فصل اول
مولکول‌های اطلاعاتی

درسنامه

در ایـن فصـل می‌خواهیـم از **مولکول‌ها و عواملی** که باعث به **ارث رسـیدن صفات** می‌شـوند و چگونگی تولید این مولکول‌ها صحبت کنیـم. همان‌طور که می‌دانید **DNA** (رنـا)، مـادهٔ وراثتی یاخته‌های بدن جانداران می‌باشـد که **تقریباً** در هر یاخته‌ای وجود دارد. به‌طور کلـی باید بدانید که از DNA در طی واکنش‌هایی به نام **همانندسازی**، DNAهای جدید دختری و طی فرایندی به نام **رونویسی**، RNA ایجاد می‌شود و در آخر طی **ترجمه** از روی **نوعی** رنا (RNA)، پروتئین‌سازی صورت می‌گیرد. **لازم به ذکر است که اغلب کارهای درون یاخته و درون بدن جاندار را پروتئین‌ها به عنوان کارگر بدن انجام می‌دهند.**

سال‌ها طول کشید تا محققین فهمیدند که **ژن** چیست و چگونه به عنوان **قسمتی از مولکول *DNA*** و به واسطهٔ تولید رنا و یا **پروتئین** خاصی در بدن، توانایی ایجاد یک **صفت** را در جاندار دارد.

در ایـن فصـل، مجموعـهٔ آزمایش‌ها و تاریخچهٔ پیدایش RNA، DNA، پروتئین و سـاختار آن‌ها را بررسـی می‌کنیم ولی در ابتدا لازم اسـت که از کتاب علوم سال‌های قبل، کمی در مورد مادهٔ وراثتی و پروتئین‌ها یادآوری داشته باشیم.

یادآوری

از علوم هشتم و نهم به یاد دارید که:

۱) ژن، **قسمتی** از مولکول DNA است که دارای اطلاعات و دستورهایی برای تعیین و ایجاد صفات ارثی **همهٔ** جانداران می‌باشد. ژن‌ها از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند.

۲) **بیشتر** صفات ارثی مثل رنگ چشم، به دلیل وجود **چند ژن** می‌باشد که با هم کار می‌کنند.

۳) **عوامل محیطی** که در خارج پیکر جانداران می‌باشند، می‌توانند روی **عمل اغلب ژن‌ها** تأثیر بگذارند و سبب تفاوت بین افراد یک نوع **جمعیت** شوند. (از سال دهم به یاد دارید که گیاه گل ادریسی در خاک اسیدی دارای گلبرگ‌های آبی رنگ و در خاک خنثی و قلیایی دارای گلبرگ‌های صورتی رنگ می‌شود در صورتی که ژن و دستورالعمل DNA آن‌ها یکسان است.)

۴) در **هستهٔ** جانداران، هر کروموزوم (خام‌تن) از **DNA** و **پروتئین** به وجود آمده است.

گفتار ۱ نوکلئیک‌اسیدها

همان‌طور که در زیست یازدهم دیدید، همهٔ **یاخته‌های پیکری** یک جاندار از تقسیم یاختهٔ **تخم** یا **یاختهٔ والدی** ایجاد می‌شوند. در ابتدا همهٔ یاخته‌های یک جاندار پریاختـه‌ای هماننـد هم می‌باشـند و تمایزی ندارند ولی پـس از مدتی هریک از یاخته‌ها یا بافت‌ها دارای ویژگی‌های اختصاصی مثل شـکل، اندازه، توانایی و کار متفاوتی می‌شوند. وقتی ویژگی‌های **یک یاختهٔ** یوکاریوتی را بررسی می‌کنیم، می‌فهمیم که **همهٔ** آن‌ها تحت کنترل فعالیت **ژن‌های درون هسته** می‌باشند. در هستهٔ یاخته‌های یوکاریوتی، ژن‌ها روی DNA کروموزوم‌ها قرار دارند. در هر یاخته، برحسـب نیاز، چند ژن خاص فعال **می‌مانند** و سـایر ژن‌ها غیرفعال **می‌شـوند** و در این حالت به یاختهٔ مورد نظر، تمایز یافته می‌گوییم چون کاری متمایز از سایر یاخته‌ها را انجام می‌دهد.

نکات ترکیبی

۱) انتقال اطلاعات بین یاخته‌ها، در **یک جاندار** پریاخته‌ای در اثر **تقسـیم یاخته‌ای** صورت می‌گیرد ولی در **بین نسـل‌ها** از طریق **تولیدمثل** و سـپس تقسـیم یاختهٔ جدید صورت می‌گیرد.

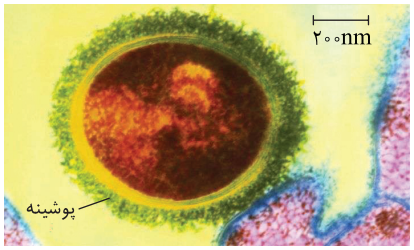
۲) هر کروموزوم هسـته‌ای، حاوی DNA (رنا) و پروتئین می‌باشـد. DNA ، مادهٔ ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی اسـت که در این بخش ما به بررسی تاریخچهٔ پیدایش این مولکول و روش همانندسازی آن می‌پردازیم و در فصل‌های بعد ارتباط آن با پروتئین‌سازی را بررسی کنیم.

۳) ویژگی هر یاختهٔ بدن ما از نظر شـکل و اندازه، تحت فرمان هسـته می‌باشـد. البته برخی یاخته‌ها مثل گویچهٔ قرمز بالغ هسـته ندارند ولی طی تمایز و قبل از دست دادن هسته، ویژگی‌های خود را به دست آورده‌اند.

۴) در جانداران پروکاریوتی نیز ویژگی هر جاندار و یاخته، توسط دنای حلقوی اصلی ایجاد می‌شود که به غشای یاخته متصل است.

تحقیقات گریفیت

فردریک گریفیت، باکتری‌شناس انگلیسی بود. او در ابتدا قصد داشت **واکسنی** برای پیشگیری از بیماری آنفلوانزا تولید کند. وی ابتدا فکر می‌کرد که عامل این بیماری نوعی باکتری (*گروی با کلونی رشته‌ای*) به نام **استرپتوکوکوس نومونیا** می‌باشد، ولی بعدها دانشمندان متوجه شدند که این باکتری سبب بیماری سینه‌پهلو یا ذات‌الریه می‌شود. گریفیت می‌دانست که این باکتری، دو نوع (*سویه*) به نام پوشینه‌دار (*کپسول‌دار*) و فاقد پوشینه (*فاقد کپسول*) دارد. وی آزمایشاتی را روی **موش‌ها** انجام داد ولی در طی مراحل آزمایشات خود به مشاهداتی رسید که به جای تولید واکسن، پی به قابلیت **انتقال مادهٔ وراثتی بین یاخته‌ها** برد.



«باکتری پوشینه‌دار»

نکته

اطلاعات **اولیه** در مورد **مادهٔ وراثتی** از فعالیت‌ها و آزمایشات گریفیت به دست آمد ولی وی نمی‌دانست که جنس مادهٔ وراثتی از **دنا** می‌باشد.

بررسی روند آزمایشات گریفیت

آزمایش اول

گریفیت باکتری‌های زندهٔ **پوشینه‌دار** استرپتوکوکوس نومونیا را به موش‌های آزمایشگاه تزریق کرد. پس از مدتی **همهٔ** موش‌ها دچار علائم سینه‌پهلو شدند و همگی مردند.

۱- باکتری‌های زندهٔ پوشینه‌دار

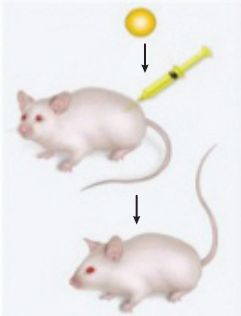
نکته

دستگاه ایمنی موش‌ها قادر به از بین بردن باکتری پوشینه‌دار عامل بیماری سینه‌پهلو نیست. به همین دلیل در خون و شش‌های موش‌های مرده، تعداد بسیار **زیادی** باکتری پوشینه‌دار زندهٔ استرپتوکوکوس نومونیا دیده شد.

آزمایش دوم

وقتی باکتری‌های **فاقد** پوشینه **زنده** را به موش‌ها تزریق کرد، مشاهده کرد که هیچ‌کدام به بیماری سینه‌پهلو مبتلا نشدند و همگی به حیات خود ادامه دادند. در خون و شش‌های این موش‌ها، **هیچ** باکتری استرپتوکوکوس نومونیایی دیده نشد.

۲- باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه



نکته

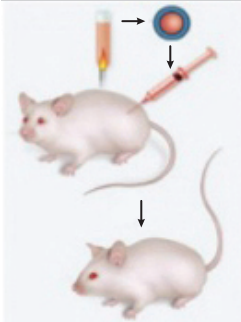
دستگاه ایمنی موش می‌تواند باکتری‌های فاقد پوشینه را با ساخت **پروتئین‌های** دفاعی (*پادتن‌ها*) از بین برده و مانع زیاد شدن آن‌ها شود.

نتیجهٔ گریفیت پس از دو آزمایش اول: از آنجایی‌که در نگاه اول تفاوت دو نوع باکتری تزریق شده به موش، فقط پوشینه داشتن یا نداشتن آن‌ها بود، گریفیت تا اینجا فکر کرد که **پوشینه**، عامل بیماری در موش‌ها می‌باشد.

آزمایش سوم

گریفیت برای آنکه مطمئن شود که **پوشینهٔ باکتری** عامل بیماری سینه‌پهلو هست یا نه؟! شروع به کار جدیدی کرد. وی باکتری‌های **پوشینه‌دار** زنده را در اثر حرارت (*گرما*) کشت و سپس آن‌ها را به موش‌ها تزریق کرد. گریفیت ابتدا به این موضوع فکر کرد که در این مادهٔ تزریق شده، پوشینهٔ باکتری نیز به همراه سایر عوامل وجود دارد که فاقد باکتری زنده می‌باشد. پس از مدتی مشاهده کرد که موش‌ها **زنده ماندند** و در خون یا شش‌های موش‌ها نیز باکتری وجود ندارد.

۳- باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما



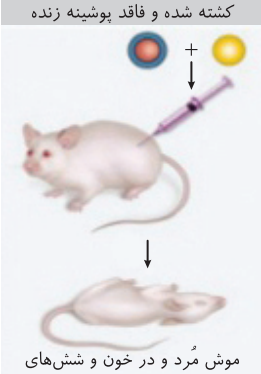
نتیجهٔ آزمایش سوم: گریفیت به این نتیجه رسید که **پوشینه به تنهایی** و یا همراه باکتری **مرده**، قادر به ایجاد علائم بیماری سینه‌پهلو و مرگ جاندار نمی‌باشد.

آزمایش چهارم

در این آزمایش، گریفیت دو ماده‌ای که هریک به تنهایی سبب مرگ موش نمی‌شدند یعنی باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه و باکتری‌های مردهٔ پوشینه‌دار را با هم مخلوط کرد و مجموعهٔ آن‌ها را به موش‌ها تزریق کرد. **در کمال تعجب!** مشاهده کرد که موش‌ها در اثر سینه‌پهلو مردند. وقتی خون و شش‌های این موش‌های مرده را آزمایش کرد تعجبش بیشتر شد، چون علاوه بر مقداری باکتری‌های فاقد پوشینه، مقدار **زیادی** نیز باکتری **زندهٔ** پوشینه‌دار در بررسی خون و شش‌های موش‌های مرده مشاهده کرد.

نتیجهٔ آزمایش چهارم: گریفیت در سال ۱۹۲۸ نتیجه گرفت که یا باکتری‌های کشته شده پس از مدتی زنده شده‌اند ☺!!! (*که فقط در عالم جوک امکان دارد*) و یا **تعدادی از باکتری‌های فاقد پوشینهٔ زنده** در اثر تغییر شکل به باکتری‌های زندهٔ پوشینه‌دار تبدیل شده‌اند. وی به این فکر افتاد که حتماً مادهٔ زیستی که تا حدی به حرارت **مقاوم** بوده است ویژگی خود را حفظ کرده است و در مخلوط آزمایش چهارم سبب تغییر شکل **تعدادی** از باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه به زندهٔ پوشینه‌دار شده‌اند. گریفیت نتوانست **ماهیت** این ماده و چگونگی انتقال این صفت را مشخص کند ولی بیان کرد که **ماده‌ای وراثتی** اولاً به حرارت مقاوم است و ثانیاً سبب انتقال صفت، بین دو یاخته شده است.

۴- مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و فاقد پوشینه زنده



موش مُرد و در خون و شش‌های آن باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده شد

تست ۱ **چند مورد از جملات زیر عبارت را نادرست تکمیل می‌کند؟**

«گریفیت، پس از اضافه کردن مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و فاقد پوشینهٔ زنده، متوجه شد که .....»

الف) DNA **می‌تواند بین یاخته‌ها منتقل شود.**
ب) برخی باکتری‌های پوشینه‌دار فاقد فعالیت، فعال شده‌اند.
ج) تعدادی از باکتری‌های بدون پوشینه، پوشینه‌دار شده‌اند.
د) پوشینه عامل بیماری سینه‌پهلو نیست.

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

پاسخ ۱ موارد (*الف*)، (*ب*) و (*ر*) نادرست می‌باشند.

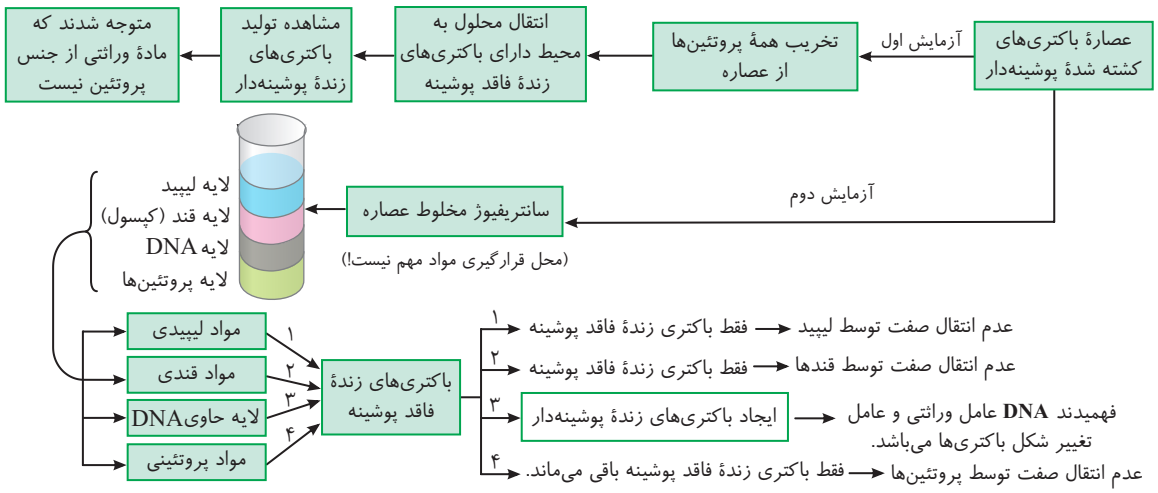
تله‌های تستی الف) نادرست است. از نتایج آزمایشات گریفیت، مشخص شد که مادهٔ وراثتی می‌تواند بین یاخته‌ها منتقل شود ولی خود گریفیت به این مسئله در مورد مادهٔ وراثتی DNA پی نبرد. / ب) نادرست و (ج) درست است. در این آزمایش باکتری مرده به صورت فعال و زنده درنیامده است بلکه **تعدادی باکتری‌های فاقد پوشینه** در اثر تغییر شکل به صورت پوشینه‌دار درآمده‌اند. / د) نادرست است. از نتایج پس از آزمایش سوم، گریفیت متوجه شد که پوشینه به **تنهایی** عامل بیماری نیست ولی سؤال در مورد نتایج بعد از آزمایش چهارم می‌باشد.

پیدایش نقش یا ماهیت DNA به عنوان عامل انتقال صفات یا مادهٔ وراثتی یاخته

تا حدود ۱۶ سال پس از گریفیت، مادهٔ وراثتی یا عامل انتقال وراثت صفات به صورت ناشناخته باقی ماند و اغلب محققین، **پروتئین‌ها** را عامل مؤثر در این تغییر شکل می‌دانستند.

آزمایش‌های ایوری و همکارانش

ایوری و همکارانش، محققینی بودند که ابتدا از مواد آزمایش **سوم** گریفیت، یعنی از **عصارهٔ** استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار استفاده کردند. ایوری سه آزمایش مختلف روی این عصاره انجام داد و همواره عصارهٔ باقی‌مانده را به باکتری زنده فاقد پوشینه اضافه کرد. دقت کنید که **ایوری هیچ‌گاه در آزمایشات خود از موش استفاده نکرد.** در آزمایش اول **همهٔ** پروتئین‌های عصاره را با پروتئازها تخریب کردند (*چون سایر محققین معتقد بودند که پروتئین، عامل تغییر شکل باکتری زندهٔ فاقد پوشینه به زندهٔ پوشینه‌دار شده است*). آن‌ها محلول یا عصارهٔ بدون پروتئین را به محیط کشت باکتری **فاقد پوشینه** زنده اضافه کردند و مشاهده کردند که تولید باکتری زندهٔ پوشینه‌دار و انتقال صفت انجام شد. آن‌ها **نتیجه گرفتند که قطعاً پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی نیستند.** ولی در این آزمایش اول متوجه نشدند که جنس مادهٔ وراثتی چیست! سپس در آزمایش دوم، مخلوط عصارهٔ اولیه از باکتری پوشینه‌دار مرده را در یک دستگاه سانتریفیوژ (*گریزانه*) با سرعت **بالا** قرار دادند تا مولکول‌های مختلف در سطوح و لایه‌های مختلف از هم جدا شوند. در ادامه، هر لایه که حاوی **یک نوع مولکول** بود را به باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه اضافه کردند و مشاهده کردند که **فقط** هنگامی که لایه حاوی **DNA** (*ر*) را اضافه کردند، صفت جدید در باکتری‌ها ایجاد شد و آن‌ها پوشینه‌دار شدند. در زیر روند آن را مشاهده می‌کنید:



● نتیجهٔ آزمایش‌های اول و دوم ایوری

آن‌ها فهمیدند که DNA همان مادهٔ وراثتی است و عامل تغییر صفت در باکتری فاقد پوشینه می‌باشد که پس از ورود به باکتری زندهٔ فاقد پوشینه و فعال شدن، با ساخت پوشینه، سبب پوشینه‌دار شدن این باکتری‌ها می‌شود. جالب این است که در هر دو آزمایش متوجه شدند که پروتئین فاقد ویژگی انتقال صفت است ولی نتایج آن‌ها با اینکه انکارناپذیر بود، مورد قبول بسیاری از دانشمندان قرار نگرفت.

