‌ها و چربی‌ها می‌باشند. چربی‌ها **فراوان‌ترین** لیپیدهای غذا یا همان **تری‌گلیسریدها** می‌باشند. چربی‌های **غذا** در **دمای بدن**، ذوب شده و در سطح مواد درون لولهٔ گوارش **شناور** می‌شوند، بنابراین ابتدا حرکات مخلوط‌کنندهٔ رودهٔ باریک **(کرمی و قطعه‌قطعه کننده)** به کمک **نمک‌ها و لسیتین صفرا**، قطرهٔ بزرگ چربی را به صورت قطره‌های ریز چربی درمی‌آورند، **این نخستین گام در گوارش چربی‌ها در درون دوازدهه می‌باشد**. 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. **بیشتر** گوارش چربی‌ها توسط آنزیم **لیپاز لوزالمعده** و در **دوازدهه** صورت می‌گیرد. آنزیم لیپاز در **آب محلول** است.

نکته: لیپاز و دیگر آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ لیپیدها در **دوازدهه**، سبب آب‌کافت (هیدرولیز) تری‌گلیسریدها به اسید چرب و گلیسرول شده و یا دیگر لیپیدها مثل کلسترول و فسفولیپیدها را تجزیه و هیدرولیز می‌کنند.

نکته: همان‌طور که در بخش آنزیم‌های معده خواندیم، در **معده** نیز مقداری آنزیم لیپاز ترشح می‌شود و در حقیقت این آنزیم‌ها، **نخستین** عمل گوارش را روی چربی‌ها انجام می‌دهند ولی عمدهٔ گوارش چربی‌ها به کمک صفرا و لیپاز لوزالمعده در درون دوازدهه صورت می‌گیرد.



در نهایت از راه بزرگ سیاهرگ ← ورود به **لنف** ← تولید دوباره **تری‌گلیسرید** ← درون یاخته رودهٔ باریک ← مولکول‌های حاصل از گوارش چربی (اسید چرب + گلیسرول) **زیرین** وارد دهلیز **راست** می‌شود.

نکته: تجزیه چربی‌ها و پروتئین‌ها از **معده** آغاز شـــده ولی در رودهٔ **باریک** پایان می‌یابد. در حالی که تجزیه یا گوارش پلی‌ســاکاریدها از **دهان** شروع می‌شود و در رودهٔ **باریک** خاتمه می‌یابد.

بیشتر بدانید

نکته: آنزیم‌های شیرهٔ لوزالمعده و کار آن‌ها:

نام آنزیم	مولکول مورد اثر	نتیجهٔ کار آنزیم
تریپسین	پروتئین	شکستن پیوند بین آمینواسیدها
کربوکسی پپتیداز	پروتئین و پپتید	جداکردن آمینواسید از انتهای زنجیره
لیپاز	لیپید(چربی)	ایجاد گلیسرول و اسید چرب
فسفولیپاز	فسفولیپید	جداکردن اسید چرب از فسفولیپید
آمیلاز	نشاسته، گلیکوژن	دی‌ساکارید، تری‌ساکارید
نوکلئاز(آنزیم تجزیه‌کنندهٔ نوکلئیک اسیدها)	نوکلئیک اسیدها مانند DNA	تبدیل به واحدهای سازنده (نوکلئوتید)

انواع مشاهدهٔ درون دستگاه گوارش

۱) درون‌بینی (آندوسکوپی)

- می‌تواند بخش‌های مختلف **فوقانی** لولهٔ گوارش یعنی مری، معده و **دوازدهه** را مشاهده کند.
- لوله‌ای باریک و انعطاف‌پذیر دارد که از راه **دهان** وارد بدن می‌شود.
- آندوسکوپ یا درون‌بین با دوربین ویدیویی خود می‌تواند **تصویر درون بدن** را به‌طور **مستقیم** نشان دهد.
- از درون‌بیـــن برای تشـــخیص زخم‌ها، ســـرطان معده، تشـــخیص **عفونـــت** با هلیکوباکتـــر پیلوری و نمونه‌برداری استفاده می‌شود.
- درون‌بین می‌تواند برای بررسی **سلامت** بافت‌ها، از آن‌ها **نمونه‌برداری** (بیوپسی) کند.

۲) کولون‌بینی (کولونوسکوپی)

- روشـــی برای بررســـی **رودهٔ بزرگ یا کولون** می‌باشد که از بخش انتهایی لولهٔ گوارش **(مقعد)** لوله وارد می‌شود.
- رودهٔ بـــزرگ را تا محل اتصال به **رودهٔ کوچک** می‌بینند و اختلال‌های احتمالی **دیوارهٔ** آن را مشاهده می‌کند.
- از آن می‌توان در بررسی رودهٔ کور، آپاندیس، کولون‌ها، راست‌روده و مخرج استفاده کرد.

«مشاهدهٔ درون لولهٔ گوارش»

گفتار ۳ جذب مواد و تنظیم فعالیت دستگاه گوارش

جذب مواد در لولهٔ گوارش

واحدهای ســـازندهٔ مواد مغذی پس از گوارش یافتن و تبدیل شـــدن به مواد قابل جذب (مونوســـاکارید، اسید چرب، آمینواسید و...) ابتدا باید از درون لولهٔ گوارش وارد **یاخته‌های** بافت **پوششـــی** دیواره لولهٔ گوارش شـــده 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.

نکته: در دهان و معده مقدار **اندکی** جذب وجود دارد ولی جذب اصلی مواد غذایی در **رودهٔ باریک** صورت می‌گیرد.

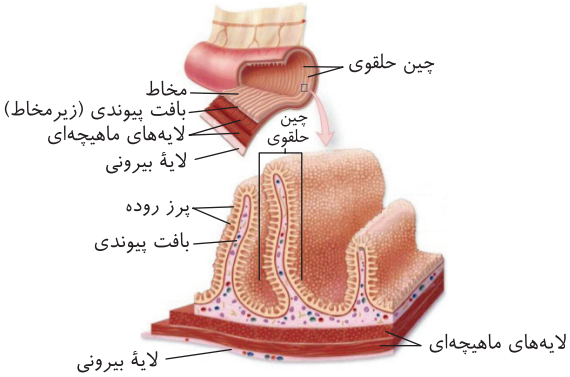
جذب مواد در رودهٔ باریک

مواد غذایی پس از گوارش **برون‌یاخته‌ای** (سلولی) در فضای درون رودهٔ باریک، 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، در ادامه می‌توانند وارد خون یا لنف نیز بشوند.

بررسی چین‌ها، پرزها و ریزپرزهای رودهٔ باریک

الف) چین‌های رودهٔ باریک

برآمدگی‌های **حلقوی** در سطح **درونی** رودهٔ باریک می‌باشند. این چین‌ها به دنبال یکدیگر قرار گرفته‌اند و سطح جذب مواد در این قسمت را افزایش می‌دهند. همان‌طور که در شکل مقابل مشاهده می‌کنید به‌جز لایه‌های **پیوندی بیرونی** و لایه‌های **ماهیچه‌ای** طولی و حلقوی، سایر بخش‌های رودهٔ باریک از اجزای درون چین‌های این بخش می‌باشند.



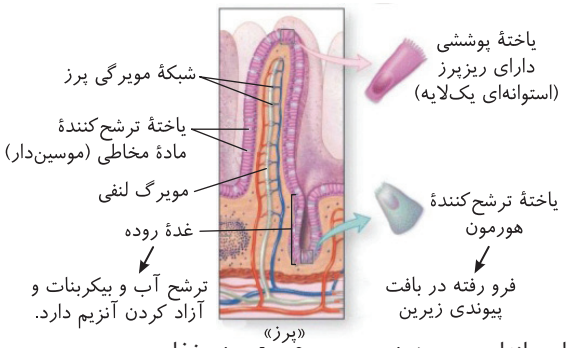
«چین‌های حلقوی»

نکته: در حقیقت، هر چین‌خوردگی رودهٔ باریک شامل لایه‌های **مخاطی** و **زیرمخاطی** با همهٔ موارد درون آن می‌باشد. در چین روده بافت پوششی استوانه‌ای ساده، پرزها و ریزپرزها، غشای پایه، بافت پیوندی سست، رگ‌های خونی، لنفی، شبکهٔ یاخته‌ای عصبی، یاختهٔ ترشح‌کنندهٔ هورمون سکرتین و یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف وجود دارد.

نکته: لایه‌های ماهیچه‌ای حلقوی، طولی و لایهٔ پیوندی بیرونی به ترتیب به چین‌های رودهٔ باریک از **داخل** به **خارج** متصلند.

ب) پرز رودهٔ باریک

روی هر چین‌خوردگی رودهٔ باریک، قسمت‌های **فراوانی** به نام **پرز** وجود دارد. هر پرز از یاخته‌های پوششی یک‌لایه، بافت پیوندی سست، مویرگ خونی، لنفی و ماهیچه صاف به همراه اعصاب متصل به آن تشکیل شده است. یعنی پرز فقط **لایه مخاطی** رودهٔ باریک را دارد.



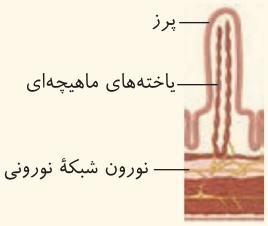
«پرز»

نکته: در رودهٔ باریک، انشعابات شبکهٔ عصبی روده‌ای زیرمخاط تا ماهیچه‌های صاف مخاط نیز نفوذ کرده‌اند تا با تحریک آن‌ها سبب حرکت پرز و جذب بهتر شوند.

بررسی اجزای پرز رودهٔ باریک
- **الف)** یاخته‌های پوششی ریزپرزدار
  - **۱)** استوانه‌ای ریزپرزدار و جدب کنندهٔ مواد غذایی
  - **۲)** یاختهٔ ترشح‌کنندهٔ مادهٔ مخاطی قلیایی **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.
  - **۴)** یاختهٔ **درون‌ریز** هورمون‌ساز ← فرو رفته در لایهٔ پیوندی زیرین بوده و هورمون سکرتین را وارد خون می‌کنند.
- **ب)** بافت پیوندی سست
  - زیر **غشای پایه** قرار گرفته در سطح تحتانی یاخته‌های پوششی می‌باشد.
  - غدد روده در آن‌ها جای گرفته است.
- **ج)** رگ لنفی **بسته** در مرکز هر پرز و رگ‌های خونی باز در مجاور آن
- **د)** یاخته‌های ماهیچه‌ای **صاف** به همراه **شبکهٔ** یاخته‌های عصبی انشعاب یافته از لایهٔ زیرمخاط برای انقباض ماهیچه و حرکت پرز

نکته: حرکت **پرزهای روده** در اثر **یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف** موجود در لایه **مخاطی** رودهٔ باریک می‌باشد که تحت تأثیر شبکهٔ یاخته‌های عصبی انشعاب یافته از زیرمخاط و اعصاب خودمختار **پاراسمپاتیکی**، این حرکات بیشتر شده تا در نهایت قدرت جذب مواد توسط آن‌ها نیز بیشتر می‌شود.

نکته: در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که در بافت **پیوندی** هر پرز روده و در حفره زیر یاخته‌های پوششی آن‌ها، یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف در **امتداد** همدیگر قرار دارند. همچنین نورون‌هایی به صورت شبکه یاخته‌ای برای انقباض این ماهیچه‌ها وجود دارد که به یاخته‌های ماهیچه‌ای متصل هستند. انقباض این یاخته‌های عضلانی در مخاط روده، سبب حرکت **پرزها** و جذب **بیشتر** مواد غذایی می‌شود.



«یاخته‌های ماهیچه‌ای در پرز»

● 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.

نکته: چین‌های میکروسکوپی رودهٔ باریک، **ریزپرزها** هستند ولی چین‌های قابل رؤیت با چشم غیرمسلح همان **چین‌های حلقوی** داخل روده می‌باشند.

جمع‌بندی: در دیوارهٔ داخلی رودهٔ باریک، **چین‌های حلقوی**، وجود دارند که **روی** این چین‌ها، مجموعه‌ای از انواع **بافت‌ها** به صورت **پرزهای روده**، 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 حلقوی در سطح داخلی رودهٔ باریک بوده که شامل لایه‌های **مخاطی** و **زیرمخاطی** می‌باشند.
- پرز رودهٔ باریک ← مجموعه یاخته‌های پوششی به همراه بافت پیوندی، ماهیچه‌ای صاف و رگ‌های خونی، لنفی و اعصاب در **روی** چین‌ها می‌باشند.
- ریزپرز رودهٔ باریک ← مجموعه چین‌خوردگی‌های میکروسکوپی غشای **هر** یاخته پوششی پرز رودهٔ باریک می‌باشد.

نکته: در مرکز هر پرز رودهٔ باریک یک شبکهٔ مویرگی **خونی** و یک مویرگ **لنفی بسته** وجود دارد که مولکول‌های حاصل از گوارش **لیپیدها**، پس از ورود به یاخته‌های پوششی هر پرز، وارد مویرگ لنفی می‌شوند ولی سایر مواد، **اغلب** وارد شبکهٔ مویرگی خونی پرز رودهٔ باریک می‌شوند و از آنجا از طریق خون ابتدا به **کبد** می‌روند. (لنف از آب و ترکیبات دیگر که اغلب لیپیدی است، تشکیل شده است و از راه روده به کبد نمی‌رسند.)

نکته: مواد جذب شده از روده
- اگر به لنف بروند ← در نهایت به بزرگ سیاهرگ **زبرین** می‌رسند ← وارد دهلیز **راست** می‌شوند.
- اگر به خون بروند ← ابتدا به **کبد** می‌رسند ← از راه بزرگ سیاهرگ **زیرین** ← وارد دهلیز **راست** می‌شوند.

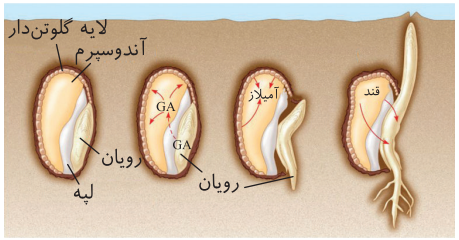
نکته: مواد چربی (لیپیدی) رودهٔ باریک و سایر مواد جذب شده از خون یا لنف در نهایت دوباره در دهلیز **راست** قلب به هم می‌رسند.

در بیماری سلیاک، **پروتئین** موجود در گندم و جو (غلات) که گلوتن نام دارد سبب **تخریب یاخته‌های روده و غشای آن‌ها** یعنی ریزپرزها و حتی تخریب پرزهای رودهٔ باریک می‌شود، در نتیجه سطح جذب مواد غذایی گوارش یافته **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.)

نکات گلوتن

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

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.



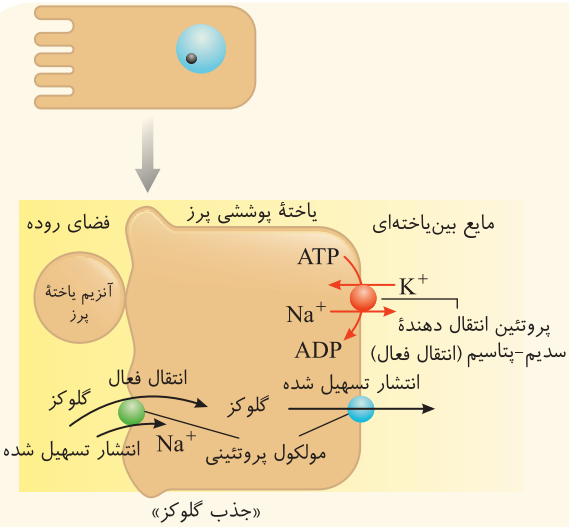
«جیبرلین‌ها در تجزیهٔ ذخایر رویان غلات نقش دارند.»

GA : جیبرلیک‌اسید

الف) جذب گلوکز و آمینواسیدها

گلوکز و اغلب آمینواسیدها برای اینکه از فضای درون روده به یاختهٔ پوششی پرز روده منتقل شوند، باید توسط پروتئین ناقل و با صرف انرژی وارد یاخته **پوششی** شوند. این پروتئین ناقل، مولکولی است که در **غشای** یاختهٔ پوششی پرز و **در سمت فضای روده** وجود دارد و با روش **هم‌انتقالی**، دو مادهٔ گلوکز یا بیشتر آمینواسیدها را به همراه **یون سدیم** (Na^+) عبور می‌دهد و وارد یاختهٔ پوششی روده می‌کند.

نکته: **همواره** غلظت یون سدیم **برخلاف** یون پتاسیم (K^+) در **خارج** یاخته بیشتر است، از طرفی پروتئین مسئول هم‌انتقالی گلوکز یا آمینواسید، این **مواد آلی** را با **انتقال فعال** و **صرف انرژی** از فضای درون روده وارد یاختهٔ پوششی روده می‌کند، **انرژی** این کار از **شیب غلظت یون سدیم** فراهم می‌شود، **یعنی پروتئین هم‌انتقالی، یون سدیم را با انتشار تسهیل‌شده ولی گلوکز یا بیشتر آمینواسیدها را با صرف انرژی وارد یاخته می‌کند.** پس از این عمل پروتئین **کانالی** دیگری در غشای یاختهٔ پوششی پرز روده در سمت **مایع بین‌یاخته‌ای** و رگ‌های خونی وجود دارد که گلوکز و بیشتر آمینواسیدها را **بدون** صرف انرژی و با **انتشار تسهیل‌شده** از یاختهٔ پوششی خارج کرده تا وارد **محیط داخلی** یا مایع بین‌یاخته‌ای کند. ورود گلوکز و سایر مواد به مایع بین‌یاخته‌ای یا محیط داخلی نشان دهندهٔ عمل جذب می‌باشد.



«جذب گلوکز»

نکتهٔ مهم: هر یاختهٔ زنده در بدن، باید توانایی جذب گلوکز را داشته باشد تا با تنفس درون‌یاخته‌ای در **سیتوپلاسم و میتوکندری**، ATP زیادی برای فرایندهای زیستی خود ایجاد کند. یاختهٔ پوششی روده نیز از مقداری از این گلوکزهای وارد کرده برای تنفس یاخته‌ای و تأمین انرژی خود بهره می‌برد و اضافی آن را وارد محیط داخلی کرده تا به مصرف سایر یاخته‌ها یا ذخایر کبدی و ماهیچه‌ای برسند.

● انرژی هم‌انتقالی سدیم و گلوکز از کجا تأمین می‌شود؟

همان‌طور که ذکر کردیم، انرژی مورد نیاز برای هم‌انتقالی سدیم و گلوکز از **شیب غلظت سدیم** تأمین می‌شود. اما می‌دانیم که سدیم برخلاف گلوکز برای ورود به یاختهٔ روده به انرژی نیاز ندارد ولی همواره باید مقدار آن در خارج یاخته بیشتر از داخل آن باقی بماند. به همین دلیل، پروتئین انتقال‌دهنده‌ای به نام **پمپ** سدیم پتاسیم، در **غشای** هر یاخته‌ای از جمله یاختهٔ پوششی پرز روده وجود دارد که با **هیدرولیز** یا مصرف ATP و آزاد کردن انرژی و تولید **ADP**، سبب می‌شود تا با **انتقال فعال**، یون‌های **سدیم** را از یاخته **خارج** کرده و یون‌های **پتاسیم** را **وارد** یاخته کند. با این کار شیب غلظت زیاد سدیم از سمت بیرون به درون یاخته همواره حفظ می‌شود و در نتیجه هم‌انتقالی سدیم و گلوکز ادامه می‌یابد.

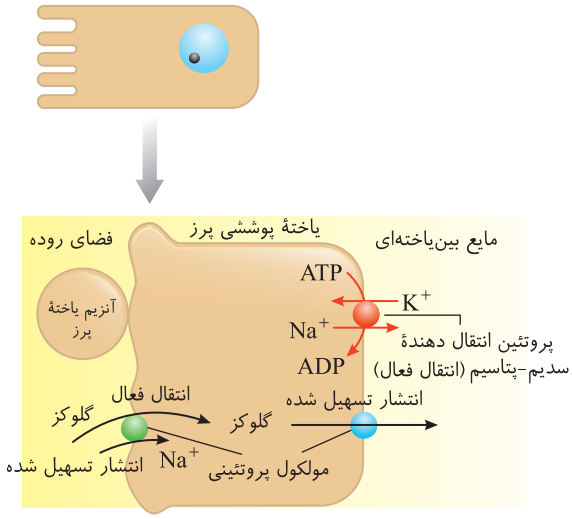
نکته: گلوکز و بیشتر آمینواسیدها با صرف انرژی ولی به صورت **هم‌انتقالی** با سدیم از **فضای درون روده** به درون یاختهٔ پوششی روده منتقل می‌شوند ولی انتقال گلوکز یا بیشتر آمینواسیدها از درون یاختهٔ پوششی به فضای **بین‌یاخته‌ای** (محیط داخلی بدن) با **انتشار تسهیل‌شده**، بدون صرف انرژی و با کمک پروتئین کانالی **اختصاصی** و بدون نیاز به **پروتئین هم‌انتقالی** می‌باشد. این مواد در نهایت وارد **خون** می‌شوند، ابتدا به **کبد** و سپس به قلب می‌روند تا با سیستم گردش خون در اختیار همهٔ یاخته‌های بدن قرار بگیرند.

نکته: انرژی مورد نیاز برای ورود گلوکز و اغلب آمینواسیدها از فضای روده به درون یاختهٔ پوششی روده **به جای ATP**، مستقیماً از شیب غلظت سدیم به دست می‌آید. البته تأمین این انرژی نیز به‌طور **غیرمستقیم** از ATP و به کمک پمپ سدیم پتاسیم انجام می‌شود.

نکته: ورود و خروج گلوکز در یاختهٔ پوششی پرز روده به‌طور **مستقیم** به انرژی ATP نیاز ندارد.

انواع پروتئین‌های عبور دهندهٔ مواد در غشای یاختهٔ پوششی روده‌ای

۱) پروتئین هم‌انتقالی
- به سمت **ریزپرزها** و فضای روده می‌باشد.
- سدیم را بدون صرف انرژی و با انتشار **تسهیل‌شده** به درون یاخته منتقل می‌کند.
- گلوکز یا آمینواسید را با صرف انرژی به **درون** یاخته می‌آورد.
- دو ماده را در **یک** جهت ولی با دو مکانیسم **مختلف** برحسب نیاز به انرژی عبور می‌دهد.
- یک مادهٔ آلی و یک مادهٔ معدنی (یون سدیم) را عبور می‌دهند.



«جذب گلوکز»

۲) پروتئین کانالی
- در سمت مخالف ریزپرزها یعنی به سمت **محیط داخلی** بدن وجود دارند.
- به‌طور **اختصاصی** فقط گلوکز یا آمینواسیدها را از درون یاختهٔ پوششی روده به فضای بین‌یاخته‌ای و به صورت انتشار تسهیل‌شده منتقل می‌کند.

۳) پمپ سدیم پتاسیم ← سدیم و پتاسیم را در دو سمت مخالف و با مصرف **ATP** با انتقال فعال بین یاختهٔ پوششی پرز روده و مایع بین‌یاخته‌ای منتقل می‌کند.

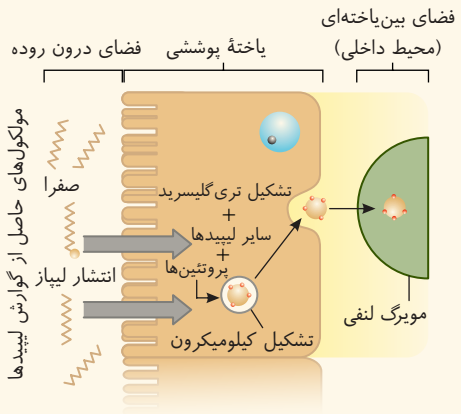
ب) جذب لیپیدها

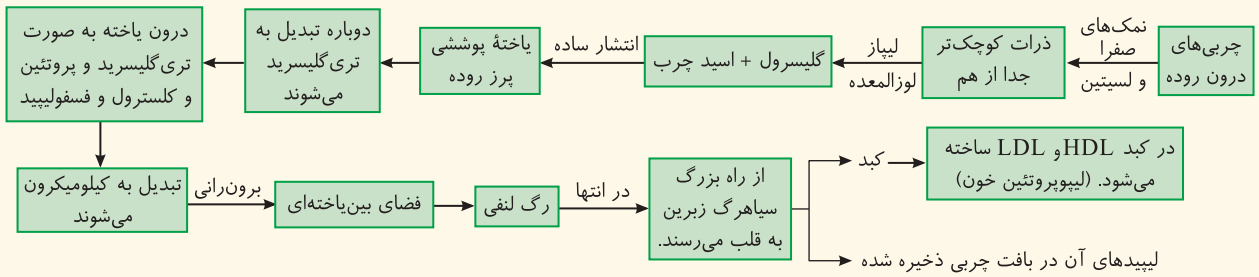
همان‌طور که در گفتار قبل بررسی کردیم، در فضای درون رودهٔ باریک، ابتدا در اثر عمل املاح و **لسیتین** صفرا، مولکول‌های لیپیدی به ذرات کوچک و جدا از هم تبدیل می‌شوند و سپس در اثر فعالیت **لیپاز** لوزالمعده، مولکول‌های حاصل از گوارش لیپیدها که اغلب **اسیدهای چرب و گلیسرول** حاصل از تجزیه چربی‌ها (تری‌گلیسریدها) می‌باشند، ایجاد می‌شوند. این مواد ابتدا به **آسانی** و به روش **انتشار** از پرزهای روده و غشای یاخته‌های آن **(ریزپرزها)** عبور کرده و وارد یاخته‌های استوانه‌ای پوششی پرز رودهٔ باریک می‌شوند. این مواد دوباره درون **شبکهٔ آندوپلاسمی یاخته‌ها**، با هم ترکیب می‌شوند و **تری‌گلیسرید** می‌سازند. شبکهٔ آندوپلاسمی، مولکول‌هایی از جنس پروتئین و سایر لیپیدها (فسفولیپیدها و کلسترول) به دور لیپیدها تشکیل می‌دهند و ذراتی به نام **کیلومیکرون** به وجود می‌آورند. این ذرات درشت که شامل تری‌گلیسرید، فسفولیپید، کلسترول و مقداری **پروتئین** می‌باشند، به صورت غشادار درآمده و پس از بسته‌بندی شدن در دستگاه گلژی، با مکانیسم برون‌رانی (اگزوسیتوز) به مایع بین‌یاخته‌ای (مایع بین سلولی) وارد می‌شوند. کیلومیکرون‌های خارج شده از یاخته، وارد **مویرگ‌های ته بستهٔ لنفی** می‌شوند چون قدرت وارد شدن به مویرگ‌های خونی را ندارند.

نکته: کیلومیکرون = مواد لیپیدی (تری‌گلیسرید، فسفولیپید و کلسترول) + پروتئین‌ها

نکته: در فصل ۴ می‌خوانیم که لنف‌های همهٔ مناطق بدن انسان در نهایت از طریق رگ‌های لنفی بالا و پایین قلب به هم رسیده و در آخر پس از ورود به سیاهرگ‌های خونی تحت ترقوه‌ای **چپ** و **راست** وارد بزرگ سیاهرگ **زبرین** و سپس دهلیز **راست** می‌شوند.

نکته: کیلومیکرون‌های وارد شده به رگ لنفی در نهایت از طریق قلب به رگ خونی وارد می‌شـوند و از راه قلب به همه جای بدن از جمله کبد و بافت چربی می‌رسـند، در **کبد یا بافت چربی لیپیدهای** این کیلومیکرون‌ها **ذخیره** می‌شـوند. سپس در **کبد** از این مولکول‌های **لیپیدی**، که شامل تری‌گلیسرید، کلسترول، فسفولیپید می‌باشند، انواع مولکول‌های لیپوپروتئینی (ترکیب لیپید و پروتئین) به نام HDL ، LDL و... ساخته می‌شود. وظیفهٔ این لیپوپروتئین‌ها انتقال **لیپیدهای** خون به **بافت‌ها** می‌باشد.





نکته: 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 کلسـترول، **کمتر** اسـت و کم‌چگال یا LDL نامیده می‌شـوند. **کلسترول** 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** پرهیدروژن جامد)، چاقی، کم تحرکی 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 کلسـترول **بیشـتر** اسـت. لیپوپروتئین‌های HDL نیز در **کبد** تولید می‌شـوند و سبب جذب کلسـترول رسـوب کرده در دیوارهٔ **سرخرگ‌ها** می‌شـوند. در حقیقت HDL برخلاف LDL در جهت پاک کردن دیوارهٔ رگ‌ها از کلسترول و ممانعت از تنگی رگ‌ها عمل می‌کند. زیادی نسـبت HDL به LDL، احتمال رسـوب کلسترول در دیوارهٔ سرخرگ‌ها را **کاهش** می‌دهد که به سود بدن است. (به HDL چربی خوب بدن می‌گویند.)

نکته: چربی‌های گیاهی که در حالت عادی به صورت مایع، حاوی اسیدهای چرب **غیراشباع** و **کم** هیدروژن می‌باشند و در ساختار خود خمیدگی دارند برخلاف چربی‌های اشباع **شده** جانوری، مقدار HDL را نسبت به LDL **بالا** می‌برند و شانس ابتلا به انسداد رگ خونی را **کاهش** می‌دهند.

نکته: HDL و LDL هر دو در کبد و از **لیپید** کیلومیکرون‌ها 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.

ج) جذب سایر مواد (آب و مواد معدنی)

آب

به روش **اسمز**، طبق قانون انتشار و **بدون** صرف انرژی زیستی جذب یاختهٔ پوششی روده و خون شده و کمی نیز وارد **لنف** می‌شود.

مواد معدنی

مواد معدنی گوناگون به روش **انتشار و انتقال فعال** جذب یاخته و **خون** می‌شوند و از آنجا ابتدا به **کبد** می‌روند. مثلاً **کلسیم و آهن** دو مادهٔ معدنی هستند که با روش **انتقال فعال** جذب می‌شوند.

نکته: در زیست یازدهم می‌خوانیم که هورمون غدهٔ پاراتیروئید با فعال کردن ویتامین محلول در **چربی** نوع **D** و کمک به ساخت پروتئین انتقال دهندهٔ **کلسیم**، به جذب کلسیم در رودهٔ **باریک** کمک می‌کند.

ویتامین‌ها

ویتامین‌های محلول در **چربی** (D, A , K , E = دَکِه) همانند چربی‌ها و به **همراه آن‌ها با انتشار** جذب یاختهٔ پوششی روده شده و سپس به صورت **کیلومیکرون** درآمده تا وارد رگ لنفی شوند، در نتیجه اختلال در **ترشح صفرا** و یا اختلال در عملکرد صفرا و مجاری آن، می‌تواند به سوء جذب این نوع ویتامین‌ها و کمبود آن‌ها در بدن کمک کند.

* ویتامین‌های B و C که محلول در آب هستند با **انتشار یا انتقال فعال** جذب **خون** می‌شوند و ابتدا از راه خون به **کبد** می‌روند.

نکته: ویتامین $B_{۱۲}$ همراه با **عامل داخلی معده** به روش **آندوسیتوز (درون‌بری)** جذب **خون** می‌شود که کمبود آن در **کم‌خونی** مؤثر است.

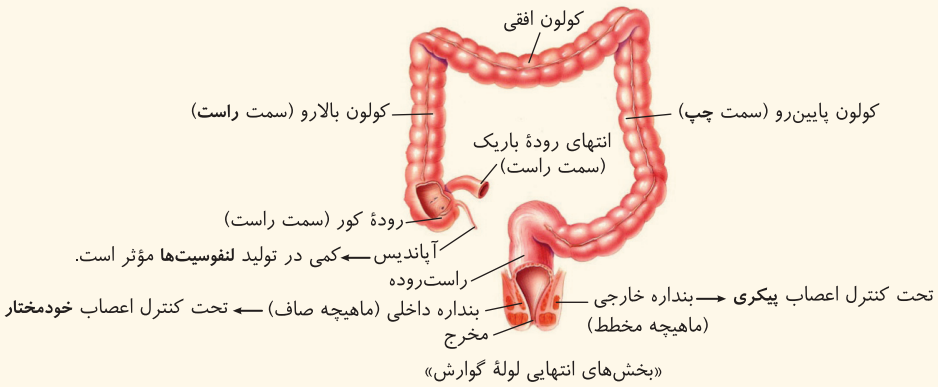
نکته: در صورت کمبود ویتامین $B_{۱۲}$، تولید گویچهٔ قرمز در بدن **کاهش** می‌یابد. اگر کم‌خونی حاصل از آن شدید باشد، مغز **زرد** در طول استخوان‌های دراز به مغز **قرمز** تبدیل می‌شود تا بر تولید گویچه‌های قرمز بیافزاید (زیست یازدهم فصل ۳).

رودهٔ باریک در انتهای خود و در سمت **راست** بدن از طریق یک ماهیچهٔ حلقوی **صاف** (بنداره یا اسفنکتر) به نام ایلئوسکال به رودهٔ بزرگ متصل می‌شود. قسمت ابتدایی رودهٔ بزرگ را **رودهٔ کور** می‌نامند. در **انتهای** رودهٔ کور، زائدهٔ آپاندیس در پایین و سمت **راست** شکم وجود دارد. بعد از رودهٔ کور، به ترتیب کولون **بالارو** (سمت راست)، کولون افقی و کولون **پایین‌رو** (سمت چپ) وجود دارد. کولون پایین‌رو به **راست‌روده** منتهی می‌شود. در انتهای راست‌روده دو اسفنکتر یا بنداره وجود دارد که بندارهٔ **داخلی** از ماهیچهٔ **صاف** با عمل **غیرارادی** و بندارهٔ **خارجی** از ماهیچهٔ **مخطط** با عمل **ارادی** تشکیل شده است.

نکته: انقباض بندارهٔ داخلی **صاف** به کمک 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 **ترشح** نمی‌شوند.

نکته: 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»

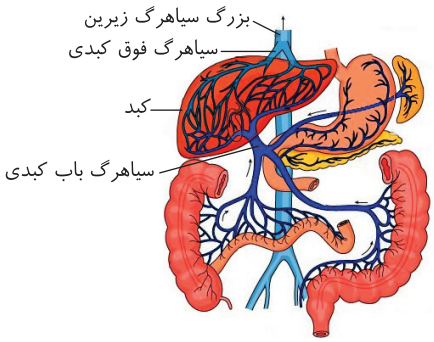
دفع

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.

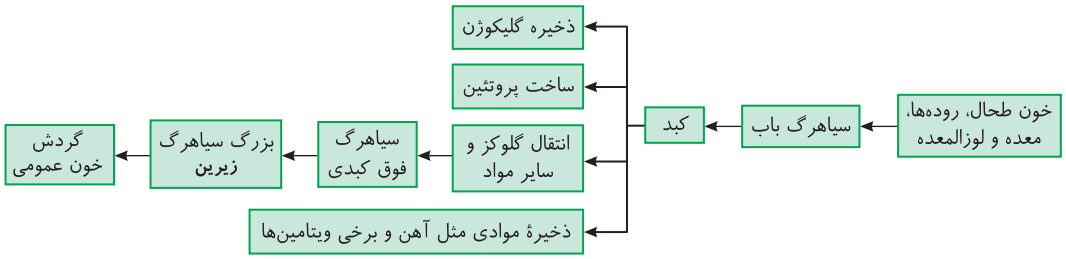
❊ دقت کنید که حرکات رودهٔ بزرگ **به آهستگی** صورت می‌گیرد در نتیجه **به تدریج** با جذب بیشتر آب، مدفوع جامدتر شده و کم‌کم وارد **راست‌روده** می‌شود، با ورود مدفوع **به راست‌روده**، انعکاس دفع به صورت **غیرارادی** به راه می‌افتد و سرانجام (به‌جز در نوزادان) دفع مدفوع به صورت **ارادی** و تحت کنترل قشر مخ صورت می‌گیرد. برای دفع مدفوع باید بنداره‌های داخلی و خارجی انتهای راست‌روده از حالت **انقباض** خارج شوند.

در همهٔ اندام‌های بدن به‌جز بخش **پایینی** لولهٔ گوارش، **خون** هر اندام **مستقیماً** به بزرگ سیاهرگ‌های زیرین و زبرین رسیده و از آنجا مستقیماً به قلب وارد می‌شود.

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 عروق آن **گشاد** می‌شوند). خون خارج شده از بخش‌های دستگاه گوارش که در **زیر** دیافراگم قرار دارند مثل **معده، لوزالمعده، طحال و روده‌ها** ابتدا 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 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»



نکتهٔ مهم: دقت کنید که ورود **چربی‌ها** به کبد از راه **سرخرگ کبدی** که از انشعابات **آئورت** با خون روشن می‌باشد، صورت می‌گیرد ولی ورود گلوکز و آمینواسید جذب شده از روده از راه سیاهرگ باب به کبد صورت می‌گیرد (چون چربی‌ها از راه لنف ابتدا به رگ خونی و قلب می‌رسند و در نهایت به کبد و سایر اندام‌ها می‌رسند).

نکته: **سیاهرگ فوق** کبدی مواد مورد نیاز بدن را از شبکهٔ مویرگی کبد گرفته و از بالای کبد خارج می‌شود. این سیاهرگ ابتدا به بزرگ سیاهرگ **زیرین** و سپس به قلب می‌رسد تا به همه جای بدن غذارسانی شود. در حقیقت در بین اندام‌های موجود در دستگاه گوارش که در زیر دیافراگم قرار گرفته‌اند، فقط **کبد** می‌تواند خون خود را **مستقیماً** از راه بزرگ سیاهرگ زیرین به قلب برساند.

نکته: سیاهرگ باب کبدی، تنها سیاهرگی در کتاب درسی می‌باشد که در انتهای خود و درون کبد انشعابات مویرگی دارد و سپس از طریق **دو** سیاهرگ در بالای کبد به هم رسیده و به صورت سیاهرگ فوق کبدی به بزرگ سیاهرگ زیرین می‌رسد.

نکته: اندام‌های گوارشی بالای دیافراگم مثل **دهان** و **مری** خون خود را وارد سیاهرگ باب نمی‌کنند و مستقیماً مواد خون را از راه بزرگ سیاهرگ‌ها وارد قلب می‌کنند.

نکته: 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 و دیگری شبکه‌ای که از سیاهرگ باب کبدی حاصل شده است. این شبکه خون **تیره** ولی پر از مواد غذایی جذب شده از لولهٔ گوارش را وارد کبد می‌کند.

فعالیت دستگاه گوارش نیز مانند سایر بخش‌های بدن، توسط دستگاه‌های **عصبی و هورمونی** تنظیم می‌شود. فعالیت‌های دستگاه گوارش 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 **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: دستگاه گوارش باید با ترشح **به موقع** و به **اندازهٔ کافی** 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.

نکته: 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.

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 دهان، حلق، ابتدای مری و مخرج که از نوع مخطط می‌باشند توسط اعصاب **پیکری** انجام می‌شود.

نکتهٔ مهم: فعالیت غدد ترشحی **برون‌ریز** هر بخشی از بدن تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** صورت می‌گیرد. مثلاً دقت کنید که در دهان، حلق و ابتدای مری فعالیت ماهیچه‌های آن‌ها با اعصاب **پیکری** ولی فعالیت غدد بزاقی و سایر غدد ترشحی آن‌ها با اعصاب **خودمختار** تنظیم می‌شود.

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 (**هم**حس) و پاراسمپاتیک (**پاد هم**حس) 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.

نکتهٔ مهم: دو نوع **دستگاه عصبی خودمختار (ناخودآگاه)** و **شبکهٔ یاخته‌های عصبی**، فعالیت ماهیچه‌های **صاف** و **غدد** دستگاه گوارش را کنترل و تنظیم می‌کنند. البته 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** و به صورت **غیرارادی** یا **ناخودآگاه** دارد که شامل دو نوع اعصاب **پاراسمپاتیک (پاد هم‌حس)** و **سمپاتیک (هم‌حس)** می‌باشد. **به‌طور معمول**، اعصاب **پاراسمپاتیک** فعالیت دستگاه گوارش را **افزایش** و اعصاب **سمپاتیک** فعالیت این دستگاه را **کاهش** می‌دهند.

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 مغز 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.

B) شبکهٔ یاخته‌ای عصبی

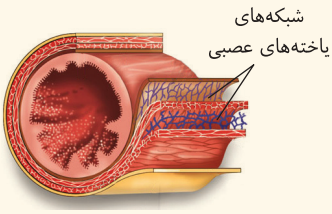
در دیوارهٔ لولهٔ گوارش از **مری تا مخرج**، شبکه‌های یاخته‌های عصبی در لایه‌های **ماهیچه‌ای و زیرمخاطی** وجود دارند که در کل، به شبکهٔ یاخته‌های عصبی معروف می‌باشد. تحریک این اعصاب، سبب حرکت لایه‌های **ماهیچه‌ای** و ترشح مواد از غدد موجود در **زیرمخاط** و **مخاط** لولهٔ گوارش می‌شود.

نکته: این شبکه در **روده** به عنوان شبکهٔ عصبی روده‌ای 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 غدد گوارشی بزاقی، کبدی، کیسه صفرا و لوزالمعده وجود ندارند.

نکته:
- به‌طور معمول
  - اعصاب پاراسمپاتیک (پاد هم‌حس) ← **افزایش** فعالیت دستگاه گوارش
  - اعصاب سمپاتیک (هم‌حس) ← **کاهش** فعالیت دستگاه گوارش

نکتهٔ مهم: به‌طور مثال از اعمال دستگاه عصبی در لولهٔ گوارش می‌توان به نقش یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف درون لایهٔ مخاطی **پرزهای روده** نام برد که با تحریک شدن توسط **شبکهٔ یاخته‌های عصبی** در لایهٔ زیرمخاطی، سبب حرکت پرزها و جذب بیشتر مواد غذایی می‌شوند. با توجه به شکل مقابل این یاخته‌ها فقط در لایه‌های زیرمخاطی و ماهیچه‌های صاف 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**.



نکته:
- شبکهٔ عصبی روده‌ای
  - در لایهٔ ماهیچه‌ای ← تحریک شود ← حرکات کرمی یا قطعه‌قطعه کننده می‌شود.
  - در لایهٔ زیرمخاطی ← تحریک شود ←
    - جذب بیشتر مواد و حرکت بیشتر پرزها را سبب می‌شوند.
    - ترشح مواد از غدد زیرمخاط و مخاط لولهٔ گوارش

نکته: غدد گوارشی
- غده‌های متمرکز بزاقی، کبدی و لوزالمعده ← تحت کنترل اعصاب **خودمختار**
- غده‌های لایه‌های مخاطی و زیرمخاطی لولهٔ گوارش ← تحت کنترل **شبکهٔ یاختهٔ عصبی**

ب) تنظیم هورمونی توسط یاخته‌های دستگاه گوارش

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. (در کبد نیز به عنوان یک غدهٔ گوارشی یاخته‌های **پراکنده‌ای** برای تولید هورمون **اریتروپویتین** وجود دارد.)

- معده، روده و کبد ← یاختهٔ درون‌ریز پراکنده هورمون‌ساز
- لوزالمعده ← 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.

*** سکرتین نخستین هورمون کشف شده به معنی ترشح شده می‌باشد که به‌طور غیرمستقیم سبب قلیایی شدن محیط دوازدهه می‌شود. (در حقیقت بیکربنات حاصل از عمل سکرتین سبب قلیایی شدن دوازدهه و فعالیت مناسب آنزیم‌های گوارشی آن می‌شود.)**

۲) **گاسترین**: در برخی یاخته‌های غدد **معده** در مجاورت **پیلور** 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.)

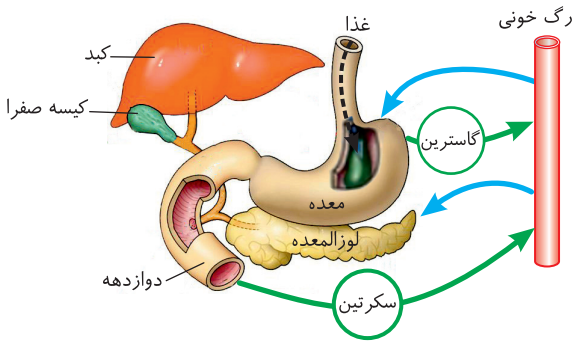
نکته: سکرتین **روده** را قلیایی‌تر و گاسترین **معده** را اسیدی‌تر می‌کند.

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 **کاهش** گلوکز یا قند خون، منبع تولید انرژی در دسترس یاخته‌ها را کاهش می‌دهد.

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

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



ورود غذا به معده ← تحریک ترشح گاسترین ← گاسترین ← خون ← یاختهٔ اصلی معده ← آنزیم ← مادهٔ آلی
خون ← 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

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

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

نکته: تعیین وزن مناسب بر اساس رابطهٔ نمایهٔ 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)

اگر فردی غذایی بیش از مقدار انرژی مورد نیاز خود بخورد، این غذای اضافی از هر نوع چربی، کربوهیدرات یا پروتئین که باشد، می‌تواند در بدن به **چربی** تبدیل شده و **ذخیرهٔ** آن در **بافت چربی**، ایجاد چاقی می‌کند تا سپس در موقع نیاز، از آن چربی برای تولید انرژی استفاده شود.

نکته: در جوامع امروزی

- علت افزایش وزن
  - استفاده از غذاهای پرانرژی چرب و **شیرین**
  - عوامل روانی خوردن غذا برای رهایی از تنش
  - زندگی کم‌تحرک یا بدون تحرک
  - عوامل ژنی
- نتیجهٔ افزایش وزن (چاقی) ← بالا رفتن احتمال
  - دیابت **نوع II** غیروابسته به **انسولین**
  - انواعی از سرطان‌ها
  - تنگ شدن سرخرگ‌ها و افزایش LDL در خون
  - سکتهٔ مغزی و قلبی

نکته: 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.

نکته: 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 مثلاً کاهش دریافت **کلسیم و آهن** باعث کاهش استحکام استخوان‌ها، **کم‌خونی** در اثر کاهش ویتامین B_{12} و **آهن**، ضعف ماهیچهٔ قلبی در اثر کمبود کلسیم و حتی ایست قلبی می‌شود.

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

بیشتر بدانید

اعمال باکتری‌های همزیست در رودهٔ انسان
- ۱) به صورت همزیست در رودهٔ بزرگ و انتهای رودهٔ باریک وجود دارند.
- ۲) آنزیم‌های آب‌کافت (هیدرولیز) سلولز یعنی سلولاز می‌سازند و سلولز را به گلوکز تبدیل می‌کنند ولی گلوکز حاصل از سلولز جذب یاخته‌های رودهٔ انسان نمی‌شوند.
- ۳) فولیک‌اسید و ویتامین K می‌سازند که جذب رودهٔ بزرگ می‌شوند.
- ۴) بخشی از گازهای روده را می‌سازند.
- ۵) با ترشح مواد **سمی**، باکتری‌های بیماری‌زا را می‌کشند و سبب حفظ یاخته‌های رودهٔ بزرگ می‌شوند.
- ۶) آنتی‌بیوتیک زیاد، آن‌ها را از بین می‌برد.
- ۷) در تولید ماست و سایر محصولات زیست‌یار (پروبیوتیک) شرکت دارند.

گفتار ٤ تنوع گوارش در جانداران

جانداران
- تولیدکننده
  - گیاهان
  - برخی آغازیان
  - برخی باکتری‌ها
  - گوارشی برای غذای تولیدی خود ندارند.
- مصرف‌کننده (هتروتروف)
  - 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.

«کرم کدو»

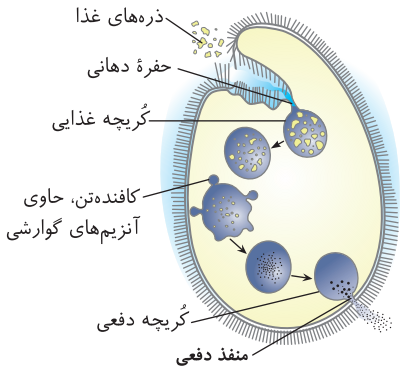
ساده‌ترین نوع گرفتن مواد غذایی در جاندارانی دیده می‌شود که مواد مغذی را از **سطح یاخته** یا **سطح** بدن مثل **پوست** به‌طور مستقیم از محیط، با **انتشار** و بدون صرف انرژی به دست می‌آورند. این گروه یا مواد مغذی را از آب دریا به دست می‌آورند و یا به صورت **انگل** هستند و مواد مغذی را از دستگاه گوارش یا 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.

گوارش درون‌یاخته‌ای (کریچه (واکوئل) 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 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 و مواد زائد را دفع کنند.

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



«گوارش درون‌یاخته‌ای در پارامسی»

نکته: به این نوع گوارش، گوارش درون‌یاخته‌ای می‌گویند که فقط دارای گوارش **شیمیایی** می‌باشد.

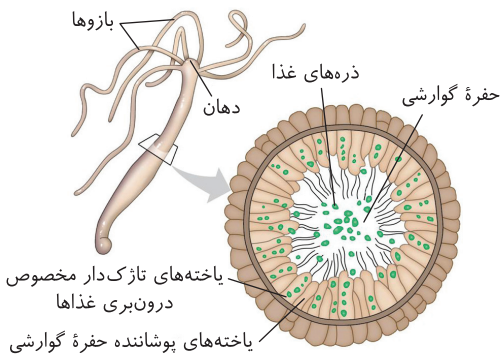
نکته: دقت کنید که لیزوزوم (کافنده‌تن) در هر جانوری وجود دارد ولی گوارش درون‌یاخته‌ای مواد غذایی در هر جانوری وجود ندارد، مثلاً انسان نیز کافنده‌تن دارد و در ماکروفاژها و سایر یاخته‌های بیگانه‌خوار دفاعی و یا برخی یاخته‌های ذخیره‌کنندهٔ مواد غذایی در کبد یا ماهیچه، گوارش درون‌یاخته‌ای برای مواد جذب کرده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

جانداران دارای گوارش برون‌یاخته‌ای

در **بیرون 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 در مرجانیان مانند عروس دریایی، شقایق دریایی و هیدر دیده می‌شود. این بی‌مهرگان حاوی **یک کیسه** یا **حفرهٔ منشعب** گوارشی می‌باشند. این حفره **یک سوراخ** مشترک ورودی و خروجی مواد دارد (دهان و منفذ خروجی آن‌ها یکی است). در هیدر که نوع مهمی از آن‌هاست، ابتدا **بازوهای** اطراف دهان، سبب از بین بردن صید شده و مواد غذایی را از سوراخ ورودی به عنوان دهان وارد می‌کنند. با حرکت حفره یا کیسهٔ گوارشی و به کمک **تاژک‌های** یاخته‌های درون کیسه، گوارش (هضم) **مکانیکی** درون کیسه و انشعابات آن آغاز می‌شود. دیوارهٔ داخلی کیسهٔ گوارشی آن‌ها **دو نوع یاخته** 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 **شروع** می‌کنند ولی قدرت این آنزیم‌ها آن‌قدر نیست که تک‌پار (مونومر) بسازند، پس **ادامهٔ** گوارش باید **درون یاخته‌ها** صورت گیرد.



«حفرهٔ گوارشی در هیدر»

گروه دیگری از یاخته‌های سطح داخلی حفرهٔ گوارشی، مسئول بیگانه‌خواری (فاگوسیتوز) مواد مغذی با مکانیسم **درون‌بری** هستند. گوارش شیمیایی اولیه مواد غذایی درون حفرهٔ گوارشی صورت گرفته است. از اینجا به بعد درون یاخته ابتدا کریچه‌های غذایی به وجود می‌آید و سپس با اتصال لیزوزوم (کافنده‌تن)ها به آن، کریچهٔ گوارشی تشکیل می‌شود. گوارش شیمیایی، درون‌یاخته‌ای در کریچهٔ گوارشی ادامه می‌گیرد و در آنجا مونومر ساخته می‌شود تا به مصرف جاندار برسد. مواد زائد و دفعی توسط کریچه‌های دفعی 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 این بار به عنوان سوراخ خروجی خارج شوند.

نکتــه: در اطراف دهان هیدر (گروهی از مرجانیان)، بازوهایی با نیش‌های سـمی وجود دارد کـه مواد غذایی کوچک (مثل دافنی) را به صورت مرده از راه سـوراخ دهانی وارد حفرهٔ گوارشـی خود می‌کند. در هیدر کیسهٔ گوارشی **پر از مایع**، علاوه بر گوارش مواد، وظیفهٔ گردش مواد را نیز بر عهده دارد و در سطح داخلی خود **یاختهٔ تاژک‌دار** دارد.

نکته: اگر شـکل حفرهٔ گوارشـی هیدر را به دقت بررسی کنید، مشـاهده می‌کنید که یاخته‌های درونی حفرهٔ گوارشی، دو نوع تاژک‌دار و بدون تاژک دارند. اغلب یاخته‌هایی که عمل **ذره‌خواری** مواد غذایی را انجام می‌دهند، حاوی **دو عدد تاژک** می‌باشند.

نکته: کیسهٔ گوارشی مرجانیان پر از مایع می‌باشد که علاوه بر گوارش، وظیفهٔ گردش مواد را نیز بر عهده دارد ولی در این جانوران منفذ مجزایی به عنوان مخرج وجود ندارد. در این جانوران امکان مخلوط شدن غذای گوارش یافته و مواد دفعی وجود دارد.

نکته: عروس دریایی کیسه‌تنی است که حفره یا کیسهٔ گوارشی آن انشعابات **متعددی**، هم در قسمت **چتر** و هم در **بازوهای** جانور دارد (فصل چهارم).

نکته: در جانوران دارای حفره یا کیسـهٔ گوارشـی، به دلیل داشتن منفذ مشترک ورودی و خروجی مواد، جریان مواد درون حفرهٔ گوارشی آن‌ها به صورت **دوطرفه** می‌باشـد. گوارش **مکانیکی** آن‌ها درون حفره ولی گوارش **شـیمیایی** آن‌ها هم به صورت برون‌یاخته‌ای در حفره و هم درون یاخته‌های داخلی کیسهٔ گوارشی صورت می‌گیرد.

نکته: 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.

● ب) لولهٔ گوارش = گوارش کاملاً برون‌یاخته‌ای دارند.

ایـن مـدل در **تکامل یافته‌ترین جانوران** صورت می‌گیرد که **دهان و مخرج جدا از هم و سـلوم (حفـرهٔ عمومی) دارند.** جهت جریان مواد غذایی در آن‌ها **یک‌طرفه** و از دهان به سـوی مخرج می‌باشـد. **در این گروه غذای گوارش یافته و مواد دفعی با هم مخلوط نمی‌شوند.** در این جانوران، دستگاه گوارش به صورت کامل شکل گرفته است.

نکتــه: در این گروه، کلیه مراحل گوارش شـیمیایی مـواد غذایی در **خارج یاخته** و در لولهٔ گوارش صورت می‌گیـرد. پس از گوارش، مونومرها (واحد سازندهٔ درشت‌مولکول‌ها) و مواد کوچک مثل آب و یون‌ها توسط یاخته‌ها جذب می‌شوند.

نکتهٔ مهم و 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** 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

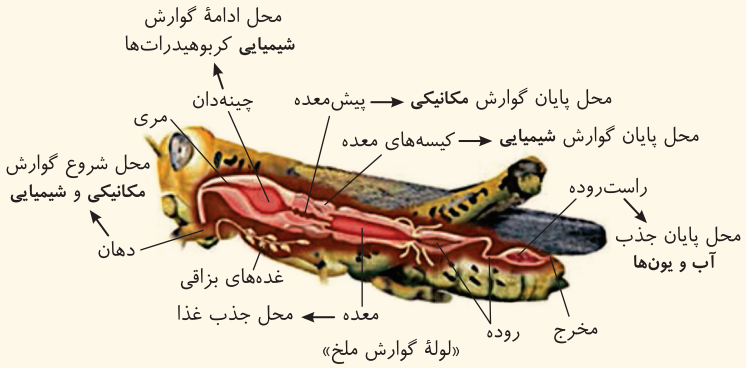
ملخ حشـره‌ای گیاه‌خوار با ۶ پای بندبند می‌باشـد که پاهای **عقبی** از بقیه درازترند. این جانور آنزیم تجزیه‌کنندهٔ نشاسـته (آمیلاز) را به صورت **برون‌یاخته‌ای** و آنزیم تجزیه‌کنندهٔ گلیکوژن **ذخیره‌ای** را به صورت **درون‌یاخته‌ای** دارد. (جانور گیاه‌خوار فاقد آنزیم تجزیه‌کنندهٔ گلیکوژن به صورت **برون**یاخته‌ای می‌باشد!) در اطراف دهان ملخ، **آرواره‌هایی** وجود دارد که **شروع** گوارش **مکانیکی** را انجام می‌دهند و غذای خرد شده را وارد **دهان** می‌کنند. در زیر **چینه‌دان** و **مری** آن‌ها، غدد بزاقی وجود دارد که ترشـحات خود را وارد حفرهٔ دهانی می‌کنند. بزاق دهان، علاوه بر اینکه غذا را برای عبور در لولهٔ گوارش لغزنده می‌کند، همانند انسـان، توسـط **آمیلاز خود**، گوارش **شـیمیایی** کربوهیدرات‌ها (نشاسته) را آغاز می‌کند. پس از دهان، غذایی که گوارش **مکانیکی و شیمیایی** 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 و هم در آن فرصت کافی وجود دارد تا عمل **آمیلاز بزاق** روی گوارش شیمیایی کربوهیدرات‌ها **ادامه** یابد. در ملـخ، پـس از چینه‌دان، غذا وارد بخش **کوچکی** به نام **پیش‌معده** می‌شـود. دیوارهٔ داخلی پیش‌معده **دندانـه‌دار** بوده و باعث افزایش و پایان گوارش **مکانیکی** شـده و به خرد شـدن 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 ریزی وارد **کیسه‌های** معده می‌شوند. در کیسـه‌های معده گوارش برون‌یاخته‌ای کامل می‌شـود و مواد غذایی به صورت مونومر (تک‌پار) و قابل جذب تبدیل می‌شوند. در **ملخ** برخلاف سایر جانوران دارای لولهٔ گوارش، **جذب غذا در معده** صورت می‌گیرد. مواد گوارش نیافته به همراه آب و یون‌ها وارد روده و سپس راست‌روده شده و با جذب آب و یون‌های آن‌ها در **راست‌روده**، سرانجام مدفوع از مخرج که قسمت انتهایی لولهٔ گوارش است، خارج می‌شود.

نکته: در ملخ، **شـروع** گوارش مکانیکی توسـط **آرواره‌های دهانی** و شروع گوارش شـیمیایی توسط بزاق در **حفرهٔ دهان** صورت می‌گیرد، گوارش مکانیکی در **پیش‌معده** و گوارش شیمیایی برون‌یاخته‌ای درون **کیسه‌های** معده کامل می‌شود.

نکته: 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. از آنجا که غذا ابتدا وارد دهان می‌شود، پس می‌توان گفت **دهان** محل شروع گوارش مکانیکی و شیمیایی غذای ملخ می‌باشد.

نکته: **دهان**، **چینه‌دان** و **پیش‌معده** ملخ، همگی هم در گوارش مکانیکی و هم در گوارش شیمیایی نقش دارند.

نکته: معده و کیسه‌های معده، آنزیم‌های خود را به بخش **قبل** از خود یعنی به پیش‌معده وارد می‌کنند تا در پیش‌معده گوارش اصلی **شیمیایی** غذا انجام شود ولی در کتاب درسی ذکر شده است که ذرات **ریزی** از پیش‌معده وارد کیسه‌های معده می‌شود تا گوارش برون‌یاخته‌ای کامل شود. پس در ملخ برخلاف انسان، **کیسه‌های** معده محل پایان گوارش و خود **معده** محل شروع جذب غذا می‌باشد.

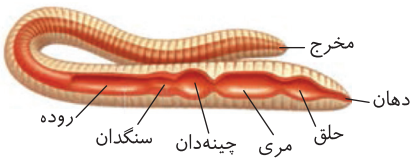


ملخ:
- آغاز گوارش مکانیکی ← **آرواره دهانی**
- آغاز گوارش شیمیایی ← **دهان (آمیلاز بزاق)**
- پایان گوارش مکانیکی ← **پیش‌معده**
- پایان گوارش شیمیایی ← **کیسه‌های معده**
- محل جذب غذا ← **معده**
- محل جذب آب و یون‌ها ← **راست‌روده**

نکته: در فصل ۴ 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 حفرهٔ عمومی بدن وارد **همولنف** به عنوان مایع ترکیبی از خون، لنف و مایع بین‌یاخته‌ای می‌شود.

لولهٔ گوارش کرم خاکی

کرم خاکی، جانوری **بی‌مهره** و همه‌چیزخوار می‌باشد که لولهٔ گوارشی حاوی دهان، حلق، مری، چینه‌دان، **سنگدان**، روده و مخرج دارد **ولی معده ندارد**. این جانور **ساده‌ترین** گردش خون **بسته** به همراه تنفس **پوستی** دارد که در فصل‌های آینده آن‌ها را مطالعه خواهیم کرد.



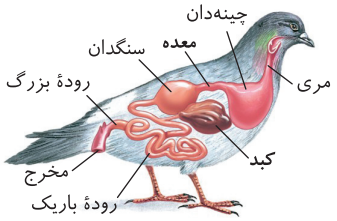
نکته: کرم خاکی و پرندگان دانه‌خوار نیز در بخش **انتهایی** مری خود **چینه‌دان** دارند که به **ذخیرهٔ** غذا کمک کرده و باعث می‌شود جانور با **دفعات کمتر** تغذیه، انرژی مورد نیاز خود را تأمین و در چینه‌دان ذخیره کند.

لولهٔ گوارش پرندهٔ دانه‌خوار

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

❊ کبد در گنجشک در زیر **معده** و **سنگدان** واقع شده است که ترشحات خود را از مجرای مشخصی وارد **رودهٔ باریک** می‌کند.

نکته: 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.



نکته: 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.

نکته: گنجشک **برخلاف** کرم خاکی دارای قلبی در سطح **شکمی** و طناب عصبی در سطح **پشتی** خود می‌باشد.

لولهٔ گوارش در پستانداران گیاه‌خوار

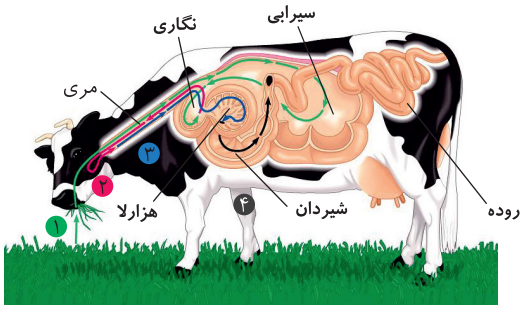
الف) پستانداران نشخوارکننده (گاو و گوسفند)

این گروه **معدهٔ چهار قسمتی** دارند. معدهٔ آن‌ها دارای یک بخش اولیه است که **دو** قسمت **کیسه‌ای** دارد. یک **کیسهٔ بزرگ** به نام **سیرابی** و یک کیسهٔ **کوچک** به نام **نگاری** در بخش اولیه معدهٔ آن‌ها وجود دارد. بخش دیگر معدهٔ آن‌ها نیز دو قسمت دارد، یک قسمت **اتاقک لایه‌لایه‌ای** به نام **هزارلا** و یک قسمت **معدهٔ واقعی** به نام **شیردان** دارد 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 و نزدیک به روده و **دم** جانور می‌کنند. درون سیرابی **میکروب‌های فراوان** وجود دارد که آنزیم **سلولاز** ترشح کرده و گوارش مقدار زیادی از سلولزها را انجام می‌دهند. در سیرابی، مواد غذایی توسط عمل میکروب‌ها و به کمک ترشحات مایعات لولهٔ گوارش، **حرارت بدن** و حرکت خود سیرابی، گوارش **مکانیکی و شیمیایی** می‌یابند در حالی که هنوز گوارش **آنزیمی** توسط آنزیم‌های خود جانور آغاز نشده است. توده‌های غذایی از سیرابی به **نگاری** رفته که در این بخش کوچک نیز کمی گوارش شیمیایی سلولز ادامه می‌یابد. سپس جانور در فرصت مناسب و در مکانی امن، با مکانیسم نشخوار کردن دوباره مواد نیمه گوارش یافته در نگاری را از طریق مری به دهان برمی‌گرداند و در این حالت غذا را **به‌طور کامل می‌جود.**

پس از جویدن کامل، بلع دوم صورت گرفته و دوباره غذا از راه دهان و مری به **سیرابی** برمی‌گردد. در سیرابی حالت مایع بیشتری (گوارش مکانیکی بیشتر) پیدا می‌کند و دوباره وارد نگاری می‌شود. پس از این عمل مواد به بخش **اتاقک لایه‌لایه هزارلا** می‌رود و تا حدودی **آب‌گیری** می‌شود تا سرانجام وارد **معدهٔ واقعی** یا **شیردان** شود. در آنجا **آنزیم‌های** گوارشی قوی که توسط خود جانور ترشح می‌شوند، وارد عمل شده و گوارش شیمیایی را 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.



«معدهٔ چندقسمتی نشخوارکننده»

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

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

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

بلع دوم ← مری ← سیرابی ← نگاری ← هزارلا ← شیردان ← رودهٔ باریک ← رودهٔ بزرگ ← مخرج

ب) پستانداران گیاه‌خوار غیرنشخوارکننده

این گروه پستاندارانی مانند **فیل و اسب** هستند که تا انتهای رودهٔ **باریک** آن‌ها، میکروب‌های تولیدکنندهٔ **سلولاز** وجود ندارد، در نتیجه چون بیشتر غذای خورده شده توسط آن‌ها، مواد گیاهی حاوی سلولز است، پس بیشتر مواد غذایی آن‌ها تا انتهای **رودهٔ باریک** گوارش نیافته است. در این گروه، گوارش **میکروبی** و گوارش سلولز توسط سلولاز حاصل از میکروب‌های درون **رودهٔ کور** صورت می‌گیرد. سلولز در رودهٔ کور آن‌ها آب‌کافت (هیدرولیز) می‌شود و چون مدت زمانی که غذا در رودهٔ کور و رودهٔ بزرگ می‌ماند، **کم** است، بخش قابل توجهی از مواد غذایی آن‌ها به صورت گوارش نشده دفع می‌شود.

نکته: به‌طور معمول در پستانداران نشخوارکننده، گوارش میکروبی **قبل** از سایر گوارش‌های آنزیمی رخ می‌دهد ولی در اسب که غیرنشخوارکننده است، گوارش میکروبی رودهٔ کور **پس** از کل گوارش آنزیمی لولهٔ گوارش صورت می‌گیرد.

نکتهٔ مهم: سلولز حاوی انرژی زیادی می‌باشد چون از واحدهایی به نام **گلوکز** به وجود آمده است که در تنفس یاخته‌ای، انرژی جانداران را تأمین می‌کند. **اغلب جانوران**، توانایی تولید آنزیم **سلولاز** توسط یاخته‌های خود را ندارند. در طبیعت بیشتر میکروب‌ها مثل **باکتری‌ها** توانایی تولید آنزیم سلولاز دارند، به همین دلیل در گیاه‌خواران مثل نشخوارکنندگان وجود میکروب‌ها برای گوارش سلولز و بقای جانور حیاتی می‌باشد. در نتیجه این میکروب‌ها زندگی جانورانی با رژیم **گیاه‌خواری** را اثربخش‌تر می‌کنند.

نکتهٔ مهم: چون گوارش سلولز زمان‌بر و دشوارتر می‌باشد، به همین دلیل نسبت طول روده به لولهٔ گوارش در جانوران گیاه‌خوار از گوشت‌خوار **بیشتر** است.

فصل سوم

تبادلات گازی

درسنامه

گفتار ۱ سازوکار دستگاه تنفس در انسان

تاریخچه و اصول کلی تنفس یاخته‌ای

تاریخچه

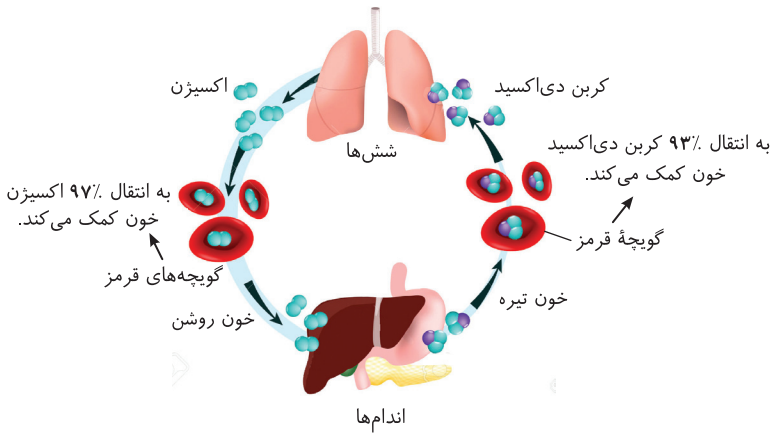
ارسطو نمی‌دانست که هوا مخلوطی از **چند نوع گاز** است و ترکیب شیمیایی هوای **دمی و بازدمی** را **یکسان** می‌دانست. او معتقد بود که نفس کشیدن باعث **خنک شدن قلب** می‌شود. محققین بعدی پس از اینکه ترکیبات هوای **دمی و بازدمی** را بررسی کردند، متوجه شدند که نسبت مقدار **اکسیژن به کربن دی‌اکسید** در هوای **دمی** بیشتر است ولی این نسبت در هوای بازدمی کاهش یافته است. در حقیقت CO_2 هوای بازدمی از دمی بیشتر می‌باشد و اهمیت تنفس فراتر از چیزی است که ارسطو بیان کرده بود.

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

انواع خون از نظر میزان گازهای تنفسی

خون تیره

خونی است که نسبت اکسیژن به کربن دی‌اکسید **کمی** دارد. دستگاه گردش خون انسان وظیفه دارد این خون تیره را از اندام‌ها به سوی قلب و سپس به سوی شش‌ها ببرد تا تهویه یا تبادل **گازها** را انجام دهد. این خون توسط دو بزرگ سیاهرگ **زیرین و زبرین** به دهلیز راست و سپس به بطن راست وارد می‌شود و برای تهویه گازها از راه **سرخرگ‌های ششی** به سمت شش‌ها می‌رود.



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 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.

نکته: 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.

نکته: 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.

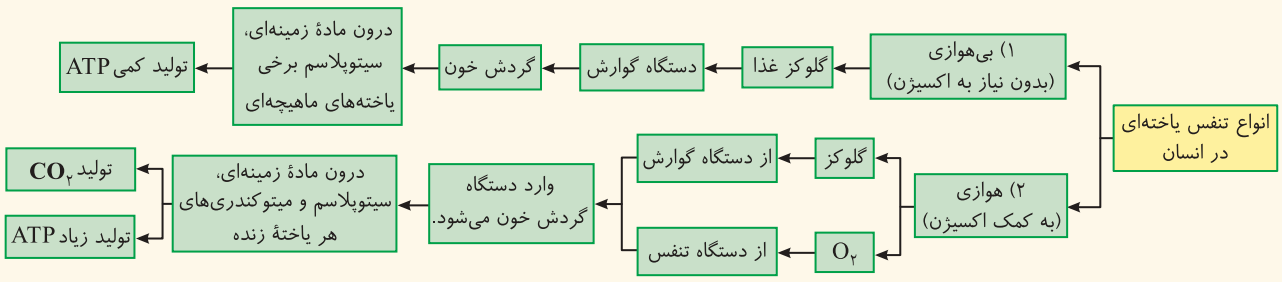
خلاصهٔ تنفس یاخته‌ای (تنفس سلولی)

* در بدن جانوران **مواد غذایی** مثل **گلوکز** انرژی بسیار زیادی در پیوندهای خود ذخیره دارند. این انرژی باید در یاخته‌ها با فرایند تنفس یاخته‌ای آزاد شود. چون انرژی فرایندهای یاخته‌ای، **مستقیماً از ATP** تأمین می‌شود. بنابراین گلوکز باید وارد یاختهٔ زنده شده و طی واکنش‌هایی به نام تنفس یاخته‌ای، انرژی آن به صورت **نهفته در مولکول ATP** ذخیره شود. **ATP** سوختی است که **تقریباً** در **هر** واکنش **انرژی‌خواه یاخته‌ای** می‌تواند استفاده شود.

* 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:

$$\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{گلوکز}} + 6O_2 + ADP + \text{فسفات} \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{مقدار زیادی } ATP$$

نکته: در تنفس یاخته‌ای **بی‌هوازی** نیز که در **برخی** یاخته‌ها رخ می‌دهد، مقدار **کمی** ATP از تجزیهٔ گلوکز به دست می‌آید.



نکته: در تنفس هوازی، **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 **کربنیک اسید** است. این فرایند سبب **کاهش pH** و اسیدی شدن خون می‌شود. **تغییر** pH نیز سبب **تغییر ساختار پروتئین‌ها** و آنزیم‌های بدن شده، در نتیجه با اختلال در کار **آنزیم‌ها** که **واکنش‌دهنده‌های زیستی** هستند، کار یاخته‌ها و اندام‌ها مختل می‌شود. البته در بدن نیز مکانیسم‌هایی برای مقابله با این شرایط وجود دارد. مثلاً یکی از وظایف **هموگلوبین** این است که یون‌های H^+ **اسیدی** خون را گرفته و مانع **کاهش** pH خون شود البته دقت کنید که هموگلوبین، تا حدی توانایی انجام این کار را دارد.

نکته: در بدن **افزایش** CO_2 خطرناک‌تر از **کاهش** O_2 می‌باشد.

نکته: **یاخته‌های** زندهٔ بدن، گازهای تنفسی را **فقط** با **خون** مبادله می‌کنند ولی **در شش‌ها**، این گازهای تنفسی بین **خون و هوا** مبادله می‌شوند.

نکته: در زیست دوازدهم می‌آموزید که بخشی از تنفس یاخته‌ای **هوازی** یوکاریوت‌ها، در سیتوپلاسم (میان‌یاخته) و بخشی در راکیزه‌ها صورت می‌گیرد ولی تنفس **بی‌هوازی** به‌طور کامل در **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم** رخ می‌دهد.

نکته: دقت کنید که واژهٔ سیتوپلاسم به کل محتوای درون یاختهٔ زنده به‌جز **هسته** اطلاق می‌شود که توسط **غشای** یاخته احاطه شده است. در حقیقت سیتوپلاسم یا میان‌یاخته به مجموعه مادهٔ زمینه‌ای مایع آن، اندامک‌های مختلف غشادار و اجزای بدون غشایی مثل ریبوزوم و... گفته می‌شود.

نکته: هوای **بازدمی** که کربن دی‌اکسید بیشتری دارد، آب آهک **بی‌رنگ** را **شیری رنگ** و برم تیمول بلو **رقیق آبی** را **زرد رنگ** می‌کند. این دو محلول معرف کربن دی‌اکسید هستند.

از نظر عملکرد، در دستگاه تنفس انسان دو بخش اصلی **بخش هادی (مجاری تنفسی)** و **بخش مبادله‌ای (شش‌ها)** وجود دارد.

الف) بخش هادی

بخش هادی از **بینی تا نایژک‌های انتهایی** می‌باشد که از مجاری تنفسی تشکیل شده است. این بخش وظیفهٔ هدایت هوا به **درون و بیرون** دستگاه تنفس را بر عهده دارد. علاوه بر این، با **مژک‌ها و لایهٔ مخاطی** خود، ناخالصی‌های هوا مثل میکروب‌های بیماری‌زا و ذرات گرد و غبار را پاکسازی می‌کند، همچنین هوای **ورودی** را با شبکهٔ **مویرگی و مخاط** خود **گرم و مرطوب** می‌کند تا برای مبادلهٔ گازها با خون در شش‌ها آماده شود.

* وظیفهٔ بخش هادی تنفسی:
- انتقال هوا به درون و بیرون دستگاه تنفسی
- پاکسازی هوای ورودی از میکروب‌ها و ذرات گرد و غبار ← توسط مژک‌ها و لایه مخاطی مجاری
- گرم و مرطوب کردن هوای ورودی ← توسط مویرگ‌ها و مخاط مجاری تنفسی
- آماده کردن هوای ورودی برای مبادلهٔ گازها با خون در بخش مبادله‌ای

بیشتر بدانید

هوای خیلی سرد حرکت **مژک‌های** مجاری تنفسی را **کند** می‌کند ولی دود سیگار، قلیان و برخی آلاینده‌های شیمیایی هوا، باعث مرگ یاخته‌های مژک‌دار و تجمع مواد مضر در بخش تحتانی دستگاه تنفس می‌شوند.

* 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** می‌باشد که موهای آن مانعی در برابر ورود ناخالصی‌های هوا ایجاد می‌کند. این پوست نازک فاقد **مژک و ترشحات مخاطی** می‌باشد.

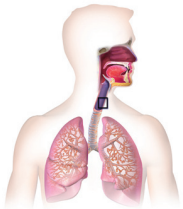
* با پایان یافتن پوست در بینی **مخاط مژک‌دار** آغاز می‌شود. این مخاط تا آخرین نایژک‌ها و انشعابات آن در مجاری هادی وجود دارد.

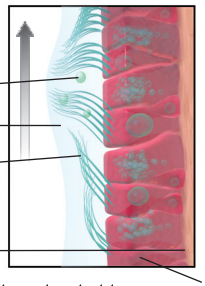
* **مخاط** مژک‌دار تنفسی، دارای یاخته‌های **پوششی** مژک‌دار **فراوان** با قدرت ترشح مادهٔ مخاطی **دفاعی** ضد میکروبی می‌باشد. مخاط مجاری تنفسی، **یک** ردیف یاخته‌های پوششی مژک‌دار بوده که روی **غشای پایه** قرار گرفته‌اند. این یاخته‌های پوششی قدرت ترشح مادهٔ مخاطی به درون مجرای تنفسی دارند. ترشحات مخاطی 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. پس از این عمل، حرکت ضربانی **دائمی** مژک‌های تنفسی سبب انتقال این ترشحات مخاطی و مواد به دام افتاده در آن‌ها به سوی **حلق** می‌شود.

نکته: 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.

نکته: 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.

نکته: 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.





یاختهٔ **استوانه‌ای** مژک‌دار تک‌لایه‌ای

«در مخاط نای یاخته‌های **استوانه‌ای مژک‌دار** قرار دارند.»

- در سد اول دفاع **غیراختصاصی** نقش دارند.
- ناخالصی هوا را به دام می‌اندازند.
- آنزیم دفاعی لیزوزیم دارند.
- هوای ورودی را مرطوب می‌کنند.

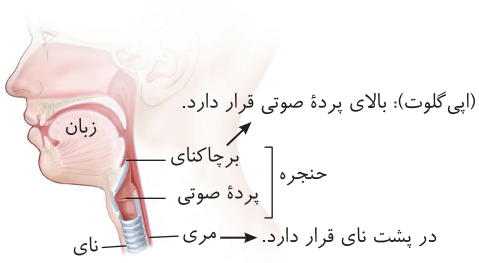
خلاصه عمل بینی
- قسمت دارای پوست نازک ← موهایی برای جلوگیری از ورود ناخالصی‌های هوا دارد.
- مخاط مژک‌دار بدون پوست
  - ترشحات مخاطی دارد
    - ناخالصی هوا را به دام می‌اندازد.
    - هوای ورودی را مرطوب می‌کند.
    - آنزیم دفاعی ضدمیکروبی به نام لیزوزیم دارد.
  - مژک‌ها ← با حرکات ضربانی، ترشحات مخاطی و مواد درون آن‌ها را به سوی حلق می‌رانند.

B) حلق (گلو)

حلق در حقیقت یک گذرگاه با **ماهیچهٔ اسکلتی** است که به دهان، بینی، گوش **میانی**، مری و نای راه دارد. این گذرگاه می‌تواند از راه دهان و بینی **هوا** بگیرد. هوا با عبور از **بینی، دهان یا هر دو** وارد حلق (گلو) می‌شود که قسمت مشترک دستگاه تنفس و **گوارش** می‌باشد. حلق گذرگاهی **ماهیچه‌ای** است که **هوا و غذا** هر دو به آن وارد می‌شوند. در انتهای حلق **یک دوراهی** وجود دارد که در **جلو** 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)** و راه مری با **انقباض** یا بسته شدن **بندارهٔ** ابتدای آن، بسته می‌شود. حلق از **بالا** به بینی راه دارد و با **پایین** آمدن زبان کوچک این راه باز می‌شود تا هوا به آسانی از بینی وارد حلق شود. زبان کوچک در هنگام بلع به‌طور **انعکاسی** بالا رفته تا راه بینی بسته و غذا وارد بینی و مجاری تنفسی نشود.

C) حنجره

حنجره قسمتی در **ابتدای نای** می‌باشد که دارای یک دریچه یا درپوش به نام **برچاکنای (اپی‌گلوت)** و **پرده‌های صوتی** می‌باشد. دیوارهٔ **غضروفی** حنجره مجرای هوا را **همواره** باز نگه می‌دارد و از طرفی به دلیل داشتن درپوش اپی‌گلوت (برچاکنای)، مانع ورود **غذا** به مجاری تنفسی می‌شود.



«حلق و حنجره»

نکته: در هنگام بلع و استفراغ، اپی‌گلوت به **پایین** می‌رود ولی در هنگام سرفه، عطسه و تنفس برای انتقال هوا، اپی‌گلوت به سمت **بالا** می‌رود.

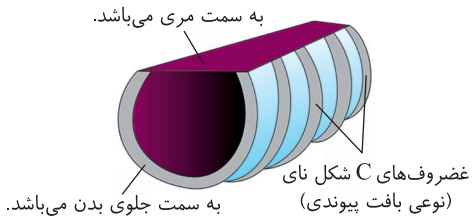
نکته: پرده‌های صوتی قابل ارتجاع موجود در حنجره، با هوای **بازدمی** مرتعش شده و تولید صدا می‌کنند.

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** 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»

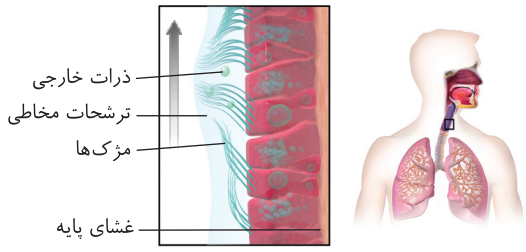
ساختار بافتی دیوارهٔ نای

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 مژک‌ها حرکات ضربانی به سوی بالا یعنی حلق دارند. این لایه حاوی ترشحات مخاطی بوده و در زیر آن غشای پایه قرار دارد.

(لایهٔ مخاطی نای = لایه 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.

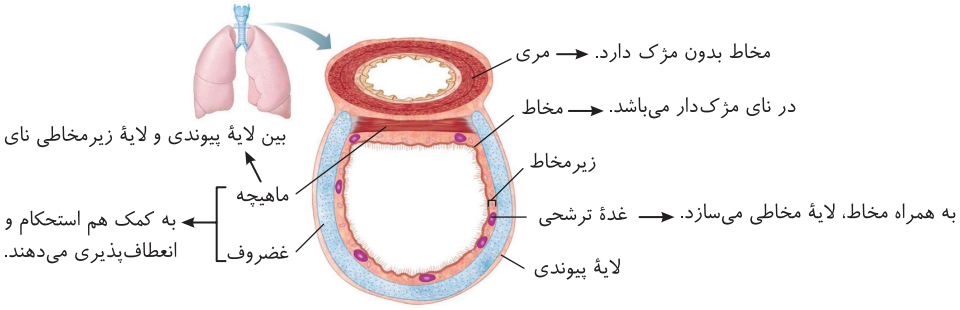
● ۳) لایهٔ غضروفی ماهیچه‌ای

این لایه سبب **استحکام و انعطاف‌پذیری** نای می‌شود و غضروف‌های C شکل نعل اسبی آن مجرای نای را دائماً باز نگه می‌دارند.

نکتهٔ 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 مشترک اطراف نای و مری قرار دارد.

● ۴) لایهٔ پیوندی خارجی

لایهٔ خارجی نای می‌باشد که فاقد **روده‌بند یا صفاق** می‌باشد (چون در حفرهٔ شکمی قرار ندارد). ادامهٔ این لایه به لایهٔ پیوندی خارجی مری متصل بوده و در ادامهٔ آن می‌باشد.



