کشف ماهیت مادهٔ وراثتی

الف آزمایش گریفیت

۱ جاندار مورد مطالعه: دو نوع باکتری استرپتوکوکوس‌نومونیا (پوشینه‌دار و بدون پوشینه)

۲ مراحل
- تزریق باکتری پوشینه‌دار به موش ← بیماری سینه‌پهلو و مرگ موش
- تزریق باکتری بدون پوشینه به موش ← بی‌تأثیر
- تزریق باکتری پوشینه‌دار کشته‌شده با حرارت به موش ← بی‌تأثیر
- تزریق مخلوط باکتری‌های کشته‌شدهٔ پوشینه‌دار و زندهٔ بدون پوشینه به موش ← بیماری سینه‌پهلو و مرگ موش

ب آزمایش ایوری

۱ استفاده از عصارهٔ استخراج شده از باکتری کشته‌شدهٔ پوشینه‌دار

۲ تخریب دنای عصارهٔ یاخته‌ای توسط آنزیم، مانع از انتقال صفات می‌شود.

۳ نتیجه‌گیری: عامل اصلی انتقال صفات، مولکول دناست.

ساختار نوکلئیک اسیدها

الف دِنا (DNA)

۱ **ساختار شیمیایی**
- الف بسپارهایی از واحدهای تکرارشونده به نام نوکلئوتید
- ب هر نوکلئوتید شامل:
  - ۱ قند پنج کربنی
  - ۲ باز آلی نیتروژن‌دار
  - ۳ یک تا سه گروه فسفات
- پ انواع باز آلی
  - ۱ پورین (A و G)
  - ۲ پیریمیدین (T و C)

۲ **نحوهٔ تشکیل**: اتصال نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودی‌استر

۳ **انواع**
- الف خطی ← در هستهٔ یاخته‌های هوهسته‌ای (یوکاریوتی)
- ب حلقوی ← در باکتری، راکیزه و سبزدیسه

۴ **کشف ساختار مولکول DNA**
- الف چارگاف: کشف برابری مقدار A با T و C با G در دنا.
- ب ویلکینز و فرانکلین: تهیهٔ تصاویر DNA با کمک پرتو X
- پ واتسون و کریک: ارائهٔ مدل مولکولی DNA

ب رِنا (RNA)

۱ **ساختار:** مولکولی تک‌رشته‌ای است که از روی بخشی از یک رشتهٔ DNA ساخته می‌شود.

۲ **انواع باز آلی**
- ۱ پورین (A و G)
- ۲ پیریمیدین (U و C)

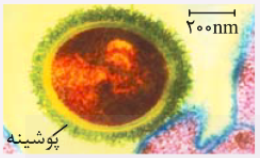
۳ **انواع**
- الف رنای پیک (mRNA): اطلاعات دنا را به رناتن (ریبوزوم) منتقل می‌کند.
- ب رنای ناقل (tRNA): انتقال آمینواسیدها به سمت رناتن برای استفاده در پروتئین‌سازی
- پ رنای رناتنی (rRNA): در ساختار رناتن (ریبوزوم) به‌کار می‌رود.

کشف ماهیت مادهٔ وراثتی

- ویژگی‌های هر یک از یاخته‌های انسان تحت فرمان **هسته** قرار دارند.
- در یاخته‌های یوکاریوتی، **فام‌تن‌ها** (کروموزوم‌ها) از دنا و پروتئین تشکیل شده‌اند و درون هسته قرار دارند. مولکول دنا، ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی است و گروهی از پروتئین‌های فام‌تن که **هیستون** نامیده می‌شوند، در فشرده کردن دنا نقش دارند.
- دستورالعمل‌های هسته در حین تقسیم از یک یاخته به یاختهٔ دیگر و در حین تولیدمثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود.
- وقتی یاخته در حال تقسیم نیست، فام‌تن‌ها کمترین میزان فشردگی را دارند و به صورت توده‌ای از رشته‌های درهم به نام **کروماتین** دیده می‌شوند. در واقع مواد وراثتی هسته در تمام مراحل زندگی یاخته، به جز تقسیم، به‌صورت کروماتین است. قبل از تقسیم یاخته، فام‌تن‌ها مضاعف و سپس فشرده می‌شوند. در این حالت، هر فام‌تن از دو فامینک یکسان تشکیل شده است.
- وقتی یاخته تقسیم می‌شود، هر یک از فامینک‌های سازندهٔ فام‌تن به یکی از یاخته‌های جدید منتقل می‌شود و به این ترتیب اطلاعات وراثتی یاختهٔ مادر، به یاخته‌های دختر منتقل می‌شود.

آزمایش‌های گریفیت

اصل مطلب



- در زمان گریفیت تصور می‌شد که عامل آنفلوانزا نوعی باکتری به نام **استرپتوکوکوس نومونیا** است. دو نوع از این باکتری وجود دارد که یکی **پوشینه‌دار** (کپسول‌دار) و دیگری **بدون پوشینه** است. امروزه می‌دانیم که نوع پوشینه‌دار این باکتری عامل بیماری **سینه‌پهلو** است و نوع بدون پوشینهٔ این باکتری، بیماری ایجاد نمی‌کند.
- گریفیت سعی داشت واکسنی علیه آنفلوانزا بسازد؛ بنابراین با این دو نوع باکتری، آزمایش‌هایی را روی موش انجام داد.

خلاصهٔ آزمایش‌های گریفیت

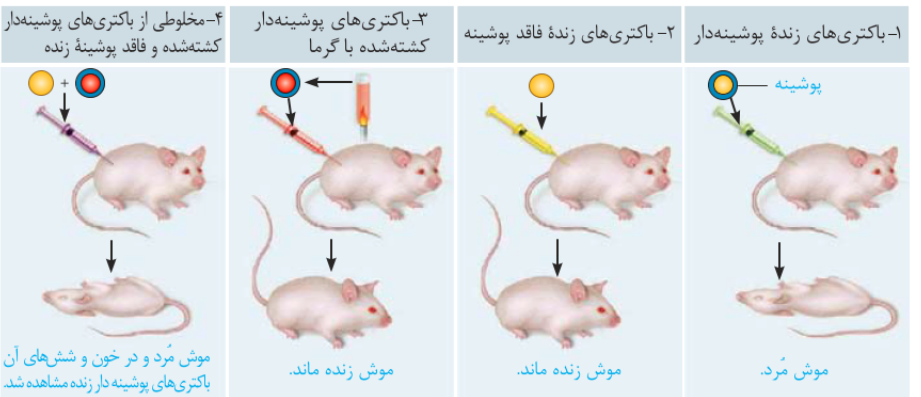
آزمایش اول: تزریق باکتری‌های زندهٔ پوشینه‌دار به موش‌ها، سبب بیماری و مرگ آن‌ها شد.

آزمایش دوم: تزریق باکتری‌های زنده بدون پوشینه به موش بیماری ایجاد نکرد.

آزمایش سوم: تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما موجب بیماری نشد. بنابراین نتیجه گرفت که وجود پوشینه به تنهایی نمی‌تواند عامل مرگ موش‌ها باشد.

آزمایش چهارم: مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما و زندهٔ بدون پوشینه را به موش تزریق کرد. موش‌ها به بیماری مبتلا شدند و مردند.

- گریفیت در بررسی خون و شش‌های این موش‌های مرده، مقدار زیادی باکتری **پوشینه‌دار زنده** مشاهده کرد و نتیجه گرفت که باکتری‌های بدون پوشینه، به نحوی تغییر کرده و پوشینه‌دار شده‌اند.
- از نتایج آزمایش‌های گریفیت مشخص شد که مادهٔ وراثتی می‌تواند از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر منتقل شود؛ اما **ماهیت** مادهٔ وراثتی و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.



۱ **ترکیبی** از موش‌ها در آزمایشات زیادی استفاده می‌شود؛ یکی از این آزمایش‌ها مربوط به رفتار **شرطی شدن فعال** توسط دانشمندی به نام اسکینر است!

۲ **ویژه** وقتی باکتری‌های پوشینه‌دار با حرارت کشته می‌شوند، پوشینهٔ آن‌ها باقی می‌ماند.

۳ عامل بیماری سینه‌پهلو، باکتری و عامل بیماری آنفلوانزا، نوعی ویروس است. هر دو بیماری موجب **آسیب به بافت‌های شش‌ها** می‌شود.

فلش‌بَک: آنفلوانزای پرندگان را نوعی ویروس پدید می‌آورد که می‌تواند سایر گونه‌ها (انسان، موش و ...) را نیز آلوده کند. این ویروس به شش‌ها حمله می‌کند و سبب فعالیت بیش از حد دستگاه ایمنی می‌شود و به تولید انبوه و بیش از اندازهٔ لنفوسیت‌های T می‌انجامد.

۴ در استرپتوکوکوس نومونیا، ضخامت پوشینه **بیشتر** از دیواره است.

۵ **ترکیبی** باکتری‌های تزریق شده به موش می‌توانند خود را به شش‌ها برسانند؛ بنابراین می‌توانند از دیوارهٔ مویرگ‌های شش‌ها خارج شوند.

۶ دمایی که باکتری‌ها را از بین می‌برد، ممکن است بر مولکول دنا بی‌تأثیر باشد! به همین دلیل در آزمایش چهارم گریفیت، دنا سالم ماند و به باکتری بدون پوشینه منتقل شد.

۷ **بعضی** باکتری‌ها روی دیوارهٔ یاخته‌ای خود، لایه‌ای به نام پوشینه (کپسول) دارند. وجود پوشینه موجب **افزایش مقاومت** باکتری در برابر دستگاه ایمنی میزبان (مثلاً موش) می‌شود.

۸ در آزمایش چهارم گریفیت، فقط **بعضی** باکتری‌های بدون‌پوشینه، پوشینه‌دار شدند.

دقت کنید: امروزه ما می‌دانیم که در آزمایش گریفیت، انتقال دنا از باکتری پوشینه‌دار به باکتری بدون پوشینه، موجب انتقال توانایی تولید پوشینه شد. اما خود گریفیت نمی‌دانست که چه ماده‌ای سبب انتقال صفت شده است! البته نوکلئیک‌اسیدها قبل از آزمایش گریفیت کشف شده بودند اما کسی نقش آن‌ها را نمی‌دانست.

۹ قرار است در فصل سوم همین کتاب بخوانید که نوع ژن‌هایی که یک جاندار دارد، ژن‌نمود آن را تعیین می‌کند و به شکل ظاهری و حالت بروزیافتهٔ صفات، فنوتیپ می‌گویند. بنابراین در آزمایش گریفیت، ابتدا **ژن‌نمود** (ژنوتیپ) و سپس **رخ‌نمود** (فنوتیپ) باکتری بدون پوشینه تغییر کرد.

۱۰ **ترکیبی** در بیماری‌های سینه‌پهلو و آنفلوانزا، به دلیل آسیب دیدن شش‌ها، ظرفیت تنفسی کاهش می‌یابد و در نتیجه، اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها دچار اختلال می‌شود که می‌تواند نتایج زیر را در پی داشته باشد: ۱ افزایش ترشح اریتروپویتین از کبد و کلیه ۲ افزایش فعالیت مغز استخوان و تقسیم یاخته‌های بنیادی ۳ افزایش تولید لاکتیک‌اسید در یاخته‌های ماهیچه‌ای

دقت کنید: جاندار مورد مطالعهٔ گریفیت، استرپتوکوکوس‌نومونیا بود اما جانداران مورد استفاده در آزمایش‌های گریفیت، موش و استرپتوکوکوس نومونیا بودند.