ادامهٔ تحقیقات پس از نتایج ایوری

علی‌رغم این نتایج باز هم بسیاری از دانشمندان آن زمان معتقد بودند که پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی و عامل انتقال صفات هستند، در نتیجه، نتایج آزمایش ایوری را قبول نکردند و با **روش دیگری** در پی کشف ماهیت مادهٔ وراثتی رفتند. ولی در انتها متوجه شدند که حرف درست و نتیجهٔ درست همان صحبت‌ها و نتایج ایوری بوده است و **DNA مادهٔ وراثتی است.**

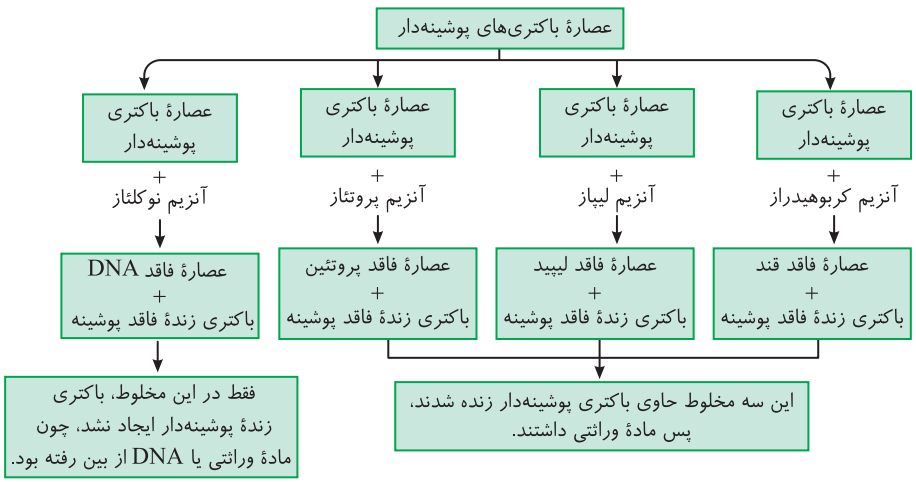
آزمایش سوم ایوری برای اثبات دنا به عنوان عامل وراثتی

ایوری و همکارانش برای ثابت کردن ادعای خود روش دیگری را به کار گرفتند. آن‌ها در عصاره خود از **آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ** انواع مواد آلی استفاده کردند. بدین صورت که ابتدا عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار که حاوی همهٔ نوع مواد آلی قندی، لیپیدی، پروتئینی و DNA و RNA بود را استخراج کردند. این عصاره را به چند قسمت تبدیل کردند و به هرکدام **یک نوع آنزیم هیدرولاز** برای از بین بردن **یک نوع مادهٔ آلی** اضافه کردند. سپس به هر عصارهٔ حاصله، باکتری‌های زندهٔ فاقد پوشینه اضافه کردند. آن‌ها در نهایت متوجه شدند که فقط عصاره‌ای که به آن **DNA نوکلئاز** اضافه کرده‌اند و DNAها را از بین برده‌اند، فاقد باکتری پوشینه‌دار می‌باشد. در سایر ظروف **پس از مدتی** باکتری‌های فاقد پوشینه به پوشینه‌دار تبدیل می‌شوند و رشد و تکثیر دارند.

نکته

ایوری در هر سه آزمایش خود متوجه شد که پروتئین مادهٔ وراثتی نیست و البته در آزمایش دوم و سوم بود که متوجه شدند، قند و لیپید نیز این ویژگی را ندارند و مادهٔ وراثتی، فقط دنای یاخته است.

روند کلی آخرین آزمایشات ایوری و همکارانش



نکته

دقت کنید که طبق بیشتر بدانید کتاب درسی، میشر قبل از گریفیت **پی به وجود DNA** برد و ماهیت شیمیایی اسیدی آن را پیدا کرد. سپس گریفیت متوجه شد که عامل وراثتی سبب تغییر شکل یاخته می‌شود. در آخر ایوری فهمید که عامل وراثتی همان دنا (DNA) می‌باشد، ولی بررسی **ساختار** DNA و عوامل موجود در آن در اثر تحقیقات بعد از آن‌ها شکل گرفت.

تست ۲ چند مورد از جملات زیر نادرست است؟

الف) کشف نوکلئیک‌اسیدها قبل از آزمایش‌های ایوری انجام شد.

ب) ایوری با تخریب پروتئین‌های عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار، پی به ماهیت مادهٔ وراثتی برد.

ج) اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی دنا از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی به نام گریفیت به دست آمد.

د) ایوری در آخرین مدل آزمایش‌های خود، در بیشتر ظروف مورد آزمایش خود تغییر شکل باکتری فاقد پوشینه را مشاهده کرد.

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

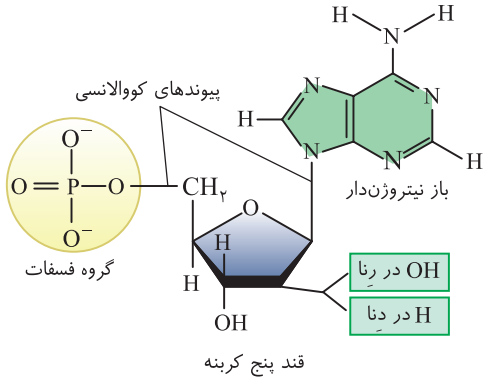
پاسخ ۲ موارد (ب) و (ج) نادرست است.

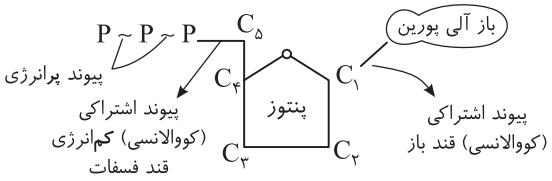
تله‌های تستی الف) درست است. قبل از ایوری و گریفیت، دانشمند دیگری، نوکلئیک‌اسیدها را کشف کرده بود به هر حال وقتی آن‌ها آنزیم ضد دنا استفاده کردند، یعنی دنا پیدا شده بود! / ب) نادرست است. ایوری ابتدا تمامی پروتئین‌های موجود را در عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های پوشینه‌دار تخریب کرد و متوجه شد که با اضافه کردن مخلوط باقی‌مانده به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه، باز هم تغییر شکل باکتری فاقد پوشینه رخ می‌دهد و با این آزمایش در همان ابتدا فهمید که پروتئین‌ها، مادهٔ وراثتی نیستند (*البته ایوری در نتیجه هر سه آزمایش به این موضوع پی برد ولی در آزمایش دوم و سوم پی به ماهیت مادهٔ وراثتی برد*). / ج) نادرست است. چشمات رو باز کن! گریفیت نفهمید که ماده وراثتی، DNA است. / د) درست است پس از آزمایش آخر ایوری، آن‌ها آنزیم‌های هیدرولاز مختلف تخریب کنندهٔ گروه‌های مواد آلی (*کربوهیدرات، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها*) را به مخلوط آزمایش **اول** ایوری اضافه کردند ولی فقط در ظرفی که به آن نوکلئاز اضافه شده بود، تغییر شکل باکتری دیده نشد.

مطالعاتی برای شناخت ساختار شیمیایی نوکلئیک‌اسیدها

نوکلئیک‌اسیدها، پلیمر (*بسپار*) هستند و از مونومر یا واحدهای تکرار شونده‌ای به نام **نوکلئوتید** به وجود آمده‌اند. این بسپارها به دو نوع دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید یا دنا (DNA) و ریبونوکلئیک اسید یا همان رنا (RNA) تقسیم‌بندی می‌شوند. نوکلئیک اسیدها در حقیقت مانند یک تسبیح یک یا دورشته‌ای هستند که دانه‌های آن‌ها نوکلئوتید می‌باشند. هر نوکلئوتید در یاخته از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

اجزای نوکلئوتیدها:
- ۱) قند **پنتوز** (*پنج کربنه*) ← ریبوز (در RNA) یا دئوکسی‌ریبوز (در DNA) می‌باشد.
- ۲) یک یا دو یا سه گروه فسفات دارند که پیوند بین فسفات‌ها **پرانرژی** است.
- ۳) باز آلی نیتروژن‌دار
  - تک‌حلقه‌ای = پیریمیدین (CUT)
  - دوحلقه‌ای = پورین G و A





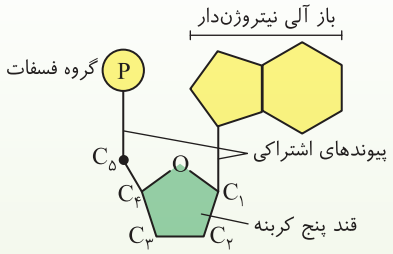
چندنکتهٔ ترکیبی مهم در طرح تست‌ها

۱) باز آلی **تیمین**، فقط در DNA و باز آلی **یوراسیل** فقط در RNA وجود دارد، ولی سه باز آلی سیتوزین، گوانین و آدنین در DNA و RNA به‌طور مشترک وجود دارند.

۲) بازهای آلی پورینی با حلقهٔ **کوچک‌تر** یا پنج‌ضلعی خود با نوعی پیوند اشتراکی به کربن شمارهٔ ۱ قند وصل می‌شوند.

۳) قند ریبوز در **کربن شمارهٔ ۲**، یک اتم اکسیژن بیشتر از قند دئوکسی‌ریبوز دارد. در حقیقت اصلی‌ترین عامل تفاوت نوکلئوتیدهای دنا و رنا، در نوع قند هر نوکلئوتید است.

۴) بدون در نظر گرفتن فسفات‌ها، **۸** نوع نوکلئوتید و با در نظر گرفتن فسفات‌ها **۲۴** نوع نوکلئوتید در یاخته وجود دارد. چون نوکلئوتیدها از نظر نوع قند، نوع باز آلی و تعداد گروه فسفات می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند.



۵) دقت کنید که در هر نوکلئوتید، هیچ‌گاه باز آلی به فسفات‌ها متصل نمی‌شوند و بین آن‌ها پیوندی وجود ندارد. از طرفی پیوند اشتراکی بین باز آلی و قند، با کربن موجود در حلقهٔ پنج‌ضلعی شماره ۱ قند برقرار می‌شود ولی پیوند اشتراکی قند فسفات (*فسفواستری*) بین قند و فسفات با کربن شماره ۵ برقرار می‌شود که این کربن در حلقهٔ پنج‌ضلعی قند شرکت ندارد.

باز آلی + نوع قند = ۸ نوع

- تیمین ← فقط دئوکسی‌ریبوز
- یوراسیل ← فقط ریبوز
- سیتوزین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز
- گوانین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز
- آدنین ← ریبوز / دئوکسی‌ریبوز

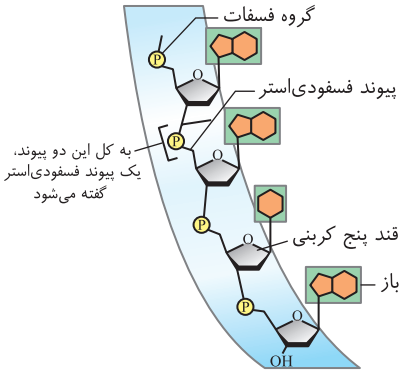
هرکدام از این ۸ نوع می‌توانند یک یا دو یا سه گروه فسفات داشته باشند که کلاً ۲۴ نوع نوکلئوتید می‌شوند.

تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین دو نوکلئوتید

نوکلئوتیدها در یاخته به صورت آزاد، **سه**فسفاته هستند ولی **هنگام برقراری پیوند** با یکدیگر و قرارگیری در نوکلئیک اسیدها، ابتدا دو گروه از سه گروه فسفات خود را از دست می‌دهند **و فقط با یک گروه فسفات خود به قند نوکلئوتید مجاور خود متصل می‌شوند**. این اتصال جدید فسفات - قند بین دو نوکلئوتید مجاور، از نوع پیوند اشتراکی (*کووالانس*) می‌باشد که سبب تکمیل شدن پیوند فسفودی‌استر می‌شود. به همین ترتیب نوکلئوتید بعدی قرار می‌گیرد تا یک رشتهٔ **خطی** ایجاد شود. در حقیقت پیوند فسفودی‌استر، خود از دو پیوند قند - فسفات تشکیل شده است یکی قند فسفاتی که از قبل در نوکلئوتید جدید بود و یکی پیوند جدیدی که بین فسفات نوکلئوتید جدید با قند نوکلئوتید قدیم برقرار شده است. **دو انتهای رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید ساخته شده، قطعاً مثل هم نیست،** در یک انتها گروه آزاد **فسفات** و در انتهای دیگر گروه **OH** یا هیدروکسیل وجود دارد. پس می‌گوییم رشتهٔ **پلی‌نوکلئوتید خطی**، قطبیت و دو سر آزاد متفاوت دارد ولی در حالت حلقوی که در باکتری، راکیزه و سبزدیسه‌ها دیده می‌شود، فسفات و OH آزاد در دو سر مولکول DNA و رشته‌های آن دیده نمی‌شود چون آن‌ها نیز به هم وصل شده‌اند و یک پیوند فسفودی‌استر تشکیل داده‌اند.

فرق پیوند قند فسفات (فسفواستر) با فسفودی‌استر

در یک نوکلئوتید، بین قند و فسفات آن، یک پیوند فسفواستر یا قند فسفات وجود دارد که به صورت (–P–O–) نشان داده می‌شود. دقت کنید که پیوند فسفودی‌استر، بین دو نوکلئوتید مجاور ایجاد می‌شود که برای تکمیل آن در حقیقت **یک پیوند** بین OH – آزاد نوکلئوتید اول با فسفات آزاد نوکلئوتید بعدی زده شده است. به همین دلیل پیوند فسفودی‌استر را به صورت (–O–P–O–) نشان می‌دهند که فسفات آن با دو اکسیژن در اطراف پیوند دارد خلاصه، پیوند فسفودی‌استر، خود دارای دو پیوند قند فسفات می‌باشد (*خلاصه در یک نوکلئوتید یادت باشه که پیوند قند فسفات داریم ولی فسفودی‌استر نداریم!*).

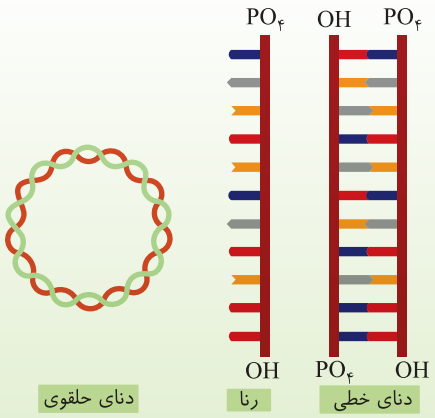


«بخشی از رشتهٔ نوکلئیک‌اسید»

«دنای دورشته‌ای و رنای تک‌رشته‌ای»

نکته

رنا را در کتاب شما به صورت یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید خطی می‌شناسند که دو سر آزاد متفاوت دارد. از طرفی دنا همواره دو رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی دارد که به صورت خطی یا حلقوی می‌باشد. در حالت خطی همواره دو سر آزاد متفاوت در هر رشته وجود دارد ولی در حالت دنای حلقوی، فاقد گروه‌های عاملی آزاد در دو سر مولکول می‌باشد.



تست ۳ **برای تشکیل یک ..... باید .....**

۱) دی‌نوکلئوتید - پیوند فسفودی‌استر و هیدروژنی بین واحدها برقرار شود.

۲) نوکلئوتید - کربن‌های قرار گرفته در حلقهٔ قندی به دو عامل مختلف متصل شوند.

۳) پیوند فسفودی‌استر - برخلاف تشکیل یک رشته از DNA حلقوی، بین قند و فسفات دو نوکلئوتید پیوند ایجاد شود.

۴) مولکول mRNA - بین دو نوکلئوتید مجاور قسمت‌های فاقد نیتروژن با هم پیوند برقرار کنند.

پاسخ ۴ در mRNA برخلاف tRNA و DNA، پیوند هیدروژنی وجود ندارد و بین دو نوکلئوتید مجاور باید یک پیوند فسفودی‌استر بین قندی با گروه فسفات برقرار شود. این دو قسمت در نوکلئوتیدها برخلاف بازهای آلی فاقد نیتروژن می‌باشند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): یک دی‌نوکلئوتید از دو نوکلئوتید با پیوند فسفودی‌استر ایجاد می‌شود و نیازی به پیوند هیدروژنی ندارد. / گزینهٔ (۲): در یک نوکلئوتید، قند پنتوز قسمت مرکزی است که از یک طرف با باز آلی نیتروژن‌دار و از طرف دیگر کربنی از آن که در حلقه قرار ندارد با رشته فسفات‌دار پیوند اشتراکی برقرار می‌کند. / گزینهٔ (۳): هم برای پیوند فسفودی‌استر و هم برای حلقوی شدن DNA، پیوندهای فسفودی‌استر اشتراکی بین گروه قند و فسفات دو نوکلئوتید ارتباط برقرار می‌شود.

تلاش برای کشف ساختار مولکولی DNA (دنا)

تـا قبـل از مطالعات چارگاف، اطلاعات دربارهٔ DNA، **عمدتاً به اجزای تشکیل دهندهٔ** آن محدود می‌شـد و دربارهٔ **ساختار سه‌بعدی** (*فضایی*) این مولکول اطلاع چندانی در دسـترس نبود. چارگاف و دانشـمندان بعدی توانستند سـاختار سه‌بعدی DNA را مشخص کنند. در ابتدا و قبل از این بررسی‌ها، تصور بر این بود که **چهار نوع نوکلئوتید** موجود در DNA **هر** جانداری، به نسـبت **مسـاوی** در سراسـر مولکول توزیع شـده‌اند و نسـبت چهار نوع باز آلی آن‌ها یکسان می‌باشد. با بررسی‌هایی که در ادامه می‌خوانیم، این تصور از بین رفت.

مطالعات چارگاف

چارگاف در سال ۱۹۵۰ با اندازه‌گیری بازهای آلی مختلف در DNA جانداران مختلف، فهمید که در مولکول DNA ، بازهای آلی به صورتی قرار گرفته‌اند که تعداد آدنین با تیمین و تعداد گوانین با سیتوزین برابر است. پس ما می‌توانیم روابط زیر را در مورد یک مولکول دورشته‌ای DNA به دست آوریم.

$$\begin{matrix} A=T \\ G=C \end{matrix} \Rightarrow \begin{cases} \text{پورین} = \text{پیریمیدین} = \dfrac{\text{تعداد نوکلئوتید DNA}}{۲} \\ \dfrac{A}{T}=\dfrac{G}{C}=\dfrac{A+C}{T+G}=\dfrac{A\times G}{T\times C}=۱ \end{cases} \Rightarrow \text{نوکلئوتید مولکول DNA}\ N=۲A+۲G$$

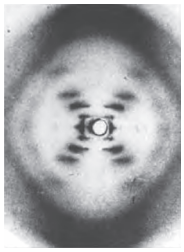
چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) دقت کنید که چارگاف اصلاً در مورد دورشته‌ای بودن دنا و پیوندهای آن اطلاعی نداشت و حرفی نزد. از طرفی **دلیل** مساوی بودن A با T و یا C با G را نیز عنوان نکرد.

۲) در **یک مولکول** RNA یا DNA **تک‌رشته‌ای** هیچ رابطهٔ ریاضی بین بازها وجود **ندارد**. چون در یک رشته، هیچ محدودیتی در قرارگیری بازهای آلی وجود ندارد.