«ساختار بافتی دیوارهٔ نای»

E) نایژه‌ها

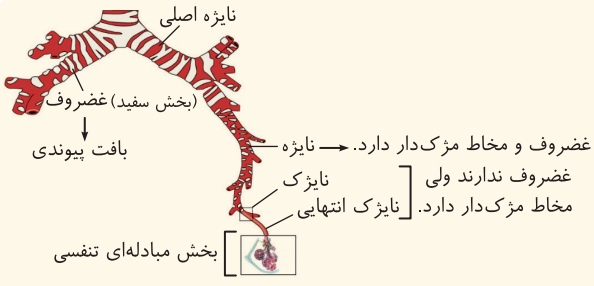
در انتهای نای **دو نایژهٔ اصلی غضروف‌دار** و مژک‌دار وجود دارد که هرکدام به سمت **یک شش** می‌رود. به تدریج با انشعاب یافتن نایژه‌ها، قطر آن‌ها باریک‌تر و غضروف آن‌ها **کمتر** می‌شود. دقت کنید که تا جایی که **غضروف** در سطح داخلی مجرای تنفسی وجود دارد، هنوز انشعابات **نایژه‌ای** به حساب می‌آیند ولی اولین انشعابات کوچکی در مجاری تنفسی که فاقد غضروف می‌شوند را **نایژک** می‌گویند.

F) نایژک‌ها

نایژک‌ها انشعابات انتهایی از نایژه‌های فرعی باریک هستند که **مژک** دارند ولی **غضروف ندارند**، به همین دلیل فاقد **مقاومت** در برابر عبور هوا بوده و تنگ و گشاد می‌شوند. این ویژگی تنگ و گشاد شدن **نایژک‌ها**، سبب واپایش (کنترل) مقداری از هوای **ورودی و خروجی در دستگاه تنفس** می‌شود. این نایژک‌ها به تدریج در بخش هادی انشعاباتی باریک‌تر به نام نایژک‌های **انتهایی** ایجاد می‌کنند.

نکته: نایژک‌های انتهایی حاوی **مژک** می‌باشند و آخرین انشعابات **نایژکی** در بخش **هادی** هستند. (دقت کنید که این نکته در مورد بخش هادی تنفسی است نه کل دستگاه تنفس!!)

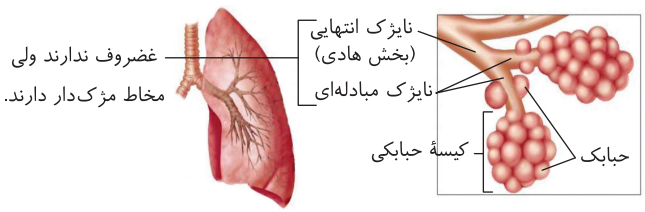
نکته: مخاط مژک‌دار از قسمت **بدون پوست** بینی تا نایژک‌های **انتهایی** وجود دارد ولی منظور از مجاری **غضروف‌دار**، همان حنجره، نای و نایژه‌های اصلی و فرعی می‌باشد.



«انشعابات نای»

ب) بخش مبادله‌ای (تهویه‌کننده) دستگاه تنفس

این بخش از دستگاه تنفس، **پس از نایژک انتهایی، آغاز** می‌شود که شامل نایژک‌های مبادله‌ای، حبابک‌ها، کیسه‌های حبابکی و مویرگ‌ها بوده که در مجموع به آن‌ها **شش** گفته می‌شود. **نایژک‌های مبادله‌ای** در ابتدای بخش مبادله‌ای قرار دارند که از انشعابات انتهایی **نایژک‌های انتهایی** هستند. نایژک‌های مبادله‌ای همچنین آخرین بخش دارای **مخاط مژک‌دار** می‌باشند. روی هر نایژک مبادله‌ای **تعدادی حبابک** (کیسهٔ هوایی) مجزا وجود دارد.



«بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس»

در حالی که **اجتماع این حبابک‌ها** در **انتهای** هر نایژک مبادله‌ای به صورت یک خوشـهٔ انگور درمی‌آید. به هر **خوشـهٔ انگور** که در انتهای **یک نایژک مبادله‌ای** قرار دارد، یک **کیسـهٔ حبابکی** می‌گویند. روی هر **حبابک**، **شـبکهٔ وسیعی از رگ‌های خونی** برای تبادل گازهای تنفسی وجود دارد. به مجموعهٔ همهٔ کیسـه‌های حبابکی خوشـه انگوری و مویرگ‌های خونی فراوان که همانند **تار عنکبوت** اطراف هر حبابک را فراگرفته، یک شش گفته می‌شود که ساختار **اسفنج‌مانند** دارد.

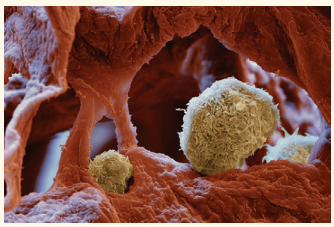
نکته: نایژک‌ها
- نایژک انتهایی
  - آخرین بخش هادی دستگاه تنفس بوده و فاقد حبابک می‌باشد.
  - غضروف ندارد ولی دارای مخاط مژک‌دار است.
- نایژک مبادله‌ای
  - اولین بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس بوده که دارای حبابک می‌باشد.
  - غضروف ندارد ولی دارای مخاط مژک‌داری است که در انتهای آن‌ها به اتمام می‌رسد.

❊ نایژک انتهایی **برخلاف** نایژک مبادله‌ای، **حبابک** ندارد.

❊ نایژک انتهایی **همانند** نایژک مبادله‌ای، **غضروف** ندارد ولی **مژک** دارد.

اولین خط دفاعی در دستگاه تنفسی، پوست و موهای ابتدای بینی سپس **مژک‌ها و لایهٔ مخاطی** موجود در بخش **هادی** تنفسی 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 درشت‌خوار **(ماکروفاژ)** وجود دارد که **آخرین خط دفاعی** دستگاه تنفس می‌باشند. این یاخته‌های بزرگ می‌توانند در کیسـه‌های حبابکی مانند سـایر 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.**

نکته: ماکروفاژها (درشـت‌خوارها) علاوه بر کیسـه‌های حبابکی شش‌ها در سایر نقاط بدن نیز وجود دارند و نقش بیگانه‌خواری دارند. این یاخته‌ها در سد **دوم و سوم** دفاعی بدن انسان نقش داشته و به صورت **غیراختصاصی** میکروب‌ها را از بین می‌برند.



«یاخته‌های درشت‌خوار در حبابک‌ها»

نکته: در زیست یازدهم می‌آموزید که یاخته‌های بیگانه‌خوار متنوعی در بدن وجود دارند که درشت‌خوارها یکی از انواع آن‌ها می‌باشند. منشأ درشت‌خوارها از نوعی یاختهٔ سفید خونی به نام **مونوسیت‌ها** می‌باشد که پس از خروج از رگ خونی افزایش حجم یافته‌اند و به درشت‌خوار (ماکروفاژ) و یا نوعی دیگر به نام یاختهٔ بیگانه‌خوار دندریتی تمایز یافته‌اند. **شایان توجه است که درشت‌خوارها یاختهٔ خونی نیستند!!**

نکته: سدهای دفاعی دستگاه تنفس انسان
- بخش هادی
  - پوست و مو ← فقط در ابتدای بینی
  - ترشحات مخاطی
  - مژک‌ها
- بخش مبادله‌ای
  - ترشحات مخاطی
  - مژک‌ها
  - ← در نایژک مبادله‌ای
  - یاختهٔ بیگانه‌خوار در حبابک‌ها

یاخته‌های موجود در دیوارهٔ حبابک‌های تنفسی

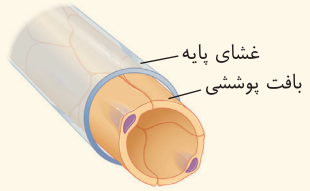
❊ به‌طور کلی وظیفهٔ حبابک‌های تنفسـی، تبادل گازهای تنفسـی O_2 و CO_2 بین خون و هوا می‌باشـد. در این حبابک‌ها سه نوع یاخته یافت می‌شود ولی فقط دو نوع اول مربوط به دیوارهٔ حبابک‌ها می‌باشد.

● ۱) نوع اول (یاخته‌های سنگ‌فرشی مربوط به دیوارهٔ حبابکی)

این یاخته‌ها در هر حبابک به مقدار **فراوان** وجود دارند. در دیوارهٔ حبابک‌ها سـبب تشـکیل بافت پوششـی **سنگ‌فرشی** تک‌لایه‌ای **غیر**مژک‌دار شده‌اند که در تبادل گازهای تنفسی با خون نقش دارند. اطراف حبابک‌ها، توسط بافت پوششی سنگ‌فرشی تک‌لایه‌ای مویرگ خونی، به مقدار **فراوان** و به صورت تار عنکبوت پوشـیده شـده است. بافت سنگ‌فرشی ساده دیوارهٔ حبابکی، در جاهای متعددی **فقط یک غشای پایه مشترک** با لایه پوششی دیوارهٔ رگ خونی دارند که به همین علت، مسافت انتشار گازهای تنفسی در این مکان‌ها به **حداقل** ممکن می‌رسد.

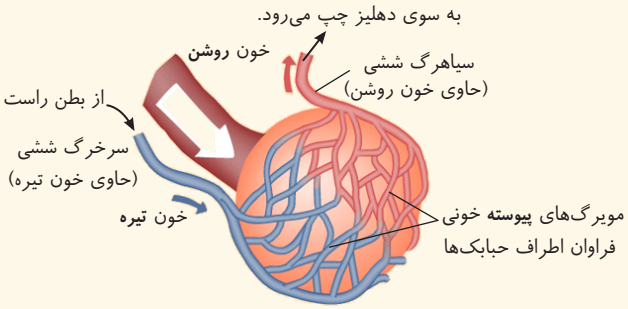
نکته: اکسـیژن و کربن دی‌اکسـید برای مبادله بین هوا و خون باید از **سـه قسـمت** عبور کنند که عبارت‌اند از ضخامت **یاخته‌های** سنگ‌فرشی حبابک، **غشای پایه** بین آن‌ها که در بخش‌های زیادی مشترک می‌باشد و ضخامت یاختهٔ **سنگ‌فرشی** مویرگ خونی!!

نکته: در فصل بعد می‌خوانیم که مویرگ موجود در شش‌ها از نوع مویرگ‌های **پیوسته** بوده که در بافت پوششی آن ارتباط **تنگاتنگی** بین یاخته‌ها وجود دارد. در این مویرگ‌ها ورود و خروج مواد به شدت تنظیم می‌شود.



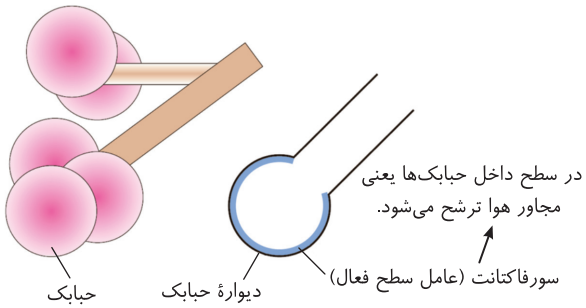
«مویرگ پیوسته»

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)

با ورود هوا به کیسه‌های حبابکی شش‌ها، حجم این کیسه‌ها باید زیاد شود ولی چون **لایهٔ نازکی از آب** در سطح درونی (مجاور هوا) این کیسه‌ها وجود دارد، این لایهٔ نازکِ آبِ درون کیسه‌ها، 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 **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.

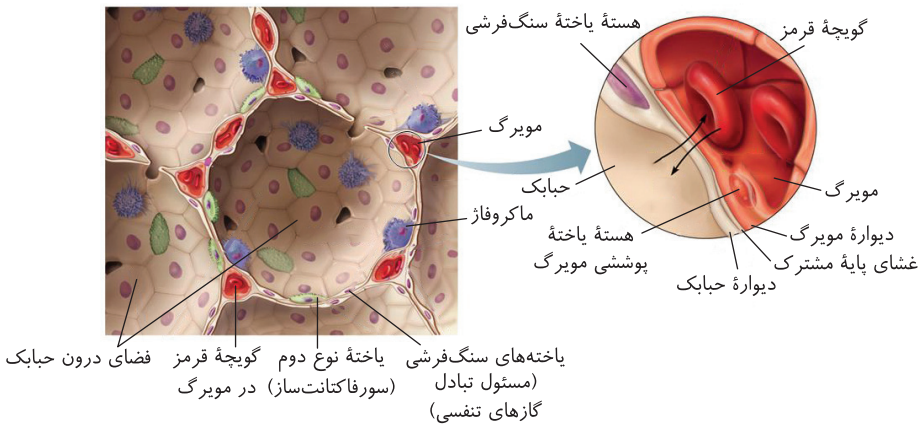


نکته: عامل سطح فعال (سورفاکتانت) از **اواخر دوران جنینی** ساخته و ترشح می‌شود به همین دلیل **برخی** از **نوزادان** که زود هنگام متولد می‌شوند سورفاکتانت **کمی دارند** و به زحمت نفس می‌کشند.

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.

● ۳) یاخته‌های درشت‌خوار که جزء یاخته‌های دیوارهٔ حبابکی طبقه‌بندی نمی‌شوند ولی در لابه‌لای یاخته‌های آن وجود دارد.

یاخته‌های ماکروفاژ (درشت‌خوارها) 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.)



نکته: یاخته‌های بیگانه‌خوار انواع مختلفی مثل درشت‌خوارها، نوتروفیل‌ها، یاخته‌های دندریتی 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.

کار دستگاه تنفسی انتقال گازهای تنفسی و تبادل آن‌ها با خون می‌باشد. با عمل **دم**، اکسیژن زیادی توسط هوای دمی وارد حبابک‌های شش می‌شود تا از آنجا به **خون** منتشر شوند. از طرفی با **تنفس یاخته‌ای** مقدار زیادی کربن دی‌اکسید تولیدی در یاخته‌ها، وارد خون می‌شود. **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** سرشار از CO_2 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

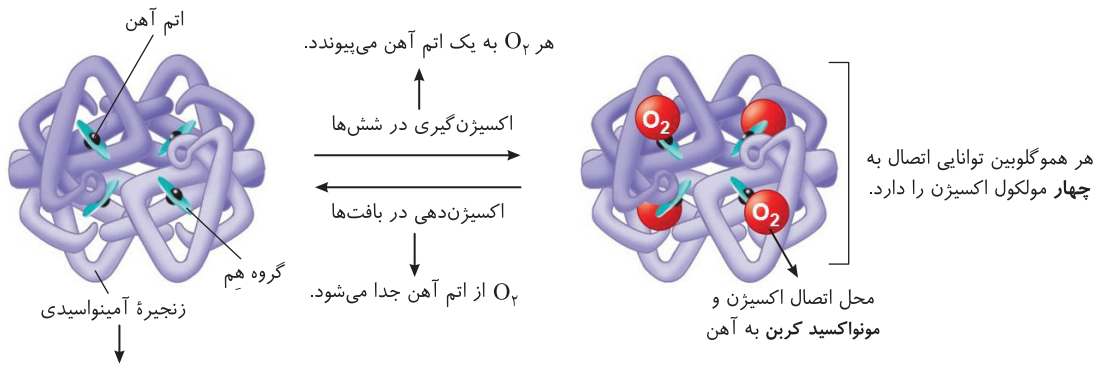
وقتی هوای ورودی به انتهای دستگاه تنفس می‌رسد، در حبابک‌های تنفسی، گازهای اکسیژن با عبور از لایه نازک آب درون حبابک به صورت محلول درآمده و **همهٔ** اکسیژن قابل انتشار به صورت **محلول** از **کیسه‌های حبابکی به خون** وارد می‌شوند. در خون و در **دمای عادی** بدن، فقط ٪۳ از اکسیژن ورودی، به صورت **محلول در پلاسما (خوناب)** باقی می‌ماند. ٪۹۷ دیگر آن توسط **گویچه‌های قرمز** و **هموگلوبین** درونِ آن 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 شده پر O_2 را توسط چهار سیاهرگ ششی به سمت دهلیز چپ قلب هدایت می‌کنند.

● نقش گویچه‌های قرمز خون در انتقال O_2

گویچه‌های **قرمز** که **بیشترین** یاخته‌های **خونی** هستند، سرشار از **پروتئین هموگلوبین** می‌باشند. هموگلوبین از **چهار** رشتهٔ پلی‌پپتیدی تشکیل شده است که هر رشته به **یک** گروه **غیرپروتئینی** به نام **هم** (مادهٔ **آهن**دار) متصل است. **هر** گروه هم، **یک اتم آهن** دارد که می‌تواند به صورت **برگشت‌پذیر** و برحسب **غلظت اکسیژنی** که **اطراف** هموگلوبین است به **یک مولکول اکسیژن** متصل شود یا از آن جدا شود. (مثلاً در شش‌ها که غلظت اکسیژن در هوای **دمی** زیاد است، غلظت اکسیژن در خونِ مویرگ‌های ششی 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.



«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) ٪۷ کربن دی‌اکسید خون، به صورت **محلول** در خوناب (پلاسما) منتقل می‌شود. (**بیش از** دو برابر مقدار O_2 محلول خون (٪۳) می‌باشد.)

۲) ٪۲۳ کربن دی‌اکسید خون، به صورت **ترکیب با هموگلوبین** منتقل می‌شود. دقت کنید که پیوستن یا جدا شدن کربن دی‌اکسید از هموگلوبین **همانند** اکسیژن، برگشت‌پذیر می‌باشد 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.

$$\begin{cases} Hb + CO_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور بافت}} HbCO_2 \\ HbCO_2 \xrightarrow{\text{مویرگ مجاور شش‌ها}} Hb + \underset{\text{بازدم}}{\underset{\downarrow}{CO_2}} \end{cases}$$

۳) ٪۷۰ باقی‌ماندهٔ کربن دی‌اکسید به صورت **یون بیکربنات** در خون منتقل می‌شود. بدین صورت که در گویچه‌های قرمز، **آنزیمی** به نام **کربنیک انیدراز** وجود دارد که ٪۷۰ از CO_2های محلول وارد شده به خون را گرفته و در گویچهٔ قرمز با **آب** ترکیب می‌کند، حاصل این عمل تولید **کربنیک اسید** می‌باشد. این اسید ناپایدار، در **همان گویچهٔ قرمز**، به **سرعت** تجزیه شده و به یون **هیدروژن** و بیکربنات تبدیل می‌شود که سرنوشت این دو یون را در نکات زیر می‌خوانیم.

$$٪۷۰ CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{گویچهٔ قرمز}} \text{کربنیک اسید} \xrightarrow[\text{به سرعت}]{\text{در گویچهٔ قرمز}} H^+ \text{یون} + (HCO_3^-) \text{ یون بیکربنات}$$

نکته: **یون هیدروژن** حاصل از تجزیهٔ کربنیک اسید، به **هموگلوبین** متصل شده تا **از اسیدی شدن خون جلوگیری کند**، پس هموگلوبین با این عمل **مانع اسیدی شدن** و کاهش pH خون می‌شود تا سایر آنزیم‌ها و پروتئین‌های پلاسما به فعالیت طبیعی خود ادامه دهند. در حقیقت یون هیدروژن حاصل از تجزیهٔ کربنیک اسید از گویچهٔ قرمز خارج نمی‌شود.

$$(\text{هموگلوبین})Hb + H^+ \xrightarrow{\text{درون گویچهٔ قرمز}} HbH(\text{مانع اسیدی شدن پلاسما می‌شود.})$$

نکته: **یون بیکربنات** حاصل از تجزیهٔ کربنیک اسید، 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.

$$\underset{\text{(یون بیکربنات)}}{HCO_3^-} \xrightarrow{\text{خروج از گویچهٔ قرمز}} \text{وارد پلاسما می‌شود} \rightarrow (\text{محلول})HCO_3^- \xrightarrow{\text{مجاور شش}} \begin{cases} CO_2 \rightarrow \text{بازدم} \\ H_2O \end{cases}$$

* یون بیکربنات از بخش **هماتوکریت** خون (درون گویچهٔ قرمز) به بخش خوناب یا پلاسما منتقل می‌شود ولی H^+ حاصل از تجزیهٔ کربنیک اسید در بخش هماتوکریت و متصل به **هموگلوبین** باقی می‌ماند.

نکته: گویچه‌های قرمز در انتقال **حدود ٪۹۳ از** CO_2 **خون** نقش دارند. ٪۲۳ از طریق هموگلوبین و ٪۷۰ به کمک آنزیم کربنیک انیدراز گویچهٔ قرمز!! (دقت کنید که بیکربنات خون به کمک **خوناب** منتقل می‌شود ولی **تولید** آن در گویچهٔ قرمز صورت می‌گیرد.)

نکته: مهم‌ترین عامل در اشباع هموگلوبین با اکسیژن یا کربن دی‌اکسید، غلظت و تراکم این دو ماده در **خون** می‌باشد.

انتقال CO_2 در خون:

- ٪۷ محلول در پلاسما ← بازدم ← خروج CO_2
- ٪۲۳ $CO_2 + Hb$ (هموگلوبین) $\xrightarrow{\text{هماتوکریت}}$ $HbCO_2$ $\xrightarrow{\text{در مجاورت شش}}$ $Hb + CO_2$ ← بازدم ← خروج
- ٪۷۰ $CO_2 + H_2O$ $\xrightarrow[\text{گویچهٔ قرمز (هماتوکریت)}]{\text{کربنیک انیدراز}}$ H_2CO_3 $\xrightarrow[\text{گویچهٔ قرمز}]{\text{تجزیهٔ سریع در}}$
  - $H^+ + Hb$ ← مانع اسیدی شدن پلاسما
  - HCO_3^- ← پلاسما ← بازدم ← خروج CO_2

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 **گاز گرفتگی** 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.

نکته: 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.

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**، 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 **لوله‌های منشعب شونده** (نایژک‌های مبادله‌ای)، **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.

نکته: **مویرگ‌های** خونی **فراوان**، هم‌چون **تار عنکبوت** اطراف هر حبابک در کیسه‌های حبابکی را احاطه کرده‌اند که در تبادل گازهای تنفسی نقش دارند.

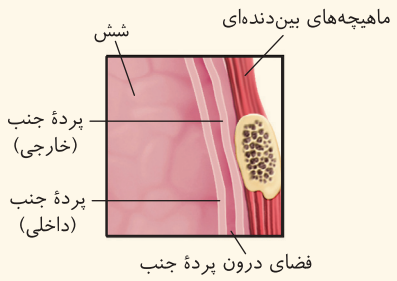
* شش‌ها
  - ظاهر اسفنج‌مانند درون آن‌ها ← به دلیل **کیسه‌های حبابکی** خوشه انگوری آن است.
  - ظاهر تار عنکبوتی اطراف آن‌ها ← به دلیل اجتماع **رگ‌های خونی** اطراف کیسه‌های حبابکی می‌باشد.

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 یا 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.

نکته: فشار مایع جنب همواره از فشار هوای جو که به درون شش‌ها آمده است، **کمتر** می‌باشد، به همین دلیل در **بازدم** عمیق نیز 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 سبب جمع شدن شش‌ها می‌شوند.

نکته: با توجه به شکل مقابل، لایه خارجی پردهٔ جنب از خارج به استخوان یا ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای قفسهٔ سینه متصل می‌باشد.

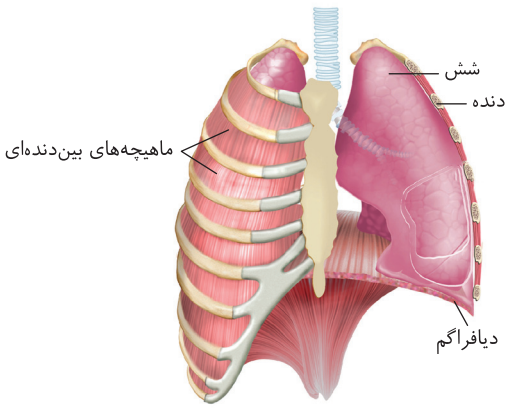


نکتهٔ مهم: در حالت عادی بدن ⇐ فشار هوای جو > فشار مایع جنب ⇐ هیچ‌گاه شش‌ها خالی از هوا نمی‌شوند.
با ایجاد سوراخ در قفسهٔ سینه و مکیده شدن هوا به آن ⇐ فشار مایع جنب + فشار هوای مکش شده > فشار جو ⇐ شش‌ها خالی از هوا شده و جمع می‌شوند.

ویژگی شش‌ها

● ۱) پیروی از حرکات قفسهٔ سینه

شش‌ها در هنگام **دم** با **انبساط** قفسهٔ سینه، منبسط می‌شوند و **فشار هوای** درون آن‌ها **کاهش** می‌یابد بنابراین هوا با پمپ فشار **منفی** و طبق قانون انتشار از بیرون به درون شش‌ها کشیده می‌شود. با کوچک شدن قفسهٔ سینه، شش‌ها نیز کوچک شده و با افزایش فشار هوای درون آن‌ها، **مقدار زیادی** از هوای خود (نه همهٔ هوا!!) را با بازدم خارج می‌کنند.



«شش‌ها و قفسهٔ سینه»

نکته: در مکانیسم دم و بازدم، می‌آموزید که انبساط قفسهٔ سینه همراه با انقباض ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای **خارجی** صورت می‌گیرد.

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.

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 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

دم و بازدم در اثر انقباض و یا استراحت ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌های داخلی و خارجی به همراه عضلات گردنی و شکمی صورت می‌گیرد.

● بررسی دیافراگم (میان‌بند)

دیافراگم، پرده‌ای از جنس **ماهیچه** اسکلتی 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** به صورت **منقبض** و **مسطح** درمی‌آید 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!!)**

بررسی عضلات بین‌دنده‌ای

عضلات بین‌دنده‌ای به دو صورت خارجی و داخلی دیده می‌شود. انقباض عضلات بین‌دنده‌ای **خارجی** سبب افزایش حجم قفسهٔ سینه در جهت افقی در هنگام **دم** می‌شود ولی انقباض عضلات 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.

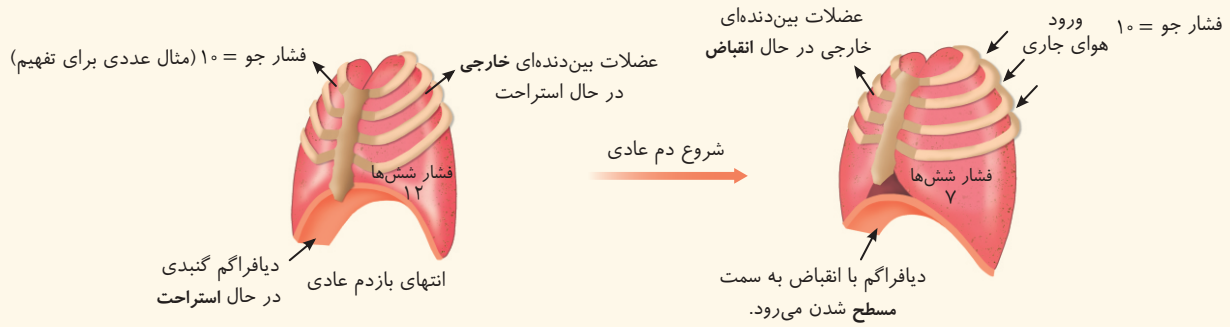
نکته: دقت کنید که هرچه حجم قفسهٔ سینه و به تبعیت از آن حجم شش‌ها زیاد شود، فشار هوای درون شش‌ها **کم** شده و ورود هوا به آن **زیادتر** می‌شود. از طرفی هرچه حجم قفسهٔ سینه کمتر شود، فشار هوای درون شش‌ها **بیشتر** و خروج هوا از دستگاه تنفس **افزایش** می‌یابد.

نکته: به عضلات بین‌دنده‌ای **خارجی** و **داخلی**، به ترتیب عضلات بالا برنده و پایین آورنده قفسهٔ سینه نیز اطلاق می‌شود.

مکانیسم دم عادی

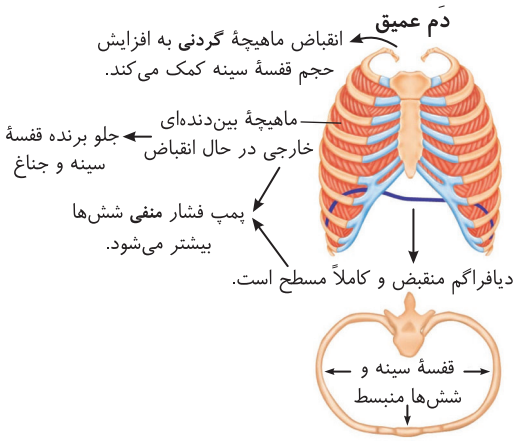
دم عادی فرایندی **فعال** و با صرف انرژی است که **انقباض دو نوع ماهیچه دیافراگم** و بین‌دنده‌ای **خارجی** در آن نقش دارد. در این رویداد **دیافراگم منقبض شده** و از حالت **گنبدی** به صورت **مسطح** درمی‌آید تا حجم قفسهٔ سینه در جهت **قائم** زیاد شود. در این حالت ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** نیز **منقبض** 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.



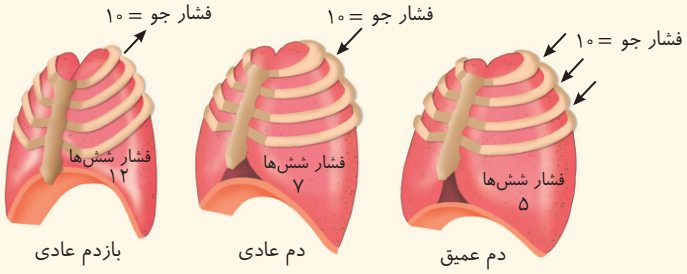
مکانیسم دم عمیق

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 دم عمیق علاوه بر هوای جاری، هوای **ذخیرهٔ دمی** نیز به شش‌ها وارد می‌شود.

نکتهٔ مهم: هرچه دم عمیق‌تر باشد، فشار هوای درون شش‌ها کمتر شـــده 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.



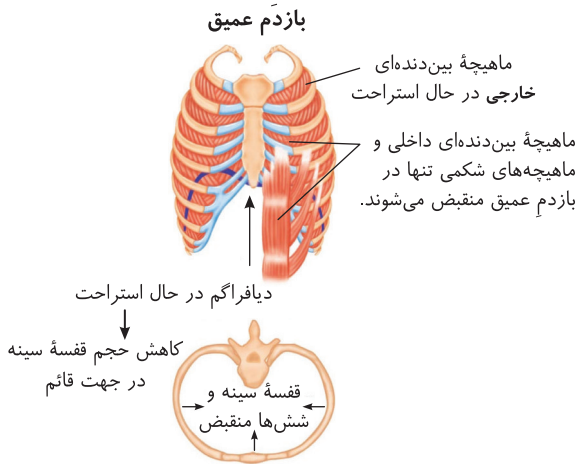
مکانیسم بازدم عادی

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 اســتراحت ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **خارجی** و همچنین ویژگی **کشســانی شــش‌ها**، حجم قفسهٔ سینه و به دنبال **آن حجم شش‌ها کاهش** می‌یابد. همهٔ این عوامل ســبب **افزایش فشــار هوای درون شش‌ها شــده 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 بالا مشاهده می‌کنید.

مکانیسم بازدم عمیق

رویــدادی **فعال** اســت که در اثر **انقباض** هم‌زمــان ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای **داخلی** و ماهیچه‌های **شــکمی**، قفسهٔ سینه به سمت پایین آمده و به پیروی از آن، شــش‌ها نیز کوچک می‌شــوند. در انتهای بازدم عمیــق، **فقط هوای باقی‌مانده در شــش‌ها باقی می‌ماند.** (در بــازدم عمیق علاوه بر هوای جاری، هوای ذخیره بازدمی نیز از شش‌ها خارج می‌شود.)

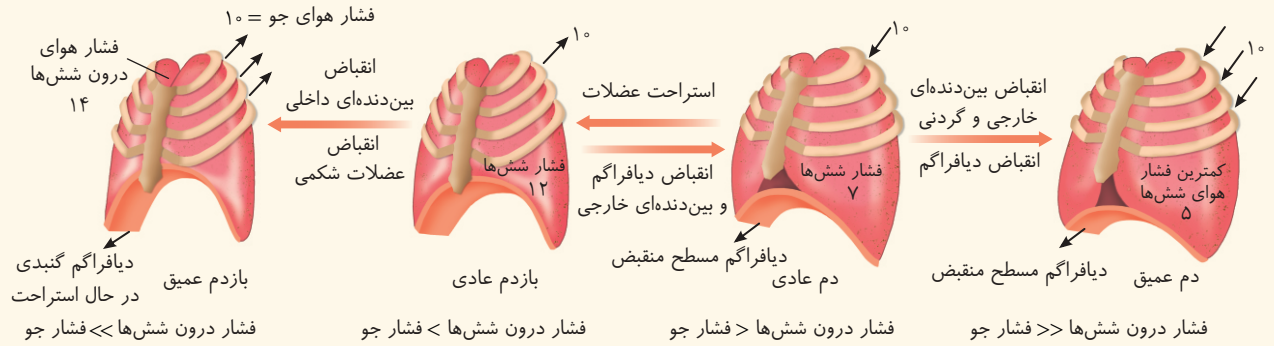


نکته: در **دم** عمیق، شش‌ها کمترین فشار هوا و در **بازدم** عمیق بیشترین فشار هوا را دارند.

نکته: 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.

نکته: 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.

نکتهٔ بسیار مهم: دقت کنید که در تمام حالات مقایسه‌ای گفته شده در مورد دم عادی و عمیق تا بازدم عادی و عمیق، نکات قبل در مورد فشار مثبت و منفی و یا اختلاف فشار **هوای** درون شش‌ها و جو می‌باشد ولی در تمام این مراحل **فشار مایع جنب** از فشار هوای جو **کمتر** می‌باشد. 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 فرد نرمال شش‌ها خالی از هوا نمی‌شوند.



تفاوت 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) غضروف‌های **نایژه** برخلاف نای، C مانند نیستند. این غضروف‌ها در ابتدا به صورت **حلقهٔ کامل** و بعد به صورت **قطعه‌قطعه** و پراکنده می‌باشند.
۳) 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.

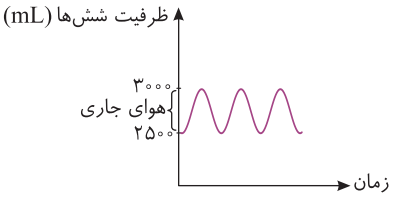
دستگاه اسپیرومتر **(دم‌سنج)** می‌تواند مقدار هوایی را که به **شش‌ها** وارد یا از آن خارج می‌شود اندازه‌گیری کند و آن را به صورت **نمودار اسپیروگرام (دم‌نگاره)** نشان دهد. تحلیل دم‌نگاره‌ها (اسپیروگرام‌ها) در تشخیص صحیح بیماری‌های **شش** کاربرد فراوان دارد.

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.



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 عضلانی نیست.

هوای مرده

* حدود **۱۵۰ cc** از هوای ورودی به دستگاه تنفس در هنگام دم، در **مجاری تنفسی (بخش هادی)** می‌ماند و به شش‌ها یا بخش مبادله‌ای 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 $\frac{1}{3}$ حجم هوای جاری معمولی است. این هوا، زیر مجموعه هوای جاری می‌باشد و در دم‌نگاره (اسپیروگرام)، محل جداگانه‌ای 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 **شش‌ها** می‌رسد.

نکتهٔ 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** مقدار حجم هوای **مرده** در **دقیقه** می‌شود در نتیجه مقدار **هوای مبادله‌ای** که به شش‌ها می‌رسد، کم می‌شود 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** شش‌ها

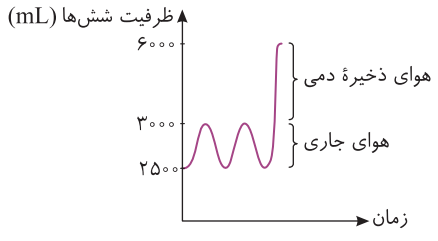
نکتهٔ مهم: **حجم هوای مرده در هر تنفس ثابت است** ولی مقدار آن در **دقیقه** بستگی به **تعداد تنفس** دارد و متغیر است. در حقیقت عمق تنفس بیشتر یا همان نفس عمیق، سبب افزایش حجم هوای مرده در هر نفس نمی‌شود چون در این حالت قطر مجاری تنفسی تغییر چندانی نمی‌کند.

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 عضلات 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. در این حالت شش‌های پر شده، سبب ارسال پیامی می‌شوند تا مکانیسم دم به کمک بخش‌های عصبی **بصل‌النخاع** متوقف شود.



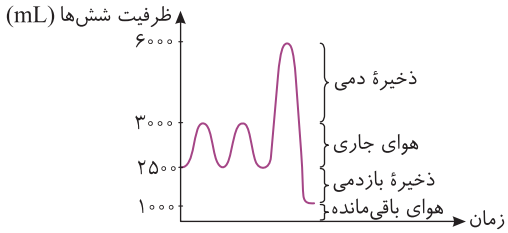
حجم ذخیرهٔ بازدمی

مقدار حجم هوایی است که **پس از بازدم عادی** و خروج هوای جاری، می‌توانیم با انقباض عضلات **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 شش‌ها 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.



نکته: علت وجود هوای باقی‌مانده در شش‌ها، کمتر بودن همیشگی فشار **مایع جنب** نسبت به فشار هوای جو در درون شش‌ها می‌باشد.

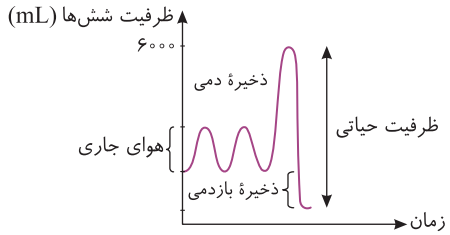
نکته: دقت کنید که در اسپیروگرام، نموداری برای هوای باقی‌مانده ثبت نمی‌شود. در حقیقت این هوا، از پایین‌ترین بخش نمودار تا محور xها را شامل می‌شود.

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.)

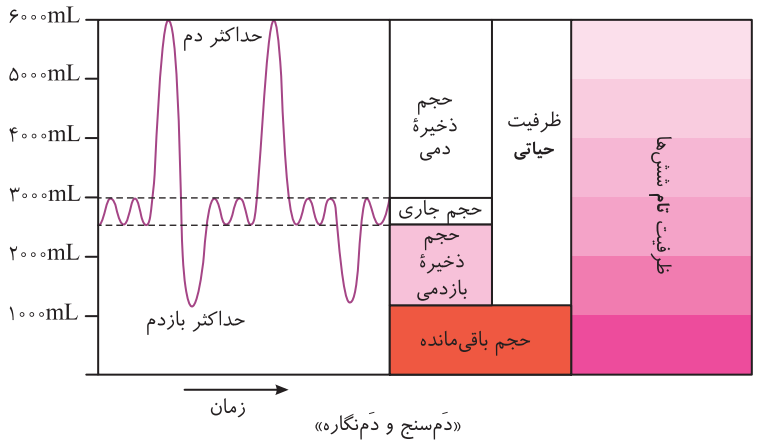


● ظرفیت تام (ظرفیت کل شش‌ها)

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 تنفسی مقدار کمی هوا به نام هوای مرده باقی می‌ماند که با دم‌نگاره ثبت نمی‌شود.

نکته: حجم هواهای تنفسی در فرد سالم به **سن** و **جنسیت** او بستگی دارد. دقت کنید که ظرفیت شش‌ها در افراد مختلف، متفاوت است.



«دَم‌سنج و دَم‌نگاره»

● ظرفیت کل دستگاه تنفس

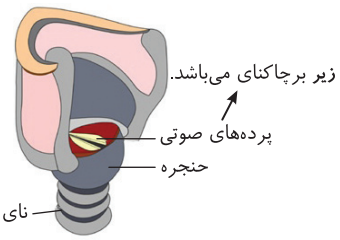
لازم به یادآوری است که هواهایی که بحث کردیم همگی در شش‌ها وجود داشتند ولی در حقیقت همواره مقداری هوا حدود ۱۵۰ میلی‌لیتر در مجاری تنفسی از بینی تا **نایژک انتهایی** می‌ماند که به آن هوای مرده گفته می‌شود. به مجموعهٔ ظرفیت تام شش‌ها و حجم هوای مرده در مجاری تنفسی، ظرفیت کل **دستگاه تنفس** گفته می‌شود.

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
عضلات بین‌دنده‌ای خارجی	انقباض	انقباض	استراحت	استراحت
عضلات بین‌دنده‌ای داخلی	استراحت	استراحت	استراحت	**انقباض**
عضلات گردنی	استراحت	**انقباض**	استراحت	استراحت
عضلات 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	فقط جاری	جاری + ذخیرهٔ دمی	جاری	جاری + ذخیرهٔ بازدمی
هوای موجود در شش‌ها	جاری + ذخیرهٔ بازدمی + باقی‌مانده	جاری + باقی‌مانده + ذخیرهٔ دمی و بازدمی	باقی‌مانده + ذخیرهٔ بازدمی	فقط باقی‌مانده

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 و **واژه‌سازی** به وسیلهٔ **لب‌ها و دهان** (زبان و دندان‌ها) صورت می‌گیرد.



«پرده‌های صوتی در حنجره»

نکته: پرده‌های صوتی حاصل چین‌خوردگی **مخاط حنجره** به سمت **داخل** می‌باشند که **بیشتر** از جنس بافت **پوششی** هستند.

نکته: در هنگام تکلم چون بازدم صورت می‌گیرد باید راه نای **باز** باشد، پس اپی‌گلوت (برچاکنای) به **بالا** می‌آید تا راه حنجره **باز** شود.

سرفه و عطسه

* عملی **دفاعی** است که با تحریک مجاری **فوقانی** تنفسی آغاز می‌شود. ذرات خارجی یا گازهای مضر یا نامطلوب می‌توانند باعث تحریک بینی، نای و نایژه 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

همان‌طور که بررسی کردیم، در تنفس، عمل بازدم عادی به صورت **غیرفعال** یعنی **بدون** نیاز به پیام عصبی حرکتی و انقباض ماهیچه‌ای انجام می‌شود. در حقیقت بازدم عادی با **استراحت** ماهیچهٔ دیافراگم و بین‌دنده‌ای خارجی به همراه خاصیت کشسانی شش‌ها صورت می‌گیرد اما برای عمل دم و **شروع انقباض** عضلات دیافراگم (میان‌بند) و بین‌دنده‌ای خارجی به اعصاب **حرکتی** و فرمان عصبی آن‌ها نیازمندیم.

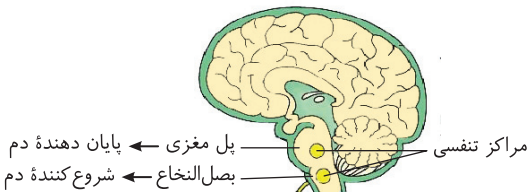
نکته: اعصاب حرکتی پیام را از مراکز عصبی مثل مغز به سمت عضلات و غدد می‌برند و اعصاب حسی پیام را از اندام‌های گیرنده حس به مراکز عصبی می‌آورند.

* 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 مغز** قرار دارد. برای تنظیم تنفس، مرکز اصلی، **بصل‌النخاع** می‌باشد که با عضلات تنفسی ارتباط مستقیم دارد. بخش بالاتر در پل مغزی، پیام خود را از طریق بصل‌النخاع به بدن القا می‌کند. 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 عضلات بین‌دنده‌ای خارجی را صادر می‌کند و سپس عمل دم و ورود هوا به شش‌ها انجام می‌شود.

نکته: ماهیچه‌های دیافراگم و بین‌دنده‌ای‌ها از نوع ماهیچهٔ مخطط اسکلتی می‌باشند که با اعصاب **پیکری** 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 دو مکانیسم صورت می‌گیرد:

۱) مرکز تنفس در **پل مغزی**، فرمان عصبی برای **تنظیم مدت زمان دم** را 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.

۲) وقتی **شش‌ها** در دم عمیق بیش از حد **پرهوا** شوند، در حقیقت ماهیچه‌های **صاف** دیوارهٔ **نایژه‌ها و نایژک‌ها**، بیش از حد کشیده شده‌اند که برای بدن خطرناک می‌باشد. در این حالت از گیرنده‌های حسی درون این **ماهیچه‌ها** پیام **حسی** توسط یاخته‌های عصبی به مرکز عصبی **بصل‌النخاع** می‌رود و **بلافاصله** ادامهٔ دم را متوقف می‌کند.

نکته: از دو مطلب (۱) و (۲) 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 ولی توقف ادامهٔ دم **عمیق** بعد از ورود هوای ذخیرهٔ دمی و پر شدن کامل شش‌ها در اثر پیامی رخ می‌دهد که از ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ نایژه‌ها و نایژک‌ها به **بصل‌النخاع** ارسال شده است و پل مغز در این حالت نقشی ندارد.

تنظیم شیمیایی تنفس

افزایش کربن دی‌اکسید خون **عامل بسیار مهم** و **کاهش** اکسیژن عامل **کم‌اهمیت‌تری** برای تنظیم تنفس می‌باشد.

الف) گیرنده حساس به افزایش CO_2 خون

* در **بصل‌النخاع** و در نزدیکی مرکز تنفس، گیرنده‌های **شیمیایی** حساس به افزایش مقدار CO_2 خون وجود دارد. با تحریک این گیرنده‌ها، پیام حسی برای **شروع** عمل دم و افزایش آهنگ تنفس، به مرکز تنفس در بصل‌النخاع منتقل می‌شود و سپس پیام حرکتی از مرکز تنفس در بصل‌النخاع به ماهیچه‌های تنفسی دمی منتقل می‌شود.

زیادی CO_2 خون ← تحریک گیرندهٔ شیمیایی در بصل‌النخاع ← افزایش آهنگ تنفس

ب) گیرنده‌های حساس به کاهش اکسیژن خون

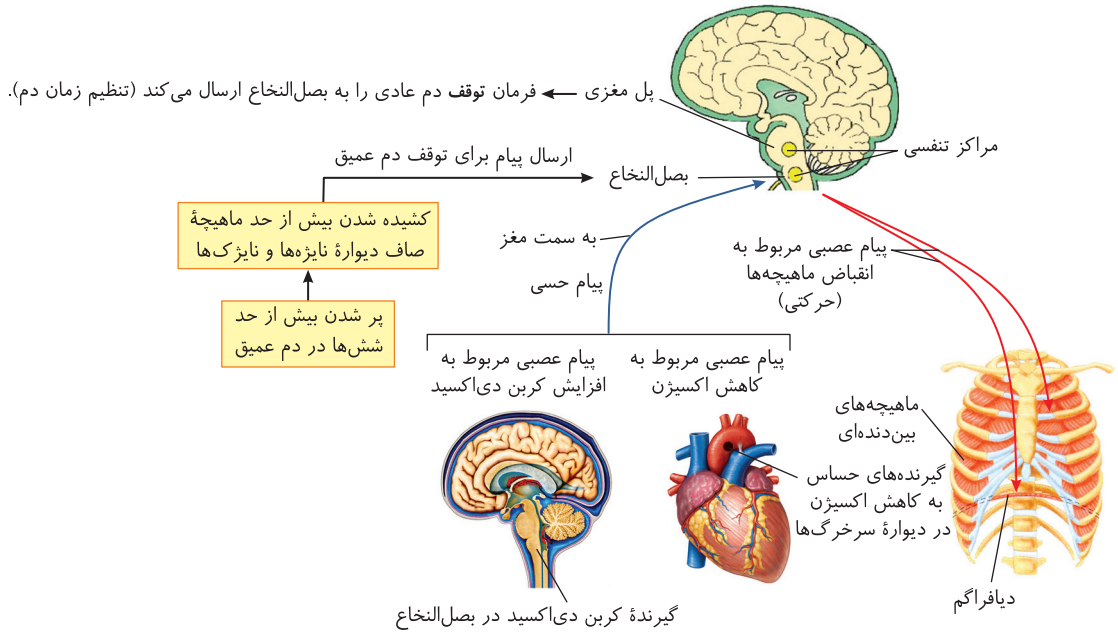
در خارج از مغز، اغلب در دیوارهٔ قوس سرخرگ آئورت و سرخرگ‌های ناحیهٔ گردنی (کاروتید) که به سر و مغز خون‌رسانی می‌کنند، گیرنده‌های شیمیایی حساس به **کاهش** O_2 خون وجود دارد. تحریک این گیرنده‌ها سبب ارسال پیام به مرکز عصبی بصل‌النخاع شده تا همانند اثر افزایش CO_2، با **زیاد** کردن آهنگ تنفس سبب بهبود وضعیت بدن شده و مقدار گازهای تنفسی را به حد نرمال برگردانند.

نکته: گیرنده‌های شیمیایی تنظیم‌کنندهٔ تنفس در **مغز** به افزایش CO_2 خون و در **خارج** از مغز به کاهش اکسیژن خون حساسند ولی هر دو عامل سبب ایجاد پیام به مرکز عصبی بصل‌النخاع برای افزایش آهنگ تنفس می‌شوند.

نکته: نفس کشیدن، **بیشتر** به دلیل نیاز بدن به **دفع کربن دی‌اکسید** می‌باشد تا گرفتن اکسیژن! در حقیقت فقط در صورت **افت بسیار شدید** مقدار O_2 خون، عامل خطرناک و مهمی برای بدن در نظر گرفته می‌شود.

نکته: در آخر این گفتار باز هم یادآوری کنیم که مرکز عصبی تنفس در **بصل‌النخاع** باعث **شروع دم و افزایش تعداد و آهنگ تنفس** می‌شود ولی مرکز تنفس در **پل مغزی** سبب پایان دادن به دم **عادی** می‌شود. این عمل پل مغز نیز با اثر بر بصل‌النخاع و به استراحت رساندن دیافراگم و ماهیچهٔ بین‌دنده‌ای خارجی انجام می‌شود.

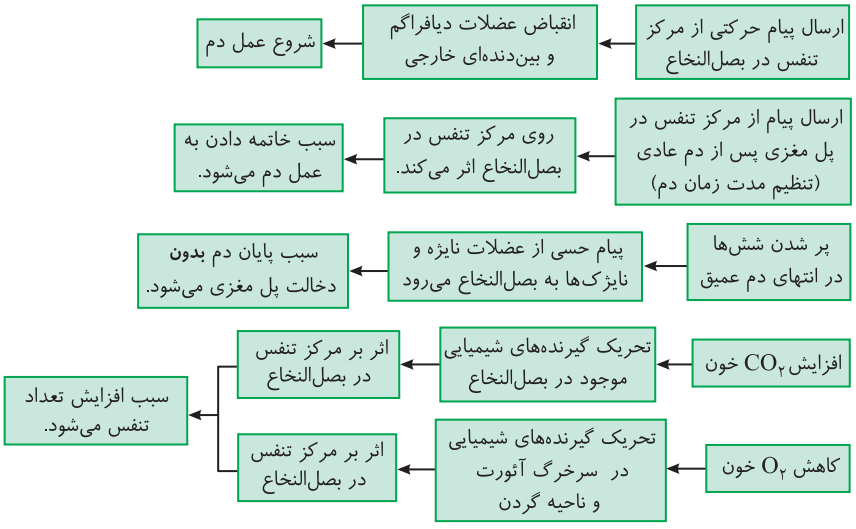
نکته: عوامل **شیمیایی** ($\uparrow CO_2 , O_2 \downarrow$) با اثر بر مرکز تنفسی در بصل‌النخاع، **آهنگ** تنفس را افزایش می‌دهد ولی پر شدن بیش از اندازهٔ شش‌ها عملی **همانند** فعالیت پل مغزی برای کاهش مدت دم دارد.



«تنظیم عصبی تنفس»

* برای به خاطر سپردن نکات تنظیم تنفسی در نظر بگیرید که همهٔ کارهای تنظیم شروع و افزایش آهنگ تنفسی و خاتمه آن به‌طور مستقیم با **بصل‌النخاع** می‌باشد و پل مغز فقط برای به پایان رساندن دم عادی و تنظیم زمان دم معمولی اثر **مهاری** روی فعالیت بصل‌النخاع می‌گذارد.

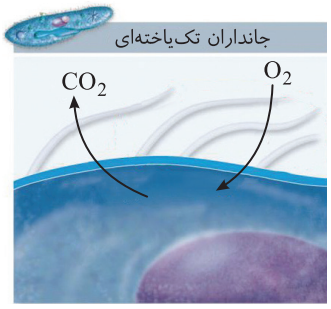
خلاصه تنظیم عصبی تنفس



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 **بیرون** ارتباط دارند (مثل کرم‌های پهن و یا 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 و هیدر یا کرم‌های پهن»

نکته: هیدر، بی‌مهره کیسه‌تن از گروه **مرجانیان** می‌باشد که کیسهٔ گوارشی با یک منفذ دهانی و مخرجی **مشترک** دارد. این جانور توسط یاخته‌های لایهٔ **خارجی** کیسه 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 (تراشه‌ای)
۲) تنفس پوستی
۳) تنفس آبششی
۴) تنفس ششی

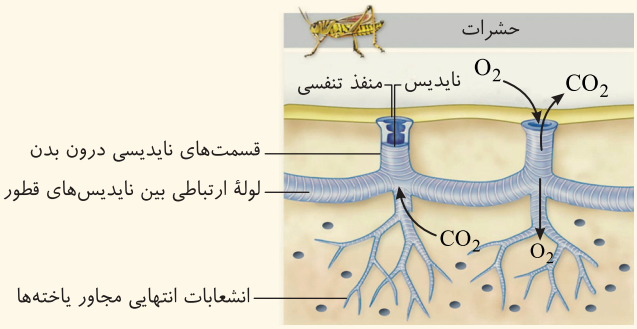
این ساختارهای ویژهٔ تنفسی، سبب ارتباط یاخته‌ها با محیط می‌شوند.

تنفس نایدیسی (تراشه‌ای)

* در تنفس نایدیسی، **منافذی** در سطح بدن برخی جانوران مثل حشرات و صدپایان وجود دارد که نایدیس‌ها و در ادامه لوله‌های منشعب تنفسی به آن‌ها راه دارند. **معمولاً** ساختاری جهت **بستن** این **منافذ** وجود دارد که مانع هدر رفتن **آب** بدن می‌شود. 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. چون متوسط فاصلهٔ یاخته‌ها از نایدیس‌های انتهایی، چند **میکرون** است، یاخته‌ها مستقیماً از این فضا و از طریق نایدیس‌ها تبادلات گازی خود را **بدون نیاز به دستگاه گردش مواد** انجام می‌دهند. در سامانهٔ گردش مواد آن‌ها، خون یا همولنفِ این جانوران **فقط مسئول غذارسانی** به اندام‌ها و بافت‌ها می‌باشد و در انتقال **گازهای تنفسی** نقشی ندارد.

* این ساختار، ساده‌ترین **سیستم تنفسی** می‌باشد که در **برخی** بی‌مهرگان **خشکی‌زی** مثل **حشرات و صدپایان** دیده می‌شود. در بدن جانوران دارای این سیستم تنفسی، **خون تیره و روشن مفهومی ندارد** چون **گازهای تنفسی اصلاً وارد خون (همولنف) نمی‌شوند.** در حقیقت دستگاه **گردش مواد** این جانوران، نقشی در انتقال گازهای تنفسی ندارد و فقط مواد غذایی را منتقل می‌کنند.

نکته: صدپایان، هزارپایان، حشرات، عنکبوتیان و سخت‌پوستان همگی جزء **بندپایان** می‌باشند که گردش خون **باز** و همولنف (مخلوط خون و لنف و آب میان‌بافتی) دارند ولی در برخی از آن‌ها برای تنفس، سیستم نایدیسی (حشرات و صدپایان)، در برخی دیگر آبشش (مثل سخت‌پوستان دریایی) و در برخی نیز شش (عنکبوتیان) دیده می‌شود. عدم انتقال گازهای تنفسی در خون ویژهٔ جانورانی است که تنفس نایدیسی دارند.



«تنفس نایدیسی»

نکته: نایدیس‌های اصلی، در سطح بدن، هرکدام به **یک** منفذ جدا متصلند ولی از زیر توسط لوله‌ای به سایر نایدیس‌ها راه دارند.

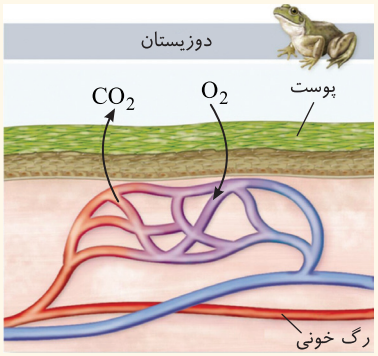
نکته: ساده‌ترین **تنفس** ویژهٔ **تک‌یاخته‌ای‌ها**، یا هیدر و برخی کرم‌های پهن به صورت **انتشار ساده** و بدون سامانهٔ تنفسی ویژه می‌باشد ولی ساده‌ترین **سامانه یا سیستم تنفسی** جانوران، سیستم **نایدیسی** حشرات می‌باشد.

تنفس پوستی

* این نوع تنفس در بی‌مهرگانی مثل **کرم خاکی** و مهره‌دارانی مثل **دوزیستان** 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 سایر جانوران دارای تنفس پوستی، یک شبکهٔ مویرگی **زیرپوستی** با **مویرگ‌های** فراوان وجود دارد. در کرم خاکی **این شبکه**، گازها را با هوای درون فضاهای خالی **بین ذرات خاک** تبادل می‌کند.

نکته: کرم خاکی قلب اصلی و کمکی همراه ساده‌ترین گردش خون **بسته** در بین جانوران را دارد. در این جانور، خون و لنف جدا است و قلب فقط **خون تیره** را منتقل می‌کند. قلب اصلی لوله‌ای‌شکل یا رگ **پشتی** جانور، خون را از اندام‌های بدن گرفته و برای تبادل گازهای تنفسی آن به سمت مویرگ‌های **پوستی** می‌فرستد. رگ‌های خارج شده از پوست جانور که حاوی خون روشن شده‌اند به سوی اندام‌های مختلف بدن می‌روند.

نکته: ساده‌ترین **ساختار** تنفسی در **مهره‌داران** مربوط به **پوست دوزیستان** می‌باشد که **بیشتر تبادلات گازی** جانور را انجام می‌دهد. مثلاً **در قورباغه‌ها، شبکهٔ مویرگی وسیع و یکنواختی 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.



«تنفس پوستی»

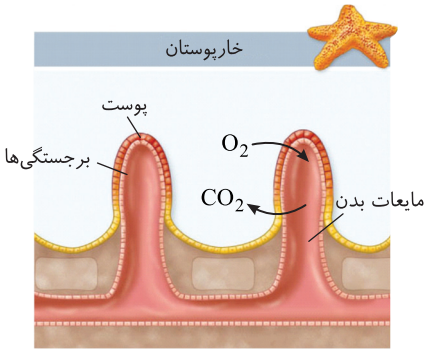
نکته: در بین مهره‌داران، فقط پوست دوزیستان حاوی ماده مخاطی می‌باشد ولی در سایر آن‌ها پوست فاقد لایه مخاطی می‌باشد. لایه مخاطی در لولهٔ گوارش و تنفس مهره‌داران خشکی‌زی دیده می‌شود.

نکته: 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 آبششی (ویژهٔ تنفس در برخی جانوران آبزی)

* آبشش‌ها ویژهٔ برخی جانوران بی‌مهره آبزی (مثل **ستارهٔ دریایی**) و برخی مهره‌داران آبزی مثل ماهی‌ها و **نوزاد** دوزیستان می‌باشد.

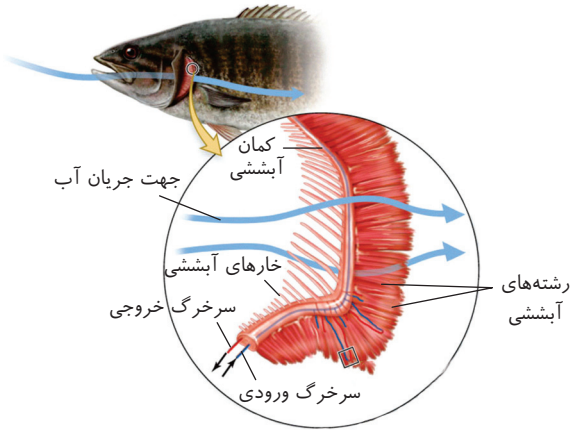
* ساده‌ترین آبشش‌ها در **خارتنانی** مثل **ستارهٔ دریایی** دیده می‌شود که آبشش‌های آن‌ها **برخلاف** سایر جانوران آبشش‌دار، در نواحی **خاصی** محدود **نمی‌شوند** بلکه به صورت **برجستگی‌های کوچک** و **پراکندهٔ پوستی** در **کل بدن** وجود دارند. این آبشش‌ها با انتشار ساده، O_2 و CO_2 را مبادله می‌کنند ولی فاقد کمان، خار 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.



«ساده‌ترین آبشش در ستارهٔ دریایی»

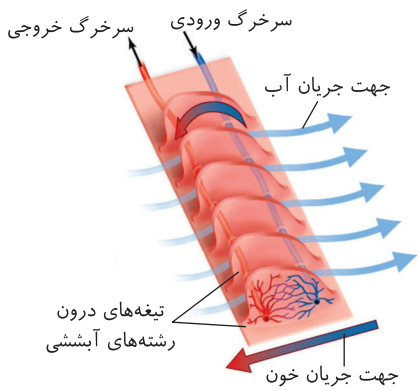
نکته: همهٔ خارتنان (خارپوستان) دریازی هستند و از آن‌ها می‌توان به ستارهٔ دریایی و توتیا اشاره کرد.

نکته: در ستارهٔ دریایی، مایعات بدن سطح **درونی** برجستگی‌های آبششی پراکنده در بدن را پر کرده‌اند.



* آبشش‌ها در اغلب جانوران آبشش‌دار، در **نواحی خاصی از بدن** محدود می‌شوند که اغلب در **اطراف سر** جانور قرار دارند. این آبشش‌ها حاوی کمان و خارهای آبششی با نقش **محافظ** و رشته‌های آبششی حاوی تیغه‌هایی با رگ‌های خونی فراوان برای تبادل گازهای تنفسی می‌باشند.

نکته: در مهره‌داران هر آبشش در خارج خود به ترتیب حاوی خارهای آبششی متصل به کمان آبششی برای محافظت می‌باشد، به سمت داخل کمان آبششی، تعداد زیادی رشته‌های آبششی متصل می‌باشد. این رشته‌ها حاوی تیغه‌هایی برای عبور آب و مویرگ‌های خونی فراوان بین دو سرخرگ ورودی و خروجی به آبشش‌ها می‌باشد. آب از سمت خارهای آبششی و سپس کمان وارد رشته‌ها و بدن جانور می‌شود تا بین تیغه‌های قرار گرفته در رشته‌های آبششی وارد شود. در آنجا توسط مویرگ‌های آبششی تبادل گازهای تنفسی با آب صورت می‌گیرد.



در **رشته‌های آبششی** جهت جریان آب با جهت جریان خون متفاوت است. جهت جریان آب از سمت خارهای آبششی در خارج آبشش به سمت رشته‌های آبششی به سمت درون بدن می‌باشد ولی جهت جریان خون برخلاف آن می‌باشد تا خون روشن به یاخته‌های کمان و خار آبششی نیز برسد.

* در سیستم آبششی، خون تیره سرخرگ شکمی ورودی، به سمت رشته‌های آبششی رفته و پس از تبادل گازهای تنفسی، خون روشن از طریق سرخرگ پشتی خروجی آن خارج می‌شود تا به همهٔ اندام‌های بدن برسد.

نکته: خارهای آبششی از خروج مواد غذایی از شکاف آبششی جانور جلوگیری می‌کنند.

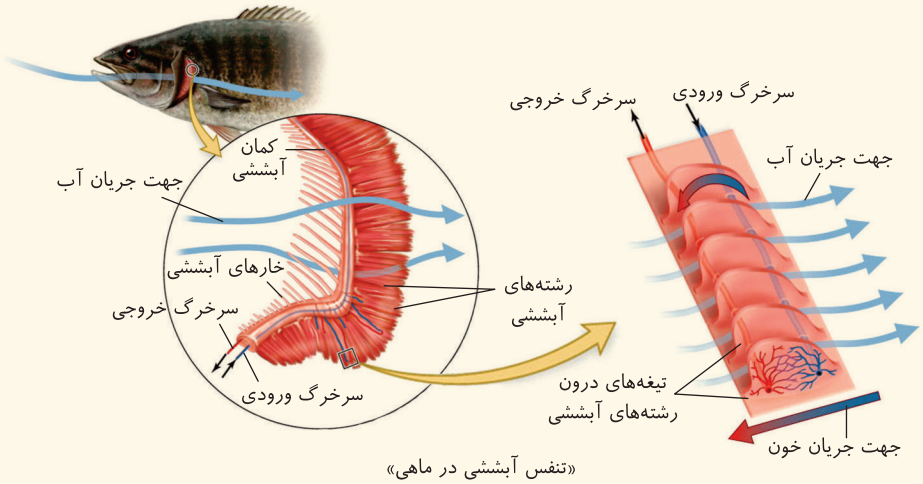
* در سیستم آبششی، سرخرگ شکمی، ورودی خون تیره سرشار از کربن دی‌اکسید دارد که از قلب به سمت آبشش‌ها آمده است ولی خون سرخرگ خروجی آن سرشار از اکسیژن بوده و از سرخرگ پشتی به سمت همهٔ اندام‌های بدن می‌رود.

انواع تنفس در مهره‌داران

الف) تنفس آبششی

ماهیان در تمام طول عمر خود و دوزیستان فقط در مرحلهٔ نوزادی، آبشش دارند و تبادل گاز را به‌طور **کارآمد** از طریق سطوح آبششی انجام می‌دهند. همان‌طور که در نکتهٔ قبل گفته شد، آب با اکسیژن کافی از سمت خارهای آبششی به کمان آبششی وارد می‌شود و توسط مویرگ‌های موجود در رشته‌های آبششی به تبادل گازهای تنفسی می‌پردازد. مویرگ‌های موجود در این رشته‌ها، O_2 ورودی را به کمک سرخرگ‌ها به سمت اندام‌های بدن هدایت می‌کنند.

نکته: مویرگ آبششی ماهی‌ها **همانند** شبکهٔ اول مویرگی گلومرولی در کلیه انسان فاقد بخش سیاهرگی می‌باشد.



«تنفس آبششی در ماهی»

نکته: جهت جریان خون در مویرگ‌های آبششی **مهره‌داران**، با جهت جریان آب در تیغه‌های قرار گرفته در رشته‌های آبششی متفاوت می‌باشد.

● ب) تنفس ششی

در بی‌مهرگان **خشکی‌زی** مانند نرم‌تنان (حلزون‌ها و لیسه‌ها) و مهره‌داران خشکی‌زی، شش جایگزین آبشش شده است.

بیشتر جانوران 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 و تا رسیدن به سطح تبادلی شش‌ها، به صورت گاز تنفسی وجود داشته است ولی در مجاورت حبابک‌ها و کیسه‌های حبابکی، سپس به صورت محلول درآمده و وارد خون می‌شود.

انواع سازوکار تهویه‌ای مهره‌داران شش‌دار

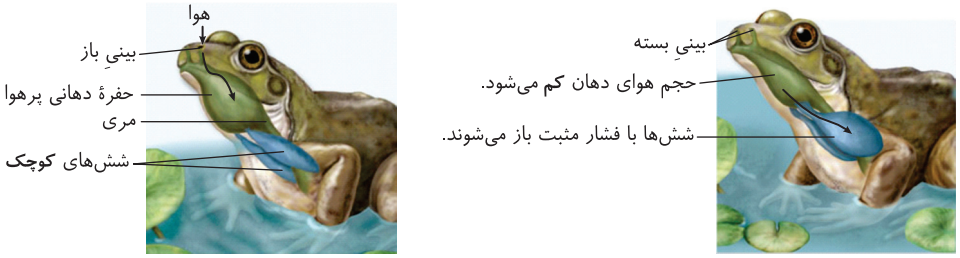
● الف) سازوکار تهویه‌ای شش‌ها همراه با پمپ فشار مثبت

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 هوا را با فشار، وارد شش‌ها می‌کنند تا شش‌ها باز شوند. (یعنی به قول قدیمی‌ها با زور چپونی 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



«پمپ فشار مثبت در قورباغه»

❊ با توجه به دو شکل بالا، 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.

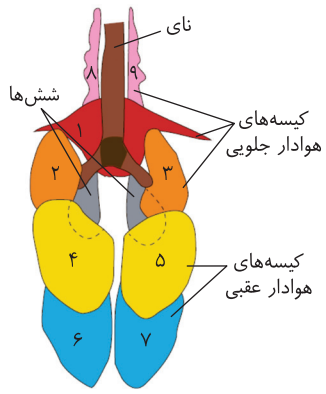
● ب) همراه با مکش فشار منفی

این نوع تهویه و ورود هوا، در پستانداران مثل انسان دیده می‌شود. 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 **حفرات بدن**، **دو طرف گردن** و **استخوان‌های بازو** 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 عقبی (۴ عدد) در سراسر بدن پخش شده‌اند.

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.



«۹ کیسهٔ هوادار در پرندگان»
(یک کیسه بین دو شش مشترک می‌باشد.)

فصل چهارم

گردش مواد در بدن

درسنامه

گفتار ۱ قلب، ساختار و چرخهٔ ضربان 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.

نکته: در جانورانی که خون دارند، دستگاه گردش مواد، همان دستگاه گردش خون می‌باشد ولی در جانوران دارای **حفرهٔ** گوارشی، این حفره و انشعابات آن، نقش گردش **مواد** را نیز انجام می‌دهند.

حفرات قلب انسان

قلب انسان مانند قلب سایر پستانداران، همهٔ پرندگان و همهٔ خزندگان، **چهار حفره‌ای** است که دو دهلیز در **بالا** و دو بطن در **پایین** قرار دارد. حفرات قلب در **همهٔ** پستانداران و پرندگان پس از تولد **کاملاً از هم جدا** بوده و دیواره‌های جداکننده دارند. درون حفرات سمت **راست** قلب (دهلیز و بطن راست) خون **تیره** و در حفرات سمت **چپ** (دهلیز و بطن چپ) خون **روشن** نگهداری و منتقل می‌شود.

نکتهٔ مهم:

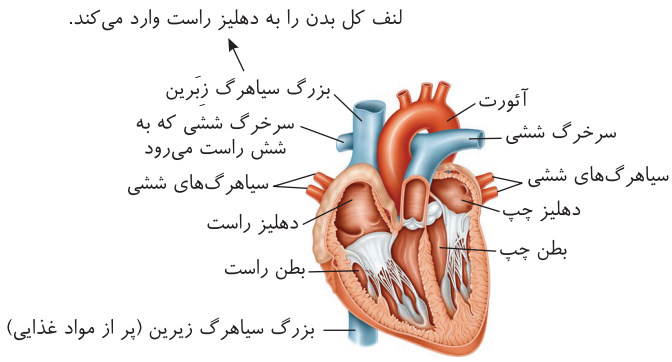
وظایف قلب:
- ۱) انتقال CO_2های حاصل از تنفس یاخته‌ای همهٔ اندام‌ها به سمت شش‌ها (از راه **سرخرگ** شش با خون تیره)
- ۲) گرفتن خون پر O_2 از سیاهرگ‌های ششی دستگاه تنفس و خون پر از **مواد غذایی** از بزرگ سیاهرگ‌های زیرین و پر از **لنف** از بزرگ سیاهرگ زبرین بدن.
- ۳) انتقال مواد دفعی نیتروژن‌دار و همچنین 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

● **۱) دهلیز راست**

این حفره از طریق بزرگ سیاهرگ **زبرین**، خون **تیره** سر و گردن و دست‌ها **(مناطق بالای قلب)** را به همراه **کل لنف بدن** و از طریق بزرگ سیاهرگ **زیرین** خون تیره و پر**غذای** قسمت‌های **زیر قلب** را گرفته و آن‌ها را از دریچهٔ **سه‌لختی** به بطن راست منتقل می‌کند.

نکته: سیاهرگ کرونر (اکلیلی) نیز خون حاصل از **تغذیهٔ ماهیچهٔ قلب** را به **دهلیز راست** وارد می‌کند که در ادامه آن را بررسی می‌کنیم.



«بخش‌های قلب و رگ‌های متصل به آن»

۲) دهلیز چپ

خون **روشن** تصفیه شدهٔ **پر اکسیژن** را از **چهار** سیاهرگ ششی گرفته و سپس از طریق دریچهٔ **دولختی** یا **میترال** به بطن **چپ** می‌رساند.

۳) بطن راست

خون **تیرهٔ** پر CO_2 را توسط **یک سرخرگ خروجی 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 غذارسانی و تبادل گاز تنفسی می‌رساند.)

۴) بطن چپ

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 **۳ 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.

نکته: از سرخرگ **آئورت** رگ‌های **ویژهٔ اکلیلی (سرخرگ‌های کرونر)** برای **تغذیهٔ** بافت ماهیچه‌ای قلب منشعب می‌شوند.

نکتهٔ مهم: 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.

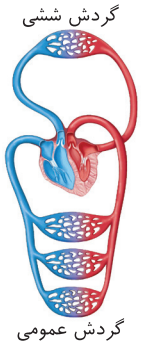
نکته: در حفرات سمت **راست و چپ** قلب، خون **پرغذا** وجود دارد ولی تفاوت آن‌ها در تیره (سمت راست) و روشن (سمت چپ) بودن، به دلیل **مقدار گازهای تنفسی** آن‌هاست که مقدار O_2 خون روشن از خون تیره بیشتر است (برخلاف CO_2). دقت داشته باشید که در هر رگ بدن مقدار O_2 از CO_2 بیشتر است ولی نسبت O_2 به CO_2 در خون روشن از خون تیره بیشتر می‌باشد.

نکته: 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.

انواع گردش خون انسان

الف) گردش خون عمومی (بزرگ)

این گردش خون مسئول خون‌رسانی به **همهٔ** قسمت‌های بدن (به‌جز شش‌ها) است. در این گردش، **خونِ روشنِ پرغذا** از بطن **چپ** و به وسیلهٔ سرخرگ آئورت و با باز شدن دریچهٔ **سینی** ابتدایی آن از قلب 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 بزرگ سیاهرگ **زیرین** و **خون تیرهٔ بالای قلب به همراه لنف کل بدن** از بزرگ سیاهرگ **زبرین** به دهلیز **راست** وارد می‌شود.



«گردش خون عمومی و ششی»

نکته: دو سرخرگ کرونر در گردش خون عمومی، خون روشن را از **آئورت** گرفته و **یک** سیاهرگ کرونری (اکلیلی)خون تیره را به دهلیز **راست** می‌دهند.

*** گردش عمومی بدن**

خون روشن ← بطن چپ ← همه جای بدن ← خون تیره ← دهلیز راست

ب) گردش خون ششی (کوچک)

در این گردش، **خون از قفسهٔ سینه خارج نمی‌شود.** این گردش خون، مسئول **غذا**رسانی به شش‌ها و تبادل گازهای تنفسی در آن‌ها است. در این گردش، خون‌های تیرهٔ پر CO_2 در بطن **راست** با عبور از دریچهٔ **سینی** که در ابتدای سرخرگ ششی قرار دارد از قلب خارج می‌شوند. 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** بزرگ سیاهرگ **زبرین** عبور می‌کند به **شش راست** می‌رسد.

* گردش ششی خون

خون تیره ← بطن راست ← ششها ← خون روشن ← دهلیز چپ

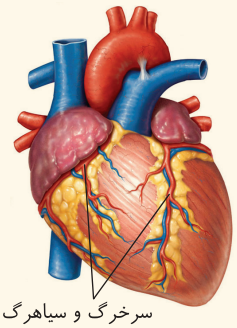
انواع گردش خون	هدف	مبدأ خون	مقصد خون	رگ خروجی	رگ ورودی	دریچهٔ خروجی خون
عمومی (بزرگ)	رساندن O_2 و غذا به اندامها	بطن **چپ**	دهلیز **راست**	سرخرگ **آئورت**	بزرگ سیاهرگ‌ها و سیاهرگ **کرونر**	سینی **آئورتی**
ششی (کوچک)	تبادل گاز تنفسی در ششها و غذارسانی به ششها	بطن **راست**	دهلیز **چپ**	سرخرگ **ششی**	۴ سیاهرگ ششی	سینی **ششی**

تأمین اکسیژن و مواد مغذی قلب

با اینکه درون همهٔ حفرات قلب، **خون پرغذا** ذخیره شده و همواره نیز این خون وجود دارد ولی هر یاخته دیواره قلب نمی‌تواند نیازهای **غذایی** و **تنفسی** خود را با این خون **برطرف** کند. به همین دلیل از **ابتدای** سرخرگ **آئورت**، سرخرگ‌**های** ویژه‌ای به نام **کرونری یا اکلیلی** 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 کرونر** (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.

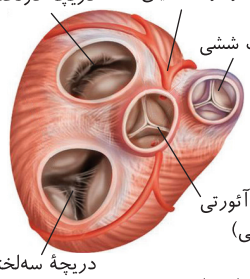
نکته: **بسته شدن** یا **سخت شدن** دیوارهٔ رگ‌های **اکلیلی (کرونری)** که به آن **تصلب شرایین** گوییم در مورد **سرخرگ‌های اکلیلی** کاربرد دارد. این موضوع ممکن است باعث **کاهش** یا **عدم** خون‌رسانی به بخشی از **ماهیچهٔ قلب** شود. **کمبود** O_2 در یاخته‌ها و عدم تولید انرژی با **تنفس یاخته‌ای** سبب مرگ یاخته‌ها و ایجاد **سکته** یا **حملهٔ قلبی** می‌شود. (در این حالت **ارتفاع موج QRS** در نوار قلب **کاهش** یافته و یا منحنی‌ها و موج‌های نوار قلب با **فاصلهٔ بیشتری** به هم می‌رسند.)

نکته: عواملی مثل کلسترول بالا، زیاد بودن لیپوپروتئین **کم‌چگال** 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.



«رگ‌های اکلیلی قلب»

در دستگاه **گردش مواد** هر دریچه‌ای باعث **یک‌طرفه شدن** جریان خون یا لنف و عدم برگشت آن‌ها به بخش قبلی می‌شود. این دریچه‌ها از جنس بافت **پوششی چین خورده** می‌باشند که بافت **پیوندی** (اسکلت فیبری) به **استحکام** آن‌ها کمک می‌کند. در حقیقت دریچه‌های قلبی از بافت **پوششی** تشکیل شده‌اند. این دریچه‌ها در **قاعده** توسط بافت **پیوندی** به ماهیچهٔ قلب متصل شده‌اند ولی در ساختار **آن‌ها بافت ماهیچه‌ای و قدرت انقباض وجود ندارد.** به دلیل فقدان بافت ماهیچه‌ای در دریچه‌های دستگاه گردش مواد، **باز** و بسته شدن آن‌ها فقط به دلیل **ساختار خاص دریچه** و **تفاوت فشار خون** در دو طرف آن‌ها صورت می‌گیرد. یعنی فشار زیاد خون قسمت قبل از دریچه‌ها، سبب **باز** شدن آن‌ها شده ولی فشار زیاد قسمت جلوی دریچه که سعی در برگشت خون می‌کند سبب **بسته** شدن این دریچه‌ها 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.



«دریچه‌های قلب»

- دریچه‌های قلب
  - دریچه‌های دهلیزی - بطنی
    - دولختی (میترال)
      - بین دهلیز و بطن **چپ** قرار دارد.
      - از **دو** قطعه آویخته شده است.
      - از **برگشت** خون **روشن** به **دهلیز چپ** در هنگام **انقباض ۰/۳ ثانیه‌ای بطن‌ها** جلوگیری می‌کند.
    - سه‌لختی
      - بین دهلیز و بطن **راست** قرار دارد.
      - از **سه** قطعه آویخته شده است.
      - از **برگشت** خون **تیره** به دهلیز **راست** در هنگام **انقباض ۰/۳ ثانیه‌ای بطن‌ها** جلوگیری می‌کند.
  - دریچه‌های ابتدای سرخرگی (سینی سه‌قسمتی)
    - سینی آئورتی
      - در بطن **چپ** و **ابتدای** سرخرگ **آئورتی** قرار دارد.
      - از برگشت خون **روشن** به بطن **چپ** در هنگام **استراحت بطن‌ها** (۰/۵ ثانیه) جلوگیری می‌کند.
    - سینی ششی
      - در بطن **راست** و **ابتدای** سرخرگ اصلی **ششی** خروجی از آن بطن قرار دارد.
      - از برگشت خون **تیره** به بطن **راست** در هنگام **استراحت بطن‌ها** (۰/۵ ثانیه) جلوگیری می‌کند.

دریچه‌های درون قلبی	محل	جنس	سبب ورود خون... می‌شود.	مانع از برگشت خون... می‌شود.
دولختی	بین دهلیز و بطن **چپ**	پوششی با پیوندی محافظ	روشن به بطن **چپ**	روشن به دهلیز **چپ**
سه‌لختی	بین دهلیز و بطن **راست**	پوششی با پیوندی محافظ	تیره به بطن **راست**	تیره به دهلیز **راست**
سینی آئورتی	ابتدای سرخرگ **آئورت**	پوششی با پیوندی محافظ	روشن به **آئورت**	روشن به بطن **چپ**
سینی ششی	ابتدای سرخرگ **ششی**	پوششی با پیوندی محافظ	تیره به سرخرگ **ششی**	تیره به بطن **راست**

بیشتر بدانید

اکوکاردیوگرافی (پژواک‌نگاری قلب) روشی برای بررسی دیواره‌ها و دریچه‌های قلبی و ابتدای سرخرگ‌های بزرگ می‌باشد که امواج سادهٔ بی‌خطر را به بدن وارد می‌کند. امواج نوع ساده تصویر یک‌بعدی از زوایای مختلف قلب یا دوبعدی با جزئیات بیشتر برای بررسی اندازهٔ قلب و کارایی آن دارد ولی نوع دوپلر آن می‌تواند علاوه بر موارد قبل سرعت جریان خون در قلب و رگ‌های بزرگ، همچنین ناهنجاری‌های مادرزادی قلب و اشکالات دریچه‌ای را بررسی کند.

صداهای قلبی

در حالت **طبیعی** می‌توان دو صدا از یک قلب سالم، از سمت چپ قفسهٔ سینه با چسباندن گوش 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.

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** و در اثر **استراحت 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 وارد **سرخرگ‌ها** می‌شود.
دوم	تاک	بسته شدن دریچه‌های **سرخرگی سینی**	ابتدای استراحت عمومی (ابتدای **استراحت** بطن‌ها)	آخر **T**	خون وارد **بطن‌ها** می‌شود.

نکتهٔ فعالیت کتاب از 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.

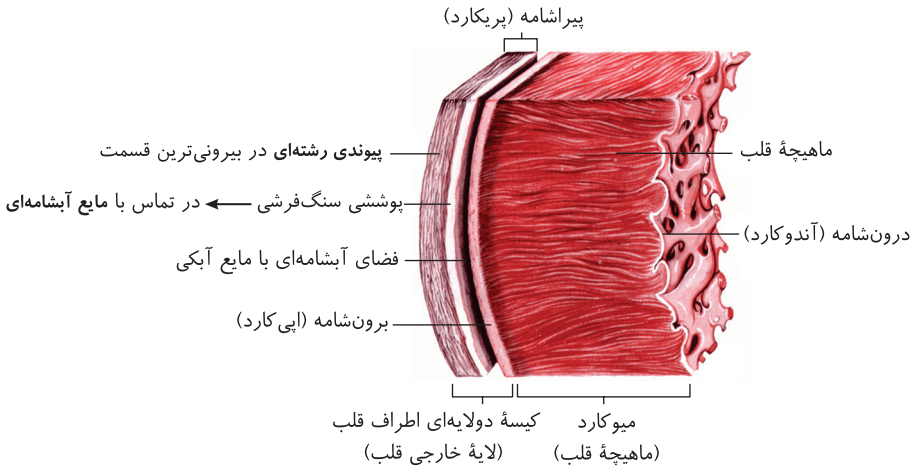
۴) به دهلیز چپ، **چهار** سیاهرگ ششی با خون روشن و به دهلیز راست، **سه** سیاهرگ، (بزرگ زیرین، بزرگ زبرین و سیاهرگ اکلیلی) با خون تیره وارد می‌شود.