۱۱ **ویژه** باکتری بدون پوشینه نیز مانند باکتری پوشینه‌دار، دارای پادگن (آنتی‌ژن) است و دستگاه ایمنی به هر دوی آن‌ها حمله می‌کند. با این تفاوت که در نوع پوشینه‌دار، پوشینه از باکتری در برابر دستگاه ایمنی حفاظت می‌کند.

آزمایش ایوری و همکارانش

اصل مطلب

ایوری و همکارانش با انجام آزمایشاتی به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی انتقال صفات وراثتی، مولکول دناست.

آزمایش اول: ۱ از باکتری‌های پوشینه‌دار، **عصارهٔ یاخته‌ای** را استخراج کردند. ۲ همهٔ پروتئین‌های عصارهٔ یاخته‌ای را با کمک آنزیم **پروتئاز** تخریب کردند. ۳ باقی ماندهٔ عصارهٔ یاخته‌ای را به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه اضافه کردند و دیدند که انتقال صفات صورت می‌گیرد؛ بنابراین نتیجه گرفتند که پروتئین‌ها مادهٔ وراثتی نیستند.

آزمایش دوم: ۱ عصارهٔ یاخته‌ایِ باکتری پوشینه‌دار را در یک **سانتریفیوژ (گریزانه)** با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به صورت لایه‌لایه جدا کردند. ۲ هر یک از لایه‌ها را به صورت جداگانه به محیط کشت باکتری‌های بدون پوشینه اضافه کردند و مشاهده کردند که انتقال صفت، فقط با افزودن لایهٔ **حاوی دنا** صورت می‌گیرد؛ بنابراین نتیجه گرفتند که دنا **مادهٔ وراثتی** است.

آزمایش سوم: ایوری و همکارانش می‌دانستند چهار گروه مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک‌اسیدها) در یاخته به‌کار رفته است. به همین دلیل، در سومین آزمایش خود مراحل زیر را انجام دادند: ۱ عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار را پس از استخراج به **چهار قسمت** تقسیم کردند. ۲ به هر قسمت، آنزیم تخریب‌کنندهٔ یک گروه از مواد آلی را اضافه کردند و سپس آن را به محیط کشت باکتری بدون پوشینه منتقل کردند و اجازه دادند تا باکتری‌ها فرصتی برای انتقال صفت و رشد و تکثیر داشته باشند. آن‌ها مشاهده کردند که در همهٔ ظروف انتقال صفت صورت می‌گرفت، به جز ظرفی که حاوی آنزیم **تخریب‌کنندهٔ دنا** بود.

۱۲ در زمان آزمایش ایوری، بسیاری از دانشمندان بر این باور بودند که پروتئین‌ها مادهٔ وراثتی هستند.

۱۳ **ویژه** روش‌های انتقال اطلاعات وراثتی در باکتری‌ها:

۱ **تقسیم یاخته:** باکتری‌ها همانند سایر یاخته‌ها، هنگام تقسیم، اطلاعات وراثتی خود را به نسل بعد منتقل می‌کنند.

۲ **دریافت دنا از محیط خارج:** مانند دریافت دنا توسط باکتری بدون پوشینه در آزمایش‌های گریفیت و ایوری.

۳ **مبادلهٔ دنا بین دو باکتری:** به عنوان مثال باکتری می‌تواند با انتقال دنا به باکتری دیگر، ژن مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتیک را به آن منتقل کند.

۱۴ **ترکیبی** ایوری و همکارانش در آزمایش‌های خود از آنزیم‌های تخریب‌کنندهٔ کربوهیدارت (کربوهیدراز)، تخریب‌کنندهٔ لیپیدها (لیپاز)، تخریب‌کنندهٔ پروتئین (پروتئاز) و تخریب‌کنندهٔ نوکلئیک‌اسیدها (نوکلئاز) استفاده کردند. آمیلاز و سلولاز انواعی از کربوهیدرازها، پپسین، رنین و پروترومبیناز انواعی از پروتئازها هستند و آنزیم برش‌دهنده نوعی نوکلئاز است.

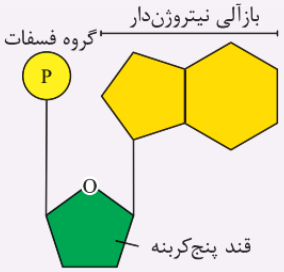
۱۵ در آزمایش‌های گریفیت و ایوری، دنای باکتری بدون پوشینه تغییر نکرد! بلکه مقدار دنای آن **افزایش** یافت!

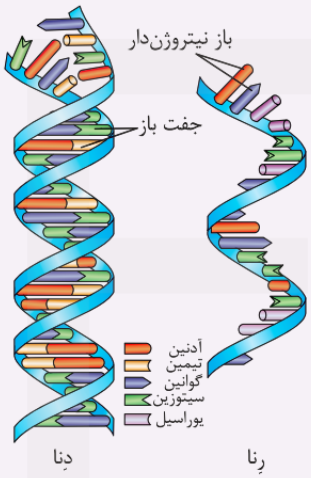
۱۶ استرپتوکوکوس‌نومونیای بدون پوشینه با دریافت دنای باکتری پوشینه‌دار، **تراژن نمی‌شود!** چون هر دو متعلق به یک گونه‌اند.

ساختار نوکلئیک‌اسیدها

اصل مطلب

- دو نوع نوکلئیک‌اسید وجود دارد: ۱ دئوکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید (دِنا) ۲ ریبونوکلئیک‌اسید (رِنا).
- همهٔ نوکلئیک‌اسیدها، بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرار شونده به نام **نوکلئوتید** هستند. هر نوکلئوتید از سه بخش تشکیل شده است: ۱ یک **قند پنج کربنی** که در دنا از نوع دئوکسی‌ریبوز و در رنا از نوع ریبوز است. ۲ یک **باز آلی نیتروژن‌دار** که می‌تواند از نوع پورینی (دوحلقه‌ای) و یا پیریمیدینی (تک‌حلقه‌ای) باشد. بازهای آدنین (A) و گوانین (G) از نوع **پورین** و بازهای تیمین (T)، سیتوزین (C) و یوراسیل (U) از نوع **پیریمیدین** هستند. ۳ یک تا سه گروه فسفات.
- نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند و رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی را به وجود می‌آورند. در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.
- رشته پلی‌نوکلئوتید می‌تواند خطی و یا حلقوی باشد. رنا از یک رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید و دنا از دو رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید تشکیل شده است.





۱۷ بازهای آلی پورینی، دو حلقهٔ آلی با اندازهٔ متفاوت دارند. یکی از این بازها پنج ضلعی و دیگری شش ضلعی است.

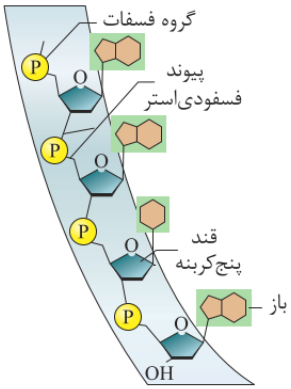
۱۸ نوکلئوتیدها می‌توانند از نظر نوع قند، نوع باز آلی و تعداد گروه‌های فسفات با یکدیگر متفاوت باشند.

۱۹ برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن‌دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند اشتراکی به دو سمت قند متصل می‌شوند.

۲۰ هر نوکلئوتید در ساختار خود یک یا دو حلقهٔ نیتروژن‌دار دارد؛ تعداد حلقه‌ها به پیریمیدین یا پورین بودن باز آن بستگی دارد.

۲۱ هر نوکلئوتید دارای دو بخش حلقوی است که یکی از آن‌ها **باز آلی** و دیگری **قند** است.

۲۲ هر نوکلئوتید می‌تواند در ساختار خود، دو یا سه حلقهٔ آلی داشته باشد. یکی از این حلقه‌های آلی مربوط به قند است. حلقه یا حلقه‌های دیگر مربوط به باز آلی آن هستند.



۲۳ نوکلئوتیدهای آزاد، قبل از پیوستن به رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید، **سه گروه فسفات** دارند اما هنگام اتصال به رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید دو گروه فسفات خود را از دست می‌دهند و با **یک گروه فسفات** در رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید قرار می‌گیرند.

۲۴ **ویژه** به دلیل منفی بودن بار گروه فسفات (PO_4^{3-})، نوکلئوتیدها و نوکلئیک‌اسیدها بار منفی دارند.

۲۵ با وجود این که در ساختار نوکلئوتیدهای دنا و رنا بخش‌های قلیایی (باز آلی) وجود دارد اما این مولکول‌ها **خاصیت اسیدی** دارند.

۲۶ دو سرِ هر رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید خطی متفاوت‌اند؛ چون **گروه فسفات** در یک انتها و **گروه هیدروکسیل** در انتهای دیگر آن آزاد است.

زووم: بین دو نوکلئوتید متوالی هر مولکول نوکلئیک‌اسید، یک پیوند فسفودی‌استر وجود دارد. در واقع یک گروه فسفات از دو سمت خود با پیوند استری به قندهای دو نوکلئوتید متوالی متصل است و پیوند فسفودی‌استر مجموع این دو پیوند است. به عبارت دیگر، در دو سمت پیوند فسفودی‌استر، قندهای دو نوکلئوتید قرار دارند.

۲۷ در نوکلئیک‌اسیدهای **حلقوی**، دو انتهای رشته‌های پلی‌نوکلئوتید نیز با یکدیگر پیوند فسفودی‌استر برقرار می‌کنند؛ پس این مولکول‌ها انتهای آزاد ندارند.

۲۸ دنای باکتری قطعاً حلقوی است اما یوکاریوت‌ها هم دنای خطی و هم دنای حلقوی دارند. در یوکاریوت‌ها، دنای هسته **خطی** و دنای موجود در راکیزه و پلاستیدها **حلقوی** است.

دقت کنید: همهٔ نوکلئوتیدهای به کار رفته در دنا با همهٔ نوکلئوتیدهای به‌کار رفته در رنا متفاوت‌اند! چون حداقل نوع قند به‌کار رفته در آن‌ها متفاوت است.

۲۹ در یک نوکلئوتید، اتصال مستقیمی بین فسفات و باز آلی وجود ندارد! قند پنج کربنی را در وسط در نظر بگیرید؛ از یک طرف باز آلی و از طرف دیگر گروه یا گروه‌های فسفات به آن متصل است.

۳۰ **ویژه** اگر دو مولکول دنا با تعداد نوکلئوتیدهای یکسان، یکی خطی و دیگری حلقوی باشد، دنای حلقوی ۲ پیوند فسفودی‌استر بیشتر خواهد داشت.

۳۱ **ترکیبی** در اثر تجزیهٔ نوکلئیک‌اسیدها، نوعی مادهٔ دفعی نیتروژن‌دار به نام اوریک‌اسید تولید و از طریق ادرار دفع می‌شود. انحلال‌پذیری اوریک‌اسید در آب زیاد نیست و به همین دلیل، رسوب آن در کلیه‌ها موجب سنگ کلیه و در مفاصل موجب بیماری نقرس می‌شود.