۳) تحقیقات دانشـمندان پس از چارگاف، سـبب شـد که **دلیل** برابری A و T یا C و G در مولکول دنا مشـخص شـود. به عبارتی چارگاف فقط با بررسی مقدار بازها به نتیجهٔ فوق رسیده بود.

آزمایش ویلکینز و فرانکلین (تاباندن اشعهٔ ایکس و استفاده از تصویر دنا)



آن‌ها با تاباندن مستقیم پرتو ایکس به مولکول DNA، **تصاویری** به دست آوردند و با بررسی این تصاویر نتایجی در مورد **ساختار DNA** پیدا کردند. این نتایج شـامل این بود که گفتند، DNA حالت **مارپیچی** دارد و حاوی **بیش از یک** رشـته می‌باشـد. البته با این روش، **ابعاد مولکول** DNA را نیز تشخیص دادند.

نکته

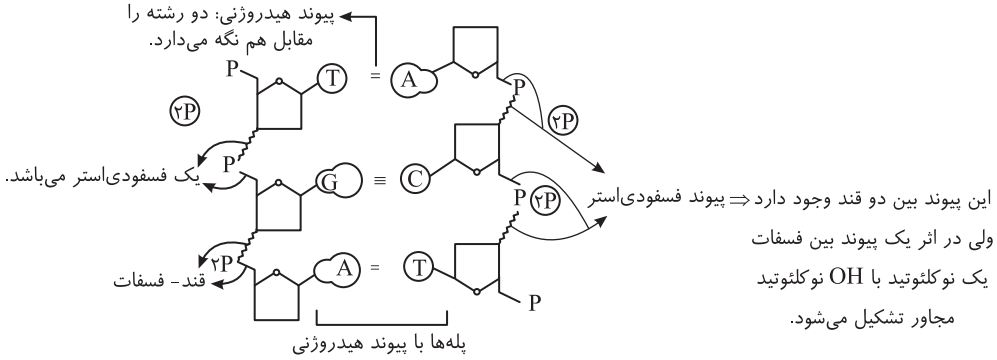
دقت کنید که این گروه نیز متوجه نشدند که دنا، دو رشته است ولی برای اولین‌بار عنوان کردند که مولکولی مارپیچی می‌باشد و به ابعاد آن دست پیدا کردند.

مدل واتسون و کریک (مدل مولکولی نردبان مارپیچ دورشته‌ای DNA)

آن‌ها با اسـتفاده از **نتایج چارگاف**، مطالعات حاصل از تصاویر تهیه شـده با اشـعهٔ ایکس (*فرانکلین و ویلکینز*) و اطلاعاتی که **از یافته‌های خود** داشـتند، مدل **مولکولی نـردبان** مارپیـچ **دوگانه** (*دورشـته*) را پیشـنهاد دادند و در سـال ۱۹۶۲ جایزهٔ نوبل گرفتند. نتایج حاصـل از تحقیقات آن‌ها با پژوهش‌های امـروزی نیز مورد تأیید می‌باشد. این گروه اولین کسانی بودند که دنا را دورشته‌ای و با پیوندهای شیمیایی آن بررسی کردند.

نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

آن‌ها عنوان کردند که DNA مانند نردبانی **مارپیچی** اسـت که از دو رشـتهٔ پلی**نوکلئوتیدی** ایجاد شده است. این دو رشته **مکمل و ناهمسو** می‌باشند و حول یک محور **فرضی طولی** پیچیده‌اند. به این مدل، مارپیچ دورشـته‌ای (*دوگانه*) نیز می‌گویند، که در هر سـتون یا رشـتهٔ این نردبان، قند و فسـفاتِ نوکلئوتیدها با پیوند اشـتراکی به نام فسفودی‌اسـتر به هم متصل‌اند و پله‌های آن، بازهای آلی نیتروژن‌دار مکمل هم هسـتند که با پیوند هیدروژنی به هم متصل‌اند (*بین A و T دو پیوند هیدروژنی و بین C و G سه پیوند هیدروژنی است ولی شما فقط باید بیاموزید که بین C و G ، تعداد پیوند هیدروژنی بیشتری به نسبت رابطه مکملی A و T وجود دارد*).



دو نکتهٔ مهم در حل تست‌ها

۱) هر پله دو باز آلی دارد که در دو طرف خود، با اتصال به قند، دو نوکلئوتید ایجاد می‌کند. در هر دو نوکلئوتید روبه‌روی هم در دنا، سه حلقهٔ نیتروژن‌دار از بازهای آلی مکمل وجود دارد. اگر حلقه‌های پنتوزی هر نوکلئوتید را نیز حساب کنیم، در دو نوکلئوتید مکمل و با احتساب همه عوامل آن‌ها، مجموعاً ۵ حلقهٔ آلی وجود دارد.

به ازای: ۱ ~ ۲ ~ ۳ ~ ۵
پله نوکلئوتید (حلقهٔ نیتروژنی) (حلقهٔ آلی)

۲) دقت داشته باشید که پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل، دو رشتهٔ دنا را مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها به صورت خودبه‌خودی بین دو مولکول مکمل تشکیل می‌شود و هرکدام به نسبت پیوند اشتراکی، انرژی بسیار کمتری دارند.

نکاتی اضافی در مورد پیوندهای درون مولکول DNA

اگر چه طرح سؤال عددی یا محاسباتی از این فصل مجاز نمی‌باشد ولی برای دانایی بیشتر شما، مقداری از نکات ریاضی موجود در نوکلئیک‌اسیدها را در اینجا قرار داده‌ام!!

تعداد پیوند فسفودی‌استر = تعداد نوکلئوتید − تعداد رشتهٔ خطی

تعداد پیوند قند فسفات = ۲ × (تعداد نوکلئوتید) − تعداد رشتهٔ خطی

	قطبیت	نوکلئوتید	پیوند قند باز	پیوند قند - فسفات	پیوند فسفودی‌استر
DNA حلقوی	ندارد	n	n	۲n	n
DNA خطی (دورشته‌ای)	هر رشته دارد	n	n	۲n−۲	n−۲
مولکول RNA (یا هر رشتهٔ DNA خطی)	دارد	n	n	۲n−۱	n−۱

نکات تکمیلی دربارهٔ مولکول DNA و آزمایش‌های مربوط به آن

۱) مکمل بودن بازهای آلی DNA، نتایج آزمایش‌های **چارگاف** را تأیید می‌کند. این قرارگیری بازها سبب **یکسان شدن قطر** دو رشتهٔ DNA در **سراسر** مولکول می‌شود، چون همواره یک باز پورین دوحلقه‌ای روبه‌روی یک پیریمیدین تک‌حلقه‌ای قرار می‌گیرد. این یکسان بودن قطر سبب **پایداری اطلاعات** می‌شود.

۲) در مولکول DNA، آدنین همواره روبه‌روی باز آلی تیمین و گوانین همواره روبه‌روی باز آلی سیتوزین قرار می‌گیرد.

۳) علت قرارگیری بازها روبه‌روی هم، **ساختار سه‌بعدی** آن‌هاست که آدنین با تیمین و گوانین با سیتوزین، **مکمل** هستند.

۴) پایدارترین حالت در اتصال بازهای مکمل هنگامی است که بین A و T تعداد پیوند هیدروژنی کمتری از پیوندهای هیدروژنی بین C و G وجود داشته باشد.

۵) **جفت شدن** بازهای مکمل، اصل چارگاف را توجیه می‌کند.

۶) اطلاعات وراثتی را **ترتیب و تعداد بازهای آلی** تشکیل می‌دهند که هیچ محدودیتی **در یک رشته** وجود ندارد.

۷) پیوند **هیدروژنی** به تنهایی انرژی **پیوند کمی** دارد. وجود هزاران یا میلیون‌ها نوکلئوتید و پیوندهای هیدروژنی فراوان به مولکول DNA حالت **پایداری** می‌دهد ولی در موقع نیاز در همانندسازی یا رونویسی می‌توانند در قسمت‌هایی به تدریج از هم جدا شوند بدون آنکه پایداری مولکول به هم بخورد.

۸) آدنین یک **باز آلی** است ولی آدنوزین مجموع قند **پنتوز** و باز آدنین است. تعداد کربن در آدنوزین، پنج تا بیشتر از آدنین است.

۹) هر نوکلئوتید دو بخش **آلی حلقوی** دارد: یکی قند پنتوز که یک حلقهٔ ۵ ضلعی **بدون** نیتروژن است و یکی باز آلی که می‌تواند یک یا دوحلقه‌ای باشد. حلقه(های) بازهای آلی برخلاف حلقه هیدرات کربنی پنتوز، دارای **نیتروژن** است.

۱۰) در جانوران مختلف، مواد زائد نیتروژن‌دار آمونیاک، اوره یا اوریک‌اسید از تجزیه بازهای آلی و آمینواسیدها ایجاد می‌شود.

۱۱) تفاوت نوکلئوتیدهای **یک نوع** نوکلئیک‌اسید، به دلیل یکسان بودن قند آن‌ها، **در نوع بازهای آلی** آن‌هاست ولی در بین **دو نوع** نوکلئیک‌اسید DNA و RNA، تفاوت نوکلئوتیدها **در نوع قند** آن‌ها حتمی است ولی ممکن است نوع **باز آلی** آن‌ها نیز مانند تیمین و یوراسیل متفاوت باشد.

۱۲) تشکیل پیوند فسفودی‌استر که یک نوع پیوند اشتراکی (کووالانسی) است، مانند هر پیوند کووالانسی دیگر، با **صرف** انرژی همراه است. این عمل توسط آنزیم‌های **دنابسپاراز** (DNA پلیمراز)، **رنابسپاراز** (RNA پلیمراز) (فصل ۲) یا **لیگاز** (فصل ۷) صورت می‌گیرد، ولی شکستن آن انرژی‌زا بوده و توسط **نوکلئازها** مثل آنزیم برش‌دهنده (فصل ۷) صورت می‌گیرد (البته رنابسپاراز در عمل ویرایش، فعالیت نوکلئازی هم دارد که در ادامهٔ این فصل بررسی می‌کنیم).

۱۳) DNA و RNA خطی، به دلیل OH^- و PO_4^- آزاد، بار **منفی** دارند و در میدان الکتریکی سمت قطب **مثبت** می‌روند.

۱۴) همهٔ انواع RNAها و DNA موجود در هسته یوکاریوت‌ها ساختار **خطی** دارند و دو گروه عاملی آزاد در دو سمت آن مولکول‌ها، متفاوت می‌باشند ولی DNA در پروکاریوت، راکیزه‌ها و سبزدیسه‌ها به صورت حلقوی بوده و دو سر آزاد ندارد.

۱۵) ATP، رایج‌ترین منبع انرژی زیستی یاخته برای انجام واکنش‌های زیستی می‌باشد که ریبونوکلئوتیدی سه‌فسفاته (با قند ریبوز) است.

۱۶) نوکلئوتید در ساختار ناقلین الکترون اندامک‌ها مثل NADH، $FADH_2$ و NADPH که در فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای نقش دارند نیز، وجود دارد. این عوامل را در فصل ۵ و ۶ زیست دوازدهم بررسی خواهیم کرد.

۱۷) در **یک رشتهٔ** عادی DNA بین دو **باز آلی** مجاور هیچ پیوندی وجود ندارد. برای تجزیهٔ یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید به واحدهای سازندهٔ آن، باید پیوند بین **قند و فسفات** را تجزیه کنیم. دو باز مکمل از دو رشته DNA روبه‌روی هم پیوند **هیدروژنی** دارند که برای تشکیل یا تجزیه آن **آب** مصرف نمی‌شود.

۱۸) از اطلاعات DNA به‌طور **مستقیم** برای ساخت **RNA** و به‌طور **غیرمستقیم** برای ساخت **پروتئین** استفاده می‌شود. در حقیقت RNA و پروتئین دارای **رمزهای** وراثتی روی DNA هستند ولی **قندها** و **لیپیدها**، رمزی روی DNA ندارند و آن‌ها با واسطه پروتئین‌های آنزیمی در بدن ساخته می‌شوند.

۱۹) در حین ساخت دنا و رنا با اینکه در قسمت‌هایی از دنا، پیوند **هیدروژنی** شکسته می‌شود ولی **پایداری** مولکول دنای اولیه از بین نمی‌رود و این مولکول وظایف خود را در قسمت‌های مختلف انجام می‌دهد.

۲۰) قرارگیری جفت بازهای مکمل این ویژگی را دارد که می‌توان با دانستن ردیف بازهای یک رشتهٔ دنا، ردیف رشتهٔ مکمل آن را پیدا کرد و یا حتی رنای ساخته شده از رشته را نیز بررسی کرد. فقط دقت کنید که باز آلی آدنین، برای ساخت دنا، روبه‌روی آن باز آلی تیمین می‌آید ولی برای ساخت رنا، روبه‌روی آن باز یوراسیل قرار می‌گیرد.

تست ۴ **کدام گزینه عبارت زیر را به‌طور نامناسب کامل می‌نماید؟**

«با توجه به مطالعات و آزمایش‌های انجام شده توسط ..... می‌توان بیان داشت که .....»

۱) ایوری و همکاران ـ مادهٔ وراثتی در مواجهه با آنزیم پروتئاز توانایی انتقال صفات به باکتری بدون پوشینه را دارد.

۲) چارگاف در دنیای طبیعی ـ نسبت مجموع آدنین و تیمین به مجموع گوانین و سیتوزین تقریباً برابر با یک است.

۳) ویلکینز و فرانکلین ـ مولکول دنا ساختار مارپیچی دارد و قطعاً دارای بیش از یک رشته است.

۴) واتسون و کریک ـ ساختار مولکول دنا همانند نردبانی است که به دور محور فرضی پیچیده شده است.

پاسخ ۲ با توجه به آزمایشات چارگاف، می‌توان گفت نسبت مجموع آدنین و گوانین به مجموع تیمین و سیتوزین تقریباً برابر با یک است.

نکته: در مولکول دنا جانداران، روابط زیر برقرار است: نه در دنیای طبیعی که در آن RNA تک‌رشته‌ای و یا حتی نوکلئوتیدهای آزاد هم در آن وجود دارد.

(پورین‌ها = پیریمیدین‌ها)، (نوکلئوتیدهای آدنین‌دار = نوکلئوتیدهای تیمین‌دار) و (نوکلئوتیدهای سیتوزین‌دار = نوکلئوتیدهای گوانین‌دار)

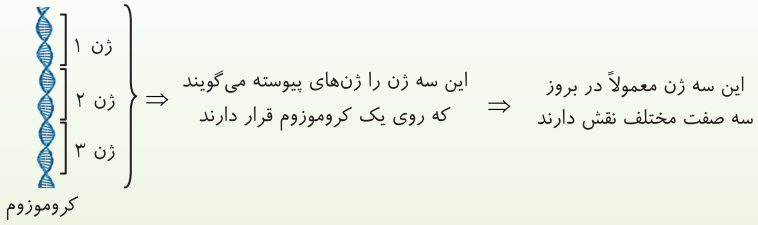
تله‌های تستی گزینهٔ (۱): چون جنس مادهٔ دنا از نوکلئوتید است، آنزیم پروتئاز (*تخریب‌کنندهٔ پروتئین‌ها*) بر آن اثری ندارد و دنا می‌تواند صفات را به باکتری‌های بدون پوشینه انتقال دهد. / گزینهٔ (۳): ویلکینز و فرانکلین با استفاده از اشعهٔ ایکس توانستند پی ببرند که مولکول دنا ساختار مارپیچی دارد و قطعاً دارای بیش از یک رشته است. / گزینهٔ (۴): واتسون و کریک در مدل پیشنهادی خود اظهار داشتند که ساختار مولکول دنا همانند نردبانی است که به دور محور فرضی پیچیده شده است.

ژن چیست؟

همان‌طور که متوجه شدید، اطلاعات وراثتی جانداران در DNA آن‌ها ذخیره شده است. از آنجایی که هر جاندار تعداد صفات و ویژگی‌های زیادی دارد، پس باید **هر قسمتی** از DNA، سبب ایجاد یک یا چند ویژگی شود. **به هر بخشی از مولکول دورشته‌ای DNA که دستورالعمل بروز صفات را در خود ذخیره کرده است، یک ژن می‌گویند.** هر کروموزوم و DNA مرتبط با آن حاوی تعداد **بسیار زیادی ژن** می‌باشد. به ژن‌های قرار گرفته روی یک کروموزوم ژن‌های **پیوسته** می‌گویند که با هم به نسل بعد یاخته یا جاندار منتقل می‌شوند. در ادامه می‌بینید که هر ژن دستورالعمل ایجاد یک صفت را ابتدا از طریق تولید یک رنا و سپس در برخی حالات با تولید **یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی** خاص انجام می‌دهد.

نکته

در فصل ۳ می‌خوانید که در برخی موارد چند ژن با هم سبب فعالیت و بروز یک صفت می‌شوند (*مثل رنگ چشم یا طول قد و...*).



نکته

دقت کنید که ژن‌ها یا DNAهای یوکاریوتی درون **هسته** قرار دارند ولی پروتئین‌سازی درون **ریبوزوم** (*رناتن*) سیتوپلاسم صورت می‌گیرد. پس نیاز به یک مولکول میانجی بین آن‌ها وجود دارد که این مولکول همان **RNA** (*رنا*) می‌باشد. در این بخش فقط به انواع RNAهای یک یاخته می‌پردازیم و در فصل‌های بعد به چگونگی ساخت آن‌ها و فعالیت‌های بیشتر آن‌ها می‌پردازیم.

RNA (رنا) و انواع آن

همان‌طور که در صفحات قبل گفتیم، RNA مولکولی **خطی** است که تک‌رشته‌ای و حاوی تعداد زیادی نوکلئوتید با پیوند فسفودی‌استری می‌باشد **که از روی بخشی از یک رشته مولکول DNA ساخته** (*رونویسی*) **می‌شود** (*فصل بعد کامل می‌خوانیم!!*).

انواع RNA:
- ۱) mRNA (رنای پیک): این نوع RNA بعد از ساخته شدن از روی **DNA**، پیام پروتئین‌سازی را از DNA به **ریبوزوم** (رناتن) می‌برد. **در حقیقت، پروتئین به‌طور مستقیم از روی توالی‌های موجود در mRNA ساخته می‌شود.**
- ۲) tRNA (رنای ناقل): این نوع RNA نیز پس از ساخته شدن از روی **DNA** وارد سیتوپلاسم شده تا **آمینواسیدها** را برای پروتئین‌سازی به رناتن منتقل کند و در حقیقت وسیله‌ای برای حمالی یک نوع آمینواسید اختصاصی می‌باشد.
- ۳) rRNA (رنای رناتنی): این نوع RNA، ابتدا از روی **DNA** در هسته ساخته می‌شود و سپس به همراه **پروتئین‌های** رناتنی سبب ساخت **زیرواحدهای کوچک و بزرگ رناتنی** می‌شوند. در حقیقت این RNA در **ساختار** رناتن‌ها نقش دارد.