قلب اندامی **ماهیچه‌ای** است که درون **یک** کیسهٔ **دولایه‌ای** محافظت‌کننده قرار گرفته است. لایهٔ بیرونی کیسهٔ اطراف قلب را **پیراشامه** (پریکارد) و لایهٔ درونی آن را **برون**شامه (اپی‌کارد) می‌نامند. در هر دو لایه می‌توان بافت پوششی **سنگ‌فرشی** و پیوندی **رشته‌ای** را مشاهده کرد که **ممکن** است **چربی** نیز در آن‌ها جمع شده باشد.

نکتهٔ مهم: بین پیراشامه و برون‌شامه یعنی در حقیقت بین پریکارد و اپی‌کارد قلب، فضایی پر از **مایع آبکی** (مایع آبشامه‌ای) وجود دارد. این مایع هم **محافظت** از قلب را بر عهده دارد و هم به **حرکت روان** قلب در درون کیسهٔ دربرگیرندهٔ آن کمک می‌کند.

لایهٔ اصلی قلب

ضخیم‌ترین لایهٔ دیوارهٔ قلبی، ماهیچهٔ قلب **(میوکارد)** 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 (رشته‌ای) به نام اسکلت فیبری** وجود دارد. یاخته‌های پیوندی در این بافت، رشته‌های **کلاژن ضخیم** در **جهات مختلف** می‌سازند به صورتی که **بسیاری** از یاخته‌های **ماهیچه‌ای** این لایه به این **اسکلت فیبری** چسبیده‌اند.



«ساختار بافتی قلب»

نکته: در بین یاخته‌های میوکارد 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.

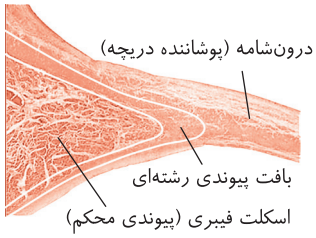
لایهٔ داخلی حفره‌های قلبی

در **داخل دهلیزها و بطن‌ها** (حفرات قلبی)، لایهٔ **نازکی** از بافت **پوششی سنگ‌فرشی ساده** (یک‌لایه‌ای) به نام درون‌شامه (آندوکارد) **وجود** دارد. آندوکارد در تشکیل **دریچه‌های قلبی** شرکت دارد و با خون درون قلب نیز در تماس است. این لایه در ادامه، درون رگ‌های خونی نیز وجود دارد.

بیشتر بدانید

نکتهٔ تکمیلی ساختار دریچه‌های قلبی (برای مطالعه نه کنکور)

هر دریچهٔ قلبی از یک قسمت **مرکزی** با بافت **پیوندی** رشته‌ای محکم و **کلاژن زیاد** تشکیل شده است که روی آن را آندوکارد یا درون‌شامه از جنس بافت پوششی **سنگ‌فرشی ساده** پوشانده است. این دریچه‌ها در **قاعده** به بافت **پیوندی** متراکم موجود در **اسکلت فیبری** قلب متصل شده‌اند.



«ساختار بافتی دریچه‌های قلب»

ویژگی‌ها / لایه‌های قلب	نام فارسی!	جنس بافتی	کار	نکات دیگر
پریکارد	**پیرا**شامه	پیوندی **رشته‌ای** + پوششی **سنگ‌فرشی** (هر دو می‌توانند حاوی چربی باشند.)	لایهٔ خارجی کیسهٔ دور قلب که به **داخل** قفسهٔ سینه متصل است.	از خارج به **قفسهٔ سینه** و از داخل به **مایع آبشامه‌ای** متصل است.
اپی‌کارد	**برون**شامه	پیوندی **رشته‌ای** + پوششی **سنگ‌فرشی** (هر دو می‌توانند حاوی چربی باشند.)	لایهٔ داخلی کیسهٔ دور قلب که به **میوکارد** متصل است.	از خارج با **مایع آبشامه‌ای** و از داخل به **میوکارد** قلب متصل است.
میوکارد	ماهیچهٔ قلب	اغلب ماهیچه‌ای + پیوندی + **عصبی**	ضخیم‌ترین قسمت قلب	بافت پیوندی به نام اسکلت فیبری با کلاژن زیاد در جهات مختلف و رشته‌های عصبی خودمختار دارد.
آندوکارد	**درون**شامه	پوششی سنگ‌فرشی ساده	پوشاننده میوکارد و تشکیل دهندهٔ سطح رویی دریچه‌ها	در ساختار **دریچه‌ها** و سطح درونی حفره‌های قلبی در تماس با خون وجود دارد.

ساختار بافت و یاختهٔ ماهیچهٔ قلبی

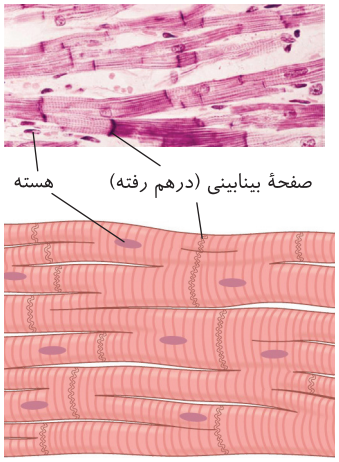
همان‌طور که قبلاً نیز بررسی کردیم در بدن انسان، سه نوع بافت ماهیچه‌ای وجود دارد: ماهیچهٔ اسکلتی (مخطط)، ماهیچهٔ صاف (غیرارادی) و ماهیچهٔ قلبی. یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی، **ترکیبی** از ویژگی‌های هر دو نوع ماهیچهٔ **صاف و اسکلتی** را دارند. یاختهٔ ماهیچهٔ قلبی همانند یاخته‌های ماهیچهٔ اسکلتی، **ظاهری مخطط** 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: هر یاختهٔ ماهیچهٔ
- اسکلتی ← **چندهسته‌ای استوانه‌ای**شکل می‌باشد - انقباض آن‌ها تحت کنترل اعصاب حرکتی **پیکری** می‌باشد.
- صاف ← **تک‌هسته‌ای دوکی** می‌باشد - انقباض آن‌ها تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** می‌باشد.
- قلبی ← **بیشتر** یک و **برخی** دوهسته‌ای استوانه‌ای **منشعب** با صفحات بینابینی (درهم رفته) می‌باشد - انقباض آن‌ها هم به صورت خودبه‌خودی و هم تحت کنترل اعصاب حرکتی **خودمختار** می‌باشد.

● ویژگی منحصر به فرد یاختهٔ ماهیچه‌ای قلبی

یاخته‌های ماهیچهٔ 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»

نکته: در محل اتصال **دهلیزها به بطن‌ها** یک بافت **پیوندی عایق** وجود دارد که باعث می‌شود میوکارد دهلیزها نتوانند از هر قسمتی سبب تحریک میوکارد بطن‌ها شوند. ارتباط الکتریکی 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.

* انتقال پیام انقباضی
  - بین دو **یاختهٔ** مجاور میوکاردی ← از طریق صفحات ارتباطی بین‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد.
  - بین دو **حفرهٔ** دهلیزی با بطنی ← توسط بافت گرهی عضلانی صورت می‌گیرد.

در قسمت قبل اشاره کردیم که به لایهٔ میانی و ضخیم قلب با تارهای ماهیچه‌ای، **میوکارد** گفته می‌شود. میوکارد شامل دو نوع یاختهٔ ماهیچه‌ای قلبی می‌باشد. یکی از انواع آن‌ها که فراوانی **کمتری** دارد، سبب تشکیل شبکهٔ **هادی** قلب می‌شود که پیام **الکتریکی** قلب را تولید و به یاخته‌های دیگر ماهیچه‌ای میوکارد منتقل می‌کند.

در بین یاخته‌های ماهیچهٔ قلب انسان، حدوداً، فقط **یک درصد** آن‌ها ویژگی **شروع تحریک طبیعی قلب** یا **قدرت انقباض ذاتی** دارند که این یاخته‌ها به صورت شبکه‌ای از **رشته‌ها و گره‌ها** در بین یاخته‌های دیگر ماهیچه‌ای قلبی پراکنده هستند. به مجموع این یاخته‌های ماهیچه‌ای با تعداد کم، **شبکهٔ هادی قلب** یا بافت **گرهی** قلب، گفته می‌شود.

نکته: شبکهٔ یاخته‌ای گرهی 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 میوکاردی 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.

نکته: **اغلب** یاخته‌های ماهیچه‌ای موجود در میوکارد یا لایهٔ ماهیچه‌ای قلب، فاقد قدرت تولید ضربان قلب بوده و جزء بافت هادی قلب به حساب نمی‌آیند. در حقیقت بافت هادی یا گرهی قلب حدود یک درصد از یاخته‌های ماهیچه‌ای قلبی را شامل می‌شود.

نکته: یاخته‌های شبکهٔ هادی قلب با دیگر یاخته‌های میوکاردی ماهیچهٔ قلب، ارتباط **دارند** و آن‌ها را برای **انقباض** تحریک می‌کنند. یاخته‌های این شبکه نیز اغلب به صورت یک‌هسته‌ای و در برخی موارد دوهسته‌ای می‌باشند. یک **گره** از این شبکه، بدون نیاز به عصب تحریک‌کننده، سبب شروع ضربان قلب می‌شود تا به کمک گره دیگر و سایر رشته‌های 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 میوکارد 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 ماهیچهٔ **میوکاردی**، انقباض مکانیکی ایجاد می‌شود.

● ۱) گره اول و بزرگ (گره ضربان‌ساز)

این گره، گره پیشاهنگ یا سینوسی دهلیزی نام دارد که در **دیوارهٔ پشتی دهلیز راست** و **زیر** منفذ بزرگ سیاهرگ **زبرین (بالایی)** قرار گرفته است. این گره شروع‌کنندهٔ تکانه‌ها یا ضربان‌های قلبی به صورت **خودکار** می‌باشد. این گره برای **شروع** تحریک، **نیاز به جریان عصبی** ندارد و به آن گره **ضربان‌ساز** نیز می‌گویند. البته عمل آن تحت کنترل اعصاب **پاراسمپاتیک** کاهش می‌یابد. گره پیشاهنگ، جریان الکتریکی را به **سرعت** و به کمک سایر یاخته‌های عضلانی میوکاردی و **دسته تارهای دهلیزی** 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 در **دو دهلیز** می‌شود.

۲) گره دوم کوچک‌تر

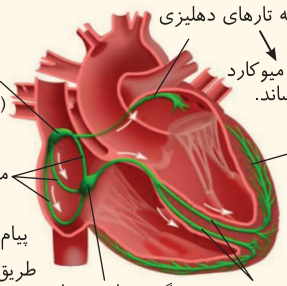
این گره، **گره دهلیزی - بطنی** نام دارد که **همانند** گره اول در **دیوارهٔ پشتی دهلیز راست** (متمایل به دهلیز راست) و **بلافاصله** در **عقب** دریچهٔ **سه‌لختی** قرار گرفته است. ارتباط بین دو گره هادی قلب، از طریق **مسیرهای رشته‌ای بین‌گرهی** (سه مسیر) در دهلیز **راست** برقرار می‌شود. این مسیرها، دسته‌ای از تارهای **ماهیچه‌ای گرهی** خاص با **ارتباط بین‌یاخته‌ای** تنگاتنگی 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.

۳) دسته تارهای 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، با عبور از دیوارهٔ مشترک بین دو بطن، به **دو شاخهٔ** اصلی تبدیل می‌شوند که به سمت **پایین** و **تا نوک قلب** ادامه می‌یابد. پس از آن در هر بطن دور زده و به سمت **بالا** پیام الکتریکی را منتقل می‌کنند تا به **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 میوکاردی باعث انقباض **هم‌زمان** دو بطن شوند و خون از بطن‌ها به مدت ۰/۳ ثانیه به درون سرخرگ‌ها منتقل شود.

نکتهٔ بسیار مهم: 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.



«شبکهٔ هادی قلب»

نکتهٔ مهم: با توجه به شکل بالا در مورد شبکهٔ هادی قلب درمی‌یابیم که از گره سینوسی دهلیزی هم دسته تارهای دهلیزی به سوی هر دو دهلیز می‌روند و هم مسیرهای بین‌گرهی پیام الکتریکی را به گره دهلیزی - بطنی می‌برند ولی دسته تارهای بین بطنی، از گره دهلیزی - بطنی منشأ گرفته تا به بطن‌ها منشعب شوند و با انقباض بطن‌ها سبب خروج خون از قلب شوند.

ویژگی‌ها / شبکهٔ هادی قلب	محل	نکات
گره سینوسی دهلیزی	دیوارهٔ **پشتی** دهلیز راست **زیر** منفذ بزرگ سیاهرگ زبرین	گره ضربان‌ساز - ایجادکنندهٔ پیام الکتریکی قلب - پاراسمپاتیک سرعت کار آن را **کم** می‌کند.
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. (پاراسمپاتیک سرعت کار آن را کم می‌کند.)
دسته تارهای دهلیزی	از طریق گره سینوسی دهلیزی دهلیز راست به سمت **دهلیز چپ** می‌رود.	از گره سینوسی دهلیزی (پیشاهنگ)، پیام الکتریکی را به سمت دهلیز چپ می‌برد.
مسیرهای بین‌گرهی	دهلیز راست بین دو **گره**	در دهلیز **راست** پیام الکتریکی گره اول را از سه مسیر به **سرعت** به گره دوم می‌رساند.
دسته تارهای بین دو بطن	دیوارهٔ **بین** دو بطن	از گره **دهلیزی - بطنی** منشأ می‌گیرد. از بافت پیوندی عایق بین دهلیز و بطن عبور می‌کند - دسته‌هایی با سرعت هدایت بالا می‌باشند. ابتدا به صورت یک دسته تار از گره دهلیزی بطنی منشأ می‌گیرند و سپس به دو انشعاب برای هر بطن تقسیم می‌شوند.
دسته تارهای 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 **نوک** قلب، دیوارهٔ **خارجی** بطن‌ها و سپس به سمت بالا تا دیوارهٔ عایق بین دهلیز و بطن می‌برند. (انشعابات آن‌ها در دیوارهٔ بطن‌ها زیاد است.)

نکته: دسته تارهای متصل به گره دهلیزی - بطنی ابتدا به صورت مشترک در بین دو بطن پایین آمده، سپس به دو شاخه تبدیل می‌شوند.

نکتهٔ مهم: 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.

نکتهٔ تکراری مهم: انتقال پیام الکتریکی
- بین دو یاختهٔ مجاور قلبی ← از طریق انشعابات درهم رفته یا **صفحات بینابینی** یاخته‌ها می‌باشد.
- بین دو حفرهٔ قلبی (میوکارد دهلیزی و بطنی) ← فقط از بافت **گرهی** صورت می‌گیرد.

نکته: 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.

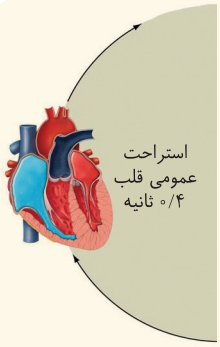
با توجه به اینکه قلب، تقریباً در هر ثانیه یک ضربان کامل دارد، در یک فرد با عمر متوسط، قلب می‌تواند حدود سه میلیارد بار منقبض شود ولی **برخلاف** ماهیچه‌های اسکلتی، این ماهیچه‌ها **استراحت پیوسته** ندارند.

نکته: به استراحت قلب، **دیاستول** و به انقباض قلب، **سیستول** می‌گویند که به‌طور **متناوب** صورت می‌گیرد. به مجموع سیستول و دیاستول قلبی، یک **چرخه یا دورهٔ قلبی** گفته می‌شود. در هر چرخهٔ قلبی، 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

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، ابتدا دریچه‌های سینی (سرخرگی) در اثر خون برگشتی از سرخرگ‌ها و خاصیت ارتجاعی این رگ‌ها، **بسته** شده و صدای **دوم** قلب را ایجاد می‌کنند، سپس **دریچه‌های دهلیزی - بطنی** (دولختی و سه‌لختی) **باز می‌شوند** و خون جمع شده در حفرهٔ دهلیزها (خون را از بزرگ سیاهرگ‌های زیرین و زبرین و سیاهرگ‌های ششی گرفته‌اند) به‌طور **غیرفعال** و **بدون** انقباض ماهیچه‌ای وارد بطن‌ها می‌شوند.

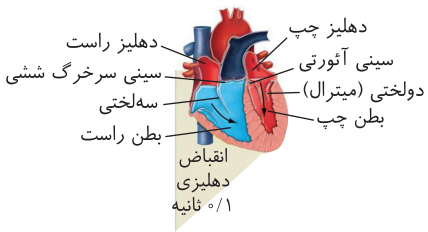
نکته: در مرحلهٔ انبساط قلب یا استراحت عمومی، **بیشتر** خون موجود در حفره‌های دهلیزی، به بطن‌ها وارد می‌شود ولی مقداری از خون سیاهرگ‌ها نیز در **دیوارهٔ دهلیزها** جمع‌آوری شده، تا در مرحلهٔ بعد یعنی مرحلهٔ انقباض دهلیزها وارد بطن‌ها شود.



نکتهٔ 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** با شروع مرحلهٔ قبل یعنی با شروع انقباض بطن‌ها به حال استراحت قرار گرفته بودند و شروع استراحت عمومی، تغییری در وضعیت آن‌ها ایجاد نمی‌کند و در حالت استراحت **باقی می‌مانند**.

ب) مرحلهٔ انقباض دهلیزها (سیستول دهلیزها)

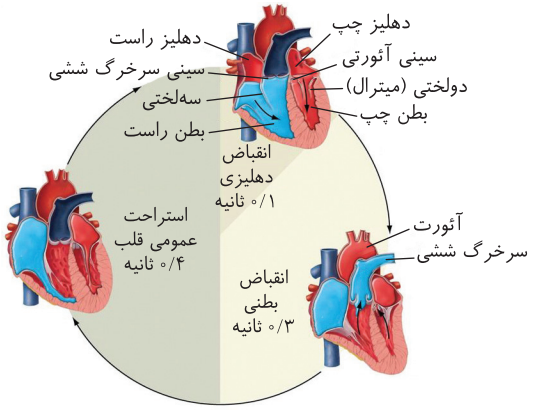
در این مرحله که حدود **۰/۱** ثانیه می‌باشد و **بسیار** زودگذر است، **تغییری در وضعیت دریچه‌های دهلیزی - بطنی** و دریچه‌های **ابتدای سرخرگی دیده نمی‌شود**. در این مرحله، فقط خون جمع شده در **دیوارهٔ** دهلیزها، در اثر انقباض دهلیزها وارد حفرهٔ بطن‌ها می‌شود و بطن‌ها به‌طور **کامل** با خون پر می‌شوند. (برای 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**.

ج) مرحلهٔ انقباض بطن‌ها (سیستول بطن‌ها)

ایـن مرحله حدود **۰/۳** ثانیه طول می‌کشـد. تحریک تارهـا و الیاف‌های **درون بطنی** توسـط بافت هادی و انقباض یاخته‌های میوکاردی، سبب می‌شوند که هر دو بطن به‌طور هم‌زمان منقبض شـوند. در این مرحله، **ابتدا** با انقباض میوکارد بطن‌ها که از پایین به سـمت بالا صورت می‌گیـرد، دریچه‌های **دهلیزی - بطنی (دو و سـه‌لختی)** بسـته می‌شـوند و **صـدای اول قلب (پووم)** را ایجـاد می‌کنند و سـپس با انقباض کامل و هم‌زمان قسـمت 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»

نکته: 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.**

نکته: در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها**، **بیشـترین** فشـار به دریچهٔ **دولختی (میترال)** می‌آید، چون بطن **چپ** دیوارهٔ قطورتری دارد و طی ۰/۳ ثانیه بسـته بودن، دریچهٔ دولختی فشـار بیشـتری را متحمل می‌شـود. برای درک این نکته دقت کنید که در مرحلهٔ انقباض یا سیستول بطن‌ها، دریچه‌های **سـینی** به کنار رفته‌اند و باز می‌باشـند، پس فشاری را متحمل نمی‌شـوند ولی دریچه‌های دولختی و سه‌لختی (دهلیزی بطنی‌ها) بسته می‌شوند و مانع برگشت خون به **دهلیزها** می‌شوند. (دریچهٔ بسته فشار را تحمل می‌کند وگرنه وقتی باز شد که رفته کنار و فشاری به آن وارد نمی‌شود.)

دقت کنید که فشار خون، عبارت است از فشاری که **خون** به دیوارهٔ حفرات قلب یا رگ خونی وارد می‌کند. هرچه **حجم** خون در حفره‌ای بیشتر شود و یا آن حفره به حالت **انقباض** دربیاید، مقدار فشار خون در آن حفره یا رگ نیز زیاد می‌شود.

نکته: در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها**، **ابتدا** با سیستول بطنی، فشار خون در **بطن‌ها** زیاد می‌شود و خون با فشار وارد سرخرگ آئورتی و ششی می‌شود، سـپس با **باز** شـدن کامل دریچه‌های سـینی و خروج مقدار زیادی خون از بطن‌ها، فشـار خون در بطن‌ها **کاهش** می‌یابد. دقت کنید که در طی **انقباض بطن‌ها**، خون در **دهلیزها** جمع شده و به تدریج حجم خون و فشار خون در دهلیزها **زیاد** می‌شود.

نکته: بیشترین **مقدار** خون درون حفرات **دهلیزی**، در **آخر** مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها** می‌باشد که دریچه‌های دهلیزی - بطنی **بسته** می‌باشند و خونی از دهلیزها وارد بطن‌ها نمی‌شـود ولی **بیشـترین** مقدار خون درون حفرات **بطنی**، در **آخر** مرحلهٔ **انقباض دهلیزها** می‌باشد که خون دهلیزها به‌طور کامل وارد بطن‌ها شده است.

نکته: در مرحلهٔ انقباض بطن‌ها، دهلیزها به حالت استراحت درمی‌آیند و بطن‌ها منقبض می‌شوند. پس از مرحلهٔ انقباض بطن‌ها، مرحلهٔ **استراحت عمومی** شـروع می‌شـود. در این مرحله، **دهلیزها** در اسـتراحت **باقی می‌مانند** و فقط **بطن‌ها** هسـتند که تغییر وضعیت **مکانیکی** داده و به حالت دیاستول یا استراحت **درمی‌آیند**. دقت کنید که 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 می‌شـود و فقط کمی خون در دیوارهٔ دهلیزها جمع می‌شـود). به دلیل اینکه در مرحلهٔ اسـتراحت عمومی، هیچ حفره‌ای به حالت انقباض درنمی‌آید، پس فشار خون در دهلیزها، بطن‌ها و سرخرگ‌ها **کاهش** می‌یابد.

نکتهٔ مهم: در مرحلهٔ **انقباض دهلیزها** (۰/۱ ثانیه)، فشـار خون درون حفرهٔ دهلیزها خیلی زیاد (بیش از دو برابر) می‌شـود. در این هنگام در اثر فشـار خون ورودی به بطن‌ها، کمی نیز فشـار درون بطن‌ها زیاد می‌شـود ولی فشـار خون درون **آئورت** و سـرخرگ ششی به دلیل بسته بودن دریچه‌های سینی، **تغییر نمی‌کند.**

توجه: اعداد جدول زیر برای کنکور ۱۴۰۰ به بعد می‌باشد ولی نکات نوشته شده برای کنکور همهٔ سال‌ها صادق است.

	زمان (s)	فشار خون (mm/Hg)		
		دهلیز چپ	بطن چپ	آئورت
مرحلهٔ انقباض دهلیزها	۰/۰	۴	۳	۸۰
	۰/۱	۹	۵	۸۰
مرحلهٔ انقباض بطن‌ها	۰/۲	۲	۵۱	۸۰
	۰/۳	۳	۱۳۱	۱۲۲
	۰/۴	۶	۶۱	۹۱

استراحت عمومی ۰/۴s

نکته: در مرحلهٔ **انقباض بطن‌ها** که ۰/۳ ثانیه طول می‌کشد، فشار خون درون **بطن‌ها و سرخرگ آئورت** ابتدا **زیاد** می‌شود، سپس با خروج خون از بطن‌ها و گشاد شدن سرخرگ‌ها، این فشار **کاهش** می‌یابد ولی فشار خون درون **دهلیزها** به دلیل خون‌گیری، به تدریج **زیاد** می‌شود.

نکته: در مرحلهٔ استراحت عمومی فشار خون در دهلیزها، بطن‌ها و آئورت پایین می‌آید.
- فشار خون آئورت: از ۹۱ به ۸۰ میلی‌متر جیوه می‌رسد (پایین می‌آید).
- فشار خون بطن چپ: از ۶۱ به ۳ میلی‌متر جیوه می‌رسد (پایین می‌آید).
- فشار خون دهلیز چپ: از ۶ به ۴ میلی‌متر جیوه می‌رسد (پایین می‌آید).

نکته: حداکثر فشار خون موجود در **آئورت و بطن چپ** در **اواسط** انقباض بطن‌ها می‌باشد ولی بیشترین فشار خون دهلیزها در آخر **انقباض دهلیزها** می‌باشد.

نکته: 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.

نکته: **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.

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.

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 **میوکارد** 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 شش می‌کند و ۵۰ میلی‌لیتر نیز در هر بطن باقی می‌ماند.

برون‌ده قلبی

حاصل‌ضرب **حجم ضربه‌ای** حاصل از عمل انقباضی **میوکارد** 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، 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.

پیام الکتریکی قلب، توسط **گره ضربان‌ساز** ایجاد شده و توسط بافت **هادی** 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 میوکاردی قلب منقبض شوند.

ECG (نوار قلب)

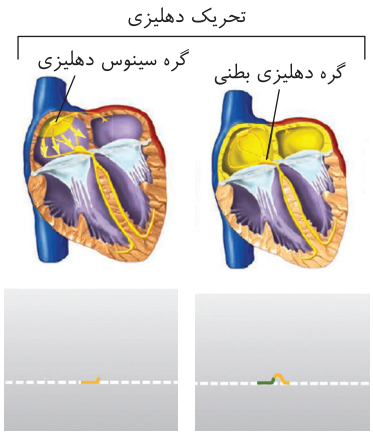
ECG همان منحنی نوار قلب یا الکتروقلب‌نگاره می‌باشد و دستگاه ثبت‌کنندهٔ آن، الکتروکاردیوگراف نام دارد. نمودار نوار قلب را از قسمت‌های مختلف **سطح پوست** می‌تواند ثبت کند. **علت ثبت** این منحنی این است که در هنگام چرخهٔ ضربان قلب، تعداد **زیادی** از **یاخته‌های ماهیچهٔ** قلبی در این فرایند شرکت می‌کنند و این پیام‌ها به اندازهٔ کافی **قوی** هستند که بتوان آن‌ها را از **سطح پوست** دریافت و ثبت کرد.

نکته: در ثبت الکتروقلب‌نگاره یا ECG فقط یاخته‌های **ماهیچه‌ای** مؤثراند و فعالیت **الکتریکی** دارند.

نکته: ECG یا 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 به‌طور مفصل بررسی می‌کنیم.

موج P

موجی است مربوط به فعالیت الکتریکی **انقباض دهلیزها** که توسط **گره پیشاهنگ (ضربان‌ساز)** و به صورت **خودکار** (بدون نیاز به عصب) ثبت می‌شود. این موج **کمی قبل از شروع انقباض دهلیزها** یعنی در انتهای **استراحت عمومی**، **شروع** به ثبت شدن می‌کند. در **قلهٔ** ثبت این موج، پیام الکتریکی به کل یاخته‌های **دهلیزی** رسیده و سبب **شروع انقباض دهلیزها** می‌شود. ثبت این موج **کمی پس** از شروع انقباض دهلیزها **پایان** می‌یابد، پس از ثبت موج P ، با انقباض دهلیزها، فشار خون آن‌ها به بیش از دو برابر (از ۴ به ۹ میلی‌متر جیوه) می‌رسد و خون جمع شده در **دیوارهٔ دهلیزها** از دریچهٔ دهلیزی - بطنی که **باز بوده‌اند**، وارد بطن‌ها می‌شود. ورود این خون به بطن‌ها نیز، کمی فشار خون در بطن‌ها را زیاد می‌کند (از ۳ به ۵ میلی‌متر جیوه) ولی این خون آن‌قدر فشار ندارد که دریچه‌های سینی را باز کند، به همین دلیل فشار خون در آئورت بدون تغییر می‌ماند (حدود ۸۰mmHg).



انتشار پیام الکتریکی در کل دو دهلیز سبب ثبت کامل موج P می‌شود.

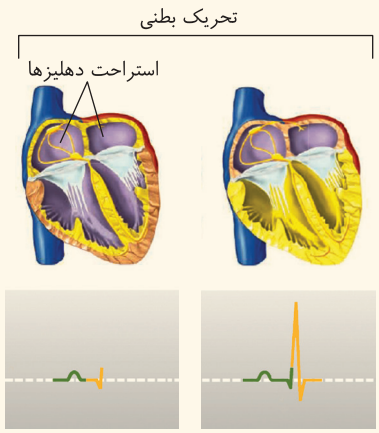
نکته: در اینجا لازم به دقت فراوان می‌باشد که در مرحلهٔ انقباض **دهلیزها** و ثبت موج **P** ، تغییری در وضعیت **دریچه‌ها** ایجاد نمی‌شود و خون از طریق دریچه‌های دهلیزی بطنی که از قبل باز بوده‌اند، وارد بطن‌ها می‌شود.

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.

نکتهٔ مهم: در موج QRS قسمت **QR** ، در **انتهای** انقباض دهلیزها ثبت می‌شود که هنوز دریچه‌های دولختی و سه‌لختی **باز** هستند ولی قسمت **RS** آن در **ابتدای انقباض بطن‌ها** ثبت می‌شود که هم‌زمان با **صدای اول قلب** می‌باشد. در هنگام ثبت موج RS ، **همهٔ دریچه‌های قلبی و سرخرگی قلب** در مدت بسیار کوتاهی (بعد از ثبت S) **بسته** می‌باشند. پس از ثبت موج QRS با بسته بودن دریچه‌های دهلیزی - بطنی و ایجاد انقباض کامل بطن‌ها، دریچه‌های سینی سرخرگی باز شده و فشار خون درون بطن‌ها (از ۵۱ تا ۱۳۱ میلی‌متر جیوه) و سرخرگ آئورت (از ۸۰ تا ۱۲۲ میلی‌متر جیوه) ابتدا **زیاد** می‌شود. در انتهای مرحلهٔ انقباض بطن‌ها و همراه با خروج مقدار زیادی خون از بطن‌ها و گشاد شدن آئورت، به تدریج از فشار خون در بطن‌ها و آئورت کاسته می‌شود.

نکته: در زمان ثبت موج QRS، بیشترین مقدار خون در **بطن‌ها** جمع شده است. قسمت **RS** این موج هم‌زمان با صدای **اول** قلب ثبت می‌شود.



نکته: در هنگام انقباض بطن‌ها، ابتدا فشار خون در بطن‌ها و سرخرگ آئورت **زیاد** شده و سپس **کم** می‌شود. در این مرحله (۰/۳ ثانیه) جمع شدن تدریجی خون در دهلیزها موجب **افزایش** فشار خون در آن‌ها می‌شود.

نکته: ثبت کامل موج QRS در اثر انتشار پیام الکتریکی در کل دو بطن می‌باشد.

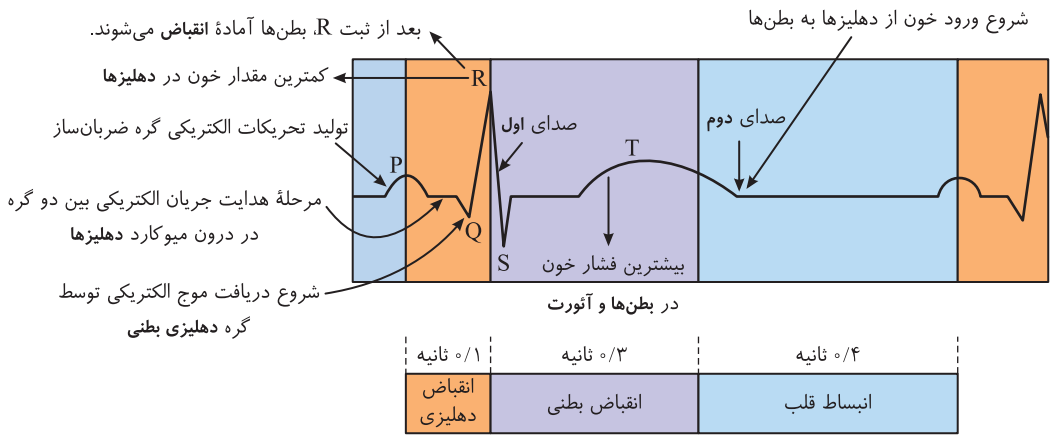
موج T

موجی است مربوط به مرحلهٔ **به استراحت درآمدن بطن‌ها** که همراه با **خارج شدن تدریجی پیام الکتریکی از یاخته‌های بطنی** ثبت می‌شود. این موج از **اواسط انقباض بطن‌ها** شروع به ثبت شدن می‌کند ولی پایان ثبت آن در **شروع** مرحلهٔ استراحت عمومی، هم‌زمان با شنیدن **صدای دوم قلب (تاک)** می‌باشد. این صدا در اثر بسته شدن **دریچه‌های سینی ابتدای سرخرگی** می‌باشد.

نکته: صدای **اول** قلب (پووم) به موج **QRS** نزدیک‌تر بوده و صدای **دوم** (تاک) به موج **T** نزدیک‌تر بوده یا هم‌زمان با ثبت بخش‌هایی از آن‌ها 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.

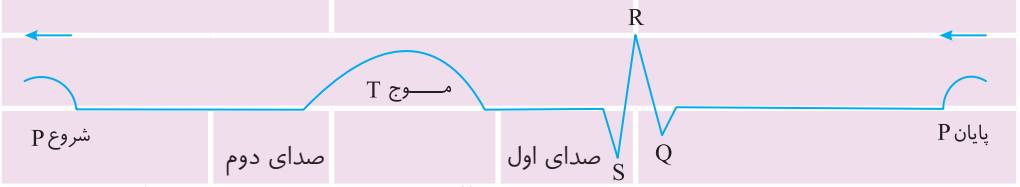
نکته: بیشترین فشار خون درون **دهلیزها** در آخر انقباض **دهلیزها** می‌باشد (حدود ۹ میلی‌متر جیوه) ولی بیشترین فشار خون بطنی و سرخرگی در **اواسط انقباض بطن‌ها** (**قبل** از به قله رسیدن موج T)، در بطن چپ (حدود ۱۳۱میلی‌متر جیوه) و آئورت (حدود ۱۲۲ میلی‌متر جیوه) می‌باشد.



«منحنی قلب‌نگاره»

فاصلهٔ بین...	مرحله	دریچه‌های دهلیزی بطنی	دریچه‌های سینی	فشار درون دهلیزها	مقدار خون درون دهلیزها	فشار درون بطن‌ها	مقدار خون درون بطن‌ها	فشار درون آئورت
پایان ثبت P تا شروع ثبت Q	انقباض **دهلیزها**	**باز**	**بسته**	**زیاد** می‌شود	**کم** می‌شود	اندکی **زیاد** می‌شود	اندکی **زیاد** می‌شود	**ثابت** می‌ماند
پایان ثبت RS تا شروع ثبت T	انقباض **بطن‌ها**	**بسته**	**باز**	**زیاد** می‌شود	**زیاد** می‌شود	خیلی **زیاد** می‌شود	به تدریج **کم** می‌شود	خیلی **زیاد** می‌شود
پایان ثبت T تا شروع ثبت P	استراحت عمومی	**باز**	**بسته**	**کم** می‌شود	وارد بطن‌ها می‌شود	**کم** می‌شود	**زیاد** می‌شود	**کم** می‌شود

چرخه / کمیت	انقباض دهلیزها ۰/۱s «سیستول دهلیزی»	انقباض بطن‌ها ۰/۳s «سیستول»	استراحت عمومی ۰/۴s «دیاستول»
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**
وضعیت الکتریکی دهلیزها	پتانسیل **عمل**	بازگشت عمل به آرامش	کاملاً آرامش
وضعیت الکتریکی بطن‌ها	آرامش	پتانسیل **عمل**	بازگشت عمل به آرامش

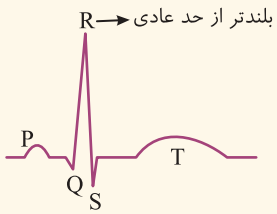


نکته: بررسی شکل، ارتفاع و فاصلهٔ منحنی‌ها و ثبت موج‌ها به متخصصان قلب در تعیین وضعیت سلامت قلب کمک می‌کند.

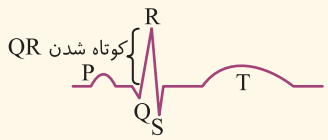
نکتهٔ مهم: موج P مربوط به فعالیت الکتریکی پتانسیل عمل در **دهلیزها** بوده ولی موج QRS مربوط به فعالیت الکتریکی پتانسیل **عمل بطن‌ها** و T پیام الکتریکی مربوط به استراحت **بطن‌ها** می‌باشد.

نکته: نامنظمی در نوار قلب

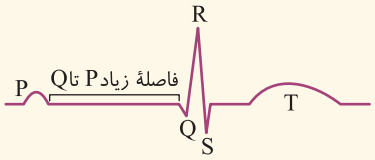
- **افزایش ارتفاع QRS**: ممکن است نشانهٔ **بزرگ شدن قلب** در اثر **فشار خون مزمن** یا **تنگی دریچه‌ها** باشد.
  در این حالت پیام الکتریکی **قوی‌تری** به سطح پوست رسیده است.



- **کاهش ارتفاع QRS**: ممکن است نشانهٔ سکته یا انفارکتوس قلبی و از بین رفتن برخی یاخته‌های قلبی در اثر کمبود یا عدم خون‌رسانی باشد. (تنگ یا بسته شدن **سرخرگ** اکلیلی می‌تواند از دلایل آن باشد.)



- **افزایش یا کاهش فاصلهٔ منحنی و موج‌ها از هم**: ممکن است نشانهٔ اشکال در عمل **بافت هادی قلب** یا اشکال در خون‌رسانی رگ‌های کرونری (اکلیلی) و یا آسیب به بافت قلبی در اثر حمله یا سکتهٔ قلبی باشد.

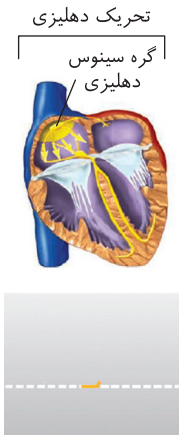


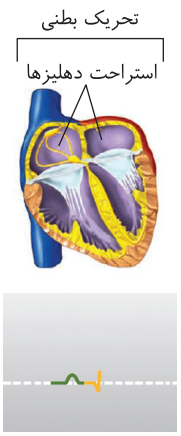
* با توجه به شکل‌های زیر، تحریک‌های ایجاد شده در هر قسمت قلب باعث ثبت بخشی از نوار قلب (قلب‌نگاره) می‌شود.

۱) با توجه به شکل زیر، وقتی گره سینوسی دهلیزی به صورت خودکار شروع به انتقال پیام الکتریکی به یاخته‌های **دهلیزی** می‌کند، **تحریک دهلیزی** نیز **آغاز** شده است و **موج P** در حال شروع به ثبت شدن می‌باشد (این عمل **هم‌زمان با آخر مرحلهٔ استراحت عمومی می‌باشد) ولی هنوز پیام به کل دهلیزها نرسیده است.**

۲) با توجه به شکل زیر، وقتی پیام الکتریکی از طریق **دسته تارهای دهلیزی** و **میوکاردها** به کل دو دهلیز می‌رسد، مرحلهٔ تحریک دهلیزی تمام می‌شود و موج P کاملاً ثبت شده است. (در این مرحله بطن‌ها در حال **استراحت** می‌باشند ولی انقباض مکانیکی دهلیزها از **قلهٔ** ثبت موج P آغاز شده است.)

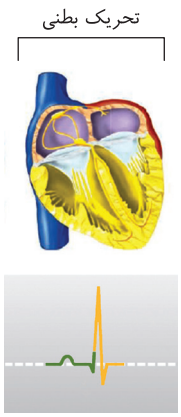
۳) با توجه به شکل زیر که **ابتدای تحریک الکتریکی بطن‌ها** می‌باشد، پیام الکتریکی به دسته تارهای گرهی **بین دو بطن** می‌رسد و قسمت QR از موج QRS در حال ثبت شدن می‌باشد. (این مرحله هم‌زمان با **آخر** مرحلهٔ انقباض مکانیکی ۰/۱ ثانیه‌ای دهلیزها می‌باشد.)

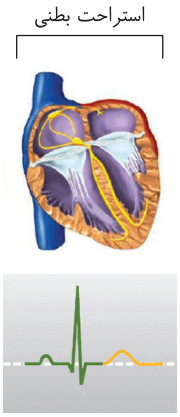




۴) با توجه به شکل زیر، وقتی پیام الکتریکی توسط دسته تارهای گرهی بطنی به کل دیوارهٔ دور بطن‌ها و تا بافت پیوندی عایق بین دهلیزها و بطن‌ها رسید، موج **QRS** کاملاً ثبت می‌شود که بخش RS آن هم‌زمان با شروع مرحلهٔ انقباض مکانیکی **بطن‌ها** می‌باشد.

۵) وقتی هیچ قسمتی از قلب در حال گرفتن پیام الکتریکی نباشد و همهٔ حفرات در حال استراحت الکتریکی باشند، ثبت موج T صورت می‌گیرد که این مرحله از اواسط مرحلهٔ انقباض ۰/۳ ثانیه‌ای بطن‌ها شروع می‌شود ولی انتهای ثبت موج T در ابتدای مرحلهٔ استراحت عمومی می‌باشد.





= پیام الکتریکی در آن محل

توجه ضروری: شاید دانش‌آموز قوی کنجکاو شده باشد که چرا وقتی موج P را برای انقباض دهلیزها و موج QRS و T را به ترتیب برای انقباض و استراحت بطن‌ها داریم، پس چرا مرحلهٔ به استراحت رسیدن دهلیزها که در ابتدای انقباض بطن‌ها رخ می‌دهد، فاقد موج الکتریکی می‌باشد؟ در پاسخ باید بدانید که در حقیقت یک موج الکتریکی مربوط به استراحت دهلیزها هم داریم ولی در زیر موج QRS پنهان می‌ماند که ان‌شاءالله در دانشکده پزشکی یا... با آن آشنا می‌شوید.

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.

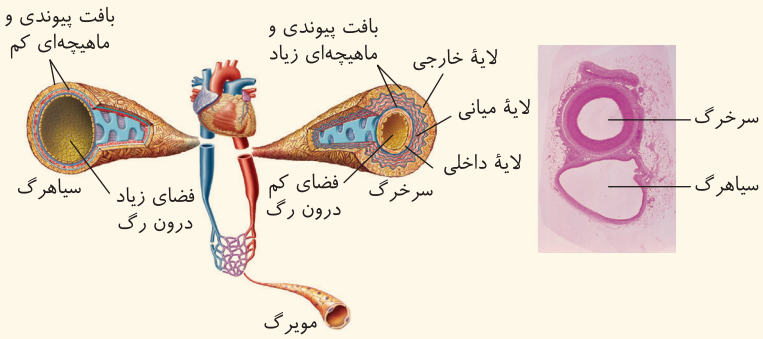
نکته: سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها دارای سه لایهٔ اصلی می‌باشند ولی مویرگ‌ها فقط یک لایهٔ **پوششی** به همراه غشای پایه دارند که در جدول زیر به بررسی کلی آن‌ها می‌پردازیم.

رگ‌های خونی	لایهٔ خارجی	لایهٔ میانی	لایهٔ داخلی
سرخرگ‌ها	پیوندی **رشته‌ای** زیاد و محکم دارد.	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	پیوندی رشته‌ای **کم** با استحکام کم دارد.	**کمتر از سرخرگ ماهیچهٔ صاف 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.

نکته: ساختار پایه‌ای سرخرگ با سیاهرگ‌ها **شبیه** می‌باشد ولی ضخامت لایه‌های آن‌ها **متفاوت** می‌باشد.

نکته: 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 **ولی فشار خون بیشتری از طرف خون به دیوارهٔ آن‌ها وارد می‌شود.** (مقدار خون درون سرخرگ‌ها از سیاهرگ‌ها **کمتر** است.)

نکته: 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.



«مقایسهٔ انواع رگ‌های خونی و ساختار آن‌ها»

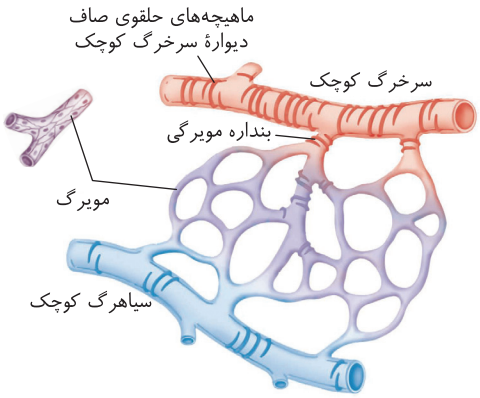
ساختار کلی مویرگ‌ها

مویرگ‌ها فقط **یک لایهٔ پوششی سنگ‌فرشی ساده** به **همراه غشای پایه** دارند که این ساختار با کار آن‌ها که تبادل مواد با آب میان‌بافتی است سازگاری یافته است. در ساختار مویرگ‌ها، **لایهٔ ماهیچه‌ای** وجود ندارد ولی در **ابتدای بعضی** از مویرگ‌ها مانند **مویرگ‌های روده**، اسفنکتر (بندارهٔ) مویرگی از جنس **ماهیچهٔ صاف حلقوی** وجود دارد که میزان جریان خون درون مویرگ را تنظیم می‌کند.

نکتهٔ مهم: بندارهٔ موجود در ابتدای برخی مویرگ‌ها، تنها دریچه با جنس **ماهیچه** در دستگاه گردش خون می‌باشد.

تنظیم خون‌رسانی به بافت‌ها

بافت‌ها و یاخته‌ها، همواره توسط مویرگ‌های مجاور خود که انشعابات انتهایی سرخرگ‌های کوچک هستند، به مبادلهٔ مواد می‌پردازند. در دیوارهٔ سرخرگ‌های **کوچک، ماهیچه‌های صاف حلقوی فراوان‌تری نسبت به لایهٔ کشسان** وجود دارد. **انقباض و انبساط** این ماهیچه‌ها، تغییر حجم اندکی 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 بندارهٔ **ابتدای** مویرگی نیز به عنوان عامل **کمکی** در مقدار خون‌رسانی به بافت‌ها نقش ایفا می‌کند. پس به‌طور کلی می‌توان گفت که بافت **ماهیچه‌ای صاف** در تنظیم مقدار خون رسیده به مویرگ‌ها و بافت مجاور آن‌ها ٪۱۰۰ تأثیر دارد. چون هم در ساختار دیوارهٔ سرخرگ کوچک و هم در ساختار بندارهٔ مویرگی وجود دارد.



«ساختار مویرگ و بنداره مویرگی»

بیشتر بدانید

آنژیوگرافی (رگ‌نگاری): روشی برای تصویربرداری از رگ‌های اندام‌های مختلف می‌باشد که به کمک **اشعهٔ x** انجام می‌شود. برای این روش شکافی در پوست دارای سرخرگ زده می‌شود و لوله‌ای را به درون سرخرگ وارد می‌کنند، سپس مادهٔ **جذب‌کنندهٔ اشعهٔ ایکس** را به درون رگ تزریق کرده تا از رگ تصویربرداری کنند. با این روش می‌توان وجود **تنگی** در عروق **کرونر** (اکلیلی)، برطرف کردن تنگی درون رگ‌های بسته با قرار دادن بادکنک‌های کوچک را انجام داد و گاهی هم با قرار دادن لولهٔ مشبک فلزی باعث باز نگه داشتن دائمی رگ می‌شوند تا دوباره بسته نشود.

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 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.

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 بزرگ سیاهرگ **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 این رگ‌ها در هنگام **انقباض بطن‌ها (۰/۳ ثانیه)** ناگهان مقدار خون زیادی 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.

نکتهٔ 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 الاستیک انعطاف‌پذیر (کشسان) به ماهیچه‌های آن **بیشتر** می‌باشد. خاصیت **ارتجاعی** دیواره سبب گشاد و تنگ شدن این رگ‌ها می‌شود که جریان خون بدن پیوسته شده و در ادامه سبب ایجاد **نبض** هم می‌شوند.

* در سرخرگ‌های بزرگ مجاور قلب
- در هنگام انقباض بطن‌ها ← به دلیل کشسان زیاد دیواره ← **گشاد** می‌شوند ← خون زیادی به‌طور **ناگهانی** وارد آن‌ها می‌شود ← فشار خون داخل رگ **بالا** می‌رود.
- در هنگام استراحت بطن‌ها ← **جمع** شدن دیوارهٔ کشسان سرخرگ‌ها ← **تنگ** شدن آن‌ها ← خون با فشار جلو می‌رود ← سبب هدایت خون و **پیوستگی** آن‌ها در استراحت قلب می‌شود.

در حالت ایستاده چگونه خون به سر و گردن می‌رسد؟

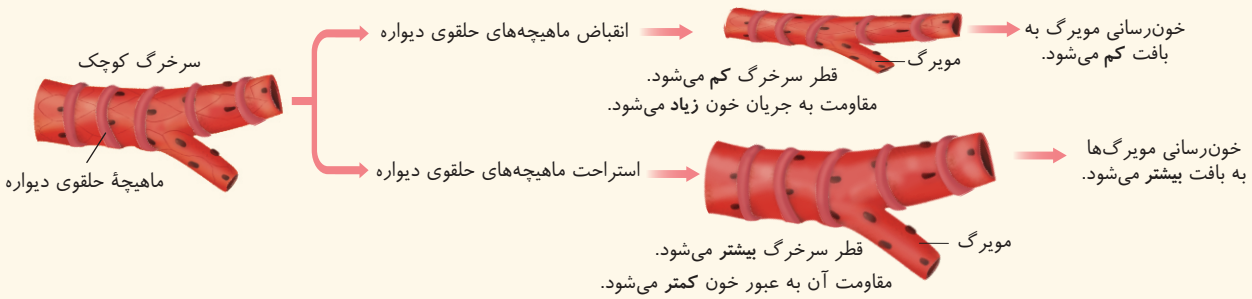
خاصیت **کشسانی** یا ارتجاعی دیوارهٔ **سرخرگ‌ها** هم باعث ادامهٔ جریان خون در **سیاهرگ‌ها** که **دیوارهٔ کم‌استحکام** دارند، می‌شود و هم سبب می‌شود که حتی در حالت **قائم** یا ایستاده نیز همواره **برخلاف** نیروی جاذبهٔ زمین، خون **سرخرگی** به **سر و گردن** برسد و هیچ‌گاه فشار خون سرخرگی به حد **منفی** 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 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

نکته: در سرخرگ‌های **کوچک** که به مویرگ ختم می‌شوند، نسبت لایهٔ پیوندی کشسانی آن به مقدار ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ آن به تدریج **کمتر** می‌شود. به همین دلیل با ورود خون به آن‌ها، قطر این سرخرگ‌ها **تغییر زیادی** نمی‌کند و در برابر جریان خون ورودی با وجود **دهانهٔ باریکی** که دارند، مقاومت می‌کنند. دقت کنید که هرچه ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک که اغلب به صورت حلقوی هستند، **بیشتر** منقبض شود، **مقاومت** آن‌ها در برابر جریان خون **بیشتر** می‌شود و با تنگ‌تر شدن این رگ‌ها، خون کمتری به اندام‌ها می‌رسد، ولی در هنگام **استراحتِ** این ماهیچه‌های صاف سرخرگی، مقاومت سرخرگ‌ها **کمتر** و با انتقال و هدایت مقدار خون بیشتر، **خون‌رسانی به مویرگ و بافت مجاور آن را زیادتر** می‌کنند.



نکته
- در سرخرگ‌های بزرگ: لایه کشسانی دیواره ↑ / لایه ماهیچه‌ای دیواره ↓ ⇐ این نسبت بالا می‌باشد ⇐ با ورود خون در اثر انقباض بطن‌ها به مقدار قابل توجهی گشادتر می‌شوند.
- در سرخرگ‌های کوچک: لایه کشسانی دیواره ↓ / لایه ماهیچه‌ای دیواره ↑ ⇐ این نسبت پایین می‌باشد ⇐ با ورود خون تغییر قطر زیادی نمی‌دهند و در برابر جریان خون مقاومت می‌کنند.

نکته: **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 ← تنگ‌تر شدن سرخرگ کوچک ← کم شدن خون مویرگ و بافت مجاور در اثر مقاومت زیاد دیوارهٔ سرخرگ‌های کوچک

۲) استراحت ماهیچهٔ صاف ← 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 تغییر قطر **داده** تا خون‌رسانی به بافت‌ها را کنترل کنند.

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، در بخش‌های عمقی اندام‌ها قرار می‌گیرند تا از خطرات محیطی در امان‌تر باشند.

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 ارتجاعی 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.

نکته: 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.

بیشتر بدانید

نکته: در یک فرد سالم، فشار بیشینه حدود ۱۱۰ تا ۱۴۰ و فشار کمینه حدود ۷۰ تا ۹۰ میلی‌متر جیوه، طبیعی می‌باشد بنابراین فشار بیشینه کمتر از ۱۱۰ را فشار پایین خون می‌گویند که می‌تواند ناشی از فقر غذایی یا اختلال در اعمال غدد **تیروئید یا فوق کلیه** باشد ولی به فشار کمینه بالای ۹۰ و بیشینه بالای ۱۴۰، فشار خون بالا می‌گویند که می‌تواند سبب فرسودگی زودرس قلبی، بروز بیماری‌های قلبی، ایجاد شکاف‌ها در عروق و رسوب و بستن رگ بشود.

کوچک‌ترین رگ‌های بدن هستند که 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. این رگ‌ها 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: علتِ
- انجام تبادل **کلی** مواد در مویرگ‌ها ← دیوارهٔ نازک و جریان خون کند مویرگی
- انجام تبادل **غیرفعال** در مویرگ‌ها ← فاصلهٔ کم یاخته‌های بدن با مویرگ‌ها

ساختار مویرگ‌ها

همان‌طور که در ابتدای این گفتار ذکر کردیم، مویرگ‌ها در **طول** خود، **فاقد لایهٔ ماهیچه‌ای** هستند. این رگ‌های کوچک، فقط حاوی یک لایه یاخته‌های پوششی سنگ‌فرشی **با لبه‌های پهن و نازک** می‌باشند که این لبه‌ها در کنار یاخته‌ها **روی هم** قرار گرفته‌اند. در محل اتصال یاخته‌ها، **منافذی** بین یاخته‌ها برای عبور مواد وجود دارد که البته **اندازه و تعداد** این منافذ در دیوارهٔ مویرگ‌ها **بسیار متفاوت** است.

نکته: در **مغز** ممکن است در قرارگیری لبه یاخته‌ها **هیچ منفذی دیده نشود** که به آن سد خونی مغزی می‌گویند تا مواد زائد و بدون استفاده وارد یاختهٔ مغزی نشود ولی در مویرگ‌های **جگر (کبد)** و **طحال** و مغز **استخوان** مقدار این منافذ **بسیار زیاد و بزرگ** است و حتی مولکول‌های درشت و مواد قابل تصفیه از آن‌ها عبور می‌کنند.

نکته: 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.

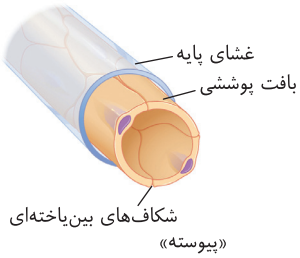
نکته: **برخی** مویرگ‌ها در **ابتدای** خود بنداره یا اسفنکتری با ماهیچهٔ صاف حلقوی دارند که اغلب **بسته** می‌باشند و فقط موقع نیاز بافت‌های مجاور به خون باز می‌شوند. این بنداره در خون‌رسانی به بافت‌ها نقش **کمکی** دارد. چون نقش اصلی را ماهیچهٔ صاف حلقوی دیوارهٔ سرخرگ‌های **کوچک** ایفا می‌کند.

نکته: دوتا قید مهم در مورد دریچهٔ رگ‌های خونی
- **بسیاری** از سیاهرگ‌ها ← در دیوارهٔ داخلی خود دریچه‌های لانه کبوتری دارند.
- **برخی** از مویرگ‌های خونی ← در ابتدای خود یک بندارهٔ ماهیچه‌ای دارند.

انواع مویرگ‌ها بر اساس نوع منافذ و 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 **شش‌ها**، **ماهیچه‌ها**، **بافت چربی** و از همه مهم‌تر در **دستگاه عصبی مرکزی** (مغز و نخاع) به عنوان سد خونی مغزی برای عبور مواد مورد نیاز می‌بینیم که حاوی شکاف‌های بین‌یاخته‌ای بسیار **ریز** و **غشای پایه کامل** و پیوسته هستند. (برخی از این مویرگ‌ها در مغز ممکن است هیچ منفذی نداشته باشند.)

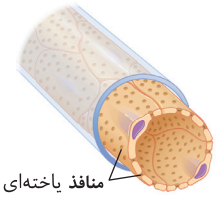


«پیوسته»

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 صورت گیرد.

۲) مویرگ‌های منفذدار

در این نوع مویرگ، **منافذ یاخته‌ای با تعداد زیاد** وجود دارد که با غشای پایهٔ **ضخیمی** پوشیده شده‌اند. در غشای پایهٔ آن‌ها لایهٔ **پروتئینی** برای محدود کردن عبور مولکول‌های درشت مثل پروتئین‌ها وجود دارد. این نوع مویرگ‌ها در **کلیه‌ها**، **غدد درون‌ریز (سازندهٔ هورمون‌ها)** و **روده** وجود دارند.

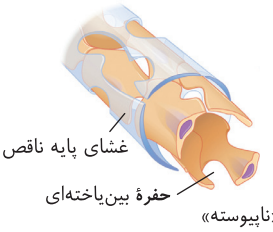


«منفذدار»

نکته: غشای پایهٔ ضخیم و لایهٔ پروتئینی آن در اطراف مویرگ‌های خونی **روده** مانع از عبور چربی‌ها و ویتامین‌های محلول در چربی D ، A ، K و E نیز می‌شوند. به همین دلیل این مواد باید ابتدا وارد رگ‌های **لنفی** شوند که البته در نهایت از راه لنف به خون وارد می‌شوند.

۳) مویرگ‌های ناپیوسته

در این نوع مویرگ‌ها آن‌قدر فاصلهٔ 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 مغز استخوان، جگر و طحال** می‌شوند.



«ناپیوسته»

راه‌های تبادل مواد در مویرگ‌ها

تبادل مواد بین جدار مویرگ‌ها و آب میان‌بافتی طبق سه روش صورت می‌گیرد:
- الف) **انتشار** برحسب تفاوت غلظت آن‌ها
- ب) عبور درشت‌مولکول‌ها با صرف **انرژی**
- ج) جریان **توده‌ای** برحسب فشار خون و اسمزی

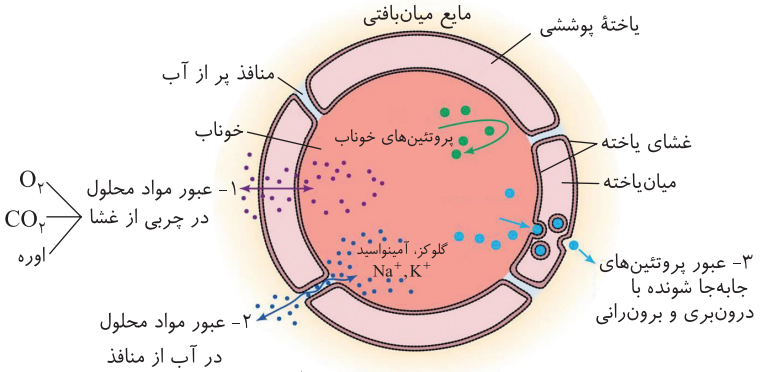
● الف) عبور مواد کوچک با انتشار

۱) بسیاری از مولکول‌های محلول در خون یا مایع میان‌بافتی مثل O_2، CO_2 و **گلوکز** از راه **انتشار** مبادله می‌شوند. همان‌طور که می‌دانید در همهٔ موارد، **جهت انتشار** را شیب غلظت از جای پرتراکم به جای کم‌تراکم تعیین می‌کند. در این روش انرژی **جنبشی** مولکول عبوری عامل مؤثری در انتقال آن می‌باشد. این مواد برای انتشار می‌توانند از **منافذ** غشایی یا بین‌یاخته‌ای پرآب جدار مویرگ یا به‌طور مستقیم از بین **فسفولیپیدهای** غشایی و یا هر دو مورد عبور کنند.

نکته: O_2، گلوکز و آمینواسید از خون به بافت‌ها می‌رسند ولی CO_2، **اوره** و لاکتیک اسید **ماهیچه‌ها** حاصل از متابولیسم بافت‌ها، طبق قانون انتشار از بافت‌ها به درون مویرگ می‌آیند.

۲) مولکول‌های کوچک **محلول** می‌توانند هم از راه **منافذ** پر از آب بین‌یاخته‌ای و هم به‌طور **مستقیم** از لابه‌لای **فسفولیپیدهای غشای** یاخته‌های پوششی عبور کرده و منتشر شوند.

۳) راه عبور مواد را میزان **انحلال** آن‌ها در لیپیدهای غشا یا آب تعیین می‌کند مثلاً مولکول‌هایی مثل **گلوکز، آمینواسیدها و یون‌های سدیم و پتاسیم** که انحلال **کمی** در لیپیدهای غشا دارند، از طریق **منافذ پرآب** منتشر می‌شوند ولی مولکول‌هایی مانند O_2، CO_2 و **اوره** که دارای انحلال **زیادی** در لیپیدهای غشا هستند از فضای بین **فسفولیپیدهای غشای** یاخته‌های مویرگ نیز منتشر می‌شوند. لازم به توجه است که مولکول‌های **آب** از هر دو روش **منفذی و غشایی** می‌توانند از دیوارهٔ مویرگ منتشر شوند.

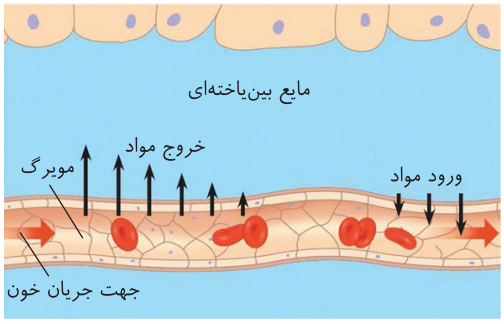


«روش‌های مختلف مبادلهٔ مواد در مویرگ‌ها»

● ب) عبور مولکول‌های درشت

پروتئین‌های درشت، قادر به عبور **از منافذ** پرآب بین یاخته‌های مجاور مویرگ‌ها نیستند ولی در صورت نیاز بافت، برخی از آن‌ها می‌توانند با کمک **غشای یاخته** (نه منافذ!!) با مکانیسم **آندوسیتوز** (درون‌بری) وارد یاختهٔ پوششی رگ خونی شده و با روش برون‌رانی (اگزوسیتوز) از این یاخته‌ها وارد خوناب (پلاسما) شوند. بدیهی است که انتقال این مواد با صرف انرژی **زیستی** و ایجاد **ریزکیسه‌ها** صورت می‌گیرد.

● ج) جریان توده‌ای تبادل مواد در مویرگ‌ها ⇐ انتقال مواد از منافذ مویرگ‌ها



در این روش، تبادل مواد از طریق **منافذ دیوارهٔ مویرگ‌ها** و برحسب **اختلاف فشار** میان درون و بیرون مویرگ صورت می‌گیرد. درون مویرگ‌ها یک **فشار تراوشی** وجود دارد که در اثر **فشارِ خون** وارد شده به دیوارهٔ رگ صورت می‌گیرد. این فشار سبب **خروج مواد** برحسب **اندازهٔ** آن‌ها از **منافذ** مویرگی می‌شود. به دلیل اینکه در سمت سرخرگی مویرگ (ابتدای مویرگ) فشار تراوشی یا فشار خون سرخرگی **زیاد** است، پس میزان خروج توده‌ای مواد از سمت سرخرگی ابتدای مویرگ‌ها **زیاد** است ولی به دلیل افت فشار خون در طول مویرگ، هرچه به سمت سیاهرگی یا انتهای مویرگ نزدیک می‌شویم، با کاهش فشار تراوشی مقدار خروج مواد از مویرگ‌ها به تدریج **کم** می‌شود.

عامل دیگری که در تبادل مواد مویرگ‌ها مهم است، **اختلاف فشار اسمزی** بین **درون و بیرون** مویرگ می‌باشد. اختلاف فشار اسمزی به دلیل اینکه همواره **پروتئین‌های** بیشتری در خوناب (پلاسما) وجود دارد، همیشه به **مقدار ثابتی** به سمت **درون** مویرگ، **بیشتر** می‌باشد و باعث برگشت توده‌ای مواد به درون مویرگ می‌شود. به این رفت و برگشت مواد در اثر **فشار تراوشی و اسمزی** جریان توده‌ای می‌گویند که فقط از **منافذ** غشایی یا بین‌یاخته‌ای انجام می‌شود نه از بین فسفولیپیدهای غشایی!!

نکته: چون فشار خون سرخرگی بیشتر از سیاهرگی است، در ابتدای مویرگ که به سرخرگ نزدیک‌تر است، فشار خون از انتهای مویرگ بیشتر است.

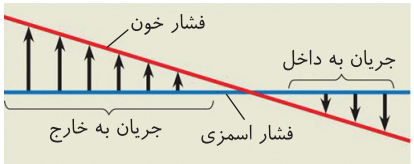
عوامل ایجادکنندهٔ فشار اسمزی
- در آب میان‌بافتی ← مواد حل‌شده در آب مثل **املاح** و **پروتئین‌ها** می‌باشند.
- درون خوناب
  - مواد حل‌شده‌ای مثل املاح و پروتئین‌ها می‌باشند.
  - یاخته‌ها یا هماتوکریت در ایجاد فشار اسمزی نقش مستقیمی **ندارند**.

لازم به ذکر است که 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 (سمت سرخرگی) مقدار فشار **تراوشی** مویرگ از اختلاف فشار اسمزی آن **بیشتر** است و مواد **بیشتر** به سمت **بیرون** از رگ منتقل می‌شوند ولی چون فشار تراوشی در طول مویرگ به تدریج **کم** می‌شود، در **انتهای** مویرگ (سمت سیاهرگی)، اختلاف فشار اسمزی دو طرف رگ از مقدار فشار تراوشی درون رگ **بیشتر** می‌باشد و مواد **بیشتر** تمایل برای **ورود** به خون دارند. در انتها مواد باقی‌مانده در آب میان‌بافتی نیز که حدود ٪۱۰ مواد خروجی هستند، **لنف** را تشکیل می‌دهند تا حجم آب میان‌بافتی نیز ثابت بماند.

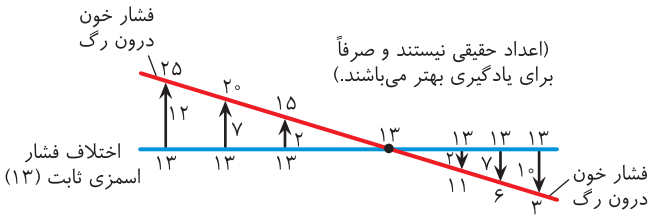
*** به رفت و برگشت مواد در رگ خونی که در اثر فشار تراوشی و اسمزی رخ می‌دهد، جریان توده‌ای گفته می‌شود.**

* در شکل مقابل مشاهده می‌کنید که مقدار فشار خون یا فشار تراوشی در مویرگ‌ها، به تدریج کاهش می‌یابد (مثلاً از ۲۵ تا ۳) ولی اختلاف فشار اسمزی درون و بیرون رگ همواره عددی ثابت (مثلاً ۱۳) می‌باشد. در ابتدای مویرگ، فشار تراوشی از اسمزی **بیشتر** است 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.



«جریان توده‌ای در مویرگ‌ها»

* مشاهده می‌کنید که اگر فرض کنیم فشار تراوشی خون در طی مویرگ از ۲۵ به ۳ می‌رسد و با فرض ثابت بودن عدد ۱۳ برای اختلاف فشار اسمزی داخل و بیرون رگ، از ۱۲ مادهٔ خارج شده از ابتدای مویرگ، ۱۰تای آن در انتها به رگ برمی‌گردد و بقیه سبب ایجاد لنف می‌شوند. لنف مایعی است که پروتئین کم ولی لیپید بیشتری دارند.



خلاصه راه تبادل مواد در مویرگ
- از منافذ یاخته‌ای و بین یاخته‌ها
  - انتشار ← برحسب تفاوت **غلظت** ماده در دو محیط است ← غالباً برای موادی با قدرت انحلال **کم** در لیپیدها مثل گلوکز، آمینواسید و یون‌ها صورت می‌گیرد.
  - جریان توده‌ای ← برحسب **اختلاف** فشار خون و اسمزی است.
- از فسفولیپیدهای غشای یاخته‌ها
  - انتشار ← مواد با قدرت انحلال **زیاد** در لیپید (O_2، CO_2 و اوره)
  - با صرف انرژی ← درشت‌مولکول‌ها (اگزوسیتوز یا آندوسیتوز)

خیز یا ادم

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
  - مصرف کم مایعات
  - فشار خون بالا

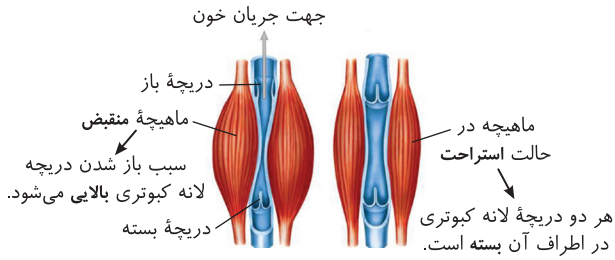
این رگ‌ها برای برگرداندن خون به قلب عمل می‌کنند و همان‌طور که در ابتدای این گفتار ذکر کردیم، چون **ماهیچهٔ صاف کم** و خاصیت کشسانی کمتر از سرخرگ‌ها دارند، **مقاومت** آن‌ها نسبت به جریان خون درون آن‌ها **کم** است و فضای **داخلی وسیع‌تری** از سرخرگ دارند. **بیشترین حجم خون در سیاهرگ‌های بدن تجمع می‌یابند.** 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. از طرفی سیاهرگ‌ها برخلاف سرخرگ‌ها، قدرت کشسانی و استحکام **کمی** دارند، بنابراین عمل برگرداندن مواد در آن‌ها به سختی صورت می‌گیرد که عواملی سبب رفع این مشکل در گردش خون می‌شوند.

نکته: 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.

عوامل مؤثر و کمکی برای جریان خون سیاهرگی

۱) تلمبهٔ ماهیچهٔ اسکلتی

یکی از عوامل مهم در حرکت خون سیاهرگ‌ها به ویژه در اندام‌های **پایین قلب و دست‌ها** می‌باشد. نیروی انقباض همراه با افزایش **قطر** یا کاهش **طول** در ماهیچه‌های **اسکلتی** باعث می‌شود که سیاهرگ‌هایی که از مجاور آن ماهیچه عبور می‌کنند و طبیعتاً کم‌استحکام نیز هستند، **تنگ‌تر شده** و خون به سمت بالا (قلب) منتقل شود. این عمل بیشتر در ماهیچه‌های دست‌ها و پاها و شکم و کلاً زیر دیافراگم قابل ملاحظه می‌باشد که باید برخلاف سیاهرگ‌های سر و گردن، بر اثر نیروی گرانش زمین غلبه کنند.



«تلمبه ماهیچهٔ اسکلتی»

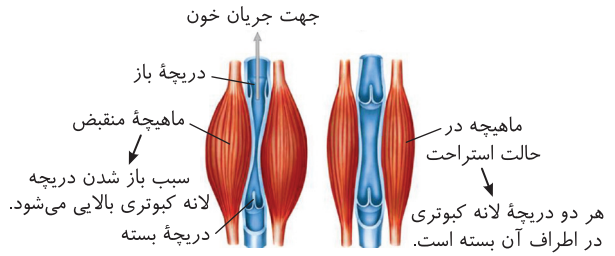
نکته: دیافراگم یا **میان‌بند** ماهیچهٔ اسکلتی می‌باشد که هم به صورت ارادی و هم انعکاس غیرارادی تنفسی به انقباض درمی‌آید. از فصل قبل به یاد دارید که دیافراگم عامل اصلی در تنفس **آرام و عادی** می‌باشد. این ماهیچه تحت کنترل اعصاب **پیکری** می‌باشد.

بیشتر بدانید

نکته: در ماهیچه‌های **اسکلتی** انقباضی که **بدون تغییر طول و قطر ماهیچه**، مثلاً در هنگام ایستادن در پاها رخ می‌دهد از عواملی است که باعث باقی ماندن خون در سیاهرگ‌ها می‌شود و به جریان خون سیاهرگی کمکی نمی‌کند. این عامل در درازمدت در حرفه‌هایی مانند آرایشگری یا جراحی یا دندان‌پزشکی و... می‌تواند سبب بیماری واریس در سیاهرگ‌های پا بشود.

۲) دریچه‌های لانه کبوتری

دریچه‌هایی در سیاهرگ‌های **دست‌ها و اندام‌های زیر قلب (مثل پاها)** می‌باشند که از چین‌خوردگی و برگشت لایهٔ **داخلی** 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»

● 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 قفسهٔ سینه و قلب با فشار کمتر می‌شود. این عمل سبب مکش خون توسط بزرگ سیاهرگ **زیرین** از سیاهرگ‌های شکمی می‌شود.

دستگاه لنفی

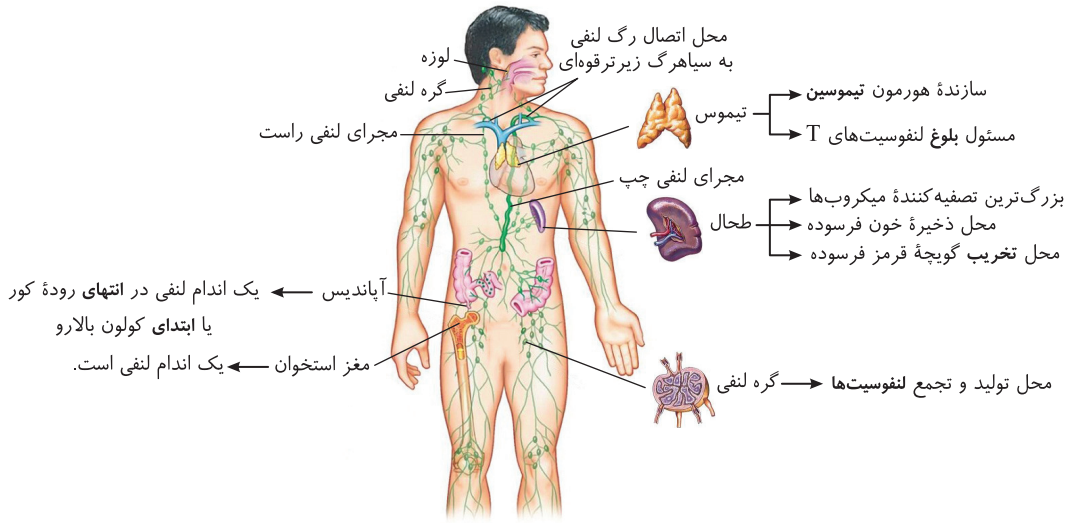
این دستگاه شامل **رگ‌های لنفی** (در اندازه‌های **مختلف**)، **گره‌های لنفی** (اغلب در زیر گردن، زیر بغل و کشالهٔ ران) و **اندام‌های لنفی** (لوزه‌ها، تیموس، طحال، آپاندیس و مغز استخوان) می‌باشد که **وظیفهٔ اصلی** آن‌ها **تصفیه و بازگرداندن** آب و موادی می‌باشند که نتوانسته‌اند پس از خروج از مویرگ **خونی**، 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** و انتقال آن‌ها به خون بدون **انتقال مستقیم** از **روده به کبد** می‌باشد. دستگاه لنفی با **تولید و تجمع لنفوسیت‌ها** و **ماکروفاژها** (درشت‌خوارها) در **گره‌ها و اندام‌های لنفی** به از بین بردن عوامل بیماری‌زا و تصفیهٔ خون هم کمک می‌کنند.

وظایف دستگاه لنفی
- 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
  - تولید لنفوسیت‌ها و تجمع آن‌ها به همراه ماکروفاژها برای دفاع بدن

نکته: لنف محصول جریان توده‌ای مواد در طول مویرگ‌های خونی می‌باشد. چون حدود ٪۱۰ از موادی که در انتهای مویرگ خونی دوباره به خون برنمی‌گردند، تشکیل لنف را می‌دهند. لنف کل بدن در نهایت از طریق ریختن به **دو** سیاهرگ خونی **زیرترقوه‌ای** چپ و راست دوباره وارد خون می‌شود. (لنف قسمتی از محیط داخلی بدن به حساب می‌آید.)

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 **رگ‌های لنفی بزرگ‌تر** می‌دهند و با پیوستن به هم بزرگ‌تر و قطورتر می‌شوند که در نهایت **دو مجرای** لنفی **راست و چپ** بدن به **سیاهرگ‌های تحت ترقوه‌ای راست و چپ** در سینه متصل می‌شوند تا در نهایت از راه بزرگ سیاهرگ **زبرین**، لنف همه جای بدن با هم مخلوط و همراه خون سر و گردن و دست‌ها وارد دهلیز راست و گردش خون شوند.



نکته: **لنفوسیت‌ها** که از یاخته‌های مهم و اصلی دفاع بدن می‌باشند در گره‌های لنفی و اندام‌های لنفی مثل مغز استخوان، لوزه‌ها، تیموس، طحال و آپاندیس ساخته می‌شوند که در نابود کردن میکروب‌ها نقش بسیار مهمی دارند. در زیست یازدهم می‌خوانیم که لنفوسیت‌ها انواع مختلفی دارند که نوع B و T آن‌ها در **مغز استخوان** و برای دفاع **اختصاصی** تولید می‌شوند ولی سایر انواع آن در برخورد با میکروب‌ها در درون گره‌ها و اندام‌های لنفی می‌توانند تکثیر شوند و در دفاع غیراختصاصی نیز شرکت کنند.

نکته: دستگاه لنفی، هم با تولید و تجمع **یاخته‌های دفاعی** نقش مهمی در مقابله با عوامل بیماری‌زا دارد و هم به دلیل اینکه مویرگ‌های لنفی **منافذ** بزرگ یا فضای بین‌یاخته‌ای بزرگ **زیادی** دارند، این مویرگ‌ها در **پخش** یاخته‌های سرطانی در قسمت‌های مختلف بدن **(متاستاز)** نقش مؤثری دارند (که البته این آخری کار مفیدی برای بدن نیست).

نکته: کیلومیکرون‌های ایجاد شده در یاخته‌های پوششی رودهٔ باریک به همراه ویتامین‌های محلول در چربی از راه **لنف** به خون برمی‌گردند. این مواد از رودهٔ باریک برخلاف مواد درون رگ خونی، ابتدا وارد **کبد** نمی‌شوند.

نکته: طحال در سمت **چپ** بدن بزرگ‌ترین غدهٔ لنفی بدن می‌باشد که بیشترین تصفیه را برای میکروب‌های خونی انجام می‌دهد.

نکته: گسترش رگ‌های لنفی و گره‌های آن در **کف دست‌ها** مقدار کمی دارد.

نکته: آپاندیس جزء لولهٔ گوارشی می‌باشد ولی به عنوان یک اندام لنفی در سیستم گردش مواد نقش دارد.

نکته: تیموس در **پشت** جناغ و **جلوی** نای هم محل بلوغ لنفوسیت‌های T می‌باشد و هم یک **اندام** لنفی است. البته این غدهٔ درون‌ریز در هورمون‌سازی نیز نقش دارد و هورمون تیموسین برای بلوغ **برخی** لنفوسیت‌ها ترشح می‌کند.

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 میوکارد، برون‌ده قلبی** را ایجاد می‌کند که نیاز اکسیژن و مواد مغذی اندام‌ها را 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.

۱) نقش دستگاه عصبی خودمختار (اعصاب سمپاتیک (هم‌حس) و پاراسمپاتیک (پادهم‌حس))

دستگاه عصبی خودمختار نوعی اعصاب **حرکتی** محیطی 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 در زیست یازدهم به‌طور کامل آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

نکته: مرکز تنظیم اعصاب خودمختار **هم‌حس** و **پادهم‌حس** برای کنترل فعالیت‌های گردش مواد، **در بصل‌النخاع و پل مغزی**، در **نزدیکی مرکز تنفسی** وجود دارد 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 مؤثر است.

- **الف) اثر اعصاب پادهم‌حس (پاراسمپاتیک) ← فشار خون و تعداد ضربان قلب را کم می‌کند.**

نکته برای مطالعه

در دستگاه گردش مواد، این اعصاب **فقط** روی گره‌های شبکهٔ هادی (سینوسی دهلیزی و دهلیزی - بطنی) اثر می‌کنند و **تعداد ضربان قلب** و طی آن فعالیت قلب (برون‌ده قلب) را کاهش می‌دهند.

● ب) اثر اعصاب هم‌حس (سمپاتیک) ← فشار خون و تعداد ضربان قلب را زیاد می‌کند و جریان خون به ماهیچهٔ قلبی را افزایش می‌دهد.

نکته برای مطالعه

این اعصاب حرکتی **هم در بین یاخته‌های ماهیچه‌ای میوکارد بطنی** پخش هستند و فعالیت **انقباضی بطن‌ها** و حجم ضربه‌ای قلب را **زیاد** می‌کنند. از طرفی این اعصاب به **رگ‌های خونی** موجود در **کلیه‌ها، روده‌ها، طحال و پوست** متصل می‌باشند که در حالت **فعالیت** و یا فشار روانی، با **تنگ** کردن رگ‌های آن‌ها، خون‌رسانی را به آن‌ها کم کرده و تولید ادرار و فعالیت‌های گوارشی را کاهش می‌دهد ولی سبب انتقال خون بیشتر به ماهیچه‌ها و قلب 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، آلدوسترون و کورتیزول به خون **زیاد** می‌شوند که با اثر بر روی برخی اندام‌ها مثل **قلب، کبد و کلیه**، باعث **افزایش فشار خون** و **بالا بردن ضربان قلب** می‌شوند لذا آمادگی بدن برای مواجهه با شرایط ناگوار بیشتر می‌شود.

نکته: 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.

۳) تنظیم موضعی جریان خون در بافت‌ها

این تنظیم با تأثیر روی سرخرگ‌های **کوچک** صورت می‌گیرد تا با انقباض یا استراحت ماهیچه‌های آن، خون‌رسانی به موضعی خاص از بدن کم یا زیاد شود.

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 سبب باز کردن **بندارهٔ** (اسفنکتر) انتهای آن 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 با شروع عمل دم و ارسال پیام حرکتی به ماهیچه‌های دمی
تأثیر روی ماهیچهٔ صاف دیوارهٔ سرخرگ کوچک ← به استراحت درآوردن ماهیچه‌ها ← گشادی سرخرگ کوچک ← **افزایش** خون در آن ← **باز** شدن بندارهٔ مویرگی

نکته: **زیادی کلسیم** در مایعات بدن، سبب تحریک **انقباض** ماهیچهٔ سرخرگ‌های کوچک و **تنگی رگ‌ها** می‌شود. کلاً تغییر مقدار این املاح در خون سبب تغییر موضعی جریان خون بافت‌ها می‌شود. در اثر این عمل، خون‌رسانی و باز شدن بندارهٔ انتهای سرخرگ‌های کوچک به تأخیر می‌افتد. در حقیقت زیادی کلسیم مایعات بدن **برخلاف** زیادی CO_2 آن‌ها، سبب **کم** شدن خون‌رسانی به بافت‌ها می‌شود.