تلاش برای کشف ساختار مولکولی دنا

اصل مطلب

تحقیقات و آزمایشات دانشمندان زیر منجر به کشف ساختار مولکولی دنا شد:

۱ **چارگاف:** مشاهدات و تحقیقات چارگاف روی **دناهای جانداران** نشان داد که مقدار آدنین با تیمین ($A = T$) و همچنین مقدار گوانین با سیتوزین ($G = C$) برابر است.

۲ **ویلکینز و فرانکلین:** با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دنا تصاویری تهیه کردند و با بررسی این تصاویر، نتیجه گرفتند که دنا حالت مارپیچی و بیش از یک رشته دارد. همچنین با این روش، ابعاد مولکول را نیز تشخیص دادند.

۳ **واتسون و کریک:** با استفاده از آزمایش‌های چارگاف و داده‌های حاصل از تصاویر پرتو ایکس و همچنین یافته‌های خودشان، مدل مولکولی نردبان مارپیچ را ساختند. در این مدل، دنا شبیه یک **نردبان پیچ‌خورده** است که ستون‌های آن را **قند و فسفات** و پله‌های آن را **بازهای آلی** تشکیل می‌دهند.

۳۲ قبل از آزمایشات چارگاف تصور می‌شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دنا، به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند.

۳۳ **ویژه** در دنای طبیعی جانداران، همواره ٪۵۰ بازها پورین و ٪۵۰ دیگر پیریمیدین هستند.

۳۴ در مولکول دنای طبیعی، همواره مجموع فراوانی دو نوع باز غیرمکمل، ٪۵۰ است.

دقت کنید: چارگاف، وجود رابطهٔ مکملی بازهای آلی را تشخیص نداد؛ یعنی نمی‌دانست که به عنوان مثال آدنین در برابر تیمین قرار می‌گیرد!

۳۵ ویلکینز و فرانکلین، مارپیچی بودن دنا را به درستی تشخیص دادند اما نتوانستند با قاطعیت به **دو رشته‌ای** بودن آن پی ببرند.

۳۶ از پرتو ایکس برای شناسایی ساختار شیمیایی دنا استفاده نشد! بلکه استفاده از این روش، **ساختار فیزیکی** این مولکول را تا حدی مشخص کرد.

۳۷ بین قند یک نوکلئوتید و فسفات نوکلئوتید دیگر، **پیوند فسفودی‌استر** وجود دارد.

۳۸ بازهای آلی روبه‌روی هم، بازهای مکمل هستند (A و T) و (C و G) و بین آن‌ها **پیوندهای هیدروژنی** برقرار است.

۳۹ تعداد پیوندهای هیدروژنی بین C و G (سه پیوند) **بیشتر** از تعداد پیوندهای هیدروژنی بین A و T (دو پیوند) است. به همین دلیل، هر چقدر تعداد بازهای آلی C و G در یک مولکول دنا بیشتر باشد، پایداری آن بیشتر خواهد بود.

۴۰ قرار گرفتن جفت‌بازها در مقابل هم، موجب **یکسان ماندن قطر** دنا در سراسر آن می‌شود. چون هر باز تک‌حلقه‌ای در برابر یک باز دو حلقه‌ای قرار می‌گیرد.

۴۱ قرارگیری جفت‌بازها در برابر هم باعث پایداری مولکول دنا می‌شود. بنابراین دنا پایدارتر از رناست، چون مولکولی دورشته‌ای است.

دقت کنید: به‌طور طبیعی بین دو باز آلی نوکلئیک‌اسیدها، پیوند اشتراکی تشکیل نمی‌شود.

دقت کنید: هیچ‌گاه دو رشتهٔ یک مولکول دنا نمی‌توانند توالی یکسانی داشته باشند؛ بلکه توالی دو رشتهٔ دنا مکمل یکدیگر است. مثلاً اگر توالی نوکلئوتیدی یک رشته به‌صورت ATCAGGTC باشد، توالی رشتهٔ مقابل آن به صورت TAGTCCAG خواهد بود.

۴۲ در هر رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید خطی، دو انتهای رشته باهم متفاوت است؛ یک انتها دارای گروه فسفات و انتهای دیگر دارای گروه هیدروکسیل است.

۴۳ در یک مولکول دنای خطی، جهت قرارگیری دو رشته عکس هم است. بنابراین در هر سمت مولکول، انتهای یک رشته دارای گروه فسفات و انتهای رشتهٔ دیگر دارای گروه هیدروکسیل است.

رنا و انواع آن

۴۴ مولکول رنا تک‌رشته‌ای است و هر مولکول رنا، از روی بخشی از یکی از رشته‌های دنا ساخته می‌شود.

۴۵ مهم‌ترین انواع رنا عبارتند از:

۱ **رنای پیک (mRNA)** که اطلاعات را از دنا به رناتن (ریبوزوم) می‌رساند و رناتن بر اساس اطلاعات آن، **پروتئین** می‌سازد.

۲ **رنای ناقل (tRNA)** که آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی، به سمت رناتن‌ها می‌برد.

۳ **رنای رناتنی (rRNA)** که در ساختار **رناتن‌ها** به کار می‌رود.

۴۶ هر سه نوع رنا (mRNA، tRNA و rRNA) در پروتئین‌سازی شرکت دارند.

۴۷ بعضی از رناها **نقش آنزیمی** نیز دارند و بعضی رناها نیز در **تنظیم بیان ژن** دخالت دارند.

جمع‌بندی — مقایسهٔ دنا و رنا

	دنا (DNA)	رنا (RNA)
نوع قند پنج کربنی	دئوکسی‌ریبوز	ریبوز
نوع بازهای آلی نیتروژن‌دار	آدنین، گوانین، سیتوزین و تیمین	آدنین، گوانین، سیتوزین و یوراسیل
تعداد رشته‌های سازنده	دو رشته‌ای	تک رشته‌ای
محل تولید و فعالیت در یاخته‌های پروکاریوتی	سیتوپلاسم	سیتوپلاسم
محل تولید و فعالیت در یاخته‌های یوکاریوتی	هسته	تولید در هسته و فعالیت در سیتوپلاسم

۴۸ **ترکیبی** تشکیل پیوند هیدروژنی مختص دنا نیست و در بخش‌هایی از **رنا** نیز ممکن است **رابطهٔ مکملی** وجود داشته باشد و بین آن‌ها پیوند هیدروژنی تشکیل شود.

ژن چیست؟

۴۹ اطلاعات وراثتی در دنا قرار دارند و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند. این اطلاعات در واحدهایی به نام **ژن** سازماندهی شده‌اند.

۵۰ هر ژن، قسمتی از مولکول دناست که بیان آن می‌تواند به تولید **رنا** یا **پلی‌پپتید** بینجامد.

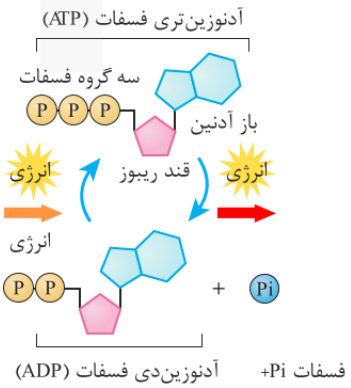
دخالت نوکلئوتیدها در واکنش‌های سوخت‌وسازی

۵۱ **ویژه** نوکلئوتیدها علاوه بر شرکت در ساختار دنا و رنا، نقش‌های دیگری نیز دارند:

۱ نوکلئوتید آدنین‌دار (ATP)، **منبع رایج انرژی** در یاخته است.

۲ نوکلئوتیدها در ساختار مولکول‌هایی وارد می‌شوند که در فرایندهای فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای نقش **حامل الکترون** را برعهده دارند.

۵۲ **ویژه** NADH، $FADH_2$ و NADPH حامل‌های الکترونی هستند که در ساختار آن‌ها نوکلئوتید آدنین‌دار به کار رفته است. NADH و $FADH_2$ در تنفس یاخته‌ای و NADPH در فتوسنتز تولید می‌شود.



فلش‌بَک: در موارد زیر از انرژی ATP استفاده می‌شود:

۱ جذب بعضی مواد از طریق انتقال فعال در رودهٔ باریک؛ مانند کلسیم و آهن. ۲ درون‌بری و برون‌رانی؛ مثلاً جذب ویتامین B_{12} با کمک فاکتور داخلی معده ۳ بازجذب بیشتر مواد در گردیزه‌های کلیه؛ مانند گلوکز ۴ تغییر شکل سر میوزین در فرایند انقباض ماهیچه ۵ بازگشت یون کلسیم به شبکهٔ آندوپلاسمی در پایان انقباض ۶ بارگیری آبکشی و باربرداری آبکشی در انتقال شیرهٔ پرورده ۷ جابه‌جایی یون‌های سدیم و پتاسیم توسط پمپ غشایی ۸ آزاد شدن ناقل‌های عصبی از پایانهٔ آکسون ۹ ترشح هورمون‌های پروتئینی از یاخته‌های درون‌ریز ۱۰ حرکت یاخته‌های تاژک‌دار (مانند اسپرم) و مژک‌دار (مانند مجاری تنفسی).

طرح‌های پیشنهادی

- الف **همانندسازی حفاظتی:** دو رشتهٔ دنای قدیمی وارد یک مولکول و دو رشتهٔ جدید وارد مولکول دنای دیگر می‌شود.
- ب **همانندسازی نیمه‌حفاظتی:** در هر مولکول دنا، یکی از رشته‌ها قدیمی و رشتهٔ دیگر جدید است.
- پ **همانندسازی غیرحفاظتی:** هر مولکول دنا، قطعاتی از رشته‌های قبلی و جدید را به‌صورت پراکنده دارد.

آزمایش مزلسون و استال

نشانه‌گذاری دنا با ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N)

- الف **مراحل**
  1. کشت باکتری E.coli در محیط حاوی ^{15}N
  2. انتقال باکتری‌ها به محیط حاوی ^{14}N
  3. بررسی چگالی دنای باکتری‌ها در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه‌ای
- ب نتیجه: همانندسازی دنا به‌صورت نیمه‌حفاظتی است.

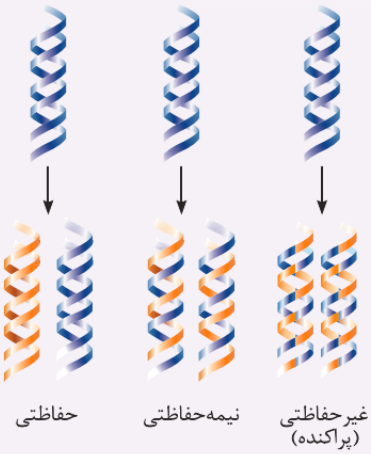
عوامل و مراحل همانندسازی

- الف **عوامل:**
  1. دنا به عنوان الگو
  2. نوکلئوتیدهای سه‌فسفاته
  3. آنزیم‌هایی از قبیل هلیکاز و دنابسپاراز
- ب **مراحل:**
  1. آنزیم هلیکاز ابتدا مارپیچ دنا را باز می‌کند و سپس پیوندهای هیدروژنی بین دو رشتهٔ دنا را می‌شکند.
  2. آنزیم دنابسپاراز رشتهٔ الگو را می‌خواند و در برابر آن رشتهٔ مکمل را می‌سازد.
     - الف فعالیت پلیمرازی: تشکیل پیوند فسفودی‌استر
     - ب فعالیت نوکلئازی: شکستن پیوند فسفودی‌استر

همانندسازی پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

- الف **پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته‌ای‌ها)**
  1. نوع دنا: دنای حلقوی
     - الف کروموزوم اصلی متصل به غشا
     - ب کروموزوم کمکی به نام پلازمید (دیسَک)
  2. تعداد جایگاه آغاز همانندسازی: اغلب یک جایگاه آغاز
- ب **یوکاریوت‌ها (هوهسته‌ای‌ها)**
  1. انواع دنا
     - الف دنای هسته‌ای: خطی
     - ب دنای سیتوپلاسمی: حلقوی (در راکیزه و سبزدیسه)
  2. چندین جایگاه آغاز همانندسازی

اصل مطلب



- به ساخته شدن مولکول دنای جدید از روی دنای قدیمی، همانندسازی می‌گویند. طرح‌های مختلفی برای همانندسازی پیشنهاد شده بود:

۱ **حفاظتی:** دو رشتهٔ دنای اولیه وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم و دو رشتهٔ دنای جدید نیز وارد یاختهٔ دیگر می‌شوند.