نکته

علاوه بر نقش‌های ذکر شده برای RNAها، این مولکول‌ها دارای نقش **آنزیمی متعدد** و دخالت بر **تنظیم بیان ژن‌ها** را نیز بر عهده دارند. یعنی به فعال یا غیرفعال شدن ژن‌های خاص در یاخته‌های مختلف کمک می‌کنند پس در تست‌ها خیلی دقت کنید که کاتالیزگر زیستی یا آنزیم هم می‌تواند ساختار نوکلئیک اسیدی از رنا داشته باشد که مستقیماً از روی دنا ساخته شده‌اند ولی اغلب آنزیم‌ها از جنس پروتئین بوده و مستقیماً از روی اطلاعات mRNA ایجاد می‌شوند.

نکته

هر آنزیمی از هر جنسی که باشد، جایگاه فعال دارد و با کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش‌های انجام شدنی یاخته را زیاد می‌کنند ولی خود آنزیم در هر واکنش تغییر نمی‌کند.

نقش‌های مختلف نوکلئوتیدها
- ۱) شرکت در ساختار DNA با **قند** دئوکسی‌ریبوز
- ۲) شرکت در ساختار RNAها با **قند** ریبوز
- ۳) شرکت در ساختار رناتن به صورت rRNA
- ۴) به صورت **ATP** با قند ریبوز، انرژی رایج در یاخته هستند که طی تنفس یاخته‌ای و متابولیسم ایجاد می‌شوند و یاخته در فعالیت‌های مختلف خود از آن استفاده می‌کند.
- ۵) در فصل‌های ۵ و ۶ می‌خوانیم که مولکول‌هایی مثل NADH، $FADH_2$ (در تنفس یاخته‌ای) و NADPH (در فتوسنتز) حاوی انواعی از نوکلئوتیدها هستند که برای انتقال **الکترون** کارایی دارند.

تست ۵ **مولکولی با ساختار غیرپروتئینی که دارای نقش کاتالیزوری در ساختار محل پروتئین‌سازی یاخته می‌باشد، .....**

۱) نمی‌تواند در تنظیم بیان ژن نقش داشته باشد.
۲) نمی‌تواند در کنار بسپارهای دیگری قرار گرفته باشد.
۳) دارای ساختار سه‌بعدی ولی بدون جایگاه فعال می‌باشد.
۴) فاقد پیوند هیدروژنی است ولی روی DNA رمز مشخصی دارد.

پاسخ ۴ منظور سؤال برخی از مولکول‌های **RNA** می‌باشد که بدون ساختار پروتئینی، دارای نقش آنزیمی می‌باشند. این آنزیم از روی قسمتی از یک رشته DNA ساخته می‌شود و فاقد پیوند هیدروژنی است ولی در ساختار رناتن شرکت دارد (درستی گزینهٔ (۴)). RNA می‌تواند در تنظیم بیان ژن و در ساخت رناتن به همراه بسپار دیگری به نام پروتئین نقش داشته باشد (نادرستی گزینه‌های (۱) و (۲)). در مورد گزینهٔ (۳) دقت کنید که هر آنزیمی باید جایگاه فعال و ساختار سه‌بعدی داشته باشد.

درسنامه

گفتار ۲ همانندسازی DNA (دنا)

در این قسمت می‌خواهیم دربارهٔ روش زیاد شدن و کپی‌سازی DNA در یاخته صحبت کنیم و ببینیم چگونه اطلاعات DNA، بدون کم و کاست به یاخته‌های دیگر منتقل می‌شود. قطعاً **مدل واتسون و کریک** و **وجود رابطهٔ مکملی بین بازها** این امکان را ایجاد کرد که بتوان حدس زد، چگونه یک مولکول دنا قرار است به دو مولکول دختری تبدیل شود.

همانندسازی DNA: به ساخته شدن مولکول DNA جدید (دختری) از روی DNA قدیمی (مادری) همانندسازی می‌گوییم که برای آن در ابتدا سه طرح را پیشنهاد کردند: (دقت کنید که این طرح‌ها تئوری بودند و از نظر عملی در ادامه یاد می‌گیرید که فقط یکی از آن‌ها در طبیعت و یاخته صورت می‌گیرد.)

الف) همانندسازی حفاظتی

در این طرح تصور می‌کردند که دو رشتهٔ DNA مادر، **دست نخورده** باقی می‌ماند و به **یک** یاخته می‌رسد ولی یک مولکول DNA جدید با دو رشتهٔ جدید وارد یاختهٔ دیگر می‌شود. به‌طور مثال برای ردیابی مولکول‌های حاصله و تفاوت آن با نوع اولیه از بازهای آلی متفاوت استفاده می‌کنیم. مثلاً اگر DNA مادر را با نیتروژن‌های معمولی ^{14}N تصور شود و همانندسازی در محیط دارای نوکلئوتیدهایی با نیتروژن سنگین ^{15}N انجام شود، از دو مولکول حاصله یکی دارای **دو** رشتهٔ ^{14}N و یکی دارای **دو** رشتهٔ جدید با ^{15}N تشکیل می‌شوند. در این روش فرض بر این است که در دنای اولیه هیچ پیوندی شکسته نمی‌شود و فقط یکی از دناهای حاصله، هر پیوند هر دو رشتهٔ آن جدید می‌باشد. اگر این دو مولکول را وارد سانتریفیوژ کنیم دو نوار ایجاد می‌شود. یکی بالاتر برای مولکول سبک و دیگری پایین‌تر برای نمونهٔ سنگین $N=15$.

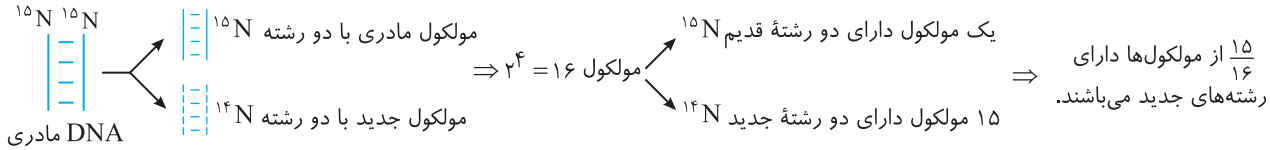
«حفاظتی»

نکته

در روش همانندسازی حفاظتی اگر n نسل در محیط دارای نوکلئوتیدهای جدید همانندسازی انجام دهیم، در نسل nام، ۲^n مولکول به دست می‌آید که همواره، یک مولکول دارای دو رشته DNA **قدیمی** مادری است و سایر مولکول‌ها دارای هر دو رشتهٔ **جدید** می‌باشند.

مثال: اگر یک مولکول DNA دارای ^{۱۵}N را در محیط معمولی ^{۱۴}N تا چهار نسل به روش حفاظتی همانندسازی کنیم، الف) در نسل چهارم چه نسبت از مولکول‌ها دارای رشته‌های جدید می‌باشند؟ ب) اگر مولکول‌های حاصله را در نسل چهارم سانتریفیوژ کنیم، چند نوار و با چه ضخامت‌هایی دیده می‌شود؟

پاسخ: الف) در این حالت $۲^۴$ یا ۱۶ مولکول به دست می‌آید که همواره یک مولکول آن هر دو رشته ۱۵ سنگین وارد ولی ۱۵ مولکول دیگر دارای دو رشته سبک ^{۱۴}N می‌باشد.



ب) چون در نسل چهارم از ۱۶ مولکول، دو نوع دنا، یکی سنگین با دو رشتهٔ ۱۵ و یکی سبک با دو رشتهٔ ۱۴ داریم، پس دو نوار در لوله تشکیل می‌شود ولی چون تعداد نوارهای سبک ۱۵ برابر است، قطر نوار تشکیل شده سبک در بالای لوله سانتریفیوژ بیشتر است.

ب) همانندسازی غیرحفاظتی (پراکنده)

در این طرح، بیان می‌شود که قطعاتی از DNA مادری در هر دو رشته از هم جدا شده و به همراه قطعاتی از رشته‌های جدید در هر مولکول جدید ایجاد می‌شوند. یعنی مثلاً اگر DNA مادری حاوی ^{۱۴}N باشد و نوکلئوتیدهای جدید از نوع ^{۱۵}N باشند، در همهٔ مولکول‌های حاصله و در همهٔ رشته‌های آن‌ها، هم بازهای ^{۱۴}N و هم ^{۱۵}N وجود دارند. پس در نسل nام آن‌ها نیز در هر یاخته، **هردو** نوع ^{۱۴}N و ^{۱۵}N وجود دارد.

«غیرحفاظتی (پراکنده)»

نکته

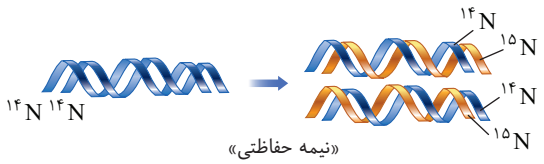
در این مدل همانندسازی، باید برخی قسمت‌های DNA قبلی با شکستن پیوند فسفودی‌استر و هیدروژنی از هم جدا شوند تا برخی قسمت‌های DNA دختری جدید در بین آن‌ها قرار گیرد. اگر مولکول‌های حاصل از این روش را سانتریفیوژ کنیم هیچ‌گاه نباید نواری کاملاً در بالای لوله یا کاملاً در پایین لوله دیده شود. چون چگالی مولکول‌ها همواره دارای بازهای ^{۱۴}N و ^{۱۵}N می‌باشد.

مثال: اگر یک مولکول DNA معمولی را در محیط دارای نوکلئوتیدهایی با نیتروژن رادیواکتیو ^{۱۵}N به روش غیرحفاظتی همانندسازی کنیم، در نسل چهارم چند مولکول حاوی نوکلئوتیدهای جدید نمی‌باشند؟

پاسخ: در همانندسازی غیرحفاظتی، همهٔ مولکول‌ها دارای نوکلئوتیدهای جدید و قدیمی می‌باشند و جواب صفر است.

ج) همانندسازی نیمه‌حفاظتی

این طرح که در حقیقت **طرح صحیح** همانندسازی در طبیعت می‌باشد، بیان می‌کند که دو رشته DNA مادری هرکدام به تدریج از دیگری جدا می‌شود و یک رشتهٔ جدید روبه‌روی آن ساخته می‌شود. در حقیقت هر مولکول DNA جدید، **یک** رشتهٔ **جدید** از روی رشتهٔ الگوی مادری ساخته است، پس دو مولکول حاصله، یک رشتهٔ قدیمی از **مادر** و یک رشتهٔ **جدید** دارند.

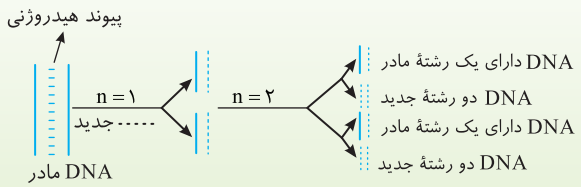


«نیمه حفاظتی»

چندنکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

۱) در این روش، پیوند فسفودی‌استر برخلاف هیدروژنی در دنای مادری شکسته نمی‌شود. در مولکول حاصله، پیوندهای هیدورژنی جدید بین رشتهٔ جدید و رشتهٔ مادری ایجاد شده و در هرکدام، یک رشته جدید با پیوند فسفودی‌استر جدید ایجاد شده است.

۲) در همانندسازی نیمه‌حفاظتی بعد از n نسل همانندسازی، همواره ۲^n مولکول DNA به دست می‌آید که همیشه **دو** مولکول آن، دارای یک رشته از مادر اولیه و یک رشتهٔ جدید می‌باشند و بقیهٔ مولکول‌ها هر دو رشتهٔ آن‌ها **جدید** است.



۳) هر سه مدل همانندسازی از اصل چارگاف تبعیت می‌کنند یعنی روبه‌روی هر باز آلی پورینی، یک باز آلی پیریمیدینی قرار می‌گیرد.

۴) مولکولی با دو رشتهٔ قدیمی (مادری) فقط در طرح حفاظتی و مولکولی با هر دو رشته، دارای نوکلئوتیدهای جدید و قدیمی در طرح غیرحفاظتی دیده می‌شود.

تست ۶ اگر دنای دارای ^{15}N بخواهد با نوکلئوتیدهای دارای ^{14}N به روش ..... همانندسازی کند، انتظار می‌رود پس از ..... همانندسازی، در لوله‌های آزمایش خارج شده از دستگاه فراگریزانه ..... (قلم‌چی)

۱) حفاظتی - یک بار - یک نوار در وسط لوله تشکیل شود.

۲) نیمه‌حفاظتی - دو بار - یک نوار در وسط لوله تشکیل شود.

۳) حفاظتی - دو بار - دو نوار یکی در بالا و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

۴) نیمه‌حفاظتی - یک بار - دو نوار یکی در وسط و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

پاسخ ۳ در روش حفاظتی، پس از دوبار همانندسازی دو نوار تشکیل می‌شود. یکی شامل دنای دورشته‌ای ^{15}N که به علت سنگین‌تر بودن در پایین لوله و دیگری نوار مربوط به دناهای دورشته‌ای ^{14}N است که به علت سبک‌تر بودن در بالای لوله قرار می‌گیرند. در این روش در وسط لوله نواری تشکیل نمی‌شود.

◄ در روش همانندسازی نیمه‌حفاظتی، در نسل اول یک نوار و در نسل دوم دو نوار در وسط و بالای لوله ایجاد می‌شود.

آزمایش مزلسون و استال برای تأیید طرح‌های همانندسازی

این دو محقق به صورت **علمی** به بررسی سه فرضیه یا طرح پیشنهادی برای مدل همانندسازی DNA پرداختند و برای تشخیص DNAهای جدید از قدیمی، از نوکلئوتیدهایی با ایزوتوپ **سنگین** ^{15}N نشانه‌گذاری شده، در نوکلئوتیدهای محیط استفاده کردند. آن‌ها سپس مولکول‌های حاصله را وارد دستگاه سانتریفیوژ با سرعت بالا کردند تا با بررسی آن‌ها پی به روش حقیقی همانندسازی دنا ببرند.

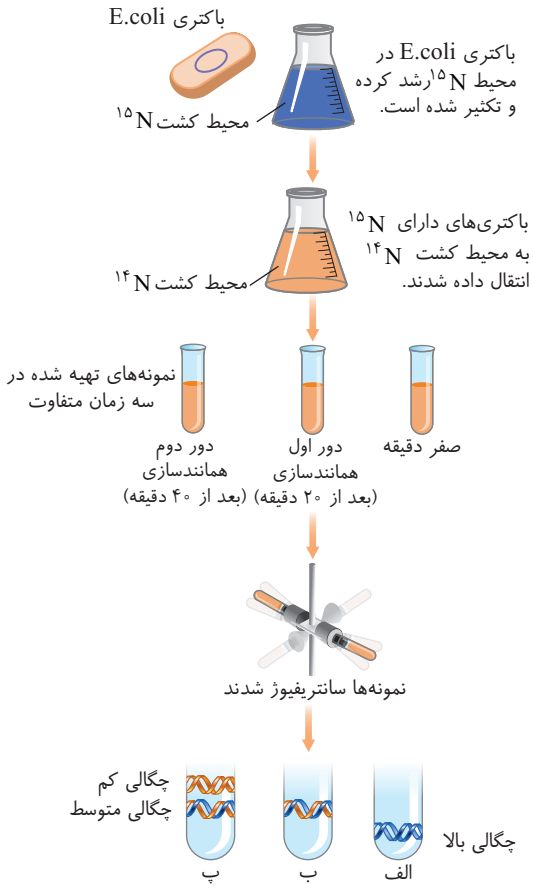
دو نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) دقت کنید که در دستگاه سانتریفیوژ سرعت بالا، هر نمونه‌ای که چگالی بیشتری داشته باشد و در واقع سنگین‌تر باشد، در بخش پایین‌تری از لوله قرار می‌گیرد. در این دستگاه DNAها را در فاصلهٔ زمانی هر ۲۰ دقیقه که مدت زمان تقسیم باکتری‌هاست استخراج می‌کنند و در محلولی حاوی **سزیم‌کلرید** در سرعت بسیار بالا سانتریفیوژ (*فراگریزانه*) می‌کنند. هر نمونه‌ای که چگالی بیشتری دارد، **پایین‌تر** قرار می‌گیرد.

(۲) تعداد نوارهای تشکیل شده بیانگر انواع نمونه‌ها می‌باشد ولی ضخامت هر نوار، بیانگر مقدار آن نمونه در مقایسه با نمونه‌های دیگر می‌باشد. هر نواری که ضخیم‌تر باشد، تعداد نمونهٔ بیشتری داشته است.

روش آزمایش مزلسون و استال

آن‌ها ابتدا باکتری‌های حاوی نوکلئوتیدهای معمولی با باز آلی حاوی ^{14}N را در محیط دارای نوکلئوتیدهای آزاد سه‌فسفاته ^{15}N کشت دادند و پس از **چندین** مرحله همانندسازی و تکثیر، متوجه شدند که **برخی** باکتری‌ها دارای DNAهایی هستند که حاوی هر دو رشته **سنگین** (^{15}N) می‌باشند. در این حالت در لوله سانتریفیوژ در لحظهٔ صفر، یک نوار در پایین لوله مربوط به نمونه‌های دارای دو رشتهٔ ^{15}N مشاهده می‌کردند. آن‌ها سپس این باکتری‌ها را در محیط کشت حاوی نیتروژن **معمولی** (^{14}N) قرار دادند. پس از حدود ۲۰ دقیقه که مدت زمان تقسیم معمولی **باکتری‌ها** می‌باشد، نسل بعد را از محیط کشت جدا کردند و سپس، DNAهای باکتری‌ها را استخراج و در محلول سزیم کلرید، با سرعت بسیار بالا آن‌ها را سانتریفیوژ (*فراگریزانه*) کردند تا آن‌ها را بررسی کنند. آن‌ها متوجه شدند که DNA باکتری‌های اولیه همگی در **انتهای لولهٔ سانتریفیوژ** و در یک خط قرار می‌گرفتند (*چون همگی حاوی DNA با نیتروژن ایزوتوپ سنگین ^{15}N بوده‌اند*). پس از ۲۰ دقیقه اول، یعنی در پایان دور اول همانندسازی، در یک نوار در میانه لولهٔ سانتریفیوژ (*گریزانه*) قرار گرفتند و DNA آن‌ها همگی چگالی **متوسطی** داشتند. در پایان ۲۰ دقیقه مطمئن شدند که روش همانندسازی از نوع حفاظتی نمی‌باشد چون در آن صورت باید دو نوار در بالا و پایین لوله تشکیل می‌شد. بعد از ۴۰ دقیقه از شروع آزمایش که نسل دوم باکتری‌ها ایجاد شدند، مزلسون و استال در لولهٔ سانتریفیوژ **دو نوار** مشاهده کردند یکی در **میانه** که حاوی DNA با چگالی **متوسط** بود و یکی نوار **بالای** لوله که حاوی DNA با چگالی **سبک** بود.



نکته

مزلسون و استال پس از بررسی نسل دوم دناها، فهمیدند که روش و طرح همانندسازی صحیح DNA، فقط به صورت **نیمه حفظ شده** می‌باشد چون اگر روش همانندسازی پراکنده یا غیرحفاظتی بود، هیچ‌گاه نباید مولکول‌هایی با چگالی کاملاً سبک در بالای لوله تشکیل می‌شد. حتماً می‌دانید دلیل این امر چیست! چون در روش غیرحفاظتی هر رشته و مولکول هم ^{14}N و هم ^{15}N دارد.