۴) سازوکارهای انعکاسی برای حفظ فشار سرخرگی

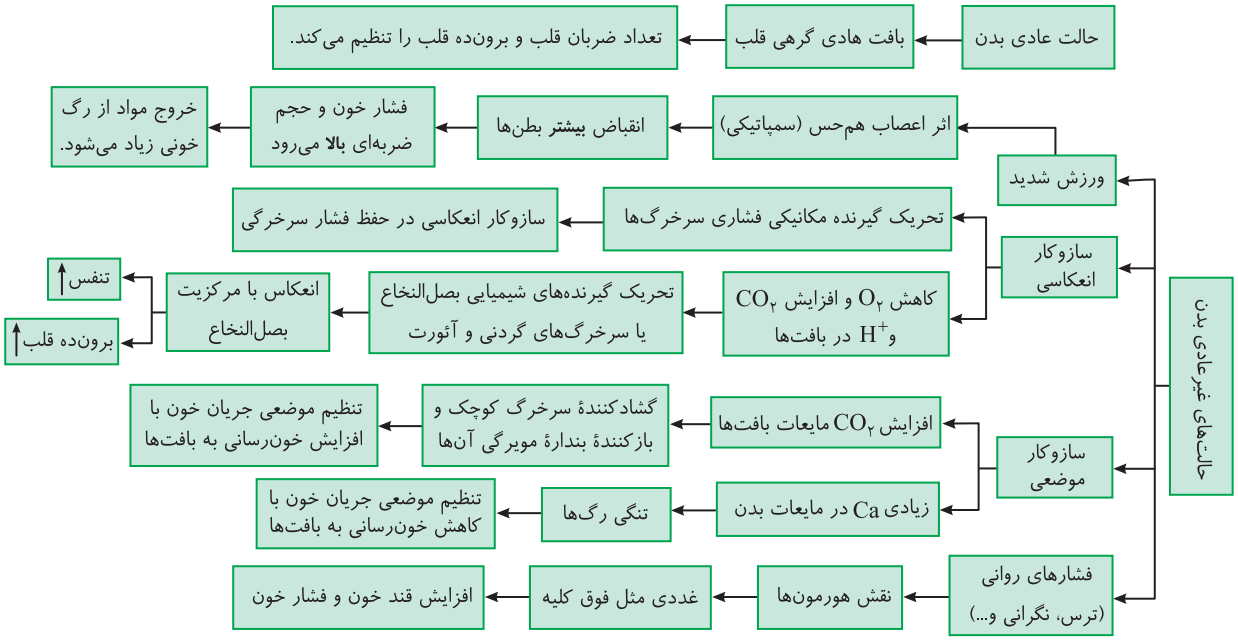
سازوکار انعکاسی **برخلاف** تنظیم موضعی روی سرخرگ‌های **بزرگ** بدن مثل سرخرگ آئورت و سرخرگ‌های گردنی اثر می‌گذارند و فشار سرخرگی را طبق نیاز بدن تنظیم می‌کنند.

در سرخرگ‌های گردش عمومی خون هم گیرنده‌های **مکانیکی فشاری** وجود دارند که **به فشار خون بالا** حساس‌اند. از طرفی گیرنده‌های **شیمیایی** حساس به **زیادی** CO_2 **و یون** H^+ **و کمبود** O_2 (در سرخرگ‌های بزرگ) وجود دارند که در اثر تحریک، این گیرنده‌ها پیام خود را به **مراکز عصبی** فرستاده تا به صورت **انعکاسی** و عمل اعصاب خودمختار باعث گشاد شدن سرخرگ‌های سیستم گردش خون عمومی شوند. در اثر این مکانیسم فشار سرخرگی آن‌ها در حد **طبیعی** حفظ شده و خون آن‌ها متعادل شده تا نیاز اندام‌های بدن در شرایط خاص تأمین شود.

نکته: کمبود O_2 خون با اثر بر گیرندهٔ سرخرگی آئورت و گردنی، هم روی مرکز **بصل‌النخاعی** تنفس و هم بر مرکز عصبی تنظیم گردش خون مؤثر است.

نکته: افزایش CO_2 در خون هم اثر موضعی و هم اثر انعکاسی برای تنظیم خون‌رسانی به بافت‌ها دارد.

خلاصه تنظیم دستگاه گردش خون



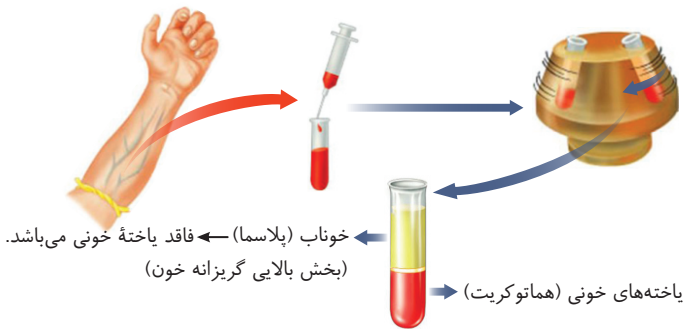
گفتار ۳ خون

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 مواد دیگر نقش دارد. این مایع، علاوه بر ارتباط **شیمیایی** بین یاخته‌های بدن (به کمک **هورمون‌ها**) در **تنظیم دمای بدن** یا همان **یکسان کردن دمای بدن** در نواحی مختلف بدن نیز نقش دارد. همچنین خون 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 (گریزانه)** کنیم، مشاهده می‌کنیم که خون به دو بخش تبدیل شده است. معمولاً در فرد سالم حدود ٪۵۵ آن پلاسما **(خوناب)** و ٪۴۵ آن را یاخته‌های خونی تشکیل می‌دهند که به درصد **حجمی** یاخته‌های خونی، **هماتوکریت (خون‌بَهر)** می‌گویند.

نکته: افزایش خون‌بَهر (هماتوکریت) تا ٪۵۰ **حجم خون** مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی **بیشتر** از آن باعث **افزایش غلظت خون** شده که سبب مقاومت در مقابل جریان خون شده و خطرناک می‌باشد.



«بخش‌های خون پس از گریزانه (سانتریفیوژ)»

بررسی پلاسما (خوناب)

بیش از ٪۹۰ خوناب از **آب** تشکیل شده است. سایر قسمت‌های آن موادی مانند پروتئین‌ها، مواد غذایی، یون‌ها و مواد **دفعی** است که در آب **حل** شده‌اند و سبب ایجاد **فشار اسمزی** در خون می‌شوند.

نکته: 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. **مقدار هماتوکریت (خون‌بَهر) در ایجاد فشار اسمزی خون نقشی مستقیم ندارد چون یاخته‌ها در خون حل نمی‌شوند.** البته یاخته‌ها می‌توانند با تولید مواد محلول در پلاسما، در ایجاد فشار اسمزی خون نقش **غیرمستقیم** 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) و جذب و انتقال **یون‌ها** برای تنظیم pH خون.
- **هموگلوبین آزاد شده از گویچهٔ قرمز:** تنظیم pH خون با گرفتن H^+ از تجزیهٔ کربنیک اسید (مانع **پایین** آمدن pH خون و غیرفعال شدن پروتئین‌های خون می‌شود.) (هموگلوبین همانند انواع گلوبولین‌ها با جذب و انتقال یون‌ها در تنظیم pH خون مؤثر است.)

نکته: هموگلوبین تا وقتی درون گویچهٔ قرمز می‌باشد، جزء **هماتوکریت** است ولی اگر از گویچهٔ قرمز پیر خارج شود، در پلاسما قرار می‌گیرد تا تجزیه شود. این پروتئین در ذخیرهٔ **آهن**، انتقال گازهای تنفسی و تنظیم **pH خون** و جلوگیری از اسیدی شدن آن نقش دارد.

نکته: یون‌های **سدیم و پتاسیم** چون در فعالیت‌های یاخته‌های بدن نقش **کلیدی** دارند، وجود آن‌ها در **خوناب** اهمیت زیادی دارد. مقدار این دو یون در دو طرف یاخته به کمک پمپ سدیم پتاسیم حفظ می‌شود.

نکته: **مواد غذایی** خوناب (پلاسما) شامل کربوهیدرات‌ها و آمینواسیدها بوده و **مواد دفعی** آن شامل اوره، کربن دی‌اکسید و لاکتیک اسید می‌باشد که همگی **محلول** بوده و در ایجاد فشار اسمزی و برگرداندن آب میان‌بافتی به رگ نقش دارند.

بررسی اجزای درون هماتوکریت (خون‌بَهر)

خون‌بهر (هماتوکریت)، **حجمی** شامل گویچه‌های قرمز، گویچه‌های سفید و گِرده‌ها (پلاکت‌ها) می‌باشد که گویچه‌های **قرمز و سفید**، یاخته‌های خونی **کامل** می‌باشند ولی پلاکت‌ها (گِرده‌ها) **قطعاتی** از سیتوپلاسم یاخته‌های **بزرگ** به نام **مگاکاریوسیت‌ها** هستند.

تولید یاخته‌های خونی

در دوران جنینی و پس از تولد تا هنگام بلوغ، یاخته‌های خونی هم توسط مغز **قرمز** استخوان‌ها و هم توسط **کبد** و **طحال** ساخته می‌شوند (البته گره‌ها و اندام‌های لنفی در تولید لنفوسیت‌ها همواره مؤثرند). بعد از بلوغ، تولید یاخته‌های خونی و گِرده‌ها (پلاکت‌ها) **فقط** توسط یاخته‌های **بنیادی** مغز **قرمز** استخوان صورت می‌گیرد.

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.

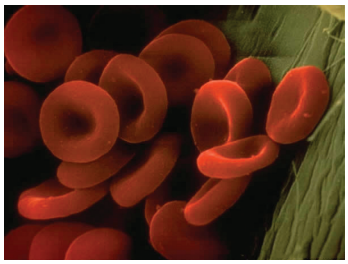
● نمودار بسیار مهم تولید یاخته‌های خونی

محل تولید یاخته‌های خونی و گِرده‌ها (پلاکت‌ها)

- بعد از تولد از دورهٔ **بلوغ** به بعد
  - یاخته‌های **بنیادی** مغز قرمز استخوان
  - **تقسیم** می‌شوند.
    - یا یاختهٔ بنیادی **لنفوئیدی** می‌سازند.
      - لنفوسیتB می‌سازند.
      - لنفوسیت T می‌سازند.
      - لنفوسیت کشنده فعال می‌سازند
      - مونوسیت‌ها و لنفوسیت‌ها از گویچه‌های سفید بی‌دانه (آگرانولوسیت) هستند.
      - دفاع اختصاصی می‌دهد.
    - یا یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** می‌سازند.
      - مونوسیت‌ها را می‌سازند
      - گویچه‌های سفید دانه‌دار (گرانولوسیت) را می‌سازند.
        - نوتروفیل
        - بازوفیل
        - ائوزینوفیل
        - دفاع غیراختصاصی می‌دهد.
      - یاخته‌های بزرگی به نام مگاکاریوسیت می‌سازند.
        - از قطعه‌قطعه شدن آن‌ها گِرده‌ها (پلاکت‌ها) ساخته می‌شوند.
        - در انعقاد خون مؤثرند.
      - گویچهٔ قرمز هسته‌دار اولیه را می‌سازند و بعد از خروج هسته آن‌ها
        - گویچهٔ قرمز کامل بی‌هسته ایجاد می‌کنند.
        - انتقال گازهای تنفسی را انجام می‌دهند.
- دوران **جنینی** و پس از تولد تا قبل از بلوغ
  - در کبد، طحال، گره‌های لنفی و یاخته‌های بنیادی مغز استخوان یاخته‌های خونی را می‌سازند.

نکتهٔ بسیار 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 دانه‌دار و بی‌دانه دارند. دانه‌دارها که هستهٔ **چندقسمتی** دارند، فقط توسط یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** تولید می‌شوند ولی گویچه‌های سفید بی‌دانه که هستهٔ **یک‌قسمتی** دارند، مونوسیت آن‌ها منشأ **میلوئیدی** و لنفوسیت آن‌ها منشأ **لنفوئیدی** دارند.

نکات گویچه‌های (یاخته‌های) خونی قرمز



«یاخته‌های خونی قرمز»

۱) بیش از ٪۹۹ یاخته‌های خون انسان را تشکیل می‌دهند و به خون، ظاهر قرمز رنگ می‌دهند. (بیشتر حجم **هماتوکریت** را ایجاد می‌کنند.)

۲) این یاخته‌ها، **کروی** هستند و از دو طرف **فرورفته** مقعر می‌باشند تا از کوچک‌ترین **مویرگ‌ها** نیز با انعطاف عبور کنند. در این یاخته‌ها هنگامی که هسته از یاختهٔ **میلوئیدی** منشأ آن‌ها خارج شد، به جایش هموگلوبین قرار می‌گیرد که این پروتئین سبب ایجاد شکلی کروی و فرو رفته از دو طرف می‌شود.

۳) گویچهٔ قرمز در **مغز استخوان ضمن تمایز از یاختهٔ بنیادی میلوئیدی**، **هستهٔ** خود را از دست داده و سیتوپلاسم آن‌ها پر از **هموگلوبین** پروتئینی می‌شود. (در مغز استخوان یاختهٔ بنیادی میلوئیدی ابتدا هسته دارند ولی برخی از آن‌ها طی ساخت گویچهٔ قرمز با خروج هسته به یک گویچهٔ قرمز تمایز می‌یابند و سپس وارد خون می‌شوند.)

۴) این یاخته‌ها قبل از تولد و پس از آن در کودکی در **مغز استخوان**، **کبد و طحال** ساخته می‌شوند ولی از سن **بلوغ** به بعد فقط توسط یاخته‌های **بنیادی میلوئیدی** حاصل از یاختهٔ بنیادی مغز قرمز استخوان ساخته می‌شوند.

۵) نقش **اصلی** گویچه‌های قرمز، **انتقال گازهای تنفسی** می‌باشد. این یاخته‌ها در انتقال ٪**۹۷** اکسیژن (به کمک هموگلوبین) و در انتقال ٪**۹۳** کربن دی‌اکسید خون نقش دارند. (٪۲۳ کربن دی‌اکسیدها توسط **هموگلوبین** و ٪۷۰ به کمک آنزیم **کربنیک انیدراز** گویچهٔ قرمز که باعث ایجاد کربنیک اسید شده، منتقل می‌شود. 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.)

* 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.

۶) 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 (فعالیت کتاب).

۷) 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.

۸) تخریب این **یاخته‌های خونی** آسیب‌دیده و مرده (گویچه‌های قرمز) 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. (همان‌طور که در فصل تنفس دیدیم **چهار** اتم آهن به همراه **چهار** گروه هم به **پروتئین** گلوبین چسبیده و هموگلوبین می‌سازد.)

نکته: کبد و طحال در دوران **جنینی** و پس از تولد تا **قبل** از بلوغ محل ساخت گویچه‌های خونی بوده ولی در **تمام** زندگی در تخریب گویچه‌های پیر و فرسوده نقش دارند.

نکته: **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 **قرمز کم** شود که به آن **آنمی یا کم‌خونی** می‌گوییم.

* **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 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 خانواده B در کارکرد همدیگر اثر دارند.)

۹) تنظیم تولید گویچه‌های قرمز: در بدن ما برای تنظیم تولید گویچه‌های قرمز خون، علاوه بر عواملی مثل آهن، ویتامین B_{12} و فولیک اسید، به ترشح **هورمونی** به نام **اریتروپویتین** نیز نیاز داریم. این هورمون در حالت **عادی** به **مقدار کم** ترشح شده و کمی در **خون** ما وجود دارد تا **کاهش معمولی** گویچه‌های قرمز ما را جبران کند. 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 به **طرز معنی‌داری** 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:

کاهش معمولی تعداد گویچه‌های قرمز ← ترشح کم اریتروپویتین از کبد و کلیه‌ها ← اثر بر مغز استخوان از راه خون ← جبران کمبود معمولی گویچهٔ قرمز

کاهش اکسیژن خون ← ترشح مقدار زیاد اریتروپویتین توسط کبد و کلیه‌ها ← اثر بر مغز استخوان از راه خون ← افزایش شدید گویچهٔ قرمز برای جذب اکسیژن

۱۰) 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 ٪۴۵ دیگر خون‌بهر می‌باشد.

۱۱) کاهش تعداد گویچه‌های قرمز و مقدار هموگلوبین درون آن‌ها را **آنمی یا کم‌خونی** می‌گویند که ممکن است علائمی مانند ضعف، خستگی زودرس و رنگ‌پریدگی داشته باشد. تشخیص قطعی آنمی با آزمایش خون صورت می‌گیرد و می‌توان با خوردن گوشت، جگر و سبزیجات تیره و تازه از بروز آن جلوگیری کرد.

گویچه‌های سفید، **کمترین** تعداد گروه یاخته‌های خونی را دارا هستند و تعداد آن‌ها حتی از پلاکت‌ها (گرده‌ها) 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.

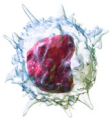
انواع یاخته‌های خونی سفید

- آن‌ها که یک هستهٔ چندقسمتی با سیتوپلاسم **دانه‌دار** دارند. = میان‌یاخته دانه‌دار دارند. (گرانولوسیت‌ها)
  - همگی از یاختهٔ بنیادی **میلوئیدی** مغز قرمز استخوان منشأ می‌گیرند.
  - **بازوفیل‌ها**: هستهٔ دوقسمتی **روی هم افتاده** و میان‌یاخته (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.

  - **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.

  - مخصوص دفاع **غیراختصاصی** در **همهٔ** جانوران می‌باشند.
- آن‌ها که یک هستهٔ یک‌قسمتی با سیتوپلاسم بدون دانه دارند. = میان‌یاخته بی‌دانه 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.
  - **لنفوسیت‌ها**
    - دو نوع B و T برای دفاع اختصاصی و انواعی برای دفاع غیراختصاصی دارند.
    - هستهٔ تک گرد یا **بیضی** به همراه سیتوپلاسم (میان‌یاخته) بی‌دانه دارند.

    - انواعی از آن‌ها در اندام‌ها و گره‌های لنفی نیز تولید می‌شوند.
    - نوع لنوسیت کشنده طبیعی آن در سد **دوم** دفاع غیراختصاصی نقش دارد (زیست 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.

نکته: 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.

نکات گرده‌ها (پلاکت‌ها)

۱) قطعات یاخته‌ای **بی‌رنگ** و **بی‌هسته‌ای** هستند که فاقد DNA **خطی** می‌باشند ولی درون خود **دانه‌های زیادی** دارند و از گویچه‌های خون 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 **میان‌یاخته‌ای** (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 قطعه گرده (پلاکت) **دانه‌های کوچک** پر از ترکیبات **فعال** وجود دارد که با آزاد شدن **یکی** از این ترکیبات از گرده‌ها و ورود آن به خوناب به نام آنزیم **پروترومبیناز**، فرایندی شروع می‌شود که در نهایت به **تشکیل لخته در محل خونریزی** می‌انجامد.

۵) در خونریزی‌های محدود که دیوارهٔ رگ **آسیب جزئی** می‌بیند، گرده‌ها (پلاکت‌ها) 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.

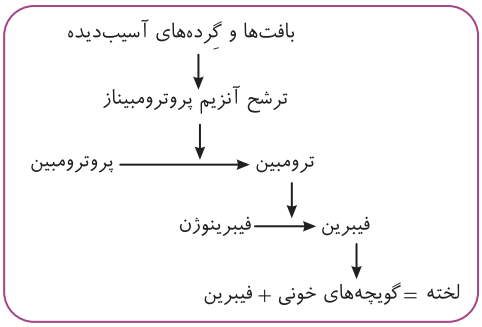
۶) در خونریزی‌های **شدید** و آسیب شدید دیوارهٔ رگ، گرده‌ها (پلاکت‌ها) در تولید لخته **نقش اصلی** دارند و با ترشح موادی مانند **آنزیم** پروترومبیناز و به کمک پروتئین‌های همیشگی **خوناب** همانند **فیبرینوژن و پروترومبین**، لخته را ایجاد می‌کنند تا جلوی خونریزی در محل گرفته شود.

نکته: وجود **ویتامین K** و **یون کلسیم** در انجام روند انعقاد خون و تشکیل لخته لازم است.

۷) آنزیم پروترومبیناز همواره به صورت فعال در **خون** وجود دارد. دقت کنید که این آنزیم در حالت معمولی در بخش **خون‌بهر** در درون گرده‌ها بوده و فعالیتی ندارد ولی در خونریزی شدید از خون‌بهر به خوناب وارد می‌شود و با فعالیت **کاتالیزوری** خود سبب شروع فرایند ایجاد لخته می‌شود.

● مکانیسم انعقاد خون

در خونریزی‌ها 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 پلاسماست به فیبرین **نامحلول**، نقش مهمی در ایجاد لخته ایفا می‌کند. لخته مجموعه رشته‌های **پروتئینی نامحلول فیبرین به علاوه یاخته‌های خونی** (مخصوصاً گویچه‌های قرمز) و گرده‌ها می‌باشد.



«رشته‌های پروتئینی فیبرین و یاخته‌های خونی در ایجاد لخته»

نکته: هر عاملی که در تنظیم کلسیم خون و ویتامین K خون نقش دارد، در انعقاد خون برای تبدیل پروترومبین به ترومبین نیز نقش دارد.

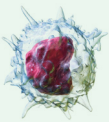
عوامل مؤثر در تنظیم کلسیم خون:
- هورمون **کلسی‌تونین** غدهٔ تیروئید ← کلسیم خون ↓ ← روند انعقاد خون را **کند** می‌کند.
- هورمون پاراتورمون از غدد پاراتیروئید ← کلسیم خون ↑
- ویتامین D ← جذب کلسیم در روده ↑

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)

← روند انعقاد خون را تسریع می‌کنند.

توجه کنید: 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.

جدول جمع‌بندی کلی نکات یاخته‌های خونی

ویژگی یاخته	هسته	میتوکندری (راکیزه)	DNA	منشأ در مغز استخوان	تنفس یاخته‌ای	نکتهٔ تکمیلی	شکل
گویچهٔ قرمز	در حالت **بلوغ** ندارد	ندارد	ندارد	بنیادی **میلوئیدی**	**بی‌هوازی**	در دوران جنینی و تا قبل از بلوغ در کبد، طحال و مغز استخوان ساخته می‌شوند.	
پلاکت (گِرده‌ها)	ندارد	دارد	**حلقوی**	میلوئیدی و مگاکاریوسیت	**هوازی**	بی‌رنگ با دانه‌های **زیاد** برای انعقاد خون هستند. (قطعات سیتوپلاسمی می‌باشند.)	
بازوفیل	**دو**قسمتی روی هم‌افتاده	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	سیتوپلاسم (میان‌یاخته) با دانه **تیره** دارد. دفاع غیراختصاصی به بدن می‌دهد. هپارین و هیستامین ترشح می‌کنند.	
ائوزینوفیل	**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	**چند**قسمتی	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	دفاع **غیر**اختصاصی دارد. فاگوسیتوز زیادی دارد. سیتوپلاسم با دانه‌های روشن **ریز** دارد. نیروهای واکنش سریع برای **بیگانه‌خواری** هستند. مواد دفاعی زیادی حمل نمی‌کنند و چابک هستند.	
مونوسیت	**تکی** خمیده یا لوبیایی	دارد	خطی و حلقوی	بنیادی میلوئیدی	هوازی	دفاع **غیر**اختصاصی دارد. منشأ ماکروفاژ و یاخته دندریتی بیگانه‌خوار بافتی است. سیتوپلاسم **بدون** دانه دارد.	
لنفوسیت	**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

جانداران **تک‌یاخته** چون اندازهٔ کوچک 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.

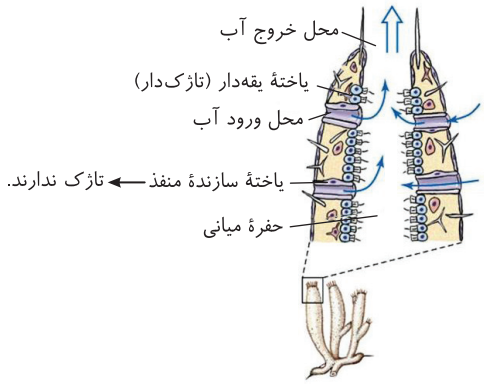
نکته: هر جاندار پریاخته‌ای به سیستم یا دستگاهی برای گردش مواد نیاز دارد که انواع سامانهٔ گردش آب، حفرهٔ گوارشی، حفرهٔ عمومی پر مایع یا سامانهٔ اختصاصی گردش مواد به صورت گردش خون باز یا بسته می‌باشد.

سامانهٔ گردش آب

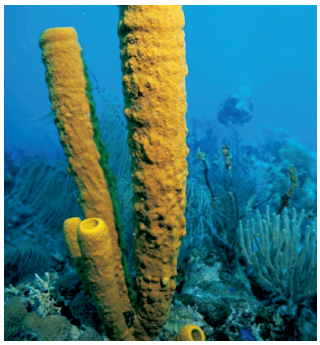
این سامانه در برخی از بی‌مهرگان مثل **اسفنج‌ها** دیده می‌شود که آب همراه با مواد غذایی از محیط بیرون از طریق **سوراخ‌های متعدد ورودی** دیواره که بین **یاخته‌ها** وجود دارد، وارد حفره‌ها و حفرهٔ میانی بدن می‌شود. سپس آب به کمک **یاخته‌های یقه‌دار** که در سمت داخل حفرهٔ میانی حاوی **تاژک** می‌باشند، در حفره 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 کیسه یا حفرهٔ بسته ندارند.)**

* در سامانهٔ گردش آب اسفنج‌ها، سوراخ‌های 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.



«گردش آب در بدن نوعی اسفنج»


«شکل انواعی از اسفنج»

نکته: در اسفنج‌ها گردش درونی مایعات در بدن وجود ندارد و از طرفی جانور تقریباً بی‌حرکت بوده و در جابه‌جایی مواد به‌جز توسط یاخته‌های تاژک‌دار نقشی ندارد.

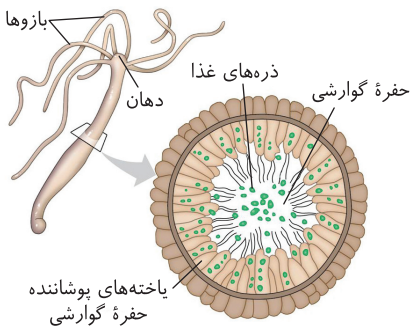
سامانهٔ حفره (کیسه) گوارشی

همان‌طور که در فصل گوارش بررسی کردیم، مرجانیان و برخی کرم‌های پهن، حاوی کیسه‌های 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 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 مرجانیان (کیسه‌تنان) مثل هیدر آب شیرین و عروس دریایی و همچنین در کرم‌های پهن آزادزی مثل **پلاناریا** وجود دارد که **کمی با هم متفاوتند**. همان‌طور که ذکر کردیم، در همهٔ آن‌ها مواد ابتدا در **خارج** یاخته‌ها، گوارش مکانیکی و شیمیایی می‌یابند و سپس گوارش شیمیایی **نهایی درون یاخته** انجام می‌گیرد. این سامانه که عمل **گوارش و گردش مواد** را انجام می‌دهد، یک سوراخ مشترک برای ورود و خروج مواد غذایی و دفعی دارد که در ادامه به معرفی آن‌ها در هر جانور می‌پردازیم.

● ۱) حفره یا کیسهٔ گوارشی هیدر آب شیرین

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 با حرکت جانور 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 کیسهٔ 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.



۲) حفرهٔ گوارشی عروس دریایی

در این گروه، حفرهٔ گوارشی، **انشعابات متعدد در چتر و بازوهای جانور** دارد و به گردش مواد جانور کمک می‌کند.

نکته: در جانوران دارای حفرهٔ گوارشی، **حرکات بدن** به جابه‌جایی مواد کمک می‌کند. این جانوران درون کیسهٔ گوارشی خود یاخته‌های **درشت‌خوار (فاگوسیتوزکننده)** و یاخته‌های ترشح‌کنندهٔ آنزیم گوارشی دارند همچنین جریان مواد درون کیسهٔ آن‌ها **دوطرفه** می‌باشد چون سوراخ دهانی و دفعی مشترک دارند.

نکته: **انشعابات** کیسهٔ گوارشی در عروس دریایی در **چتر و بازوهای جانور** وجود دارد.

۳) 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** مرجانیان، حرکات بدن به جابه‌جایی مواد کمک می‌کنند.

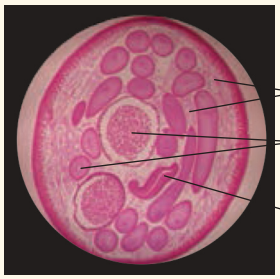
نکات پلاناریا:
- گوارش ← ابتدا برون‌یاخته‌ای و سپس درون‌یاخته‌ای به کمک کیسهٔ گوارشی منشعب
- گردش مواد ← به کمک کیسهٔ گوارشی با انشعابات متعدد در تمام نواحی بدن
- دفع مواد و تنظیم اسمزی:
  - سامانهٔ **پروتونفریدی** برای دفع **آب** دارند.
  - مادهٔ زائد نیتروژن‌دار **آمونیاک** را از سطح بدن دفع می‌کنند.
- دستگاه عصبی ← دو گره عصبی تشکیل دهندهٔ **مغز** و دو طناب عصبی **نردبان**مانند دارند.
- دفاع ← غیراختصاصی با **بیگانه‌خواری** دارند.

سلوم (حفرهٔ عمومی)

در جانورانی مثل کرم خاکی، حشرات و مهره‌داران که لولهٔ گوارش از **دهان تا مخرج** دارند در فاصلهٔ بین بخش **خارجی این دستگاه و سایر دستگاه‌ها** (مثلاً دستگاه گردش مواد یا تناسلی) با **دیوارهٔ داخلی بدن** آن‌ها فضایی به نام **سلوم یا حفرهٔ عمومی** وجود دارد. این حفره در اسفنج‌ها، پلاناریا و مرجان‌ها که مخرج جداگانه ندارند، دیده نمی‌شود.

نکته: برخی بی‌مهرگان مثل کرم‌های **لوله‌ای** در حفرهٔ عمومی یا سلوم خود، مملو از مایعی هستند که از آن برای **انتقال مواد** استفاده می‌کنند. این جانوران برخلاف کرم خاکی که از کرم‌های **حلقوی** می‌باشند، فاقد خون و دستگاه گردش خون می‌باشند و **سلوم** آن‌ها با انتقال مواد همان نقش دستگاه انتقال مواد را انجام می‌دهد. در حقیقت سلوم در جانورانی که سامانهٔ گردش خون دارند نیز وجود دارد ولی پر از مایع نمی‌باشد.

نکتهٔ مهم: سامانهٔ گردش آب در اسفنج‌ها، حفره (کیسه) گوارشی مرجانیان و سلوم کرم لوله‌ای، سامانه‌هایی برای گردش مواد و گوارش جانور و موارد دیگر مثل دفع مواد زائد می‌باشند ولی دستگاه گردش خون باز و بسته که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم، یک سامانهٔ اختصاصی، فقط برای **گردش مواد** می‌باشد که در جانوران تخصصی‌تر دیده می‌شود.



«کرم لوله‌ای و مقطع بدن آن»

در جانورانی مثل اسفنج‌ها، مرجانیان (هیدر و عروس دریایی)، کرم‌های پهن و لوله‌ای 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 یا گردش خون **باز و بسته** تقسیم‌بندی می‌شود که آن‌ها را در ادامه بررسی می‌کنیم:

الف) سامانهٔ (سیستم) گردش مواد (خون) باز

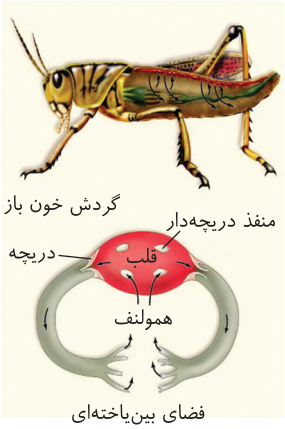
این سامانه مخصوص **بندپایان و بیشتر نرم‌تنان** می‌باشد. در این سامانه، خون و لنف در رگ‌ها و محل **جداگانه** قرار **ندارند.** بلکه به صورت مخلوط با هم در مایعی به نام **همولنف** قرار دارند. همولنف مجموعهٔ **خون، لنف و آب میان‌بافتی** جانور می‌باشد.

در بدن این جانوران **مویرگ وجود ندارد.** قلب آن‌ها به صورت قلب **لوله‌ای** در **سطح پشتی** بدن می‌باشد و حاوی **منافذ دریچه‌داری** برای **گرفتن** خون می‌باشد. این منافذ در هنگام **انقباض قلب، بسته** هستند، تا از طریق **رگ‌هایی**، همولنف را از دو طرف **جانبی** بدن به درون حفره‌های بدن (سینوس‌ها) پمپ کرده و مستقیماً وارد فضای بین اندام‌ها و یاخته‌ها کنند. 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 محدود **دریچه‌داری** فقط برای **خروج** خون از قلب نقش دارند.

نکته: در جانوران دارای گردش خون باز می‌توانیم از لفظ خون نیز به جای همولنف استفاده کنیم ولی بهتر است واژهٔ همولنف را به کار ببریم.

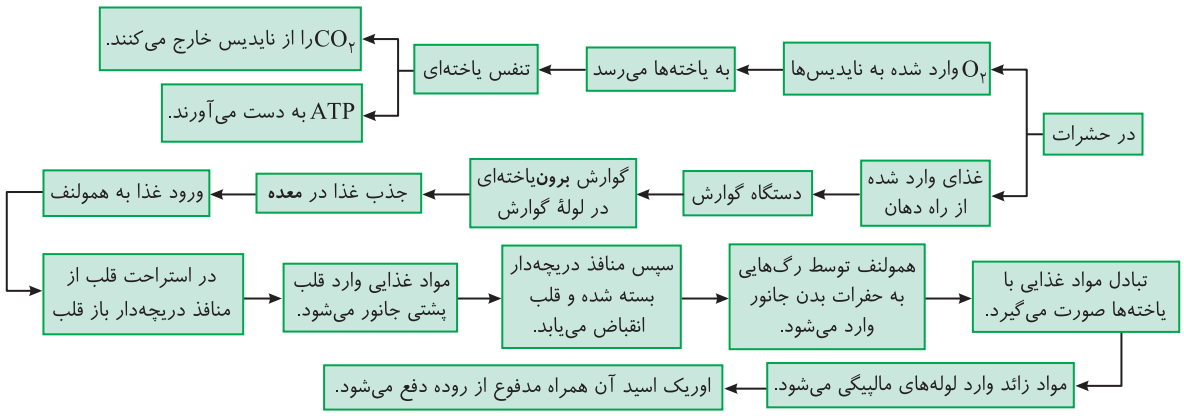
● گردش خون باز در جانوران دارای تنفس نایدیسی

حشرات چون سیستم تنفسی **نایدیسی** دارند، O_2 و CO_2 را مستقیماً در **انشعابات انتهای نایدیس‌ها** با یاخته‌ها تبادل می‌کنند، پس 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 CO_2 زیادی بود و خون روشن نیز حاوی 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 در قسمت **جلویی** بدن رگ‌ها و انشعابات متعددی برای **خروج** همولنف از قلب وجود دارد ولی 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.)

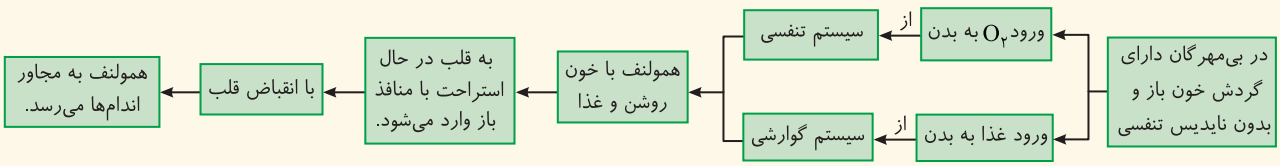


● گردش خون باز در جانوران فاقد تنفس نایدیسی

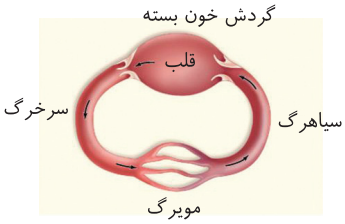
در جانوران دارای سامانهٔ گردش خون **باز** که سیستم تنفس نایدیسی **ندارند** (مثل عنکبوتیان، نرم‌تنان، خرچنگ‌ها و...) سیستم گردش خون باز و همولنف آن‌ها در انتقال **گازهای تنفسی، مواد غذایی و آب** نقش دارد و در آن‌ها **همولنف** با خون روشن پر O_2 یا تیرهٔ پر CO_2 معنی دارد.

در این جانوران سیستم تنفسی، O_2 را وارد همولنف کرده و سیستم گوارشی نیز غذای جذب شده از لولهٔ گوارش را وارد همولنف می‌کند. سپس همولنف پرغذا و دارای خون پر اکسیژن روشن از منافذ دریچه‌دار باز وارد قلب در حال **استراحت** می‌شود. سپس با انقباض قلب منافذ دریچه‌دار آن بسته شده و همولنف از راه سرخرگ‌های خروجی به اندام‌ها می‌رسد. پس از تبادل مواد در اندام‌ها، مواد زائد غذایی آن‌ها از اندام دفعی و CO_2 نیز توسط همولنف به اندام تنفسی رفته تا از بدن دفع شود.

نکته:



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 منافذ بدون دریچهٔ قلبی 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. در این جانور **یک رگ پشتی** به عنوان **قلب اصلی**، خون را به سمت **جلوی بدن** می‌راند. این رگ خون تیره را از بخش‌های لولهٔ گوارش گرفته و به سمت جلوی بدن هدایت می‌کند. در قسمت جلویی بدن **۵ جفت کمان رگی** یا **قلب کمکی** در **اطراف لولهٔ گوارش** (مخصوصاً در دو سمت مری) وجود دارد که با انقباض خود خون را به سمت **پایین و عقب** می‌برند. دقت کنید که **مویرگ‌ها** در **همهٔ** قسمت‌های بدن و **بین رگ‌های پشتی و شکمی** برای **تبادل مواد** وجود دارند. در حقیقت تلمبه ماهیچه‌ای رگ پشتی و کمان‌های رگی (قلب کمکی) سبب انتقال خون به رگ **شکمی** می‌شوند و رگ شکمی به عنوان **سرخرگ** خون را به **همهٔ** قسمت‌های بدن می‌رساند.

نکته: در کرم خاکی رگ شکمی دارای خون تیره، 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.

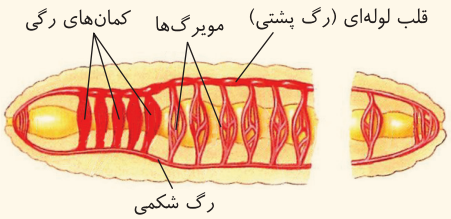
نکته: در گردش خون بسته، **همولنف** وجود ندارد. از طرفی دقت کنید که کمان‌های رگی یا قلب کمکی تنها قسمتی در بدن هستند که بین رگ پشتی و شکمی جانور حاوی بخش **بدون مویرگ** می‌باشند.

نکته:

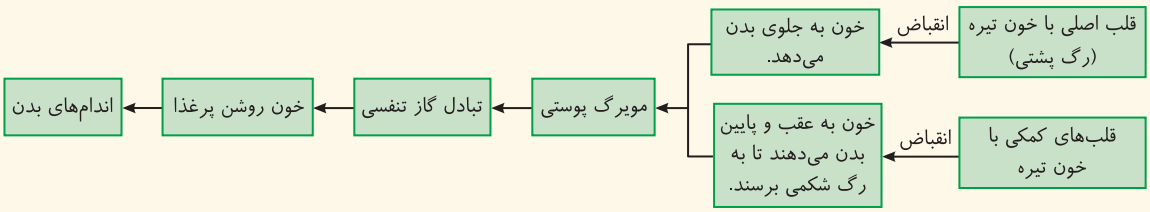
رگ پشتی کرم خاکی:
- لوله‌ای است.
- قلب اصلی است.
- خون را به جلوی بدن می‌دهد.

کمان‌های رگی:
- قلب کمکی است.
- خون را به پایین و رگ شکمی می‌دهد.

رگ شکمی ← خون را به عقب بدن می‌دهد.



نکته: سر و اندام‌های جلویی که قبل از کمان‌های رگی واقع هستند (مثل دهان و حلق جانور) خون خود را از انقباض رگ **پشتی** دریافت می‌کنند چون رگ شکمی خون را به بخش **عقبی** جانور هدایت می‌کند. البته این دو رگ اصلی پشتی و شکمی در جلوی سر و بخش انتهایی بدن به هم متصل می‌باشند.

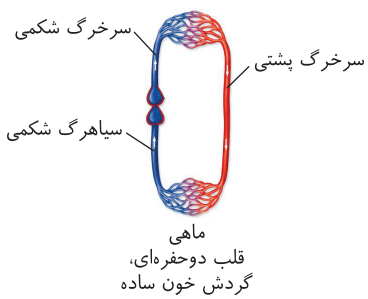


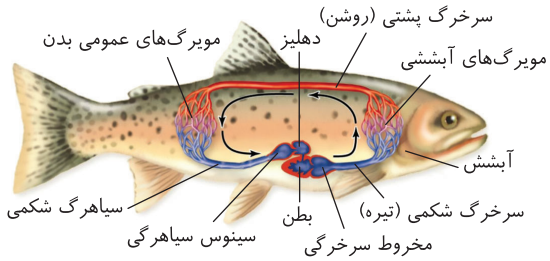
● گردش خون بسته در مهره‌داران

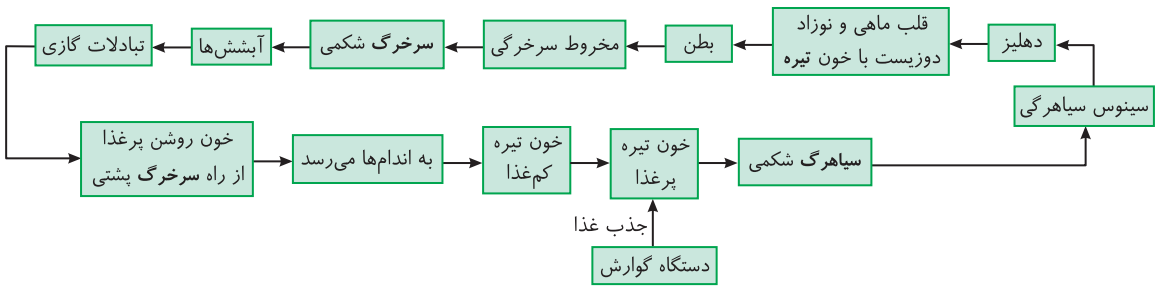
همهٔ مهره‌داران گردش خون **بسته** دارند که به دو صورت **ساده** یا **مضاعف** تقسیم‌بندی می‌شوند.

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 **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 مویرگ 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.







نکته: سرخرگ **پشتی** ماهی خون پر O_2 را از آبشش‌ها هم به سمت **جلوتر** به سر می‌رساند و هم به اندام‌های **عقبی** هدایت می‌کند. سیاهرگ شکمی ماهی خون پر CO_2 را از بخش‌های عقبی بدن به سمت **جلو** یعنی به سمت قلب می‌راند. از طرفی سرخرگ شکمی ماهی رگی است که خون تیره را از قلب به سمت **جلوی** بدن در آبشش‌ها می‌رساند.

نکته: در سینوس سیاهرگی، مخروط سرخرگی و درون حفرات قلب ماهی و نوزاد دوزیست، فقط خون **تیره** وجود دارد.

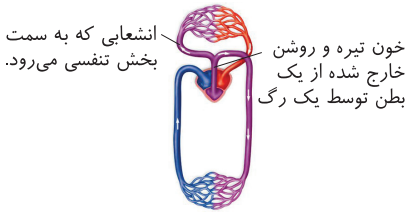
نکتهٔ مهم: مویرگ آبششی ماهی، همانند مویرگ **پوستی** کرم خاکی و شبکهٔ **اول** مویرگی در کلیهٔ انسان (گلومرول = کلافک)، در بین دو **سرخرگ** قرار دارد و فاقد بخش **سیاهرگی** می‌باشد. در حقیقت یاد بگیرید که رگ قبل از مویرگ، همواره **سرخرگ** می‌باشد. (به‌جز سیاهرگ باب ورودی به کبد که این رگ بین دو **مویرگ** در اندام‌های گوارشی و کبد قرار گرفته است.)

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 که خون ضمن **یک بار گردش در بدن**، **دو بار 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.

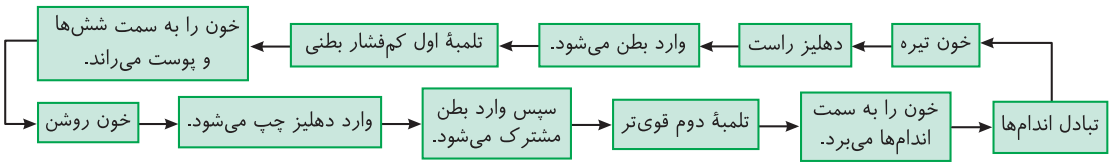
گردش خون در دوزیست بالغ

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 وارد یک بطن مشترک می‌شود و 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 منشعب شده تا به سمت اندام‌های تنفسی یا سایر اندام‌ها برود.



دوزیست
قلب سه‌حفره‌ای،
گردش خون مضاعف

خلاصه گردش خون در دوزیست بالغ

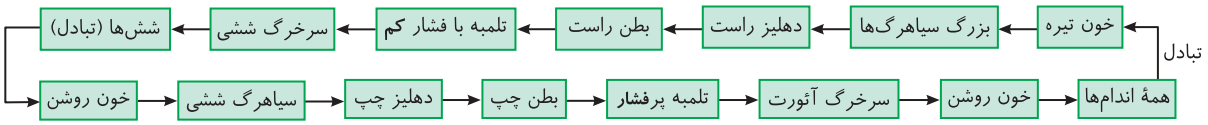


گردش خون در خزنده، پرنده و پستاندار

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



بیشتر بدانید

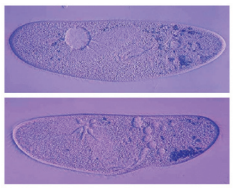
نکته: در سه گروه از خزندگان به نام مارها، لاک‌پشتیان و سوسمارها قلب با اینکه چهارحفره‌ای است ولی دیوارهٔ بین دو بطن کامل نشده است بنابراین کمی خون تیره و روشن در قلب مخلوط می‌شود و از فشار بالا برای گردش خون مضاعف در گردش عمومی بدن می‌کاهد.

درسنامهٔ جانوری

پارامسی

در **بسیاری** از تک‌یاخته‌ها تنظیم اسمزی با کمک انتشار و در **برخی دیگر** مانند پارامسی، آبی که در نتیجهٔ اسمز وارد می‌شود به همراه مواد دفعی توسط کُریچه‌های انقباضی دفع می‌شود.

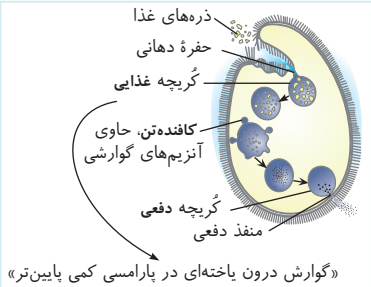
نکته: واکوئل انقباضی در تک‌یاختهٔ ساکن آب شیرین است.



«کریچهٔ انقباضی در پارامسی»

۱) گوارش

برخی از جانداران مواد مغذی را از سطح یاخته (مانند تک‌یاخته‌ای‌ها) یا بدن به‌طور مستقیم از محیط با انتشار دریافت می‌کنند.



«گوارش درون یاخته‌ای در پارامسی کمی پایین‌تر»

این محیط شامل
- آب دریا
- دستگاه گوارش
- مایعات بدن جانوران میزبان

نکته: در تک‌یاخته‌ای‌ها تبادل گاز، تغذیه و دفع بین محیط و یاخته از سطح آن انجام می‌شود. در جانداران پریاخته‌ای به دلیل زیاد بودن تعداد یاخته‌ها، **همهٔ** یاخته‌ها با محیط بیرون ارتباط ندارند و لازم است در آن‌ها دستگاه گردش موادی به وجود آید تا یاخته‌ها نیازهای غذایی و دفع مواد زائد خود را با کمک آن برطرف کنند.

نکته: جاندارانی که جذب مستقیم مواد غذایی از سطح یاخته یا بدن دارند یا **آبزی** هستند و یا **انگل**.

مراحل ورود مواد غذایی در پارامسی و خروج مواد دفعی از آن (پارامسی: یک تک‌یاختهٔ آغازی مژکدار است):

۱) حرکت مژک‌ها غذا را از محیط به حفرهٔ دهانی منتقل می‌کند.
۲) در انتهای حفره، **کریچهٔ غذایی** تشکیل می‌شود.
۳) **کریچهٔ غذایی** درون سیتوپلاسم حرکت می‌کند.
۴) اندامکی به نام **کافنده‌تن (لیزوزوم)**، که دارای آنزیم گوارشی است به آن می‌پیوندد و آنزیم‌های خود را به درون کریچه آزاد می‌کند.
۵) **نتیجه:** **کریچهٔ گوارشی** تشکیل می‌شود.
۶) مواد گوارش یافته از این کریچه خارج می‌شوند و مواد گوارش نیافته در آن باقی می‌مانند که به این کریچه، **کریچهٔ دفعی** می‌گویند.
۷) محتویات این کریچه از راه **منفذ دفعی** یاخته خارج می‌شود.

نکته: در پارامسی برای تنظیم آب یاخته‌ای **نوعی دیگر** از کریچه به نام **کریچهٔ انقباضی** یا ضربان‌دار وجود دارد که آبی را که از طریق اسمز وارد یاخته می‌شود از یاخته خارج می‌کند.

نکته: پارامسی **یک حفرهٔ دهانی دارد** ولی می‌تواند **بیش از یک منفذ دفعی** داشته باشد.

نکته: در محل حفرهٔ دهانی **برخلاف** منفذ دفعی مژک وجود دارد. ۴ واکوئل(کریچه) پارامسی:
- غذایی
- گوارشی
- دفعی
- انقباضی

نکته: تک‌یاخته‌ها مایع بین‌یاخته‌ای ندارند.

نکته: **همهٔ انواع** جانداران، توانایی تولیدمثل و حفظ هم‌ایستایی پیکر خود را دارند.

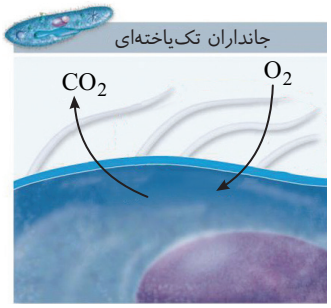
نکته: فعالیت این کریچه‌ها با مصرف ATP همراه است. (به‌طور واضح کریچهٔ انقباضی با بیرون راندن آب و کریچهٔ دفعی که با اگزوسیتوز همراه است.)

نکته: بر روی غذا **فقط** گوارش درون‌یاخته‌ای انجام می‌دهد و گوارش مکانیکی برون‌یاخته‌ای ندارد.

۲) تنفس مستقیم سطحی

در **تک‌یاخته‌ای‌ها** و جانورانی مثل کرم پهن یا هیدر آب شیرین، گازها می‌توانند بین یاخته‌ها و محیط مبادله شوند. اما در **سایر جانوران**، ساختارهای تنفسی ویژه‌ای مشاهده می‌شود که ارتباط یاخته‌های بدن را با محیط فراهم می‌کنند.

نکته: تنفس مستقیم سطحی برخلاف تنفس پوستی، **هیچگاه** وابسته به دستگاه گردش مواد برای انتقال گازهای تنفسی نیست.



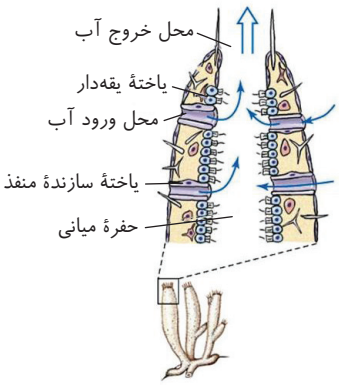
«تنفس از طریق انتشار در تک‌یاخته‌ای‌ها و هیدر یا کرم‌های پهن»

۳) گردش مواد

در تک‌یاختگان: به دلیل اندازه کوچک نسبت سطح به حجم زیاد است و تبادل گاز، تغذیه و دفع بین محیط و یاخته از **سطح** آن انجام می‌شود.

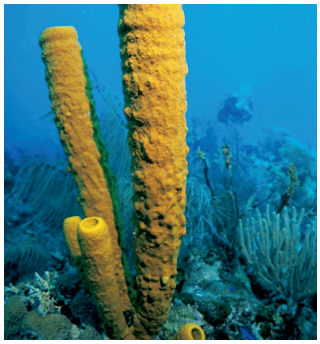
نکاتی در مورد اسفنج

برخی از بی‌مهرگان سامانهٔ انتقال ویژه‌ای دارند. اسفنج‌ها به‌جای گردش درونی مایعات، آب از محیط بیرون از طریق **سوراخ‌های** دیواره به حفره یا حفره‌هایی وارد و پس از آن از سوراخ یا سوراخ‌های بزرگتری خارج می‌شود.

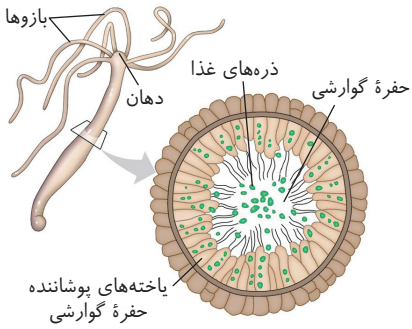


«گردش آب در بدن نوعی اسفنج»

اجزای اسفنج:
- **منافذ سطح** بدن که توسط یاخته‌های سازنده منفذ ایجاد می‌شوند.
- یاخته‌های دارای تاژک **یقه‌دار** که عامل وارد کردن آب از منافذ به حفرهٔ میانی هستند.
- **حفرهٔ میانی** بدن که محل اصلی تبادل مواد بین محیط و یاخته‌هاست.
- **منفذ اصلی** که محل خروج آب است.


«شکل انواعی از اسفنج»

هیدر (مرجانیان)



۱) گوارش

گوارش در بی‌مهرگان مانند مرجان‌ها، در کیسهٔ **منشعبی** به نام **حفرهٔ گوارشی** انجام می‌شود این حفره فقط **یک** سوراخ برای ورود و خروج مواد دارد، گردش مواد نیز درون همین کیسه و انشعابات آن انجام می‌شود.

نکته: **دو لایهٔ** یاخته‌ای دارد که با لایهٔ پروتئینی از هم جدا شده‌اند.

نکته: از گروه مرجانیان است که ۶ بازو دارد.

نکته: در هیدر **همهٔ** یاخته‌های حفرهٔ گوارشی بر روی غشای پایه قرار دارند.

نکته: حفرهٔ گوارشی در مرجانیان بین دستگاه گوارش و گردش مواد **مشترک** است که شامل ۳ بخش است:
- دهان
- حفره
- انشعابات حفره

انواع یاخته‌های پوشاننده حفرهٔ گوارشی در مرجانیان:
- ورود غذا از طریق دهان
- یاخته‌هایی در این حفره، آنزیم‌هایی ترشح می‌کنند که فرایند گوارش **برون‌یاخته** را شروع می‌کنند.
- ذره‌های غذایی را با **ذره‌خواری** (فاگوسیتوز) دریافت می‌کنند.
- فرایند گوارش **درون‌یاخته‌ای** در کریچه‌های غذایی ادامه می‌یابد.
- ذرات غذایی با **درون‌بری** (اندوسیتوز) وارد یاخته می‌شوند.

مراحل گوارش و جذب در مرجانیان:
- یاخته‌های ترشح‌کننده آنزیم گوارشی
- یاخته‌های تاژکدار (نقش مخلوط‌کنندگی در حفرهٔ گوارشی)
- **اغلب** یاخته‌های پوشاننده که توان فاگوسیتوز را دارند.
- یاخته‌های پوشاننده پیکره مرجانیان در لایهٔ خارجی.

نکته: **برخی** از یاخته‌های پوشاننده حفره می‌توانند تاژک داشته باشند و هم می‌توانند مواد غذایی را دریافت کنند.

نکته: **بسیاری** از جانوران درون بدن خود حفرهٔ گوارشی یا لولهٔ گوارشی دارند که این جایگاه در خارج از محیط داخلی (یعنی خارج از خون و یاخته‌های بدن) است.

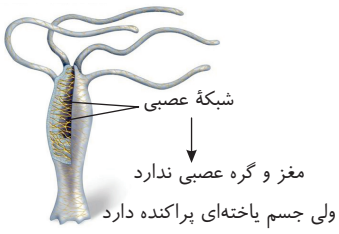
۲) گردش مواد

حفرهٔ گوارشی:
- مرجانیان مانند هیدر
- عروس دریایی
- کرم‌های پهن آزادزی مانند پلاناریا

در مرجانیان: مثل هیدر آب شیرین کیسهٔ گوارشی پر از مایعات علاوه بر گوارش وظیفه گردش مواد را نیز برعهده دارد.

در عروس دریایی: این سامانه انشعابات متعددی دارد که به گردش مواد در چتر و بازوهای جانور کمک می‌کند.

۳) دستگاه عصبی



«هیدر»

۱) ساده‌ترین ساختار عصبی و شبکهٔ عصبی در هیدر است (دستگاه عصبی ندارد، ساختار عصبی دارد).
۲) شبکهٔ عصبی مجموعه‌ای از نورون‌های پراکنده در دیوار بدن هیدر است که با هم ارتباط دارند.
۳) تحریک **هر** نقطه از بدن جانور در **همهٔ** سطح آن منتشر می‌شود.
۴) بخش عصبی مرکزی و محیطی ندارند.
۵) محلی برای پردازش ندارند به همین دلیل تحریک **یک** نقطه در **تمام** بدن منتشر می‌شود.
۶) شبکهٔ عصبی یاخته‌های ماهیچه‌ای بدن را تحریک می‌کند (بافت ماهیچه‌ای ندارد، یاختهٔ ماهیچه‌ای دارند).

نکته: **همهٔ** موجودات زنده به محرک‌های محیطی پاسخ می‌دهند.

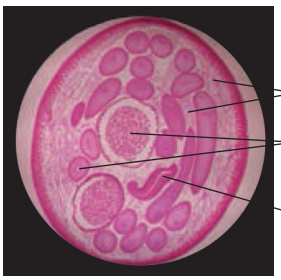
۴) اسکلت آب ایستایی

- در اثر تجمع مایع درون بدن به آن شکل می‌دهد. **عروس دریایی** اسکلت آب ایستایی دارد.
- در این جانوران، با فشار جریان آب به بیرون، جانور به سمت مخالف حرکت می‌کند.
- مانند حرکت بادکنک هنگام خالی شدن هوای آن است و باعث رانده شدن بادکنک در خلاف جهت خروج هوا می‌شود.

پلاناریا

۱) گوارش

در کرم‌هـای پهن آزادزی مثل پلاناریا: انشـعابات حفرهٔ گـوارش به **تمام** نواحی بدن نفـوذ می‌کند به‌طوری که فاصلهٔ انتشـار مواد تا یاخته‌ها **بسیار کوتاه** است. در این جانوران حرکات بدن به جابه‌جایی مواد کمک می‌کند.



«کرم لوله‌ای ماده و مقطع بدن آن»

نکته: با شکل‌گیری لولهٔ گوارش که از دهان شروع و به مخرج ختم می‌شود در فاصلهٔ بین بخش خارجی این دستگاه و دیوارهٔ داخل بدن فضایی شکل می‌گیرد که **سلوم** یا **حفرهٔ عمومی** بدن نامیده می‌شود.(پلاناریا سلوم ندارد.)

نکته: اسکلت پلاناریا از نوع **آب‌ایستایی** است.

۲) سامانه دفعی

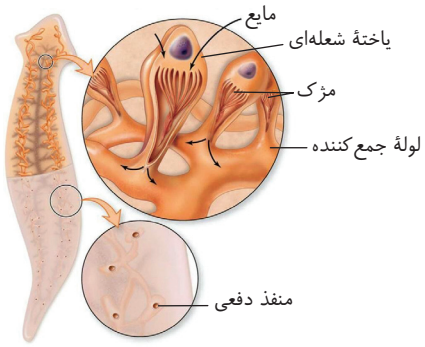
بیشـترین بی‌مهرگان دارای سـاختار مشخصی برای دفع هسـتند (مثلا کیسه‌تنان، اسفنج‌ها ساختار ویژه برای دفع ندارند).

در بی‌مهرگان سه سامانه برای دفع وجود دارد:
- نفریدی
- غدد شاخکی
- لوله‌های مالپیگی

نفریـدی: بـرای دو منظور کاربرد دارد: **تنظیم آب** و **دفع مواد نیتـروژن‌دار** (مواد نیتروژن‌دار بیشتر از سطوح به صورت انتشار دفع می‌شوند).

هر نفریدی **یک** لوله و **یک** منفذ خروجی دارد که شامل دو نوع است یکی ساده و پروتونفریدی و دیگری پیشرفته و متانفریدی.

پلاناریا از سامانهٔ پروتونفریدی بهره می‌برد ← **شبکه‌ای** از کانال‌هاست.



«پروتونفریدی در پلاناریا»

نکته: اهمیت سامانهٔ **پروتونفریدی بیشتر** در تنظیم آب است ولی متانفریدی دفع ترکیبات نیتروژن‌دار.

در طول کانال یاخته‌های شـعله‌ای قرار دارند، مایعات بدن وارد این یاخته‌ها می‌شـود و با ضربان مژه‌های این یاخته مایعات را به کانال دفعی هدایت و از منافذ دفعی خارج می‌کند.

نکته: **هر** سامانهٔ **پروتونفریدی** شامل سه بخش است: **۱. یاخته‌های شعله‌ای ۲. لوله‌های جمع‌کننده ۳. منافذ دفعی**

نکته: در پلاناریا **بیشتر دفع ترکیبات نیتروژن‌دار** از سطح بدن است و **بخشی** از آن نیز همراه با آب از پروتونفریدی.

نکته: سامانهٔ پروتونفریدی در **دو طرف** بدن پلاناریا می‌باشد.

نکته: مایعات درون یاخته‌های شعله‌ای فشار اسمزی بالایی دارند در نتیجه حرکت مایع به سمت درون یاختهٔ شعله‌ای است.

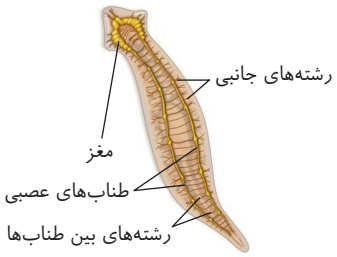
۳) دستگاه عصبی

۱) دو گره عصبی در سـر جانور مغز تشکیل داده‌اند که بهم جوش خورده نیستند (**هر** گره مجموعه‌ای از **جسم** یاخته‌ای عصبی است).

۲) مغز و **دو طناب عصبی** متصل به آن و رشـته‌های بین دو طناب در طول بدن جانور کشـیده شده‌اند بخش **مرکزی** دستگاه عصبی را تشکیل می‌دهند.

۳) دو طناب عصبی موازی با رشته‌های بهم متصل شده‌اند و ساختار نردبان‌مانندی را ایجاد می‌کنند. رشته‌های کوچکتر متصل به هر طناب بخش **محیطی** دستگاه عصبی را تشکیل می‌دهند.

۴) ساده‌ترین مغز و دستگاه عصبی و کمترین گره عصبی را دارد.



«پلاناریا»

● ۴) تولید مثل

۱) نرماده (هرمافرودیت) در **کرم‌های پهن** دیده می‌شود.

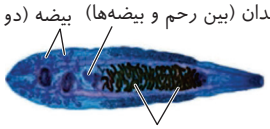
۲) در این جانوران، یک فرد **هر دو نوع** دستگاه تولیدمثلی نر و ماده را دارد.

۳) در کرم‌های پهن مثل پلاناریا و کرم کبد، **هر فرد** تخمک‌های خود را بارور می‌کند.

۴) هر کرم هم اسپرم و هم تخمک تولید می‌کند و بدون اینکه اسپرم‌ها و تخمک‌ها از بدن کرم خارج شوند، لقاح انجام می‌دهند و یاختهٔ تخم بوجود می‌آید.

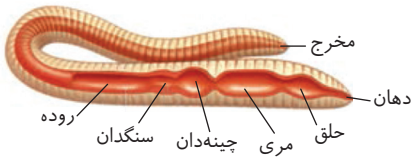
۵) دستگاه تولیدمثل **هر** کرم شامل بیضه‌های متعدد، یک تخمدان و یک رحم است.

۶) تولیدمثل جنسی در جانورانی که **حرکت کندی** دارند و یا امکان جفت‌یابی ندارند، مشکل‌ساز است؛ زیرا جفت‌یابی به سختی صورت می‌گیرد. رفع این مشکل به دو صورت انجام شده است که یکی از آن‌ها (هرمافرودیت) مربوط به کرم‌هاست.



کرم خاکی

● ۱) گوارش



۱) لولهٔ گوارش به ترتیب شامل دهان، حلق، مری، چینه‌دان، سنگدان و روده است.

۲) فاقد کیسهٔ معده است و **بخش انتهایی** ماهیچه‌ای آن یعنی سنگدان را دارد.

۳) چینه‌دان نسبت به سنگدان **حجیم‌تر** است.

۴) حلق عضلانی و دارای قدرت مکندگی است.

۵) مری در **ابتدا** نسبتاً حجیم است و در نزدیکی چینه‌دان کم‌حجم و سپس در چینه‌دان حجیم است.

۶) اولین شبکهٔ مویرگی در اطراف دهان است. رگ‌های کمانی در اطراف مری تشکیل قلب‌های کمکی را می‌دهند.

۷) شبکهٔ مویرگی مجاور قلب لوله‌ای از اطراف چینه‌دان و سنگدان شروع می شوند و تا **انتهای** روده ادامه می‌یابند.

۸) بخش انتهایی روده دوباره حجیم‌تر می‌شود.

۹) محل گوارش مکانیکی در سنگدان و گوارش شیمیایی و جذب مواد غذایی و آب در روده است.

● ۲) گردش مواد

سامانهٔ گردش خون بسته

- رگ‌های خونی در آن‌ها به صورت **شبکه‌ای** از سرخرگ‌ها، مویرگ‌ها و سیاهرگ‌هاست.
- مویرگ‌های در کنار یاخته‌ها و با کمک آب میان‌بافتی، تبادل مواد غذایی، دفعی و گازها را انجام می‌دهند.
- **فاقد همولنف** ولی دارای مایعات میان‌بافتی است.
- برگشت خون از طریق سیاهرگ انجام می‌گیرد.
- درکرم حلقوی نظیر کرم خاکی این سامانه وجود دارد.
- **تمام مهره‌داران**، سامانهٔ گردشی بسته دارند.
- گردش خون در مهره‌داران به‌صورت ساده (مثل ماهی و نوزاد دوزیستان) و یا مضاعف (مثل سایر مهره‌داران) است.

● انواع گردش خون بسته:

۱) گردش خون ساده: خون ضمن **یکبار** گردش در بدن **یکبار** از قلب دو حفره‌ای آن عبور می‌کند. مزیت ← انتقال یکباره خون اکسیژن‌دار به **تمام** مویرگ‌های اندام‌هاست.

۲) گردش خون مضاعف: خون، ضمن **یکبار** گردش در بدن **دو بار** از قلب عبور می‌کند. در این سامانه قلب به‌صورت **دو تلمبه** عمل می‌کند؛ **یک** تلمبه با فشار **کمتر** برای تبادلات گازی و تلمبهٔ **دیگر** با فشار **بیشتر** برای گردش عمومی فعالیت می‌کند.

نکته: سامانهٔ گردش خون مضاعف از دوزیستان بالغ به بعد شکل گرفته است.

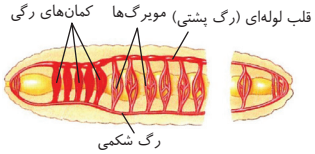
نکته: دوزیستان قلب **سه‌حفره‌ای** با دو دهلیز و یک بطن دارند که بطن خون را **یکبار** به شش‌ها و پوست و **سپس** به بقیهٔ بدن تلمبه می‌کند.

نکته: گردش کامل: گردشی که در آن خون تیره و روشن در آن مخلوط نشوند دوزیستان **برخلاف** پرندگان و پستانداران گردش کامل زمانی دارند.

کرم خاکی
- در گردش خون کرم خاکی یازده ساختار قلبی وجود دارد (یک رگ پشتی و ۵ جفت کمان رگی)
- ساختار قلبی **هیچکدام** منفذ و دریچه ندارند و حفره ای نیستند و **همه** لوله‌ای می‌باشند.
- **قلب اصلی** در مسیر رگ پشتی و قلب‌های کمکی بین رگ‌های پشتی و شکمی‌اند.
- نمی‌توان گفت **هر** شبکه مویرگی در عقب کمان‌های رگی است (مانند شبکه مویرگی اطراف دهان)
- می‌توان گفت **همهٔ** کمان‌های رگی از رگ پشت به شکمی هستند.
- شبکه مویرگی دهان از رگ پشتی به شکمی است و **تنها** عامل جریان خون در آن قلب اصلی است.
- **اولین** شبکهٔ مویرگی دور دهان است دور حلق شبکهٔ مویرگی نیست **همهٔ** کمان‌های رگی دور مری هستند، سایر شبکه‌های مویرگی از چینه‌دان شروع شده تا **انتهای** روده ادامه دارند.
- جهت حرکت خون در رگ پشتی عقب به جلو و در رگ شکمی جلو به عقب است.

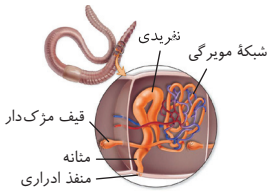
نکته: اسکلت کرم خاکی از نوع **آب‌ایستایی** است.

۳) تنفس



بی‌مهرگان خشکی‌زی سه نوع تنفس دارند:
- **برخی** تنفس پوستی مانند کرم خاکی
- **برخی** تنفس شبشی مانند حلزون و لیسه
- **اغلب** تنفس نایدیسی مانند حشرات و صدپایان

۴) سامانهٔ دفعی



سامانهٔ متانفریدی: **پیشرفته‌تر** از پروتونفریدی است. متانفریدی لوله‌ای است که در جلو قیف و مژکدار و در نزدیک **انتها** دارای مثانه است که به منفذ ادراری در خارج سطح بدن ختم می‌شود.

نکته: **دهانهٔ قیفی مژکدار** معادل یاختهٔ شعله‌ای است. لوله‌های پیچ‌خورده در سامانهٔ متانفریدی معادل لوله‌های پیچ‌خورده و شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای و لوله‌های جمع‌کننده است.

نکته: **برخلاف** پروتونفریدی در متانفریدی مثانه دیده می‌شود و سامانه پروتونفریدی **برخلاف** متانفریدی منافذ زیادی دارد.

نکته: دهانهٔ قیفی مژکدار **هر** سامانه در حلقهٔ مجاور است. **به‌طور معمول** هر حلقه، دو قیف و دو منفذ از دو سامانهٔ متانفریدی دارد.

نکته: حجم لولهٔ متانفریدی در **بخش‌های** مختلف متفاوت است که **حجیم‌ترین** آن در نزدیک مثانه (انتها) قرار دارد.

نکته: شبکهٔ مویرگی در **اطراف** بخش باریک لوله‌های نفریدی است.

۳) تولید مثل

۱) لقاح داخلی دارند.

۲) تولیدمثل جنسی در جانورانی که **حرکت کندی** دارند و یا امکان جفت‌یابی ندارند، مشکل‌ساز است؛ زیرا جفت‌یابی به سختی صورت می‌گیرد. رفع این مشکل به دو صورت انجام شده است که یکی از آن‌ها (هرمافرودیت) مربوط به کرم‌هاست.

۳) نرماده (هرمافرودیت) به‌طور مثال در **کرم‌های پهن** و **حلقوی** دیده می‌شود.

۴) در این جانوران، یک فرد **هر دو** نوع دستگاه تولیدمثلی نر و ماده را دارد.

۵) در **کرم‌های پهن** مثل **کرم کبد**، **هر فرد** تخمک‌های خود را بارور می‌کند.

۶) در مورد **کرم‌های حلقوی**، مثل **کرم خاکی**، لقاح دو طرفی انجام می‌شود؛ یعنی وقتی دو کرم خاکی در کنار هم قرار می‌گیرند، اسپرم‌های **هر کدام** تخمک‌های دیگری را بارور می‌سازد.

ملخ

۱) لولهٔ گوارشی

این لوله در اثر تشکیل مخرج شکل می‌گیرد که: ۱- امکان جریان یک طرفه غذا را ۲- بدون مخلوط شدن غذای گوارش یافته و مواد دفعی فراهم می‌کند. در نتیجه گوارش **کامل** شکل می‌گیرد.

ویژگی‌های لولهٔ گوارش:
- امکان جریان **یک طرفه** غذا
- **جلوگیری از مخلوط شدن** غذا با مادهٔ دفعی
- **جدا شدن** دهان از مخرج
- **افزایش کارایی** گوارش و جذب

۱) **آرواره و دهان**: حشره‌ای **گیاه‌خوار** است و با استفاده از آرواره‌ها مواد غذایی را خرد و به دهان منتقل می‌کند.

۲) **بزاق**: غذا را برای عبور از لولهٔ گوارش **لغزنده** می‌کند (گوارش شیمیایی).

۳) **آمیلاز بزاق**: گوارش **کربوهیدرات** را در دهان آغاز می‌کند.

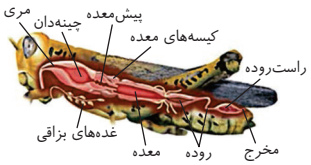
۴) **مری**: غذا خرد شده از طریق مری به چینه‌دان وارد می‌شود (انتقال‌دهنده غذا در حال گوارش).

۵) **چینه‌دان**: **بخش حجیم** انتهای مری است که در آن غذا **ذخیره** و **نرم** می‌شود گوارش کربوهیدارت در چینه‌دان ادامه می‌یابد.

۶) **پیش‌معده**: غذا به **بخش کوچکی** به نام پیش‌معده وارد می‌شود. دیواره‌های پیش‌معده دندانه‌هایی دارد که به خرد شدن **بیشتر** غذایی کمک می‌کند (حرکات مکانیکی).

۷) معده و کیسه‌های معده:
- آنزیم‌هایی ترشح می‌کنند که به پیش‌معده وارد می‌شوند.
- حرکات **مکانیکی** پیش‌معده و عملکرد آنزیم‌ها ذرات ریزی ایجاد می‌کنند که به کیسه‌های معده وارد و گوارش برون‌یاخته‌ای کامل می‌شود.
- **جذب** در معده صورت می‌گیرد.

۸) **روده و راست روده و مخرج**: مواد **گوارش نیافته** پس از عبور از روده به راست روده وارد شده و آب و یون‌های آن **جذب** و سرانجام مدوفوع از مخرج خارج می‌شود.



نکته: دهان محل **شروع** گوارش شیمیایی (فقط برای کربوهیدرات) است.

نکته: غدد بزاقی در ملخ **در زیر** چینه‌دان و پیش‌معده قرار دارند.

نکته: **سه وظیفه اصلی چینه‌دان**:
- **ذخیرهٔ موقتی** غذا
- **نرم‌تر کردن** غذا (از طریق خیساندن گوارش مکانیکی)
- **ادامهٔ** گوارش شیمیایی کربوهیدرات‌ها

پیش‌معده:
- پیش‌معده **عضلانی‌ترین** بخش لولهٔ گوارش است و آنزیم ترشح نمی‌کنند.
- **تنها** محل **مشترک** گوارش مکانیکی و شیمیایی در ملخ است.
- **آخرین** محل گوارش مکانیکی در ملخ است.

نکته: کیسه‌های معده باعث **افزایش** سطح معده می‌شود و گوارش برون‌یاخته‌ای در کیسه‌های معده تکمیل می‌شود.

نکته: کیسه‌های معده در **اطراف** پیش‌معده و قبل از معده قرار دارند که جذب مواد غذایی ندارند.

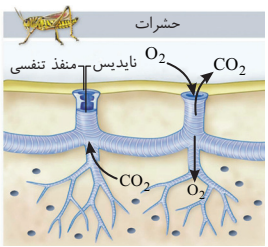
نکته: معده **حجیم‌ترین** بخش لولهٔ گوارش است.

نکته: جانوران دیگری مانند کرم خاکی و پرندگان دانه‌خوار نیز چینه‌دان دارند که در آن غذا ذخیره می‌شود. این ساختار به جانور امکان می‌دهد تا دفعات **کمتر** تغذیه انرژی مورد نیاز خود را تامین کند.

نکته: سنگدان از بخش **عقبی** معده تشکیل شده است و دارای ساختار ماهیچه‌ای است. **سنگریزه‌هایی** که پرنده می‌بلعد، فرایند آسیاب کردن غذا را تسهیل می‌کند.

● ۲) تنفس نایدیسی

نایدیس، لوله‌های **منشعب** و مرتبط بهم هستند.



چهار بخش سیستم نایدیسی
- منافذ تنفسی سطح بدن
- دریچه‌های منفذ تنفسی که **به‌طور معمول** بسته‌اند. ← **معادل سیستم هادی**
- نای و انشعابات **اولیه** قطورتر هستند.
- انشعابات **انتهایی** نازک‌تر ← **معادل بخش مبادله‌ای**

خصوصیات انشعابات پایانی
- در کنار و **تمام** یاخته‌های بدن قرار می‌گیرند.
- بن‌بست می‌باشند.
- دارای مایعی است که تبادلات گازی را **ممکن** می‌کند.
- انتشار گاز بین نایدیس و یاخته‌های بدن از طریق **انتشار** مبادله می‌شود.

نکته: فاصله بین نایدیس و یاخته‌ها به اندازه **چند میکرون** است.

نکته: این نوع تنفس در بی‌مهرگان خشکی‌زی مانند **حشرات** و **صدپایان** وجود دارد.

نکته: در این جانداران دستگاه گوارش مواد نقشی در انتقال گازهای تنفسی ندارد.

نکته: تنفس نایدیسی برخلاف پوستی از **همه** سطح بدن صورت نمی‌گیرد بلکه **فقط** از محل منافذ صورت می‌گیرد.

نکته: **هر** نایدیسی منفذ دارد.

نکته: در نایدیس‌ها باز شدن منفذ **جهت** ورود هوا و خروج CO_2 و بسته شدن برای **جلوگیری** از هدر رفت آب است.

نکته: در تنفس نایدیسی **برخلاف** تنفس انسان، بازدم وابسته به انقباض و دم در هنگام استراحت ماهیچه‌هاست.

نکته: در خون و همولنف گازهای تنفسی وجود دارد ولی در **انتقال گازهای تنفسی نقشی ندارد.**

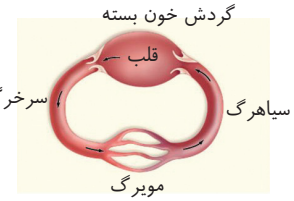
● ۳) گردش مواد

نکته: در جانوران **پیچیده‌تر**، دستگاه اختصاصی برای گردش مواد شکل می‌گیرد که در آن مایعی برای جابه‌جایی مواد وجود دارد. در جانوران **دو نوع** سامانهٔ گردش مواد مشاهده می‌شود:

۱) سامانهٔ گردش خون باز

۲) سامانهٔ گردش خون بسته

گردش خون بسته



سامانهٔ گردش خون باز
- خــون، لنف و مایع میان‌بافتــی ندارند و به‌جای آن **همولنف** دارند.
- قلب همولنف را به حفره‌های بدن پمپ می‌کند.
- این جانوران **مویرگ ندارند** و همولنف مستقیما به فضای بین‌یاخته‌ای وارد می‌شود.
- قلب **همگی** لوله‌ای است یعنی رگ ضربان‌دار است و حفره‌های دهلیز و بطن ندارند.
- در قلب، خروج همولنف از طریق رگ و ورود از طریق **منفذ** است.
- منفذ در هنگام استراحت **باز** و در هنگام انقباض قلب **بسته** است.
- بندپایان و **بیشتر** نرم‌تنان سامانهٔ گردشی باز دارند.

● ۴) دستگاه عصبی

❊ تنفس نایدیسی، گردش خون **باز**، قلب لوله‌ای و همولنف دارند، دفع مواد از طریق لوله‌های مالپیگی و **دفع اسید اوریک** دارند.

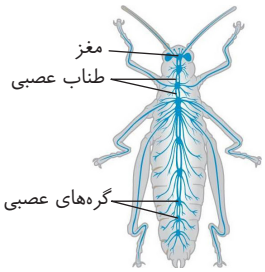
❊ مغز حشرات از **چند گره** بهم جوش خورده تشکیل شده است.

❊ **یک** طناب عصبی شکمی در طول بدن جانور کشیده شده است و در **هر بند** از بدن یک گره عصبی دارد.

❊ **هر گره** فعالیت ماهیچه‌ای آن بند را کنترل می‌کند.

❊ نسبت به مغز پلاناریا دو تغییر دارد: **۱)** تعداد گره‌های **بیشتر ۲)** بهم جوش خورده‌اند.

❊ گره‌ها در حشــرات دو دسته‌اند: تشکیل‌دهنده مغز و گره‌های متصل به طناب عصبی که جز دستگاه عصبی محیطی هستند.



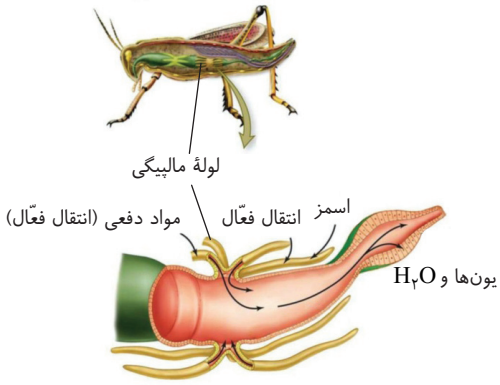
«ملخ»

نکته: در حشــرات **گره‌های جوش خورده تشــکیل‌دهنده مغز** فعالیت **کل بدن** و **گره‌هــای جدا از هم روی طناب** فعالیت ماهیچه‌های **هر بند** را کنترل می‌کنند.

● ۵) لوله مالپیگی

برخلاف نفریدی ســاختار قیفی و شعله‌ای نداشته و انشــعابات زیادی دارد. سامانهٔ مالپیگی در اتصال با قسمت **ابتدایی** روده است (مانند حشرات).

مکانیسم دفع:
- **ترشح** یون پتاسیم و کلر از همولنف به درون لوله(با مصرف انرژی)
- **افزایش فشار اسمزی** و ورود آب به درون لوله (غیر فعال)
- **ترشح** اسید اوریک و مواد معدنی به درون آن
- **ورود** این مواد به روده و **بازجذب** آب و یون‌های آن‌ها به روده
- **دفع** اسید اوریک و مواد دفعی دیگر



«لوله‌های مالپیگی»

نکته: از نظر ترتیب: یون‌ها (پتاسیم و کلر)- آب (اسمز)- اوریک اسید (ترشح)

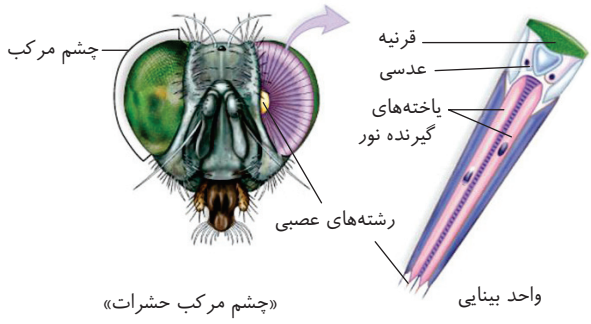
نکته: در ســامانهٔ مالپیگی **فقط** ترشح وجود دارد **برخلاف** متانفریدی هم ترشح و هم باز جذب دارد (باز جذب مربوط به راست‌روده است).