۲ **نیمه‌حفاظتی:** در هر یاخته، یکی از دو رشتهٔ دنا مربوط به دنای اولیه بوده و رشتهٔ دیگر تازه ساخته شده است.

۳ **غیرحفاظتی:** هر یک از دناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و جدید را به‌صورت پراکنده در خود دارد.

- مزلسون و استال با انجام آزمایش‌هایی نشان دادند که همانندسازی به‌صورت **نیمه‌حفاظتی** انجام می‌شود. آن‌ها دنا را با استفاده از نوکلئوتیدهایی که **ایزوتوپ سنگین نیتروژن** دارند (^{15}N)، نشانه‌گذاری کردند.

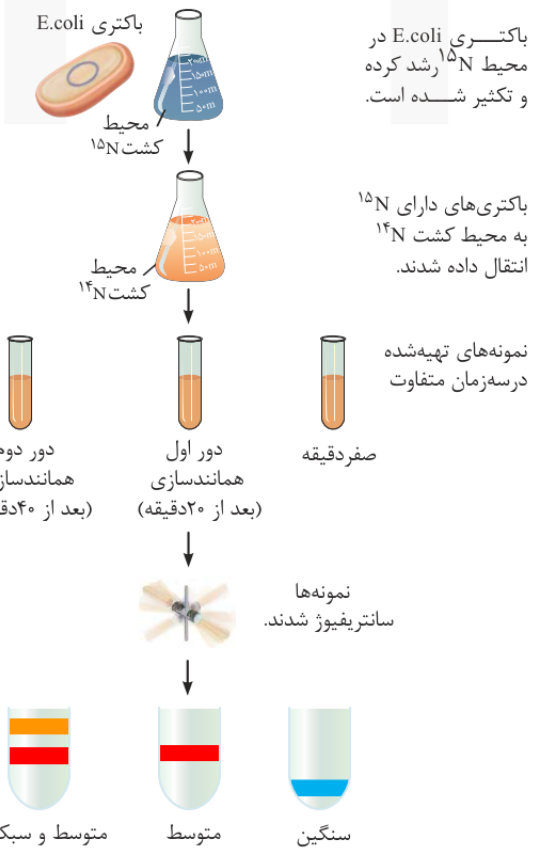
مراحل آزمایش مزلسون و استال:

۱ دنای معمولی دارای ^{14}N و در نتیجه سبک است. مزلسون و استال، باکتری‌های **اشرشیاکلای** (E.coli) را در محیط دارای ^{15}N کشت دادند و اجازه دادند باکتری‌ها چندین مرحله تکثیر شوند. نتیجهٔ این کار تولید باکتری‌هایی بود که هر دو رشتهٔ آن‌ها ^{15}N داشتند. دنای این باکتری‌ها سنگین‌تر از دنای باکتری‌های اولیه بود.

۲ باکتری‌های دارای دنای سنگین (^{15}N) را به محیط کشت دارای ^{14}N منتقل کردند.

۳ در فواصل ۲۰ دقیقه‌ای باکتری‌ها را از محیط کشت جدا و چگالی آن‌ها را بررسی کردند. برای این کار دنای باکتری‌ها را استخراج و در شیبی از محلول سزیم‌کلرید، در سرعتی بسیار بالا گریز دادند. در گریزانه، میزان حرکت مواد بر اساس **چگالی** است و مواد سنگین‌تر **تندتر** حرکت می‌کنند. در نتیجه، مواد بر اساس چگالی در بخش‌های متفاوتی از لولهٔ آزمایش قرار گرفتند.

- آزمایش مزلسون و استال نشان می‌دهد که همانندسازی به صورت **نیمه‌حفاظتی** انجام می‌شود.



۱ نتایج آزمایش‌های مزلسون و استال:

۱ دناهای دقیقهٔ صفر، چگالی سنگین داشتند؛ چون هر دو رشتهٔ آن‌ها ^{15}N داشت.

۲ دناهای دقیقهٔ ۲۰، چگالی متوسط داشتند؛ چون هر یک از آن‌ها یک رشتهٔ سبک (^{14}N) و یک رشتهٔ سنگین (^{15}N) داشتند.

۳ نیمی از دناهای دقیقهٔ ۴۰، چگالی متوسط و نیمی دیگر چگالی سبک داشتند.

۲ باکتری اشرشیاکلای هر ۲۰ دقیقه یک‌بار تقسیم می‌شود؛ بنابراین همانندسازی دنای آن کمتر از ۲۰ دقیقه طول می‌کشد.

۳ تقسیم باکتری‌ها با روش دو نیم شدن است. در این روش، ابتدا دنای باکتری همانندسازی می‌کند، سپس یاختهٔ باکتری از وسط به دو قسمت تقسیم می‌شود و دو باکتری به وجود می‌آید که حاوی یکی از دو مولکول دنای حاصل از همانندسازی است.

۴ **ویژه** در آزمایش مزلسون و استال، باکتری‌ها با استفاده از نیتروژن موجود در محیط کشت، بازهای آلی و سپس نوکلئوتیدهای مورد نیازشان را می‌سازند.

۵ در آزمایش مزلسون و استال، هر نواری که در لولهٔ آزمایش تشکیل می‌شود، حاوی تعدادی دنا با چگالی یکسان است.

۶ **ویژه** اگر همانندسازی دنا به‌صورت حفاظتی بود، یکی از دو مولکول دنای حاصل از همانندسازی، قطعاً فاقد جهش ناشی از خطای دنابسپاراز بود.

اصل مطلب

- مهم‌ترین عوامل مؤثر در همانندسازی دنا عبارتند از: ۱ مولکول دنا به عنوان الگوی همانندسازی ۲ نوکلئوتیدهای سه فسفاته ۳ آنزیم‌ها.
- قبل از همانندسازی دنا، آنزیم‌های ویژه‌ای **پیچ‌وتاب دنا** را باز و پروتئین‌های هیستون را از آن جدا می‌کنند.

مراحل همانندسازی:

۱ آنزیم هلیکاز، علاوه بر باز کردن مارپیچ دنا، دو رشتهٔ آن را با شکستن **پیوندهای هیدروژنی** از هم باز می‌کند.

۲ آنزیم دنابسپاراز (DNA پلیمراز) روی **رشتهٔ الگوی دنا** قرار می‌گیرد، نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشتهٔ الگو جفت می‌کند و هر نوکلئوتید را با پیوند فسفودی‌استر به نوکلئوتید قبلی وصل می‌کند.

۳ آنزیم دنابسپاراز رشتهٔ در حال ساخت را **ویرایش** می‌کند. یعنی پس از قرار دادن هر نوکلئوتید جدید در رشتهٔ در حال ساخت، رابطهٔ مکملی آن را بررسی می‌کند. در صورتی که نوکلئوتید غلط باشد، برمی‌گردد و با **فعالیت نوکلئازی** آن را برمی‌دارد و به‌جای آن نوکلئوتید صحیح را قرار می‌دهد.

دقت کنید: آنزیم هلیکاز پس از بازشدن پیچ و تاب دنا و جداشدن هیستون‌ها از آن به دنا متصل می‌شود. به عبارت دیگر باز شدن پیچ و تاب دنا و جداشدن هیستون‌ها توسط آنزیم‌های دیگری انجام می‌گیرد.

۷ در همانندسازی دنا، چندین نوع آنزیم فعالیت می‌کنند که مهم‌ترین آن‌ها دنابسپاراز و هلیکاز نام دارند.

۸ برای ساخته شدن رشتهٔ مکمل در برابر رشتهٔ الگو، چندین آنزیم با یکدیگر همکاری می‌کنند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، **دنابسپاراز (DNA پلی‌مراز)** است.

۹ هنگام همانندسازی دنا، دو رشتهٔ آن **به‌تدریج** از هم باز می‌شوند و در برابر هر یک از رشته‌های آن، یک رشتهٔ مکمل ساخته می‌شود.

۱۰ فقط نوکلئوتیدهای سه فسفاته که به‌صورت آزاد در یاخته وجود دارند، می‌توانند به رشته دنای در حال ساخت اضافه شوند. هر یک از این نوکلئوتیدها هنگام اتصال، دو گروه فسفات ایجاد می‌کند.

۱۱ **ویژه** هر نوکلئوتید جدید، ابتدا با پیوندهای هیدروژنی در برابر رشتهٔ الگو قرار می‌گیرد و سپس با پیوند فسفودی‌استر به نوکلئوتید قبلی متصل می‌شود.

۱۲ در ویرایش، آنزیم دنابسپاراز دو عمل انجام می‌دهد؛ یکی شکستن پیوند فسفودی‌استر برای برداشتن نوکلئوتید غلط و دیگری تشکیل پیوند فسفودی‌استر برای قرار دادن نوکلئوتید جدید.

۱۳ **ترکیبی** آنزیم‌هایی که توانایی تشکیل پیوندهای فسفودی‌استر را دارند: ۱ـ دنابسپاراز ۲ـ رنابسپاراز ۳ـ لیگاز

۱۴ **ترکیبی** آنزیم‌هایی که توانایی هیدرولیز (آبکافت) پیوند فسفودی‌استر را دارند: ۱ـ دنابسپاراز ۲ـ آنزیم برش‌دهنده

۱۵ **ترکیبی** آنزیم‌هایی که توانایی شکستن پیوندهای هیدروژنی را دارند: ۱ـ هلیکاز ۲ـ رنابسپاراز

۱۶ در محل همانندسازی، ساخته شدن دناهای جدید در دو جهت انجام می‌شود و به آن همانندسازی **دوجهتی** می‌گویند.

۱۷ محلی که در آن، دو رشتهٔ دنا از هم جدا می‌شوند، ساختار Y مانندی است که به آن **دوراهی همانندسازی** می‌گویند. در همانندسازی دوجهتی، به ازای هر جایگاه شروع همانندسازی، **دو دوراهی همانندسازی** ایجاد می‌شود. دو دوراهی همانندسازی مجموعاً ساختار حباب‌مانندی ایجاد می‌کنند که حباب همانندسازی نامیده می‌شود.

۱۸ در دوراهی همانندسازی، با **شکستن پیوندهای هیدروژنی**، باز شدن دو رشتهٔ دنا ادامه می‌یابد و با تشکیل پیوندهای فسفودی‌استر، در برابر هر یک از رشته‌های الگو، رشتهٔ جدید ساخته می‌شود.

۱۹ در همانندسازی دو جهتی، بازشدن دو رشتهٔ دنا در هر دو دوراهی همانندسازی انجام می‌شود که نتیجهٔ آن دور شدن دوراهی‌ها از یکدیگر است.