نکته

مزلسون و استال، پس از ۲۰ دقیقه و بررسی نسل اول دناها، فقط فهمیدند که روش حفاظتی صحیح نمی‌باشد ولی پس از نسل دوم و دیدن دو نوار سبک و متوسط دریافتند که روش صحیح، فقط نیمه‌حفاظتی می‌باشد.

تست ۷ **دربارهٔ آزمایش مزلسون و استال، کدام گزینه صحیح است؟** (قلم‌چی)

۱) نیتروژن موجود در بازهای آلی دناهای معمولی، به صورت ایزوتوپ ^{15}N است.

۲) باکتری‌ها قابلیت ساخت نوکلئوتیدهای آدنین‌دار با استفاده از ایزوتوپ نیتروژن موجود در محیط کشت را دارند.

۳) مولکول‌های دنای دارای ایزوتوپ نیتروژن ^{15}N نسبت به ایزوتوپ ^{14}N چگالی بیشتری دارند و در بخش بالاتر قرار می‌گیرد.

۴) سانتریفیوژ در محلول سزیم کلرید سبب شد که مولکول‌های دنا از باکتری خارج شوند و بر اساس چگالی در محیط حرکت کنند.

پاسخ ۲ دقت کنید باکتری‌ها هنگامی که در محیط کشت دارای ایزوتوپ نیتروژن ^{15}N قرار گرفتند، توانستند این نیتروژن را وارد بازهای آلی خود کنند (*بازهای آلی جدید بسازند*) و بدین ترتیب مولکول دنا با وزن مولکولی بیشتر ساخته شد.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): نیتروژن موجود در دناهای معمولی ایزوتوپ ^{14}N است. / گزینهٔ (۳): دقت کنید مولکول‌های دارای ایزوتوپ ^{15}N نسبت به مولکول‌های دارای ایزوتوپ ^{14}N، سنگین‌تر هستند و چگالی بیشتری دارند و در نتیجه در بخش پایین‌تری از لولهٔ آزمایش سانتریفیوژ قرار می‌گیرد. / گزینهٔ (۴): دنا را ابتدا از یاخته‌ها خارج می‌کنند و در محلول سزیم کلرید قرار می‌دهند و سانتریفیوژ می‌کنند.

تست ۸ **اگر یک مولکول DNA دارای چگالی متوسط را در محیط دارای بازهای آلی ^{15}N تا دو نسل همانندسازی ..... انجام دهیم، در لولهٔ سانتریفیوژ شده با سرعت بالای حاصله، ..... نوار در ..... لوله ایجاد می‌شود.**

۱) نیمه‌حفاظتی - دو - وسط و پایین ۲) غیرحفاظتی - یک - بالای ۳) حفاظتی - دو - وسط و بالای ۴) نیمه‌حفاظتی - یک - وسط

پاسخ ۱ در این سؤال خیلی دقت کنید چون DNA اولیه یا مادری از ابتدا **چگالی متوسط** داشته است یعنی یک رشتهٔ ^{14}N و یک رشتهٔ ^{15}N داشته است و می‌خواهد دو نسل در محیط ^{15}N همانندسازی کند.

مولکول اولیه	مدل همانندسازی	نسل اولیه	لولهٔ سانتریفیوژ نسل اول	نسل دوم	لولهٔ سانتریفیوژ نسل دوم
^{15}N ^{14}N DNA متوسط مادری	حفاظتی	۱۵ ۱۴ متوسط ۱۵ ۱۵ سنگین	متوسط سنگین	متوسط سنگین سنگین سنگین	نوار متوسط نازک نوار قطور برای سنگین‌ها
	نیمه‌حفاظتی	۱۵ ۱۵ سنگین جدید مادر متوسط جدید مادر	متوسط سنگین	سنگین سنگین سنگین متوسط	نوار متوسط نازک نوار سنگین قطور
	غیرحفاظتی	متوسط متوسط	نوار متوسط		نوار متوسط قطور

نکته مهم

اگر مولکول اولیه که همانندسازی می‌کند مولکولی با چگالی متوسط باشد، نوع همانندسازی نیمه‌حفاظتی و حفاظتی نتایج یکسانی دارد. (*البته این تست زیاد اهمیت کنکوری ندارد و بیشتر جنبهٔ تفهیم و تفاوت مدل‌ها و طرح‌های همانندسازی را بیان می‌کند.*)

همانندسازی دنا

پس از اینکه مطمئن شدند که روش همانندسازی دنا، نیمه‌حفاظتی است، این سؤال پیش آمد که آیا دو رشته دنا کاملاً از هم جدا می‌شود و سپس همانندسازی شروع می‌شود یا این عمل به تدریج رخ می‌دهد تا پایداری مولکول حفظ شود؟ در ابتدا به بررسی عوامل مورد نیاز برای همانندسازی دنا می‌پردازیم:

عوامل مورد نیاز برای همانندسازی DNA

● ۱) مولکول DNA الگو

کل هر دو رشتهٔ DNA اولیه در همانندسازی نقش **الگو** را دارد.

● ۲) واحد سازنده

برای ساخت دنا، نوکلئوتیدهایی **سه**فسفاته **داخل** یاخته با قند **دئوکسی**ریبوز نیاز می‌باشند که طی همانندسازی، **ابتدا** دو گروه فسفات با شکسته شدن پیوند اشتراکی از دست داده و سپس به صورت یک‌فسفاته در رشته قرار می‌گیرد تا یک رشته از هر دو مولکول DNA جدید (*دختری*) ساخته شود.

● ۳) آنزیم‌ها (انواعی از آنزیم‌ها مورد نیاز است که دو نوع اصلی آن‌ها به صورت زیر می‌باشد.)

الف) هلیکاز: ابتدا **مارپیچ** DNA را باز کرده و سپس پیوندهای **هیدروژنی** دو رشتهٔ DNA را به تدریج باز می‌کند.

ب) DNA پلیمراز (دنابسپاراز): وظیفهٔ ساخت یا عمل بسپارازی رشتهٔ پلی**نوکلئوتید** جدید و عمل **ویرایش** (*نوکلئازی*) دارد.

مراحل همانندسازی DNA

قبل از شروع همانندسازی DNA (*که برای کروموزوم‌های هسته در ابتدای مرحلهٔ S اتفاق می‌باشد!*) ابتدا باید به کمک **آنزیم‌هایی** پیچ‌وتاب دنا باز شود و در یوکاریوت‌ها، هیستون‌ها و سایر **پروتئین**‌های اطراف DNA که سبب فشردگی آن شده بودند را در کروموزوم‌ها جدا کنند، سپس سایر آنزیم‌های اصلی شروع به همانندسازی می‌کنند.

در هر مولکول DNA، محل یا محل‌هایی **اختصاصی** وجود دارد که به آن‌ها نقاط شروع همانندسازی می‌گوییم. آنزیم(*های*) **هلیکاز** می‌توانند این محل‌ها را شناسایی کنند. ابتدا مارپیچ یا نردبان DNA را از هم باز می‌کنند و سپس با شکستن پیوندهای **هیدروژنی**، بخشی از دو رشتهٔ DNA را از هم فاصله می‌دهند. وقتی در اثر عمل هر آنزیم هلیکاز، قسمتی از دو رشتهٔ DNA از یکدیگر جدا شوند، **یک** قسمت Y مانند به نام **دوراهی همانندسازی** ایجاد می‌شود. **در محل هر دوراهی همانندسازی، دو رشتهٔ DNA از هم جدا شده است و یک آنزیم هلیکاز وجود دارد.** در این حالت در هر دوراهی، **دو** آنزیم DNA پلیمراز (*دنابسپاراز*) نوکلئوتیدهای جدید را مقابل هر دو رشتهٔ الگو قرار می‌دهند.

چندنکتهٔ بسیار مهم در حل تست‌ها

«همانندسازی دنا»

(۱) هر نوکلئوتید سه‌فسفاته ابتدا به صورت خودبه‌خودی با پیوندهای هیدروژنی به نوکلئوتید دارای باز آلی روبه‌رو و مکمل خود در رشتهٔ الگو قرار می‌گیرد، پس دنابسپاراز با شکستن پیوند اشتراکی پرانرژی بین فسفات‌ها، **دو فسفات** نوکلئوتید جدید را از آن جدا می‌کند و سپس با اتصال به گروه هیدروکسیل نوکلئوتید **قبلی** یک پیوند کووالانسی **فسفودی‌استر** را کامل می‌کند. سپس نوکلئوتید بعدی می‌آید و پیوند فسفودی‌استر جدیدی تشکیل می‌شود. به همین ترتیب هلیکاز از جلوی دوراهی، دو رشتهٔ DNA **اولیه** را از هم جدا کرده و **هم‌زمان** دنابسپازها در حال ساخت دو رشتهٔ DNA جدید روبه‌روی رشته‌های مادری می‌باشند. این عمل تا رسیدن به انتهای مولکول DNA انجام می‌شود. همانندسازی در هر نقطهٔ شروع، معمولاً از هر **دو طرف** این نقطه شروع می‌شود. یعنی معمولاً به ازای هر نقطهٔ شروع همانندسازی، **دو** آنزیم هلیکاز فعال می‌شود و دو دوراهی همانندسازی ایجاد می‌شود و سپس چهار دنابسپاراز، برای آن دو جهت مشغول فعالیت می‌شود.

(۲) طی همانندسازی، هلیکاز روی هر دو رشتهٔ دنای الگو قرار می‌گیرد ولی دنابسپاراز روی فقط یک رشتهٔ دنای مادر که می‌خواهد همانندسازی کند قرار می‌گیرد تا رشتهٔ مکمل را بسازد.

(۳) **هنگام** اضافه شدن هر نوکلئوتید سه‌فسفاته به انتهای رشتهٔ در حال ساخت، دنابسپاراز دو تا از فسفات‌های آن را جدا کرده و نوکلئوتید جدید به صورت تک‌فسفاته در حال اتصال به رشته باقی می‌ماند پس می‌توان نتیجه گرفت که دنابسپاراز مقدار فسفات‌های آزاد یاخته را زیاد کرده ولی از مقدار نوکلئوتیدهای آزاد سه‌فسفاته می‌کاهد.

(۴) به‌جز هلیکاز، برای ساخت رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی جدید، **انواعی** از آنزیم‌ها با یکدیگر همکاری دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها **دنابسپاراز** می‌باشد.

(۵) یاخته‌های فاقد دنا (*گویچهٔ قرمز*) یا یاخته‌های مثل اغلب یاخته‌های عصبی و یا لنفوسیت‌های عمل‌کننده (*پلاسموسیت و T کشنده*) چون توانایی تقسیم ندارند، دنای خطی آن‌ها همانندسازی ندارد.

۶ در شکل زیر مشاهده می‌شود که در محل دوراهی همانندسازی، حتی نوکلئوتید یوراسیل‌دار هم ممکن است وجود داشته باشد ولی در همانندسازی از آن استفاده نمی‌شود.

ویرایش

فرایند همانندسازی DNA به دلیل خاصیت رابطهٔ مکملی و جفت بودن بازهای آلی با **دقت** زیادی توسط دنابسپاراز انجام می‌شود و معمولاً نوکلئوتید مناسب با باز آلی مناسب روبه‌روی الگو قرار می‌گیرد. در برخی موارد نیز نوکلئوتید ورودی ممکن است مکمل مناسبی با رشتهٔ الگو نباشد، ولی دنابسپاراز پیوند فسفودی‌استر را با نوکلئوتید قبلی آن برقرار **می‌کند**. دنابسپاراز همواره خیلی وسواس است، یعنی وقتی **هر** نوکلئوتید جدید را به قدیمی وصل کرد، **یک‌بار دیگر برمی‌گردد** و کار خود را بازبینی می‌کند. اگر نوکلئوتید قرار داده شده **بازآلی نامناسبی** داشته باشد، خود دنابسپاراز با عمل نوکلئازی (*هیدرولازی*) پیوند **فسفودی‌استر** را شکسته و دوباره نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی الگو قرار می‌دهد. به این عمل که سبب تصحیح اشتباه در همانندسازی DNA می‌شود، **ویرایش** می‌گوییم.

نکته

اگر ویرایش صورت نگیرد و اشتباه پایدار بماند، **جهش** ایجاد شده است که می‌تواند سبب ایجاد بیماری‌های ژنتیکی شود (*فصل ۴*).

اعمال دنابسپاراز
- ۱) انتقال نوکلئوتید مناسب روبه‌روی الگو و شکستن پیوند اشتراکی پرانرژی بین گروه‌های فسفات
- ۲) برقرار کردن پیوند اشتراکی **فسفودی‌استر** در یک رشته دنا طی همانندسازی ← فعالیت **پلیمرازی** (*بپرازی*)
- ۳) شکستن پیوند **فسفودی‌استر** کووالانسی در ویرایش ← فعالیت **نوکلئازی**

اعمال هلیکاز
- ۱) شناسایی نقطه یا نقاط شروع همانندسازی به‌طور **اختصاصی**
- ۲) باز کردن **مارپیچ** DNA
- ۳) باز کردن **تدریجی** دو رشتهٔ DNA با شکستن پیوند **هیدروژنی**

باز کردن
- **پیچ‌وتاب** دنا و هیستون‌ها ← کار آنزیم‌های ناشناس قبل از شروع همانندسازی
- **مارپیچ** دنا ← کار هلیکاز در ابتدای همانندسازی است.

تست ۹ **کدام عبارت زیر در مورد همانندسازی دنا نادرست است؟** (قلم‌چی)

۱) در شرایطی می‌توان در ساختار دنا، در مقابل نوکلئوتید آدنین‌دار، نوکلئوتید سیتوزین‌دار مشاهده کرد.

۲) باز شدن مارپیچ دنا، در نهایت منجر به شکل‌گیری ساختارهای Y مانندی می‌شود که دوراهی همانندسازی نام دارند.

۳) نواحی در حال همانندسازی در یوکاریوت‌ها می‌توانند دارای اندازه‌های متفاوتی باشند.

۴) تعداد و طول حباب‌های همانندسازی تشکیل شده در مرحلهٔ مورولا نسبت به مرحلهٔ پس از تشکیل اندام‌ها بیشتر است.

پاسخ ۴ هر چه تعداد حباب‌ها بیشتر باشد، با توجه به ثابت بودن طول دنا، طول نواحی در حال همانندسازی در حباب‌ها **کاهش** خواهد یافت. در مراحل مورولا و بعد بلاستولا، نسبت به مرحله پس از تشکیل اندام سرعت تقسیم زیاد است و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی هم زیاد است.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): در صورتی که آنزیم دنابسپاراز دچار اشتباه شود، این اتفاق می‌تواند مشاهده شود. / گزینهٔ (۲): به دنبال باز شدن مارپیچ دنا، ابتدا دو رشتهٔ دنای الگو از هم باز می‌شوند و در نهایت ساختارهای Y مانندی شکل می‌گیرند که دوراهی‌های همانندسازی نام دارند. / گزینهٔ (۳): طبق شکل کتاب درسی کاملاً صحیح است.

تست ۱۰ **پس از شروع همانندسازی DNA ، کدام‌یک از اعمال زیر زودتر اتفاق می‌افتد؟**

۱) تشکیل پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل
۲) جدا شدن هیستون‌ها از DNA اصلی
۳) تجزیهٔ پیوند اشتراکی
۴) تشکیل پیوند فسفودی‌استر

پاسخ ۱ در همانندسازی DNA به ترتیب اعمال زیر اتفاق می‌افتد:

۱) قبل از شروع همانندسازی، باید پروتئین‌های اطراف DNA مثل هیستون‌ها جدا شوند.

۲) در شروع همانندسازی، ابتدا توسط هلیکاز مارپیچ DNA باز شده و سپس با تجزیهٔ پیوند هیدروژنی، دو رشته DNA الگو از هم جدا می‌شوند و دوراهی همانندسازی ایجاد می‌شود.

۳) سپس آنزیم‌های دنابسپاراز، نوکلئوتیدهایی با بازهای مناسب را روبه‌روی دو رشته الگو قرار می‌دهند.

۴) ابتدا بین بازهای مکمل نوکلئوتیدهای جدید با رشتهٔ مادری پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود.

۵) با ورود نوکلئوتیدهای بعدی، آنزیم دنابسپاراز باعث تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین گروه‌های فسفات و قند می‌شود.

۶) در صورت ورود نوکلئوتید نامناسب، خود دنابسپاراز برمی‌گردد و با تجزیهٔ پیوند فسفودی‌استر، نوکلئوتید نامناسب را برداشته و نوع مناسب را قرار می‌دهد که به آن ویرایش می‌گویند.

نکته

دقت داشته باشید که **تشکیل** پیوند هیدروژنی **همواره** به صورت **خودبه‌خود** بین بازهای آلی مکمل در دو مولکول می‌تواند رخ دهد ولی برای **شکستن** آن اگر تعداد زیادی شکسته شود، نیاز به **آنزیم** دارد. مثلاً هلیکاز شروع به شکستن این پیوند در شروع همانندسازی می‌کند ولی در فرایند **ویرایش** ضمن شکسته شدن پیوندهای فسفودی‌استر، در ادامه پیوند هیدروژنی **خودبه‌خود** تجزیه می‌شود و نیازی به آنزیم ندارد.

مقایسهٔ همانندسازی DNA در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

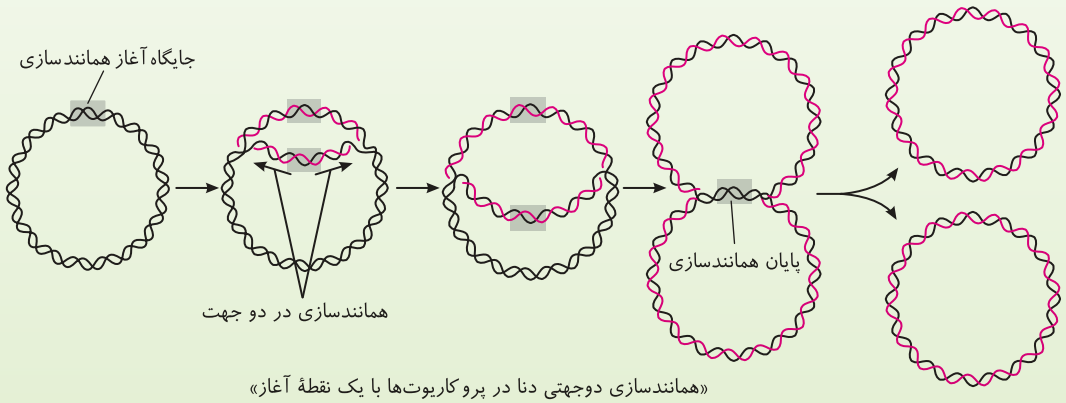
همانندسازی، عملی در **سیتوپلاسم** پروکاریوت‌ها، **هستهٔ** یوکاریوت‌ها و همچنین در سیتوپلاسم یوکاریوت‌ها یعنی در برخی اندامک‌ها مثل **میتوکندری** (*راکیزه‌ها*) و **پلاست‌ها** (*ریبه‌ها*) می‌باشد. **اغلب پروکاریوت‌ها فقط یک نقطهٔ** آغاز همانندسازی و به صورت **اختصاصی** دارند و معمولاً همانندسازی **دوجهته** با **دو دوراهی** همانندسازی دارند. در یوکاریوت‌ها تعداد نقاط آغاز همانندسازی **زیاد** است و همواره **به صورت دوجهته** می‌باشد. البته با اینکه اصول کلی همانندسازی آن‌ها مشابه است ولی همانندسازی یوکاریوت‌ها به دلیل مقدار **زیاد** DNA و قرارگیری در **چند** کروموزوم، **بسیار** پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها می‌باشد.