● ۶) گیرنده‌های نوری چشم مرکب

❊ چشم مرکب که در حشرات دیده می شود، از تعداد زیادی واحد بینایی تشکیل شده است.

❊ **هر** واحد بینایی، **یک** قرنیه، **یک** عدســی و **تعدادی** گیرندهٔ نوری دارد. **هر** یک از این واحدها تصویر کوچکی از **بخشــی** از میدان بینایی را ایجاد می‌کنند. دستگاه عصبی جانور، این اطلاعات را یکپارچه و تصویری **موزاییکی** ایجاد می‌کند.

❊ گیرنده‌های نوری **برخی** حشرات مانند زنبور، پرتوهای **فرابنفش** را نیز دریافت می‌کنند.



«چشم مرکب حشرات»

نکته: **واحد** بینایی چشم مرکب **فاقد** زلالیه، زجاجیه، عنبیه، مردمک، ماهیچه‌های مژکی، صلبیه، شبکیه و مشیمیه است.

نکته: چشم مرکب توانایی تشخیص **جزئیات تصویر** را ندارد ولی می‌تواند **جزئیات حرکت** را تشخیص دهد.

نکته: **همهٔ** جانوران دارای چشم مرکب در چشم خود گیرنده نوری دارند ولی **برخی** از آنان علاوه بر گیرنده‌های نوری گیرنده‌های **فرابنفشی** هم دارند.

نکته: میدان دید چشم مرکب نسبت به چشم ساده **بسیار بیشتر** است.

اسکلت بیرونی:
- **حشرات و سخت پوستان نمونه‌هایی** از جانوران دارای اسکلت بیرونی هستند.
- در این جانوران، اسکلت **علاوه بر** کمک به حرکت، وظیفهٔ حفاظتی هم دارد.
- با افزایش اندازهٔ جانور، اسکلت خارجی آن هم باید **بزرگ‌تر** و **ضخیم‌تر** شود.
- بزرگ بودن **اسکلت خارجی**، باعث سنگین‌تر شدن آن می‌شود که در حرکات جانور محدودیت ایجاد می‌کند. به همین علت، اندازهٔ این جانوران از حدّ خاصی **بیشتر** نمی‌شود.

❊ **برخی** از باکتری‌های خاکزی، پروتئین‌هایی تولید می‌کنند که حشرات مضر برای گیاهان زراعی را می‌کُشند.

❊ **پیش سم غیرفعال** تولید شده توسط باکتری وارد بدن حشره می‌گردد و تحت تأثیر آنزیم‌های گوارشی موجود در لولهٔ گوارش حشره **شکسته و فعال** می‌شود.

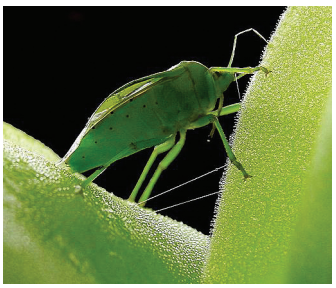
❊ سم فعال شده باعث تخریب یاخته های لولهٔ گوارش و سرانجام مرگ حشره می‌شود.

❊ همان طورکه در شکل می‌بینید **نوزاد کرمی شکل** (لارو) به درون غوزه نارس پنبه نفوذ می‌کند. حشره در اثر خوردن گیاه مقاوم شده از بین می رود و فرصت ورود به درون غوزه را از دست می‌دهد.

❊ مثلاً **حشره‌های کوچک** نمی‌توانند روی برگ‌های کرک‌دار به راحتی حرکت کنند.

❊ همچنین اگر **گیاه مواد چسبناک** ترشح کند، حرکت حشره دشوارتر و گاه غیرممکن می‌شود.

❊ بعضی گیاهان در پاسخ به زخم، ترکیباتی ترشح می‌کنند که در محافظت از آن‌ها نقش دارند. گاه حجم این ترکیبات آن‌قدر زیاد است که **حشره در آن به دام** می‌افتد. با سخت شدن این ترکیبات، سنگواره‌هایی ایجاد می‌شود که حشره در آن حفظ شده است.



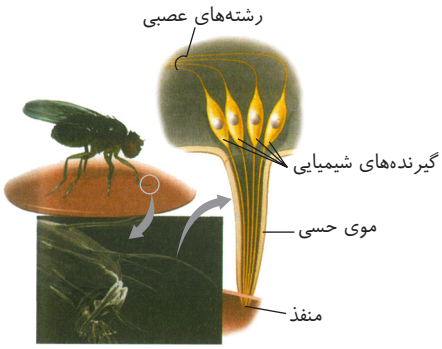
«سنگواره تشکیل شده از ترشحات گیاه و حشره»

❊ گیاهان ترکیباتی تولید می‌کنند که سبب مرگ یا بیماری **گیاه‌خواران** می‌شوند. ترکیبات سیانیددار از این گروه‌اند که در تعدادی از گونه‌های گیاهی ساخته می‌شوند. سیانید تنفس یاخته‌ای را متوقف می‌کند.

مگس

● گیرنده‌های شیمیایی در پا

❊ در **مگس**، گیرنده‌های **شیمیایی** که مزه‌ها را تشخیص می‌دهند، در موهای حسی **روی پاهای** آن قرار دارند. مگس‌ها به کمک این گیرنده‌ها انواع مولکول‌ها را تشخیص می‌دهند.



«گیرندهٔ شیمیایی در مگس»

نکته: این گیرنده‌های شیمیایی در پروانه‌ها روی موهای حسی در نوک شاخک قرار دارند.

نکته: گیرنده‌های شیمیایی تشخیص مزه در مگس از نوع گیرنده‌های **بدون غلاف** است که **ابتدای** دندریتی آن‌ها از منفذ خارج شده است.

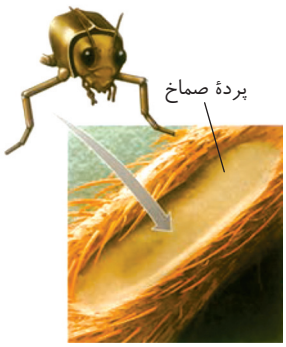
نکته: ساختار گیرنده‌های شیمیایی تشخیص مزه در مگس **مشابه** گیرنده‌های بویایی انسان هستند.

نکته: تمام ویژگی‌های کلی و بیان شده در قسمت حشرات شامل حال مگس نیز می‌شود!

جیرجیرک

گیرندهٔ مکانیکی صدا در پا

* **روی هر پای جلویی** جیرجیرک **یک** محفظهٔ هوا وجود دارد که پردهٔ صماخ روی آن کشیده شده است.
* لرزش پرده در اثر امواج صوتی، گیرنده‌های مکانیکی متصل به پرده را تحریک کرده و جانور صدا را دریافت می‌کند.



پردهٔ صماخ در جیرجیرک

نکته: **برخلاف** گیرنده‌های شیمیایی مگس که **روی کل پاها** قرار دارند در جیرجیرک گیرنده‌های **فقط** روی پاهای جلویی قرار دارند.

نکته: در جیرجیرک **برخلاف** انسان، گیرنده‌های مکانیکی حساس به ارتعاش **مستقیما** در اتصال به پرده‌های صماخ قرار دارند.

نکات زادآوری نوعی جیرجیرک

۱) در **نوعی جیرجیرک**، جانور نر هزینهٔ **بیشتری** در تولید مثل می‌پردازد و بنابراین جفت را انتخاب می‌کند.
۲) جیرجیرک نر زامه‌های خود را درون **کیسه‌ای** به همراه مقداری مواد مغذی به جانور ماده منتقل می‌کند.
۳) جانور ماده هنگام تشکیل تخم و برای رشدونمو جنین به مواد مغذی درون کیسه نیاز دارد.
۴) این کیسه **بخش قابل توجهی** از وزن بدن جانور نر را تشکیل می‌دهد.
۵) جانور نر، جیرجیرک ماده‌ای را انتخاب می‌کند که **بزرگ‌تر** باشد، زیرا بزرگ‌تر بودن جیرجیرک ماده نشانهٔ آن است که تخمک‌های **بیشتری** دارد و می‌تواند زاده‌های **بیشتری** تولید کند.
۶) در این جانوران جیرجیرک‌های ماده برای انتخاب شدن رقابت می‌کنند.
۷) صدای جیرجیرک نر، اطلاعاتی مانند گونه و جنسیت را به اطلاع جیرجیرک ماده می‌رساند.

«جیرجیرک ماده‌ای که کیسه دارای اسپرم و مواد مغذی (بخش سفید رنگ) را دریافت کرده است»

ارتباط شیمیایی در جانوران

۱) در دنیای جانوران از ارتباط شیمیایی **نه فقط** برای ارتباط بین یاخته‌ها، **بلکه** برای ارتباط افراد با یکدیگر نیز استفاده می‌شود.
۲) فرومون‌ها موادی هستند که از **یک فرد** ترشح شده و در **فرد یا افراد دیگری** از **همان گونه** پاسخ‌های رفتاری ایجاد می‌کند.
۳) فرومون‌ها **ساده‌ترین** شکل برقراری ارتباط رفتاری بین جانوران است.
۴) فرومون در بین افراد **غیرهم‌گونه** دریافت می‌شود ولی بروز پاسخ رفتاری مناسب **فقط** مربوط به افراد **هم گونه** است.
۵) فرومون‌ها **برخلاف** هورمون‌ها پاسخ رفتاری در فرد دیگر ایجاد می‌کنند.
۶) مثلاً **زنبور** از فرومون‌ها برای **هشدار** خطر حضور شکارچی به دیگران استفاده می‌کند.

۷) **مارها** قادرند با گیرنده‌هایی شیمیایی زبانشان، فرومون‌های موجود در هوا را تشخیص دهند و از **وجود جانوران در اطراف** خود آگاه شوند.
۸) **گربه‌ها** از فرومون‌ها برای **تعیین قلمرو** خود استفاده می کنند.
۹) در جانورانی مانند حشرات **بیشترین** استفاده را از فرومون می‌برند و در پستانداران استفاده از فرومون **کمتر** است.

نقش فرومون
- هشدار خطر برای زنبورها
- علامت وجود غذا برای مارها
- تعیین قلمرو در گربه‌ها
- مسیریابی مثل مورچه‌ها
- جفت‌یابی مخصوص در پستانداران

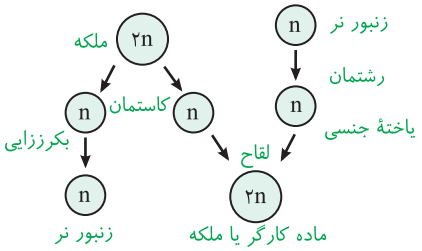
نکاتی در مورد مورچه

« مور ۀ بزرگ‌تر کارگری است که برگ را برش داده و به لانه حمل می‌کند و مور ه‌های کو ک‌تر که روی برگ قرار دارند، از آن دفاع می‌کنند.»

۱) **برخی** جانوران مانند مورچه و گرگ به شکل گروهی زندگی می‌کنند و با هم همکاری دارند.
۲) اجتماع مورچه‌ها از گروه‌هایی تشکیل شده است که در اندازه، شکل و کارهایی که انجام می‌دهند تفاوت دارند.
۳) مثلاً در اجتماع **مورچه‌های برگ‌بر**، کارگرها اندازه‌های متفاوتی دارند.
۴) **تعدادی** از آن‌ها برگ‌ها را برش می‌دهند و به لانه حمل می‌کنند و **گروهی دیگر** کار دفاع را انجام می‌دهند.
۵) این مورچه‌ها قطعه‌های برگ را به عنوان کود **برای پرورش نوعی قارچ** که از آن تغذیه می کنند، به کار می‌برند.
۶) **انبوهی از مورچه‌ها** به حشره‌ای که قصد خوردن برگ‌های درخت آکاسیا را دارد، هجوم برده‌اند. بعید است که حشره بتواند از حمله‌های مرگبار این مورچه‌ها جان سالم به در برد.
۷) دیده شده است که این مورچه‌ها حتی به **پستانداران کوچک** و **گیاهان دارزی** نیز حمله می‌کنند.
۸) مشخص شده است وقتی **گل‌های آکاسیا** باز می‌شوند، نوعی ترکیب شیمیایی تولید و منتشر می‌کنند که با فراری دادن مورچه‌ها مانع از حملهٔ آن‌ها به زنبورهای گرده‌افشان می‌شود.

«این مورچه‌ها در حقیقت از محل زندگی خود محافظت می‌کنند.»

زنبور



• نکاتی که در مورد حشرات بیان شده در مورد زنبور هم صدق می‌کند.

نکته: زنبور ملکه و کارگر هر دو **دیپلوئید** هستند که از لقاح اسپرم و تخمک به وجود آمده‌اند (لقاح داخلی).

نکته: زنبور نر **هاپلوئید** بوده و حاصل بکرزایی زنبور ملکه است.

نکته: یاخته تخمک حاصل تقسیم میوز زنبور ملکه است در حالی که یاخته اسپرم حاصل تقسیم میتوز در زنبور نر است.

نکته: **بکرزایی** نوعی دیگر از تولیدمثل جنسی است و برای مثال، در **زنبور عسل** دیده می‌شود.

نکته: گیرنده‌های نوری **برخی** حشرات مانند **زنبور**، پرتو های **فرابنفش** را نیز دریافت می‌کنند.

● ارتباط در زنبورهای عسل

۱) برخی از جانوران مانند زنبورها زندگی گروهی دارند و با اســتفاده از **فرومون** با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند زنبورهای **کارگر** شــهد و گردهٔ گل‌ها را جمع‌آوری کرده و به کندو می‌آورند.

۲) وقتی زنبور **کارگر** منبع غذایی جدیدی پیدا می‌کند و به کندو باز می‌گردد، خیلی طول نمی‌کشــد که تعداد زیادی زنبور کارگر در محل آن منبع غذایی دیده می‌شوند.

۳) زنبور یابنده پس از بازگشت، **اطلاعات خود دربارهٔ منبع غذایی** را به زنبورهای دیگر ارائه می‌کند.

۴) این زنبور با انجام **حرکات ویژه‌ای** اطلاعات خود را به زنبورهای دیگر نشان می‌دهد.

۵) زنبورهای کارگر با مشــاهدهٔ این حرکات، **فاصلهٔ تقریبی کندو** تا محل منبع غذا و **جهتی** را که باید پرواز کنند، درمی‌یابند. برای مثال هرچه این **حرکات طولانی‌تر** باشد، **منبع غذایی دورتر** است. افزون بر آن هنگام انجام حرکات، زنبور یابنده **صدای وز وز** متفاوتی نیز دارد.

۶) زنبورهای کارگر با استفاده از **اطلاعات کلی که از زنبور یابنده** دربارهٔ منبع غذایی دریافت کرده‌اند، به سمت آن پرواز و به **کمک بویایی** خود، محل دقیق غذا را پیدا می‌کنند.

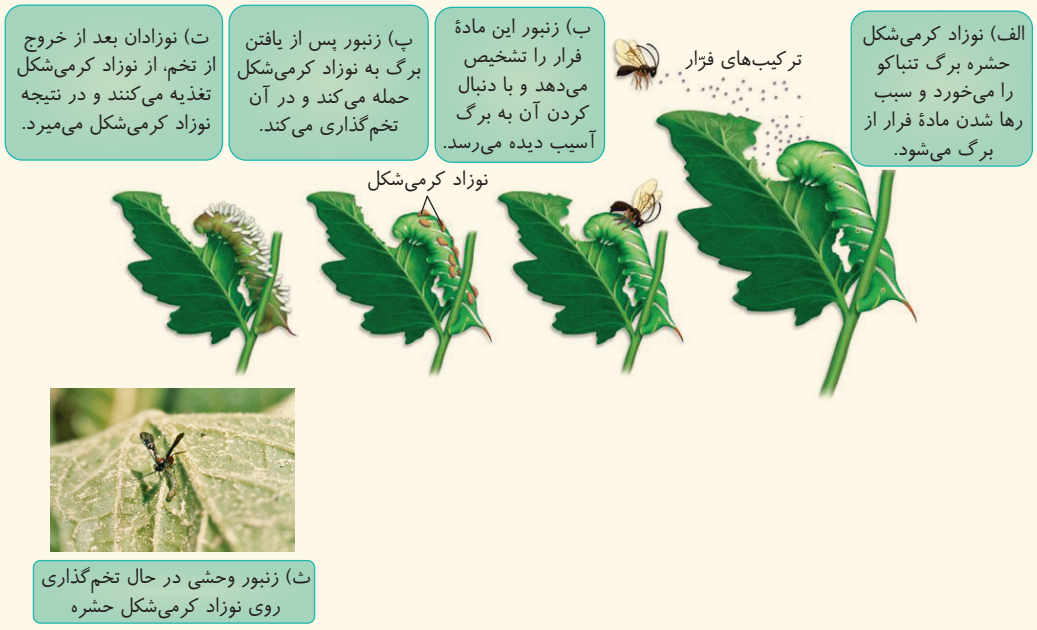
۷) مزیت این نحوه برقراری ارتباط برای زنبور: وقتی زنبورهای کارگر قبل از جست‌وجو دربارهٔ محل منبع غذا اطلاعات داشته باشند، با **صرف انرژی کمتر** و در **زمان کوتاه‌تری** محل دقیق آن را پیدا می‌کنند.

نکته: زنبور از فرومون‌ها برای هشدار خطر حضور شکارچی به دیگران استفاده می‌کند.

نکته: زنبورهای عسل گل‌هایی را گرده افشانی می‌کنند که **شهد آن‌ها قند فراوانی** داشته باشد؛ همچنین این گل‌ها علائمی دارند که فقط در نور فرابنفش دیده می‌شوند و زنبور را به سوی شهد گل هدایت می‌کنند.

نکته: گرده افشانی درخت **آکاسیا** وابسته به زنبورهاست.

نکته: نوزاد کرمی‌شــکلِ حشــره در حال خوردن برگ **تنباکو** است. از یاخته‌های آسیب‌دیده برگ، ترکیب فراری متصاعد می‌شود که **نوعی زنبور** وحشی آن را شناسایی می‌کند. زنبور ماده‌ای که در آن اطراف زندگی می‌کند، با ردیابی این مواد، خود را به نوزاد کرمی شکل می‌رساند و روی آن تخم می‌گذارد. نوزادان زنبور بعد از خروج از تخم از نوزاد کرمی شکل تغذیه می‌کنند و در نتیجه آن را می‌کشند. نتیجه این رویداد کاهش جمعیت حشره آفت است.



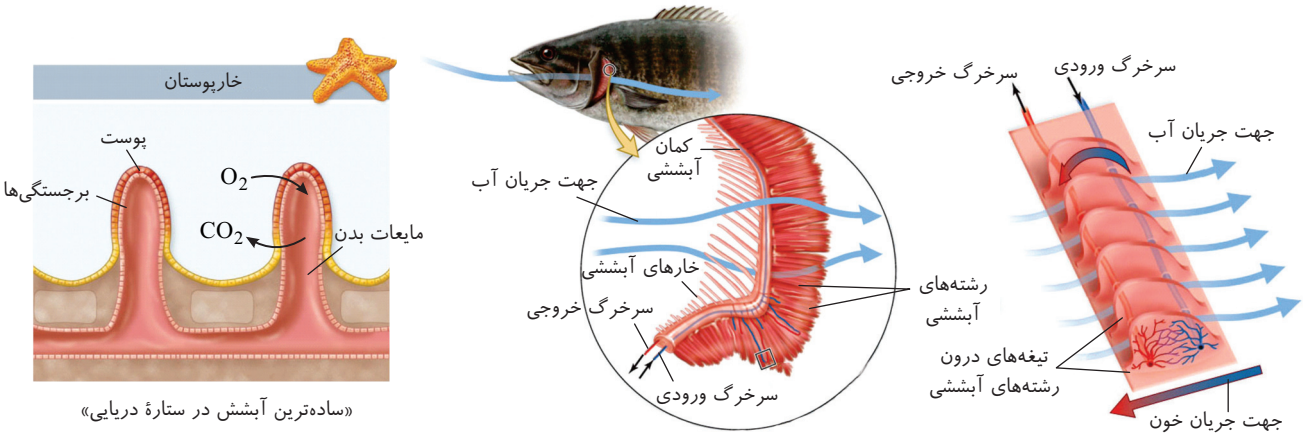
رفتار دگرخواهی

- در بین جانورانی که زندگی **گروهی** دارند، افراد **نگهبانی** هستند که با تولید صدا حضور شکارچی را به دیگران هشدار می‌دهند تا به موقع فرار کنند. البته آن‌ها با این کار توجه شکارچی را به خود جلب کرده، احتمال بقای خود را کاهش می‌دهند.
- زنبورهای عسل کارگر، نازا هستند و **نگهداری و پرورش زاده‌های ملکه** را انجام می‌دهند.
- جانوران نگهبان و زنبورهای عسل کارگر رفتار **دگرخواهی** دارند.
- دگرخواهی رفتاری است که در آن **یک جانور بقا و موفقیت تولیدمثلی جانور دیگری** را با هزینهٔ کاسته‌شدن از احتمال بقا و تولیدمثل خود، افزایش می‌دهد.
- افراد نگهبان در گروه جانوران و یا زنبورهای عسل، رفتار دگرخواهی را نسبت به خویشاوندان خود انجام می‌دهند.
- افراد نگهبان با خویشاوندانشان، **ژن‌های مشترکی** دارند. بنابراین اگرچه این جانوران خود زاده‌ای نخواهند داشت، ولی خویشاوندان آن‌ها می‌توانند زادآوری کرده و ژن‌های مشترک را به نسل بعد منتقل کنند. به همین علت است که **براساس انتخاب طبیعی**، رفتار دگرخواهی برگزیده شده است.

ماهی

۱) تنفس آبششی

انواع آبشش
- **ساده، منتشر و برجستگی‌های کوچک** در سطح پوست: مانند آبشش‌های **ستاره دریایی**
- **محدود به نواحی خاص**: **سایر** بی‌مهرگان مانند **خرچنگ دراز**
- ماهیان بالغ و نوزاد دوزیستان آبشش دارند.



«ساده‌ترین آبشش در ستارهٔ دریایی»

نکته: تبادل گاز از طریق سطوح آبشش‌های مهره‌داران بسیار کارآمد است.

نکته: جهت حرکت خون در مویرگ‌ها و عبور آب در طرفین تیغه‌های آبششی، **برخلاف** یکدیگر است.

نکته: ورودی **هر** رشته آبششی انشعابات سرخرگ شکمی و خروجی **هر** رشته آبششی انشعابات سرخرگ پشتی است.

۲) گردش مواد

۱) گردش خون بسته ساده است: یعنی خون روشن آبششی بدون عبور از قلب وارد اندام‌ها می‌شود.

۲) در گردش **ساده** ۳ رگ اصلی وجود دارد: **سرخرگ پشتی** با خون روشن، **سیاهرگ شکمی** با خون تیره و **سرخرگ شکمی** با خون تیره

۳) هر سیاهرگی در ماهی خون تیره دارند ولی سرخرگ، خون روشن یا تیره می‌توانند داشته باشند.

۴) قلب ماهی **دو حفره‌ای** است ولی دو حفره رگی هم قبل و هم بعد از آن وجود دارد.

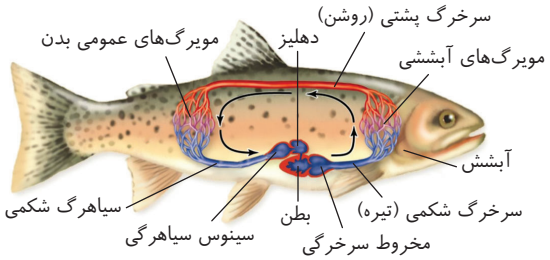
۵) دهلیز و سینوس سیاهرگی در سمت بالا، بطن و مخروط سرخرگی در سمت پایین قرار دارند.

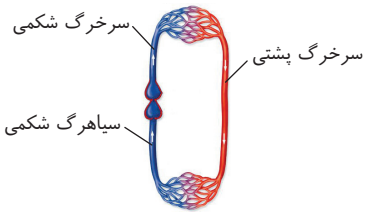
۶) می‌توان گفت خون عبوری از قلب ماهی تیره است ولی نمی‌توان گفت **هر** خونی که به سمت قلب ماهی می‌رود خون تیره است (اگر از سینوس سیاهرگی به قلب برود تیره است ولی اگر از انشعابات سرخرگ پشتی به دیواره قلب برود روشن است).

۷) در ماهی نیز دو نوع شبکه مویرگی وجود دارد ۱. عمومی ۲. آبششی

۸) بزرگترین حفره، بطن و بعد از آن **مخروط سرخرگی** و در نهایت سینوس سیاهرگی و دهلیز است.

نکته: مزیت سامانهٔ دارای **جدایی کامل** دهلیزها و بطن‌ها، حفظ فشار در سامانه گردشی مضاعف است که نتیجه آن سرعت **بیشتر** انتقال مواد است.





ماهی
قلب دوحفره‌ای،
گردش خون ساده

گیرنده‌های حسی انسان می‌توانند محرک‌های گوناگون محیط را دریافت کنند. اما محرک‌هایی مانند پرتوهای **فرابنفش** نیز وجود دارد که انسان به کمک دستگاه‌های ویژه‌ای می‌تواند آن‌ها را دریافت کند؛ در حالی که **برخی** جانوران گیرنده‌های دریافت‌کنندهٔ آن‌ها را دارند.

گردش خون در بین مهره‌داران

جانوران	گردش خون (بسته یا باز)	گردش خون (ساده یا مضاعف)	تعداد حفره‌های قلب
همه ماهی‌ها	بسته	ساده	دو حفره‌ای
نوزاد دوزیستان	بسته	ساده	دو حفره‌ای
دوزیستان بالغ	بسته	مضاعف	سه حفره‌ای
بیشتر خزندگان	بسته	مضاعف	چهار حفره‌ای جدایی ناقص
برخی خزندگان بزرگ (کروکودیل)	بسته	مضاعف	چهار حفره‌ای جدایی کامل
همه پرندگان و پستانداران	بسته	مضاعف	چهار حفره‌ای جدایی کامل

۳) گیرنده‌های مکانیکی خط جانبی

در **دو سوی** بدن ماهی‌ها ساختاری به نام **خط جانبی** وجود دارد.

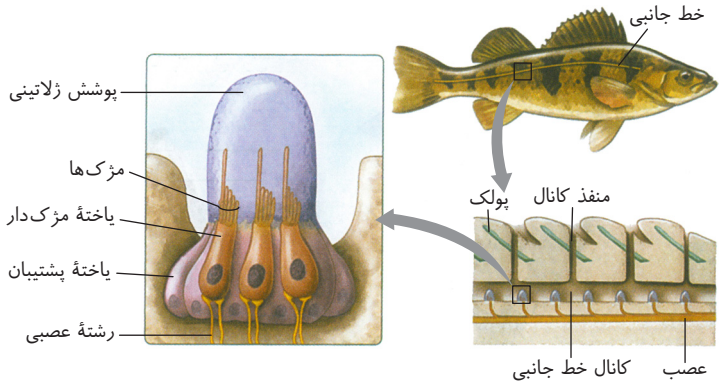
این ساختار، **کانالی در زیر پوست** جانور است که از راه **سوراخ‌هایی** با محیط بیرون ارتباط دارد.

درون کانال، **یاخته‌های مژک داری** قرار دارند که به **ارتعاش** آب حساس‌اند.

مژک‌های این یاخته‌ها با ماده‌ای ژلاتینی در تماس‌اند. (مژک‌ها طول متفاوتی دارند.)

جریان آب در کانال، مادهٔ ژلاتینی را به حرکت در می‌آورد.

حرکت مادهٔ ژلاتینی، یاخته‌های گیرنده را تحریک می‌کند. (به هر گیرنده بیش از یک نورون وصل است.)



«ساختار خط جانبی در ماهی»

ماهی به کمک خط جانبی از وجود اجسام و جانوران دیگر (شکار و شکارچی) در پیرامون خود آگاه می‌شوند.

نکته: ساختار خط جانبی در ماهی‌ها مشابه **گیرنده‌های تعادلی** در انسان است.

شباهت‌ها
- **مژک‌ها** کاملا درون مادهٔ ژلاتینی هستند.
- **اندازه** مژک‌ها یکسان نیستند.
- **تعداد** یاخته‌های مژکدار از یاخته‌های بدون مژک **بسیار کمتر** است.

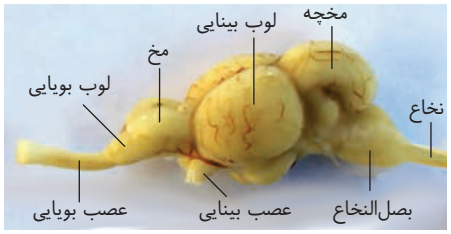
نکته: خط جانبی اجسام متحرک را به دلیل تحریک **یاخته‌های مژکدار** تشخیص می‌دهد (مثلا حرکات ماهی‌های دیگر در پیرامون خود).

نکته: یکنواخت شدن امواج آب مانع حرکت مادهٔ ژلاتینی نمی‌شود ولی ایجاد پیام عصبی نمی‌کند (یادگیری عادی شدن یا خوگیری).

نکات مربوط به تصویر مغز ماهی

۱) در ماهی **برخلاف** انسان حجم لوب‌های حسی از مخ **بسیار بیشتر** است.
۲) **بزرگترین** بخش مغز لوب بینایی و سپس مخچه است.
۳) ترتیب از جلو به عقب مهم است.
۴) ماهی **برخلاف** انسان لوب‌های بویایی در جلو مخ و عصب آن در قسمت جلوتر است.
۵) لوب‌های بویایی در ماهی مانند انسان **نوعی** لوب مغزی است ولی لوب بینایی در ماهی لوب مغزی و در انسان **بخشی** از لوب پس‌سری مخی می‌باشد.

نکته: **همهٔ مهره‌داران کلیه** دارند که **ساختار متفاوت** ولی **عملکرد مشابهی** در میان آن‌ها دیده می‌شود. گردش خون بسته مهره‌داران باعث فشار سرخرگی شده و تراوش آن به کلیه می‌شود.



اسکلت درونی
- مهره‌داران **اسکلت درونی** دارند.
- در انواعی از ماهی‌ها مانند کوسه ماهی، جنس این اسکلت از نوع **غضروفی** است، ولی در **سایر** مهره‌داران **استخوانی** است که غضروف نیز دارد.
- ساختار استخوان در این جانوران **بسیار شبیه** ساختار استخوان انسان است.

● ۴) کلیه در مهره‌داران مختلف

الف) ماهیان آب شیرین
- آب زیاد نمی‌نوشند (مسیر ورودی گوارش یا دهان تقریباً بسته دارند).
- مسیر آبششی باز (باز و بسته شدن دهان در ماهی قرمز تنها به منظور عبور آب و تبادل گازها در آبشش است).
- **مادهٔ مخاطی پوشاننده سطح بدن** که مانع ورود به بدن آب بدن می‌شود.
- آبشش علاوه بر **تبادل گاز**، با **انتقال فعال** نمک و یون‌ها را نیز جذب می‌کند.
- حجم زیادی از آب به صورت ادرار دفع می‌کنند (ادرار رقیق).

ب) ماهیان آب شور
- **فشار اسمزی** بدن آنها از محیط پایین‌تر است و آب تمایل به خروج از بدن دارد.
- مقدار **زیادی** آب می‌نوشند.
- **دو حالت دارد**
  - مانند **غضروفی‌ها** (کوسه و سفره ماهی) کلیه دفع اوره و غدد راست‌روده‌ای دفع **نمک غلیظ** انجام می‌دهد.
  - **ماهیان دریایی:** (غضروفی نیستند)
    - آبشش دفع یون و نمک دارد.
    - کلیه باز جذب آب دارد و ادرار را **غلیظ** می‌کند.

● ۵) تولید مثل

✓ در جانوران **تخمگذار** اندوختهٔ غذایی تخمک زیاد است؛ زیرا در دوران جنینی ارتباط غذایی بین مادر و جنین وجود ندارد.
✓ در **ماهی‌ها** و **دوزیستان** به علت دورهٔ جنینی کوتاه میزان این **اندوخته کم** است.

لقاح خارجی

۱) در **آبزیان** مثل **بسیاری از ماهی‌ها** دیده می‌شود.
۲) در این روش، والدین گامت‌های خود را در آب می‌ریزند و لقاح در آب صورت می‌گیرد.
۳) برای افزایش احتمال برخورد گامت‌ها، والدین تعداد زیادی گامت را هم‌زمان وارد آب می‌کنند.

«رقص عروسی ماهی‌ها»

۴) عوامل متعددی در هم‌زمان شدن ورود گامت‌ها به آب دخالت دارد
- دمای محیط
- طول روز
- آزاد کردن مواد شیمیایی توسط نر یا ماده
- بروز **بعضی** رفتارها مثل رقص عروسی در ماهی‌ها.

لقاح داخلی

۱) در **بعضی ماهی‌ها** مثل **کوسه** دیده می‌شود.

۲) در این جانوران، اسپرم وارد دستگاه تولیدمثلی فرد ماده می‌شود و **لقاح در بدن ماده** انجام می‌شود.

۳) انجام این نوع لقاح، نیازمند دستگاه‌های تولیدمثلی با اندام‌های تخصص یافته است.

۴) در **اسبک ماهی** جانور ماده، تخمک را به درون حفره‌ای در بدن جنس نر منتقل می‌کند.

۵) در **اسبک ماهی لقاح در بدن نر** انجام می‌شود و جنس نر، جنین‌ها را در بدن خود نگه می‌دارد، پس از طی مراحل رشد و نموی، **نوزادان متولد می‌شوند.**

تغذیه و حفاظت جنین

۱) در جانورانی که **لقاح خارجی** دارند تخمک **دیواره‌ای چسبناک و ژله‌ای** دارد که پس از لقاح، تخم‌ها را به هم می‌چسباند.

۲) این لایهٔ ژله‌ای **ابتدا از جنین در برابر عوامل نامساعد محیطی محافظت** می‌کند و سپس به عنوان غذای اولیهٔ مورد استفادهٔ جنین قرار می‌گیرد.

۳) در جانورانی که **لقاح داخلی** دارند، حفاظت جنین به صورت‌های متفاوتی انجام می‌شود.

قورباغه

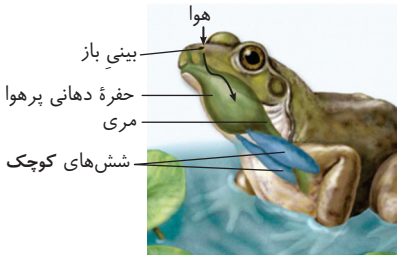
۱) تنفس

نکته: **بیشتر** جانوران سازوکارهایی دارند که باعث می‌شود جریان پیوسته‌ای از هوای تازه در مجاورت سطح تنفسی برقرار شود که به **سازوکارهای تهویه‌ای** شهرت دارند.

نکته: مهره‌داران دو نوع ساز و کار متفاوت در تهویهٔ شنی دارند
- **پمپ فشار مثبت: دوزیستان**
- **پمپ فشار منفی: پرندگان، پستانداران**

پمپ فشار مثبت: هوا را با فشار به شش‌ها هدایت می‌کنند. مثلا قورباغه به کمک **عضلات دهان و حلق** با حرکتی شبیه قورت دادن هوا را با فشار به شش‌ها می‌رانند. (در این حالت بینی بسته است.)

سازوکار فشار منفی: هوا به‌وسیلهٔ مکش حاصل از فشار منفی به شش‌ها وارد می‌شود. این سازوکار وابسته به ماهیچه‌های تنفسی است.



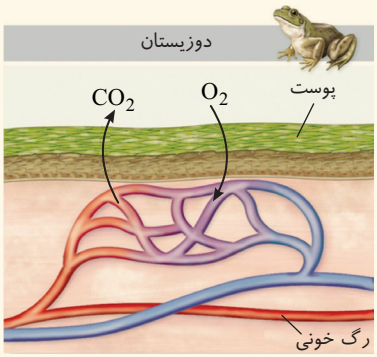
«پمپ فشار مثبت در قورباغه»

تنفس پوستی

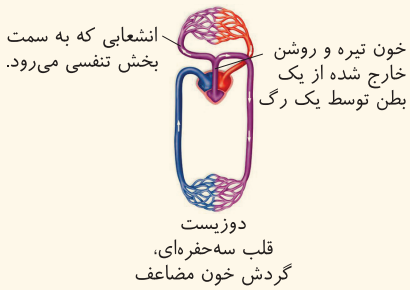
دو گروه از جانوران تنفس پوستی دارند:
- بی‌مهرگانی نظیر کرم در محیط‌های مرطوب زندگی می‌کنند.
- مهره‌دارانی که تنفس اصلی آن‌ها پوستی ولی تنفس کمکی آن‌ها شش است مانند دوزیستان بالغ.

نکته: پوست دوزیستان، **ساده‌ترین** ساختار در اندام‌های تنفسی مهره‌داران است.

نکته: در **قورباغه**
- **الف)** شبکه‌های مویرگی **یکنواخت** و **وسیعی** در **زیر** پوست قرار دارد که تبادل گازها را با محیط آسان می‌کند.
- **ب)** مادهٔ مخاطی لغزنده که پوست دوزیستان را مرطوب نگه می‌دارد و به **افزایش** کارایی تنفس پوستی کمک می‌کند.



«تنفس پوستی»



نکته: نمی‌توان گفت **هر بی‌مهرهٔ ساکن خشکی** لزوما تنفس نایدیسی دارد. (کرم خاکی و نرم‌تنان)

نکته: مهره‌داران **اسکلت درونی** دارند.

نکته: ساختار استخوان در این جانوران **بسیار شبیه** ساختار استخوان انسان است.

دفع مواد در دوزیستان بالغ
- **مشابه** ماهیان آب شیرین است(ولی مثانه متفاوت دارند)
- **مثانه بزرگ** دارد که توانایی تغییر حجم دارد.
- **مثانه** محل ذخیره آب و یون است.
- مثانه، قدرت باز جذب آب به خون را دارد.

۲) تولید مثل

۱) در **دوزیستان** به علت دورهٔ جنینی کوتاه میزان این اندوخته کم است.

۲) **لقاح خارجی** در **آبزیان** مثل **دوزیستان** و **بی‌مهرگان آبزی** دیده می‌شود.

۳) در جانورانی که **لقاح خارجی** دارند تخمک **دیواره‌ای چسبناک و ژله‌ای** دارد که پس از لقاح، تخم‌ها را به هم می‌چسباند.

۴) این لایهٔ ژله‌ای ابتدا از جنین در برابر عوامل نامساعد محیطی محافظت می‌کند و سپس به عنوان غذای اولیهٔ مورد استفادهٔ جنین قرار می‌یرد.

۵) در جانوران **تخم‌گذار** وجود **پوستهٔ ضخیم** در اطراف تخم از جنین محافظت می‌کند.

لایهٔ ژله‌ای اطراف تخم های قورباغه

مار

۱) گیرندهٔ فروسرخ مار زنگی

* **برخی** مارها می‌توانند پرتوهای فروسرخ را تشخیص دهند.

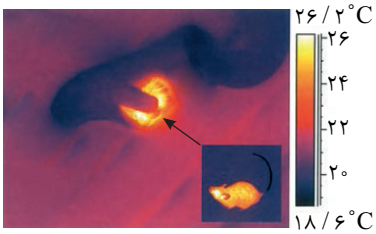
* در **جلو** و **زیر هر** چشم مار زنگی سوراخی است که گیرنده‌های پرتوهای **فروسرخ** در آن قرار دارند.

* به کمک این گیرنده‌ها، مار پرتوهای **فروسرخ** تابیده از بدن شکار را دریافت و محل آن را در تاریکی تشخیص می‌دهد.

«محل گیرندهٔ فروسرخ در مارزنگی»

نکته: پرتوهای **فروسرخ** و **فرابنفش** توسط انسان دیده نمی‌شوند ولی برای **بعضی** جانوران درک می‌شوند (دیده می‌شوند).

نکته: انسان گیرنده‌های **فروسرخ** ندارد ولی آن را به‌صورت **گرما** حس می‌کند.



«تصویر مار در حال شکار که با دوربین حساس به پرتوهای فروسرخ گرفته شده است»

۲) حرکت در جانوران

* جانوران حداقل در **بخشی** از زندگی خود می‌توانند از جایی به جای دیگری حرکت کنند. شیوه‌های حرکتی در جانوران **بسیار متنوع** است.

انواع حرکات در جانوران
- شنا کردن
- پرواز کردن
- دویدن
- خزیدن

* با این وجود، **اساس حرکت** در جانوران مشابه است.

برای حرکت در یک سو، جانور باید نیرویی درخلاف آن وارد کند.

* برای انجام حرکت، جانوران نیازمند ساختارهای اسکلتی و ماهیچه‌ای هستند.

* **ساختار اسکلت** در جانوران متفاوت است. انواع اسکلت در جانوران را می توان به سه گروه طبقه‌بندی کرد:
- **آب‌ایستایی** (هیدرواستاتیک)
- **بیرونی**
- **درونی**

* در واقع ساختارهای **وستیجیال** ردپای «تغییر گونه‌ها» هستند.

* **مار پیتون** با اینکه پا ندارد اما بقایای پا در لگن آن به صورت وستیجیال موجود است و این حاکی از وجود رابطه‌های میان آن و دیگر مهره داران است.

* شواهد متعددی در دست است که نشان می‌دهد مارها از **تغییر یافتن سوسمارها** پدید آمده‌اند.

ارتباط شیمیایی در جانوران

۱) در دنیای جانوران از ارتباط شیمیایی نه **فقط** برای ارتباط بین یاخته‌ها، **بلکه** برای ارتباط افراد با یکدیگر نیز استفاده می‌شود.

۲) فرومون‌ها موادی هستند که از **یک** فرد ترشح شده و در **فرد یا افراد دیگری** از همان گونه پاسخ‌های رفتاری ایجاد می‌کند.

۳) فرومون‌ها **ساده‌ترین** شکل برقراری ارتباط رفتاری بین جانوران است.

۴) فرومون در بین افراد غیر هم‌گونه دریافت می‌شود ولی بروز **پاسخ رفتاری** مناسب فقط مربوط به افراد هم‌گونه است.

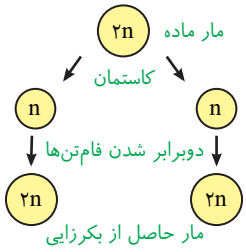
۵) فرومون‌ها **برخلاف** هورمون‌ها پاسخ رفتاری ایجاد می‌کنند.

۶) مثلاً زنبور از فرومون‌ها برای هشدار خطر حضور شکارچی به دیگران استفاده می‌کند.

۷) مارها قادرند با گیرنده‌هایی شیمیایی زبانشان، فرومون‌های موجود در هوا را تشخیص دهند و از وجود جانوران در اطراف خود آگاه شوند.

۸) در جانورانی مانند حشرات **بیشترین** استفاده را از فرومون می‌برند و در پستانداران استفاده از فرومون **کمتر** است.

۳) تولید مثل



۱) لقاح داخلی دارند و تخمگذارند.

۲) **بکرزایی** نوعی دیگر از تولیدمثل جنسی است و برای مثال، در **بعضی مارها** دیده می‌شود.

۳) در این روش، فرد ماده **گاهی اوقات به تنهایی** تولیدمثل می‌کند.

۴) در این حالت، یا تخمک بدون لقاح شروع به تقسیم می‌کند و موجود تک‌لاد (هاپلوئید) را به وجود می‌آورد یا از روی کروموزوم‌های تخمک یک نسخه ساخته می‌شود تا کروموزوم‌های تخمک دو برابر شوند و سپس شروع به تقسیم می‌کند و موجود دولاد (دیپلوئید) را به وجود می‌آورد.

۵) علاوه بر پوست ضخیم تخم، برای محافظت **بیشتر** در **خزندگانی** مثل **لاک‌پشت** تخم‌ها با ماسه و خاک پوشانده می‌شوند.

غدد شاخکی

در **همهٔ** سخت‌پوستان آبزی دفع آمونیاک از طریق **آبشش** صورت می‌گیرد ولی **برخی** از آن‌ها مانند میگو و خرچنگ‌ها علاوه بر آبشش از **یک جفت** غدد شاخکی نیز دفع صورت می‌گیرد.

نکته: غدد شاخکی نزدیک دهان، مغز، چشم و شاخک‌هاست.

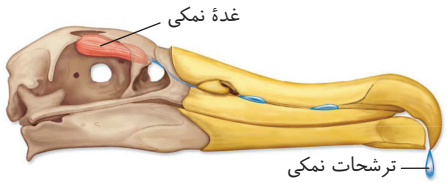
نکته: جانوران دارای غدد شاخکی دارای **گردش خون باز** هستند و مایعات دفعی از همولنف موجود در حفرات عمومی به این غده تراوش و از منفذ دفعی نزدیک شاخک دفع می‌شود.

نکته: سامانهٔ دفعی نفریدی در اتصال به سطح بدن، سامانهٔ شاخکی متصل به شاخک و سامانه **مالپیگی** به روده متصل است.

نکته: **لقاح داخلی** در **بعضی** از آبزیان مثل **سخت‌پوستان** دیده می‌شود.

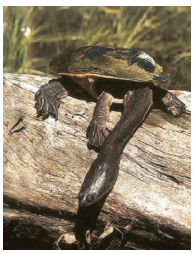
غده نمکی

برخی از **خزندگان** و **پرندگان دریایی** و **بیابانی** که آب دریا یا غذای نمک‌دار مصرف می‌کنند می‌توانند نمک اضافه را از طریق غدد نمکی نزدیک چشم یا زبان، به صورت **قطره‌های غلیظ** دفع کنند.



«غدهٔ نمکی»

نکاتی در مورد خرچنگ و لاک پشت



✓ خرچنگ‌های **ساحلی** صدف‌های با **اندازه متوسط** را ترجیح می‌دهند زیرا آن‌ها **بیشترین** انرژی خالص را تأمین می‌کنند.

✓ صدف‌های بزرگ‌تر انرژی **بیشتری** دارند امّا برای شکستن آن‌ها باید انرژی **بیشتری** صرف شود.

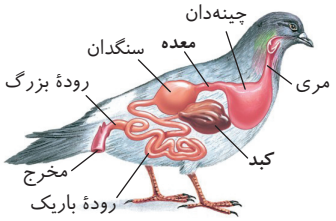
✓ **لاک‌پشت‌های دریایی ماده** پس از طی مسافت‌های طولانی، برای تخمک‌گذاری به ساحل دریا می‌آیند و پس از تخمک‌گذاری دوباره به دریا باز می‌گردند.

✓ به نظر می‌رسد **میدان مغناطیسی** زمین در جهت‌یابی لاک‌پشت‌ها نیز نقش دارد.

✓ لاک‌پشتی که در شکل روبه‌رو می‌بینید، حتی وقتی در آزمایشگاه قرار دارد و غذا و آب کافی دریافت می‌کند، رکود تابستانی را نشان می‌دهد.

پرنده

۱) گوارش



دهان: به کمک منقار غذا را می‌گیرد در این قسمت گوارش **مکانیکی** و **شیمیایی** وجود ندارند.

مری: انتقال‌دهندهٔ غذا به چینه‌دان است.

چینه‌دان
- **حجیم‌ترین بخش** لوله گوارش است.
- **بیشترین** نقش ذخیره‌ای را دارد.
- جدار آن ماهیچه‌ای است ولی نقش گوارشی ندارد.

معده
- بخش لوله‌مانند و **رابط** بین چینه‌دان و سنگدان است.
- در آن گوارش مکانیکی و شیمیایی آغاز می شود ولی **هیچکدام** نقش قابل توجهی ندارند.
- نسبت به چینه‌دان و سنگدان **بسیار کم حجم** است.

سنگدان
- **پس از** چینه‌دان **حجیم‌ترین** بخش لولهٔ گوارش است.
- ساختار **انتهایی** معده را دارد.
- **عضلانی‌ترین** بخش لوله گوارش است.
- **محل اصلی** گوارش مکانیکی است.
- **مقدمات** گوارش شیمیایی را در رودهٔ باریک فراهم می‌کند.

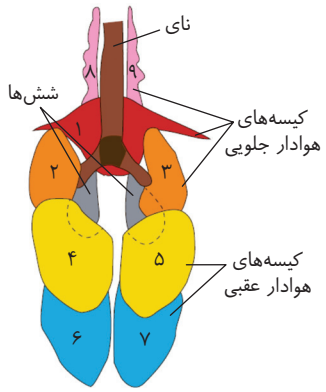
رودهٔ باریک
- **محل اصلی گوارش شیمیایی و جذب مواد غذایی است.**
- **طویل‌ترین بخش لوله گوارش است.**
- **به قسمت‌های ابتدایی آن ترشحات برون‌ریز کبدی می‌ریزد.**

رودهٔ بزرگ
- نسبت به روده باریک **بسیار کوتاه و فاقد** چین‌خوردگی درون شکم است.
- آبگیری و کم‌حجم کردن

مخرج
- **انتهایی‌ترین** بخش لولهٔ گوارش است.
- محل خروج مشترک مدفوع و مواد دفعی نیتروژن‌دار است.

● ۲) تنفس

* به علت پرواز، نسبت به **سایر** مهره‌داران انرژی **بیشتر** مصرف می‌کنند و بنابراین به اکسیژن **بیشتری** نیاز دارند.
* علاوه بر شش دارای ساختارهایی به نام کیسه‌های هوادار هستند که **کارایی تنفس** آن‌ها را نسبت به پستانداران افزایش می‌دهد.
* کیسه‌های هوادار در **تمام** حفره‌های بدنی به دو طرف گردن و استخوان‌های بازو وجود دارند.
* کیسه‌های هوادار انعطاف پذیرند.
* حجم و تعداد کیسه‌های هوادار عقبی نسبت به جلویی‌ها **کمتر** است.
* کیفیت هوا در کیسه‌های عقبی از شش **بیشتر** و در هوادار پیشین از شش **کمتر** است.



«۹ کیسهٔ هوادار در پرندگان»
(یک کیسه بین دو شش مشترک می‌باشد.)

نکته: مهره‌داران اسکلت درونی دارند.

نکته: ساختار استخوان در این جانوران **بسیار شبیه** ساختار استخوان انسان است.

● ۳) دفع

پرندگان و خزندگان
- **پیچیده‌ترین** شکل کلیه را دارند متناسب با تنظیم تعادل اسمزی مایعات بدن آن‌هاست.
- ساختار کلیه در **پرندگان و خزندگان** مشابه است و توانایی **بازجذب** آب زیادی دارد.
- تبدیل آمونیاک به اوریک‌اسید دارند که **کمترین** نیاز به آب دفعی را دارد.
- **برخی از خزندگان** و پرندگان دریایی و بیابانی از آب دریا یا غذای نمکی استفاده می‌کنند می‌توانند نمک اضافه را از غدد نمکی نزدیک چشم یا زبان به صورت **قطره‌های غلیظ** دفع کنند.

* قلب و سامانه‌های گردشی در **پرندگان** و **پستانداران** جدایی کامل بطن‌ها در پرندگان و پستانداران و **برخی خزندگان** مثل کروکودیل‌ها رخ می‌دهد. این حالت، حفظ فشار در سامانهٔ گردشی مضاعف را آسان می‌کند. فشار خون بالا برای رساندن سریع مواد غذایی و خون غنی از اکسیژن به بافت‌ها در جانورانی با نیاز انرژی زیاد، مهم است.

۴) تولیدمثل

در جانوران **تخم‌گذار** اندوختهٔ غذایی تخمک زیاد است؛ زیرا در دوران جنینی ارتباط غذایی بین مادر و جنین وجود ندارد.

لقاح داخلی

۱) پرندگان لقاح داخلی دارند.

۲) در این جانوران، اسپرم وارد دستگاه تولیدمثلی فرد ماده می‌شود و **لقاح در بدن ماده** انجام می‌شود.

۳) انجام این نوع لقاح، نیازمند دستگاه‌های تولیدمثلی با اندام‌های تخصص یافته‌هاست.

تغذیه و حفاظت جنین

۱) در جانورانی که **لقاح داخلی** دارند، حفاظت جنین به صورت‌های متفاوتی انجام می‌شود.

۲) در جانوران **تخم‌گذار** وجود **پوستهٔ ضخیم** در اطراف تخم از جنین محافظت می‌کند.

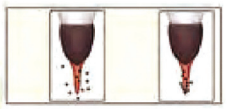
۳) **پرندگان** علی رقم **پوستهٔ** ضخیم تخم برای محافظت **بیشتر** روی تخم‌ها می‌خوابند.

«تخم پرنده در آشیانه»

نکات پراکنده در مورد پرنده

اساس رفتاری

* **قمری های خانگی** با جمع‌آوری شاخه‌های نازک درختان برای خود لانه ساخته و زادآوری می‌کنند.
* **سارها** برای زمستان گذرانی به مناطق گرم‌تر مهاجرت می‌کنند.
* **جوجه‌های برخی از پرندگان** برای غذای مورد نیازشان به والد (یا والدین) خود متکی هستند. مثلاً **جوجه کاکایی** برای دریافت غذا به منقار پرندهٔ والد نوک می‌زند و والد **بخشی** از غذای خورده شده را برمی‌گرداند تا جوجه آن را خورد.
* **جوجهٔ پرنده** پس از بیرون آمدن از تخم، می‌تواند رفتار درخواست غذا را انجام دهد.



نوک زدن جوجهٔ دو روزه به مناطق خاص از نوک والد

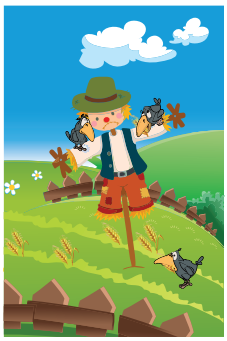
نوک زدن جوجهٔ تازه از تخم خارج شده به هر قسمت منقار والد

یادگیری و رفتار

* در رفتار درخواست غذا، نوک زدن‌های **جوجه کاکایی** به منقار والد در ابتدا دقیق نیست ولی **به تدریج** و **با تمرین**، این رفتار دقیق تر می‌شود.
* هرچه جوجه **دقیق‌تر** نوک بزند، والد **سریع‌تر** به درخواست آن برای غذا پاسخ می‌دهد.

(۱)
حملهٔ پرندگان به مزرعه بدون مترسک
(رفتار غریزی 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

● خوگیری (عادی شدن):

* **جوجهٔ پرندگان** اجسام گوناگونی مانند برگ‌های در حال افتادن را در بالای سر خود می‌بینند. **در ابتدا** جوجه‌ها با پایین آوردن سر خود و آرام ماندن به این محرک‌ها پاسخ می‌دهند، امّا با دیدن **مکرر** اجسام در حال حرکت، یاد می‌گیرند آن‌ها برایشان خطر یا فایده‌ای ندارند.

* **پرنده‌ای** که در شکل می‌بینید، **پروانهٔ مونارک** را بلعیده و دچار تهوع شده است. پس از چنین تجربه‌هایی پرنده می‌آموزد، این حشره را نباید بخورد.

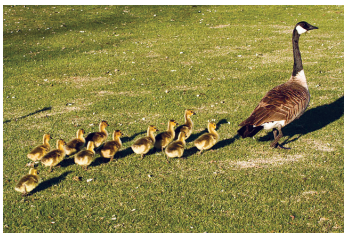
● حل مسئله

«کلاغ با جمع کردن نخ تکه گوشت را بالا می‌کشد.»

* **کلاغ سیاهی** که در شکل می‌بینید، کشف کرده است که چگونه تکه گوشت آویزان به انتهای نخ را به دست آورد.

* جانور هر بار بخشی از نخ را با منقار خود بالا می‌کشد و پنجهٔ پای خود را روی آن قرار داده و سرانجام به گوشت دست پیدا می‌کند.

● نقش‌پذیری:



«نقش‌پذیری جوجه غازها نسبت به مادر خود»

* **جوجه غازها** پس از بیرون آمدن از تخم، نخستین جسم متحرکی را که می‌بینند، دنبال می‌کنند.

* نقش‌پذیری جوجه غازها **طی چند ساعت** پس از خروج از تخم رخ می‌دهد.

* جوجه غازها با **نقش‌پذیری** مادر خود را می‌شناسند.

● برهم کنش غریزه و یادگیری

* **بیشتر** رفتارهای جانوران محصول برهم کنش ژن‌ها و اثرهای محیطی است که جانور در آن زندگی می‌کند.

پرنده کاکایی پس از آنکه جوجه‌هایش از تخم بیرون می‌آیند، پوسته های تخم را از لانه خارج می‌کند.

* **جوجه‌ها و تخم‌های کاکایی** در میان علف‌های اطراف آشیانه به خوبی استتار می‌شوند.

«جوجه‌های کاکایی»

«تخم‌های کاکایی»

آزمایش یک پژوهشگر

۱) **کلاغ‌ها بیشتر** تخم مرغ‌هایی را که کنار پوسته های تخم کاکایی قرار داشتند، پیدا کرده و آن‌ها را خوردند.

۲) رنگ سفید داخل پوسته تخم‌های شکسته، **راهنمای کلاغ‌ها** بود.

۳) پژوهشگر نتیجه گرفت کاکایی ها رفتار دور انداختن پوسته تخم‌های شکسته از لانه را برای کاهش احتمال شکار شدن و افزایش احتمال بقای جوجه‌ها انجام می‌دهند.

«لکه‌های چشم مانند دم طاووس نر ← در فصل تولیدمثل بروز بیشتری دارد.»

* کاکایی‌ها زمان **بسیار کوتاهی** را برای بیرون بردن پوسته تخم‌ها صرف می‌کنند اما این رفتار در بقای زاده‌های آن‌ها نقشی حیاتی دارد.
* ویژگی‌های ظاهری **طاووس‌های نر و ماده** متفاوت است.
* در فصل زادآوری دم **طاووس نر**، پرهای پرنقش و نگاری پیدا می‌کند.
* **طاووس نر** برای جلب جفت، دم خود را مانند بادبزن می‌گستراند تا بهتر در معرض دید جانور ماده قرار گیرد.
* **طاووس ماده** دم طاووس‌های نر را بررسی می‌کند و نری را به عنوان جفت انتخاب می‌کند که رنگ درخشان و لکه‌های چشم مانند **بیشتری** روی پرهای دم خود داشته باشد.
* در جانوران، ماده‌ها **بیشتر** از نرها رفتار انتخاب جفت را انجام می‌دهند.
* در جانوران **هر یک** از والدین باید انرژی و مدت زمانی را برای زادآوری و پرورش‌زاده‌ها صرف کنند.
* جانوران ماده **معمولاً** زمان و انرژی **بیشتری** صرف می‌کنند.
* برای مثال نگهداری از تخم‌ها و جوجه‌ها در پرندگان فعالیت‌های پرهزینه‌ای هستند که جانوران ماده آن‌ها را انجام می‌دهند. بنابراین، تولیدمثل برای آن‌ها هزینهٔ **بیشتری** دارد.
* **جانوران ماده** باید جفت انتخاب کنند تا موفقیت تولیدمثلی آن‌ها تضمین شود.
* درخشان بودن رنگ پرنده **طاووس نر** یکی از این ویژگی‌هایی است که نشانهٔ سلامت و کیفیت رژیم غذایی آن است.
* **طاووس نر** نظام جفت‌گیری **چندهمسری** دارد.
* **طاووس نر** در نگهداری زاده‌ها نقشی ندارد، البته می‌تواند با نگهداری از قلمرو، منابع غذایی، محل لانه و پناهگاه ایمن از شکارچی‌ها، به طور غیرمستقیم به ماده‌ها کمک کند.

«تغذیه طوطی‌ها از خاک رس در ساحل رود آمازون»

* **بیشتر** پرندگان مثل قمری خانگی **تک‌همسراند**.
* **گاهی** جانوران غذایی را مصرف می‌کنند که محتوای انرژی چندانی ندارد اما مواد موردنیاز آن‌ها را تأمین می‌کند. برای مثال **طوطی‌هایی** که در شکل می‌بینید خاک رس می‌خورند تا مواد سمی حاصل از غذاهای گیاهی را در لولهٔ گوارش آن‌ها خنثی کند.
* **یک پرنده** با آواز خواندن سعی می‌کند از ورود پرندهٔ مزاحم به قلمرو خود جلوگیری کند. اگر آواز مؤثر نباشد، ممکن است پرندهٔ صاحب قلمرو برای بیرون راندن مزاحم به آن حمله کند (رفتار قلمروخواهی).

● مهاجرت

«قلمروخواهی در قو، سرخرود مازندران»

* **هر ساله** با آغاز فصل پاییز پرندگان مهاجر از سیبری و اروپا به تالاب‌ها و آبگیرهای شمال ایران مهاجرت می‌کنند.
* **این پرنده‌ها** پس از زمستان گذرانی، در اوایل بهار به سرزمین خود باز می‌گردند.
* **سارهایی** که تجربهٔ مهاجرت دارند بهتر از آن‌هایی که برای نخستین بار مهاجرت می‌کنند، مسیر مهاجرت را تشخیص می‌دهند.
* در مسیر مهاجرت **بسیاری از جانوران** از جاهایی عبور می‌کنند که قبلاً در آنجاها نبوده‌اند.

«پرندگان مهاجر به پناهگاه حیات وحش میانکاله مازندران»

* جانوران برای **جهت‌یابی** از نشانه‌های محیطی استفاده می‌کنند. مثلاً جهت‌یابی هنگام روز با استفاده از موقعیت خورشید و در شب با استفاده از موقعیت ستاره‌ها در آسمان انجام می‌شود.
* **کبوتر خانگی** می‌تواند موقعیت خود را نسبت به **میدان مغناطیسی** زمین احساس و با استفاده از آن جهت‌یابی کند.
* پژوهشگران در سر **بعضی** از پرنده‌ها ذرات آهن مغناطیسی شده نیز یافته‌اند.
* **جوجه کاکایی** با لمس منقار والد با او ایجاد ارتباط و غذا درخواست می‌کند.
* میان پرندگان، **افراد یاریگری** هستند که با رفتار دگرخواهی در پرورش زاده‌ها به والدین آن‌ها یاری می‌رسانند.

* **یاریگرها اغلب** پرنده‌های جوانی‌اند که با کمک به والدین صاحب لانه، تجربه کسب می‌کنند و هنگام زادآوری می‌توانند از این تجربه‌ها برای پرورش‌زاده‌های خود استفاده کنند یا با مرگ احتمالی جفت‌های زادآور، قلمرو آن‌ها را تصاحب و خود زادآوری کنند.
* بال کبوتر و بال پروانه **آنالوگ‌اند** چون هر دو برای پرواز کردن‌اند (**کار یکسان**) گرچه **ساختارهای متفاوتی** دارند.

پستانداران نشخوار کننده

۱) گوارش

- نظیر گاو و گوسفند معده **چهار قسمتی** دارند.
- **معده شامل**
  - **سیرابی**: کیسهٔ بزرگ
  - **نگاری**: بخش **کوچک** و **جلویی‌ترین** بخش معده
  - **هزارلا**: اتاقک لایه لایه
  - **شیردان**: معده **واقعی**

۱) ابتدا این جانوران غذا را **با سرعت** می خورند تا در فرصت مناسب یا مکانی امن غذا را با نشخوار کردن وارد دهان کنند و بجوند.

۲) غذا وارد سیرابی می‌شود و در آنجا در معرض میکروب‌ها قرار می‌گیرد. میکروب‌ها به کمک حرارت بدن ترشح مایعات و حرکات سیرابی **تا حدودی** توده‌های غذا را گوارش می‌دهند.

۳) این توده‌ها به نگاری وارد و به دهان برمی‌گردند. این غذا **به‌طور کامل** جویده و **دوباره** به سیرابی وارد می‌شود. **بیشتر** حالت مایع پیدا می‌کند و سپس برای دومین بار به نگاری می‌رود.

۴) مواد از نگاری به هزارلا رفته **تا حدودی** آبگیری و سرانجام به شیردان وارد می‌شود.

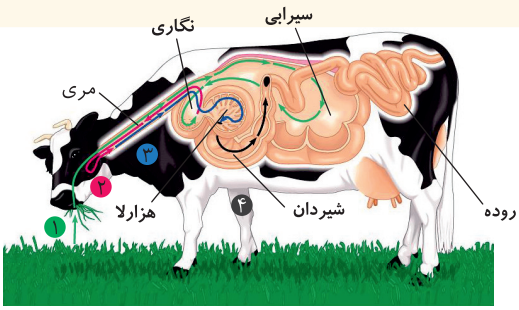
۵) در این محل (شیردان) آنزیم‌های گوارشی وارد عمل می‌شوند و گوارش ادامه پیدا می‌کند.

نکته: در نشخوارکنندگان **وجود** میکروب‌ها برای **گوارش سلولز** ضروری است.

نکته: سلولز مقدار **زیادی** انرژی دارد ولی **اغلب** جانوران **فاقد** توانایی تولید **آنزیم سلولاز** برای گوارش آن هستند.

نکته: در گیاهخواران غیرنشخوارکننده عمل گوارش میکروبی، پس از گوارش آنزیمی صورت می‌گیرد، مثلا در اسب **میکروب‌هایی** که در **روده کور** جانور زندگی می‌کنند سلولز را آبکافت می‌کنند. از آنجا که گوارش سلولز در روده باریک این جانور انجام نمی‌شود، **بخشی** از مواد غذایی دفع می‌شود.

نکته: کارایی تجزیه سلولز در **نشخوارکنندگان بیشتر** از علفخواران **غیرنشخوارکننده** است.



«معدهٔ چندقسمتی نشخوارکننده»

- **مشخصات سیرابی**
  - **بزرگ‌ترین** بخش معده است و ساختار کیسه‌ای دارد.
  - **عقبی‌ترین** بخش معده و **نزدیک‌ترین** بخش به حجم اصلی رودهٔ باریک است.
  - ترشح مایع دارد ولی ترشح آنزیم گوارشی برای سلولز ندارد.
  - **تنها بخشی** از معده است که غذا **مستقیما** وارد آن می شود.
  - **بیشترین** نقش را در گوارش سلولز دارد.
  - سه نقش اصلی آن
    - محل ذخیره غذا
    - محل اصلی گوارش سلولز
    - گوارش مکانیکی

هزارلا
- **بیشترین** نسبت سطح به حجم را در بین حفرات معده دارد.
- ساختار اتاقکی و لایه لایه دارد.
- با نگاری و شیردان در تماس است.
- **عملکرد**: **تغلیظ** غذا وآبگیری برای اثر **بهتر** آنزیم‌های گوارشی شیردان

شیردان
- معده **واقعی** است.
- تنها حفرهٔ ترشح‌کننده آنزیم‌های گوارشی است.
- **کامل‌ترین** مجموعهٔ آنزیم‌های گوارشی را دارد.
- تنها حفره‌ای از معده که در تماس مستقیم با روده است و با سه حفره دیگر مجاورت دارد و به سطح شکمی نزدیک است.
- محل **تکمیل** گوارش شیمیایی است.

نکته: انتقال مواد غذایی در شیردان به سمت بالا است.

نکته: در گوسفند **نزدیکترین** بخش معده به دم، سیرابی و **نزدیکترین** بخش معده به مری، نگاری است.

نکته: سیرابی و نگاری **هر دو** در معرض غذای دوبار جویده قرار می‌گیرند.

نکته: شیردان **برخلاف** هزارلا در فرایند جذب مواد شرکت نمی‌کند.

۲) دستگاه عصبی

مهره‌داران
- طناب عصبی پشتی دارند که بخش **جلویی برجسته شده** و مغز را تشکیل می‌دهد.
- درون ستون مهره‌ها و جمجمه **غضروفی** یا **استخوانی** جای گرفته است.
- دستگاه عصبی **محیطی** و **مرکزی** وجود دارد.
- در بین مهره‌داران **اندازهٔ نسبی** مغز پستانداران و پرندگان (نسبت به وزن بدن) از بقیه **بیشتر** است.

پستاندار
قلب چهارحفره‌ای،
گردش خون مضاعف

نکته: اسکلت در مهره‌داران **کارامدترین** شکل اسکلت در جانوران بزرگ جثه است.

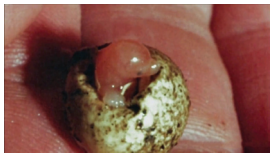
نکته: گردش مواد **همهٔ** پستانداران مشابه است.

۳) تولید مثل

تولید مثل جنسی جانوران
- **شباهت**: اساس تولیدمثل جنسی در **همهٔ** جانوران
- **تفاوت**:
  - **چگونگی** انجام تولیدمثل
  - **مراحل** آن
  - **حفاظت و تغذیهٔ** جنین

نکات

۱) به‌طور معمول در **همه** جانوران اسپرم‌ها کوچک و متحرک (تاژک دارند) و تخمک‌ها یاخته‌های درشت و بی‌تحرک هستند.
۲) مواد غذایی مورد نیاز جنین تا چند روز پس از لقاح و تشکیل تخم از اندوختهٔ غذایی تخمک تأمین می‌شود.
۳) این اندوخته مخلوطی از مواد مغذی متفاوت است.
۴) اندازهٔ تخمک در جانوران مختلف بستگی به میزان اندوخته دارد.
۵) در **پستانداران** به دلیل ارتباط خونی بین مادر و جنین **میزان این اندوخته کم** است.
۶) **لقاح داخلی** در جانوران **خشکی‌زی مانند پستانداران** دیده می شود.
۷) در این جانوران، اسپرم وارد دستگاه تولید مثلی فرد ماده می‌شود و **لقاح در بدن ماده** انجام می‌شود.
۸) انجام این نوع لقاح، نیازمند دستگاه های تولید مثلی با اندام های تخصص یافته است.
۹) در جانورانی که **لقاح داخلی** دارند، حفاظت جنین به صورت‌های متفاوتی انجام می‌شود.



«تخم پلاتی‌پوس»

تغذیه و حفاظت جنین

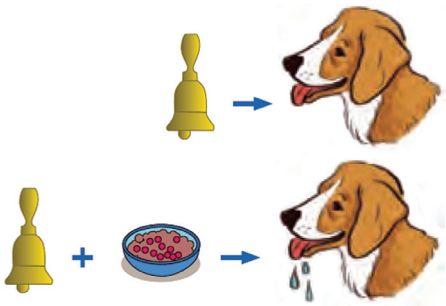
- **پستاندار تخم‌گذاری** مثل **پلاتی پوس**، تخم را در بدن خود نگه می‌دارد و **چند روز مانده** به تولد نوزاد، تخم‌گذاری می‌کند و روی آن‌ها می‌خوابد تا مراحل نهایی رشد و نمو طی شود.
- **پستانداران کیسه‌دار**، مثل **کانگورو** جنین ابتدا درون رحم ابتدایی مادر رشد و نمو را آغاز می‌کند. به دلیل مهیا نبودن شرایط به صورت نارس متولد می‌شود و خود را به درون کیسه‌ای که بر روی شکم مادر است می‌رساند. در آنجا ضمن حفاظت، از غدد شیری درون آن تغذیه می‌کند تا مراحل رشد و نمو را کامل کند.
- **پستانداران جفت دار**، جنین درون رحم مادر رشد و نمو را آغاز و از طریق اندامی به نام **جفت** با خون مادر مرتبط می‌شود و از آن تغذیه می‌کند. در این جانوران، بهترین شرایط ایمنی و تغذیه برای جنین مهیاست. پس از تولد هم از غدد شیری مادر تغذیه می‌کند تا زمانی که بتواند به‌طور مستقل به زندگی ادامه دهد.

نکات پراکنده در مورد پستانداران

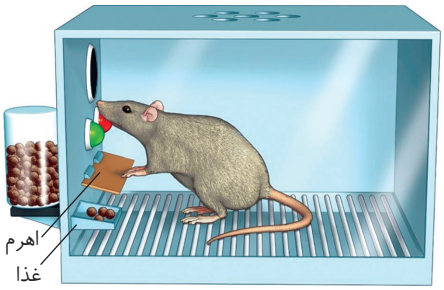
* **گوزن** ها از شکارچی ها می‌گریزند.
* **خرس**های قطبی **خواب زمستانی** دارند.
* **موش ماده** طبیعی اجازه نمی دهد بچه موش‌ها از او دور شوند؛ اگر بچه موش ها دور شوند، مادر آن‌ها را می‌گیرد و به سمت خود می‌کشد.

«مراقبت مادری موش مادر دارای ژن طبیعی»

* وقتی جانوری مانند سگ غذا می‌بیند و یا بوی آن را احساس می‌کند، بزاق او ترشح می‌شود.
* **بزاق سگ**، با دیدن فرد غذا دهنده و قبل از دریافت غذا نیز ترشح می‌شود.
* در آزمایش شرطی شدن کلاسیک پاولوف صدای زنگ در ابتدا برای سگ یک محرک بی اثر بود ولی وقتی با محرک طبیعی یعنی غذا همراه شد، سبب بروز پاسخ ترشح بزاق شد.



* در یادگیری شرطی شدن فعال دانشمندی به نام **اسکینر موش** گرسنه‌ای را در جعبه ای قرار داد که درون آن اهرمی وجود داشت و موش می‌توانست آن را فشار دهد.

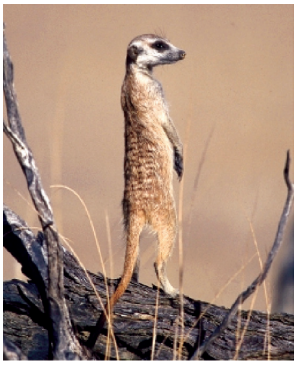


«موش در جعبه اسکینر (آزمون و خطا)»

* **برخی** از جانوران مانند شامپانزه می توانند از **تجربه**‌های قبلی خود برای حل مسئله‌ای که با آن روبه‌رو شده اند، استفاده کنند.
* **شامپانزه‌ها** برگ های شاخهٔ نازک درختان را جدا می‌کنند و آن را درون لانهٔ **موریانه‌ها** فرو می‌برند تا موریانه‌ها را بیرون بیاورند و بخورند.
* **شامپانزه‌ها** از تکه‌های چوب یا سنگ به شکل سندان و چکش استفاده می‌کنند تا **پوستهٔ سخت میوه ها** را بشکنند.
* **نقش‌پذیری در پستانداران**: **بره‌هایی** که مادر خود را از دست داده‌اند و انسان آنها را پرورش داده است، دنبال او راه می‌افتند و تمایلی برای ارتباط با گوسفندهای دیگر نشان نمی‌دهند.

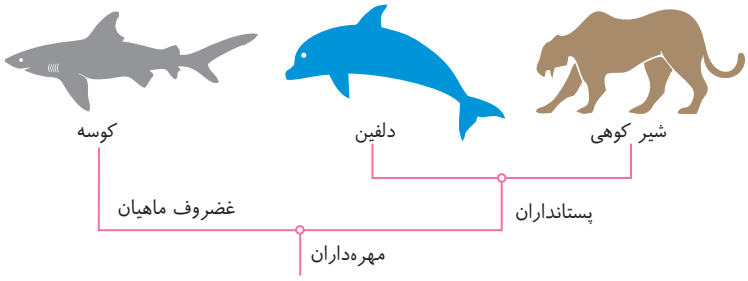
«حل مسئله در شامپانزه»

«خفاش خون‌آشام از خون پستانداران تغذیه می‌کند.»



«این دم‌عصایی(meerkat) در حال نگهبانی است. او در هنگام احساس وجود شکارچی دیگران را با فریاد آگاه می‌کند.»

* **بیشتر** پستانداران نظام **چندهمسری** دارند.
* **خفاش‌های** خون آشـــام **به طور گروهی** درون غارها یا سوراخ درختان زندگی می‌کنند.
* غذای خفاش‌ها خون **پستانداران بزرگ** مثل دام‌هاست.
* این خفاش‌ها خونی را که خورده اند با یکدیگر به **اشـــتراک** می‌گذارند (رفتار دگرخواهی).
* خفاشی که غذا خورده است **کمی** از خون خورده شده را برمی‌گرداند تا خفاش گرسنه آن را بخورد. در غیر این صورت خفاش گرسنه خواهد مرد.
* خفاشی که غذا دریافت کرده، کار خفاش دگرخواه را در آینده **جبران** می‌کند. اگر جبران انجام نشود، این خفاش از اشتراک غذا کنار گذاشته می‌شود.
* خفاش‌هایی که دگرخواهی انجام می دهند، لزوماً خویشاوند نیستند
* **بعضی** گرده افشـــان‌ها، مانند **خفاش** در شب تغذیه می‌کنند. پیکر این جانوران، هنگام تغذیه از گل‌ها به دانه‌های گرده آغشته می‌شود و به این ترتیب، دانه‌های گرده را از گلی به گل دیگر منتقل می‌کنند.
* **برخی** جانوران مانند **گرگ** به شکل گروهی زندگی می‌کنند و با هم همکاری دارند.
* **دم عصایی** درحال نگهبانی اســـت. او در هنگام احســـاس وجود شکارچی دیگران را با **فریاد** آگاه می‌کند و رفتار دگر خواهی را از خود نشان می‌دهد.
* اندام‌هایی را که طرح ساختاری آنها یکسان است، حتی اگر کار متفاوتی انجام دهند، «**اندام‌ها یا ساختارهای همتا** » می‌نامند. دست انسان، بال پرنده، باله دلفین و دست گربه مثال‌هایی از اندام‌های همتا هستند.



«نیای مشترک و گونه‌های خویشاوند»

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 محیطی که غلیظ‌تر باشد، فشار اسمزی بیشتری و پتانسیل آب کمتری داشته و با فرایند اسمز تمایل جذب آب بیشتری از محیط رقیق اطراف خود دارد** و از طرفی به دلیل اینکه هر جانداری باید قدرت **هم‌ایستایی (هومئوستازی)** داشته باشد و 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 و به مطالعهٔ دفع ادرار و مکانیسم تولید آن در انسان و برخی جانوران می‌پردازیم. در ابتدا چند نکته در مورد حفظ شرایط درونی بدن را بررسی می‌کنیم.

نکته: 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 خون‌رسانی به کلیه و تولید ادرار کم می‌شود تا بدن آب ادرار را بیشتر بازجذب کند. 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.

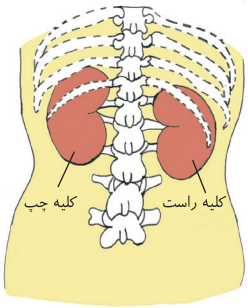
نکته: هم‌ایستایی (هومئوستازی) در **هر** جانداری **برای تداوم حیات** و تنظیم آب و مواد شیمیایی بدن ضرورت دارد. چون **بسیاری از بیماری‌ها** در نتیجهٔ بر هم خوردن هم‌ایستایی بدن رخ می‌دهد. (مثل دیابت شیرین که عدم تنظیم قند خون در آن عوارضی مثل نابینایی و نارسایی قلبی و کلیوی دارد.)

نکته: 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.

نکته: 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.

الف) موقعیت کلیه‌ها

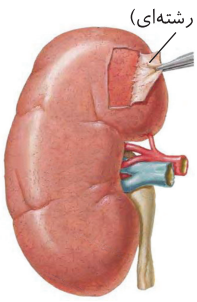
در انسان سالم و **بالغ**، دو کلیهٔ لوبیایی‌شکل تقریباً هرکدام به اندازهٔ مشت بستهٔ هر فرد در **زیر دیافراگم**، در سطح **پشتی شکم** و **طرفین** ستون مهره‌ها وجود دارد. به دلیل **شکل** و **موقعیت قرارگیری کبد** که روی کلیه سمت **راست** قرار گرفته، این کلیه قدری از کلیهٔ سمت **چپ پایین‌تر** می‌باشد. دقت کنید که **دنده‌ها** نیز از **بخشی** از قسمت فوقانی هر کلیه محافظت می‌کنند.



«موقعیت کلیه‌ها در انسان از نمای پشت»

ب) عوامل بیرونی محافظت‌کننده از کلیه‌ها (همگی از بافت پیوندی هستند)

۱) دنده‌ها از **بخشی** از کلیه‌ها محافظت می‌کنند. این عوامل از بافت **پیوندی استخوانی** می‌باشند. اگر در شکل مقابل 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 کلیه را پوشانده است.



«کپسول کلیه»

۲) پردهٔ شفافی از جنس **بافت پیوندی رشته‌ای (محکم)** به نام **کپسول کلیه** دور هر کلیه وجود دارد که مانعی برای **نفوذ میکروب‌ها** به کلیه ایجاد می‌کند (نقش **دفاعی** دارد).

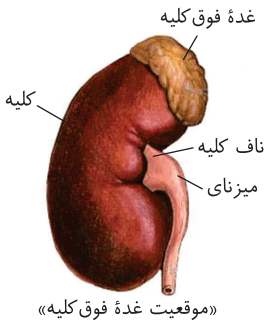
یادآوری: بافت پیوندی رشته‌ای از بافت پیوندی سست:
الف) رشته‌های کلاژن و مقاومت **بیشتری** دارد.
ب) تعداد یاخته، مادهٔ زمینه‌ای و انعطاف‌پذیری **کمتری** دارد.

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.
- لیپیدهای موجود در کیلومیکرون‌های خون را **ذخیره** می‌کند.

ج) عوامل متصل به کلیه‌ها



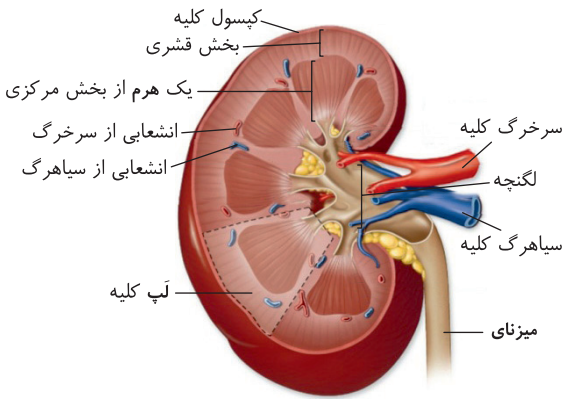
«موقعیت غدهٔ فوق‌کلیه»

به ناف هر کلیه در بخش **مرکزی** کلیه، رگ‌های **خونی**، **لنفی**، **اعصاب** و **یک مجرای ادراری به نام میزنای** متصل می‌شود. علاوه بر این موارد، **روی هر کلیه** و **چسبیده** به آن غدهٔ فوق‌کلیه‌ای وجود دارد که با تولید برخی هورمون‌ها مثل **آلدوسترون**، با بازجذب بیشتر سدیم روی فشار خون و تنظیم کار کلیه نقش مهمی دارد.

نکته: لنف کلیه در نهایت به بزرگ سیاهرگ **زبرین** ولی خون آن به بزرگ سیاهرگ **زیرین** می‌رسد تا در دهلیز **راست** دوباره با هم مخلوط شوند.

نکته: کلیه دارای یاخته‌های درون‌ریز **پراکنده** برای تولید هورمون اریتروپویتین می‌باشد در حالی که غدد فوق‌کلیه دو غدهٔ درون‌ریز با یاخته‌های **متمرکز** برای تولید هورمون‌های اپی‌نفرین، کورتیزول، آلدوسترون و کمی نیز هورمون‌های **جنسی** می‌باشند.

د) 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 نفرون‌ها یا گردیزه‌ها می‌باشد.

۲) بخش مرکزی هر کلیه

این بخش تعدادی ساختار **هرمی‌شکل** دارد. در این هرم‌های کلیه، **قاعدهٔ** هر هرم به سمت بخش **قشری** می‌باشد. به مجموعهٔ **هر هرم موجود در بخش مرکزی کلیه و بخش قشری** مربوط به آن یک **لَپ کلیه** می‌گویند. رأس هر هرم کلیه در مرکز به سمت **لگنچه** می‌باشد. **همهٔ هرم‌ها**، ادرار تولید شدهٔ خود را به **لگنچه** در بخش مرکزی کلیه وارد می‌کنند.

نکته: در بخش **مرکزی** هر کلیه و در فاصلهٔ **بین هرم‌ها** انشعاباتی از بخش **قشری** به نام **ستون‌های کلیه** دیده می‌شود، پس در حقیقت ستون‌های کلیه **ادامهٔ بخش قشری** است که وارد بخش مرکزی شده و در **بین هرم‌ها** «نه درون آن‌ها» وجود دارند.