۲۰ تشکیل پیوندهای هیدروژنی به آنزیم نیاز ندارد اما شکستن پیوندهای هیدروژنی توسط آنزیم انجام می‌شود.

۲۱ همزمان با ساختن شدن رشتهٔ جدید، مولکول دنا به‌تدریج پیچ می‌خورد و در پایان همانندسازی، دو مولکول دنای پیچ‌خورده ایجاد می‌شود.

۲۲ هر نوع تغییر **دائمی** در نوکلئوتیدهای دنا، **جهش** نامیده می‌شود. بنابراین وقتی نوکلئوتید اشتباه در رشتهٔ **در حال ساخت** قرار می‌گیرد، جهش نامیده نمی‌شود. زمانی به آن جهش می‌گویند که اصلاح نشده و باقی بماند.

۲۳ **ویژه** در بخشی از دنا که بر اثر خطای دنابسپاراز، جهش روی داده است، نوکلئوتیدهای غیرمکمل در برابر هم قرار دارند.

۲۴ انرژی لازم برای اتصال نوکلئوتید جدید به رشتهٔ در حال ساخت، با شکستن پیوند فسفات ـ فسفات در نوکلئوتید سه‌فسفاته تأمین می‌شود.

۲۵ در یاخته‌هایی که بیشتر تقسیم می‌شوند، آنزیم‌های هلیکاز و دنابسپاراز فعالیت بیشتری دارند؛ مانند یاخته‌های بنیادی، یاخته‌های سرطانی، یاختهٔ تخم، مورولا و بلاستولا.

۲۶ در یاخته‌هایی که تقسیم نمی‌شوند، دنابسپارازهای هسته فعالیت زیادی ندارند اما ممکن است راکیزه و یا پلاست داشته باشند. این اندامک‌ها توانایی تقسیم دارند و دنای آن‌ها همانندسازی می‌کند.

۲۷ در هر دوراهی همانندسازی، یک آنزیم هلیکاز و دو آنزیم دنابسپاراز فعالیت دارند. بنابراین در همانندسازی دو جهتی، به ازای هر جایگاه آغاز، **دو** آنزیم هلیکاز و **چهار** آنزیم دنابسپاراز فعالیت می‌کنند.

جمع‌بندی — خلاصهٔ مراحل همانندسازی

مرحله	عنوان کلی	عملی که انجام میشود	آنزیم
اول	باز شدن مارپیچ دنا	باز شدن مارپیچ دنا	هلیکاز
دوم	باز شدن دو رشتهٔ دنا از هم	شکستن پیوندهای هیدروژنی	هلیکاز
سوم	تشکیل رشتهٔ مکمل در برابر رشتهٔ الگو	تشکیل پیوندهای هیدروژنی تشکیل پیوند فسفودی‌استر	دنابسپاراز
چهارم	ویرایش رشتهٔ در حال ساخت	شکستن پیوند فسفودی‌استر	دنابسپاراز

همانندسازی در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

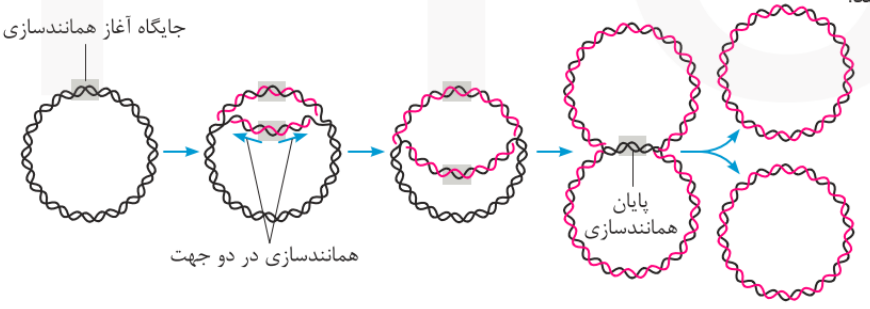
اصل مطلب

■ جانداران به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند:

۱ **پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته‌ای‌ها):** باکتری‌ها در این گروه قرار می‌گیرند. **فام‌تن اصلی** باکتری‌ها، یک مولکول دنای حلقوی است که در **سیتوپلاسم** قرار دارد و به غشای یاخته متصل است. باکتری‌ها ممکن است علاوه بر فام‌تن اصلی، دنای حلقوی کوچکی به نام **دیسَک (پلازمید)** نیز داشته باشند که **فام‌تن کمکی** نامیده می‌شود؛ چون ژن‌هایی دارد که در فام‌تن اصلی وجود ندارند؛ به همین دلیل، وجود دیسَک می‌تواند ویژگی‌های دیگری به باکتری بدهد؛ مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر آنتی‌بیوتیک. همانندسازی دوجهتی در پروکاریوت‌ها نیز دیده می‌شود. دو رشتهٔ دنا در جایگاه آغاز همانندسازی از هم باز می‌شوند و همانندسازی در دو جهت صورت می‌گیرد.

۲ **یوکاریوت‌ها (هوسته‌ای‌ها):** آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران در این گروه قرار می‌گیرند. فام‌تن‌های این جانداران درون هسته قرار دارند و از دنای خطی و پروتئین تشکیل شده‌اند. در یوکاریوت‌ها، علاوه بر **دنای هسته‌ای**، مقداری دنا نیز در سیتوپلاسم وجود دارد. **دنای سیتوپلاسمی** حلقوی است و در **راکیزه** (میتوکندری) و **دیسه** (پلاست) دیده می‌شود. در یوکاریوت‌ها، همانندسازی دنای فام‌تنی (هسته‌ای) به‌طور همزمان از **چندین نقطه** آغاز می‌شود.

۲۸ **اغلب** پیش‌هسته‌ای‌ها فقط **یک** جایگاه آغاز همانندسازی در دنای خود دارند؛ بنابراین همانندسازی از یک نقطه شروع می‌شود، در دو جهت به پیش می‌رود و در نقطهٔ مقابل آن به پایان می‌رسد.



۲۹ همانندسازی در هوسته‌ای‌ها، بسیار پیچیده‌تر از پیش‌هسته‌ای‌هاست که علت آن وجود مقدار زیادی دنا و قرار داشتن در چندین فام‌تن است. هر یک از دناهای فام‌تنی هوسته‌ای‌ها چندین برابر دنای باکتری است.

۳۰ دنای خطی یوکاریوت‌ها، **چندین** جایگاه آغاز همانندسازی دارد. در هر یک از این نقاط، همانندسازی آغاز می‌شود و در دو جهت به پیش می‌رود.

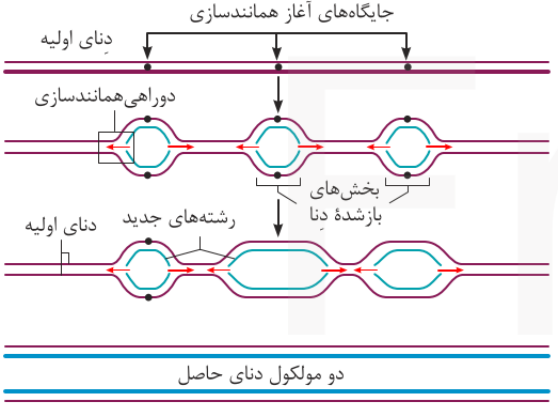
۳۱ به‌طور طبیعی، دناهای فام‌تنی یوکاریوت‌ها درون هسته قرار دارند اما در فرایند تقسیم میتوز یا میوز، پوشش هسته تجزیه می‌شود و فام‌تن‌ها در سیتوپلاسم قرار می‌گیرند.

۳۲ در هوسته‌ای‌ها، تعداد نقطه‌های آغاز همانندسازی می‌تواند بسته به **مراحل رشدونمو** تنظیم شود. در ابتدای تقسیمات یاخته‌ای، تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی کم است، اما هنگامی که سرعت تقسیم یاخته‌ای زیاد می‌شود، تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی بیشتر می‌شود.

۳۳ در دوران جنینی، در مراحل **مورولا** و **بلاستولا**، سرعت تقسیم زیاد و تعداد نقاط آغاز مورد استفاده هم زیاد است. پس از تشکیل اندام‌ها، سرعت تقسیم و تعداد نقاط آغاز کم می‌شود.

۳۴ **ویژه** همهٔ فام‌تن‌های یوکاریوت‌ها درون **هسته** قرار دارند؛ به عبارت دیگر، دنای موجود در **راکیزه** و **دیسه**، فام‌تن محسوب نمی‌شود.

زووم: در کتاب درسی می‌خوانیم: «همانندسازی دوجهتی در باکتری‌ها نیز وجود دارد.» ممکن است این سوال برایتان پیش بیاید که چرا کتاب درسی نگفته همانندسازی در باکتری‌ها دوجهتی است؟ واقعیت این است که در بعضی باکتری‌ها، همانندسازی به‌صورت یک جهتی انجام می‌شود. یعنی همانندسازی در یک نقطه آغاز می‌شود و فقط در یک جهت ادامه می‌یابد و با رسیدن به مجاورت نقطهٔ آغاز، به پایان می‌رسد. کتاب درسی هم با ظرافت خاصی از کنار این مطلب گذشته اما طوری نوشته شده است که از نظر علمی غلط نباشد!



۳۵ **ویژه** در یاخته‌هایی که با سرعت زیاد تقسیم می‌شوند، در واقع مدت زمان اینترفاز کاهش می‌یابد و در نتیجه، مدت زمان چرخهٔ یاخته‌ای کمتر می‌شود.

۳۶ **ترکیبی** تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی در کروموزوم‌های مختلف انسان با یکدیگر متفاوت است. هر چقدر یک کروموزم **بزرگ‌تر** باشد، تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی آن **بیشتر** است. بنابراین کروموزوم شمارهٔ ۱ بیشترین و کروموزوم شمارهٔ ۲۱ کمترین تعداد نقاط آغاز همانندسازی را دارد.

آمینواسیدها

- الف) واحدهای سازندهٔ پروتئین‌ها
- ب) ساختار عمومی: کربن مرکزی متصل به چهار گروه
  1. آمین ($-NH_2$)
  2. کربوکسیل ($-COOH$)
  3. هیدروژن
  4. گروه R
- پ) انواع: ۲۰ نوع آمینواسید در ساختار پروتئین‌ها

پروتئین

پیوند بین واحدها: نوعی پیوند اشتراکی به نام پیوند پپتیدی

سطوح ساختاری

- الف) ساختار اول: ترتیب قرار گرفتن آمینواسیدها به‌صورت خطی
- ب) ساختار دوم:
  1. عامل ایجاد: پیوندهای هیدروژنی
  2. مهم‌ترین انواع: مارپیچی و صفحه‌ای
- پ) ساختار سوم:
  1. ساختار سه‌بعدی بر اثر تاخوردگی‌های بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها
  2. عامل تشکیل: برهم‌کنش‌های آب‌گریز
  3. عامل تثبیت: پیوندهای دیگر مانند هیدروژنی، اشتراکی و یونی
- ت) ساختار چهارم:
  1. نحوهٔ آرایش زیرواحدها کنار هم
  2. مختص پروتئین‌هایی که از دو و یا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتید تشکیل شده‌اند.