نکته

در پروکاریوت‌ها:
- برای هر مولکول DNA ، **اغلب**، فقط **یک** نقطهٔ آغاز اختصاصی وجود دارد و یک **حباب** همانندسازی ایجاد می‌شود.
- ممکن است یک باکتری علاوه بر DNA اصلی حلقوی تعدادی هم DNA کمکی حلقوی به نام پلازمید (*ریک*) داشته باشد.
- اگر همانندسازی **یک‌جهته** باشد، نقطهٔ پایان، **روی** نقطهٔ آغاز است و **یک** دوراهی دارند (*در این حالت یک هلیکاز و دو دنابسپاراز نیز است*).
- همانندسازی **دوجهته** می‌باشد و نقطهٔ پایان **روبه‌روی** نقطهٔ آغاز است یعنی **دو دوراهی** ایجاد می‌شود.
- DNA اصلی پروکاریوت‌ها درون **سیتوپلاسم** است و به **غشای پلاسمایی** یاخته متصل است ولی پلازمیدها (*ریک‌ها*) در سیتوپلاسم قرار دارند و به غشای یاخته متصل نیستند.
- دیسک‌ها، دنای **حلقوی** هستند که معمولاً در پروکاریوت‌ها می‌باشند. این مولکول ویژگی‌های جدیدی مثل افزایش مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها (*پادزیست‌ها*) را به باکتری اضافه می‌کند (*فصل ۷*).

نکته مهم

در طی همانندسازی دناهای حلقوی، دو دوراهی همانندسازی ابتدا از هم دور می‌شوند و سپس دوباره به هم نزدیک شده تا در مقابل نقطه آغاز به هم برسند.



«همانندسازی دوجهتی دنا در پروکاریوت‌ها با یک نقطهٔ آغاز»

یادآوری

در یوکاریوت‌ها و پروکاریوت‌ها ابتدا هلیکاز یا هلیکازها، نقطه یا نقاط آغاز همانندسازی را پیدا می‌کنند. سپس پیوندهای هیدروژنی بخشی از دو رشتهٔ DNA را باز کرده و در آخر دنابسپارازهای هر دوراهی همانندسازی، نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی رشته الگو قرار می‌دهند و با تشکیل پیوند فسفودی‌استر جلو می‌روند تا به نقطهٔ پایان برسند.

تعریف ویرایش: اگر طی همانندسازی، نوکلئوتید نامناسب روبه‌روی الگو قرار گیرد، پس از هر پیوند فسفودی‌استر، خود **دنابسپاراز** برمی‌گردد و با قطع پیوند فسفودی‌استر، نوکلئوتید نامناسب را برداشته و نوکلئوتید مناسب را روبه‌روی آن می‌گذارد *(اگر به ندرت ویرایش انجام نشود و اشتباه پایدار بماند به آن جهش می‌گوییم).*

چندنکتهٔ ترکیبی مهم در طرح تست‌ها

۱) پس از تشکیل هر دوراهی همانندسازی:
- ۱) پیوند پرانرژی اشتراکی بین فسفات‌ها می‌شکنند.
- ۲) پیوند هیدروژنی بین بازهای آلی، خودبه‌خود تشکیل می‌شود.
- ۳) پیوند اشتراکی فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدها برقرار می‌شود.
- ۴) در صورت خطا، پیوند اشتراکی فسفودی‌استر شکسته می‌شود.
- ۵) نوکلئوتید جدید دوباره در رشته قرار می‌گیرد.

۲) چون در همانندسازی DNA، همواره هر مولکول DNA حاصله، یک رشته از DNA مادر و یک رشتهٔ جدید دارد، به این روش، **نیمه حفظ شده** *(نیمه‌حفاظتی)* گوییم. در حقیقت از دو رشتهٔ هر مولکول دنا، فقط یک رشتهٔ آن طی آخرین همانندسازی تشکیل شده است.

۳) در همانندسازی DNA یوکاریوت‌ها، دوراهی‌های همانندسازی به تدریج **از هم دور** می‌شوند تا در انتها در پایان همانندسازی هر دو دوراهی مجاور هم به یکدیگر برسند. در هر دوراهی همانندسازی یک آنزیم هلیکاز و دو آنزیم **دنابسپاراز** مورد نیاز است.

«همانندسازی دنا»

نکات تکمیلی بسیار مهم در این گفتار

۱) کروموزوم اصلی **همهٔ** پروکاریوت‌ها *(باکتری‌ها)*، به صورت **یک مولکول حلقوی** می‌باشد که دو سر رشته‌های پلی‌نوکلئوتید آن‌ها با پیوند **فسفودی‌استر** به هم متصلند. این مولکول در سیتوپلاسم یاخته قرار دارد و به **غشای** یاخته متصل است.

۲) در **برخی** پروکاریوت‌ها علاوه بر DNA اصلی، مقداری DNA دیگر به نام پلازمید *(ریک)* وجود دارد که اطلاعات آن‌ها سبب ایجاد ویژگی‌های بیشتری در میزبان *(باکتری)* می‌شود، مثلاً باعث افزایش مقاومت باکتری‌ها در برابر **آنتی‌بیوتیک‌ها** می‌شوند *(فصل ۷)*.

۳) یوکاریوت‌ها *(جانوران، گیاهان، قارچ‌ها و آغازیان)* در کروموزوم‌های **هستهٔ** خود علاوه بر DNA خطی، حاوی پروتئین‌هایی بوده که مهم‌ترین آن‌ها به نام **هیستون** می‌باشند. **پروتئین‌ها**، سبب فشردگی دنا می‌شوند.

۴) ژنوم یوکاریوت‌ها:
- DNA هسته‌ای ← به صورت **خطی** و همراه پروتئین‌هایی مانند هیستون می‌باشد.
- DNA سیتوپلاسمی ← به صورت **حلقوی** و بدون همراهی پروتئین‌ها در **راکیزه‌ها** و **دیسه‌ها** دیده می‌شود.

۵) **اغلب** پروکاریوت‌ها **فقط** یک نقطهٔ اختصاصی برای آغاز همانندسازی دارند که معمولاً به صورت دوجهته توسط دو هلیکاز پیوندهای هیدروژنی آن‌ها باز می‌شود *(معمولاً همانندسازی دوجهته دارند و نقطهٔ پایان آن روبه‌روی نقطهٔ آغاز قرار دارد)*.

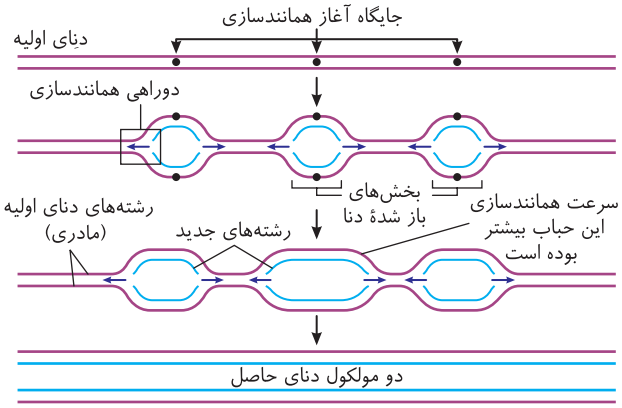
۶) همانندسازی DNA در یوکاریوت‌ها، به دلیل کروموزوم‌های **متعدد** و طویل، **بسیار پیچیده‌تر** از پروکاریوت‌هاست. چون هر DNA کروموزومی آن‌ها، از هر DNA پروکاریوتی بسیار **طویل‌تر** است، پس اگر در یوکاریوت‌ها نیز فقط یک نقطهٔ آغاز وجود داشت، زمان همانندسازی بسیار طولانی می‌شد.

۷) وجود تعداد زیاد نقاط شروع همانندسازی در یوکاریوت‌ها، سبب افزایش **سرعت** همانندسازی در آن‌ها شده است.

۸) در یوکاریوت‌ها، مرحله‌های مختلف **رشد و نمو** جاندار در تعداد نقاط همانندسازی آن‌ها مؤثر است. به‌طور مثال ممکن است ابتدا یک دنا تعدادی نقطهٔ آغاز داشته باشد ولی همراه با افزایش سرعت تقسیم یاخته‌ای، نقاط شروع همانندسازی نیز **زیاد** شوند و با کاهش سرعت تقسیم یاخته، تعداد نقاط شروع نیز **کاهش** یابند. *(پس نتیجه می‌گیریم که در یوکاریوت‌ها، برحسب نیاز یاخته و سرعت تقسیم یاخته‌ای، تعداد نقاط شروع همانندسازی تغییر می‌کند.)*

۹) در دوران جنینی در مراحل **مورولا** (۱۶ یاخته‌ای به صورت کرهٔ توپر در لولهٔ فالوپ) و مرحلهٔ بلاستوسیست (بلاستولا) که سرعت تقسیم یاخته‌ای **زیاد** است، تعداد نقاط آغاز همانندسازی یاخته نیز بسیار زیاد می‌شود ولی **پس** از تشکیل اندام‌ها و تمایز آن‌ها سرعت تقسیم و نقاط آغاز **کم** می‌شود.

۱۰) در شکل مقابل، مشاهده می‌کنید که **سه** نقطهٔ آغاز همانندسازی به صورت دوجهته در DNA یوکاریوتی وجود دارد. در این تصویر **۶** دوراهی همانندسازی، **۶** هلیکاز و **۱۲** آنزیم دنابسپاراز هم‌زمان در حال فعالیت برای ساخت **دو** مولکول DNA به روش **نیمه**حفاظتی می‌باشند.



«همانندسازی در یوکاریوت‌ها»

نکته

تعداد نقاط همانندسازی ×۲= تعداد دوراهی‌های همانندسازی ← (در حالت همانندسازی دوجهته)

تست ۱۱ **کدام عبارت قطعاً دربارهٔ همهٔ جاندارانی که در حین همانندسازی دنا، دوراهی‌های همانندسازی هم می‌توانند از هم دور شوند و هم می‌توانند نزدیک شوند، به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) تعداد دوراهی‌های همانندسازی کمتر از تعداد نقاط شروع همانندسازی است.

۲) در این جانداران نمی‌توان رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی مشاهده کرد که دارای دو سر متفاوت است.

۳) به هر نوع نوکلئیک اسید دارای قند دئوکسی‌ریبوز در این یاخته، چند نوع پروتئین می‌تواند متصل شود.

۴) قبل از تقسیم یاخته‌ای، آنزیم‌های هلیکاز، پیچ‌وتاب‌های مولکول‌های DNA را باز کرده و ساختارهای Y شکل ایجاد می‌کنند.

پاسخ ۳ دقت کنید که هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها، دوراهی‌های همانندسازی می‌توانند به هم نزدیک و یا در برخی مواقع از هم دور شوند (در پروکاریوت‌ها ابتدا دور و سپس نزدیک می‌شوند). به مولکول‌های دنا انواع مختلفی از پروتئین‌ها مثل آنزیم‌های مؤثر در رونویسی و همانندسازی متصل می‌شود.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): معمولاً به ازای هر نقطهٔ شروع، دو دوراهی وجود دارد. / گزینهٔ (۲): در مورد دنای خطی و رنا نادرست است. / گزینهٔ (۴): پیچ‌وتاب دنا را هلیکاز باز نمی‌کند.

تست ۱۲ **کدام موارد، عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کنند؟ «دربارهٔ هر یاختهٔ دارای بیش از یک فام‌تن اصلی می‌توان گفت که .....»** (قلم‌چی)

الف) در گروهی از دناها، دوراهی‌های همانندسازی یک نقطهٔ شروع همانندسازی به هم نزدیک می‌شوند.

ب) در ابتدای مرحلهٔ تقسیم چرخهٔ یاخته‌ای، دارای تعداد نقاط آغاز همانندسازی بیشتری است.

ج) برای افزایش سرعت همانندسازی تعداد دوراهی‌های همانندسازی در هر نقطهٔ آغاز، بیشتر نمی‌شود.

د) علاوه بر مولکول دنا، مولکول رنا نیز در ذخیره و انتقال اطلاعات یاخته دارای نقش است.

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

پاسخ ۱ فقط عبارت (ب) به نادرستی تکمیل می‌کند.

تله‌های تستی الف) در دنای حلقوی، دوراهی‌های همانندسازی یک نقطهٔ آغاز، ابتدا از هم دور و سپس به هم نزدیک می‌شوند. یوکاریوت‌ها در راکیزه و سبزدیسه می‌توانند دنای حلقوی داشته باشند.

ب) طبق متن کتاب زیست‌شناسی ۳ باید گفته شود: «ابتدای تقسیمات یاخته‌ای» چون همان‌طور که از کتاب یازدهم یادمان هست، مرحلهٔ تقسیم چرخهٔ یاخته‌ای در هر صورت پس از همانندسازی انجام می‌شود.

ج) تعداد نقاط آغاز همانندسازی در یوکاریوت‌ها وقتی به سرعت همانندسازی بالاتری نیاز است بیشتر می‌شود و تعداد دوراهی‌ها همان ۲ عدد در هر نقطهٔ آغاز باقی می‌ماند.

د) طبق متن کتاب زیست‌شناسی ۳ درست است.

درسنامه

گفتار ۳ پروتئین‌ها

نوعی از مولکول‌های آلی می‌باشند که همگی به‌طور مستقیم از روی **mRNA** و غیرمستقیم از روی رمزهای **DNA** ساخته می‌شوند. این مولکول‌ها نقش بسیار مهمی در **فرایندهای یاخته‌ای** دارند. در این بخش می‌خواهیم به بررسی ساختار و انواع پروتئین‌ها و شناخت فعالیت‌های آن‌ها در بدن جانداران بپردازیم.

نکته

درون یاخته DNA و RNA مسئول **ذخیرهٔ** اطلاعات و **انتقال** آن‌ها هستند ولی پروتئین‌ها به انجام فرایندها کمک می‌کنند.

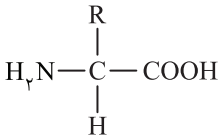
نکات ساختار پروتئین‌ها و آمینواسیدها

۱) پروتئین‌ها، پلیمرهایی **خطی** از تعدادی **آمینواسید** می‌باشند که کربن، هیدروژن، اکسیژن و **نیتروژن** در ساختار **همهٔ** آن‌ها وجود دارد.

۲) واحد سازندهٔ پروتئین‌ها، آمینواسیدها می‌باشند که با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به نام پپتیدی به هم متصل می‌شوند. نوع، تعداد و **ترتیب خاص** آمینواسیدها در پروتئین‌ها، **ساختار و عمل** آن را مشخص می‌کند.

۳) هر آمینواسید، حاوی یک گروه آمینی $(-NH_2)$ و یک گروه اسیدی کربوکسیل $(-COOH)$ می‌باشد که به کربن مرکزی مولکول متصل هستند. این کربن، از یک طرف به هیدروژن و از طرف دیگر به **گروه R** نیز متصل می‌باشد. **گروه R سبب ایجاد آمینواسیدهای متنوع می‌شود و خصوصیات هر آمینواسید به گروه R آن بستگی دارد.**

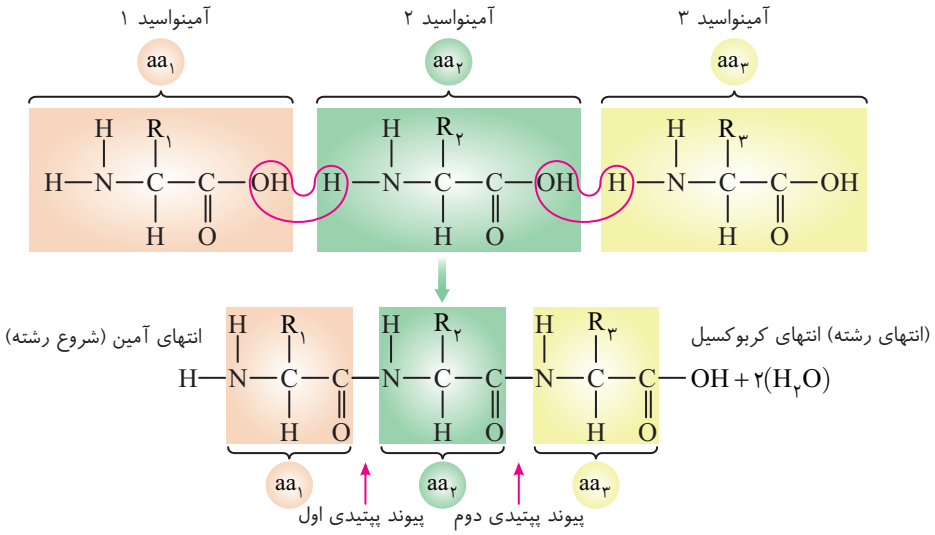
۴) هر مولکول آمینواسید و ماهیت **شیمیایی** گروه R آن، در **شکل‌دهی به پروتئین‌ها** نقش دارد.



«ساختار عمومی یک آمینواسید»

پیوند پپتیدی

در ابتدا باید بدانیم که هر مولکول آمینواسیدی وقتی در **محیط آبی** (یاخته) قرار می‌گیرد، گروه آمینی آن دارای بار مثبت و گروه کربوکسیل آن حاوی بار منفی می‌شود. این دو گروه باردار شده، خاصیت این را دارند که به قسمت دارای بار متفاوت در آمینواسید دیگری نزدیک شوند و با آزاد کردن **یک مولکول آب** سبب اتصال دو آمینواسید شوند. در این واکنش که **سنتز آبدهی** نام دارد، گروه OH در $-COOH$ (عامل اسیدی) و یک **اتم هیدروژن** از گروه $-NH_2$ (عامل آمینی) جدا شده و سبب تولید یک مولکول آب می‌شود. پس بین دو آمینواسید یک پیوند اشتراکی $(CO-NH)$ **به نام پیوند پپتیدی** ایجاد می‌شود و در نتیجه یک دی‌پپتید ساخته می‌شود. سپس یک آمینواسید دیگر می‌تواند به دی‌پپتید متصل شده و تعداد پیوندهای پپتیدی را زیاد کند و به همین ترتیب یک رشتهٔ پلی‌پپتید ساخته می‌شود. همواره به یاد داشته باشید که می‌گویید آمینواسید، یعنی ابتدا به آمین و سپس به اسید اشاره می‌کنید. سپس در رشته پلی‌پپتید نیز آمینواسید اول، سر آمینی آزاد و آمینواسید آخر، گروه اسیدی یا کربوکسیل آزاد دارد.