* انشعابات رگ‌های خونی در بخش‌های مختلف قشری، مرکزی و ستون کلیوی 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 **لَپ‌های کلیه و ستون‌های کلیه** به آن (لگنچه) وارد شده تا از راه آن به میزنای هدایت شود و کلیه را به سوی **مثانه** ترک کند.

نکته: در برش کلیه گوسفند، در بین **چربی‌ها**، می‌توانیم میزنای، سرخرگ و سیاهرگ کلیه را تشخیص دهیم.

نکته: سرخرگ و سیاهرگ کلیه به لگنچه کلیه نزدیک می‌باشند و در بخش مرکزی به ناف کلیه متصل بوده و در مجاورت **اعصاب** قرار دارند.

گردیزه (نفرون)ها و ساختار آن‌ها

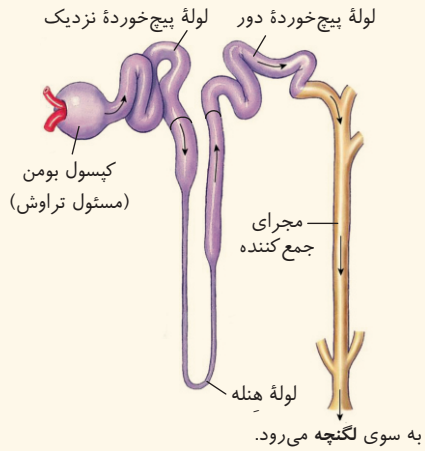
به **ساختار عمل** در هر کلیه، **نفرون یا گردیزه** می‌گویند. هر کلیه حدود یک میلیون گردیزه دارد که فرایند تشکیل ادرار در آن‌ها **آغاز** می‌شود.

اجزای هر گردیزه (نفرون)
- کپسول بومن: ابتدای هر گردیزه و به شکل **قیف** می‌باشد که همواره و در هر نفرونی در بخش **قشری** قرار دارد. این بخش، برای تشکیل ادرار عمل **تراوش** را انجام می‌دهد.
- قسمت‌های لوله‌ای‌شکل (مسئول **بازجذب** و **ترشح** هستند)
  - لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک ← در بخش **قشری** کلیه است.
  - قوس هنله
    - U شکل در **لپ** کلیه قرار دارد.
    - در بخش **قشری و مرکزی** است.
  - لولهٔ پیچ‌خوردهٔ دور ← در بخش **قشری** کلیه است.

نکته: 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.

نکته: هر نفرون 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 جمع‌کنندهٔ ادرار، در بخش **مرکزی** کلیه متصل می‌شود. ادرار درون مجرای جمع‌کننده از **چند** گردیزه به آن وارد می‌شود و سپس به لگنچه می‌ریزد.

دقت کنید که مجرای جمع‌کننده از اجزای نفرون نمی‌باشد.



«گردیزه و مجرای جمع‌کننده»

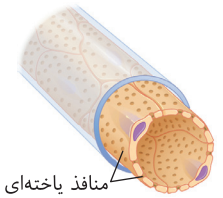
نکته: در بخش مرکزی کلیه، مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار و قوس U شکل هنله، به هر **هرم** ظاهر **مخطط** می‌دهند. در هرم‌های کلیه، **مجاری جمع‌کننده**، ادرار را به سوی لگنچه وارد می‌کنند.

نکتهٔ مهم: در یک **لَپ** کلیوی، **همه** اجزای هر گردیزه (نفرونی) موجود می‌باشد ولی در **هرم‌های** کلیه که در بخش مرکزی هستند، بخش **زیادی** از لولهٔ U شکل هنله نفرون‌ها و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار وجود دارند.

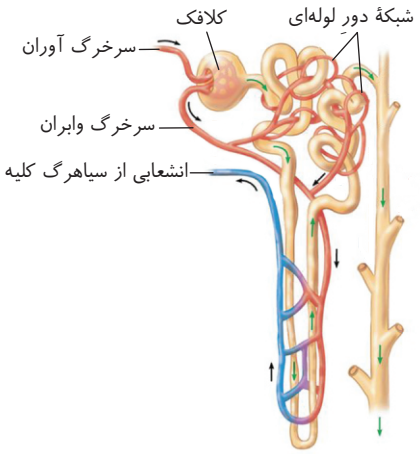
نکته: **لگنچه**، بخش قیف‌مانند هر کلیه در درونی‌ترین قسمت آن است ولی کپسول بومن، بخش قیف‌مانند هر نفرون در بخش قشری یا **بیرونی** کلیه می‌باشد.

چون منشأ ادرار نیز از **خون** می‌باشد، پس باید بین رگ‌های خونی و گردیزه‌ها، ارتباط **تنگاتنگی** وجود داشته باشد. در این قسمت نیز مانند همیشه **مویرگ‌ها** به تبادل مواد می‌پردازند.

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 درشت می‌باشند. این مویرگ‌ها **منافذ** زیاد بین‌یاخته‌ای دارند.



«منفذدار»



«شبکه‌های مویرگی مرتبط با گردیزه»

برای هر کلیه، **یک** انشعاب از سرخرگ **آئورت** جدا شده و به نام سرخرگ کلیوی از طریق **ناف** وسط کلیه به آن وارد می‌شود. این سرخرگ **مادهٔ زائد نیتروژن‌دار زیادی** دارد ولی مقدار O_2 و مواد غذایی آن هم برخلاف مقدار CO_2، **زیاد** است. سرخرگ کلیه در بخش **مرکزی** کلیه به انشعاباتی به نام **سرخرگ بین هرم‌ها** تقسیم می‌شود و از **ستون‌های کلیه** که بین هرم‌ها هستند، عبور می‌کنند تا بالاخره وارد بخش **قشری** کلیه شوند و به سرخرگ‌های کوچک‌تری تبدیل گردند. در **نزدیکی کپسول بومن** 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**، 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. این سرخرگ کوچک وابران، در اطراف **لوله‌های پیچ‌خوردهٔ نزدیک و دور و قوس هنله** شبکهٔ مویرگی دیگری (شبکهٔ مویرگی دوم) را به نام **شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای** می‌سازد که با عمل **بازجذبِ** موادِ مورد نیاز و **ترشح** مواد زائد دیگر به مجرا، در نهایت موجب تشکیل ادرار می‌شوند. شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای 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 و از ناف کلیه، خون را خارج کرده تا از راه بزرگ سیاهرگ **زیرین** به دهلیز راست برسد.

نکته: کلافک نوعی شبکهٔ مویرگی می‌باشد که **همانند** شبکهٔ مویرگی آبشش ماهی‌ها، **فاقد بخش سیاهرگی** می‌باشد. البته دقت کنید که در شبکهٔ مویرگی کلافکی کلیه‌ها، **برخلاف** شبکهٔ مویرگ‌های آبششی ماهی، دو طرف آن سرخرگ‌هایی با خون **روشن** در جریان می‌باشند. (در آبشش ماهی سرخرگ شکمی ورودی به آبشش خون **تیره** و سرخرگ خروجی پشتی خون **روشن** دارد.)

نکته: سرخرگ‌های آوران و وابران، از انواع سرخرگ‌های **کوچک** بوده که نسبت لایه الاستیک 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.

نکته: با توجه به شکل گردش خون نفرون‌ها مشاهده می‌شود که بیشتر انشعابات **شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای** که حاوی خون تیره می‌باشند، در بخش مرکزی کلیه و در مجاورت **سیاهرگ‌ها** قرار دارند.

نکته: شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای 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.

نکته: جهت جریان خون سرخرگ وابران در اطراف لولهٔ U شکل هنله از **قشر** کلیه به سمت **مرکز** بوده ولی در سیاهرگ کوچک اطراف این لوله، جریان خون از **مرکز** کلیه به سمت بخش **قشری** می‌باشد.

نکته: به‌طور معمول، سرخرگ آوران و شبکهٔ مویرگی کلافکی در بخش **قشری** کلیه بوده ولی شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای در بخش **قشری و مرکزی** کلیه قرار دارد.

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

گفتار ۲ فرایند تشکیل ادرار و تخلیهٔ آن در انسان

فرایند تشکیل ادرار در سه مرحلهٔ **تراوش، بازجذب و ترشح** صورت می‌گیرد که قبل از بررسی دقیق آن‌ها چند مطلب از نکات رگ‌های خونی کلیه و ساختار قسمت‌های مختلف گردیزه‌ها را یادآوری می‌کنیم.

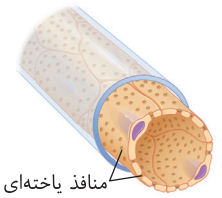
● مسیر گردش خون در کلیه (یادآوری)

سرخرگ کلیه ← سرخرگ بین هرمی ← سرخرگ قشری ← سرخرگ کوچک آوران ← شبکهٔ اول مویرگی (گلومرول) ← سرخرگ کوچک وابران

سرخرگ کوچک وابران ← شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای ← سیاهرگ کوچک ← سیاهرگ بین هرمی ← سیاهرگ کلیه ← سیاهرگ زیرین ← بزرگ سیاهرگ زیرین

ویژگی مویرگ‌های کلافک (گلومرول = شبکهٔ اول مویرگی)

این مویرگ‌ها درون حفرهٔ **داخلی** کپسول بومن واقع شده‌اند. در دو طرف آن‌ها سرخرگ آوران و وابران قرار دارند. این مویرگ‌ها، **منافذ بزرگی** در دیوارهٔ خود دارند، به همین دلیل امکان خروج مواد مختلف زائد و غیرزائد را **فقط بر اساس اندازهٔ آن‌ها (نه بر اساس نیاز بدن!!)** به خوبی فراهم می‌کنند. البته **به‌طور معمول**، **پروتئین‌ها** به دلیل اندازهٔ بزرگ خود نمی‌توانند از منافذ مویرگی دیوارهٔ کلافک‌ها عبور کنند. مویرگ‌های کلافک با اینکه در دیوارهٔ خود منافذ زیاد و بزرگی دارند، ولی غشای پایهٔ آن‌ها حدود **۵** برابر **ضخیم‌تر** از غشای پایهٔ سایر مویرگ‌هاست، به همین دلیل اگر هم پروتئینی در پلاسما (خوناب) از منافذ بزرگ مویرگی کلافک عبور کند، نمی‌تواند از غشای پایهٔ روی آن بگذرد و وارد کپسول بومن شود.



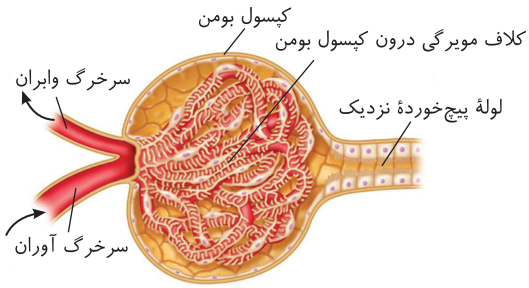
«منفذدار»

یادآوری: مویرگ‌های **کلیه** از نوع **منفذدار** هستند، که **یک لایهٔ پروتئینی** برای ممانعت از عبور مولکول‌های **درشت** دارند.

ویژگی کپسول بومن و لایه‌های آن

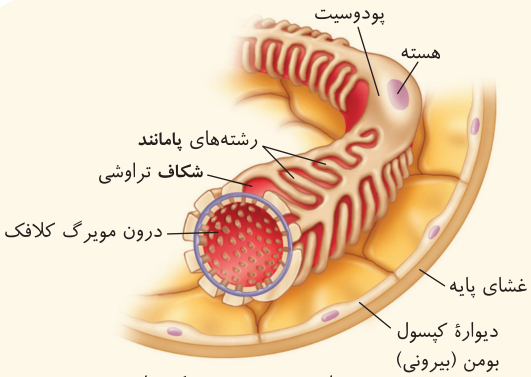
کپسول بومن اولین قسمت هر گردیزه (نفرون) می‌باشد. این قسمت **قیف**مانند، دارای **دو دیوارهٔ یاخته‌ای** است که **دیوارهٔ درونی** آن در حفرهٔ قیف واقع شده و با **کلافک مویرگی (گلومرول)** در تماس می‌باشد ولی دیوارهٔ بیرونی آن در تماس با رگ خونی نمی‌باشد.

همان‌طور که شبکهٔ مویرگی کلافکی (گلومرول)، دارای منافذ **بزرگ** می‌باشند، در بین یاخته‌های دیوارهٔ **درونی** کپسول بومن نیز **شکاف‌های فراوان** وجود دارد تا **مواد** خارج شده و تراوش شده از گلومرول بتوانند از طریق این **شکاف‌های کپسول بومن** وارد گردیزه شوند.



«کلافک درون کپسول بومن»

نکته: یاخته‌های **دیوارهٔ درونی** کپسول بومن که به سمت کلافک (گلومرول) می‌باشند نوعِ خاصی از یاخته‌های **پوششی** تک‌هسته‌ای به نام **پودوسیت (یاختهٔ پادار)** می‌باشند. **هر یک از پودوسیت‌ها**، **رشته‌های کوتاه و پامانند فراوان** دارند. پاهای یاخته‌ای پودوسیت‌ها، اطراف مویرگ‌های کلافک را احاطه می‌کنند و **شکاف‌های باریک متعددی** در **بین پاها** ایجاد می‌کنند **تا با این مکانیسم، فاصله‌ای بین دیوارهٔ گردیزه‌ها و کلافک** تقریباً وجود نداشته باشد. در این حالت مواد **به راحتی** و به خوبی امکان نفوذ از **گلومرول به گردیزه** را پیدا می‌کنند (تراوش آسان شود). در حقیقت مواد درون رگ خونی گلومرول، برحسب **اندازهٔ** خود از **منافذ** بین‌یاخته‌ای و غشای پایه عبور کرده و سپس با عبور از **شکاف‌های** بین پاهای یاختهٔ پودوسیتی کپسول بومن، وارد فضای درون گردیزه می‌شوند.



«دیوارهٔ بیرونی و درونی کپسول بومن»

نکته: یاخته‌های دیوارهٔ **بیرونی** کپسول بومن که در تماس با کلافک نیستند، همانند بافت پوششی داخل رگ‌ها و بیشتر یاخته‌های حبابک تنفسی (یاخته‌های نوع اول) از نوع **سنگ‌فرشی ساده** می‌باشند.

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 به‌جز پروتئین‌ها و خون‌بهر (هماتوکریت)) 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 بزرگ** در **کلافک‌های مویرگی گلومرول** و **شکاف‌های متعدد فراوان** در دیوارهٔ **داخلی** کپسول بومن، ساختار این قسمت‌ها برای **تراوش** متناسب شده‌اند. در این عمل مواد مفید و غیرمفید موجود در مویرگ‌های گلومرولی می‌توانند 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. با این عمل برخورد مواد درون رگ به جدار آن بیشتر شده و تراوش با قدرت بیشتری صورت می‌گیرد.

نکته: 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.

نکته: برای تراوش، مواد باید از **منافذ** مویرگی کلافک‌ها، غشای پایهٔ **ضخیم** کلافک‌ها و **شکاف‌های** متعدد پودوسیت‌های کپسول بومن عبور کنند.

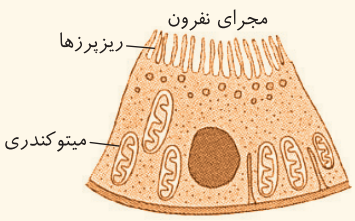
نکته: تراوش فقط برحسب **اندازه**، یعنی ریزی یا درشتی مواد و برحسب فشار خون صورت می‌گیرد و هیچ انتخاب دیگری برحسب مواد مورد نیاز یا مواد زائد بدن برای تراوش صورت نمی‌گیرد، بنابراین در اثر تراوش، هم مواد **دفعی** مثل اوره و هم مواد **مفیدی** مثل گلوکز، آمینواسید و... به کپسول بومن **نفرون‌ها (گردیزه‌ها)** 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، جریان توده‌ای و تبادل مواد در مویرگ‌ها تابع دو فشار خون و اختلاف فشار اسمزی می‌باشد.

ب) بازجذب

همان‌طور که مشاهده کردید در تراوش مواد کوچک مفید و مورد نیاز بدن نیز می‌توانند وارد نفرون شوند که این مواد برای ادامهٔ حیات بسیار ضروری هستند. 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** نفرون یعنی لوله‌های پیچ‌خوردهٔ **دور و نزدیک و هنله** به خارج از این مجاری و ورود این مواد به **مویرگ‌های دورِ لوله‌ای (شبکهٔ دوم مویرگی)** می‌باشد تا دوباره به سیستم گردش خون **عمومی** برگردند.

نکته: 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.

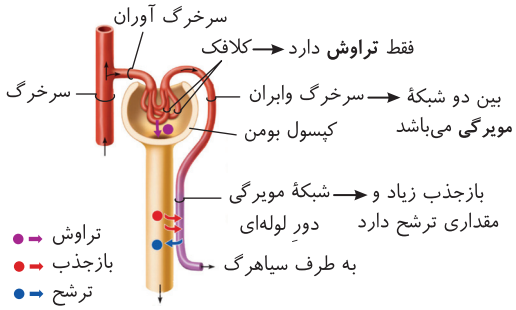
نکته: **بیشترین بازجذب** مواد در **لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک** صورت می‌گیرد که **به محض** ورود مواد تراوش شده به آنجا، عمل بازجذب مواد **آغاز** می‌شود. در لولهٔ پیچ‌خوردهٔ **نزدیک**، بافت **پوششی مکعبی یک‌لایه** وجود دارد و یاخته‌ها حاوی چین‌خوردگی‌های غشایی به نام **ریزپرزهای** فراوانی (همانند رودهٔ باریک) 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 نفرون از سایر قسمت‌ها **بیشتر** است. ضمناً با توجه به شکل مقابل که یک یاختهٔ ریزپرزدار در لولهٔ پیچیده نزدیک را نشان داده است، مشخص است که به دلیل بازجذب فعال زیادی که توسط این بخش نفرون صورت می‌گیرد، تراکم **راکیزه (میتوکندری)** در این یاخته‌ها زیاد است تا انرژی زیستی مناسبی را فراهم کنند. غشای این یاخته‌ها به سمت **مجرای** نفرون حاوی چین‌خوردگی می‌باشد. در مورد بازجذب دقت کنید که مواد مفید بدن از سمت مجرای نفرونی وارد یاخته‌های پوشاننده لوله‌های پیچیده و هنله نفرونی و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار و از سمت دیگر این یاخته‌ها وارد مویرگ خونی دور لوله‌ای یا فضای بین‌یاخته‌ای می‌شوند.



«یاخته‌های ریزپرزدار لولهٔ پیچ‌خوردهٔ نزدیک»

ج) ترشح

ترشح **آخرین** مرحلهٔ ادرارسازی است و موادی را که بدن باید **دفع** کند، **اغلب با روش فعال**، با صرف انرژی زیستی و در **خلاف** جهت بازجذب، از **درون مویرگ‌های دور لوله‌ای** یا از **خود یاخته‌های گردیزه** به درون گردیزه ترشح می‌شود. در اینجا دقت کنید که ترشح می‌تواند سبب خروج مواد زائد تولید شده در یاخته‌های نفرون 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 در بخش لوله‌ای نفرون‌ها صورت می‌گیرد و مجرای جمع‌کنندهٔ ادرار با اینکه در عمل **بازجذب** نقش دارد، ولی در عمل **ترشح** نقشی ندارد.



«فرایند تشکیل ادرار»

نکته: موادی مانند داروها، برخی از سموم و یون‌های هیدروژن یا پتاسیم **اضافی** علاوه بر **تراوش**، با عمل ترشح نیز وارد مجرای گردیزه و مایع ادرار می‌شوند.

نکته: عمل ترشح و بازجذب برخلاف عمل تراوش همراه با نفوذپذیری **انتخابی** و برحسب **نیاز بدن** و بدون توجه به **اندازهٔ** مواد صورت می‌گیرند. **هر دو** فرایند در **اغلب** موارد به صورت فعال و صرف انرژی زیستی صورت می‌گیرند. در این دو مکانیسم، **کپسول بومن** و کلافک (گلومرول) نقش مستقیمی ندارند.

نکتهٔ مهم: در عمل تراوش، مواد اغلب از **منافذ** بین یاخته‌ها یعنی از فضای بین یاخته‌ها 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.

نکته: 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.

نکته: 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 دور لوله‌ای** 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 نفرون‌ها است.

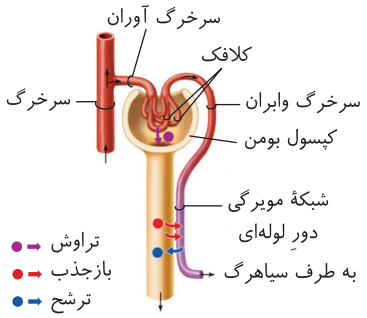
تنگ شدن سرخرگ وابران
- افزایش فشار خون در گلومرول ← تراوش، بازجذب و مقدار ادرار زیاد می‌شود.
- کاهش فشار خون در مویرگ دور لوله‌ای ← ترشح در کلیه کم می‌شود.

خلاصه مراحل تشکیل ادرار

الف) تراوش

مواد ریز زائد و غیرزائد سرخرگ آوران ← کلافک گلومرولی (شبکهٔ اول مویرگی) ← عبور از لایهٔ سنگ‌فرشی **مویرگی** ← عبور از غشای پایهٔ ضخیم

مواد ریز زائد و غیرزائد سرخرگ آوران ← وارد شدن به مجرای نفرون به کمک فشار **خون** طی تراوش ← عبور از شکاف‌های متعدد **پودوسیت‌ها** در کپسول بومن



«فرایند تشکیل ادرار»

ب) بازجذب

مواد مورد نیاز بدن از درون مجرای نفرون 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.

مواد مورد نیاز بدن از درون مجرای نفرون و لولهٔ جمع‌کنندهٔ ادرار ← به سمت **سیاهرگ‌ها** و گردش عمومی می‌روند. ← وارد شبکهٔ مویرگی **دور لوله‌ای** می‌شوند.

ج) 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.

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.

نکته: اگر به هر دلیلی مثل مصرف زیاد پروتئین‌های جانوری یا اسهال زیاد، pH خون **اسیدی** شود و پایین بیاید، تراکم یون H^+ در خون **زیاد** می‌شود، در این حالت کلیه‌ها **یون هیدروژن اضافی** را از طریق **شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای** به درون گردیزه‌ها **ترشح** می‌کنند.

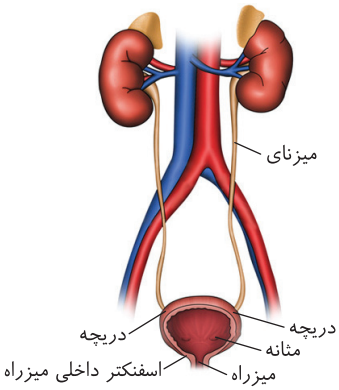
pH کم خون ← افزایش ترشح H^+ اضافی از شبکهٔ مویرگی دور لوله‌ای به نفرون

نکته: 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.

pH بالای خون ← افزایش دفع بیکربنات در ادرار

نکته: علاوه بر کلیه، انواع **گلوبولین‌ها** و **هموگلوبین** خون نیز با جذب و انتقال برخی یون‌ها (مثل انتقال H^+ توسط هموگلوبین) در تنظیم pH خون مؤثر می‌باشند. (هموگلوبین مانع ورود H^+ از بخش **هماتوکریتی** خون به پلاسما می‌شود.)

مکانیسم تخلیهٔ ادرار



ادرار ساخته شده در گردیزه‌ها (نفرون‌ها) و مجاری جمع‌کنندهٔ ادرار، وارد لگنچه در داخلی‌ترین قسمت کلیه می‌شود و سپس از **ناف** هر کلیه، وارد مجرایی به نام **میزنای** که حاوی ماهیچهٔ **صاف** است می‌گردد. پس از آن با حرکات **کرمی (دودی)** دیوارهٔ میزنای و تحت تأثیر اعصاب **خودمختار**، ادرار در میزنای جلو می‌رود و پایین می‌آید. میزنای‌ها از **جلوی** محل دو شاخه شدن آئورت نزولی عبور می‌کنند و به سمت سطح **پشتی مثانه** می‌روند. 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 صورت پیام عصبی و از راه اعصاب ویژه به **نخاع** می‌فرستد. **نخاع بدون** ارتباط با مغز و به صورت سریع، پیام حرکتی **انعکاسی** تخلیهٔ ادرار به مثانه را فعال کرده و ارسال می‌کند و سبب انقباض ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ مثانه می‌شود. 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، حاصل چین‌خوردگی مخاط پوششی هستند و بندارهٔ ماهیچه‌ای نمی‌باشند. البته دریچه‌های دهلیزی بطنی و سینی قلب نیز از بافت پوششی چین‌خورده تشکیل شده‌اند.

● خروج ادرار از مثانه

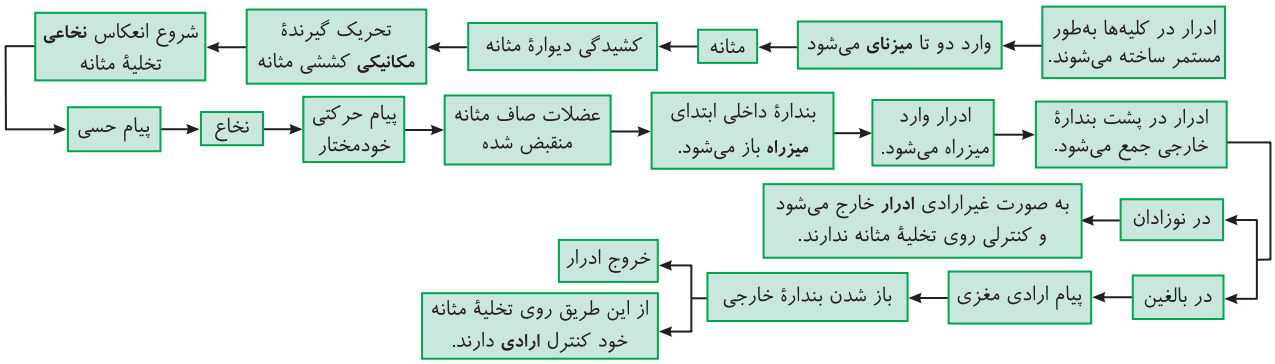
خروج ادرار از مثانه توسط مجرایی با ماهیچهٔ صاف به نام **میزراه** صورت می‌گیرد. میزراه در زنان فقط مجرای **ادرار** و در مردان مجرای مشترک **ادرار** و **اسپرم** است. در ابتدا و انتهای این مجرا، دو **بنداره (اسفنکتر)** وجود دارد. **بندارهٔ داخلی** میزراه، همان بندارهٔ **محل اتصال مثانه به میزراه** یا **دهانهٔ** 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**، بندارهٔ دیگری به نام بندارهٔ خارجی میزراه با ماهیچهٔ **مخطط** وجود دارد که تحت کنترل **قشر** مخ و اعصاب **پیکری** خارج شده از آن 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 بندارهٔ 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.

نکته: 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 **بندارهٔ خارجی انتهای میزراه** خود ندارند. در این افراد نخاع پیام مناسبی را به مغز ارسال نمی‌کند و مغز تشخیص مناسبی برای کنترل بندارهٔ خارجی میزراه ندارد. در حالی که بالغین می‌توانند **تخلیهٔ مثانهٔ** خود را از طریق عدم باز کردن بندارهٔ خارجی میزراه، کنترل کنند.

نکته: تمام اعصاب نخاعی حاوی هر دو نوع شاخه‌ها یا تارهای عصبی **حسی** و **حرکتی** می‌باشند. یعنی هم دندریت‌های حسی و هم آکسون‌های حرکتی دارند. به همین دلیل اشکال در عصب نخاعی سبب اشکال در حس و حرکت نواحی مرتبط با آن می‌شود.

نکته: 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 بندارهٔ **خارجی** میزراه، قدرت تخلیهٔ مثانه و سایر مجاری ادراری را دارند.

خلاصه



نکتهٔ ترکیبی

- در بدن دو نوع انعکاس وجود دارد
  - انعکاس با تحریک اعصاب پیکری
    - توسط ماهیچهٔ مخطط 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 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. 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.

نکته: 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.

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 **آمینواسیدها و نوکلئوتیدها** ابتدا **آمونیاک** با **سمیت زیاد** ایجاد می‌شود که تجمع آن در **خون** به **سرعت** سبب مرگ می‌شود. **کبد**، آمونیاک را با CO_2 ترکیب کرده و با ساخت **اوره** که بسیار سمیت کمتری از آمونیاک دارد، مادهٔ دفعی نیتروژن‌دار **اصلی** بدن را می‌سازد. بدن می‌تواند اوره را تا مدتی در خود نگه دارد و سپس کلیه‌ها با فاصلهٔ زمانی، آن را از **خون** می‌گیرند و به وسیلهٔ ادرار دفع می‌کنند.

آمونیاک خون ← کبد ← $+CO_2$ ← اوره ← خون ← کلیه ← ادرار

  - **۲) کِرِآتینین**
    - A) مادهٔ آلی دفعی **نیتروژن‌داری** در ادرار است که از کِرِآتین‌فسفات **ماهیچه‌ها** ایجاد می‌شود.
    - B) کِرِآتین‌فسفات در **ماهیچه‌ها** مولکولی است که برای **تأمین انرژی** استفاده می‌شود به‌طوری که گروه فسفات آن در ماهیچه جدا شده و به ADP می‌پیوندد تا ATP انرژی‌زا بسازد و در جریان این عمل **کِرِآتینین** نیز ایجاد می‌شود. این ماده در خون توسط کلیه‌ها گرفته شده تا در ادرار دفع شود.

کرآتین‌فسفات ماهیچه ← فعالیت ماهیچه ← فسفات + ADP ← ATP ← انرژی ماهیچه

کرآتین ← کرآتینین ماهیچه ← خون ← کلیه ← دفع در ادرار

  - **۳) 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 **نوکلئیک اسیدها (بازهای آلی)** ایجاد می‌شود و در ساختار خود **دو** حلقهٔ آلی نیتروژن‌دار دارد.
    - 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.

آمینواسیدها ← تجزیه ← آمونیاک سمی ← خون انسان ← کبد ← اوره ← به‌طور متناوب توسط کلیه‌ها ← ادرار

CO_2 ↓ کبد

نوکلئیک اسیدها ← سوخت‌وساز ← اوریک اسید ← به‌طور متناوب توسط کلیه‌ها

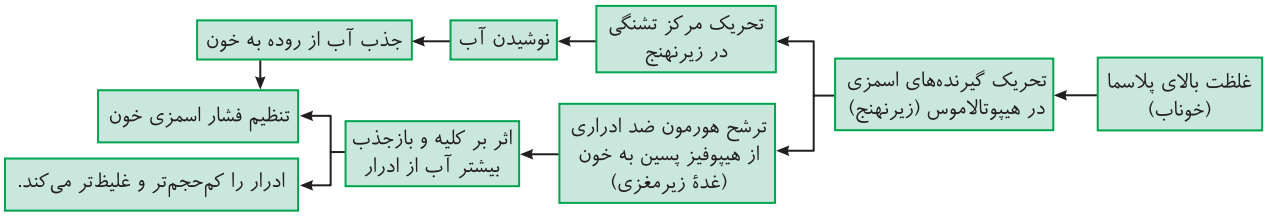
نکتهٔ مهم: CO_2 حاصل از تنفس یاخته‌ای در کبد
- مقداری وارد خون می‌شود ← از شش‌ها دفع می‌شود.
- مقداری از آن، در کبد با **آمونیاک** ترکیب می‌شود ← اوره تولید می‌شود.

یکی از مهم‌ترین عوامل تنظیم آب در بدن **عوامل هورمونی** می‌باشند. هورمون‌های ضد ادراری و آلدوسترون در تنظیم آب و نمک بدن مؤثرند.

تنظیم آب بدن در هنگام افزایش غلظت خون به کمک عمل هورمون ضد ادراری (ADH= آنتی‌دیورتیک)

در مغز، غدهٔ **هیپوتالاموس (زیرنهنج)** هم **مرکز تشنگی برای نوشیدن** می‌باشد و هم **گیرنده‌های اسمزی** برای تنظیم آب دارد. در اثر بالا رفتن فشار اسمزی خوناب (پلاسما) یعنی افزایش غلظت مواد حل شده در خون، این **گیرنده‌های اسمزی** تحریک می‌شوند. این تحریک از **یک سو** باعث فعال شدن مرکز تشنگی در زیرنهنج (هیپوتالاموس) 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 ضد ادراری از غدهٔ **هیپوفیز (زیرمغزی) پسین** به خون می‌گردد. در کتاب زیست یازدهم می‌خوانیم که هورمون ضد ادراری ابتدا در **هیپوتالاموس (غدهٔ زیرنهنجی)** ساخته شده و در غدهٔ زیرمغزی پسین (هیپوفیز پسین) **ذخیره** شده است، در موقع نیاز با ورود به خون، روی **کلیه‌ها** اثر می‌کند و **بازجذب آب** را در قسمت‌های **لوله‌ای گردیده‌ها 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 ضد ادراری



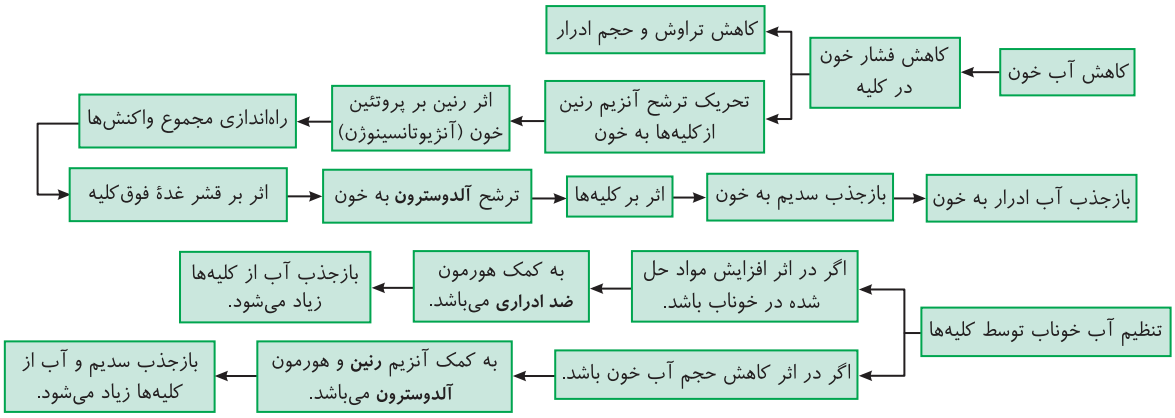
نکته: **عدم تولید و ترشح** هورمون ضد ادراری (به هر دلیلی)، سبب **عدم بازجذب مناسب** آب از کلیه‌ها می‌شود و مقدار زیادی آب به صورت ادرار **رقیق** دفع می‌شود که به این بیماری **دیابت بی‌مزه** می‌گویند. مبتلایان به دیابت بی‌مزه، به دلیل دفع آب زیاد، احساس تشنگی زیادی کرده و مجبورند آب زیادی بنوشند تا تنظیم 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.

نکته: در هر نوع دیابتی چه بی‌مزه و چه شیرین، دفع آب از ادرار و تمایل به نوشیدن **زیاد** می‌شود.

تنظیم آب بدن در هنگام کاهش مقدار آب خون به کمک سیستم رنین- پروتئین خوناب - آلدوسترون

در برخی موارد دیده می‌شود که مواد محلول در خوناب مقدار مناسبی دارند ولی خون به دلیل کمبود مقدار آب آن غلیظ شده است. اگر در نتیجهٔ کاهش آب خون و کاهش حجم خون، جریان خون یا فشار آن در سرخرگ‌های **آوران کم** شود، مقدار تراوش نیز در کلیه‌ها **کم** می‌شود. در این وضعیت از **کلیه‌ها**، **آنزیمی (نه هورمونی!)** به نام **رنین** به **خون** ترشح می‌شود. **رنین با اثر بر یکی از پروتئین‌های خوناب (پلاسما)** (به نام **آنژیوتانسینوژن**) **مجموعه‌ای** از واکنش‌ها را در بدن راه می‌اندازد که سبب می‌شوند از بخش **قشری غده‌های فوق‌کلیه**، هورمون **آلدوسترون** ترشح شود. هورمون آلدوسترون وارد خون شده و با اثر بر **کلیه‌ها سبب افزایش بازجذب سدیم** می‌شود. این عمل ابتدا فشار اسمزی خون را در شبکهٔ مویرگی **دور لوله‌ای** گردیزه‌ها زیاد کرده و در ادامه با افزایش **بازجذب آب** در کلیه، مقدار آب خوناب را به حد نرمال می‌رساند و عمل ادرارسازی نیز به حالت اولیه خود برمی‌گردد.

خلاصهٔ سیستم تنظیم آب (رنین ← پروتئین خوناب ← آلدوسترون)



نکته: کلیه‌ها به همراه **کبد** با ترشح **هورمون اریتروپویتین** به خون، سبب تحریک مغز استخوان و ساخت گویچهٔ قرمز برای مقابله با کم‌خونی و کمبود O_2 محیط می‌شوند. از طرفی کلیه‌ها با تولید **آنزیم رنین** سبب انجام واکنش‌هایی می‌شوند که در نهایت تولید هورمون **آلدوسترون** را از قشر غدهٔ فوق‌کلیه زیاد می‌کند.

نکته: خون کلیه‌ها برخلاف خون اندام‌های گوارشی و طحال درون شکم، از سیاهرگ **باب** نمی‌گذرد و مستقیماً وارد بزرگ سیاهرگ **زیرین** می‌شود ولی لنف آن همانند لنف سایر اعضای بدن در نهایت از بزرگ سیاهرگ **زبرین** وارد دهلیز راست می‌گردد.

نکتهٔ ترکیبی با زیست یازدهم

در فصل هورمون‌ها در زیست یازدهم می‌آموزید که هورمون‌های قشر غدهٔ فوق‌کلیه، تحت تأثیر هورمون‌های محرک هیپوفیز **پیشین** ترشح می‌شوند. در این فصل نیز آموختید که تنظیم ترشح هورمون آلدوسترون غدهٔ فوق‌کلیه می‌تواند در اثر نوعی آنزیم کلیوی و پروتئین‌های خونابی نیز انجام شود.

گفتار ۳ تنوع دفع و تنظیم اسمزی در سایر جانداران

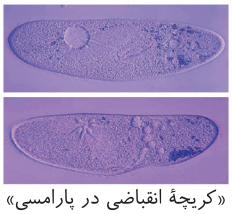
در این گفتار می‌خواهیم انواع روش‌ها و سامانه‌های موجود در جانوران مختلف را برای تنظیم اسمزی و دفع آب و مواد زائد بررسی کنیم که از ساده‌ترین آن‌ها در تک‌یاخته‌ها تا پیچیده‌ترین آن در پستانداران را در ادامه خواهید آموخت.

دفع مواد در تک‌یاخته‌ای‌ها

در بین جانداران، کل باکتری‌ها به همراه **برخی** قارچ‌ها و **برخی** آغازیان تک‌یاخته‌ای می‌باشند.

بسیاری از تک‌یاخته‌ها مواد را فقط با **انتشار** و طبق تنظیم اسمزی دفع می‌کنند. در این حالت با خروج مواد زائد از یاخته آب نیز به همراه آن از جاندار خارج می‌شود.

* برخی آغازیان تک‌یاخته‌ای ساکن آب **شیرین** مانند پارامسی‌ها، آب **زیادی** را با **اسمز** از **دهان یاخته‌ای** وارد می‌کنند. این آب اضافی به همراه مواد دفعی تولید شده در سوخت‌وساز یاخته مثل آمونیاک، توسط **واکوئل (کریچه) انقباضی** یا ضربان‌دار به صورت فعال دفع می‌شود.


«کریچهٔ انقباضی در پارامسی»

در حقیقت این جانداران تک‌یاخته‌ای، تعدادی **کریچه** (واکوئل) تنظیم آب به نام کریچهٔ 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 کریچه‌های غذایی، گوارشی و دفعی صورت می‌گرفت. این جانداران، کریچه‌هایی اختصاصی برای تنظیم آب و مواد دفعی نیتروژن‌دار به نام کریچهٔ انقباضی دارند.

نکته: پارامسی **یک** منفذ جذب آب و مواد به نام دهان یاخته‌ای و **یک** منفذ دفعی مواد دارد.

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

در ادامهٔ این مطلب بررسی می‌کنیم که در **بیشتر** بی‌مهرگان مختلف سامانه‌های **دفعی** مشخصی به نام **نفریدی‌ها**، **غدد شاخکی** و **لوله‌های مالپیگی** وجود دارد که به ترتیب آن‌ها را بررسی می‌کنیم. دقت کنید که این سامانه‌ها تنظیم آب را به صورت تنظیم اسمزی و تنظیم یون‌ها را با دفع آن‌ها انجام می‌دهند.

الف) نفریدی

این سیستم دفعی ساده، برای دفع، 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 به **بیرون باز شده** و در ارتباط می‌باشند. این سیستم به دو نوع **پروتونفریدی** و **متانفریدی** تقسیم‌بندی می‌شود. لوله‌های نفریدی از **انتهای** خود **باز** هستند که مواد را خارج می‌کنند ولی ابتدای آن‌ها همانند کپسول بومن نفرون‌ها، **بسته** می‌باشد.

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.

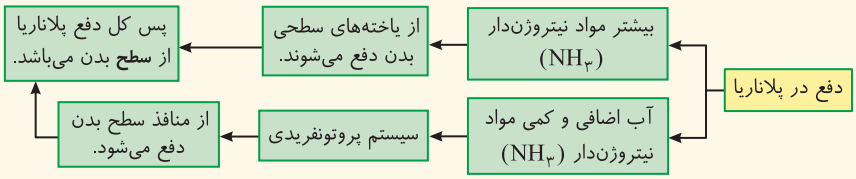
A) سامانهٔ دفعی پروتونفریدی

این سامانهٔ دفعی که مثلاً در کرم پهن **پلاناریا** دیده می‌شود حاوی **شبکه‌ای از کانال‌هاست** که از طریق **تعداد زیادی** منفذ دفعی به خارج بدن راه دارد. **کار اصلی** پروتونفریدی پلاناریا **دفع آب اضافی** است چون **بیشتر دفع مواد زائد نیتروژن‌دار (آمونیاک)** آن از راه **پوست** و از **منافذ سطح مربوط به پوست بدن صورت** می‌گیرد.

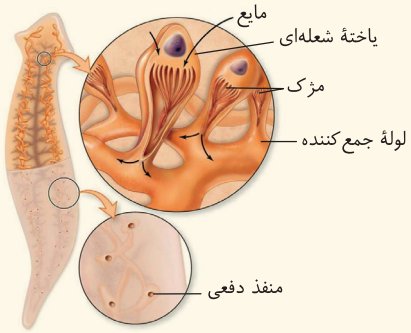
نکته: کانال‌های پروتونفریدی در تمام طول خود حاوی **یاخته‌های مژه‌دار شعله‌ای** می‌باشند. این یاخته‌ها مایعات دفعی را از **فضای بین‌یاخته‌ای** به داخل خود می‌برند. حرکت ضربانی **مژه‌های درون این یاخته‌ها** باعث می‌شود که از سمت دیگر یاخته که به کانال‌های **لوله‌ای جمع‌کننده** متصل است، آب و مادهٔ دفعی را خارج کنند تا سرانجام مایع دفعی درون هر انشعاب کانال به **یک** منفذ در سطح بدن راه پیدا کند و خارج شود. از آنجایی که تعداد انشعابات کانال‌های پروتونفریدی در بدن این جانوران بسیار زیاد است، تعداد منافذ سطحی زیادی نیز برای خروج مواد دفعی از بدن آن‌ها به صورت پراکنده وجود دارد.

نکته: هر یاختهٔ **شعله‌ای** مژک‌دار در سیستم پروتونفریدی از سمت مژک با هسته و **فضای بین‌یاخته‌ای** در ارتباط است و از سطح مخالف آن به **لوله‌های جمع‌کننده دفعی** متصل است. یاخته‌ها آب و مواد دفعی را می‌توانند در دو جهت **مختلف** لوله زیر خود هدایت کنند.

نکته:

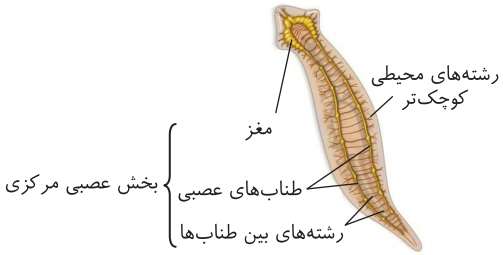


نکته: پلاناریا، نوعی کرم **پهن** است که گوارش **برون**یاخته‌ای در **حفرهٔ** گوارشی و گوارش درون‌یاخته‌ای توسط **کریچهٔ غذایی (گوارشی)** دارد. تنفس **پوستی** دارد و حاوی پوست مرطوب می‌باشد. این جانور از طریق سیستم **پروتونفریدی** بیشتر آب اضافی و کمی از مواد زائد نیتروژن‌دار را خارج می‌کند. دقت کنید که پلاناریا از سطح پوست خود قدرت دفع CO_2 در تنفس و دفع **بیشتر** مواد زائد نیتروژن‌دار دفعی (آمونیاک) را دارد. این کرم پهن **زندگی آزاد (آزادزی)** دارد.



«پروتونفریدی در پلاناریا»

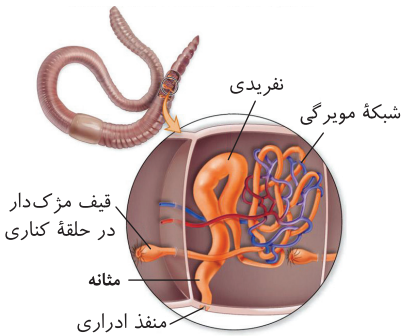
سامانهٔ عصبی پلاناریا: در زیست یازدهم می‌آموزید که پلاناریا ساده‌ترین **مغز** و تقسیم‌بندی اعصاب مرکزی و محیطی را دارد. در این جانور مغز از **دو** گره حاوی تعدادی **جسم یاخته‌ای** تشکیل شده است که دو طناب عصبی **موازی** در سطح **جانبی** بدن دارد. این دو رشته طناب عصبی به همراه رشته‌های **نردبانی** که آن‌ها را به هم متصل کرده است و مغز، اعصاب **مرکزی** جانور را تشکیل داده‌اند ولی رشته‌های **کوچک‌تری** که از هر طناب عصبی خارج می‌شود به عنوان اعصاب **محیطی** جانور شناخته می‌شود.



«پلاناریا»

B) سامانهٔ دفعی متانفریدی

این سامانهٔ دفعی در **بیشتر کرم‌های حلقوی (مثل کرم خاکی) و نرم‌تنان** دیده می‌شود و از سیستم پروتونفریدی پلاناریا **پیشرفته‌تر** است. در این سامانه **هر متانفریدی** شامل **لوله‌ای** است که در جلوی خود **قیف مژه‌دار بسته‌ای** دارد که دهانهٔ آن به‌طور مستقیم با **مایعات** بین‌یاخته‌ای بدن ارتباط دارد، مواد فقط از راه این بخش مژه‌دار وارد لولهٔ متانفریدی می‌شود. در ادامه در اطراف طول لوله، یک شبکهٔ مویرگی (البته فقط در کرم خاکی که گردش خون بسته و مویرگ دارد) برای بازجذب مواد مورد نیاز وجود دارد. هر لوله متانفریدی در هر **حلقهٔ** بدن در نزدیک انتهای خود به صورت **یک کیسه** برآمده به نام **مثانه** درمی‌آید که در آخر به **یک منفذ** خروج ادرار مربوط به آن حلقه متصل می‌شود تا ادرار را از بدن خارج کند. دقت کنید که بدن کرم خاکی از **تعدادی** حلقه به وجود آمده است که هر حلقه **یک جفت** یا **دو** عدد متانفریدی دارد. پس در هر حلقه دو مثانه و دو منفذ خروجی مواد زائد وجود دارد.



«متانفریدی»

نکته: پروتونفریدی‌ها در **طول** خود می‌توانند توسط یاخته‌های شعله شمعی مواد غیرمفید را از بدن بگیرند و دفع کنند ولی در سامانهٔ متانفریدی مواد زائد فقط از قسمت **ابتدای** قیف‌مانند آن وارد لولهٔ دفعی نفریدی می‌شود.

نکته: در پروتونفریدی هر یاختهٔ مرتبط با لولهٔ دفعی، حاوی مژک‌هایی در **درون** یاخته می‌باشد ولی مژک‌ها در سامانهٔ متانفریدی در **خارج** یاخته در ابتدای سامانه وجود دارند. اگر با دقت به شکل متانفریدی توجه کنید، قیف مژک‌دار متانفریدی هر حلقه در حلقه **کناری** آن قرار دارد.

نکته: سیستم متانفریدی
- در کرم خاکی
  - مواد مختلف را از فضای بین‌یاخته‌ای و مایعات می‌گیرد و وارد متانفریدی می‌کند.
  - حاوی **مویرگ‌هایی** برای بازجذب مواد مورد نیاز می‌باشد.
- در نرم‌تنان
  - مواد زائد را از **همولنف** وارد متانفریدی می‌کند.
  - **بیشتر** نرم‌تنان همولنف و گردش خون **باز** دارند.

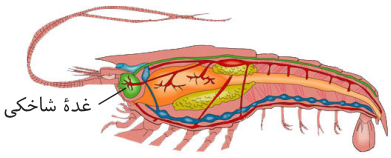
آب و مواد مختلف ← وارد قیف مژک‌دار متانفریدی کرم خاکی می‌شود. ← بازجذب مواد لازم به رگ‌های خونی / دفع آب و مواد زائد از راه مثانه و منفذ خروجی

آب و مواد مختلف ← از همولنف نرم‌تنان وارد متانفریدی می‌شود. ← مواد مورد نیاز به همولنف برمی‌گردد. / مواد زائد از مثانه و منفذ خروجی خارج می‌شود.

سایر نکات کرم خاکی: بدن کرم خاکی که از کرم‌های **حلقوی** است، حلقه‌های متعددی دارد که **هر** حلقه دارای **یک جفت متانفریدی** می‌باشد. کرم خاکی همان‌طور که از فصل‌های قبل به یاد دارید دارای لولهٔ گوارش **بدون معده** است، گوارش **برون‌یاخته‌ای** دارد ولی این لوله حاوی دهان، حلق، مری، چینه‌دان، سنگدان، **روده** و مخرج می‌باشد. همچنین کرم خاکی تنفس **پوستی** با پوستی مرطوب و پر از شبکهٔ مویرگی **زیرپوستی** همراه با سیستم **گردش خون بسته** دارد که **رگ پشتی** آن **قلب اصلی** است و در قسمت جلویی بدن **۵ جفت کمان رگی** در اطراف لولهٔ گوارش به عنوان **قلب کمکی** وجود دارد. این جانور فاقد پا می‌باشد و با انقباض ماهیچه‌های طولی و حلقوی بدن و به کمک تارهای زیر حلقه‌های خود در میان خاک مرطوب حرکت می‌کند. کرم خاکی **همولنف** و قلب دارای منفذ **دریچه‌دار** برای گرفتن خون ندارد.

ب) غدد شاخکی

سخت‌پوستان از گروه **بندپایان** هستند و گردش خون **باز** به همراه همولنف دارند ولی برخلاف حشرات فاقد تنفس نایدیسی می‌باشند. تنفس این گروه با **آبشش** بوده و با تصفیه خون در بدن آن‌ها خون تیره و روشن دیده می‌شود.



«غدد شاخکی»

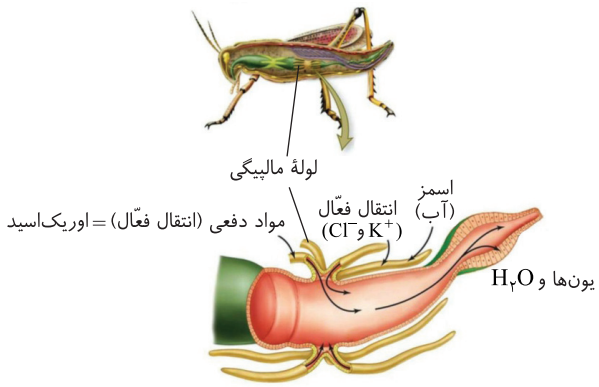
با اینکه در **سخت‌پوستان آبزی**، مواد دفعی نیتروژن‌دار **با انتشار ساده** و از **طریق** آبشش و اغلب به صورت **آمونیاک** دفع می‌شود ولی در **برخی از سخت‌پوستان** (مثل میگوها و خرچنگ‌ها) علاوه بر آبشش، سیستمی به نام **غدد شاخکی** در **جلوی** بدن و نزدیک شاخک‌ها وجود دارد که مایعات دفعی را از **همولنف** موجود در حفرهٔ عمومی (سلوم) گرفته (چون این جانوران گردش خون باز دارند) و در حقیقت این مایعات به غدد شاخکی **تراوش** شده تا از **منفذ دفعی** غده در **نزدیک** شاخک در جلوی بدن دفع شوند.

مایعات دفعی همولنف ← تراوش ← غدد شاخکی ← منفذ دفعی در نزدیک شاخک

نکته: در شکل خرچنگ مشاهده می‌کنید که خون تیره و روشن در سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌های جانور جریان دارد ولی این جانور فاقد مویرگ و دارای گردش خون باز می‌باشد. در این گروه قلب در **پشت** بدن ولی رگ‌های دارای خون تیره یا روشن، هم در بخش پشتی و هم در بخش شکمی جانور وجود دارند.

ج) لوله‌های مالپیگی

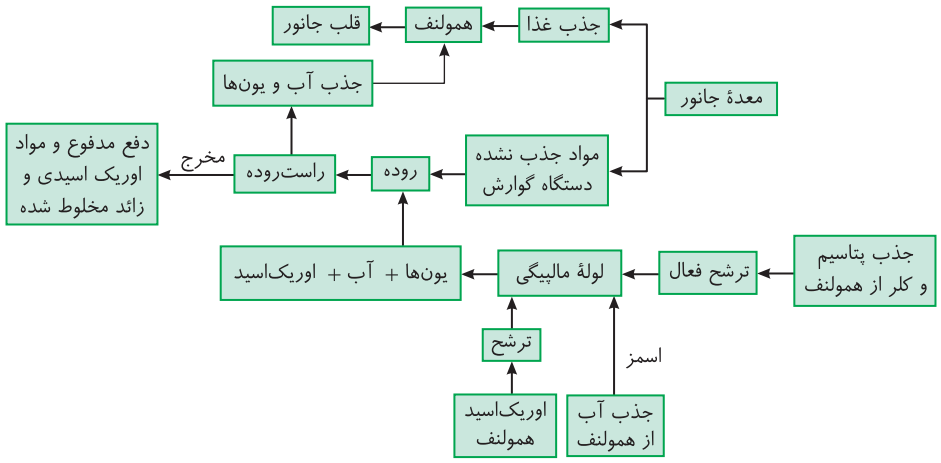
این ســامانهٔ دفعی در **حشــرات** دیده می‌شود که به صورت لوله‌های **مجزا** در کنار هم بوده که از طرف **همولنف** بسته می‌باشند و از طرف دیگر باز و به سمت **روده** هستند. این سامانه در آخر **ادرار و مدفوع** را مخلوط کرده و به‌طور مشترک از طریق **روده و دریچهٔ مخرجی** از بدن خارج می‌کنند.
لوله‌هــای مالپیگی از **همولنــف** موجود در گردش خون بــاز که در **حفرهٔ عمومی (ســلوم)** واقع شــده است، ابتدا یون‌های **پتاســیم و کلر** را با صرف انــرژی (انتقال فعال) و به صورت **ترشــح** می‌گیرند و ســپس با بالا رفتن فشار اسمزی در لوله‌های مالپیگی، **آب** را نیز طی فرایند **اسمز** از همولنف وارد می‌کنند، در آخر **اوریک اسید** به صورت بلورهای **جامد** به درون این لوله‌ها **ترشــح فعال** می‌شود. همهٔ این مواد (آب، یون‌ها و اوریک اسید) از طریق لوله‌های مالپیگی که به **رودهٔ** جانور متصلند، وارد **روده** می‌شــوند و در آنجا **آب و یون‌های** مورد نیاز آن دوباره **بازجذب** شده و اوریک اسید به همراه مواد دفعی دســتگاه 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 حشــرات در اطراف معدهٔ خود حاوی **کیســه‌های** ترشــح‌کنندهٔ آنزیم و در اطراف رودهٔ خود حاوی **لوله‌های** ترشــح‌کنندهٔ مواد زائد می‌باشند. جذب غذا در **معدهٔ** جانور ولی جذب آب و املاح در روده یا **راست‌رودهٔ** جانور صورت می‌گیرد.

خلاصه عمل 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).
پارامسی (تک‌یاخته‌ای)	کمک کریچه‌های **انقباضی**	تک‌یاخته‌های یوکاریوتی ساکن آب شیرین، آب اضافی را از واکوئل انقباضی دفع می‌کنند.
پلاناریا (کرم پهن)	**پروتو**نفریدی	یاخته‌های **شعله‌ای** دارد - مژه‌های **درون‌یاخته‌ای** با حرکت **ضربانی** دارد - مایعات را از فضای بین‌یاخته‌ای وارد می‌کند - منافذ **متعدد** دفعی در سطح بدن دارد که بیشتر **آب** دفع می‌کنند.
نرم‌تنان و بیشتر کرم‌های حلقوی (کرم خاکی)	**متا**نفریدی	از پروتونفریدی پیشرفته‌تر است - **قیف مژه‌دار** در ابتدا برای گرفتن مواد زائد و **مثانه** در انتهای سیستم دارد - هر حلقه کرم خاکی یک جفت متانفریدی **مویرگ‌دار** دارد. (هر متانفریدی یک بخش قیف‌مانند و یک مثانه به همراه منفذ خروجی دارد.)

جاندار	نوع دفع یا سامانهٔ تنظیم اسمزی	نکات
سخت‌پوستان	برخی **غدد شاخکی** دارند	آمونیاک را با انتشار از آبشش دفع می‌کنند یا مثل میگو و خرچنگ‌ها از طریق غدد شاخکی در نزدیک شاخک خود 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.

مهره‌داران راهکارهای متنوعی برای تنظیم اسمزی خود دارند که بیشتر آن‌ها مربوط به سازگاری‌های دستگاه **دفع ادرار** آن‌ها می‌باشد.

نکته: همهٔ مهره‌داران **کلیه** دارند ولی **ساختار کلیهٔ** آن‌ها **متفاوت** بوده در حالی که **عملکرد** آن‌ها **مشابه** است. 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 نفرون‌های 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 آب به خروج از بدن مواجه می‌شوند. بدن این جانداران به نسبت محیط بسیار رقیق‌تر است و آب 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.

در ماهی‌های غضروفی (مثل کوسه‌ماهی و سفره‌ماهی) علاوه بر اینکه کلیه‌های آن‌ها 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.

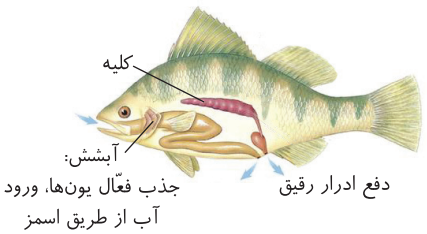
ماهی غضروفی:
- کلیه‌ها ← دفع املاح زائد نیتروژن‌دار
- غدد راست‌روده ← NaCl ← ترشح ← **روده** ← دفع

خلاصه تنظیم اسمزی در ماهی غضروفی

غلظت مایعات درون بدن آن‌ها از آب محیط کمتر می‌باشد. ← برای عدم دفع آب بدن به بیرون ←
- از **کلیه‌های** خود نمک غلیظ را به محیط بیرون ترشح فعال می‌کنند.
- از غدد **راست‌روده‌ای** خود نمک غلیظ به محیط بیرون ترشح فعال می‌کنند.

ب) ماهیان ساکن آب شیرین

در ماهیان و سایر جانداران ساکن **آب شیرین** (مثل ماهی قرمز)، چون فشار اسمزی **مایعات درون بدن** از **محیط بیشتر** است، یعنی آب درون بدن آن‌ها از آب 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** و همچنین دارای بدنی پوشیده از **مادهٔ مخاطی** می‌باشند که **مانع ورود آب از سطح بدن می‌شود**. این جانوران در محیطی نیستند که نمک و مواد محلول زیادی داشته باشد و به همین دلیل نباید املاح بدن خود را به راحتی از دست بدهند، به همین دلیل در ماهی‌های ساکن آب شیرین، نمک و یون‌های مورد نیاز (برخلاف ماهی‌های دریازی) با **انتقال فعال** از طریق **آبشش‌ها** جذب بدن می‌شوند. جانور به دنبال این روش از آبشش‌های خود **آب** جذب می‌کند و در نهایت ادرار **رقیق** شده را با حجم **زیاد** ولی نمک **کم** از مجرای ادرار خود دفع می‌کند.

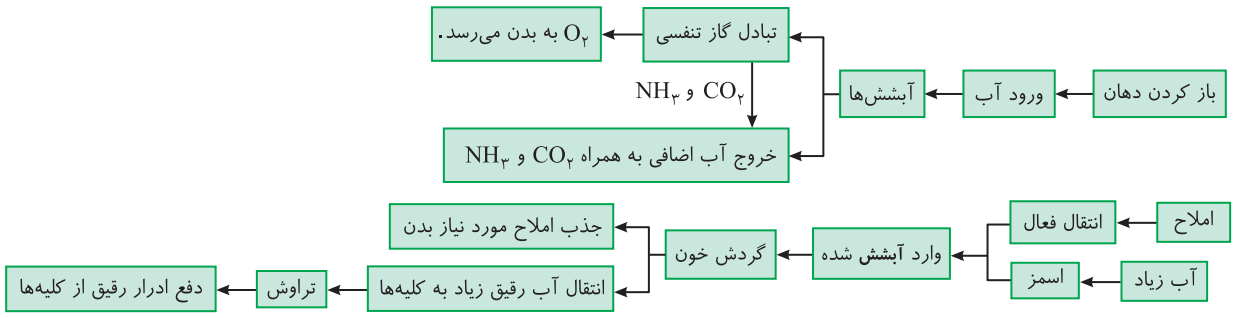


«تنظیم آب در ماهیان آب شیرین»

نکته: باز و بسته شدن دهان ماهی قرمز فقط برای گرفتن مقدار آب لازم برای **تبادل گازهای تنفسی** در آبشش‌ها است و پس از تبادل گازها، آب اضافی را از آبشش‌ها خارج می‌کنند.

نکته: ماهی‌های ساکن آب شیرین ادرار رقیق را از **کلیه‌ها** و آب اضافی به همراه گازهای تنفسی و مادهٔ زائد نیتروژن‌دار را از **آبشش‌ها** دفع می‌کنند.

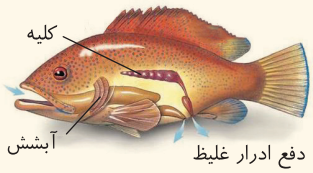
مکانیسم جریان آب در ماهی‌های آب شیرین



ج) ماهیان ساکن آب شور

در ماهیان **دریایی** ساکن آب شور، چون فشار اسمزی محیط بیرون (آب دریا) از مایعات درون **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 یون‌ها از طریق **یاخته‌های آبششی** و برخی توسط **کلیه** و به صورت ادرار **غلیظ** دفع می‌شوند. (این ماهی‌ها همانند سخت‌پوستان آبزی، مواد دفعی را از **آبشش** خود خارج می‌کنند.)

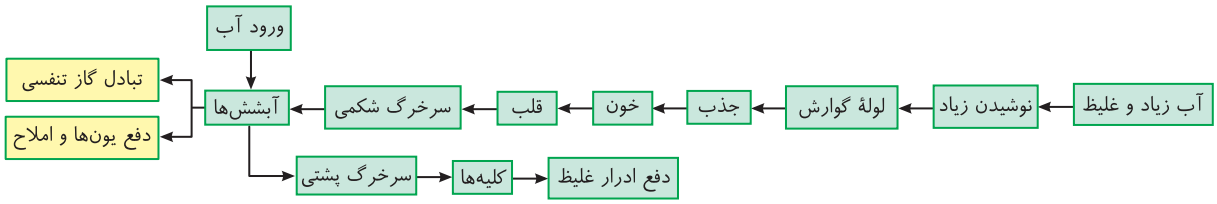
نکته: ماهی‌های ساکن آب شیرین، قدرت دفع ادرار **رقیق** از **سیستم دفع ادرار** خود دارند ولی ماهی‌های ساکن آب شور دریا، یون‌ها را به صورت **ادرار غلیظ** و از **طریق** سیستم دفع ادرار کلیوی و مقداری نیز از طریق **سیستم تنفسی آبششی** دفع می‌کنند.



«تنظیم آب در ماهیان آب شور»

نکته
- مشکل تنظیم آب در ماهیان ساکن آب شیرین ← با نوشیدن **کم** آب و دفع ادرار **رقیق** همراه با جذب املاح از **آبشش** حل می‌شود.
- مشکل تنظیم آب در ماهیان ساکن آب شور ← با نوشیدن **زیاد** آب و دفع نمک آن در ادرار **غلیظ** حل می‌شود.

خلاصه جریان آب در ماهی آب شور

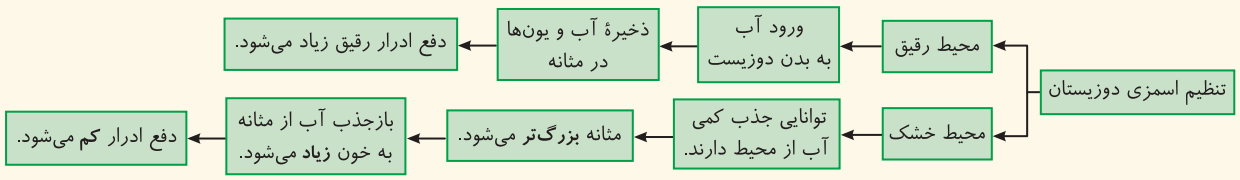


نکتهٔ راحت برای یادگیری
- اگر محیط آب شیرین رقیق داشت ← ادرار جانور هم **رقیق** با نمک **کم** دفع می‌شود.
- اگر محیط آب شور پرنمک غلیظ داشت ← ادرار جانور هم **غلیظ** و با نمک **زیاد** دفع می‌شود.

دفع ادرار در دوزیستان

دوزیستان، ساکن آب **شیرین** هستند، بنابراین عمل کلیهٔ **دوزیستان** مشابه **ماهیان** ساکن **آب شیرین** می‌باشد و 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.



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 که در هنگام دگردیسی و بالغ شدن رشد روده نسبت به رشد سایر بخش‌های بدن کمتر است چون رژیم گیاه‌خواری در نوزاد آن‌ها، نسبت روده بیشتری نیاز دارد.

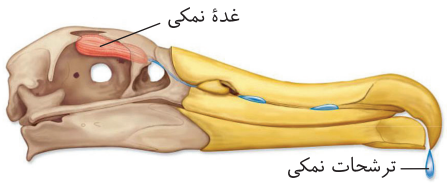
۳) **بیشتر** تنفس **پوستی** انجام می‌دهند و پوستی حاوی مادهٔ مخاطی لغزنده دارند.

۴) در حالت بلوغ شش‌هایی با سیستم تهویه فشار **مثبت** دارند که با بینی **بسته**، هوا را به زور وارد شش‌ها می‌کنند.

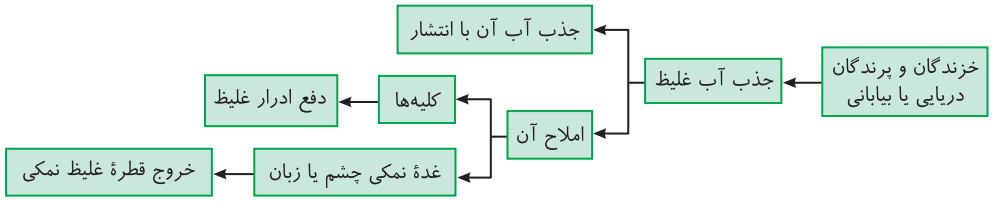
دفع ادرار در خزندگان و پرندگان

نکته: **پیچیده‌ترین** شکل **کلیه** در خزندگان، پرندگان و پستانداران و متناسب با کنترل (واپایش) تعادل اسمزی مایعات بدن وجود دارد که البته ساختار کلیه در **پرندگان و خزندگان** مشابه می‌باشد که توانایی بازجذب **آب** زیادی دارد.

این دو گروه 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 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 که نمک اضافهٔ بدن را گرفته و به صورت قطره‌های **غلیظ** به محیط دفع می‌کنند.



«غدهٔ نمکی»



فصل ششم

از یاخته تا گیاه

درسنامه

گفتار ۱ ویژگی‌های یاختهٔ گیاهی

این فصل شروع اختصاصی زیست‌شناسی گیاهی و نقش گیاه در طبیعت می‌باشد. گیاهان فرمانرویی 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 گیاهان برای مقابله با خطر و سایر ویژگی‌های گیاهی باید ابتدا یاخته و ساختارهای ویژه آن را بشناسیم و تفاوت آن را با یاخته در سایر جانداران بررسی کنیم.

نکته: گیاهان به دو نوع بدون آوند یا 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.

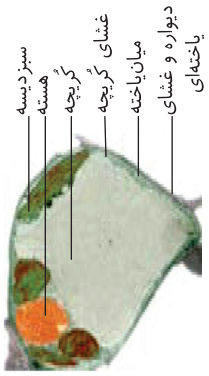
یادآوری: جدول انواع گیاهان و ویژگی‌ها

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 و دولپه

اجزای 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) و دیواره (بخش غیرزنده)



«یاختهٔ گیاهی»

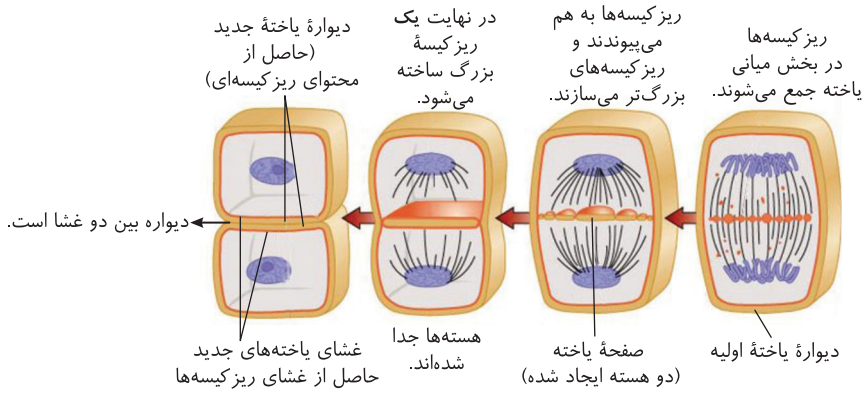
۱) پروتوپلاست

هم‌ارز یاختهٔ زنده در **جانوران** می‌باشد که شامل غشا، هسته و سیتوپلاسم (میان‌یاخته) دارای اندامک‌ها و 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 بین دو هسته می‌سازد و میان‌یاخته یا سیتوپلاسم را به دو بخش تقسیم می‌کند. در حقیقت در سیتوپلاسم این یاخته‌ها، اندامکی به نام **دستگاه گلژی** با ساخت **ریزکیسه‌هایی** سبب تشکیل دیوارهٔ یاخته‌ای می‌شود.

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، **کریچه**، حجیم‌ترین اندامک یاخته بوده که به حفظ و تنظیم **آب** یاخته می‌پردازد.

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، بعد از تقسیم هسته، ریزکیسه‌هایی شامل پیش‌سازهای دیوارهٔ یاخته که توسط **غشا** احاطه شده‌اند، در دستگاه گلژی ساخته می‌شوند. این ریزکیسه‌ها در **وسط** یاخته کنار هم قرار می‌گیرند و به تدریج به هم متصل شده تا به دیوارهٔ **قدیمی** یاختهٔ مادر متصل شوند و دو یاختهٔ مجزای جدید یا یک **صفحه دیوارهٔ** یاخته‌ای در وسط ایجاد کنند.



«تقسیم میان‌یاخته در یاختهٔ گیاهی»

* 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.

* اعمال دیواره در یاختهٔ گیاهی:
- الف) حفظ شکل یاخته
- ب) استحکام یاخته
- ج) استحکام پیکر گیاه
- د) واپایش (کنترل) تبادل مواد بین یاخته‌ها در گیاه
- ه) جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا
- و) جلوگیری از ترکیدن یاخته در اثر آب‌گیری یا تورژسانس زیاد

نکته: دیواره برخلاف غشا، نفوذپذیری انتخابی **ندارد** ولی از غشا **قطورتر** می‌باشد.

نکته: واژهٔ یاخته، اولین بار 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 نوری **ابتدایی** این موارد را مشاهده کرد.

«میکروسکوپ ابتدایی رابرت هوک و آنچه مشاهده کرد.»

نکته: علاوه بر گیاهان، قارچ‌ها، **اغلب** باکتری‌ها و بیشتر آغازیان نیز دیوارهٔ یاخته‌ای دارند ولی جانوران فاقد دیوارهٔ یاخته‌ای می‌باشند.

دیواره‌سازی و انواع دیوارهٔ یاخته‌ای در گیاهان

الف) تیغهٔ میانی

اولین و **قدیمی‌ترین** لایهٔ دیوارهٔ یاخته‌ای گیاهان است که **بعد** از تقسیم هسته (بعد از مرحلهٔ تلوفاز) ایجاد می‌شود. این دیواره حاوی نکات زیر می‌باشد:

نکات تیغهٔ میانی

۱) **یک لایه دیوارهٔ مشترک** بین دو یاخته‌ای است که به تازگی هستهٔ آن‌ها تقسیم شده است.

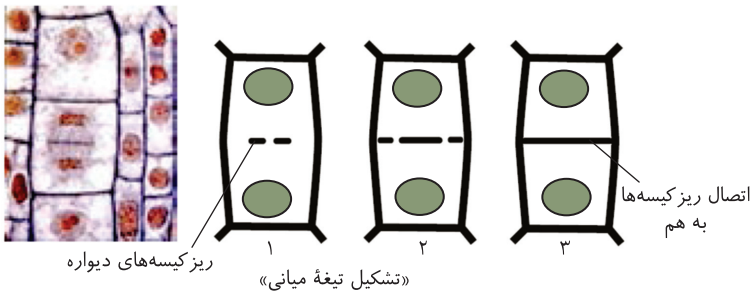
۲) **دو طرف** این دیواره، در بدو تشکیل، **غشای** یاخته قرار دارد. این لایه برای اولین بار میان‌یاخته (سیتوپلاسم) را به دو بخش تقسیم می‌کند.

۳) **قدیمی‌ترین** لایهٔ دیوارهٔ بین‌یاخته‌ای در **هر** بافتی از گیاه می‌باشد.

۴) از **پلی‌ساکاریدی** 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** نمی‌شود. همواره قابلیت گسترش، کشش و انعطاف دارد و همراه با رشد یاخته، **رشد** می‌کند.



«تشکیل تیغهٔ میانی»

۷) در شکل روبه‌رو ملاحظه می‌کنید که تیغهٔ میانی در ابتدای تشکیل، منافذ **زیادی** دارد که به تدریج به هم پیوسته و از تعداد منافذ آن **کم** می‌شود.

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.

۹) دقت کنید که تیغهٔ میانی توسط **پروتوپلاست** در یاخته‌ای ساخته می‌شود که دارای دو هسته بوده است. در حقیقت دستگاه گلژی موجود در دو سمت یاخته این دیواره را ساخته و به وسط یاخته می‌فرستند.

● ب) دیوارهٔ نخستین

یک یا چند لایه دیواره برای هر یاخته است که به سمت **داخل** تیغهٔ میانی در هر بافتی وجود دارد. در حقیقت دیوارهٔ نخستین اولین دیواره‌ای است که هر یاختهٔ **مجزاشده‌ای** برای خود می‌سازد.

نکات دیوارهٔ نخستین

۱) لایه یا لایه‌هایی به سمت داخل تیغهٔ میانی و **نزدیک‌تر** به غشای یاخته‌ای می‌باشد.

۲) پروتوپلاست 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 از رشته‌های **سلولزی** به وجود آمده است که در مادهٔ **زمینه‌ای** از پروتئین و **انواعی** از پلی‌ساکاریدهای **غیررشته‌ای** دیگر قرار گرفته است. **(در مادهٔ زمینهٔ آن سلولز وجود ندارد.)**

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.

۵) در بافت **کلانشیم** (چسب‌آکنه) **ضخیم** بودن این دیواره سبب **استحکام** بافت گیاه می‌شود ولی چون چوبی نمی‌شود، همواره **انعطاف‌پذیر** می‌باشد و مانع رشد طولی کلانشیم‌ها 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 یاختهٔ زنده را دربرمی‌گیرد.

● ج) دیوارهٔ پسین

چند لایه دیواره به سمت **داخل** دیوارهٔ نخستین در **برخی** بافت‌های گیاهی می‌باشد.

نکات دیوارهٔ ثانویه (پسین)

۱) در بعضی یاخته‌ها و بافت‌های گیاهی لایه‌های **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**.

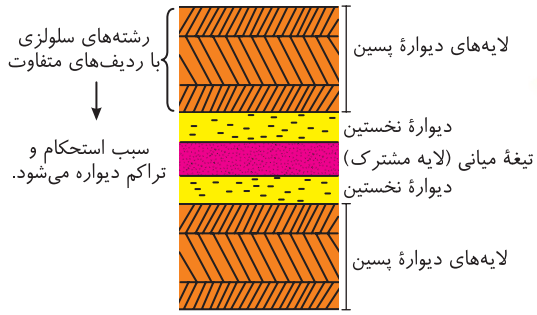
۳) همانند سایر دیواره‌ها توسط **پروتوپلاست** ساخته می‌شوند.

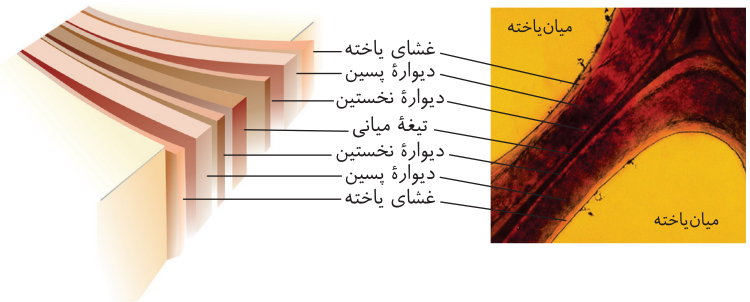
۴) رشد یاخته‌ها، پس از تشکیل این دیواره (پسین) **متوقف** می‌شود.

۵) طرز قرارگیری رشته‌های سلولزی این دیواره سبب **استحکام** و تراکم بیشتر آن نسبت به دیوارهٔ نخستین می‌شود.

۶) در **هر لایهٔ** آن، رشته‌های سلولزی به طرز **متفاوتی** نسبت به لایهٔ **مجاور** تشکیل می‌شود که سبب استحکام این دیواره شده است. (طرز قرارگیری رشته‌های سلولزی درون هر لایه مشابه و موازی می‌باشد.)

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: دیوارهٔ دومین در بافت‌های **سخت**آکنه‌ای و هادی چوبی، **چوبی** می‌شوند که سبب **استحکام** گیاه و مرگ یاخته می‌شوند. این بافت‌ها را در ادامهٔ همین فصل بررسی خواهیم کرد.

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	مادهٔ زمینه‌ای	نکتهٔ دیگر
تیغهٔ میانی	بعد از **تقسیم هسته**	**یکی** مشترک برای دو یاخته	**پکتین** پلی‌ساکاریدی	ندارد	چوبی **نمی‌شود** - در همهٔ بافت‌ها وجود دارد.
دیوارهٔ نخستین	بعد از **تیغهٔ میانی**	**یک یا چند** لایه	**سلولز** پلی‌ساکاریدی	از پروتئین و پلی‌ساکاریدهای **غیررشته‌ای** ایجاد شده است	چوبی **نمی‌شود** - در همهٔ بافت‌ها وجود دارد - در **کلانشیم** ضخیم و مستحکم است.
دیواره‌های پسین	بعد از **دیوارهٔ نخستین**	**چندلایه‌ای**	سلولزی با ردیف‌های متفاوت	ندارد	در اسکلرانشیم و هادی چوبی، **لیگنینی** (چوبی) می‌شود و نقش **استحکامی** دارد.

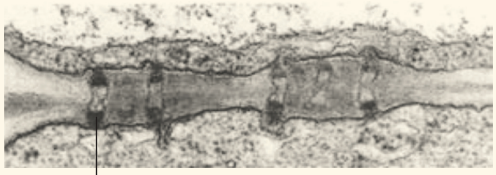
راه‌های ارتباط بین یاخته‌های گیاهی

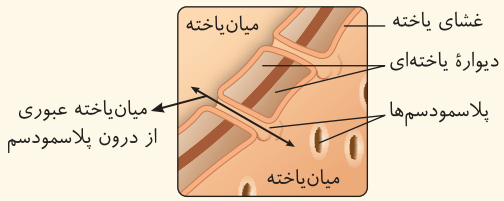
۱) پلاسمودسم

با اینکه دیوارهٔ یاخته، دور تا دور هر یاختهٔ گیاهی را فراگرفته است ولی بررسی با **میکروسکوپ الکترونی** نشان می‌دهد که در بین دو یاخته **کانال‌های میان‌یاخته‌ای (حاوی سیتوپلاسم)** وجود دارد که به این کانال‌ها، **پلاسمودسم** می‌گویند. در واقع از یک یاخته به یاختهٔ مجاور کانال‌هایی کشیده شده‌اند تا عوامل درون سیتوپلاسمی، مثل مواد مغذی و سایر ترکیبات نیز بتوانند از راه این کانال‌ها (پلاسمودسم‌ها) بین دو یاخته منتقل شوند. (پلاسمودسم در همهٔ یاخته‌ها و بافت‌های **زندهٔ** گیاهی موجود است و سبب ارتباط **زیستی** دو یاختهٔ زنده می‌شود.)

نکتهٔ مهم: دقت کنید که قدیم‌ها معتقد بودند که پلاسمودسم از جنس سیتوپلاسم می‌باشد ولی از کتاب زیست دهم این ایده عوض شده است. در حال حاضر پلاسمودسم را **کانال‌های** انتقالی حاوی **سیتوپلاسم** در بین دیوارهٔ دو یاختهٔ مجاور می‌دانند که همواره مواد مورد نیاز از میان‌یاخته یا سیتوپلاسم از درون آن‌ها (پلاسمودسم) منتقل می‌شود. از طرفی دقت کنید که چون سیتوپلاسم ویژهٔ یاخته‌های **زنده** می‌باشد، پس یاخته‌های آوند چوبی و اغلب اسکلرانشیم‌ها در حالت بلوغ چون **مرده‌اند**، فاقد کانال‌های پلاسمودسمی می‌باشند. در حقیقت کانال‌های آن‌ها فاقد شیرهٔ **سیتوپلاسمی** می‌باشد و لفظ پلاسمودسم در تست‌ها برای بافت هادی چوبی و سخت‌آکنه (اسکلرانشیم) نادرست می‌باشد.

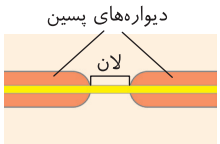
نکته: با توجه به شکل زیر، غشای یاخته‌ای نیز در داخلی‌ترین بخش کانال‌های پلاسمودسمی وجود دارد و مایع سیتوپلاسم درون آن‌ها در تماس با غشا می‌باشد.





۲) لان

با توجه به شکل روبه‌رو که دو یاختهٔ مجاور هم و دارای دیوارهٔ پسین را توسط میکروسکوپ 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 نخستین** وجود دارد در نتیجه کل دیوارهٔ یاخته‌ای در این محل نسبت به مناطق مجاور **نازک** باقی مانده است 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 تشکیل شده است تا انتقال مواد از پلاسمودسم‌های آن‌ها به آسانی و فراوانی صورت گیرد. (یاخته‌های مرده گیاهی، **پلاسمودسم** ندارند ولی **لان** و منفذ انتقالی دارند.)