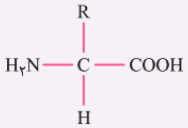
نقش

- الف) گیرنده در سطح یاخته‌ها: مانند پادتن‌ها
- ب) حمل گازهای تنفسی: مانند هموگلوبین
- پ) جابه‌جایی مواد از غشای یاخته: مانند پمپ سدیم ـ پتاسیم
- ت) حفاظت: مانند کلاژن
- ث) انقباض ماهیچه‌ها: مانند اکتین و میوزین
- ج) هورمون: مانند اکسی‌توسین و انسولین
- چ) تنظیم‌کننده: مانند مهارکننده و عوامل رونویسی
- ح) آنزیم‌ها: مانند آمیلاز، پروتئاز، لیپاز و نوکلئاز

آنزیم‌ها

1. نقش
   - الف) فراهم کردن امکان برخورد مناسب پیش‌ماده‌ها
   - ب) کاهش انرژی فعال‌سازی
   - پ) افزایش سرعت واکنش‌های انجام‌شدنی
2. جایگاه فعال
   - الف) بخش اختصاصی برای قرار گرفتن پیش‌ماده
   - ب) اشغال توسط بعضی سم‌ها مانند سیانید و آرسنیک
3. نیاز به کوآنزیم (مواد آلی مانند ویتامین‌ها)
4. عوامل مؤثر بر سرعت فعالیت
   - pH
   - دما
   - غلظت آنزیم
   - غلظت پیش‌ماده

اصل مطلب

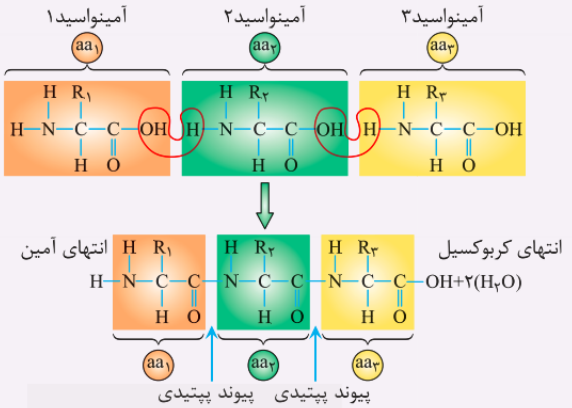


■ پروتئین‌ها بَسپارهایی از آمینواسیدها هستند. نوع، ترتیب و تعداد آمینواسیدهای پروتئین، ساختار و عمل آن را مشخص می‌کند.

هر آمینواسید، یک **کربن مرکزی** دارد که موارد زیر به آن متصل‌اند:

۱ گروه آمین (NH_2) ۲ گروه کربوکسیل (COOH) ۳ هیدروژن ۴ گروه R

گروه R در آمینواسیدهای مختلف، متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد. هر آمینواسید می‌تواند در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد و تأثیر آن به ماهیت شیمیایی **گروه R** بستگی دارد.



آمینواسیدها در طبیعت انواع گوناگونی دارند اما فقط ۲۰ **نوع** آن‌ها در ساختار پروتئین‌ها به کار می‌روند.

■ آمینواسیدها می‌توانند با نوعی پیوند اشتراکی به نام **پیوند پپتیدی** به یکدیگر متصل شوند. تشکیل پیوند پپتیدی با واکنش **سنتز آبدهی** و با حضور آنزیم انجام می‌شود و با تشکیل هر پیوند پپتیدی، یک مولکول آب آزاد می‌شود. وقتی تعدادی آمینواسید با پیوند پپتیدی به هم وصل می‌شوند، زنجیره‌ای از آمینواسیدها به نام **پلی‌پپتید** ایجاد می‌شود. هر پروتئین از یک یا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی ساخته شده است. هر پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را دارد.

دقت کنید: قرار نیست همهٔ ویژگی‌های آمینواسید به گروه R بستگی داشته باشد! بلکه ویژگی‌های منحصر به فرد آمینواسید به گروه R بستگی دارد. یعنی بعضی ویژگی‌های آمینواسید ارتباطی به گروه **R** ندارند؛ مثلاً **خاصیت اسیدی** آن به **گروه کربوکسیل** مربوط است.

۱ **ترکیبی** پیوند پپتیدی بین گروه آمین از یک آمینواسید و گروه کربوکسیل از یک آمینواسید دیگر برقرار می‌شود. این پیوند از طریق واکنش سنتز آبدهی و توسط یکی از آنزیم‌های موجود در رناتن (ریبوزوم) برقرار می‌شود.

۲ در یک انتهای هر زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی، گروه آمین (NH_2) و در انتهای دیگر آن گروه کربوکسیل (COOH) وجود دارد.

دقت کنید: تفاوت پروتئین‌های مختلف به نوع، تعداد و ترتیب آمینواسیدهای آن‌ها بستگی دارد در حالی که تفاوت آمینواسیدهای مختلف به گروه **R** آن‌ها مربوط است. پس می‌توان نتیجه گرفت که نوع گروه‌های R آمینواسیدها، ساختار، شکل و عملکرد پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های گروه **R**، **قطبی** یا **ناقطبی** بودن آن است.

۳ پلی‌پپتید، زنجیره‌ای بلند و بدون انشعاب (شاخه) از آمینواسیدهاست و ساختار **خطی** دارد.

۴ می‌دانیم که پلی‌پپتید با نوعی واکنش سنتز آبدهی تشکیل می‌شود. در این واکنش، به تعداد پیوندهای پپتیدی که تشکیل می‌شوند، مولکول‌های آب آزاد می‌گردند. هنگام تجزیهٔ پلی‌پپتید با واکنش **هیدرولیز (آبکافت)** نیز به تعداد پیوندهای پپتیدی که شکسته می‌شوند، آب مصرف می‌گردد.

دقت کنید: نمی‌توان گفت هر واکنشی که در آن آب مصرف می‌شود، از نوع هیدرولیز است؛ به عنوان مثال درون گویچه‌های قرمز انسان واکنشی انجام می‌شود که طی آن آب و کربن دی‌اکسید ترکیب می‌شوند. در این واکنش آب مصرف می‌شود اما هیدرولیز صورت نمی‌گیرد.

۵ **ترکیبی** هیدرولیز کامل یک پلیمر، آن را به مونومرهای سازنده تبدیل می‌کند اما گاهی نیز هیدرولیز به‌صورت ناقص انجام می‌شود. به همین دلیل، مولکول‌هایی که آزاد می‌شوند مونومر نیستند؛ مانند موارد زیر: ۱ تبدیل پروتئین به پپتیدهای کوچک‌تر توسط پپسین در معده ۲ تبدیل نشاسته به مالتوز و مولکول‌های درشت‌تر از مالتوز توسط آمیلاز در دهان ۳ تبدیل غذا به قطعات کوچک‌تر توسط آنزیم‌های کیسهٔ گوارشی هیدر.

۶ تشکیل پیوند پپتیدی به انرژی نیاز دارد و انرژی مورد نیاز از طریق هیدرولیز ATP تأمین می‌شود.

۷ در یاخته، دنا و رنا ذخیره و انتقال اطلاعات را برعهده دارند و پروتئین‌ها به انجام فرایندهای مختلف کمک می‌کنند.

۸ شکل دنا با تغییر نوع نوکلئوتیدهای آن تغییر نمی‌کند اما تغییر در **نوع** آمینواسیدهای پروتئین می‌تواند سبب **تغییر شدید** در شکل آن شود!

۹ تجزیهٔ آمینواسیدها در یاخته، منجر به تولید مادهٔ سمی به نام **آمونیاک** می‌شود که از طریق جریان خون به کبد می‌رسد و کبد آن را با کربن دی‌اکسید ترکیب می‌کند و **اوره** می‌سازد.

۱۰ **ویژه** جرم دو آمینواسید متصل به هم، کمتر از مجموع جرم همان دو آمینواسید به صورت آزاد است! چون هنگام اتصال دو آمینواسید، یک مولکول آب آزاد می‌شود.

۱۱ پروتئازها، آنزیم‌هایی هستند که واکنش آبکافت پیوند پپتیدی را کاتالیز می‌کنند. مانند پپسین و پروتئازهای لوزالمعده و روده.

اصل مطلب

■ شکل فضایی پروتئین، نوع عمل آن را مشخص می‌کند. یکی از راه‌های پی‌بردن به شکل پروتئین، استفاده از **پرتوهای ایکس** است. اولین پروتئینی که ساختار آن کشف شد، **میوگلوبین** بود.

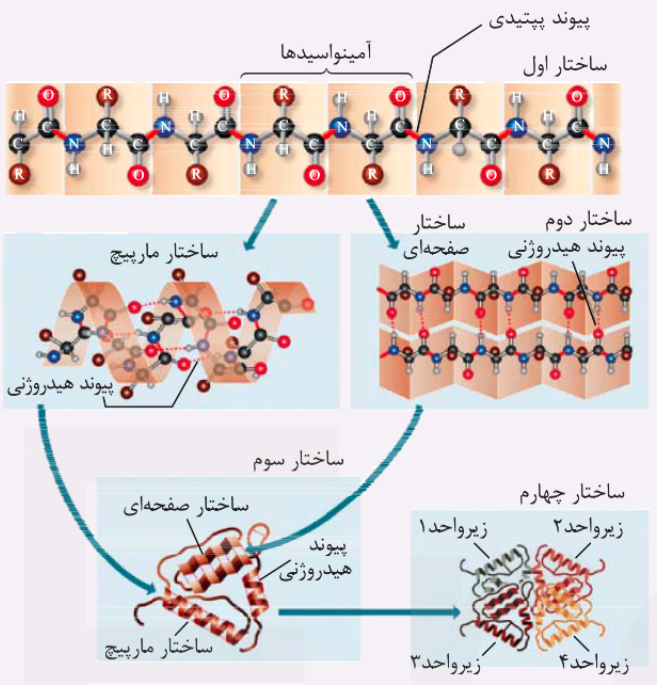
■ ساختار پروتئین‌ها در چهار سطح بررسی می‌شود که هر ساختار مبنای تشکیل ساختار بالاتر است.

ساختار اول ـ توالی آمینواسیدها: نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار اول پروتئین‌ها را تعیین می‌کند. این ساختار با تشکیل **پیوندهای پپتیدی** شکل می‌گیرد. همهٔ سطوح دیگر ساختاری پروتئین‌ها به این ساختار بستگی دارد.

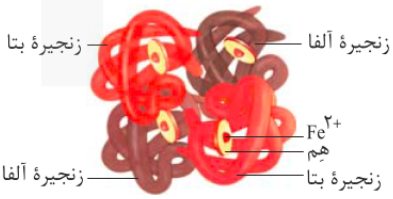
ساختار دوم ـ الگویی از پیوندهای هیدروژنی: با تشکیل **پیوندهای هیدروژنی** بین بخش‌هایی از زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی شکل می‌گیرد. ساختار دوم به چند صورت دیده می‌شود که دو نمونهٔ معروف آن‌ها ساختار **مارپیچ** و ساختار **صفحه‌ای** است.

ساختار سوم ـ تاخورده و متصل به‌هم: در این ساختار، تاخوردگی‌های بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها سبب ایجاد شکل **کروی** می‌شود. تشکیل این ساختار در اثر برهم‌کنش‌های **آب‌گریز** و تثبیت آن با تشکیل پیوندهای دیگری مانند هیدروژنی، اشتراکی و یونی است. ساختار نهایی **میوگلوبین**، ساختار سوم است.

ساختار چهارم ـ آرایش زیرواحدها: این ساختار با کنار هم قرار گرفتن **دو یا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی** ایجاد می‌شود و هر یک از زنجیره‌ها در شکل‌گیری آن نقش کلیدی دارند. نحوهٔ **آرایش زیرواحدها** کنار یکدیگر، ساختار چهارم نامیده می‌شود.