«تشکیل پیوند پپتیدی»

چند نکتهٔ مهم در بررسی تست‌ها

(۱) هر رشتهٔ پلی‌پپتید از تعدادی آمینواسید **به صورت خطی و بدون شاخه یا انشعاب** ایجاد شده است، ولی یک **پروتئین** از یک یا چند رشتهٔ پلی‌پپتید **بلند** و **بدون** شاخه تشکیل شده است که در ادامه تفاوت ساختار آن‌ها را با هم بررسی می‌کنیم.

(۲) گروه R و H متصل به کربن مرکزی در تشکیل پیوند پپتیدی نقشی ندارند.

(۳) هر پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها دارد که با جدا کردن آن‌ها طی روش‌های شیمیایی می‌توانیم نوع واحد سازنده آن‌ها را شناسایی کنیم.

انواع آمینواسیدها:
- ۱) در طبیعت انواع گوناگونی دارند.
- ۲) فقط **۲۰** نوع آن‌ها در ساختار **پروتئین‌ها** به کار می‌روند و روی DNA **رمز** دارند.

انواع سطوح مختلف ساختاری در پروتئین‌ها

با توجه به اینکه **شکل فضایی هر پروتئین**، سبب **نوع عمل** آن‌ها می‌شود، محققین با استفاده از اشعهٔ ایکس و بررسی تصاویر آن، به همراه روش‌های دیگر به **ساختار سه‌بعدی** پروتئین‌ها پی بردند. با این بررسی‌ها، **جایگاه هر اتم** را نیز در مولکول‌های پروتئینی می‌توانند مشخص کنند.

نکته

ساختار پروتئین‌ها به **چهار** صورت می‌باشد که **هر ساختار** مبنای تشکیل **ساختار بعدی** (*بالاتر*) آن می‌باشد. در نظر داشته باشید که اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد، **میوگلوبین** بود. این پروتئین، دارای **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی به همراه یک گروه غیرپروتئینی هم (*آهن‌دار*) می‌باشد. این مولکول رنگدانه قرمز داشته و در یاخته‌های **ماهیچه‌ای** به ذخیرهٔ اکسیژن و انتقال آن می‌پردازد.

● نکات مهم دربارهٔ ساختار اول پروتئین - توالی آمینواسیدها با فقط پیوند پپتیدی (اشتراکی)

۱) براساس ترتیب قرارگیری **خطی** آمینواسیدها در رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد.

۲) همواره **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی دارد و تعداد، انواع و ترتیب آمینواسیدها در آن بسیار مهم می‌باشد.

۳) با توجه به تعداد ۲۰ نوع آمینواسید و عدم محدودیت در رشتهٔ پلی‌پپتیدی، تنوع این ساختار بسیار زیاد است.

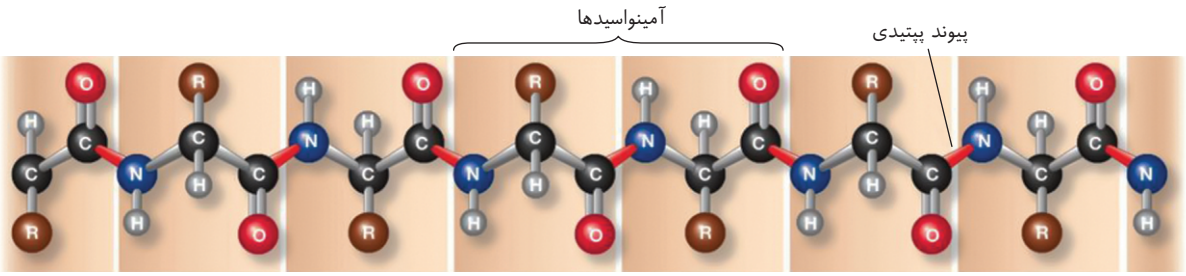
۴) پیوند این ساختار بین گروه کربوکسیل و آمین دو آمینواسید مجاور تشکیل می‌شود ولی گروه R و H متصل به کربن مرکزی در آن نقش ندارد.

۵) تمام سطوح دیگر پروتئین‌ها به این ساختار وابسته است و تغییر در آن، ممکن است سبب تغییر در فعالیت آن پروتئین شود.

۶) بین همهٔ آمینواسیدها پیوند اشتراکی پپتیدی وجود دارد. (*آمینواسیدهای دو سر رشته فقط در یک پیوند پپتیدی شرکت دارند.*)

۷) به ازای تشکیل هر پیوند پپتیدی آن، یک مولکول آب آزاد شده است که به این فرایند سنتز آبدهی می‌گویند.

۸) همواره سر آمینی اولین آمینواسید و سر کربوکسیلی آخرین آمینواسید موجود در رشتهٔ پلی‌پپتید، در پیوند پپتیدی شرکت نکرده است.



«ساختار اول پروتئین‌ها»

● نکات ساختار دوم پروتئین (الگویی از پیوندهای هیدروژنی)

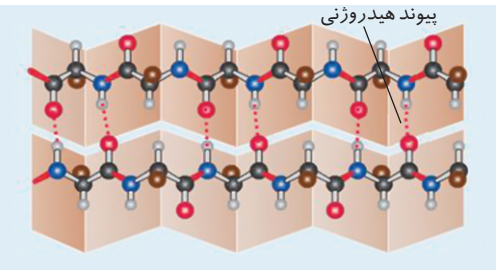
۱) در این ساختار نیز پروتئین مورد نظر **فقط دارای یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد که می‌تواند دارای **نخستین تاخوردگی‌ها** شود.

۲) در این ساختار علاوه بر پیوند کووالانسی پپتیدی، در **بخش‌هایی** از آن **پیوند هیدروژنی** نیز برقرار می‌شود که اساس ایجاد ساختار دوم همین پیوندهای هیدروژنی می‌باشد.

۳) فقط برخی آمینواسیدها در این پیوند شرکت می‌کنند و مولکول دچار اولین تاخوردگی‌ها می‌شود.

۴) این ساختار می‌تواند به حالت‌های مختلفی دربیاید که دو **نمونه معروف** آن به صورت **مارپیچ** (α helix) یا **صفحه‌ای** (β sheet) دیده می‌شود. (*مثلاً در هموگلوبین، هر رشته مارپیچی می‌شود.*)

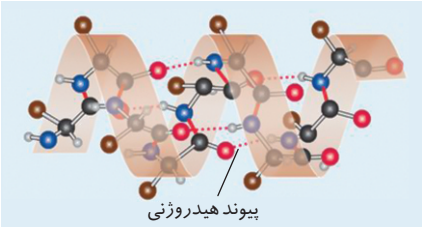
۵) پیوند هیدروژنی این ساختار بین **اکسیژن** عامل اسیدی ($\overset{C}{\overset{\|}{O}}$) با اتم **هیدروژن** گروه آمینی ($-N-H$) برقرار می‌شود.



«ساختار صفحه‌ای»

۶) در ایجاد پیوند هیدروژنی این ساختار، **گروه R** و H متصل به کربن مرکزی آمینواسیدها نقشی ندارند.

۷) هموگلوبین، پروتئینی با **چهار** رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد که کل پروتئین آن ساختار **چهارم** دارد ولی هر رشتهٔ آن زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در ساختار دوم خود، **مارپیچی** همراه با پیوندهای هیدروژنی دارد. (*هر رشته، یک گروه هِم غیرپروتئینی دارد.*)



«ساختار مارپیچ»

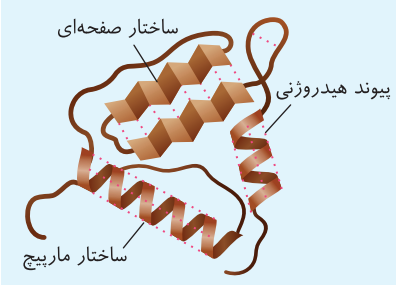
● نکات ساختار سوم پروتئین - تاخورده و متصل به هم (پیوندهای پپتیدی، هیدروژنی، یونی و اشتراکی دیگر دارد.)

۱) این ساختار نیز مانند ساختار اول و دوم، **حاوی یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد.

۲) ساختاری **سه‌بعدی** به پروتئین‌ها می‌دهد که با تاخوردگی **بیشتر** صفحات یا مارپیچ‌های ساختار دوم به صورت ساختار سوم به شکل‌های مختلف درمی‌آید.

۳) برای تشکیل این ساختار، ابتدا برهم‌کنش **آب‌گریزی** با نزدیک شدن **گروه‌های R** آمینواسیدهای آب‌گریز (*نه همهٔ آمینواسیدها*) ایجاد می‌شود. چون قسمت‌هایی از R برخی آمینواسیدها، تمایلی به قرارگیری در معرض آب ندارند. در اثر این عمل، نواحی ویژه‌ای از پروتئین به هم نزدیک شده تا در معرض آب قرار نگیرند.

۴) در اثر **نزدیک شدن** گروه‌های R در آمینواسیدهای آب‌گریز، پیوندهای هیدروژنی، اشتراکی و یونی دیگری ایجاد می‌شود که سبب **تثبیت** آن و ایجاد شکل‌های مختلف در ساختار سوم پروتئین می‌شود.



«ساختار سوم پروتئین‌ها»
(یک رشته که هم بخش صفحه‌ای و هم مارپیچی دارد)

نکته مهم

پیوند اشتراکی بین گروه‌های R را با پیوند اشتراکی پپتیدی اشتباه نگیرید. در حقیقت وقتی رشتهٔ پلی‌پپتید ساختار سوم دارد، دو نوع پیوند اشتراکی دارد، یکی پپتیدی مربوط به ساختار اول و دیگری نوعی اشتراکی بین گروه‌های R دارد.

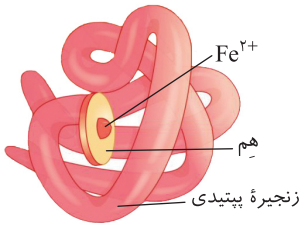
۵) مجموع **همهٔ** نیروها سبب ایجاد شکل به هم پیچیده در قسمت‌های مختلف پروتئین شده و آن‌ها را در کنار هم نگه می‌دارند و پروتئین **ساختار سوم** با **ثبات نسبی** پیدا می‌کند.

نکته

پیوند هیدروژنی در ساختار سوم، بین گروه‌های R برخی آمینواسیدها ایجاد می‌شود ولی پیوند هیدروژنی ساختار دوم بین گروه کربوکسیل و آمین برخی آمینواسیدها تشکیل می‌شود.

۶) بروز تغییر حتی در یک آمینواسید می‌تواند به‌طور قوی **ساختار** و **عمل** آن پروتئین را تغییر دهد.

۷) شکل مقابل، نمونه‌ای از ساختار **سوم** رشتهٔ پلی‌پپتیدی سازنده **میو**گلوبین را نشان می‌دهد.



«میوگلوبین با ساختار سوم»

نکته

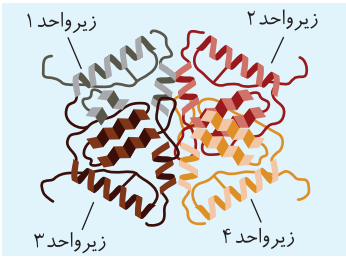
دقت کنید که پروتئین میوگلوبین فقط دارای یک گروه معدنی هم به همراه یک یون Fe^{2+} می‌باشد، البته این بخش قدرت اتصال به اکسیژن نیز دارد که در تارهای ماهیچه‌ای کند (*قرمز*)، مقدار بیشتری دارد. بخش هِم آهن‌دار این مولکول جزء بخش پروتئینی مولکول نمی‌باشد. از طرفی این مولکول برخلاف هموگلوبین، قدرت اتصال به CO_2 و CO را ندارد.

● ساختار چهارم پروتئین‌ها (آرایش زیرواحدها بین چند رشتهٔ پلی‌پپتیدی)

۱) تنها ساختاری است که پروتئین مورد نظر قطعاً دارای **بیش از یک رشتهٔ پلی‌پپتید** می‌باشد.

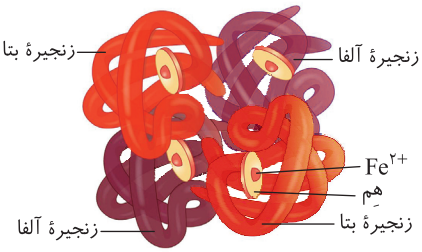
۲) هر زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی آن، یک زیرواحد پروتئین با نقش **کلیدی** محسوب می‌شود.

۳) هر زنجیرهٔ آن حداکثر ساختار **سوم** پروتئینی را دارد و نحوه آرایش بین زیرواحدها باعث ایجاد ساختار **چهارم** می‌شود.



«ساختار چهارم پروتئین‌ها»

۴) مثلاً در هموگلوبین که **چهار** زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی از **دو** نوع آلفا و بتا دارد، هر زنجیره ابتدا در هنگام ساخته شدن در رناتن، ساختار **اول** خطی دارد. سپس با تشکیل پیوند هیدروژنی به صورت **مارپیچی** از ساختار دوم درمی‌آیند، بعد از آن با ایجاد پیوندهای یونی، هیدروژنی و اشتراکی جدید، تاخورده می‌شوند و ساختار **سوم** در آن‌ها ایجاد می‌شود و هر رشته شکل **سه‌بعدی** خاصی پیدا می‌کند. در آخر این چهار زنجیره کنار هم قرار گرفته و ساختار چهارم پروتئین هموگلوبین را ایجاد می‌کنند. (*هموگلوبین دو زنجیرهٔ آلفا و دو زنجیرهٔ بتا است به‌طوری که هر زنجیره یک بخش غیرپروتئینی آهن‌دار به نام هم دارد.*)

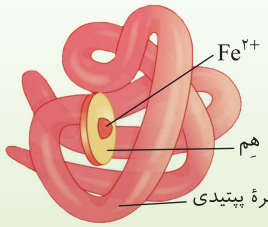


چند نکتهٔ مهم در میوگلوبین و هموگلوبین

(۱) هموگلوبین دارای چهار گروه هم بوده که توانایی ذخیرهٔ **آهن**، انتقال بیشترین مقدار اکسیژن خون و مقداری نیز کربن دی‌اکسید خون را دارد. این مولکول در بخش هماتوکریتی (*خون بصر*) خون قرار دارد!

(۲) پروتئین میوگلوبین دارای یک رشتهٔ پلی‌پپتید بوده و نهایتاً ساختار سوم دارد. میوگلوبین در یاختهٔ ماهیچه‌ای قرار دارد و **یک** گروه هم، **یک** رشتهٔ پلی‌پپتیدی دارد و **یک** Fe^{2+} را به همراه **اکسیژن** ذخیره می‌کند.

(۳) دقت کنید که هموگلوبین درون خون و گویچهٔ قرمز یعنی درون بافت پیوندی است ولی میوگلوبین درون بافت ماهیچه‌ای می‌باشد.



«میوگلوبین با ساختار سوم»

تست ۱۳ **چند مورد عبارت مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «استفاده از پرتوهای ایکس برای ..... کاربرد ندارد.»**

الف) پی بردن به ساختار سه‌بعدی آمیلاز

ب) پی بردن به جایگاه هر اتم در میوگلوبین

ج) شناسایی مارپیچی بودن عامل انتقال صفت در پارامسی

د) تأیید قطعی دورشته‌ای بودن عامل انتقال صفت در آزمایش ویلکینز و فرانکلین

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

پاسخ ۲ فقط مورد (د) را نمی‌توان به کمک پرتوهای ایکس پی برد.

به کمک پرتوهای ایکس فقط مشخص می‌شود که DNA، بیشتر از یک رشته دارد.

تله‌های تستی الف و ب) به کمک پرتوهای ایکس به ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها مثلاً آنزیم آمیلاز پی می‌برند و حتی جایگاه اتم‌ها در پروتئین‌هایی مثل میوگلوبین نیز مشخص می‌شود. / ج) مارپیچی بودن DNA و ابعاد آن به کمک پرتوهای ایکس مشخص شده است.

تست ۱۴ **در مورد ساختار تاخورده و متصل به هم یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی چند مورد از عبارت‌های زیر صحیح می‌باشد؟**

الف) با شروع تاخوردگی به شکل کروی سه‌بعدی درمی‌آید.

ب) با تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های R شروع می‌شود.

ج) پیوندهای یونی سبب دور ماندن نواحی آب‌گریز از معرض آب می‌شوند.

د) با تغییر در یک آمینواسید، می‌تواند ساختار و عمل آن تغییر یابد.

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

پاسخ ۳ موارد (ج) و (د) صحیح می‌باشند.

نکته: ساختار **تاخورده و متصل** به هم مربوط به **ساختار سوم** یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد که در ادامه به بررسی عبارات گفته شده می‌پردازیم.

تله‌های تستی الف) نادرست است. تاخوردگی رشتهٔ پلی‌پپتیدی از **ساختار دوم** شروع می‌شود که به صورت مارپیچ یا صفحه‌ای درمی‌آید ولی در ساختار سوم با **تاخوردگی بیشتر** (*به کلمهٔ بیشتر توجه کنید!!*)، به شکل‌های مختلف سه‌بعدی درمی‌آیند. / ب) نادرست است. ساختار تاخورده و متصل به هم یعنی ساختار سوم پروتئینی با ایجاد **پیوند آب‌گریز** بین گروه‌های R شروع می‌شود و با تشکیل **پیوند یونی** کامل می‌شود. / ج) درست است. تشکیل پیوندهای آب‌گریز و در ادامهٔ آن تشکیل پیوند یونی بین گروه‌های R آمینواسیدها، نواحی ویژه‌ای در پروتئین‌ها را به هم می‌چسباند تا بخش‌های آب‌گریز در معرض آب نباشند. / د) درست است. ساختار سوم پروتئین‌ها، ثبات نسبی ایجاد می‌کند و بروز تغییر در آن حتی به صورت یک آمینواسید هم می‌تواند قویاً **ساختار و عمل** آن‌ها را تغییر دهد.

نکات انواع و نقش پروتئین‌ها

۱) **پروتئین‌ها** از نظر **ساختار شیمیایی و عملکردی**، **متنوع‌ترین** گروه مولکول‌های زیستی می‌باشند (*این جمله در تست‌ها خیلی کاربرد دارد!*)

۲) **آنزیم:** پروتئین‌های آنزیمی به صورت **کاتالیزورهای** زیستی هستند که **سرعت** واکنش‌های خاصی که انجام شدنی باشند را زیاد کرده ولی در هر واکنش دست نخورده باقی می‌مانند.

۳) **گیرنده‌های سطح یاخته‌ای:** برخی پروتئین‌ها هستند که در **سطح** یاخته قرار دارند و میکروب‌های خارجی، یاخته‌های غیرعادی مثل سرطانی و مواد دیگر (*مثل هورمون‌ها و...*) را تشخیص می‌دهند. اساس کار دستگاه‌های هورمونی و دفاعی (*ایمنی*) بدن بر پایهٔ همین پروتئین‌های گیرنده سطحی می‌باشد (*مثل پادتن‌ها*).

۴) **پروتئین‌های انتقال دهندهٔ مواد:** برخی مانند هموگلوبین می‌باشند که در جابه‌جایی گازهای تنفسی نقش مهمی دارند.