نکته: مواد مورد نیاز برای ساخت تیغهٔ میانی دیواره، توسط **پروتوپلاست یک** یاختهٔ **دوهسته‌ای** ساخته می‌شود که این لایه 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.

نکته: در برخی بافت‌ها که دیوارهٔ پسین ندارند، اگر دیوارهٔ نخستین آن‌ها ضخامت **غیریکنواخت** داشته باشد، در محل‌هایی که دیواره نازک می‌باشد، لان تشکیل می‌شود. (مثلاً در کلانشیم و پارانشیم می‌توانیم این ویژگی‌ها را مشاهده کنیم که دیواره در محل‌هایی نازک‌تر است و حاوی لان و پلاسمودسم می‌باشد.)

نکته: یاخته‌های مرده نیز دارای منافذ و کانال‌های ارتباطی هستند ولی سیتوپلاسم از میان آن‌ها عبور نمی‌کند و به آن کانال‌ها **پلاسمودسم** نمی‌گویند.

همان‌طور که مشاهده کردید، دیوارهٔ یاخته از پلی‌ساکاریدهای پکتین و سلولز ایجاد می‌شود ولی ترکیب شیمیایی دیوارهٔ یاخته‌های متفاوت، متناسب با **کاری** که انجام می‌دهند، تغییر می‌کنند. حتی در طول عمر یک یاخته نیز این ترکیبات متفاوت می‌شوند که شامل چهار نوع چوبی (لیگنینی) شدن، کانی شدن، ژله‌ای شدن، چوب‌پنبه‌ای و کوتینی شدن می‌شود.

* عوامل مؤثر در تغییر ترکیب شیمیایی دیواره:
- **کار** یاخته
- **طول عمر** یاخته

الف) چوبی (لیگنینی) شدن

این فرایند در دیوارهٔ یاخته‌های هر نوع آوند **چوبی** و یاخته‌های بافت سخت‌آکنه‌ای (اسکلرانشیم) صورت می‌گیرد و سبب **استحکام بیشتر** آن بافت و کل گیاه می‌شود. **در این بافت‌ها، پروتوپلاست آن‌ها در حقیقت سبب خودکشی یاخته می‌شود تا نقش استحکامی آن کامل شود.** یکی از ویژگی‌های چوبی شدن، ایجاد درختانی با ارتفاع چند ده یا حتی چند صد متر می‌باشد.

در فرایند چوبی شدن، پروتوپلاست **زندهٔ** این یاخته‌ها، ماده‌ای **غیر**قابل نفوذ به آب و مواد به نام چوب (لیگنین) می‌سازند سپس با اگزوسیتوز، آن‌ها را خارج کرده و به **دیوارهٔ پسین** خود اضافه می‌کنند که هم استحکام دیواره را **زیادتر** کرده و هم در بافت آوند چوبی و اغلب یاخته‌های بافت سخت‌آکنه (اسکلرانشیمی) سبب از بین رفتن **غشا و پروتوپلاست** یاخته و مرگ یاخته می‌شوند.

نکتهٔ مهم: هر بافتی که **چوبی** می‌شود، سبب **استحکام** گیاه می‌شود (مثل آوند چوبی و سخت‌آکنه) ولی هر بافتی که سبب **استحکام** گیاه می‌شود، **قطعاً دیوارهٔ چوبی ندارد** مثلاً کلانشیم (چسب‌آکنه) که بافتی استحکامی با دیوارهٔ یاخته‌ای **غیرچوبی** انعطاف‌پذیر می‌باشد.

نکته: فرایند چوبی شدن در بافت‌های مختلف سخت‌آکنه‌ای یا آوندهای چوبی اولیه گیاهان علفی و درختی صورت می‌گیرد ولی گیاهان علفی چوب زیادی ندارند. در حالی که این ویژگی در گیاهان **چوبی** سبب برافراشته شدن گیاه می‌شود. گیاهان علفی با جذب آب و تورژسانس سبب استحکام و راست قامتی اندام‌های هوایی خود می‌شوند.

ب) کانی (معدنی) شدن

در این تغییر، **مواد کانی** مثل **سیلیس** توسط پروتوپلاست به **دیوارهٔ یاخته‌ای** اضافه شده است مثلاً در **برگ** گیاه گندم به دیوارهٔ یاخته‌هایی که در **سطح برگ** (روپوست) قرار دارند، **سیلیس** اضافه شده است و سبب **زبری** آن شده است که به این فرایند کانی شدن یا معدنی شدن می‌گویند.

ج) ژله‌ای شدن

این فرایند در اثر **جذب آب** توسط **پکتین** موجود در **تیغهٔ میانی** یاخته‌ها صورت می‌گیرد که سبب **متورم و ژله‌ای شدن** پکتین‌ها می‌شود. در برخی اجزای گیاهان مانند **تخم شربتی** یا **دانهٔ به**، آن‌قدر **پکتین** فراوان است که از آن برای تولید **ژله‌های** گیاهی استفاده می‌شود.

نکته: از خیساندن **دانهٔ به** در آب، به علت **فراوانی پکتین**، ژله یا لعابی ایجاد می‌شود که در رفع سرفه در بیماری‌ها بسیار مؤثر است.

نکته: رسیدن میوه‌ها و نرم شدن آن‌ها در اثر فرایند متورم شدن پکتین و تغییرات سایر دیواره‌ها می‌باشد که ژله‌ای شدن نیز در آن دخیل است.

د) کوتینی شدن و چوب‌پنبه‌ای شدن

کوتین و چوب‌پنبه دو نوع از مواد **لیپیدی** هستند که **همانند** لیگنین به آب **نفوذناپذیرند** به همین دلیل در اندام‌های هوایی و در روی **روپوست** ساقه و برگ جوان، همچنین در **پریدرم** ساقهٔ مسن و نوار کاسپاری آندودرم **ریشه** این تغییرات در دیوارهٔ یاخته‌ها صورت می‌گیرد تا سبب **کاهش از دست دادن آب** (کاهش تعرق) و **جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا** به گیاه شوند.

نکته: یاختهٔ گیاهی همانند یاخته‌های جانوری دارای ساختارها و بخش‌هایی مثل ریبوزوم، میتوکندری (راکیزه)، هسته، غشای یاخته‌ای، مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم (سیتوزول)، شبکهٔ آندوپلاسمی و سیستم 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 کلروپلاست (سبزدیسه)، کروموپلاست (رنگ‌دیسه) یا آمیلوپلاست (نشادیسه) و یا اینکه یاخته‌های گیاهی حاوی واکوئل (کُریچه) های متفاوتی می‌باشند که در ادامه آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

نکات کُریچه (واکوئل): اندامکی برای ذخیره

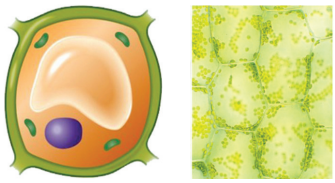
۱) اندامکی **تک**غشایی است که به‌طور ویژه در یاختهٔ گیاهی دیده می‌شود. (اگرچه کریچه‌های غذایی، گوارشی و دفعی در جانوران ساده و یا در یاخته‌های **بیگانه‌خوار** نیز برای گوارش درون‌یاخته‌ای وجود دارد.)

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 کریچه‌ای** می‌گویند.

۳) بعضی یاخته‌های **زندهٔ** گیاهی، کریچهٔ **درشتی** دارند (اغلب فقط **یک** کریچه دارند) که بیشتر فضای یاخته را دربرگرفته است ولی در برخی بافت‌ها مثل مریستم (سرلاد) تعداد زیادی کریچهٔ **کوچک** وجود دارد.

● تورژسانس (تورم)

وقتی مقدار آبِ محیطِ اطرافِ یاختهٔ گیاهی، از آب درون یاخته بیشتر باشد، طبق فرایند اسمز، آب زیادی وارد یاخته شده و در **کریچه‌ها** جمع می‌شود. آب اضافی سبب حجیم و پرآب شدن کریچه و پروتوپلاست می‌شود. در این حالت، برخلاف یاخته‌های جانوری که به تدریج می‌ترکند و می‌میرند، یاخته‌های گیاهی **به دلیل داشتن دیواره**، غشای یاخته آن‌ها به دیواره می‌چسبد و دیوارهٔ آن 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 در گیاهان **علفی** سبب استوار شدن اندام می‌شود.

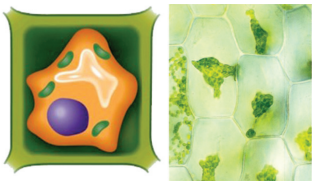

تورژسانس

نکته: انتقال آب از غشای پروتوپلاست و کریچه و هر بخش دیگری، همواره طبق اسمز و بدون صرف انرژی زیستی صورت می‌گیرد. البته در فصل بعد می‌خوانیم که غشای کریچه و یاخته پروتئین‌های **کانالی** اختصاصی نیز برای انتقال آب دارد.

نکته: بخش‌های چوبی 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.

● پلاسمولیز

اگر به هر دلیلی مقدار آب در درون کریچه و یاخته کم شود، مثلاً اگر گیاه در محیط کم‌آب یا غلیظ قرار گیرد، حجم کریچه 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 کریچه‌ها شاداب کرد.**


پلاسمولیز

نکته: محیط **غلیظ** سبب افزایش فاصلهٔ پروتوپلاست از دیوارهٔ یاخته شده و حجم کریچه‌ها با پلاسمولیز **کوچک** می‌شود ولی محیط **رقیق** پرآب، سبب کاهش فاصلهٔ دیواره با پروتوپلاست شده و بخش زندهٔ یاخته، کریچه‌ها و تا حدی دیواره حجیم‌تر می‌شوند.

نکات مواد درون شیره کُریچه

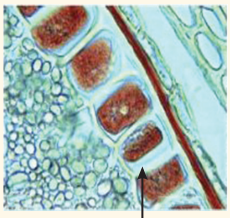
A) در کریچه‌ها به‌جز آب، ترکیبات پروتئینی، اسیدی و رنگی **ساخته شده در گیاه** نیز **ذخیره** می‌شوند. (در کریچه ذخیره می‌شوند ولی ساخته نمی‌شوند.)

B) آنتوسیانین: **یکی** از ترکیبات **رنگی** است که در **کریچه 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 رویشی 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.)

C) گلوتن: **یکی** از **پروتئین‌های** ذخیره‌ای در **کریچه** می‌باشد که در کریچه‌های موجود در **بذر گندم و جو** ذخیره شده و **ارزش غذایی** دارد. این ماده هنگام رویش بذر برای **رشد و نمو رویان** به مصرف می‌رسد.

نکتهٔ مهم: در زیست یازدهم می‌خوانید که دانهٔ نهاندانگان، علاوه بر رویان (جنین)، حاوی یک بخش ذخیرهٔ غذای رویان به نام **آندوسپرم** نیز می‌باشد. **خارجی‌ترین** لایهٔ آندوسپرم پر از 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 گلوکز آن به مصرف رویان یا جنین برسد و سبب رشد دانه شود.

نکته: بعضی افراد (مثل نوواک یوکوویچ قهرمان تنیس) 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** آن‌ها از بین می‌رود و سطح جذب در بدن آن‌ها کاهش شدید می‌یابد.



«یاخته‌هایی که گلوتن در کُریچهٔ آن‌ها ذخیره شده است.»

خلاصه اعمال واکوئل (کُریچه)
- در گیاهان
  - تنظیم **آب** یاخته
  - ذخیرهٔ مواد رنگی مثل آنتوسیانین‌ها
  - ذخیرهٔ پروتئین و مواد اسیدی گیاه
- در جانوران ابتدایی و برخی آغازیان
  - کریچهٔ غذایی ← گیرندهٔ غذا
  - کریچهٔ گوارشی ← هضم‌کنندهٔ شیمیایی غذا به کمک **کافنده‌تن‌ها**
  - کریچهٔ دفعی ← دفع مواد زائد
- در تک‌یاخته‌ای ساکن آب شیرین (پارامسی) ← کریچهٔ **انقباضی (ضربان‌دار)** ← دفع **آب** اضافی

نکات دیسه (پلاست)

رنگیزه‌های گیاهی فقط به دلیل رنگ‌های درون کریچه‌ها (واکوئل‌ها) نمی‌باشد. یکی دیگر از ویژگی‌های یاخته‌های گیاهی (علاوه بر داشتن دیواره و کریچه) داشتن اندامک‌های **دوغشایی** به نام دیسه (پلاست) می‌باشد که حاوی رنگیزه‌های **متنوعی** هستند. البته این رنگیزه‌ها برحسب شرایط **محیطی** قادر به تبدیل به همدیگر می‌باشند.

مواد رنگی گیاهان
- در کُریچه
  - رنگ **ریشه** چغندر قرمز
  - کلم بنفش
  - میوهٔ پرتقال توسرخ
- در پلاست
  - رنگ زرد یا نارنجی **ریشهٔ** هویج
  - قرمز **میوهٔ** گوجه‌فرنگی
  - سبز اغلب گیاهان
  - **برگ** زرد پاییزی

انواع دیسه‌ها (پلاست‌ها)

الف) سبزدیسه (کلروپلاست)

اندامکی دوغشایی با منشأ پروکاریوتی می‌باشد که عمل **فتوسنتز** را در گیاهان انجام می‌دهد. این اندامک حاوی مقدار **زیادی** رنگیزه سبز به نام **سبزینه (کلروفیل)** می‌باشد. به دلیل **منعکس کردن (بازتاب)** رنگ سبز پرتوهای نور خورشید توسط سبزینه‌ها و زیاد بودن این رنگیزه در گیاهان، بیشتر گیاهان و به خصوص برگ‌های آن‌ها سبز دیده می‌شوند.

نکته: به‌جز گیاهان انگل (سس و گل جالیز)، سایر گیاهان سبزینه و کلروپلاست (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 کلروپلاست می‌باشند.)

● ب) رنگ‌دیسه (کروموپلاست)

❊ نوع دیگری از پلاست (دیسه) در یاخته‌های گیاهی می‌باشند که در آن‌ها رنگیزه‌هایی با نام کلی **کاروتنوئیدها** ذخیره می‌شوند.

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.
- **لیکوپن**: رنگیزهٔ **قرمز** می‌باشد که در **میوهٔ** رسیده گوجه‌فرنگی و... فراوان است.

نکته: ترکیبات رنگی گیاهان که در کریچه‌ها (واکوئل‌ها) و رنگ‌دیسه‌ها (کروموپلاست‌ها) وجود دارند، خاصیت **آنتی‌اکسیدان** یا پاداکسنده دارند که در **پیشگیری از سرطان** و **بهبود کار مغز** و **اندام‌های دیگر** نقش **مثبتی** دارند (کاروتنوئیدها و آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان هستند). در زیست دوازدهم می‌خوانیم که میتوکندری (راکیزه) برای مقابله با رادیکال‌های آزاد و عدم اثر آن‌ها بر **DNA** یاخته به مواد آنتی‌اکسیدان وابسته می‌باشد.

نکتهٔ مهم: در سبزدیسه‌ها علاوه بر سبزینه (کلروفیل)، رنگیزه‌های دیگری به نام **کاروتنوئید** هم دیده می‌شود که توسط **سبزینه‌ها (کلروفیل‌ها)** پوشیده شده‌اند. 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.)

توجه: در تست‌ها دقت کنید که در نور کم، سبزینه به کاروتنوئید تبدیل نمی‌شود بلکه با تجزیهٔ آن‌ها این ساختار سبزدیسه است که به رنگ‌دیسه تبدیل می‌شود. در حقیقت، با کاهش طول روز، ساخت کلروفیل کم شده و تجزیهٔ طبیعی آن ادامه می‌یابد. در این شرایط به تدریج نسبت مقدار کاروتنوئید به کلروفیل در برگ‌ها زیاد می‌شود.

نکته: 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.

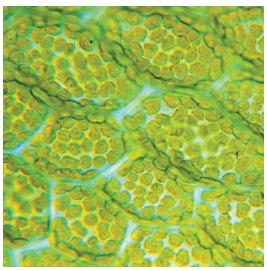
نکته: تغییر رنگ میوهٔ گوجه‌فرنگی در طی رویش از سبز به قرمز نشانه‌ای از تبدیل رنگیزه‌ها به هم (سبزینه به لیکوپن) و تبدیل کلروپلاست‌ها (سبزدیسه‌ها) به کروموپلاست‌ها (رنگ‌دیسه‌ها) می‌باشد.

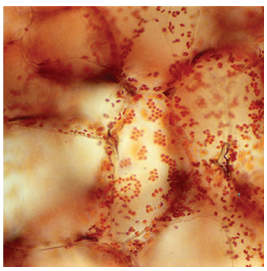
● ج) پلاست‌های (دیسه‌های) بی‌رنگیزه

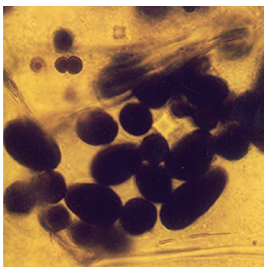
بعضی از پلاست‌ها (دیسه‌ها) **فاقد هر نوع رنگیزه‌ای** می‌باشند. این نوع پلاست‌ها برای **ذخیرهٔ مواد آلی** اختصاص یافته‌اند. مثلاً در یاخته‌های بخش **خوراکی** سیب‌زمینی، دیسه‌ها (پلاست‌ها) دارای مقدار **فراوانی نشاسته ذخیره‌ای** هستند که به این دیسه‌ها، نشادیسه (آمیلوپلاست) می‌گویند.

نکته: هنگام **رویش** جوانه‌های سیب‌زمینی، برای رشد آن‌ها و تشکیل **پایه‌های** جدید از گیاه سیب‌زمینی، ذخایر نشاسته‌ای آمیلوپلاست‌ها (نشادیسه‌ها) **مصرف** می‌شوند.

نکته: 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.


الف) یاخته‌های دارای سبزدیسه


ب) رنگ‌دیسه


پ) نشادیسه

«دیسه در یاخته‌های گیاهان»

* در این بخش، نکات ترکیبات دیگری از گیاه مثل رنگ‌ها، شیرابه‌ها و آلکالوئیدها را بررسی می‌کنیم که استفادهٔ غذایی ندارند و در صنعت کاربرد دارند.

۱) قبل از تولید رنگ‌های شیمیایی، برای رنگ‌آمیزی **الیاف**، از گیاهان برای منابع اصلی **تولید رنگ** استفاده می‌کردند. (مثلاً از **ریشهٔ** گیاه **روناس** در رنگ‌آمیزی سنتی الیاف در تولید **فرش** استفاده می‌کردند.)

۲) از ترکیبات **معطر** حاصل از **گیاه نعنا و گل محمدی** علاوه در صنعت **عطرسازی** در صنعت **داروسازی** نیز استفاده می‌شود.

۳) با بریدن **دمبرگ** انجیر یا جدا کردن **میوهٔ** تازهٔ انجیر از شاخه، از **محل برش**، شیرهٔ **سفیدرنگی** به نام **شیرابه** که حاوی ترکیبات **مختلف آنزیمی** است خارج می‌شود. (در زیست دوازدهم می‌خوانید که دمبرگ ویژهٔ گیاهان **دولپه‌ای** است که انجیر نمونه‌ای از آن‌هاست.)

۴) **لاستیک** اولین بار 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 ضد سرطان استفاده می‌کند. البته این محصولات در خروج مواد نیتروژن‌دار از گیاه یا ذخیرهٔ آن‌ها نیز مؤثرند.

۶) نیکوتین از **آلکالوئیدهاست** که نقش دورکننده گیاه‌خواران از گیاه **تنباکو** را دارد.

۷) **برخی** از آلکالوئیدها، اعتیادآورند (مثل شیرابهٔ **خشخاش**) و سلامت و امنیت جامعه را به خطر می‌اندازد.

۸) برخی ترکیبات گیاهی در **مقادیر متفاوت** می‌تواند سرطان‌زا، مسموم‌کننده و یا حتی کشنده باشد. (پس گول تبلیغات محصولات گیاهی را نخورید!!)

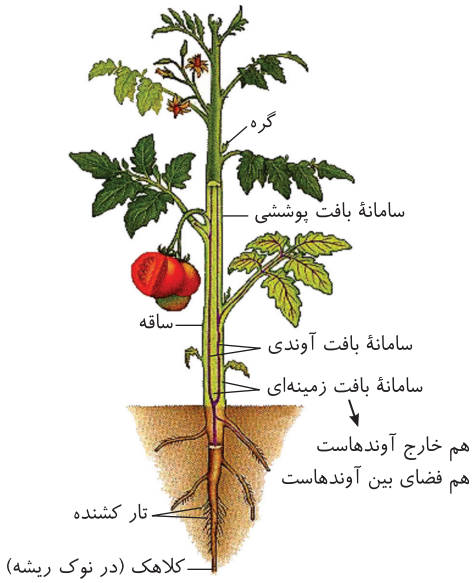
۹) برخی گیاهان ترکیبات **سیانیدار** برای مرگ یا بیماری گیاه‌خواران تولید می‌کنند. این ترکیبات برای خود گیاه **سمی** نیستند ولی در لولهٔ گوارش گیاه‌خواران **تجزیه** شده و مادهٔ سمی سیانیدی آن سبب مرگ یا بیماری در جانور گیاه‌خوار می‌شود. علت این واقعه، مهار تنفس یاخته‌ای و مهار تولید یون اکسید در تنفس هوازی می‌باشد، چون **تنفس یاخته‌ای** و تولید یون اکسید را در واکنش‌های هوازی آن‌ها مهار می‌کنند. در این صورت تولید ATP و انرژی‌زایی جانور مختل شده و از بین می‌رود.

گفتار ۲ سامانهٔ بافتی در گیاهان

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی بافت‌های مختلف در اندام‌های رویشی یعنی در ریشه، ساقه و برگ بپردازیم و ویژگی‌های خاص هرکدام را بررسی کنیم.

در برش عرضی برگ، ریشه و ساقهٔ **گیاهان آوندی** و به خصوص نهاندانگان، سه بخش یا سه سامانهٔ بافتی با عملکرد **متفاوت** دیده می‌شود که شامل سامانه‌های **پوششی (سطحی)، زمینه‌ای و آوندی** می‌باشد. هرکدام از این سامانه‌های بافتی، خود از **یاخته‌ها و بافت‌های گوناگونی** تشکیل شده‌اند که در این درسنامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم:

نکته: چون هر سامانهٔ بافتی، دارای بافت‌های **متفاوتی** می‌باشد، پس یاخته‌های هر سامانهٔ بافتی **برخلاف** یاخته‌های هر بافت، مشابه و یکسان نمی‌باشند.

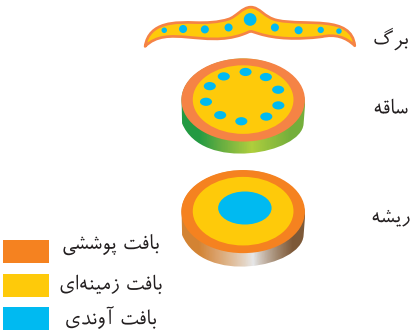


«سه سامانهٔ بافتی در گیاه»

نکته:

مجموع یاخته‌های نوع A ← بافت A
مجموع یاخته‌های نوع B ← بافت B
← یک سامانهٔ بافتی ← مجموعه سامانه‌های بافتی ← یک اندام

نکات شکل‌های روبه‌رو



۱) گره قسمتی است که **برگ** از شاخه یا ساقه خارج می‌شود.

۲) کلاهک ریشه در نوک ریشه ولی تارهای کشنده ریشه در منطقهٔ **نزدیک** به نوک ریشه یا همان منطقه نزدیک به سطح زمین وجود دارد.

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 ← فتوسنتز، ذخیره و استحکام را بر عهده دارد. ← بین دو سامانهٔ دیگر قرار دارد.
- آوندی ← جابه‌جایی مواد را در گیاه انجام می‌دهد.

این ساختار که در **همهٔ اندام‌های گیاهی** وجود دارد، نقشی مانند **پوست در جانوران** دارد که جاندار را به عنوان اولین سد دفاعی در برابر عوامل بیماری‌زا و تخریب‌گر محیط حفظ می‌کند. این سامانه برحسب **سن اندام** 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) پیراپوست (پریدرم) = سامانهٔ پوششی اندام‌های **مسن** در برخی گیاهان دارای رشد **پسین** می‌باشد ⇐ **چند لایه چوب‌پنبه‌ای به همراه سایر بافت‌ها دارد** و در درسنامهٔ بعد آن را بررسی می‌کنیم.

بررسی روپوست

روپوست معمولاً **یک لایه** یاخته دارد که روی سطح خارجی ریشه، ساقه و برگ‌های **جوان** قرار گرفته است. یکی از کارهای روپوست، **کاهش تبخیر آب** از اندام‌های **هوایی** (ساقه و برگ) می‌باشد 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 مثل کوتین می‌باشد که توسط یاخته‌های روپوستیِ بخش‌های **هوایی** گیاه ساخته شده و به سمت **سطح بیرونی یاخته‌ها** که مجاور هوا می‌باشد ترشح می‌شود. در حقیقت پوستک، خارجی‌ترین لایهٔ روپوستی می‌باشد.

نکته: پوستک، **فاقد** یاخته و فعالیت‌های متابولیسمی می‌باشد و نسبت به **آب نفوذناپذیر** می‌باشد. این لایه مانع گرفتن آب از اندام‌های **هوایی** گیاه می‌شود. 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.

نکته: پوستک گیاهان همانند **غشای پایه** در زیر بافت پوششی جانوران، فاقد یاخته و فعالیت متابولیسمی می‌باشد.

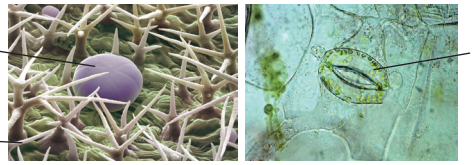
نکته: تولید پوستک، در حقیقت نوعی تغییر در دیوارهٔ سطح بیرونی یاخته‌های روپوستی هوایی به نام کوتینی شدن با ترشح مادهٔ لیپیدی می‌باشد که قبلاً در بخش تغییرات دیوارهٔ یاخته توضیح دادیم.

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 (همانند عمل کوتینی یا چوب‌پنبه‌ای شدن دیواره).
- ۳) گیاه را در برابر **سرما** حفظ می‌کند.
- ۴) به کاهش تبخیر آب از سطح **برگ** کمک می‌کند.
- ۵) بعضی گیاهان پوستک **ضخیم** دارند (مثل گیاه **خرزهره**).

نکته: چون ریشه مسئول جذب آب برای گیاه 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. خروج آب، اغلب از راه روزنه‌های هوایی صورت می‌گیرد چون پوستک مانع انتقال آب از سایر یاخته‌ها می‌شود.

«روپوست در برگ»

- انواع یاخته‌های روپوستی
  - در اندام‌های هوایی جوان (ساقه و برگ)
    - الف) یاختهٔ نگهبان روزنه
      - سبزینه و کلروپلاست (سبزدیسه) دارد.
      - تنها یاخته‌های **فتوسنتزکنندهٔ** روپوستی می‌باشند.
      - با باز و بسته کردن روزنه، مقدار ورود و خروج گازها و بخار آب را تنظیم می‌کند.
    - ب) کرک‌ها
      - یاخته‌های **زائده**مانند و غیرفتوسنتز کننده می‌باشند.
      - در روزنه‌های غارمانند مثل گیاه خرزهره تعداد کرک **زیادی** برای به دام انداختن **رطوبت** هوا وجود دارد.
      - در **کاهش** تبخیر آب از سطح برگ مؤثرند.
      - به دلیل نداشتن رنگیزه فتوسنتزی، قدرت زیادی برای جذب نور ندارند به همین دلیل از **افزایش** دمای برگ جلوگیری می‌کنند.
      - برخی مواد معطر یا ترکیبات دیگر ترشح می‌کنند.
      - برخی نقش **دفاعی** دارند مثل کرک گزنده اسیددار گیاه گزنه.
    - ج) یاخته‌های ترشحی
      - مسئول ترشح موادی مثلاً برای ساخت پوستک هستند.
      - بیشتر مواد لیپیدی برای ساخت پوستک ترشح می‌کنند.
  - در ریشه‌های جوان
    - یاخته‌های درازی به نام تار کشنده از آن‌ها تمایز می‌یابد که هر تار کشنده **یک** یاختهٔ روپوستی طویل برای جذب آب و مواد محلول می‌باشد.
    - در ریشه، یاختهٔ نگهبان، کرک و پوستک وجود ندارد.



این سامانهٔ بافتی فضای بین **روپوست و بافت آوندی** را پر کرده است و خود از سه نوع بافت به نام پارانشیمی (نرم‌آکنه‌ای)، کلانشیمی (چسب‌آکنه‌ای) و اسکلرانشیمی (سخت‌آکنه‌ای) به وجود آمده است. در این قسمت به بررسی این سه نوع بافت در سامانهٔ بافت زمینه‌ای می‌پردازیم.

ویژگی‌ها و نکات بافت نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی)

۱) **رایج‌ترین** بافت در سامانهٔ بافت **زمینه‌ای** گیاه می‌باشد.

۲) یاخته‌های آن تیغهٔ میانی به همراه دیوارهٔ **نخستین نازکی** دارند که هیچ‌گاه **چوبی و استحکامی** نمی‌شوند و به همین دلیل به **آب نفوذپذیرند**. (جنس دیوارهٔ یاخته در میزان نفوذپذیری آن به آب نقش دارد.)

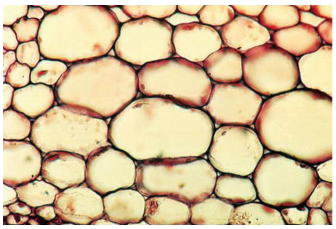
نکته: در بافت‌های گیاهی، دیوارهٔ چوبی یا چوب‌پنبه‌ای شده به آب نفوذناپذیر است. این ویژگی‌ها در بافت نرم‌آکنه‌ای صورت نمی‌گیرد.

۳) یاخته‌های آن همانند بافت مریستمی (سرلادی) قدرت **تقسیم** دارند و هنگام **زخمی** شدن گیاه با تقسیمی که انجام می‌دهند، برای گیاه، **ترمیم زخم** انجام می‌دهند. (در بافت‌های آسیب دیده گیاهی، تولید هورمون **اتیلن** نیز زیاد می‌شود.)

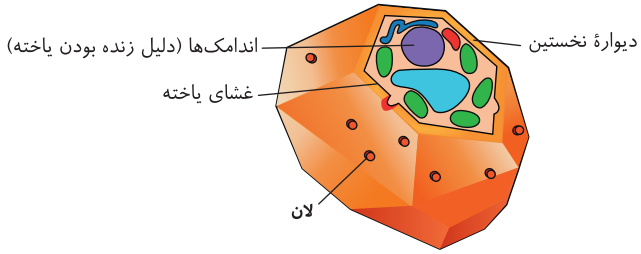
۴) کارهای متفاوتی مانند **ذخیرهٔ** مواد، **فتوسنتز** و شرکت در لابه‌لای بافت **آوندی** (مثل پارانشیم آبکش) را انجام می‌دهند.

۵) یاخته‌ها و بافت نرم‌آکنه‌ایِ **سبزینه‌دار**، به مقدار **فراوان** در اندام‌های **سبز** گیاه (ساقهٔ جوان و برگ‌ها، دمبرگ‌ها و...) دیده می‌شوند که فتوسنتز و غذاسازی می‌کنند. (شیرهٔ پرورده را همین یاخته‌های فتوسنتزکننده نرم‌آکنه‌ای به همراه یاختهٔ نگهبان روزنه در سامانهٔ پوششی می‌سازند.)

۶) لان و اندامک‌های متفاوت و دیوارهٔ **نخستین نازک** و چوبی نشده در همهٔ یاخته‌های مختلف این بافت وجود دارد. در قسمت‌هایی از دیواره که ضخامت نازک‌تر می‌باشد، **لان‌ها** و به مقدار فراوانی پلاسمودسم‌ها قرار دارند.



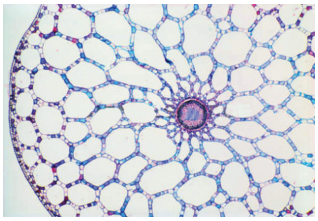
(الف)



(ب)

«یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای با دیوارهٔ نازک (الف)، ترسیمی از یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای (ب)»

۷) گیاهان **آبزی** در سامانهٔ بافت زمینه‌ای ریشه، ساقه و برگ خود دارای **نرم‌آکنه (پارانشیم)هایی** با فضای بین‌یاخته‌ای **فراوان** هستند که این فضاها **پر از هوا** می‌باشد تا در محیط دارای آب فراوان، خفه نشوند و کمبود اکسیژن خود را با هوای این فضاها برای تنفس یاخته‌ای جبران می‌کنند. (در جنگل‌های حرا در جنوب ایران این بافت را به همراه **شش** ریشه‌ها می‌توان مشاهده کرد.)



«نرم‌آکنه هوادار»

ویژگی‌ها و نکات بافت چسب‌آکنه‌ای (کلانشیمی)

۱) یاخته‌های این بافت نیز به نام چسب‌آکنه‌ای یا کلانشیمی هستند!!

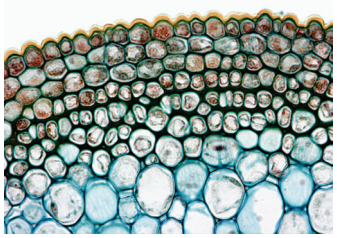
۲) یاخته‌های این بافت **هیچ‌گاه دیوارهٔ پسین ندارند** و فرایند **چوبی** شدن نیز در آن‌ها رخ نمی‌دهد به همین دلیل دیوارهٔ **انعطاف‌پذیر** دارند ولی یاخته‌های آن‌ها دارای **دیوارهٔ نخستین ضخیم** می‌باشند که باعث قدرت **استحکامی** این بافت می‌شود.

۳) این بافت چون **انعطاف‌پذیر** است، پس مانع رشد **اندام** گیاهی نمی‌شود.

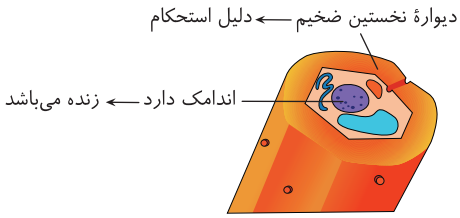
۴) یاخته‌های چسب‌آکنه‌ای معمولاً زیرِ **روپوست** یعنی در بافت زمینه‌ای موجود در **پوست** گیاه قرار می‌گیرد. (در تست‌ها! دقت کنید که این بافت زیر روپوست است نه زیر پوست!!)

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.



(الف)



(ب)

«دیوارهٔ ضخیم یاخته‌های چسب‌آکنه‌ای به علت رنگ‌آمیزی تیره دیده می‌شود (الف)، ترسیمی از یاختهٔ چسب‌آکنه‌ای (ب)»

ویژگی‌ها و نکات بافت سخت‌آکنه‌ای (اسکلرانشیمی)

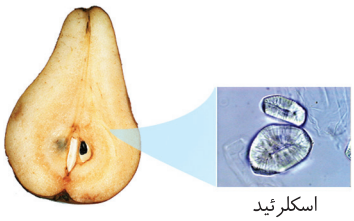
۱) در این بافت نیز همانند بافت کلانشیم (چسب‌آکنه‌ای) یاخته‌هایی با همین نام وجود دارد.

۲) **مجموعه‌ای از یاخته‌های** سخت‌آکنه‌ای باعث می‌شود که هنگام خوردن گلابی، ذره‌های سختی در زیر دندان حس شود.

۳) **همه** نوع یاخته‌های این بافت، دارای **دیوارهٔ پسین ضخیم چوبی** شده و لان می‌باشند.

۴) چون **چوبی شدن** دیوارهٔ پسین یاخته‌ها، معمولاً باعث از بین رفتن غشای یاخته می‌شود، در این بافت نیز در **اغلب موارد** باعث مرگ **پروتوپلاست** می‌شود. به همین دلیل در شکل یاخته‌های مختلف این بافت، **درون یاخته، اندامکی مشاهده نمی‌شود.**

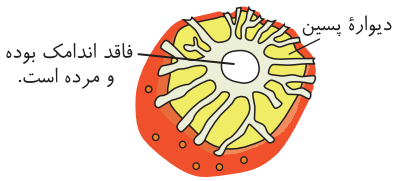
۵) این بافت به دلیل **دیوارهٔ پسین ضخیم چوبی** شده خود فقط قدرت **استحکام** دارد و برخلاف بافت کلانشیم **فاقد قدرت انعطاف** می‌باشد.



اسکلرئید

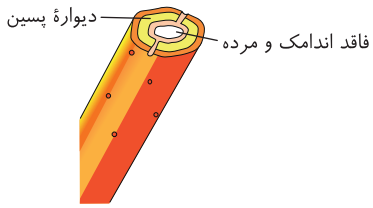
۶) انواع یاخته‌های اسکلرانشیمی (سخت‌آکنه‌ای)

الف) اسکلرئید
- دیوارهٔ یاخته چوبی شده و اغلب مرده، می‌باشد.
- یاخته با اندازهٔ **کوتاه** می‌باشد و لان دارد.
- در پوسته 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.
- اغلب یاخته‌هایی مرده می‌باشند و لان دارند.
- در تولید **طناب و پارچه** استفاده می‌شوند.
- در اطراف بافت‌های **آوندی** ساقه و ریشه نیز وجود دارند ولی مربوط به سامانهٔ بافت زمینه‌ای می‌باشند نه سامانهٔ آوندی!
- دیوارهٔ نخستین نازک و پسین چوبی قطور و مستحکم دارند.



«فیبر»

۷) در بین بافت‌های موجود در سامانهٔ بافت زمینه‌ای، بافت‌های **چسب‌آکنه** و **سخت‌آکنه** دارای یاخته‌هایی با همین نام می‌باشند ولی در بافت پارانشیمی (نرم‌آکنه‌ای) یاخته‌هایی با نام‌های مختلف و ساختار مشابه وجود دارد.

۸) در سامانهٔ زمینه‌ای بافت‌های **سخت‌آکنه‌ای** با دیوارهٔ چوبی پسین ضخیم و **چسب‌آکنه‌ای** با دیوارهٔ نخستین ضخیم غیرچوبی وظیفه استحکام این سامانه را بر عهده دارند.

این سیستم بافتی مسئول **ترابری و انتقال مواد در گیاه** می‌باشد که دارای دو نوع **بافت** آوند چوبی و بافت آوند آبکشی می‌باشد که به ترتیب مسئول انتقال **شیرهٔ خام** از خاک به قسمت‌های سبز گیاه (توسط آوند چوبی) و انتقال آب و مواد آلی (شیرهٔ پرورده) از بخش‌های تولیدکننده به بخش‌های مصرف‌کننده (توسط آوند آبکش) می‌باشد.

نکته: در سامانهٔ بافت آوند چوبی و آبکش یاخته‌های **نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی)** و **فیبر (سخت‌آکنه‌ای)** 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.

ویژگی یاخته‌های اصلی در بافت آوند چوبی

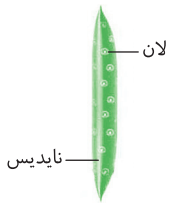
۱) همگی یاخته‌هایی هستند که در حالت بلوغ **دیوارهٔ پسین چوبی شده** دارند و **مرده** می‌باشند. این یاخته‌ها فاقد اندامک و فعالیت‌های زیستی می‌باشند.

۲) از به دنبال هم قرار گرفتن یاخته‌های مردهٔ آن، لوله‌ای باریک آوندی برای هدایت **غیرفعال** شیرهٔ خام از خاک به سمت قسمت‌های فتوسنتزکننده ایجاد می‌شود. 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.

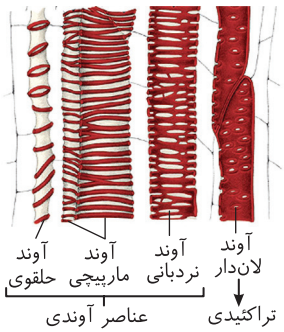
۴) آوند چوبی بر اساس شکل **یاختهٔ** سازندهٔ آن به دو صورت **تراکئید (نایدیس)** و یا **عنصر آوندی** می‌باشد.

۵) آوندهایی که **یاخته‌های دوکی، باریک و دراز** با انتهای مخروطی برای انتقال شیرهٔ خام دارند نایدیس یا تراکئیدها هستند. در این یاخته‌ها **لان‌هایی** برای انتقال شیرهٔ خام به سمت نایدیس **بالایی** وجود دارد. البته از سمت لان‌های دیوارهٔ **جانبی** یاخته خود نیز می‌تواند با آوند آبکش به تبادل **آب** بپردازد.



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.

نکته: 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** نایدیسی‌ها از دیوارهٔ **جانبی** خود توسط لان‌ها، با آوند آبکش به مبادله **آب** می‌پردازند.



۷) در یاختهٔ آوند چوبی **بالغ**، فقط دیوارهٔ پســین چوبی شده باقی‌مانده است و کل پروتوپلاست، تیغهٔ میانی و دیوارهٔ نخستین از بین رفته است.

۸) 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.

۹) آوند چوبی به همراه بافت‌های چسب‌آکنه‌ای و سخت‌آکنه‌ای در **استحکام** گیاه نقش دارد که تفاوت‌های آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:

بافت	استحکام	انعطاف‌پذیری	دیوارهٔ نخستین	پروتوپلاست	سامانهٔ بافتی
چسب‌آکنه‌ای	**دارد**	**دارد**	**ضخیم غیرچوبی**	**دارد**	فقط در سامانهٔ **زمینه‌ای** وجود دارد.
سخت‌آکنه‌ای	**دارد**	**ندارد**	**دارد**	**ندارد**	در سامانهٔ **زمینه‌ای** و **آوندی** وجود دارد.
آوند چوبی بالغ	**دارد**	**ندارد**	**ندارد**	**ندارد**	فقط در سامانهٔ **آوندی** وجود دارد.

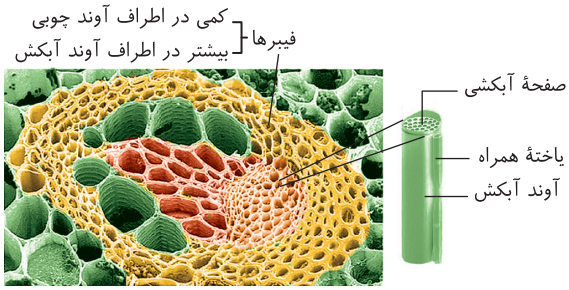
ویژگی یاخته‌های اصلی در بافت آوند آبکشی

۱) یاخته‌های سازندهٔ این آوند **دیوارهٔ نخستین سلولزی** دارند ولی **هیچ** دیواره‌ای از این بافت **چوبی نمی‌شود**. آوند آبکشی همواره یاخته‌های **زنده** دارد.

۲) بیــن یاخته‌های این آوند **صفحهٔ آبکشــی (غربالی)** وجود دارد که شــیرهٔ پرورده را با صرف انرژی به **بالا و پایین** منتقل می‌کند.

۳) یاخته‌های آوندهای آبکشــی، **هســته ندارند** ولی **میان‌یاخته (سیتوپلاسم)** دارند و **زنده** می‌باشند.

۴) در **نهاندانــگان** و در **کنار** آوندهای آبکش **یاخته‌های همراه اندامک‌داری** 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.



نکته: دسته‌های یاخته‌های فیبری (سخت‌آکنه= اسکلرانشیمی) آوندهای چوبی و آبکش را دربرگرفته‌اند و به استحکام آن‌ها کمک می‌کنند.

نکته: در سامانهٔ بافت آبکشی، انواع یاخته‌های آبکشی، همراه، نرم‌آکنه‌ای و **فیبرهای** سخت‌آکنه‌ای وجود دارد.

نکته: در یک ساقهٔ چوبی شده، به دلیل **ضخامت بیشتر بافت آوند چوبی، مقدار** بافت آوند چوبی از بافت آوند آبکش بیشتر می‌باشد.

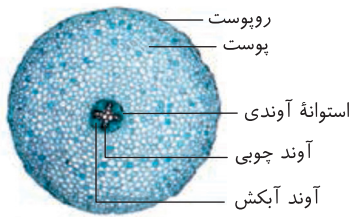
بخش‌ها و سامانه‌های بافتی ریشه و ساقهٔ گیاهان

در گفتار بعدی بررسی می‌کنیم که ساقه و ریشهٔ جوان گیاهان حاوی سه بخش به نام‌های روپوست، پوست و استوانهٔ مرکزی می‌باشد. از طرفی در این درسنامه آموختید که این اندام‌ها حاوی سه نوع ســامانهٔ بافتی روپوستی، زمینه‌ای و آوندی نیز می‌باشند. حالا این دو تقسیم‌بندی را چگونه بفهمیم و همپوشانی آن‌ها به چه صورت می‌باشد را در این قسمت به اختصار توضیح می‌دهم.

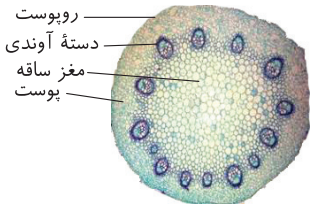
الف) روپوســت: تکلیف این بخش و این سامانهٔ بافتی مشــخص است که شامل یاخته‌های مختلف نگهبان، کرک و ترشحی در اندام هوایی و تار کشنده در ریشه بود.

ب) پوست: بخشی حاوی بافت‌های چسب‌آکنه‌ای، نرم‌آکنه‌ای و سخت‌آکنه‌ای می‌باشد که قسمتی از سامانهٔ بافتی زمینه‌ای را تشکیل می‌دهد. پوست در ریشه به نسبت ساقه ضخیم‌تر و قابل مشاهده‌تر می‌باشد.

ج) استوانهٔ مرکزی: قسمت درونی پوست حاوی بافت‌های آوندی و سایر بافت‌ها و بخش‌ها می‌باشد که جلوتر در مورد آن بحث خواهیم کرد. بافت آوندی این بخش ســامانهٔ آوندی را ایجاد می‌کند ولی ســایر بافت‌ها و لایه‌های یاخته‌ای آن مثل مغز یا دایره محیطیه جزء بافت زمینه‌ای اندام محسوب می‌شوند.

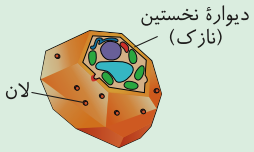
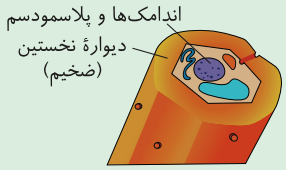
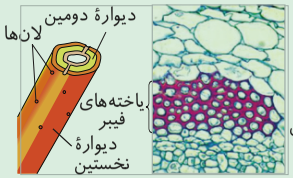


«دولپه»



«دولپه»

نکته: در درسنامهٔ بعدی می‌خوانیم که سامانهٔ بافت زمینه‌ای در برخی از ریشه و ساقه‌های جوان گیاه از **پوست** و **مغز** به وجود آمده‌اند که شامل همان سه نوع بافت نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی)، سخت‌آکنه‌ای (اسکلرانشیمی) و چسب‌آکنه‌ای (کلانشیمی) می‌باشند.

	بافت	محل بافت	نکتهٔ دیواره	هسته	در بلوغ	نکات و کار
	مریستم (سرلاد)	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 پوششی) و واکوئل‌های ریز و کمی دارد - مریستم، بافت‌های دیگر را می‌سازد.
بافت‌های زمینه‌ای	پارانشیم (نرم‌آکنه)	در همه جای گیاه وجود دارد. (رویشی و زایشی)	اغلب 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.  یک یاختهٔ پارانشیمی
	کلانشیم (چسب‌آکنه)	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 (سخت‌آکنه)	اغلب لابه‌لای پارانشیم می‌باشد و به آن استحکام می‌دهد.	دیوارهٔ پسین چوبی شده ضخیم (لیگنینی) دارد.	ندارد	اغلب مرده	به گیاه استحکام می‌دهد دو نوع یاخته دارد: ۱- فیبر: یاخته دراز دوکی‌شکل در میان بافت‌های دیگر به **ویژه** نزدیک **آوندهای گیاه** قرار دارد. ۲- اسکلرئید: یاخته‌های کوتاه چوبی بیشتر در پوشش دانه و میوه‌ها است.  «فیبر» «اسکلرئید»
بافت هادی	هادی چوبی	همه جای گیاه	دیوارهٔ دوم دارد و چوبی شده.	ندارد	مرده	هدایت شیرهٔ خام را به بالا دارد.
	هادی آبکش	همه جای گیاه	دیوارهٔ دوم غیرچوبی دارد.	ندارد	زنده	هدایت شیرهٔ پرورده را به بالا و پایین دارد.

گفتار ۳ ساختار گیاهان

از دانه تا درخت

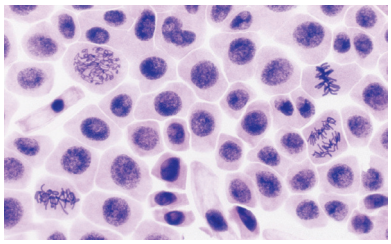
در این درسنامه به دنبال این موضوع هستیم که چگونه در یک گیاه دانه‌دار، از دانه‌ای کوچک، گیاهی بزرگ با شاخه، ریشه، ساقه و برگ ایجاد شده و چگونه از شاخه یا ساقه جدا شده می‌توان یک گیاه کامل دیگر به دست آورد؟

* پاسخ به همهٔ این سؤالات نیاز به فهم ویژگی‌های بافتی در گیاه به نام مریستم یا سرلاد دارد که منشأ **همهٔ** قسمت‌های گیاهان مختلف می‌باشد.

نکته: 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 نرم‌آکنه‌ها و افزایش طول توسط هر یاختهٔ زنده‌ای رخ می‌دهد.

در **نوک** ساقه یا **نزدیک نوک** ریشه، یاخته‌هایی با قدرت تقسیم **زیاد** به نام سرلاد (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 سرلادی (مریستمی)** می‌باشند.

یاخته‌های بافت سرلادی (مریستمی)، یاخته‌هایی **به هم فشرده** با فضای بین‌یاخته‌ای **بسیار اندک** (همانند بافت پوششی سنگ‌فرشی جانوران) می‌باشند که هر یاخته، **هستهٔ درشت** در مرکز دارد و هسته به دلیل بزرگ بودن، بیشتر حجم میان‌یاخته را فراگرفته است. نسبت $\frac{\text{N (هسته)}}{\text{C (سیتوپلاسم)}}$ در این یاخته‌ها زیاد است.


«یاخته‌های سرلادی»

نکته: فعالیت سرلاد (مریستم) نزدیک به نوک ریشه با میکروسکوپ **نوری** دیده می‌شود، چون میکروسکوپ الکترونی قدرت دیدن یاختهٔ زنده و فعالیت‌های آن را ندارد.

نکته: در جانوران، رشد در همه جای بدن صورت می‌گیرد ولی در گیاهان، رشد مخصوص مناطق خاصی به نام مناطق **مریستمی** می‌باشد. البته رشد کمی نیز در اثر تقسیم در بافت نرم‌آکنه‌ای، یا در اثر رشد طولی در چسب‌آکنه‌ها، در برخی قسمت‌های گیاه دیده می‌شود.

سرلاد (مریستم)
- نخستین ← رشد **طولی** به همهٔ گیاهان می‌دهد.
- پسین ← رشد **قطری** (عرضی) به ساقه و ریشهٔ گیاهان نهاندانه **دولپه‌ای** چوبی می‌دهد.

الف) مریستم نخستین (سرلاد نخستین)

این مریستم (سرلاد) در **نزدیکی نوک ریشه** و در **نوک ساقهٔ** گیاهان مختلف می‌باشد و سبب **رشد طولی** در **همهٔ گیاهان** می‌شود و سه سامانهٔ روپوست، بافت زمینه‌ای و آوندی را در ریشه و ساقه و کل ساختار برگ‌ها را به وجود می‌آورد. در ساختار برگ، بافت سرلادی وجود ندارد.

نکته: خزه‌گیان اندام ریشه، ساقه و برگ و آوند مشخصی مثل سایر گیاهان ندارند ولی بافت سرلادی برای رشد خود دارند.

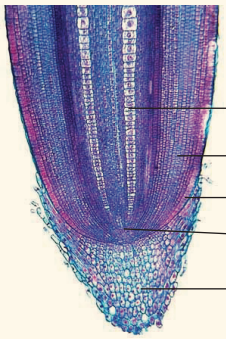
● مریستم (سرلاد) نخستین ریشه

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 **کلاهکِ** محافظِ سرلاد را می‌سازد. **کلاهک**، بخش **انگشتانه‌ای مانندی** است که از مریستم (سرلاد) بالای خود در مقابل عوامل **محیطی** محافظت می‌کند.

نکته: یاخته‌های کلاهک، ترکیب **پلی‌ساکاریدی** ترشح می‌کنند که باعث لزج شدن سطح **بیرونی** کلاهک 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.

کار کلاهک ریشه:
- کمک به نفوذ ریشه در خاک
- محافظت از سرلاد نخستین ریشه

نکتهٔ مهم: مریستم (سرلاد) نخستین ریشه به سمت بالا ابتدا یاخته‌های **تمایز نیافتهٔ در حال تشکیل** که منشأ سامانه‌های پوششی (روپوستی)، 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، نرم‌آکنه و سخت‌آکنه‌ای زمینه‌ای و بافت آوندی چوبی و آبکش نخستین تمایز می‌یابند.

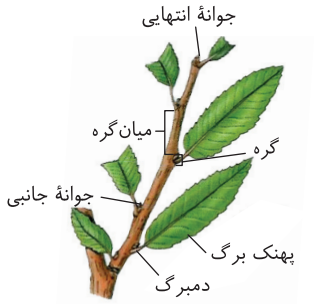


«سرلاد نزدیک به نوک ریشه در مشاهده با میکروسکوپ نوری»

سرلاد نخستین ریشه:
- به سمت پایین ← **کلاهک** محافظ خود را می‌سازد.
- به سمت بالا:
  - سامانهٔ پوششی می‌سازد ← (تمایز) **تار کشنده** می‌سازد.
  - سامانهٔ زمینه‌ای می‌سازد ← (تمایز) نرم‌آکنه و سخت‌آکنه می‌سازد.
  - سامانهٔ آوندی می‌سازد ← (تمایز) بافت‌های چوبی و آبکش می‌سازد.

● مریستم (سرلاد) نخستین ساقه

در ساقه، این سرلادها عمدتاً در **جوانه‌ها** قرار دارند. جوانه‌های ساقه مجموعه‌ای از **یاخته‌های سرلادی درونی و برگ‌های بسیار جوان محافظ آن‌ها** می‌باشند. این سرلاد در کل زندگی گیاه قسمت‌های مختلف ساقه و شاخه جوان و همواره در ساخت برگ فعالیت دارد. بر اساس محل جوانه، در ساقه یا شاخه دو نوع جوانهٔ انتهایی برای رشد **طولی** آن و جوانه‌های کناری برای ایجاد **انشعابات** وجود دارد. در ساقه همچنین سرلادهای نخستین از نوع دیگری به نام سرلاد میان‌گرهی 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** از ساقه یا شاخه خارج می‌شود.



«ترسیمی از ساقه و محل سرلادها در آن»

● گره

محلی است که **برگ گیاه، به ساقه یا شاخه** متصل است.

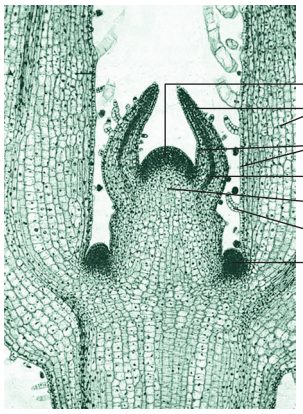
● میان‌گره

به فاصلهٔ بین دو گره میان‌گره می‌گویند. اگر در میان‌گره، سرلاد وجود داشته باشد، به آن‌ها **سرلادِ (مریستمِ) میان‌گرهی** می‌گویند که نوعی مریستم **نخستین** می‌باشد و از آن‌ها شاخه‌ها و برگ‌های جدید ایجاد می‌شود.

انواع سرلاد نخستین در ساقه گیاه (برحسب محل آن‌ها):
- جوانهٔ انتهایی:
  - حاوی سرلاد نخستین و برگ‌های بسیار جوان هستند.
  - سبب رشد طولی ساقه می‌شود.
- جوانهٔ جانبی:
  - حاوی سرلاد نخستین و برگ‌های بسیار جوان هستند.
  - سبب رشد و ایجاد شاخه، برگ و گل می‌شود.
- در فاصلهٔ بین دو گره هستند = سرلاد میان‌گرهی ← تولید شاخهٔ جدید و برگ می‌کند.

رشد نخستین گیاه

در گیاهان در اثر فعالیت سرلادهای 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.



«سرلاد ساقه در مشاهده با میکروسکوپ نوری»

اعمال مریستم (سرلاد) 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 سرلاد ساقه منشأ می‌گیرند که جزء سرلادهای نخستین گیاهان می‌باشند.

نکته: تمام سرلادها (مریستم‌ها)ی نخستینی که در جوانهٔ انتهایی یا جانبی یا میان‌گرهی وجود دارند، می‌توانند سه سامانهٔ بافتی نخستین روپوستی، زمینه‌ای و آوندی را در محصولات خود ایجاد کنند.

انواع مریستم نخستین	محل	محصولات
ریشه‌ای	نزدیک انتهای ریشه	کلاهک - بافت پوششی ریشه **(تار کشنده)** - بافت زمینه‌ای (نرم‌آکنه و سخت‌آکنه) - بافت آوندی چوبی و آبکش **متناوب** یک در میان و بافت‌های پارانشیمی و **فیبری** بین آوندها
ساقه‌ای	جوانهٔ انتهایی ← رشد طولی ساقه جوانهٔ جانبی ← رشد شاخه و ایجاد برگ میان‌گرهی ← رشد شاخه‌ها و ایجاد برگ	ساقه ← سامانهٔ پوششی روپوستی، زمینه‌ای و هادی می‌سازد. برگ ← کل قسمت‌های برگ را می‌سازد.

نکات فعالیت کتاب در مورد سرلادهای نخستین در گیاهان نهاندانه

* همان‌طور که در انتهای درسنامهٔ گفتار قبل ذکر کردیم، در نهاندانگان ریشه و ساقه حاوی سه بخش عرضی، روپوست، پوست و استوانهٔ مرکزی می‌باشد که مطلبی پیرامون آن‌ها را به صورت زیر بررسی می‌کنیم.

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.

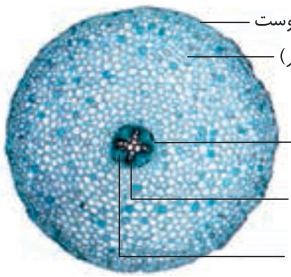
وقتی در عبارتی بیان می‌شود که «ساختار نخستین گیاه!» یعنی بخش‌هایی که در اثر سرلادهای نخستین ایجاد می‌شوند.

در برش عرضی **ریشه و ساقهٔ جوان** نهاندانگان سه بخش روپوست، پوست و استوانهٔ مرکزی مشاهده می‌شود. روپوست، همان سامانهٔ **پوششی** جوان با یاخته‌های نگهبان، کرک و ترشحی است. **پوست** می‌تواند برحسب **ریشه یا ساقه** دارای بافت‌های نرم‌آکنه‌ای، چسب‌آکنه‌ای و سخت‌آکنه‌ای باشد. **استوانهٔ مرکزی** شامل استوانه‌ای است که از زیر پوست آغاز شده و بافت‌های **آوندی** را دربرگرفته است. این استوانه در **برخی موارد**، **مغزی** با بافت **نرم‌آکنه‌ای** و لایه‌ای خارجی به نام دایره محیطیه یا **لایهٔ ریشه‌زا** دارد. همهٔ این قسمت‌ها از بخش‌های **نخستین** گیاه می‌باشند و حاصل عمل **سرلادهای نخستین** هستند.

* در برش عرضی ساقه و ریشهٔ نهاندانگان جوان:
- سه سامانهٔ بافتی وجود دارد:
  - پوششی ← یاخته‌های متنوع دارد.
  - زمینه‌ای ← بافت‌های نرم‌آکنه، سخت‌آکنه و چسب‌آکنه دارد.
  - آوندی ← بافت‌های آوندی، نرم‌آکنه و فیبر سخت‌آکنه‌ای دارد.
- سه بخش وجود دارد:
  - روپوستی (پوششی) ← یاخته‌های متنوع دارد.
  - پوست ← بافت‌های نرم‌آکنه، سخت‌آکنه و چسب‌آکنه دارد.
  - استوانهٔ مرکزی ← آوندها و در برخی موارد مغز نرم‌آکنه‌ای دارد.

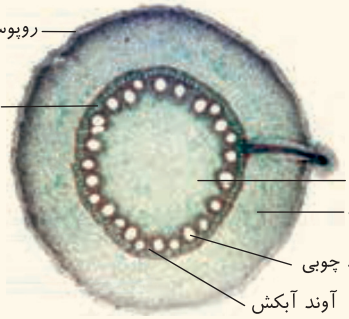
● بررسی ساختار نخستین ریشه

در برش عرضی ریشهٔ گیاهان **دولپه‌ای** نهاندانگان، نسبت مساحت پوست به استوانهٔ مرکزی آن‌ها از ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها **بیشتر** می‌باشد. در حقیقت ریشهٔ دولپه‌ای‌ها از همه پوست کلفت‌تر ولی **بی‌مغز** می‌باشد. **(ریشهٔ دولپه‌ای‌ها پوست کلفت بی‌مغز است!!)**



ریشهٔ دولپه (حبوبات)
- **کلفت‌ترین** پوست را دارد.
- **کمترین** حجم استوانهٔ مرکزی را دارد.
- پوست کلفت **بی‌مغز** است.
- تار کشنده دارد ولی پوستک و کوتین و نگهبان روزنه ندارد.
- آوندهای **یک در میان** یا متناوب قرار گرفته‌اند.

نکته: ریشه در تک‌لپه‌ای‌ها حاوی بخشی در محاصره آوندها به نام **مغز** می‌باشد. مغز، درونی‌ترین بخش ریشهٔ گیاه با بافت **نرم‌آکنه‌ای** است.



ریشهٔ تک‌لپه (غلات)
- پوست **نازک‌تر** از ریشهٔ دولپه‌ای‌ها دارد.
- مغز در **وسط** آوندها دارد.
- مغز **داخلی‌ترین** بخش ریشهٔ جوان آن‌ها است.
- استوانهٔ مرکزی **حجیم‌تری** از ریشهٔ دولپه‌ای‌ها دارد.

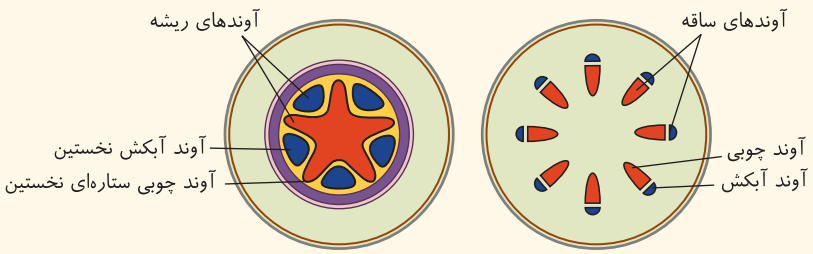
سامانهٔ بافت زمینه‌ای: مغز ریشه، پوست ریشه

نکته: در ریشهٔ نهاندانگان، استوانهٔ مرکزی از خارج به داخل شامل لایهٔ ریشه‌زا یا دایرهٔ محیطیه و سپس سامانهٔ بافت آوندی می‌باشد. البته در ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها در وسط آوندها، قسمت مغز نیز از بافت نرم‌آکنه‌ای قرار دارد. دقت کنید که در فضای محصور شده توسط **آوندهای ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها** و **ساقهٔ دولپه‌ای‌ها**، **مغز** وجود دارد که به همراه پوست آن‌ها، **سامانهٔ بافت زمینه‌ای** را تشکیل می‌دهند.

❊ سه سامانهٔ اصلی ریشه و ساقه جوان
- روپوستی ← فقط یاخته‌های روپوستی دارد.
- زمینه‌ای
  - ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها = پوست نسبتاً قطور + دایره محیطیه + مغز
  - ریشهٔ دولپه‌ای‌ها = پوست قطور + دایره محیطیه
- آوندی ← آوندهای چوبی و آبکش و بافت‌های نرم‌آکنه و فیبری اطراف آن‌ها را شامل می‌شود.

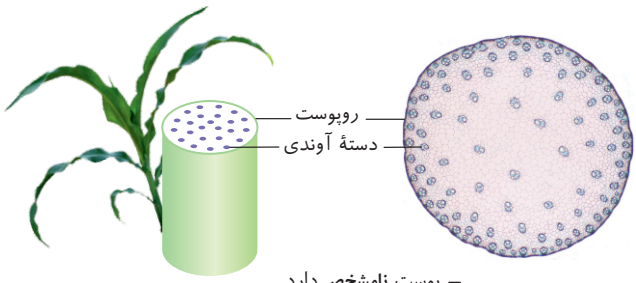
سامانهٔ بافت زمینه‌ای = پوست + مغز ⇐ دقت کنید که آوندهای دربرگیرنده مغز، جزء بافت زمینه‌ای و بخش پوست به حساب نمی‌آیند.

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.



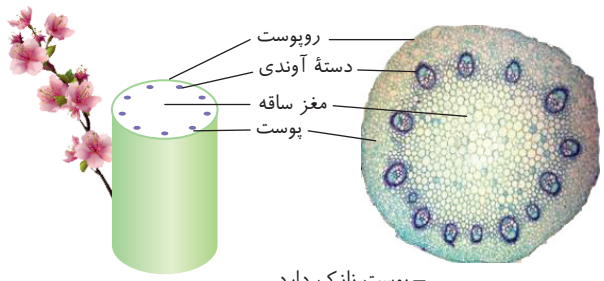
بررسی ساختار نخستین ساقه

❊ در **ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها** پوست بسیار نازک می‌باشد و قابل مشاهده نیست. پوست این گروه در حد بین روپوست و دستجات آوندی استوانهٔ مرکزی نامشخص است و به نسبت سایر ساقه‌ها و ریشه‌ها، قسمت پوست، **سطحی بسیار نازک** را دربرگرفته است.



ساقهٔ تک‌لپه:
- پوست **نامشخص** دارد.
- استوانهٔ مرکزی تقریباً کل حجم را فراگرفته است.
- سامانهٔ زمینه‌ای آن مغز **ندارد**.

نکته: **مغز ریشه** فقط در **تک‌لپه‌ای‌ها** و **مغز ساقه** فقط در **دولپه‌ای‌ها** دیده می‌شود که هر دو قسمتی از سامانهٔ **بافت زمینه‌ای** و از نوع بافت **نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی)** در استوانهٔ مرکزی آن‌ها می‌باشند. دقت کنید که حجیم‌ترین استوانهٔ مرکزی نسبت به پوست را در **ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها** می‌توان مشاهده کرد. در برش عرضی ساقهٔ دولپه‌ای‌ها، قسمت‌هایی از پوست در بین روپوست و استوانهٔ مرکزی قابل مشاهده است.



ساقهٔ دولپه:
- پوست نازک دارد.
- سامانهٔ زمینه‌ای آن:
  - پوست مشخص دارد.
  - مغز دارد.
- مغز داخلی‌ترین قسمت آن است.

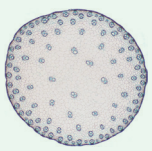
سامانهٔ زمینه‌ای نهاندانگان:
- در برگ هر نهاندانه‌ای ← مجموعه پارانشیم، کلانشیم و اسکلرانشیم
- در ریشه:
  - تک‌لپه‌ای‌ها:
    - پوست (پارانشیم + اسکلرانشیم)
    - لایه ریشه‌زا استوانهٔ مرکزی
    - مغز در استوانهٔ مرکزی (پارانشیم)
  - دولپه‌ای‌ها:
    - پوست بسیار ضخیم (پارانشیم و اسکلرانشیم)
    - لایه ریشه‌زا استوانهٔ مرکزی
- در ساقه:
  - تک‌لپه‌ای‌ها ← پوست (پارانشیم + کلانشیم + اسکلرانشیم)
  - دولپه‌ای‌ها:
    - پوست (پارانشیم + کلانشیم + اسکلرانشیم)
    - مغز (پارانشیم)

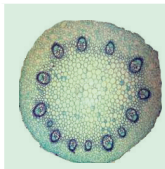
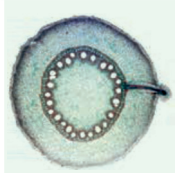
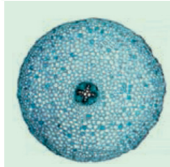
نکته: با توجه به شکل‌های مشاهده شده در برش عرضی گیاه پراکندگی دستجات آوندی نخستین در **ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها** بیشتر از ریشه و ساقهٔ سایر گیاهان می‌باشد به‌طوری که آوندهای ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها را تقریباً در تمام برش عرضی ساقهٔ آن‌ها می‌توان مشاهده کرد.

دو نکتهٔ ترکیبی با زیست دوازدهم

۱) در کتاب زیست دوازدهم می‌خوانیم که پهنک و دمبرگ مخصوص برگ **دولپه‌ای‌ها** می‌باشد.

۲) در کتاب زیست دوازدهم می‌خوانیم که در برگ تک‌لپه‌ای‌ها بین دو روپوست فوقانی و تحتانی فقط پارانشیم از نوع **حفره‌ای** یا **اسفنجی** وجود دارد ولی در دولپه‌ای‌ها، پارانشیم نرده‌ای در مجاورت روپوست **زبرین** و پارانشیم حفره‌ای (اسفنجی) در مجاورت روپوست **زیرین** وجود دارد.

انواع قسمت‌ها	رشد نخستین	رشد پسین	روپوست	پوست	استوانهٔ مرکزی	مغز	وضعیت آوندهای نخستین	شکل
ساقهٔ تک‌لپه‌ای‌ها	دارند	ندارند	نگهبان، کرک کوتین و روزنه دارند.	بسیار نازک و نامشخص (تقریباً پوست ندارند).	حجیم‌ترین قسمت و همراه آوند می‌باشد.	**ندارند**	آوند آبکش خارجی و چوبی داخلی پراکنده در کل ساقه	

انواع قسمت‌ها	رشد نخستین	رشد پسین	روپوست	پوست	استوانهٔ مرکزی	مغز	وضعیت آوندهای نخستین	شکل
ساقهٔ دولپه‌ای‌ها	دارند	انواع چوبی دارند	نگهبان، کرک، کوتین و روزنه دارند.	مقدار کمی دارند (پارانشیم - کلانشیم - اسکلرانشیم)	حجم زیادی به همراه آوند دارند.	**دارند**	آوند آبکش خارجی و چوبی داخلی	
ریشهٔ تک‌لپه‌ای‌ها	دارند	ندارند	تار کشنده دارند.	پوست به نسبت ضخیم دارند. نوار کاسپاری دارند.	در وسط ریشه وجود دارند - آوند دارند - لایه ریشه‌زا دارند.	**دارند**	متناوب و یک در میان چوبی و آبکشی دارند.	
ریشهٔ دولپه‌ای‌ها	دارند	چوبی‌ها دارند	تار کشنده دارند.	بیشترین ضخامت را دارند. نوار کاسپاری دارند.	کمترین حجم را دارند. لایه ریشه‌زا و آوند دارند.	**ندارند**	متناوب و یک در میان چوبی و آبکشی دارند.	

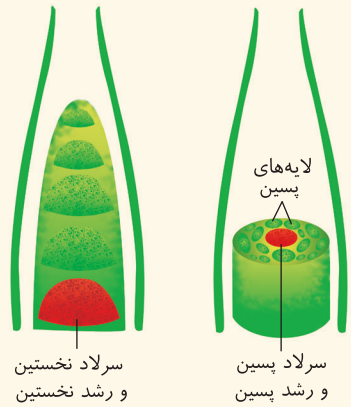
ب) سرلاد پسین (بن‌لاد = کامبیوم)

گیاهانی مثل **برخی** نهاندانگان **دولپه‌ای** علاوه بر رشد طولی دارای رشد قطری بسیار زیادی نیز می‌باشند. در این گیاهان که اغلب درختی هستند، سرلادها یا مریستم‌های پسینی در ساقه و ریشه‌ها وجود دارد که **پس از عمل** سرلادهای نخستین ایجاد می‌شوند. این مریستم‌ها (سرلادها) سبب **ایجاد قطر و ضخامت بسیار** در ریشه و ساقهٔ نهاندانگان **دولپه‌ای** می‌شوند. در این رشد تعداد **لایه‌های** یاخته‌ای زیادی در اثر فعالیت مریستم در عرض ریشه و ساقه به وجود می‌آید.

نکته: دقت کنید که **برگ** گیاهان، رشد پسین (قطری) و سرلاد پسین ندارد!!

* به **سرلادها (مریستم‌ها)یی** که **به‌طور مداوم**، یاخته‌ها و بافت‌های لازم برای افزایش **قطر و ضخامت** ساقه و ریشهٔ گیاهان **دولپه‌ای** ایجاد می‌کنند، سرلاد (مریستم)های پسین یا بن‌لادها یا کامبیوم می‌گویند که به دو نوع **بن‌لاد** (کامبیوم) آوندساز و بن‌لاد (کامبیوم) چوب‌پنبه‌ساز تقسیم می‌شوند. بن‌لاد آوندساز، **تنهٔ** درخت را حجیم می‌کند ولی بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز، سامانهٔ **پوششی** روپوستی را به پیراپوست تبدیل می‌کند.

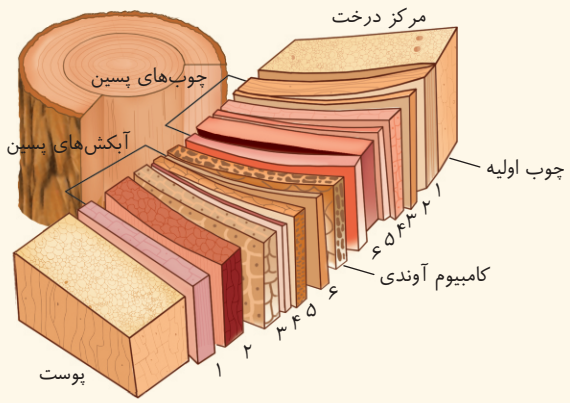
نکتهٔ مهم: بن‌لادها (کامبیوم‌ها) در حقیقت همان بافت سرلادی هستند که به جای رشد طولی یاخته‌های گیاهان دولپه‌ای، سبب **تولید یاخته** و بافت در جهت **عرض** و **رشد قطری** این گیاهان می‌شوند. یاخته‌های هر کامبیوم (بن‌لاد) همان ویژگی یاخته‌های سرلادی نخستین یعنی **هستهٔ** درشت، یاخته‌های **به هم فشرده** و سیتوپلاسم (میان‌یاخته) کم‌حجم با هستهٔ مرکزی **و قدرت تقسیم زیاد** را دارند. برای فهم تفاوت نوع محصولات و عمل سرلاد نخستین با سرلاد پسین می‌توانید تصور کنید که محصولات سرلاد نخستین، مانند این هستند که بشقاب‌هایی را هم‌اندازه یا کمی با اندازهٔ بزرگ‌تر در جهت طول روی هم قرار دهیم. در حقیقت تعداد بشقاب‌ها را در جهت طولی روی هم اضافه کرده‌ایم، ولی محصولات سرلاد پسین در حال ساخت و قراردهی بشقاب‌هایی در جهت عرض و لایه‌های عرضی می‌باشند. یعنی سرلاد پسین، بشقاب‌ها را دور خود می‌چیند و بر قطر مناطق بشقاب‌دار می‌افزاید.



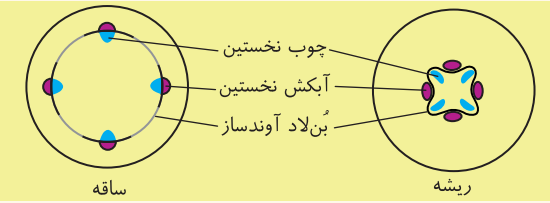
انواع بن‌لادها (کامبیوم‌ها)
۱) بن‌لاد (کامبیوم) آوندساز ← آوندهای چوب و آبکش پسین را می‌سازد.
۲) بن‌لاد (کامبیوم) چوب‌پنبه‌ساز ← یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای و **چوب‌پنبه‌ای** شونده پسین را می‌سازد.

رشد قطری نهاندانگان
- در تک‌لپه‌ای‌ها
  - بن‌لاد ندارند و فقط با سرلاد نخستین رشد می‌کنند.
  - به دلیل بزرگ شدن و تکثیر یاخته‌های حاصل از مریستم **نخستین** می‌باشد.
- در دولپه‌ای‌ها
  - در اثر عمل بن‌لادها یا مریستم‌های پسین (کامبیوم‌ها) می‌باشد که **تعداد و قطر** محصولات در جهت عرض زیاد می‌شود.

این کامبیوم (بن‌لاد) همان‌طور که گفتیم از بافت **مریستم (سرلاد)** می‌باشد که ابتدا بین آوندهای چوبی و آبکش **نخستین** ساقه و ریشهٔ 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.



نکته: بن‌لادها (کامبیوم‌ها) در شروع فعالیت خود که **پس از** فعالیت **سرلادهای نخستین** می‌باشد، **هر سال** یک لایه آوند چوبی پسین **قطور** به سمت **داخل** و یک لایه آوند آبکش **نازک‌تر** به سمت **خارج** می‌سازند. همواره پس از n سال رشد پسین (قطری)، هر لایه‌ای که به بن‌لاد (کامبیوم) **نزدیک‌تر است**، لایهٔ تازه‌تر و جوان‌تری می‌باشد. مثلاً در گیاهی دولپه‌ای که ۶ سال است رشد پسین دارد، نزدیک‌ترین لایه به بن‌لادهای (کامبیوم‌ها) آوندساز آن، آوندهای چوبی و آبکش سال **ششم** رشد پسین می‌باشد. دقت کنید که در این ۶ سال، قطر محصولات آوندی چوبی پسین از قطر محصولات آوندی آبکش پسین بسیار بیشتر است و **قطر اصلی تنهٔ درخت را آوندهای چوبی پسین تشکیل می‌دهند.**



نکته: با توجه به شکل مقابل مشاهده می‌کنید که وضعیت قرارگیری آوندهای چوبی و آبکش **نخستین** در ریشه به صورت **متناوب** و در ساقه به صورت **در امتداد هم** می‌باشند، به همین دلیل **بن‌لاد 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.

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. دقت داشته باشید که رشد پسین گیاه، سبب متوقف شدن رشد نخستین آن نمی‌شود. پس فعالیت رشد طولی گیاه و ساخت بافت‌های نخستین همواره ادامه دارد.

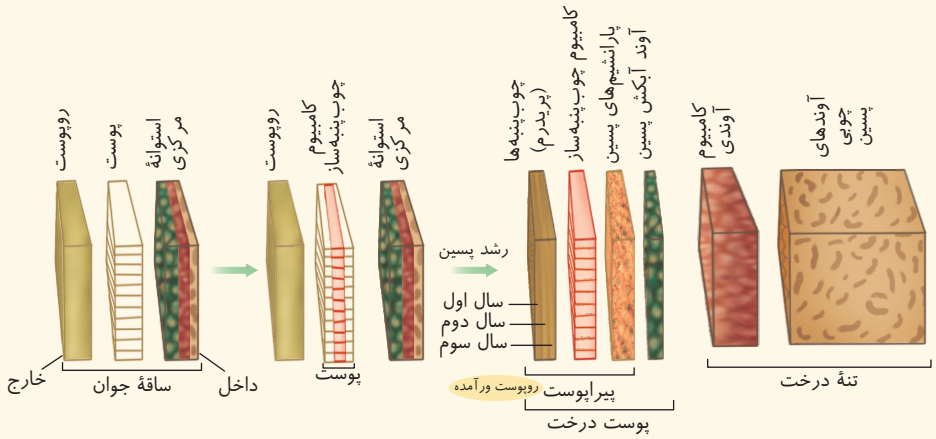
نکته: در برگ‌ها فقط آوندها و رشد **نخستین** وجود دارد که آوند چوبی در سطح **بالاتر** و به سمت روپوست **زبرین** ولی آوند آبکش به سمت روپوست **زیرین** می‌باشد. البته لایه‌ای به نام **غلاف** آوندی نیز در اطراف آوندهای برگ دیده می‌شود که مجموعاً به همراه آوندها بخشی به نام **رگبرگ** را ایجاد می‌کنند.

خلاصه منشأ بن‌لادهای آوندساز (منشأ بن‌لادها نیز از سرلادهای نخستین می‌باشد.)

- مریستم نخستین ساقه ← کامبیوم آوندساز ساقهٔ دولپه‌ای
  - آوند چوبی پسین قطور به سمت داخل
  - آوند آبکش پسین نازک به سمت خارج
- مریستم نخستین ریشه ← کامبیوم آوندساز ریشهٔ دولپه‌ای
  - آوند چوبی پسین قطور به سمت داخل
  - آوند آبکش پسین نازک به سمت خارج

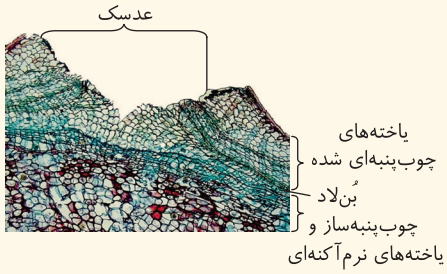
* **این کامبیوم (بن‌لاد)** که باز هم نوعی بافت مریستمی یا سرلادی می‌باشد، در سامانهٔ **بافت زمینه‌ای** ساقه و ریشهٔ بعضی گیاهان **نهاندانه دولپه‌ای** ایجاد می‌شود (این لایه در **درونِ** پوست ایجاد می‌شود). این کامبیوم، یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی) زنده با دیوارهٔ **نازک** را به سمت **درون** تشکیل می‌دهد و به سمت **بیرون** خود، 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 نیز **نفوذناپذیر** می‌باشد و امکان انتقال گاز تنفسی به لایه‌های داخلی‌تر را متوقف می‌کند. به همین دلیل در لابه‌لای آن مناطقی به نام **عدسک‌ها** ایجاد می‌شوند.

نکته: اگر یادتان باشد، در درسنامهٔ قبل گفتیم که هر اندام رویشی گیاهان نهاندانه شامل سه بخش پوششی، زمینه‌ای و هادی می‌باشد که بخش **پوششی** در اندام‌های **جوان** معمولاً به صورت **یک لایهٔ روپوستی** می‌باشد. در گیاهانی که بن‌لاد (کامبیوم) و **رشد پسین** دارند، با فعالیت بن‌لادِ (کامبیوم) چوب‌پنبه‌ساز، یاخته‌های چوب‌پنبه‌ای چندلایه‌ای که محصولات کامبیوم به سمت خارج می‌باشند و به آب و گاز نفوذناپذیرند، **به تدریج** جای روپوست را می‌گیرند. 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. در این حالت چوب‌پنبه‌ها **خارجی‌ترین** بخش این گیاهان یا همان بافت پوششی گیاهان **مسن** می‌شوند. **در این گیاهان به مجموعهٔ کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز و یاخته‌های حاصل از آن یعنی پوست نرم‌آکنه‌ای (پارانشیمی) درونی و چوب‌پنبه‌های بیرونی، پیراپوست (پریدرم) می‌گویند که به عنوان سامانهٔ بافت پوششی گیاهان مسن نهاندانه می‌باشند.**



نکته: در پیراپوست یا پریدرم از داخل به خارج، بافت‌های نرم‌آکنه‌ای، **مریستمی (بن‌لاد)** و **چوب‌پنبه‌ای** وجود دارد که همگی محصولات رشد پسین می‌باشند و مخصوص برخی گیاهان مسن دولپه‌ای می‌باشند. پس در پیراپوست هم بافت زنده و هم بافت مرده چوب‌پنبه‌ای وجود دارد.

نکته: 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 به ورود گازهای تنفسی در گیاه کمک می‌کنند** که این عدسک‌ها را می‌توان به کمک میکروسکوپ **نوری** در سطح گیاه مشاهده کرد.