۱۲ هموگلوبین، پروتئینی است که از چهار زنجیره تشکیل شده است که دوبه‌دو مشابه‌اند (دو زنجیرهٔ **آلفا** و دو زنجیرهٔ **بتا**). شکل‌گیری هموگلوبین طی مراحل زیر انجام می‌شود:



۱) دو زنجیرهٔ آلفا و دو زنجیرهٔ بتا به‌صورت جداگانه ساخته می‌شوند (ساختار اول).

۲) هر یک از این زنجیره‌ها به شکل **مارپیچ** در می‌آیند (ساختار دوم).

۳) هر یک از زنجیره‌ها به صورت یک زیرواحد، تاخورده و شکل خاصی پیدا می‌کند (ساختار سوم).

۴) این چهار واحد در کنار هم قرار می‌گیرند و ساختار چهارم هموگلوبین را می‌سازند.

۱۳ هر یک از زیرواحدهای هموگلوبین، یک بخش پروتئینی **(گلوبین)** و یک بخش غیرپروتئینی **(هِم)** دارد. بخش هِم دارای یک یون آهن (Fe^{2+}) است.

۱۴ برهم‌کنش‌های آب‌گریز، پیوند اشتراکی محسوب نمی‌شوند، بلکه بخش‌های آب‌گریز دو مولکول که تلاش می‌کنند دور از آب قرار بگیرند، به هم نزدیک می‌شوند.

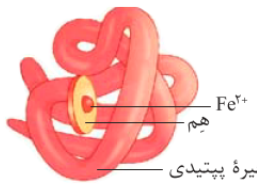
۱۵ همهٔ سطوح ساختاری پروتئین‌ها، به **توالی آمینواسیدها** در ساختار اول بستگی دارد.

۱۶ ساختار دوم پروتئین‌ها ثبات زیادی ندارد، ساختار سوم دارای **ثبات نسبی** و ساختار چهارم دارای ثبات کامل است.

۱۷ در تشکیل ساختار سوم، گروه‌های R آب‌گریز، به یکدیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند. سایر آمینواسیدها با گروه R آب‌دوست، در سطح پروتئین قرار می‌گیرند.

زووم: در ساختار سوم یک پروتئین ممکن است بخش‌های مارپیچی و صفحه‌ای با هم مشاهده شود! اگر به شکل ۱۷ در صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی دقت کنید، متوجه خواهید شد که بخشی از زنجیره به‌صورت مارپیچ و بخش دیگری از آن به‌صورت صفحه‌ای است.

۱۸ فقط **بعضی** پروتئین‌ها از چند رشتهٔ پلی‌پپتید تشکیل شده‌اند و در نتیجه، فقط بعضی پروتئین‌ها ساختار چهارم دارند.



۱۹ میوگلوبین، نوعی پروتئین آهن‌دار تک‌رشته‌ای با ساختار نهایی **سوم** اما هموگلوبین نوعی پروتئین آهن‌دار چهار رشته‌ای با ساختار **چهارم** است.

۲۰ میوگلوبین دارای یک گروه هِم است، در **یاخته‌های ماهیچه‌ای** وجود دارد و می‌تواند مقداری اکسیژن ذخیره کند؛ در حالی‌که هموگلوبین در **گویچه‌های قرمز** وجود دارد و می‌تواند اکسیژن، کربن دی‌اکسید و یون‌های هیدروژن را انتقال دهد.

۲۱ هر نوع تغییر در توالی آمینواسیدهای زنجیرهٔ پلی‌پپتید، قطعاً موجب تغییر در ساختار اول پروتئین می‌شود اما تأثیر آن بر عملکرد پروتئین، به **نوع** آمینواسید و **محل تغییر** در پروتئین بستگی دارد.

۲۲ در ساختار دوم پروتئین‌ها (مارپیچی و صفحه‌ای)، فقط **بعضی** آمینواسیدها در پیوندهای هیدروژنی شرکت دارند.

۲۳ هر یک از زنجیره‌های هموگلوبین، به تنهایی ساختارهای اول، دوم و سوم را دارد؛ زمانی که این زیرواحدها کنار هم آرایش می‌یابند، ساختار چهارم ایجاد می‌شود.

جمع‌بندی ساختارهای پروتئین‌ها

ساختار	عامل تشکیل	شکل ظاهری	ساختار نهایی چه پروتئینی است؟
اول	پیوندهای پپتیدی	زنجیرهٔ خطی و بدون انشعاب	هیچ پروتئینی
دوم	پیوندهای هیدروژنی	شکل‌هایی از قبیل مارپیچی و صفحه‌ای	-
سوم	تشکیل: برهم‌کنش‌های آب‌گریز تثبیت: پیوندهای هیدروژنی، اشتراکی و یونی	کروی	پروتئین‌های تک‌رشته‌ای مانند میوگلوبین
چهارم	آرایش زیرواحدها کنار هم	متفاوت در پروتئین‌های مختلف	پروتئین‌های چندرشته‌ای مانند هموگلوبین

نقش پروتئین‌ها

اصل مطلب

پروتئین‌ها، **متنوع‌ترین** گروه مولکول‌های زیستی از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی هستند و در فرایندها و فعالیت‌های متفاوتی شرکت دارند. مهم‌ترین نقش‌های پروتئین‌ها عبارتند از:

۱ **آنزیمی:** به عنوان کاتالیزورهای زیستی، سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهند.

۲ **گیرنده:** پروتئین‌هایی هستند که در سطح یاخته قرار می‌گیرند؛ مانند گیرنده‌های آنتی‌ژنی که در سطح لنفوسیت‌ها قرار دارند.

۳ **انتقال‌دهنده:** مانند هموگلوبین که گازهای تنفسی را در خون انتقال می‌دهد و پمپ سدیم ـ پتاسیم که یون‌های سدیم و پتاسیم را در عرض غشا جابه‌جا می‌کند.

۴ **استحکامی:** مثلاً کلاژن که باعث استحکام بافت پیوندی می‌شود، به فراوانی در رباط و زردپی وجود دارد.

۵ **انقباض:** اکتین و میوزین، پروتئین‌هایی هستند که لغزیدن آن‌ها روی یکدیگر، موجب انقباض ماهیچه می‌شود.

۶ **هورمون:** بیشتر هورمون‌ها از جنس پروتئین هستند و در ردوبدل کردن پیام بین یاخته‌های بدن نقش دارند؛ مانند اکسی‌توسین و انسولین.

۷ **تنظیمی:** مثلاً پروتئین‌هایی مانند مهارکننده در فعال و غیرفعال کردن ژن‌ها نقش دارند.

۲۴ **ویژه** بعضی پروتئین‌ها ممکن است بیش از یک نوع نقش داشته باشند؛ مثلاً پمپ سدیم ـ پتاسیم، علاوه بر جابه‌جا کردن یون‌ها، نقش آنزیمی نیز دارد. همچنین مولکول میوزین علاوه بر این که در انقباض ماهیچه نقش دارد، نقش آنزیمی نیز دارد. نقش آنزیمی پمپ سدیم ـ پتاسیم و میوزین، موجب هیدرولیز ATP و آزاد کردن انرژی می‌شود.

فلش‌بَک: بافت پیوندی از یاخته‌ها، مادهٔ زمینه‌ای و انواعی از رشته‌های پروتئینی تشکیل شده است. مهم‌ترین رشته‌های پروتئینی که در بافت پیوندی به‌کار می‌روند عبارتند از رشته‌های کلاژن و رشته‌های الاستیک (کشسان). رشته‌های کلاژن قطور و محکم هستند و موجب **استحکام** بافت پیوندی می‌شوند. رشته‌های **الاستیک** نیز موجب کشسانی و **انعطاف‌پذیری** بافت پیوندی می‌شوند.

۲۵ وجود رشته‌های کلاژن در بخش درونی پوست بدن انسان (درم) آن را به بافتی محکم و غیرقابل نفوذ تبدیل و سدی در برابر نفوذ میکروب‌ها و عوامل خارجی ایجاد کرده است.

۲۶ **ترکیبی** بعضی پروتئین‌ها در **انعقاد خون** نقش دارند؛ مانند فاکتور انعقادی ۸، پروترومبین و فیبرینوژن.

۲۷ **ترکیبی** بعضی پروتئین‌ها **نقش دفاعی** دارند؛ مانند پادتن، پرفورین، اینترفرون، پروتئین مکمل و لیزوزیم.

۲۸ **ترکیبی** تقسیم سیتوپلاسم یاخته‌های جانوری نیز با کمک پروتئین‌های **انقباضی** (اکتین و میوزین) انجام می‌شود.

۲۹ **ترکیبی** انسولین، هورمون پروتئینی است که در پاسخ به افزایش قند خون از لوزالمعده ترشح می‌شود و با اثر بر یاخته‌ها (به‌ویژه کبد و ماهیچه‌ها) سبب کاهش قند خون می‌شود.

۳۰ **ترکیبی** اکسی‌توسین هورمون پروتئینی است که توسط جسم یاخته‌ای نورون‌های **هیپوتالاموس** ساخته و در هیپوفیز پسین ذخیره می‌شود. این هورمون در مواقع لزوم از **هیپوفیز پسین** به جریان خون آزاد می‌شود و باعث انقباض رحم هنگام زایمان و انقباض ماهیچه‌های صاف غدد شیری هنگام شیردهی می‌شود.

۳۱ در هر پروتئین، حداقل تعدادی از آمینواسیدها می‌توانند در پیوندهای هیدروژنی شرکت کنند. چون همهٔ پروتئین‌ها ساختار دوم را دارند.
۳۲ مارپیچ پلی‌پپتیدی شامل یک زنجیره از مونومرها (آمینواسیدها) اما مارپیچ دنا شامل دو رشته از مونومرها (نوکلئوتیدها) است. دقت کنید که هر دو ساختار بر اثر **پیوندهای هیدروژنی** ایجاد می‌شوند.
۳۳ تاخوردگی زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در ایجاد ساختارهای دوم و سوم پروتئین‌ها مشاهده می‌شود.
۳۴ هر زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی سازندهٔ هموگلوبین دارای **ساختار دوم مارپیچی** است. به عبارت دیگر در مولکول هموگلوبین، ساختار صفحه‌ای مشاهده نمی‌شود.
۳۵ بعضی پروتئین‌ها دارای اجزایی غیر از آمینواسید هستند؛ مانند هموگلوبین و میوگلوبین که **آهن** دارند.
۳۶ **ویژه** آلبومین، گلوبولین‌ها و هموگلوبین از پروتئین‌هایی هستند که در **انتقال مواد** در خون نقش دارند. عامل داخلی معده نیز در انتقال ویتامین B_{12} نقش دارد.
۳۷ **ترکیبی** پادتن‌ها از گلوبولین‌های دفاعی هستند که برخی از آن‌ها به عنوان **گیرنده** عمل می‌کنند و برخی دیگر **ترشحی** هستند و به مایعات بدن می‌ریزند.
۳۸ پروتئین‌ها توسط رناتن‌هایی ساخته می‌شوند که به‌صورت آزاد درون سیتوپلاسم قرار دارند و یا این که به **شبکهٔ آندوپلاسمی** چسبیده‌اند.