نکته

دوستان عزیز دقت کنید که برخی پروتئین‌ها هستند که نقش‌های متعددی دارند، مثلاً پمپ سدیم - پتاسیم که نوعی پروتئین در ساختار **غشای** یاخته‌ها می‌باشد و در نقل و انتقال یون‌های سدیم و پتاسیم و ایجاد **پتانسیل‌های** غشایی نقش دارد ولی این پروتئین نقش **آنزیمی** نیز دارد و می‌تواند با هیدرولیز ATP، انرژی لازم برای فعالیت خود را به دست بیاورد. (*با تولید انرژی به انتقال فعال می‌پردازد که انرژی خواه است.*)

۵) **پروتئین‌های محافظت‌کننده:** این پروتئین‌ها در حفظ ساختار یا ماده‌ای در بدن مؤثرند. مثلاً فیبرین نوعی پروتئین است که در ایجاد و حفظ لختهٔ خون نقش دارد و یا کلاژن نوعی پروتئین در بافت **پیوندی** است که در حفظ زردپی، رباط، استخوان و پوست با مقدار زیاد خود نقش دارد.

۶) پروتئین‌های انقباضی: این پروتئین‌ها در انقباض **ماهیچه‌ها و عمل سارکومرها** نقش دارند، مثل حرکات لغزشی **اکتین و میوزین** که با مصرف **ATP** و حرکت بر روی هم باعث انقباض ماهیچه و حرکت **استخوان‌ها** می‌شود (*البته حلقهٔ انقباضی هر یاخته جانوری در هنگام تقسیم سیتوپلاسم نیز از این پروتئین‌ها می‌باشد*).

۷) پروتئین‌های نشانه‌ای (پیام‌آور): این پروتئین‌ها سبب انتقال دستورالعمل خاصی در بدن می‌شوند که از آن‌ها می‌توان به **بیشتر هورمون‌ها** اشاره کرد که فعالیت‌های بدن را تنظیم می‌کنند.

۸) پروتئین‌های تنظیمی: انواع مختلفی از پروتئین‌ها وجود دارند که در تنظیم **بیان** ژن‌ها و روشن و خاموش کردن آن‌ها نقش دارند. مثلاً پروتئین‌های مهارکننده با اتصال به برخی جایگاه‌های DNA سبب کم شدن مقدار RNAسازی و پروتئین‌سازی یاخته می‌شوند و در **تمایز** جاندار نیز نقش دارند یا عوامل رونویسی و پروتئین‌های فعال‌کننده که در بیان ژن جانداران نقش دارند (*فصل ۴*).

آنزیم‌ها

قبل از اینکه وارد بحث و کار آنزیم‌ها شویم، باید خدمت شما عرض کنم که **انجام هر واکنشی انجام شدنی** در بدن جانداران، نیاز به **انرژی اولیه‌ای** دارد. اگر انرژی اولیه یا فعال‌سازی واکنش‌های شیمیایی در بدن به اندازهٔ کافی وجود نداشته باشد، واکنش‌ها آنقدر **کند** انجام می‌شوند که ادامهٔ حیات امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه این موضوع، در بدن نیاز به کاتالیزورهایی برای سریع‌تر شدن واکنش‌ها و کمتر هدر دادن انرژی به وجود می‌آید. در حقیقت تمام واکنش‌ها در بدن موجود زنده که به انجام آن‌ها سوخت‌وساز یا متابولیسم می‌گویند به انرژی اولیه یا فعال‌سازی نیاز دارند. **این واکنش‌ها توسط مولکول‌هایی به نام آنزیم‌ها انجام می‌شوند.** آنزیم‌ها از هر نوعی چه پروتئینی و چه از جنس رنا که باشند، با **کم کردن انرژی فعال‌سازی** واکنش‌ها، **سرعت واکنش‌ها** را در بدن جاندار **زیاد** کرده و سبب می‌شوند انرژی در دسترس بدن برای هر واکنشی که انجام شدنی باشد، باقی بماند و به هدر نرود.

نکته

بدون آنزیم‌ها، سوخت‌وساز یاخته‌ها در دمای بدن بسیار کند می‌شود و انرژی لازم برای ادامهٔ حیات تأمین نمی‌شود.

نکته

آنزیم‌ها امکان **برخورد مواد اولیه** به هم را زیاد می‌کنند ولی خود آن‌ها در واکنش‌ها دست نخورده باقی می‌مانند.

ساختار آنزیم‌ها
- آنزیم‌های **پروتئینی**
  - بیشتر آنزیم‌ها را شامل می‌شوند که یک یا چند رشتهٔ **پلی‌پپتیدی** دارند.
  - از روی **mRNA** و در **رناتن** سیتوپلاسم و برخی اندامک‌ها ساخته می‌شوند.
  - ساختار سه‌بعدی اختصاصی به همراه جایگاه فعال برای پیش‌ماده‌های خود دارند.
- آنزیم‌های **غیرپروتئینی**
  - اغلب از جنس **RNA** می‌باشند که از روی بخشی از یک رشته **DNA** ساخته می‌شوند.
  - ساختار سه‌بعدی اختصاصی و جایگاه فعال برای پیش‌مادهٔ خود دارند.
  - **لطفاً در بررسی تست‌ها، آنزیم‌های رنایی را فراموش نکنید!**

محل تولید آنزیم‌ها
- **برخی** آنزیم‌ها که غیرپروتئینی و از جنس RNA هستند در **هستهٔ** یوکاریوت‌ها و **سیتوپلاسم** پروکاریوت‌ها و همچنین درون میتوکندری و کلروپلاست تولید می‌شوند.
- **بیشتر** آنزیم‌ها پروتئینی هستند و رشته‌های پلی‌پپتیدی با ساختار اول آن‌ها در **رناتن** تولید می‌شوند و سپس ساختارهای دیگر خود را در یاخته به دست می‌آورند.

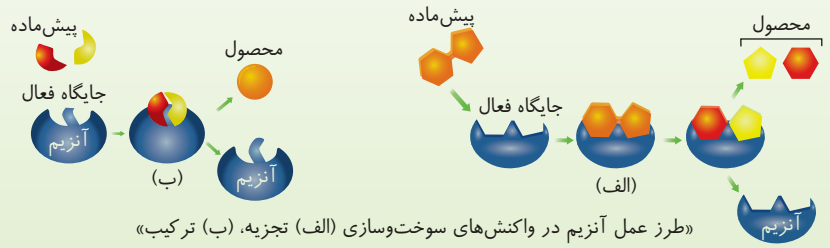
محل فعالیت آنزیم‌ها
- **درون یاخته:** آنزیم‌های مورد نیاز برای همانندسازی، رونویسی، ترجمه و آنزیم‌های مؤثر در میتوکندری (*تنفس یاخته‌ای*)، کلروپلاست (*فتوسنتز*) و...
- **بیرون یاخته:** آنزیم‌هایی که از یاخته ترشح می‌شوند، مانند آنزیم‌های گوارشی و هیدرولیز کنندهٔ مواد غذایی (*آمیلاز، لیپاز و...*) از این نوع هستند.
- **سطح غشای یاخته:** آنزیم‌هایی مثل پمپ سدیم - پتاسیم و...

نکته

هر آنزیم ساختار **اختصاصی** خود را دارد و حاوی بخشی به نام **جایگاه فعال** می‌باشد. جایگاه فعال شکل اختصاصی برای اتصال به پیش‌ماده دارد. در حقیقت پیش‌ماده‌ها، ترکیباتی هستند که آنزیم روی آن‌ها اثر می‌کند و **بخش متصل شونده آن‌ها**، شکلی **مکمل** با جایگاه فعال آنزیم دارند. در اثر عمل آنزیم، پیش‌ماده‌ها با هم واکنش می‌دهند و از فعالیت آنزیم، فراورده حاصل می‌شود. در انتهای فعالیت، خود آنزیم دست نخورده باقی می‌ماند تا دوباره این فعالیت را با پیش‌ماده‌های جدید ادامه دهد. مثلاً آنزیم **کربنیک‌انیدراز** در گویچه‌های قرمز سبب ترکیب پیش‌ماده‌های CO_2 و آب و ایجاد فراورده‌ای به نام کربنیک اسید می‌شود.

نکته

برخی آنزیم‌ها سبب تشکیل ماده و برخی سبب تجزیهٔ ماده می‌شوند ولی در هر صورت، هر آنزیم در هر واکنش تغییر نمی‌کند.



«طرز عمل آنزیم در واکنش‌های سوخت‌وسازی (الف) تجزیه، (ب) ترکیب»

نکات عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم‌ها

۱) **برخی** آنزیم‌ها برای فعالیت به **یون‌های فلزی** مثل آهن و مس و یا **مواد آلی** مثل ویتامین‌ها نیاز دارند. این مواد سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند. به مواد **آلی** که سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند، **کوآنزیم** یا کمک‌کننده به آنزیم می‌گویند (*در فصل ۵ با کوآنزیم A در چرخه کربس آشنا می‌شوید*).

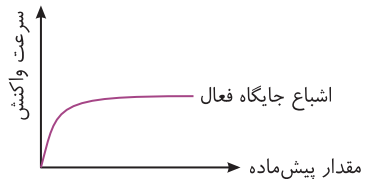
۲) برخی مواد سمی مثل **سیانید و آرسنیک** می‌توانند به جای پیش‌مادهٔ آنزیم‌ها در **جایگاه فعال** قرار بگیرند و مانع فعالیت طبیعی آنزیم شوند و حتی برخی از این طریق باعث مرگ می‌شوند. (*این مواد سمی، ساختار آنزیم را تغییر نمی‌دهند، بلکه امکان قرار گرفتن پیش‌ماده به آنزیم را نمی‌دهند.*)

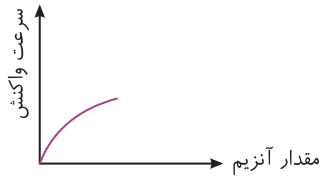
نکته مهم

کوآنزیم‌ها: ویتامین (*کوآنزیم*)های مهم بدن انسان

- محلول در آب
  - ویتامین C
    - برای جذب به صفرا نیاز ندارند.
  - ویتامین B
    - B_{12}
      - در تولید گویچهٔ قرمز در مغز استخوان مؤثر است.
      - فقط در غذاهای جانوری یافت می‌شود.
      - توسط باکتری‌های روده نیز تولید می‌شود.
      - توسط فاکتور داخلی معده محافظت می‌شود.
      - با آندوسیتوز از رودهٔ باریک جذب خون می‌شود.
    - فولیک اسید
      - در تولید گویچهٔ قرمز در مغزاستخوان مؤثر است.
      - در غذای گیاهی و جانوری وجود دارد.
      - کارکرد صحیح آن به ویتامین B_{12} محتاج است.
      - برای تقسیم طبیعی یاخته‌ها مؤثر است.
- محلول در چربی
  - برای جذب به وجود صفرا نیازمندند و وارد سیاهرگ باب کبدی نمی‌شوند.
  - پس از جذب از روده وارد رگ لنفی می‌شوند.
  - ویتامین A ← در تولید ماده رنگی موجود در گیرنده‌های بینایی مؤثر است.
  - ویتامین K ← در انعقاد خون و تولید ترومبین مؤثر است.
  - ویتامین D
    - توسط هورمون پاراتیروئیدی فعال می‌شود.
    - در جذب کلسیم از روده مؤثر است.
  - ویتامین E

۳) غلظت **آنزیم** و **پیش‌ماده** بر سرعت فعالیت آنزیم، نقش **مستقیم** و **افزاینده** دارد. دقت کنید که مقدار **بسیار کم** آنزیم برای واکنش بین مقدار **زیادی** پیش‌ماده کافی است. پس اگر مقدار آنزیم‌ها زیاد شود، سرعت واکنش را **زیاد** می‌کنند ولی افزایش مقدار **پیش‌ماده** تا هنگامی که جایگاه‌های فعال آنزیم‌ها اشغال نشده‌اند، سبب افزایش سرعت و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود و پس از آن سرعت واکنش ثابت می‌ماند.





۴) عوامل محیطی یاخته‌ها مثل **اسیدیته** یا **دما** نیز بر فعالیت آنزیم‌ها مؤثرند.

نکات اثر اسیدیته محیط روی فعالیت آنزیم‌ها

- الف) هر آنزیم در یک pH یا اسیدیته ویژه به نام اسیدیته **بهینه** بهترین فعالیت را دارد.
- ب) اسیدیته **خون** حدود ۷/۴ و اسیدیته **بیشتر** مایعات بدن بین ۶ تا ۸ می‌باشد.
- ج) **پپسین** معده در محیط اسیدی با pH حدود ۲ فعالیت می‌کند ولی اسیدیته بهینه آنزیم‌های **گوارشی** لوزالمعده که به رودهٔ **کوچک** می‌ریزند حدود ۸ می‌باشد.
- د) با تغییر pH یا اسیدیته محیط، پیوندهای شیمیایی و **ساختار و شکل آنزیم** تغییر می‌کند و امکان **اتصال** به پیش‌ماده را از دست می‌دهد و میزان فعالیت آن تغییر می‌کند.

نکات اثر دما بر فعالیت آنزیم‌ها

- الف) بهترین دما برای فعالیت آنزیم‌های بدن حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- ب) آنزیم‌های بدن انسان در **دمای پایین غیرفعال** می‌شوند ولی با برگشت دما به حالت طبیعی دوباره **فعال** می‌شوند.
- ج) آنزیم‌های بدن انسان در دمای **بالای ۳۷ درجه** به تدریج ممکن است تغییر **شکل برگشت‌ناپذیر** یابند و غیرفعال شوند. (*به همین دلیل تب بالا خطرناک می‌باشد.*)
- د) برخی باکتری‌ها که در چشمهٔ آب گرم زندگی می‌کنند حاوی آنزیم‌هایی هستند که در دمای ۸۰ درجه فعالیت حداکثری خود را دارند.
- ه) درون کیسه بیضه، دما حدود ۳ درجه پایین‌تر از دمای مرکزی بدن است ولی آنزیم‌ها در این دما فعالیت مناسب دارند.

نکات مهم از عملکرد اختصاصی آنزیم‌ها

۱) هر آنزیم روی **یک یا چند پیش‌ماده** خاص مؤثر است و با جایگاه فعال خود فقط با آن‌ها حالت قفل و کلید یا مکملی دارد.

۲) آنزیم‌ها در واکنش‌های مختلفی که شرکت می‌کنند، **همواره** سرعت واکنش را بالا می‌برند و انرژی فعال‌سازی را **پایین** می‌آورند.

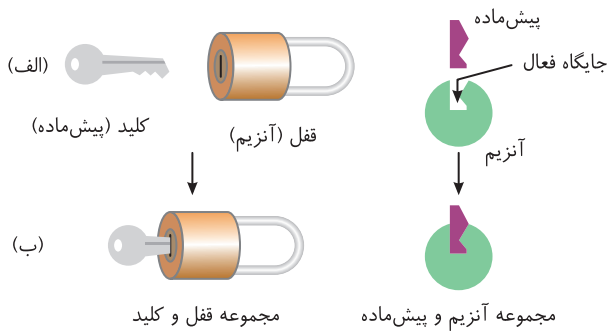
۳) هر آنزیم در پایان هر واکنش دست نخورده باقی می‌ماند تا بدن بتواند **بارها** از آن‌ها استفاده کند.

۴) مقداری از آنزیم‌ها نیز مانند هر مادهٔ دیگری پس از مدتی از بین می‌رود و بدن **مداوم** در حال ساخت مقدار مورد نیاز از آن‌هاست.

۵) برخی آنزیم‌ها با اینکه عمل **اختصاصی** دارند، ولی **بیش از یک** نوع واکنش را سرعت می‌بخشند. مثلاً در این فصل به یاد دارید که دنابسپاراز علاوه بر عمل پلیمرازی و ساخت DNA ، در عمل ویرایش و نوکلئازی نیز نقش دارد.

۶) به دلیل اینکه می‌توان از یک آنزیم تا هنگامی که وجود دارد چندین بار استفاده کرد، یاخته‌ها به **مقدار کم** به آنزیم‌ها نیاز دارند. البته با استفاده بیشتر از آن‌ها و از بین رفتن آن‌ها، یاخته مجبور به ساخت آنزیم‌های جدید می‌باشد.

۷) علت اختصاصی بودن عمل آنزیم‌ها این نیست که فقط یک واکنش خاص را انجام می‌دهند، بلکه به این دلیل است که فقط به یک یا چند پیش ماده خاص اثر می‌کنند و فقط با آن مواد کار خود را انجام می‌دهند.



«شباهت آنزیم و پیش‌ماده به قفل و کلید»

تست ۱۵ **همهٔ کاتالیزورهای زیستی، .....** (قلم‌چی)

۱) درون ساختارهای غشادار یاخته جای دارند.
۲) به واکنش‌های درون‌یاخته‌ای، سرعت می‌بخشند.
۳) می‌توانند ضمن فعالیت خود، آدنوزین تری‌فسفات بسازند.
۴) در پی فعالیت آنزیم‌های سازندهٔ خود، تولید می‌شوند.

پاسخ ۴ همهٔ واکنش‌های سوخت‌وسازی درون‌یاخته‌ای جانداران به کمک آنزیم‌ها صورت می‌گیرد؛ از آنجا که تولید همهٔ آنزیم‌ها نیز درون یاخته صورت می‌گیرد، پس تولید همهٔ آنزیم‌ها به کمک آنزیم‌های دیگری درون یاخته صورت می‌گیرد.

تست ۱۶ **کدام‌یک از عبارت‌های زیر در ارتباط با آنزیم‌ها به درستی بیان شده است؟** (قلم‌چی)

۱) بسیاری از آنزیم‌ها برای فعالیت به موادی مانند ویتامین‌ها و یا یون‌هایی مانند آهن نیاز دارند که به آن‌ها کوآنزیم گفته می‌شود.
۲) هر مادهٔ سمی که می‌تواند جایگاه فعال یک آنزیم را اشغال کند و قطعاً مانع از فعالیت آن شود.
۳) با کاهش غلظت پیش‌ماده در محیطی که آنزیم وجود دارد، همواره سرعت تولید فراورده کاهش می‌یابد.
۴) به‌طور قطع هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینه می‌گویند.

پاسخ ۴ هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینهٔ آنزیم می‌گویند.

تله‌های تستی گزینهٔ (۱): بعضی از آنزیم‌ها کوآنزیم نیاز دارند و از طرفی کوآنزیم‌ها ماده آلی می‌باشند. / گزینهٔ (۲): وجود بعضی از مواد سمی (*نه‌هر ماده سمی*) در محیط (*مانند سیانید و آرسنیک*) می‌تواند با قرار گرفتن در جایگاه فعال آنزیم مانع فعالیت آن شود. / گزینهٔ (۳): اگر در محیطی که آنزیم حضور دارد، همهٔ جایگاه‌های فعال اشباع باشد و پیش‌ماده از مقداری که جایگاه فعال را اشباع می‌کند بیشتر باشد، کاهش غلظت آن تا حدی که از اشباع بودن جایگاه‌های فعال نکاهد، موجب کاهش سرعت نمی‌شود، همان‌گونه که افزایش پیش‌ماده از یک حد خاص به بعد موجب افزایش سرعت نمی‌شود.