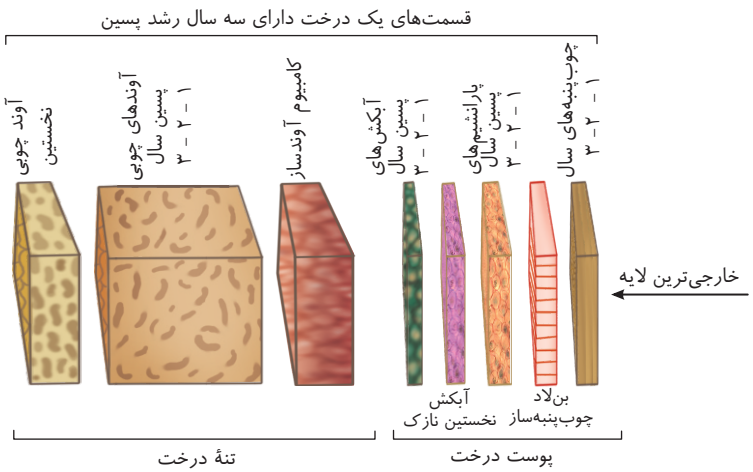


نکتهٔ بسیار مهم: پریدرم (پیراپوست) سامانهٔ بافت پوششی، بخش‌های **مسن** برخی گیاهان نهاندانهٔ دولپه‌ای را تشکیل می‌دهد که از خارج به داخل شامل چوب‌پنبه‌ها و عدسک‌های درون آن، بن‌لاد (کامبیوم چوب‌پنبه‌ساز) و بافت نرم‌آکنه‌ای می‌باشد ولی پوست درخت با پریدرم متفاوت است. پریدرم همان سامانهٔ پوششی ریشه و ساقه مسن در گیاهان دارای رشد پسین می‌باشد ولی پوست درخت از خارج به داخل شامل مجموعه سامانهٔ پوششی پریدرم و بخشی از سامانهٔ زمینه‌ای و آبکش‌های سامانهٔ آوندی گیاه می‌باشد.

- در درخت دارای رشد پسین
  - پیراپوست
    - چوب‌پنبه خارجی مرده
    - بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز زنده (بافت سرلادی)
    - بافت نرم‌آکنه‌ای داخلی
  - پوست درخت
    - پیراپوست (خارجی)
    - آبکش‌های پسین
  - تنهٔ درخت
    - بن‌لاد آوندساز (مریستمی)
    - آوندهای چوبی قطور داخلی

مریستم‌های پسین	منشأ	محل	محصولات به سمت خارج	محصولات به سمت داخل
بن‌لاد آوندساز ساقه	مریستم نخستین	بین آوندهای چوبی و آبکش نخستین به صورت دایره‌ای	آوندهای **آبکش** و یاختهٔ **همراه**	آوندهای چوبی ضخیم تراکئیدی و عناصر آوندی
بن‌لاد آوندساز ریشه	مریستم نخستین	بین آوندهای نخستین به صورت ستاره‌ای	آوندهای آبکش و یاختهٔ همراه	آوندهای چوبی ضخیم تراکئیدی و عناصر آوندی
بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز ساقه و ریشه	مریستم نخستین	درون پوست ایجاد می‌شود.	بافت‌های چوب‌پنبه‌ای شده مرده و عدسک‌ها	بافت‌های **نرم‌آکنه‌ای**

پوست و تنهٔ درخت چندساله



در گیاهانی که رشد پسین دارند، با شروع رشد پسین، هر سال هر دو نوع بن‌لاد یا 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، بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز آن به سمت خارج سه لایه **چوب‌پنبه‌های** مرده حاوی عدسک و به سمت داخل نیز لایه‌های **نرم‌آکنه‌ای** می‌سازد. از طرفی بن‌لاد 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 مواد غذایی به **روپوست** جوان شده و روپوست آن‌ها از بین می‌رود و به مجموعه چوب‌پنبه‌ها، بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز و بافت نرم‌آکنه زیر آن، به نام **پریدرم** تبدیل 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 نرم‌آکنه (پارانشیم)های پوستی، بن‌لاد (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، بن‌لاد چوب‌پنبه‌ساز و نرم‌آکنه‌ها می‌باشد. **پیراپوست به همراه آبکش‌های گیاه، تشکیل پوست درخت را می‌دهند.**

پوست درخت = **پیراپوست** + **آوندهای آبکش**

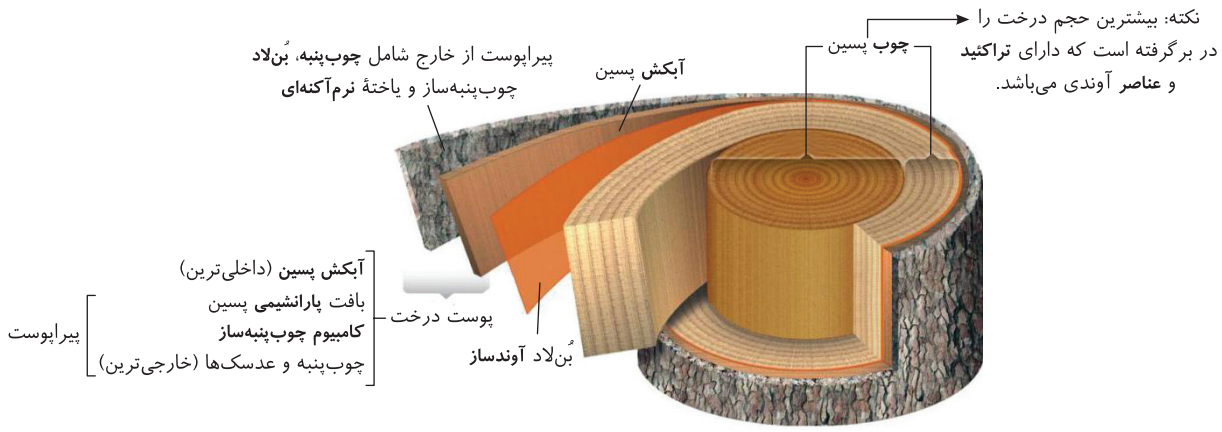
تنهٔ درخت

از خارج به داخل به مجموع **بن‌لاد (کامبیوم) آوندساز** و آوندهای **چوبی** پسین و نخستین، تنهٔ درخت می‌گویند که قسمت اعظم درخت را تشکیل می‌دهند.

نکته: بین دو بن‌لاد (کامبیوم) آوندساز و چوب‌پنبه‌ساز درخت، آوند **آبکشی** شامل **آوند آبکش** و یاختهٔ **همراه** وجود دارد که صفحات آبکشی را در آوند آبکش می‌توان مشاهده کرد.

نکته: همواره نزدیک‌ترین لایه‌های پسین به بن‌لادها، **جوان‌ترین** محصولات هستند، مثلاً در یک درخت دارای سه سال رشد پسین، آوندهای چوبی و آبکش سال **سوم** نزدیک‌ترین لایه‌ها به بن‌لاد آوندساز هستند.

نکته: با کندن پوست درخت، **بن‌لاد آوندساز**، خارجی‌ترین لایهٔ درخت در برابر عوامل محیطی می‌باشد که در این صورت این بن‌لاد (کامبیوم) در برابر آسیب‌های محیطی قرار می‌گیرد. این لایه بن‌لادی با شروع فعالیت بعدی خود دوباره به ساخت آبکش کنده شده و انتقال شیرهٔ پرورده می‌پردازد.



«برشی از ساقهٔ درخت»

نکات سازش گیاهان با محیط‌های مختلف

۱) چون مساحت زیادی از سرزمین **ایران**، مناطق **خشک و کم‌آب** می‌باشد، پس گیاهان مناطق خشک به دلیلِ تابش شدید خورشید و دمای بالا، مشکل گرفتن آب دارند و به همین دلایل پوشش **گیاهی** در این مناطق **اندک** می‌باشد.

۲) گیاهانی که در مناطق خشک و کم‌آب زندگی می‌کنند و می‌رویند باید در **جذب آب** 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.)**

نکته: دقت کنید 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 کم می‌شود. البته هورمون‌هایی برای جلوگیری از مرگ گیاه با باز و بسته کردن روزنه‌های هوایی سبب سازش و افزایش طول عمر گیاه می‌شوند.

۳) 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.

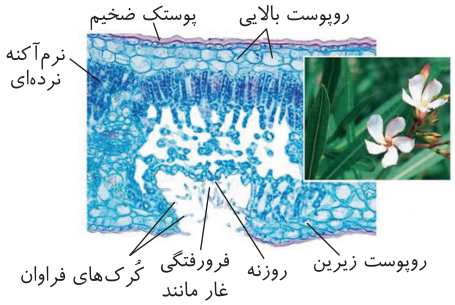
ج) روزنه‌های **هوایی** آن در **فرورفتگی غارمانند** قرار دارد تا **تعرق** و خروج بخار آب از آن‌ها به سختی صورت بگیرد.

د) در فرورفتگی‌های غارمانند، **کرک‌های فراوانی** برای به دام انداختن **رطوبت** هوا وجود دارد **تا اتمسفر مرطوبی** را در اطراف روزنه به سمت بیرون (درون غارها) ایجاد کنند و چون در محیط دارای رطوبت، روزنه‌ها بسته می‌شوند، با این عمل روزنه‌ها بسته و **کرک‌ها** نیز مانع خروج بیش از حد آب از برگ گیاه می‌شوند.

ه) این گیاه، توانایی بالا در **جذب** آب و **کاهش** تبخیر آب از سطح برگ دارد.

و) با توجه به شکل مقابل، در مورد برگ خرزهره و وجود نرم‌آکنه نرده‌ای‌شکل در مجاورت روپوست فوقانی آن درمی‌یابیم که این گیاه خودرو از نوع **دولپه‌ای** می‌باشد.

ز) همان‌طور که در فصل اول مشاهده کردید 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.



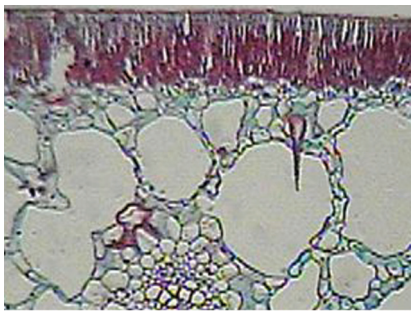
«روزنه‌ها در برگ خرزهره در فرورفتگی‌های غارمانند قرار دارند.»

۴) **برخی** از گیاهان مناطق **خشک** در **کریچه‌ها (واکوئل‌ها)ی** خود ترکیبات **پلی‌ساکاریدی** غلیظی دارند که با افزایش فشار اسمزی کریچه، مقدار آب فراوانی جذب می‌شود. **این آب ذخیره‌ای کریچه‌ها، در دوره‌های کم‌آبی، مشکل گیاه را برطرف می‌کند.**

۵) 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 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.

۶) 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.

۷) در درسنامهٔ قبل در بافت نرم‌آکنه (پارانشیمی) ذکر کردیم 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 **نرم‌آکنه‌ای (پارانشیم)** خاصی به نام **نرم‌آکنهٔ 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.

«شش ریشه‌های درخت حرّا در سطح آب دیده می‌شوند.»

بیشتر بدانید

نکته: برخی درختان بلند چوبی، تک‌لپه‌ای هستند (مثل نخل خرما و نارگیل) ولی این درختان برخلاف دولپه‌ای‌ها، فاقد کامبیوم (بن‌لاد) می‌باشند در حالی که ضخامت ساقه و ریشهٔ زیادی دارند. دقت کنید که افزایش ضخامت در این گیاهان به دلیل ضخیم شدن یاخته‌های حاصل از مریستم (سرلاد) نخستین می‌باشد نه پسین!!!

نکته: گیاهانی که در زمین‌های شور پرنمک زندگی می‌کنند، می‌توانند با جذب **فعال سدیم**، فشار اسمزی خود را از محیط بالاتر ببرند تا آب جذب کنند و سپس نمک اضافی را از سطح برگ دفع کنند. (عمل آن‌ها همانند دفع نمک اضافی در پرندگان و برخی خزندگان از غدد نمکی نزدیک چشم و زبان آن‌هاست!!!)

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 معدنی و آلی را در سراسر بدن خود منتقل می‌کنند و به چه موادی نیاز دارند.**

با اینکه **بیشتر** گیاهان به کمک عمل **فتوسنتز**، **بخشی** از مواد آلی مورد نیاز مانند کربوهیدرات‌ها، 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: برخی گیاهان انگل مثل گل جالیز، **فتوسنتز** نمی‌کنند و مواد آلی مورد نیاز خود را از سایر گیاهان می‌گیرند.

نکته: با توجه به خط کتاب درسی، **آب** و **مواد معدنی** نیز جزئی از مواد مغذی به حساب می‌آیند.

نکات مهم:

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 **فضاهای بین‌یاخته‌ای**، از راه هوایی 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** از طریق **برگ‌ها** یا **ریشه** جذب می‌کند.

۴) سایر مواد مغذی گیاهی **بیشتر** از **طریق خاک** جذب می‌شوند.

۵) برخی از گیاهان انگل مثل **گیاه سس** که در همین فصل می‌خوانیم، چون توانایی فتوسنتز ندارند، مجبورند خیلی از مواد مورد نیاز را از **محیط** بگیرند.

۶) گیاه برای فتوسنتز به **نور خورشید** (به عنوان منبع انرژی)، **آب** (به عنوان 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 روپوست، گازها را جذب می‌کنند ولی در ساقهٔ چوبی **دولپه‌ای‌ها**، 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 ← مهم‌ترین آن‌ها مواد **نیتروژن** و **فسفردار** هستند.
- 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.

بخش آلی خاک

همان **گیاخاک یا هوموس** می‌باشد که به‌طور عمده از **بقایای جانداران** و به ویژه **اجزای** در حال **تجزیهٔ** آن‌ها به وجود آمده است. گیاخاک سبب نرمی یا **اسفنجی** شدن بافت خاک می‌شود و نفوذ ریشه را در خاک، آسان می‌کند.

نکته: برخی از اجزای گیاخاک، که **منشأ** آن‌ها بیشتر از مواد **گیاهی** است، **مواد اسیدی با بار منفی** تولید می‌کنند. این مواد اسیدی باعث نگه داشتن **یون‌های مثبت** در **سطح** گیاخاک می‌شود. این کار گیاخاک مانع از **شست‌وشوی** این یون‌های **مثبت** و **مفید** می‌شود. یون‌های مورد نیازی مثل پتاسیم، کلسیم 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.

نکته: خاک‌های ماسه‌ای و شنی چون ذرات **درشت** با فضای بین ذراتی **زیادی** دارند، هوای زیادی دارند 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 آب 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.

نکته: چون **نیتروژن و فسفر** در ساختار پروتئین‌ها و مولکول‌های وراثتی DNA و RNA وجود 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 ماده 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 محلول! 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 را در گاز کربن دی‌اکسید (CO_2) 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.

انواع جانداران:
- تولیدکننده
  - مواد معدنی را به آلی تبدیل می‌کنند.
  - انواع
    - فتوسنتزکننده
      - گیاهان (به‌جز انگل‌ها)
      - برخی آغازیان
      - برخی باکتری‌ها
    - شیمیوسنتزکننده ← برخی باکتری‌ها
- مصرف‌کننده
  - نمی‌توانند مواد معدنی را به آلی 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. **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.

نکته: یون‌های محلول در آب، مثل آمونیوم و نیترات، در خاک بوده و توسط میکروارگانیسم‌ها (ریزاندامگان‌ها) 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. 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 می‌تواند توسط باکتری‌های **آمونیاک‌ساز** که تجزیه‌کنندهٔ مواد **آلی** هستند، ایجاد شود. دقت کنید که به فعالیت تولید آمونیوم توسط باکتری‌های **آمونیاک‌ساز**، عمل تثبیت نیتروژن نمی‌گویند.

راه‌های تولید محلول آمونیاک یا آمونیوم (NH_4^+) در خاک:

- **۱)** با فرایند تثبیت نیتروژن ⇐ N_2 جو $\rightarrow NH_4^+$ توسط برخی باکتری‌ها:
  - ریزوبیوم **مصرف**کننده
  - سیانوباکتری **فتوسنتز**کننده
- **۲)** توسط باکتری‌های مصرف‌کننده به نام آمونیاک‌ساز ⇐ مواد **آلی** خاک (هوموس) $\rightarrow NH_4^+$

نکته: **بخشی** از نیتروژن تثبیت شده در خاک، حاصل عملکرد **زیستی بعضی** از باکتری‌هاست (مثل ریزوبیوم‌ها و برخی فتوسنتزکننده‌ها).

نکته: باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن هم به صورت **آزاد** در خاک هستند و هم به صورت **همزیست** (میکروبیوم) 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.)

نکته: 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.

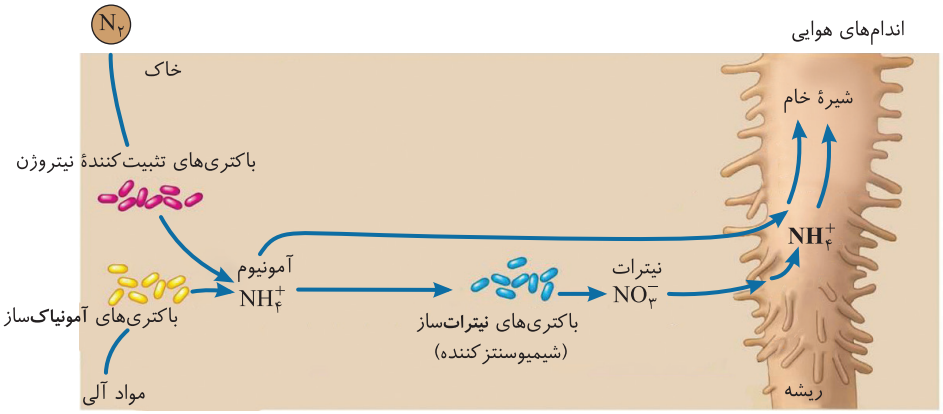
چرخهٔ نیتروژن پس از تولید آمونیوم در خاک

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 از آمونیوم‌ها نیز در خاک و توسط باکتری‌های **شیمیوسنتزکننده به نام نیترات‌سازها** به **نیترات** 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 $(NH_4^+ \leftarrow N_2)$ ← مصرف‌کننده و فتوسنتزکننده هستند.
- **۲)** آمونیاک‌سازها (مواد آلی (هوموس) ← NH_4^+) ← مصرف‌کنندهٔ مواد آلی هستند.
- **۳)** نیترات‌ساز $(NO_3^- \leftarrow NH_4^+)$ ← شیمیوسنتزکنندهٔ مواد آلی هستند.

نکته: امروزه با **مهندسی ژنتیک** در پی آن هستند که **ژن** تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن را از **ریزاندامگان** (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.



«تغییرات مواد نیتروژن‌دار و چگونگی جذب آن‌ها از خاک»

نکته: با توجه به شکل بالا، می‌توان متوجه شد که گیاهان نیتروژن مورد نیاز خود را به صورت ترکیبات معدنی و **اغلب** توسط NO_3^- یا NH_4^+ از خاک می‌گیرند.

نکته: باکتری‌های نیترات‌ساز و آمونیاک‌ساز جزء باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن **نیستند**.

نکته: 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.

نکته: تبدیل آمونیوم به نیترات در **خارج** گیاه و طی اکسیداسیون، توسط باکتری‌های شیمیوسنتزکننده که تولیدکنندهٔ مواد آلی هستند، در غیاب **نور** صورت می‌گیرد ولی تبدیل نیترات به آمونیوم در **ریشهٔ** گیاه و طی فرایند احیا (الکترون‌گیری) توسط آنزیم‌های گیاهی صورت می‌گیرد.

جذب فسفر توسط گیاه

فسفر از عناصر معدنی مورد نیاز گیاه می‌باشد که گیاه از آن در ساخت **ژن**، فسفولیپیدهای غشا، ATP و غیره استفاده می‌کند. گیاهان فسفر را به صورت **یون‌های فسفات** از **خاک** به دست می‌آورند تا کمبود آن رشد گیاه را محدود نکند. 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.

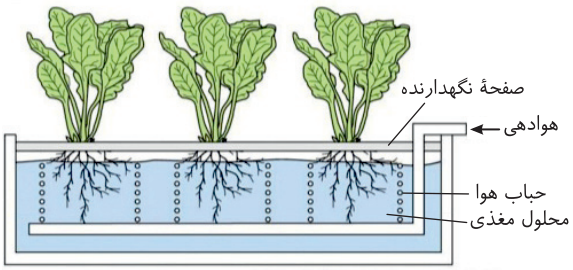
نکته: حتماً به یاد دارید که فسفات در ساختار مهم‌ترین انرژی زیستی یعنی **ATP** وجود دارد و تقریباً هر فعالیت زیستی جاندار به آن محتاج است.

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 دقت کنید که اصلاح خاک هم در اثر زیادی مواد و هم کمبود مواد خاک 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.)

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.

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.

انواع کودها

* کود ماده‌ای با ترکیبات متفاوت می‌باشد که هدف از اضافه کردن آن به خاک، رساندن **مواد معدنی** مورد نیاز به گیاهان است تا گیاه مواد آلی را طی فتوسنتز بسازد. به یاد دارید که خاک از سه نوع مادهٔ آلی (هوموس)، معدنی (شیمیایی) و ریزاندامگان (باکتری‌ها) تشکیل شده است. بر همین اساس نیز سه نوع کود آلی، شیمیایی و بیولوژیک (حاوی باکتری) وجود دارد. هر سه این کودها با هدف تأمین مواد **معدنی** به خاک‌های مختلف افزوده می‌شوند.

الف) کودهای آلی

نکات کودهای آلی:
- شامل **بقایای جانداران** می‌باشند که پس از مرگ در حال **تجزیه شدن** هستند (حاوی **هوموس** خاک می‌باشند).
- این کودها، مواد **معدنی** را به **آهستگی** با تجزیه شدن مواد آلی، آزاد کرده و به خاک وارد می‌کنند.
- چون به نیازهای جانداران شباهت بیشتری دارند، **استفادهٔ زیاد** از حد آن‌ها به گیاهان **آسیب کمتر** می‌زند.
- از معایب آن‌ها این است که این کودها احتمال **آلودگی** به عوامل بیماری‌زا دارند.

نکتهٔ مهم: 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.

ب) کودهای شیمیایی (معدنی)

نکات کودهای شیمیایی:
- از محسنات آن‌ها این است که، شامل **عناصر معدنی** هستند که **به راحتی** در اختیار گیاه قرار می‌گیرند پس **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. 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 رشد **فتوسنتزکننده‌های** آبزی می‌شود. رشد این جانداران در روی آب مانع از نفوذ نور و اکسیژن کافی به قسمت‌های عمق‌تر آب شده و زندگی جانداران آن منطقه را به مخاطره می‌اندازد.

ج) کودهای زیستی (بیولوژیک) ← تنها کودی که حاوی موجود زنده می‌باشد.

نکات 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.
- 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 را در خاک تسریع می‌کنند.

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.

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، کار آن‌ها را مختل می‌کنند.)

۳) برخی گیاهان مانند گیاه گل **ادریسی** می‌توانند **آلومینیوم** را در **بافت‌ها** و **کریچه‌ها (واکوئل‌ها)** ذخیره کنند.

۴) گیاه گل ادریسی، در خاک‌های خنثی و قلیایی **گلبرگ‌های صورتی رنگ** دارد ولی وقتی در خاک‌های **اسیدی پرآلومینیوم** 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 آلومینیوم‌ها را انجام داده که در حقیقت نقش رنگیزه **کریچه** آن‌ها را در pHهای مختلف نشان می‌دهد. خاک اسیدی در 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 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.

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.

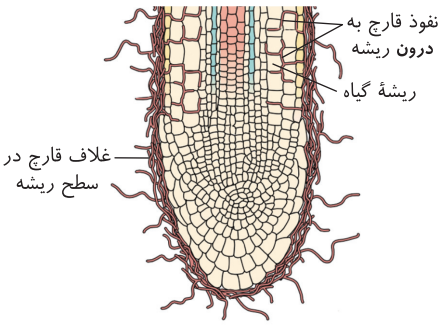
گیاهان **شیوه‌های شگفت‌انگیزی** برای گرفتن مواد مورد نیاز خود از جانداران دیگر دارند که با **برخی** از این جانداران رابطهٔ **همزیستی** برقرار می‌کنند. دو نوع مهم رابطهٔ همزیستی از نوع **همیاری** گیاهان به صورت قارچ ریشه‌ای **(میکوریزا)** و یا با باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن می‌باشند. در همیاری دو گونهٔ مختلف به هم **سود** می‌رسانند و هیچ طرفی در رابطه دچار آسیب نمی‌شود.

نکته: گیاهان به دلیل اینکه برای فتوسنتز محتاج به **آب** و برای زندگی محتاج مواد **معدنی** از خاک می‌باشند، آماده زندگی همزیستی با جانداران **خاکزی** می‌باشند. در این همیاری گیاه مواد **آلی** و نیتروژن‌دار را برای جاندار دیگر فراهم می‌کند، در عوض جاندار دیگر شیرهٔ **خام** مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند.

انواع روابط بین جانداران یک بوم‌سازگان:
- همزیستی
  - همسفرگی: یکی سود می‌برد، دیگری نه سود و نه زیان!
  - همیاری: هر دو سود می‌برند.
- انگلی: انگل سود و میزبان زیان می‌بینند.
- شکار و شکارچی (صیادی) ← شکارچی سود می‌برد و شکار از بین می‌رود.
- رقابت ← در صورت منابع مشترک و محدود رخ می‌دهد.

الف) همزیستی قارچ ریشه‌ای (میکوریزا)

قارچ ریشه‌ای، همزیستی بین **ریشهٔ** گیاهان با **انواعی از قارچ‌ها** می‌باشد. این همزیستی از نوع همیاری است که هر دو طرف در این رابطه **سود** می‌برند. در طبیعت قارچ ریشه‌ای یکی از معمول‌ترین سازگاری‌های حدود ۹۰ درصد **گیاهان دانه‌دار** با قارچ‌ها می‌باشد.



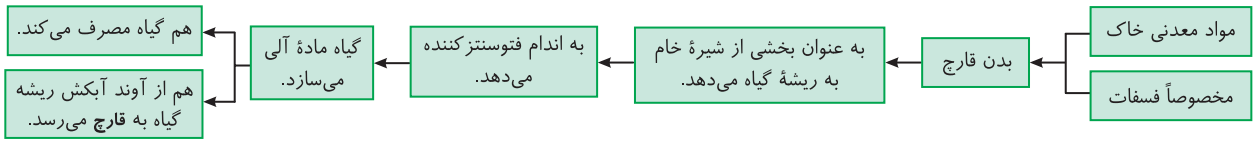
نکته: در این رابطه، قارچ‌ها می‌توانند یا به **درون ریشه نفوذ کرده باشند** و یا به صورت **غلافی** علاوه بر اینکه در **سطح** بیرونی ریشه زندگی می‌کنند، رشته‌های ظریفی نیز از بدن خود به درون ریشهٔ گیاه وارد کنند و به تبادل مواد با گیاه بپردازند.

نکته: در هر نوع قارچ ریشه‌ای، انشعابات بدن قارچ به **درون** ریشه گیاه نفوذ می‌کند ولی در برخی از قارچ ریشه‌ای‌ها، قارچ دور سطح گیاه نیز قرار می‌گیرد.

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 جذب شود و در نتیجه قارچ مواد معدنی بیشتری 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 درون **شیرهٔ پرورده** آوند **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.)

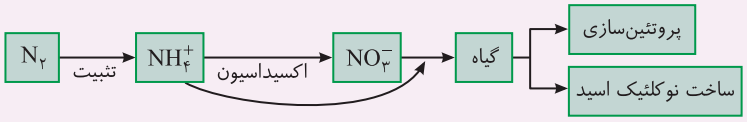
خلاصه همیاری قارچ ریشه‌ای



ب) همزیستی گیاه با باکتری‌های تثبیت‌کننده‌های 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، نخود، عدس، شبدر و لوبیا از گیاهان مهم **زراعی** پروانه‌واران هستند) صورت می‌گیرد. در این همزیستی که همانند قارچ ریشه‌ای از نوع همیاری است، هم گیاه و هم باکتری هر دو سود می‌برند، 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 آن‌ها استفاده می‌کند و با ساخت مواد آلی که طی فتوسنتز رخ می‌دهد، به باکتری نیز مواد آلی تأمین‌کنندهٔ انرژی را می‌رسانند.

چون این گیاهان اغلب **یک** سال زندگی می‌کنند، هنگامی که می‌میرند یا بخش‌های **هوایی** آن‌ها برداشت می‌شوند، گرهک‌های پر ریزوبیوم آن‌ها در خاک می‌مانند و تا مدت‌ها خاک را غنی از نیتروژن کرده و نیتروژن آن‌ها در بقایای گیاهی یا **گیاخاک (هوموس)** شرکت دارد. این حالت سبب امکان رشد سایر گیاهان نیز در سال‌های بعد در این خاک می‌شود.

نکته: ریزوبیوم‌ها انواعی از باکتری‌های **خاکزی** مصرف‌کننده مواد آلی (هتروتروف) هستند که توانایی ساخت مواد آلی را از مواد معدنی ندارند ولی توانایی تثبیت نیتروژن را دارند.

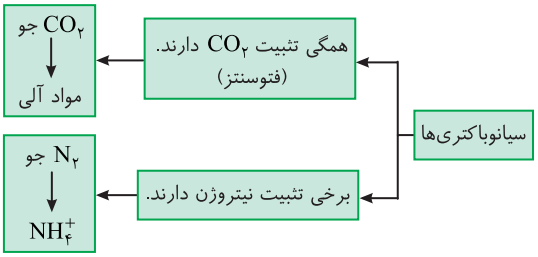
نکته: از سال‌های قدیم برای **تقویت خاک**، **تناوب کشت** گیاهان انجام می‌شد به صورتی که گیاهان **زراعی مختلف** را پی‌درپی می‌کاشتند. به همین دلیل کشاورزان هر چند سالی که محصول اصلی خود را می‌کاشتند و برداشت می‌کردند، یک سال نیز گیاهان تیرهٔ پروانه‌واران را کشت می‌دادند. همزیستی این گیاهان با ریزوبیوم‌ها 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.

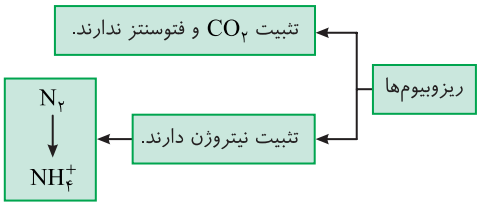
نکته: به دلیل شباهت **گل‌های** گیاهان تیرهٔ پروانه‌واران به پروانه، آن‌ها را به نام تیرهٔ پروانه‌واران، نام‌گذاری کرده‌اند. (نخود، لوبیا، شبدر، عدس، سویا، یونجه)

● 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 و قدرت تثبیت CO_2، توانایی تثبیت نیتروژن و تبدیل N_2 جو به آمونیوم (NH_4^+) را نیز دارند.

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. این گروه از قدیمی‌ترین فتوسنتزکنندگان طبیعت هستند.





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

آزولا که گیاه **کوچک** آبزی در تالاب‌های شمال ایران و مزارع **برنج** می‌باشد، با سیانوباکتری‌ها همزیستی (از نوع همیاری) 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.

همزیستی گونرا

بعضی از گیاهان مانند **گونرا** می‌توانند در **نواحی فقیر از نیتروژن** رشد شگفت‌انگیزی داشته باشند. دلیل این رشد، همزیستی با سیانوباکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن درون حفره‌های **کوچک شاخه**، **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 **غیر**حاصل‌خیز، همزیستی آن‌ها با سیانوباکتری‌ها و تثبیت نیتروژن توسط این باکتری‌هاست.

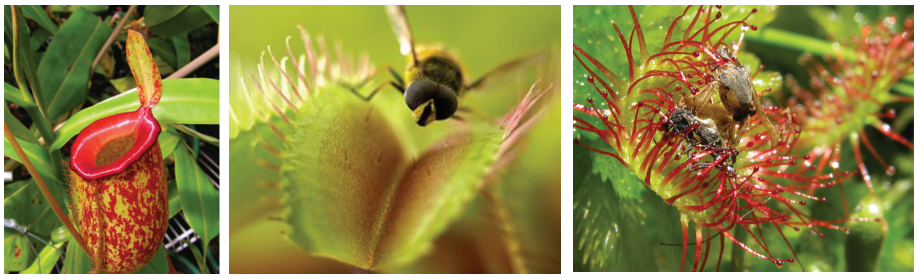
نکته: ریزوبیوم با **ریشهٔ** گیاهان همیاری می‌کند ولی سیانوباکتری با بخش‌های **هوایی و** فتوسنتزکنندهٔ گیاه همیاری می‌کند.

گیاهان گوشت‌خوار (زندگی صیادی)

برخی از گیاهان با اینکه فتوسنتزکننده‌اند و مواد آلی مورد نیاز خود را 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.

در این گیاهان (مثل **توبره‌واش** در تالاب‌های شمال کشور) **برخی برگ‌ها** 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 درون بخش **کوزه**مانند می‌کشاند و سپس آن‌ها را **گوارش** می‌دهد. این گیاهان قدرت ترشح آنزیم‌های گوارشی دارند.

«توبره‌واش»


«چند نوع گیاه حشره‌خوار»

گیاهان انگل

تنها گیاهانی هستند که **برخی** از آن‌ها **فتوسنتز نمی‌کنند**. انواعی از گیاهان **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.**

نکته: گیاه سس **ساقهٔ** نارنجی یا زردرنگ دارد و فاقد **ریشه** می‌باشد. این گیاه، انگل و غیرفتوسنتزکننده می‌باشد و به دور گیاه **سبز** میزبان می‌پیچد. گیاه سس، **بخش‌های 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.

نکته: 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.

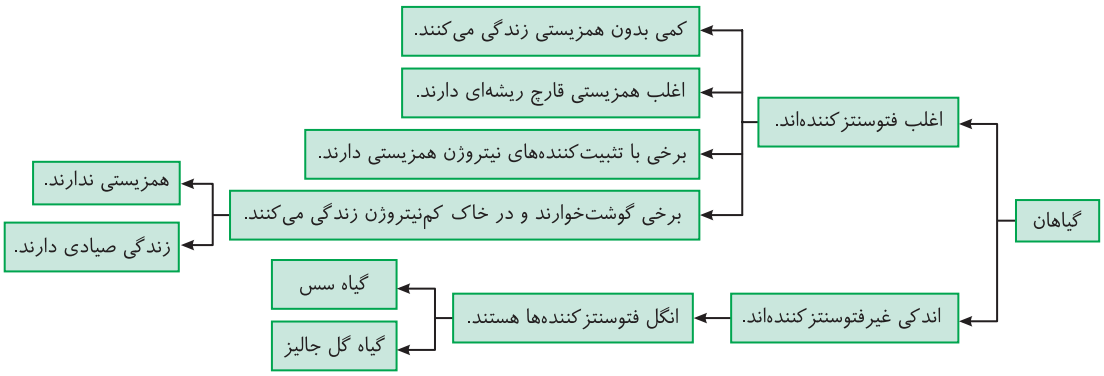
«گیاه انگل سس»

نکته: **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.

نکته: 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.

نکته: 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.

«رابطه انگلی گیاه گل جالیز با بوتهٔ گوجه‌فرنگی»



خلاصه روابط گیاهان و جانداران کتاب

رابطه	نوع رابطه	نوع و قسمت گیاه	طرف دوم رابطه	نکته خاص
قارچ ریشه‌ای (میکوریزا)	همزیستی همیاری	**ریشه** گیاه آوندی	انواع مختلف قارچ‌ها	بیشترین همزیستی در گیاهان **دانه‌دار** می‌باشد. بیشتر برای گرفتن **فسفات** است.
ریزوبیوم - گیاه	همزیستی همیاری	**ریشه** گیاه زراعی	باکتری مصرف‌کننده ریزوبیوم	برای تقویت خاک و تناوب کشت و جذب **نیتروژن** بیشتر می‌باشد.
سیانوباکتری - آزولا	همزیستی همیاری	گیاه آبزی **کوچک** آزولا	باکتری فتوسنتزکننده (سیانوباکتری)	سبب **کاهش** ورود نور و O_2 به آب شده است.
سیانوباکتری - گونرا	همزیستی همیاری	ساقه، شاخه و دمبرگ **گونرا**	باکتری فتوسنتزکننده (سیانوباکتری)	در نواحی فقیر از نظر **نیتروژن** می‌باشد.
گیاه گوشت‌خوار - حشرات	صیادی - شکارچی	برگ گیاهان	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.

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** و به صورت شیرهٔ خام 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.

تعرق و راه‌های مختلف انتقال آب و مواد معدنی

خروج آب از سطح اندام‌های **هوایی** گیاه صورت می‌گیرد که سازوکار لازم برای جابه‌جایی آب و مواد معدنی 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 **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)

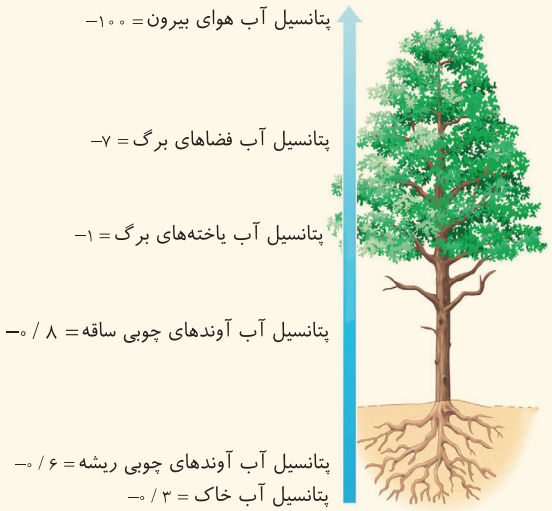
نکته: در هر دو مسیر کوتاه و بلند برای انتقال مواد در گیاه، **آب** به عنوان انتقال دهندهٔ مواد، نقش اساسی داشته که **ویژگی پتانسیل آب** در انتقال از محیط دارای محلول رقیق‌تر به غلیظ‌تر، باعث این نقش می‌شود.

پتانسیل آب

پتانسیل آب، در حقیقت بیانگر مقدار **مواد حل شده** در آب می‌باشد. مثلاً پتانسیل آب خالص که از همه **بالاتر** است را صفر در نظر می‌گیریم. آب خالص از هر محلول دیگری پتانسیل بالاتری دارد، چون موادی در آن حل نشده است. هر محلولی که پتانسیل آب **بیشتری** دارد، یعنی مقدار مادهٔ حل شده در آن **کمتر** است یا نسبت مواد محلول به آب آن کمتر می‌باشد. دقت کنید که این پتانسیل، سبب یک انرژی ذخیره‌ای برای انتقال مواد در محیط می‌شود. پتانسیل آب، **عامل اصلی** در حرکت آب می‌باشد. آب همواره طی فرایند **اسمز** از محیطی که پتانسیل آب بیشتری دارد به محیطی که پتانسیل آب کمتری دارد، منتقل می‌شود. دقت کنید که آب با اسمز و املاح درون آن با **انتشار** در محیط منتقل می‌شوند.

نکته: آب دارای انرژی پتانسیل است و همواره از محل دارای انرژی پتانسیل **بالاتر** به محل دارای انرژی پتانسیل **پایین‌تر** حرکت می‌کند. پس **پتانسیل آب**، تعیین‌کنندهٔ **جهت حرکت آب** و **مواد حل شده** در آن است.

نکته: پتانسیل آب به صورت **عدد مثبت** اصلاً وجود ندارد. بیشترین پتانسیل آب مربوط به آب خالص با پتانسیل **صفر** می‌باشد. هرچه در آب خالص، مواد حل شدهٔ بیشتری وارد کنیم و آن را **غلیظ‌تر** کنیم، پتانسیل آب آن محلول **منفی‌تر** می‌شود ولی در نتیجه این عمل، فشار اسمزی و قدرت آبگیری آن محلول **بیشتر** می‌شود. به‌طور معمول در خاک‌های حاصلخیز پتانسیل آب درون **حفرات خاک** از همه بیشتر بوده و سبب ورود آب به درون ریشهٔ گیاه می‌شود. در گیاه به تدریج که از ریشه به سمت برگ برویم، پتانسیل آب **کمتر** شده و به همین دلیل آب از اندام‌های تحتانی به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود. کمترین پتانسیل آب مربوط به **هوای اتمسفر بیرون** گیاه می‌باشد که سبب خروج بخار آب از راه **تعرق** از اندام‌های هوایی گیاه می‌شود.



«اندازه‌های تقریبی پتانسیل آب در درخت و محیط اطراف آن»

نکته: مقایسهٔ پتانسیل آب در قسمت‌های مختلف:

پتانسیل آب خاک> آوند چوبی ریشه> آوند چوبی ساقه> یاخته‌های برگ> فضاهای بین‌یاخته‌ای برگ> پتانسیل آب هوای بیرون

محیط رقیق‌تر یعنی:
محیط دارای پتانسیل آب **بالاتر**
محیط با فشار اسمزی **کمتر**
محیط دارای نسبت آب **بیشتر**

جهت حرکت آب ←

محیط غلیظ‌تر یعنی:
محیط دارای پتانسیل آب **کمتر**
محیط با فشار اسمزی **بالاتر**
محیط دارای نسبت آب **کمتر**

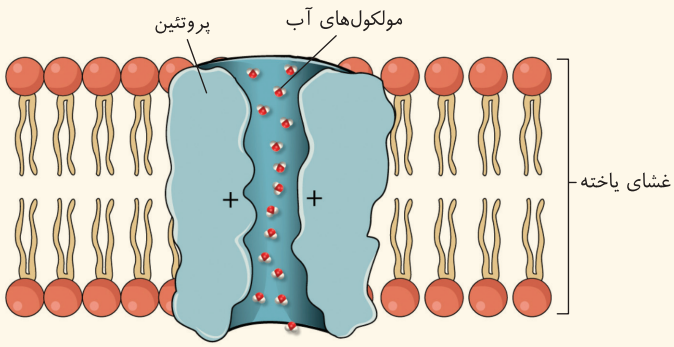
جابه‌جایی مواد در مسیر کوتاه

این مسیر در گیاهان شامل دو قسمت می‌شود:
۱) انتقال مواد در سطح یاخته‌ای (یاخته به یاخته)
۲) انتقال مواد در عرض ریشه (به اندازه چند یاخته)

۱) انتقال مواد در سطح یاخته‌ای

این حالت به بررسی و جابه‌جایی مواد در سطح **غشای** یاخته یا غشای **کریچه (واکوئل)** آن می‌پردازد که مانند قبل (انتقال مواد در فصل ۲)، مواد برحسب **انتشار (غیرفعال) یا انتقال فعال** و در حد تبادل یاخته‌ای منتقل می‌شود. در این روش انتقالی، مواد از غشای یاخته و از درون یاخته عبور می‌کنـد و **تفـاوت غلظت** دو یاخته نقش مهم در جابه‌جایی مواد دارد. دقت کنید که عبور آب از راه فضای **بین‌یاخته‌ای** و بدون عبور از غشـای یاخته‌ها در مسیر انتقال مواد در سطح یاخته نقشی ندارد.

نکته: در غشای یاخته‌های **جانوری** و **گیاهی** و در غشای واکوئل (کریچـه) **برخی** یاخته‌های **گیاهـان**، کانال‌های **پروتئینی و فاقد** دریچه‌ای **(به نام آکواپورین)** وجود دارد که سرعت جریان آب را بین **یاخته‌ها و کریچه‌ها** زیاد می‌کند. در هنگام **کم‌آبی**، ساخت این پروتئین‌های سرتاسـری در عرض غشـا **تشـدید** می‌شود. (در اثر هورمون **آبسیزیک‌اسـید** در مناطق خشـک ساخت این پروتئین‌های غشـایی زیاد می‌شـوند. (زیسـت یازدهـم)). این پروتئین‌ها در لابه‌لای **فسفولیپیدها** واقع شده‌اند و به بخش‌های آب‌دوست و آب‌گریز آن‌ها متصل هستند.



«پروتئین تسهیل‌کننده عبور آب در غشا»

نکته: انتقال املاح شیرهٔ خام از راه **کانال پروتئینی آب**، نوعی انتشار **تسهیل شده** می‌باشد که در جهت پتانسیل آب و شیب غلظت مواد می‌باشد ولی انتقال آب شـیرهٔ خام در این مسـیر، نمونه‌ای از **اسـمز** از راه این کانال‌ها می‌باشـد. به یاد دارید که **آب** از هر مسـیر فسفولیپیدی یا منافذ پروتئینی غشا امکان عبور دارد.

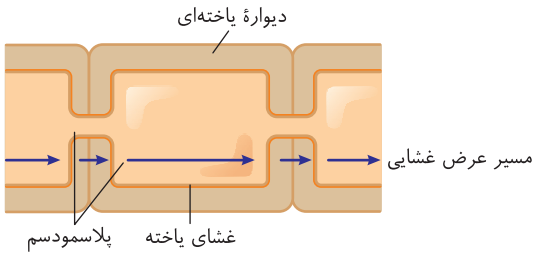
۲) انتقال مواد در عرض ریشه

در عرض ریشـه، آب و مواد محلول معدنی باید به ترتیب از **روپوسـت** (اغلب از تارهای کشـنده)، **پوسـت** (بافت زمینه‌ای) و لایهٔ **ریشـه‌زا** که خارجی‌ترین بخش اسـتوانهٔ مرکزی اسـت، بگذرند تا به آوندهای **چوبی** برسند. همان‌طور که ذکر کردیم بر طبق قانون انرژی، آب از منطقه‌ای که پتانسـیل آب بیشـتری دارد (خاک) تا آوند چوبی ریشـه باید منتقل شـود. برای انتقال آب در عرض ریشه، سه روش انتقال از **عرض غشا**، **انتقال سیمپلاستی** و **انتقال آپوپلاستی** (دیواره‌ای) وجود دارد که در ادامه به بررسی این مسیرها می‌پردازیم.

توجه: انتقال مواد در عرض ریشه 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 مسـیر، آب و املاح طبق قانون اسـمز و انتشـار، **بدون** اینکه از **کانال‌های پلاسمودسمی** عبور کنند، فقط از طریق **غشای** دو یاخته (فضای بین فسفولیپیدهای کانال‌هـای مخصوص آب) و کمی نیز در ادامه از **دیواره** منتقل می‌شـوند. بعد از رسیدن به سیتوپلاسم یاختهٔ مجاور باز هم از طریق غشای یاخته‌ها و بدون عبور از پلاسمودسم‌ها عبور کرده تا به یاختهٔ کناری و در نهایت به آوند چوبی ریشه برسند.

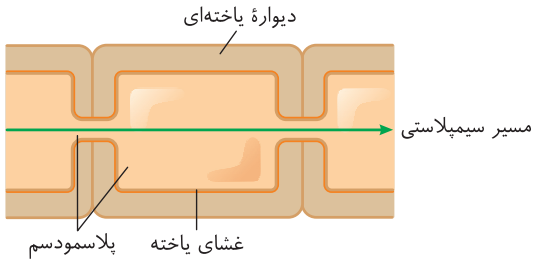


نکته: در این روش آب هم از غشـای یاخته‌ها و هم از فضای بین رشـته‌های سـلولزی دیواره عبور می‌کند ولی از کانال‌های پلاسمودسمی عبور نمی‌کند. (این راه برای انتقال شیرهٔ خام، کمتر از سایر موارد استفاده می‌شود.)

نکته: همان‌طور که در فصل قبل آموختید، دیوارهٔ **چوبی** یا **چوب‌پنبه‌ای** به آب نفوذناپذیر اسـت. پس روش‌هایی که آب در حین عبور باید از دیواره نیز رد شود، در این بافت‌ها به بن‌بست برخورد می‌کند.

ب) انتقال سیمپلاستی (سیمپلاست = پروتوپلاست + منافذ پلاسمودسمی)

در این مسـیر، مواد برحسب پتانسیل آب و نیروی اسمز و انتشار، از پروتوپلاست یک یاخته و از طریق **کانال‌هایی به نام پلاسمودسـم** به پروتوپلاسـت یاختهٔ مجاور می‌رسـد. به دلیل اینکه منافذ و کانال‌های پلاسمودسـم **بزرگ** هسـتند، علاوه بر آب و بسیاری از مواد محلول، مواد بزرگی مثل پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها و حتی **ویروس‌های** گیاهی نیز می‌توانند از پلاسمودسم‌ها و مسیر سیمپلاستی عبور کنند. در عرض ریشـه، **بیشترین** راه انتقال مواد، از مسیر سیمپلاستی می‌باشد. در این روش آب به همراه مواد آلی و معدنی عبور می‌کند ولی از دیوارهٔ یاخته‌ای رد نمی‌شـود. ویژگی ممتاز این مسیر عدم عبور مواد از دیوارهٔ یاخته‌ای می‌باشد به همین دلیل در هر یاختهٔ زنده با هر نوع دیواره این مسیر بدون مشکل انجام می‌شود.

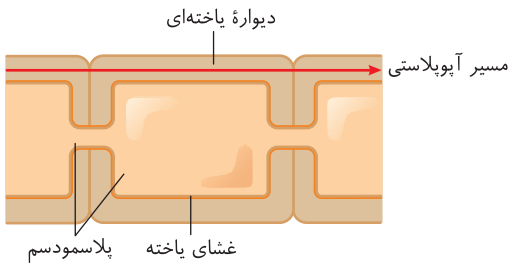


ج) انتقال از مسیر آپوپلاستی

در این مسیر، مواد محلول به همراه آب، طبق پیوند **هیدروژنی** مولکول‌های آب یا همان قانون **هم‌چسبی** از **فضاهای بین‌یاخته‌ای** و نیز از **دیوارهٔ** یاخته‌ها و فضای بین رشته‌های **سلولزی** عبور می‌کنند.

نکته: در مسـیر آپوپلاستی برخلاف سیمپلاستی و عرض غشایی، هیچ‌گاه مواد از درون یاخته یا غشـای یاخته عبور نمی‌کنند. این مسـیر **همانند** مسیر عرض غشایی در عبور از دیواره‌های چوبی یا چوب‌پنبه‌ای ناتوان می‌باشد.

نکته: مسـیر آپوپلاستی نوعی عبور آب و املاح از راه غیرپروتوپلاستی است ولی در دو مسیر سیمپلاستی و عرض غشایی، آب و املاح قطعاً از درون یاخته عبور می‌کنند.



انتقال شیرهٔ خام در:
- مسیر آپوپلاستی ← فقط از **دیواره** صورت می‌گیرد. ← مسیر **غیر**پروتوپلاستی است.
- مسیر سیمپلاستی ← فقط از درون پروتوپلاست و از طریق **پلاسمودسم‌ها** صورت می‌گیرد (همراه با مواد آلی).
- مسیر عرض غشایی ← از عرض غشا، کانال‌های **مخصوص آب**، درون یاخته و کمی از **دیواره** صورت می‌گیرد.

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 **استوانهٔ مرکزی** دیده می‌شـود. به درونی‌ترین لایه پوسـت، **آندودرم** و به لایهٔ خارجی اسـتوانه مرکزی، **لایهٔ ریشـه‌زا** گفته می‌شود. در عرض ریشه، آب و مواد محلول از همه جای یاخته و ترکیبات غشا یا دیواره آن می‌توانند عبور کنند. فقط اگر قسمتی **چوب‌پنبه‌ای (نوعی لیپیدی)** یا **لیگنینی (چوبی)**باشد، نسبت به عبور آب و مواد محلول نفوذناپذیر می‌شود.

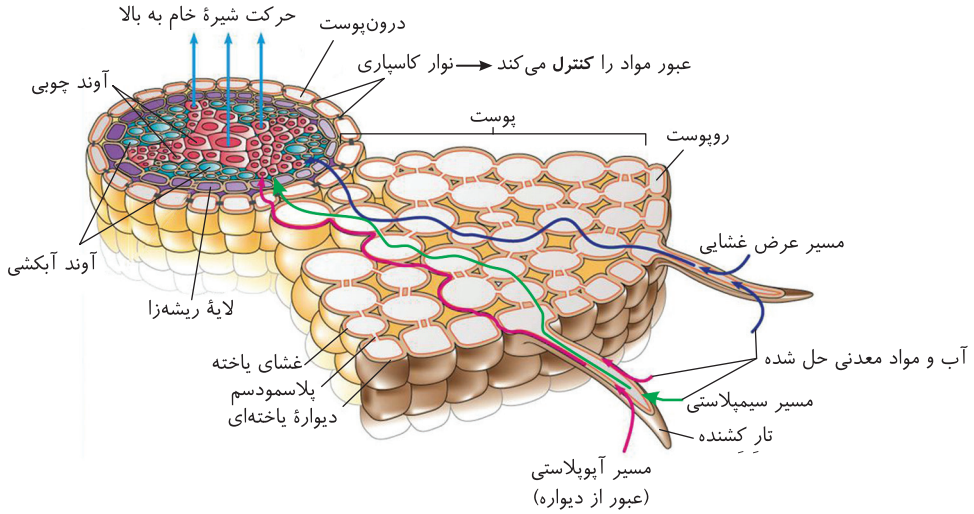
در عرض ریشه‌های **جوان**، عبور آب و مواد محلول، از روپوست تا به **درونی‌ترین** لایهٔ پوست یعنی آندودرم یا درون‌پوست، همواره بدون مشکل و از هر سـه مسـیر **آپوپلاستی**، **سیمپلاسـتی** و **عرض غشـایی** صورت می‌گیرد. لایهٔ درون‌پوست که داخلی‌ترین لایهٔ **پوسـت** می‌باشد، به صورت **استوانه‌ای ظریف** از یاخته‌هایی که کاملاً به هم چسبیده‌اند، به وجود آمده است که سدی در مقابل عبور آب و املاح ایجاد می‌کند.

علاوه بر فضای بین‌یاخته‌ای **بسیار کم** درون‌پوست، هر یاختهٔ درون‌پوستی در **چهار دیوارهٔ جانبی خود** (همهٔ سطوح به‌جز سطوحی که به سمت پوست و استوانهٔ مرکزی 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 به یاخته‌های **لایهٔ درون‌پوست**، فقط از **درون** یاخته‌های آندودرمی و از **راه سیمپلاستی** توسط کانال‌های **پلاسمودسمی** مقدور می‌باشد. 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 می‌باشد ولی ورود آب و املاح به درون **آندودرم** ریشهٔ گیاهان، به دلیل وجود نوار کاسپاری، **فقط از راه سیمپلاستی** مقدور می‌باشد.

بعد از اینکه آب و املاح فقط از راه **سیمپلاستی وارد لایهٔ درون‌پوست شدند**، شیرهٔ خام می‌تواند دوباره از هر سه مسیر **آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی** به **لایهٔ ریشه‌زا** (پریسیکل) یعنی به خارجی‌ترین بخش **استوانهٔ مرکزی** و سپس به آوندهای چوبی ریشه منتقل شود که به این فرایند، **بارگیری چوبی** می‌گویند. این مواد وارد آوندهای چوبی ریشه شده و به سمت مسیرهای **طولانی‌تر** صعودی در گیاه، حرکت می‌کنند.

توجه: یاخته‌های درون‌پوست **دو نقش مهم دارند، یکی انتقال مواد به استوانهٔ مرکزی را کنترل می‌کنند**، یعنی این لایه (آندودرم) در ریشه مانند یک صافی یا فیلتر می‌باشد تا مواد ناخواسته و مضر از **مسیر آپوپلاستی** و بدون بررسی شدن مواد آن‌ها در درون یاخته آندودرمی، به درون استوانهٔ مرکزی گیاه و آوندها منتقل نشود و دیگر اینکه از **بازگشت مواد جذب شده به بیرون از ریشه** جلوگیری می‌کنند، یعنی از برگشت مواد از استوانهٔ مرکزی به **پوست** جلوگیری می‌کنند.

بارگیری چوبی: انتقال آب و املاح معدنی به درون آوند چوبی ریشه می‌باشد که به مادهٔ درون آوند چوبی، شیرهٔ خام گفته می‌شود. برای این عمل سه روش آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی کمک می‌کنند.

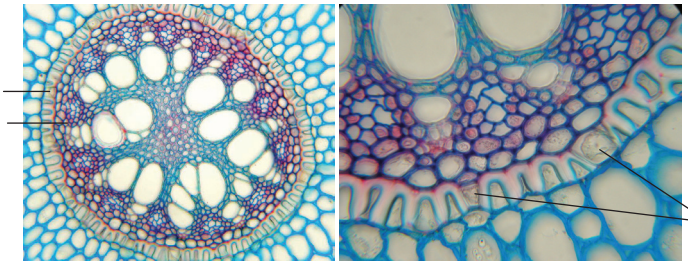


نکته: نوارکاسپاری، مانع ادامهٔ انتقال شیرهٔ خام از راه غیر پروتوپلاستی در مسیر کامل آپوپلاستی (از راه دیواره‌ای) به درون یاخته‌های آندودرم ریشه می‌شود ولی راه سیمپلاستی (سیتوپلاسمی) هیچ‌گاه به مشکل نمی‌خورد. دقت کنید که اگر عبور مواد فقط از عرض غشا و سیتوپلاسم صورت بگیرد، منظور مسیر عرض غشایی است و کتاب 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** می‌شود.

یاخته‌های معبر

در ریشهٔ **برخی** گیاهان، 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 **استوانهٔ مرکزی** و لایهٔ ریشه‌زا می‌باشد نیز نوار کاسپاری وجود دارد که اگر در زیر میکروسکوپ **نوری** به این یاخته‌ها نگاه کنیم، یک حالت **نعل اسبی U شکل** در دیوارهٔ این یاخته دیده می‌شود. این نوار کاسپاری نعل اسبی، مانع انتقال مواد **از هر سه نوع راه عبور**، از آندودرم (پوست) به استوانهٔ مرکزی گیاه می‌شود. در این گیاهان **بعضی یاخته‌های درون‌پوستی** 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 **سیمپلاستی** انجام می‌شود ولی در یاخته‌های U مانند، این مواد در یاخته جمع شده و امکان انتقال به استوانهٔ مرکزی ندارند. به همین دلیل این مواد، باید دوباره از طریق پوست به یاخته‌های آندودرمی کناری منتقل شوند تا در نهایت به نزدیک‌ترین یاختهٔ **معبر** برای عبور از آندودرم و ورود به استوانهٔ مرکزی برسند.



«یاخته‌های معبر در درون‌پوست»

یاخته	محل	تعداد سطوح کاسپاری‌دار	راه عبور شیرهٔ خام به درون یاختهٔ آندودرمی
آندودرمی کاسپاری‌دار	ریشه فاقد یاختهٔ معبر	۴	فقط مسیر **سیمپلاستی**
معبر	**آندودرم** ریشه معبردار	۰	آپوپلاستی - سیمپلاستی - عرض غشایی
یاخته U شکل	آندودرم ریشه معبردار	۵	آب و املاح از راه **سیمپلاستی** وارد آندودرم می‌شوند ولی برای وارد شدن به لایهٔ ریشه‌زا باید از یاخته‌های کاسپاری‌دار Uشکل خارج شوند تا به یاختهٔ معبر در آندودرم برسند وگرنه از یاختهٔ U شکل نمی‌توانند به استوانهٔ مرکزی منتقل شوند.

خب تا اینجا متوجه شـــدید که آب و املاح چگونه در عرض ریشـــه حرکت کرده تا به آوند چوبی برسند. در آوند چوبی به 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 بسیار به **کندی** صورت می‌گیرند. از طرفی دقت کنید که یاخته‌های آوند چوبی در حالت بلوغ **چوبی** شده و **مرده** هستند. دیوارهٔ لیگنینی آن‌ها به آب نفوذناپذیر است و شیرهٔ خام از آن‌ها عبور نمی‌کند. از طرفی پروتوپلاست 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 **بدون دیوارهٔ عرضی به صورت جریان توده‌ای** انجام می‌شود. در ادامه به بررسی این مسیر می‌پردازیم.

جریان توده‌ای

حرکت **گروهی مواد** در آوندهای **چوبی و آبکش** گیاهان می‌باشـــد که در مســـیر 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 ← فقط **چند میلی‌متر در روز** است.
- در جریان توده‌ای ← **چند متر در روز** است.

عوامل مؤثر در صعود شیرهٔ خام گیاه
- عوامل مؤثر در انتقال مواد به صورت جریان توده‌ای در آوند چوبی گیاهان در مسیر بلند
  - عوامل کششی (مکشی) آب از **بالای** گیاه
    - تعرق ← خروج آب به صورت **بخار**
    - تعریق ← خروج آب به صورت **مایع**
  - عوامل فشاری از **پایین** گیاه ← فشار ریشه‌ای
  - خواص ویژهٔ آب
    - هم‌چسبی (پیوند **هیدروژنی** مولکول‌های آب)
    - دگرچسبی (چسبندگی آب با 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

بررسی فشار ریشه‌ای (رانده شدن آب از پایین)

«آزمایشی برای اندازه‌گیری فشار ریشه‌ای»

در شکل مقابل، مشاهده می‌کنید که در ابتدا ساقهٔ 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 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.

* 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 (درون‌پوستی) می‌رسند ولی از درون‌پوست تا آوند چوبی، مکانیسم انتقال مواد محلول با انتشار نمی‌باشد. در این حالت **یاخته‌های درون‌پوستی و یاخته‌های زندهٔ درون استوانهٔ مرکزی** ریشه مثل **لایهٔ ریشه‌زا (پریسیکل)**، **ابتدا** با **انتقال فعال** یون‌های معدنی را به درون آوندهای چوبی منتقل می‌کنند و با این کار غلظت محلول درون آوند چوبی را زیاد می‌کنند و در نتیجه فشار اسمزی آن نیز **بالا** می‌رود (یعنی پتانسیل آب آن **کم** می‌شود). در این حالت آوند چوبی دارای فشار اسمزی بالا، تمایل زیادی به جذب آب (اسمز) از یاخته‌های زندهٔ استوانهٔ مرکزی و درون‌پوست پیدا می‌کند و از آن‌ها با 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.

نکتهٔ مهم: در **اغلب گیاهان**، فشار ریشه‌ای در صعود شیرهٔ 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.

نکتهٔ مهم: 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.

ترتیب ایجاد فشار ریشه‌ای
۱) انتقال یون‌ها به صورت فعال از آندودرم و لایهٔ ریشه‌زا به آوند چوبی ریشه
۲) افزایش فشار اسمزی در آوند چوبی ریشه و کاهش پتانسیل 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** تشکیل می‌دهند، این ویژگی در **پیوستگی** مولکول‌های آب در **وسط** 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 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.

نکته خارج از کتاب: وجود **حباب‌های هوا** در طول آوند چوبی می‌تواند در پیوستگی مولکول‌های آب و نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی آن‌ها اختلال ایجاد کند.

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 پتانسیل آب در اندام‌های هوایی، نیروی مکش آب به سمت اندام‌های بالاتر بیشتر می‌شود. در تعرق نیز ویژگی **پتانسیل آب** مهم‌ترین عامل در بروز این پدیده می‌باشد.
❊ **علت تعرق**، حرکت آب در گیاه از محل دارای پتانسیل آب بیشتر (رقیق‌تر) به سمت محل دارای پتانسیل 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 یا پتانسیل آب کمتری دارد و شدت تعرق یا خروج آب از گیاه بیشتر می‌شود. در حالت عادی نیز پتانسیل 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 پتانسیل آب زیاد است و مقدار تعرق **کم** می‌شود.

نکتهٔ مهم: نیروی مکش تعرق گیاه آن‌قدر زیاد است که در یک روز **گرم** می‌تواند سبب کاهش قطر تنهٔ یک درخت شود. البته این عمل به دلیل **استحکام آوندهای چوبی** بسیار اندک می‌باشد و **اگر دیوارهٔ آوند چوبی استحکام نداشت**، در اثر **مکش تعرقی**، به راحتی لِه می‌شد.

● محل انجام عمل تعرق

تعرق از قسمت‌های **سطحی** اندام‌های **هوایی** گیاه صورت می‌گیرد که **اغلب** از **منفذ بین یاخته‌های نگهبان روپوستی** (روزنه‌های هوایی برگ‌ها و کمی در ساقه‌های جوان) و کمی نیز از **پوستک** صورت می‌گیرد.

نکته: از **عدسک‌ها** که در لابه‌لای چوب‌پنبهٔ **پریدرم** سطحی گیاهان چوبی چندساله **دولپه‌ای** وجود دارند نیز **تعرق کمی** صورت می‌گیرد.

بررسی کلی مکش شیرهٔ خام از بخش‌های بالایی گیاه

در این قسمت می‌خواهیم از بالایی‌ترین اندام گیاه، قدرت آب‌گیری را بر اساس پتانسیل 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 پتانسیل 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 برگ‌ها که به فضای بین یاخته‌های میانبرگ متصلند، به محیطی که رطوبت زیاد نداشته باشد و پتانسیل 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 **میانبرگی** شده تا آب وارد فضای بین‌یاخته‌ای شود. در حقیقت آب از دست رفته مرحله قبل را جبران می‌کند.

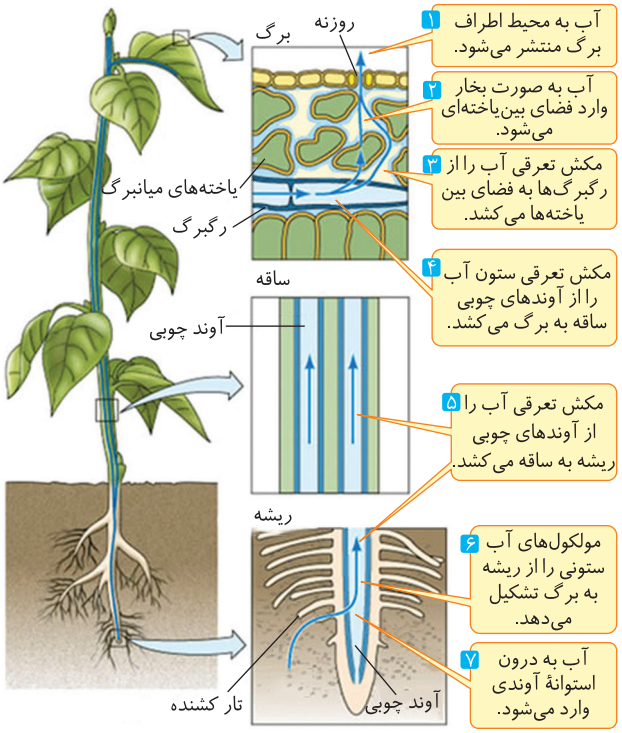
۳) یاخته‌های میانبرگی که آب از دست داده‌اند، آب را از رگبرگ‌ها که همان **آوندهای** درون برگ هستند می‌گیرند. (انتقال آب از آوند به یاختهٔ میانبرگی از راه **فضای** بین‌یاخته‌ای صورت می‌گیرد.)

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 آبِ 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 استوانهٔ مرکزی و آوند چوبی ریشه برسد.



«حرکت شیرهٔ خام، تحت تأثیر مکش تعرقی و پتانسیل آب»

نکته: 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 ↓

نکته: همهٔ اتفاقات جریان آب در گیاه در اثر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب و اختلاف پتانسیل آب ایجاد می‌شود که سبب ایجاد یک جریان پیوسته آب از ریشه تا برگ می‌شود.

نکته: 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 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 خیلی زیاد افزایش یابند، روزنه‌های هوایی را مسدود می‌کنند. (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 پتانسیل 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 ↑
- نور ↑ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑
- دما ↑ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑
- رطوبت محیط ↓ ← روزنهٔ هوایی **باز** ← تعرق ↑

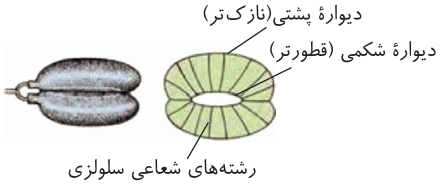
نکته: **بعضی** کاکتوس‌ها و گیاهانی مثل آناناس از نوع گیاهانی با رشد **کم** به نام گیاهان CAM می‌باشند که در محیط بسیار خشک بیابانی و کم‌آب زندگی می‌کنند. در **روز** که هوا بسیار گرم و خشک است، روزنه‌های هوایی خود را **می‌بندند** تا با جلوگیری از تعرق، آب گیاه از دست نرود ولی این گیاهان **برخلاف** سایر گیاهان در شب روزنه‌های هوایی خود را کاملاً **باز** می‌کنند تا CO_2 مورد نیاز فتوسنتز را جذب کنند. **(متابولیسم اسید کراسولاسه‌ای با کریچه‌های دارای قدرت ذخیرهٔ آب دارند که در سال دوازدهم با آن آشنا می‌شوید!!)**

۲) عوامل درونی مؤثر بر تعرق
- عوامل سازگاری در گیاهان محیط‌های **خشک**:
  - تعداد روزنه ↑ ← تعرق ↑
  - روزنهٔ پوشیده شده از کرک ↑ ← تعرق ↓
  - کاهش تعداد برگ ← تعرق ↓
  - کاهش مساحت برگ‌ها ← تعرق ↓
- 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 **تحتانی** برگ از فوقانی بیشتر است که سبب سازشی برای کاهش تعرق می‌شود.

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 کلروپلاست‌دار (سبزدیسه‌دار) فتوسنتزکننده **روپوست** می‌باشند که با **باز و بسته شدن خود**، مقدار تعرق را تنظیم می‌کنند.

ساختار یاخته‌های نگهبان روزنهٔ هوایی

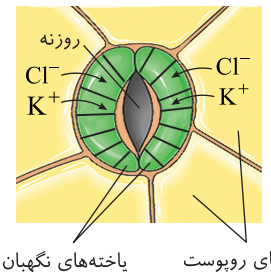


به یاد دارید که یاخته‌های نگهبان روزنه‌های هوایی، تنها یاخته‌های **سبزینه‌دار** روپوستی هستند. دیوارهٔ این یاخته‌های **لوبیایی**‌شکل برخلاف سایر یاخته‌های روپوستی، ساختار خاصی دارند. **دیوارهٔ شکمی** هر یاختهٔ نگهبان که به سمت **دهانهٔ روزنه** می‌باشد از لایهٔ پشتی آن **ضخامت بیشتری** دارد. در حقیقت 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 کنند. این عمل و کاهش پتانسیل آب آن‌ها، باعث افزایش فشار اسمزی نگهبان‌ها و تمایل به **گرفتن** آب از یاخته‌های روپوستی مجاور می‌شود. در این حالت، آب به دنبال یون‌ها و مواد آلی ولی با مکانیسم **اسمز (غیرفعال)** از یاخته‌های روپوستی 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 آلی و معدنی از یاختهٔ مجاور نگهبان ← وارد یاخته‌های نگهبان می‌شود. ← آب‌گیری نگهبان‌ها ← رشد طولی نگهبان‌ها با قطر ثابت آن‌ها ← کنار رفتن نگهبان‌ها به سمت یاخته‌های روپوستی ← باز شدن روزنهٔ هوایی

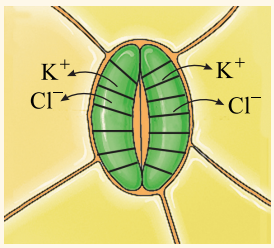
نکتهٔ مهم تکراری: علت باز و بسته شدن روزنه‌ها دو عامل می‌باشد، یکی **ساختار خاص** یاخته‌های نگهبان روزنه و دیگری **تغییر فشار تورژسانس** آن‌هاست. ساختار خاص یاختهٔ نگهبان هم به دلیل قطر بیشتر دیوارهٔ شکمی نسبت به پشتی و هم به دلیل وجود آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی می‌باشد.

نکته: 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.

نکته: 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

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 پتانسیل آب آن‌ها سبب آبدهی یاختهٔ نگهبان می‌شود. در این حالت طول یاختهٔ نگهبان **کم** شده و با فشاری که یاخته‌های **تورژسانس** یافته اطراف به یاخته‌های نگهبان وارد می‌کنند، دو یاختهٔ نگهبان مجاور با قطر **ثابت** به سمت هم آمده و دو دیواره ضخیم **شکمی** دو یاختهٔ نگهبان مجاور به هم نزدیک شده و در نتیجه روزنهٔ هوایی بسته می‌شود. در این حالت تبادل گاز و بخار آب از این روزنه نیز **متوقف** می‌شود.



نکتهٔ مهم: 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.

نکتهٔ مهم: 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.

نکته: روپوست برگ لایه‌ای **بی‌رنگ** می‌باشد که فقط یاخته‌های **نگهبان** آن سبزدیسه و سبزینه دارند.

جدول مهم

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 روزنه‌ها	ابتدا **زیاد** می‌شود	آب‌گیری **زیاد**	**زیاد** می‌شود	**ثابت** می‌ماند	**زیاد** می‌شود	می‌تواند **کم** شود	**زیاد** می‌شود
هنگام بسته شدن روزنه‌ها	ابتدا **کم** می‌شود	آب‌دهی **زیاد**	**کم** می‌شود	**ثابت** می‌ماند	**کم** می‌شود	می‌تواند با فشار ریشه‌ای زیاد، **افزایش** یابد.	**کمتر** از حالت عادی می‌شود

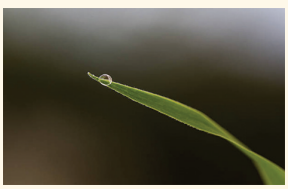
تعریق

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.

نکته: در هنگام **شب** یا در هوای **بسیار** مرطوب که روزنه‌های هوایی معمولاً بسته می‌باشند، مقدار تعرق 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 مرکزی و آوندهای چوبی 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، کم‌کم 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** برخی گیاهان **علفی** خارج می‌شود که به آن تعریق گفته می‌شود.

نکته: عمل تعریق وقتی زیاد 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.

نکته: 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»

نکته‌ای برای درک بهتر!: 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.

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

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 **ساکارز** می‌سازند. در اثر این عمل شیرهٔ خام در **برگ‌ها** به شیرهٔ پرورده تبدیل می‌شود. این عمل در بافت **نرم‌آکنه‌ای (پارانشیم)** فتوسنتزکننده ایجاد می‌شود. 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. 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.

نکتهٔ 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

به بخش‌هایی از گیاه که **ترکیبات آلی** مورد نیاز بخش‌های دیگر را تأمین می‌کنند، محل‌های **منبع** می‌گویند. **محل منبع** هم می‌تواند **تولیدکنندهٔ مواد آلی** باشد که **برگ‌ها** با عمل فتوسنتز از مهم‌ترین محل‌های **منبع** گیاهی هستند و هم می‌تواند **آزادکنندهٔ مواد آلی** ذخیره شده باشد (مثل ریشه‌ها و ساقه‌های **زیرزمینی** ذخیره‌ای در گیاهان دو یا چند ساله!)

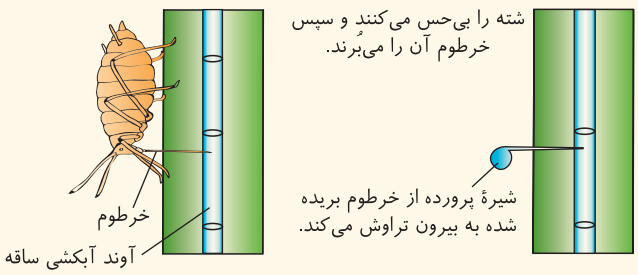
● محل مصرف در گیاهان

به هر بخش **زندهٔ** گیاهی که ترکیبات آلی برای **ذخیره** شدن یا مصرف شدن به آنجا می‌روند، محل مصرف می‌گویند.

نکتهٔ مهم: بخش‌های **ذخیره‌کنندهٔ** مواد آلی هم می‌توانند محل منبع و هم محل مصرف در یک گیاه محسوب شوند. مثلاً ریشهٔ 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.

نکته: هر بخش فتوسنتزکننده، قطعاً محل **منبع** است ولی هر محل منبعی قطعاً فتوسنتزکننده نیست و می‌تواند یک بافت **نرم‌آکنه‌ای** ذخیره‌ای در ریشه یا ساقه غیرسبز باشد. (البته بخش فتوسنتزکننده، خودش هم نیاز به مصرف مواد دارد ولی جزء بخش مصرفی به حساب نمی‌آید.)

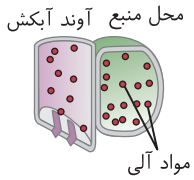
نکته: برای تعیین **سرعت و ترکیب مواد درون شیرهٔ پرورده** می‌توان از حشرات کوچکی مثل **شته‌ها** استفاده کرد. این حشرات خرطوم دهانی خود را وارد **آوند آبکش** گیاهان سبز علفی کرده و **ساعت‌ها** نگه می‌دارند تا شیرهٔ پرورده را بمکند. در این آزمایش شته را بی‌حس کرده و سپس خرطوم پر از شیرهٔ پروردهٔ آن را می‌برند. پس از مدتی مشاهده می‌شود که شیرهٔ پرورده به بیرون از خرطوم بریده شده تراوش می‌کند. این عمل نشان دهندهٔ **فعال** بودن حرکت شیرهٔ پرورده و فشاری است که از داخل آوند آبکش برای خروج شیرهٔ پرورده به خرطوم وارد می‌شود. 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.



شیرهٔ پرورده در پارانشیم‌های فتوسنتزکننده گیاه تولید می‌شود و سپس وارد آوند آبکش می‌شود تا از طریق لولهٔ این آوندها که بین یاخته‌های **زنده** آن، صفحهٔ آبکشی **منفذداری** وجود دارد، این شیره از راه **سیتوپلاسمی** عبور کند و به مجاور اندام‌های مصرف‌کننده برسد. به دلیل وجود صفحهٔ بین‌یاخته‌ای و عبور این شیره از غشای کریچه‌ها 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:

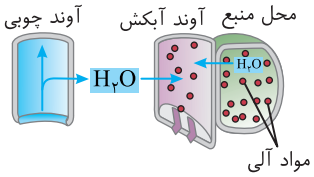
مرحلهٔ اول (بارگیری آبکشی)

قند 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، وارد یاخته‌های آبکشی می‌شوند. با این عمل فشار اسمزی درون آوند آبکش **زیاد** شده و پتانسیل آب درون آن **کم** می‌شود.



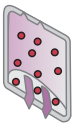
مرحلهٔ دوم (آب‌گیری آبکشی)

به دنبال بارگیری آبکشی و غلیظ شدن یاخته‌های آبکشی (مخصوصاً در اثر گرفتن ساکارز)، این یاخته‌ها کاهش پتانسیل آب پیدا می‌کنند و از یاخته‌های **مردهٔ آوند چوبی** مجاور خود و یاخته‌های **منبع** از محل لان‌ها، آب را به روش **اسمز** جذب می‌کنند. این مرحله بدون صرف انرژی می‌باشد.



مرحلهٔ سوم (جریان توده‌ای)

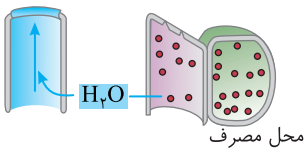
در این مرحله با افزایش فشار شیرهٔ پرورده در یاخته‌های آبکشی، این شیره از طریق میان‌یاخته (سیتوپلاسم) یاخته‌های زندهٔ بدون **هستهٔ** آبکشی و به صورت **فعال**، از صفحات غربالی (آبکشی) بین یاخته‌ها عبور کرده با سرعتی **کندتر و پیچیده‌تر** از شیرهٔ خام می‌گذرد. شیرهٔ پرورده در همهٔ جهات در آوند آبکش **بالا 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 اغلب فاقد میتوکندری هستند و 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.

مرحلهٔ چهارم (باربرداری آبکشی)

در این مرحله که مرحلهٔ آخر انتقال مواد در گیاه می‌باشد، مواد **آلی** شیرهٔ پرورده با **انتقال فعال** و صرف انرژی زیستی از آوند آبکشی خارج شده و 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.



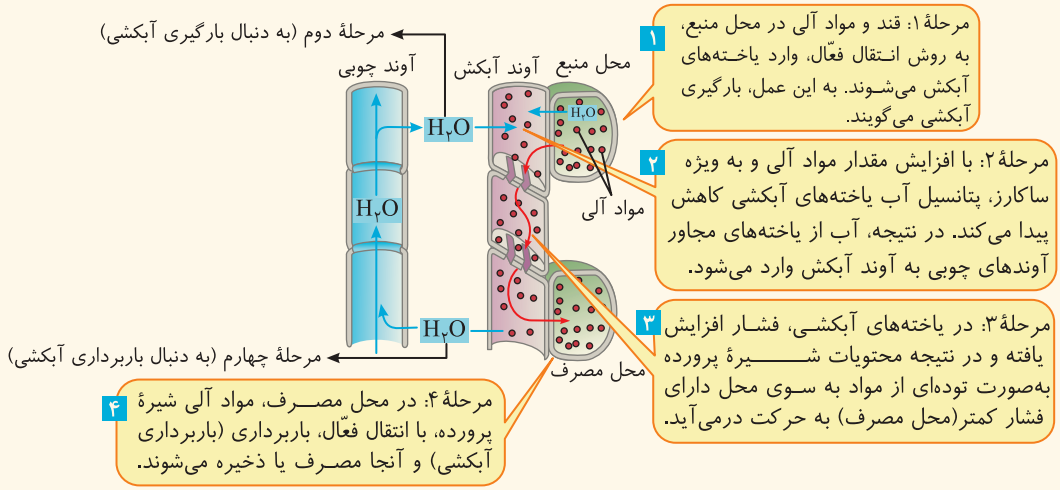
نکته: تبادل آب بین آوندهای چوبی و آبکش
۱) پس از بارگیری آبکشی ← آب از **آوند چوبی** به آوند آبکش یا از اندام **منبع** به آوند آبکش می‌باشد.
۲) هنگام باربرداری آبکشی ← آب از آوند آبکش به **چوبی** می‌رود.

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 عالی بدی!☺

نکتهٔ مهم: در مرحلهٔ باربرداری آبکشی، با خروج مواد آلی از آوند آبکش، پتانسیل آب آوند آبکش **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.)

نکته: 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. انرژی جریان توده‌ای در آوند آبکش را یاخته‌های **همراه** نهاندانگان فراهم می‌کنند. همچنین یاخته‌های منبع برای **بارگیری** آبکشی و یاختهٔ مصرف برای **باربرداری** آبکشی به مصرف انرژی می‌پردازند.

نکته: شیرهٔ پرورده و مواد آلی آن در یاخته‌های آبکشی، فقط از سیتوپلاسم (میان‌یاخته) 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 هم از دیوارهٔ سلولزی و هم از درون یاختهٔ مرده و به صورت غیرفعال فقط به سمت بالا می‌رود.



«چگونگی حرکت مواد در آوند آبکش»

تنظیم تولید و مصرف مواد آلی در گیاه

تولید و مصرف مواد آلی در گیاهان به صورت **تنظیم شده** صورت می‌گیرد. مثلاً گل و میوه اندام‌های **مصرفی** مهمی می‌باشند. در هنگام **گلدهی** یا **میوه‌دهی** یک گیاه، گاهی تعداد محل‌های **مصرف** بیش از حد زیاد می‌شود به‌طوری که محل‌های منبع قادر به انتقال مواد **آلی** به همهٔ آن‌ها نیستند. در این موارد ممکن است 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.

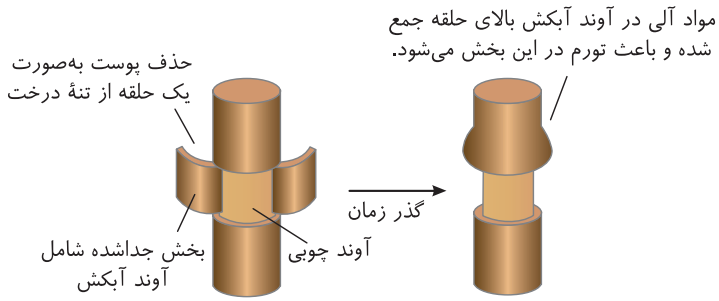
نکته: هورمون **اتیلن** با سریع‌تر کردن سرعت رسیدن میوه‌ها و ریزش آن‌ها، رسیدن مواد آلی به سایر بخش‌ها را افزایش می‌دهد.

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.