آنزیم‌ها

اصل مطلب

- واکنش‌های شیمیایی در صورتی با سرعت مناسب انجام می‌شوند که **انرژی اولیه** کافی برای انجام آن‌ها وجود داشته باشد. این انرژی را انرژی **فعال‌سازی** می‌نامند. آنزیم‌ها امکان برخورد مناسب مولکول‌ها را فراهم می‌کنند و انرژی فعال‌سازی را **کاهش** می‌دهند و با این کار، سرعت واکنش‌های انجام‌شدنی را بیشتر می‌کنند.

ساختار آنزیم‌ها: بیشتر آنزیم‌ها پروتئینی هستند و در ساختار خود، بخشی به نام **جایگاه فعال** دارند که محل قرار گرفتن **پیش‌ماده** است. ترکیباتی که در اثر فعالیت آنزیم تولید می‌شوند، **فراورده** یا محصول نام دارند.

ویژگی‌های آنزیم‌ها:

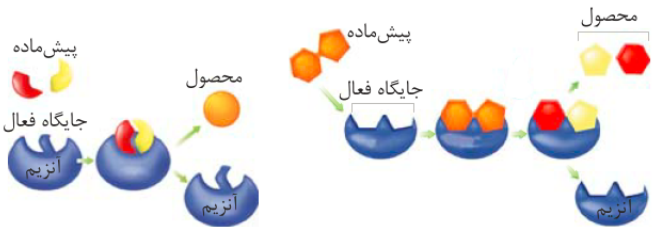
۱ بیشتر آن‌ها ساختار **پروتئینی** دارند؛ بعضی آنزیم‌ها نیز غیرپروتئینی هستند، مانند بعضی رناهای موجود در ساختار رناتن.
۲ آنزیم‌ها عمل **اختصاصی** دارند؛ یعنی هر آنزیم روی یک یا چند پیش‌مادهٔ خاص مؤثر است.
۳ آنزیم‌ها در همهٔ واکنش‌های شیمیایی بدن جانداران شرکت می‌کنند و سرعت واکنش را افزایش می‌دهند اما در پایان واکنش، **دست‌نخورده** می‌مانند تا بدن بتواند بارها از آن‌ها استفاده کند. بنابراین یاخته‌ها به **مقدار کم** آنزیم نیاز دارند.

عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم‌ها

۱ **pH محیط:** هر آنزیم در یک pH ویژه، بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینه می‌گویند.
۲ **دما:** آنزیم‌های بدن انسان، در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد، بهترین فعالیت را دارند. افزایش یا کاهش دما می‌تواند آنزیم را غیرفعال کند.
۳ **غلظت آنزیم و پیش‌ماده:** با افزایش مقدار آنزیم، تولید فراورده در **واحد زمان** افزایش می‌یابد.

- افزایش غلظت پیش‌ماده در محیطی که آنزیم وجود دارد نیز تا حدی می‌تواند باعث افزایش سرعت شود ولی این افزایش تا زمانی ادامه می‌یابد که تمامی جایگاه‌های فعال با پیش‌ماده اشغال شوند، در این هنگام سرعت واکنش ثابت می‌شود.

۳۹ بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به **یون‌های فلزی** مانند آهن، مس و یا مواد آلی مانند **ویتامین‌ها** نیاز دارند. مواد آلی که به آنزیم کمک می‌کنند، کوآنزیم نامیده می‌شوند.
۴۰ بعضی مواد سمی مانند آرسنیک و سیانید با قرار گرفتن در جایگاه فعال آنزیم، مانع از فعالیت آن می‌شوند. بعضی مواد سمی به همین طریق موجب مرگ می‌شوند.
۴۱ واکنش‌های سوخت‌وسازی دو دسته‌اند: بعضی از این واکنش‌ها موجب **تجزیهٔ** پیش‌ماده به مولکول‌های کوچک‌تر می‌شوند و بعضی دیگر از این واکنش‌ها سبب **ترکیب** شدن دو یا چند پیش‌ماده و تولید محصول بزرگ‌تر می‌شوند. هر دوی این واکنش‌ها با کمک آنزیم‌ها صورت می‌گیرند.



۴۲ بعضی آنزیم‌ها بیش از یک نوع واکنش را کاتالیز می‌کنند.
مثال ۱: در فرایند همانندسازی دنا، آنزیم **دنابسپاراز** می‌تواند فعالیت پلیمرازی (تشکیل پیوند فسفودی‌استر) و یا فعالیت نوکلئازی (شکستن پیوندهای فسفودی‌استر) داشته باشد.
مثال ۲: در فرایند رونویسی، آنزیم **رنابسپاراز** شکستن پیوندهای هیدروژنی و تشکیل پیوند فسفودی‌استر را برعهده دارد.
مثال ۳: آنزیم **روبیسکو** در یاخته‌های فتوسنتزکنندهٔ گیاهان، دارای دو نوع فعالیت (اکسیژنازی و کربوکسیلازی) است.

۴۳ غیرفعال شدن آنزیم‌ها بر اثر افزایش دما، **برگشت‌ناپذیر** است. آنزیم‌هایی که بر اثر دمای پایین غیرفعال می‌شوند، با برگشت دما به حالت طبیعی، می‌توانند به حالت فعال برگردند.

۴۴ آنزیم‌ها در pH بهینه بهترین فعالیت خود را دارند. pH بیشتر مایعات بدن بین ۶ و ۸ است؛ مثلاً pH خون حدود ۷/۴ است. pH بهینهٔ آنزیم پپسین حدود ۲ است و در شیرهٔ معده بهترین فعالیت را دارد. pH بهینهٔ آنزیم‌های لوزالمعده، حدود ۸ است. به همین دلیل در رودهٔ کوچک بهترین فعالیت را دارند. قبلاً گفتیم که پروتئازهای لوزالمعده پس از ورود به ابتدای رودهٔ باریک (دوازدهه) فعال می‌شوند.

۴۵ **ترکیبی** در افراد مبتلا به دیابت، به دلیل تجزیهٔ چربی‌ها pH خون کاهش می‌یابد و کمتر از ۷/۴ می‌شود.

۴۶ **ترکیبی** هورمون گاسترین با اثر بر یاخته‌های کناری معده، ترشح اسید را افزایش می‌دهد و سبب ایجاد pH بهینه برای فعالیت پپسین می‌شود.

۴۷ **ترکیبی** هورمون سکرتین با اثر بر لوزالمعده، ترشح بیکربنات را افزایش می‌دهد. ورود بیکربنات به دوازدهه، سبب ایجاد pH بهینه برای فعالیت آنزیم‌های شیرهٔ لوزالمعده می‌شود.

۴۸ آنزیم‌های لیزوزومی که درون اندامک لیزوزوم (کافنده‌تن) قرار دارند، درون یاخته فعالیت می‌کنند. مثلاً وقتی ذرات بزرگ غذایی از طریق آندوسیتوز وارد یاخته می‌شوند، درون واکوئل غذایی قرار می‌گیرند. لیزوزوم به واکوئل غذایی می‌پیوندد و آنزیم‌های گوارشی خود را به درون آن می‌ریزد.

۴۹ **ترکیبی** تب، نوعی سازوکار دفاعی است که سبب کاهش فعالیت میکروب‌ها می‌شود اما اگر **تب شدید** باشد، یعنی دمای بدن بیش از اندازه افزایش یابد، می‌تواند سبب تغییر شکل **غیرقابل بازگشت** جایگاه فعال آنزیم‌ها شود.

۵۰ اگرچه آنزیم‌ها در واکنشی که آن را کاتالیز می‌کنند، دست‌نخورده می‌مانند اما با گذشت زمان، مقدار آنزیم‌ها کاهش می‌یابد و لازم است دوباره تولید شوند.

۵۱ بیشتر آنزیم‌های بدن انسان در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد بهترین فعالیت را دارند اما دمای مناسب برای فعالیت برخی آنزیم‌ها در بیضهٔ انسان، حدود ۳۴ درجهٔ سانتیگراد است.

۵۲ همهٔ آنزیم‌ها **درون یاخته** تولید می‌شوند اما محل فعالیت آن‌ها می‌تواند درون‌یاخته، غشای یاخته و یا خارج از یاخته باشد. مثلاً آنزیم‌های ترشحی دستگاه گوارش (مثل آمیلاز، پپسین و لیپاز) خارج یاخته و آنزیم‌های مؤثر در تنفس یاخته‌ای، فتوسنتز، همانندسازی و رونویسی درون یاخته فعالیت می‌کنند. محل فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم نیز غشای یاخته است.

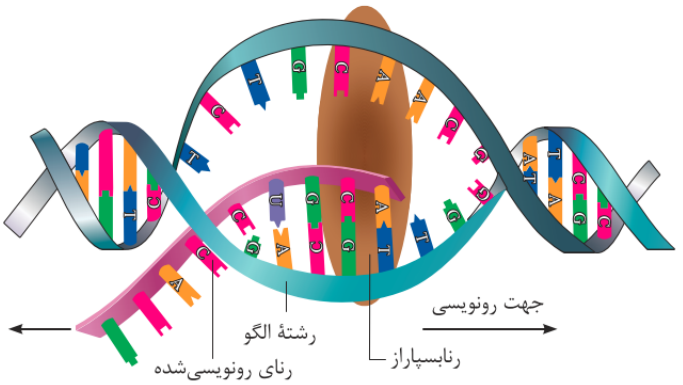
- **رمزهای وراثتی**
  - رمز: هر توالی سه نوکلئوتیدی در دنا
  - رمزه (کدون): هر توالی سه نوکلئوتیدی در رنای پیک
- **رونویسی**
  - **تعریف:** ساخته‌شدن مولکول رنا از روی بخشی از یک رشتهٔ دنا
  - **آنزیم مورد نیاز:** رنابسپاراز
    - الف **در پیش‌هسته‌ای‌ها:** یک نوع رنابسپاراز انواع رنا را می‌سازد.
    - ب **هوهسته‌ای‌ها سه نوع رنابسپاراز دارند:**
      1. رنابسپاراز ۱: ساخت رنای رناتنی
      2. رنابسپاراز ۲: ساخت رنای پیک
      3. رنابسپاراز ۳: ساخت رنای ناقل
  - **مراحل**
    - الف **مرحلهٔ آغاز:**
      1. شناسایی راه‌انداز توسط رنابسپاراز
      2. انتخاب اولین نوکلئوتید مناسب توسط رنابسپاراز
      3. باز شدن بخشی کوچک از دنا (شکستن پیوندهای هیدروژنی)
      4. ساخته‌شدن زنجیرهٔ کوتاهی از رنا
    - ب **مرحلهٔ طویل شدن:**
      1. ادامهٔ ساختن رنا توسط رنابسپاراز
      2. حرکت حباب رونویسی به سوی انتهای ژن
    - پ **مرحلهٔ پایان:**
      1. رنابسپاراز به توالی پایان رونویسی می‌رسد.
      2. رنابسپاراز از دنا و رنای تازه‌ساخت جدا می‌شود.
  - **الگوی رونویسی**
    - الف در محل هر ژن، فقط یک رشتهٔ دنا الگوی رونویسی است.
    - ب رشتهٔ مقابل رشتهٔ الگو، رشتهٔ رمزگذار نامیده می‌شود.
- **تغییرات رنای پیک**
  - الف رنای حاصل از رونویسی، رنای اولیه (نابالغ) نام دارد و حاوی بیانه‌ها و میانه‌ها است.
  - ب رنای اولیه با تغییراتی به رنای بالغ تبدیل می‌شود.
  - پ یکی از این تغییرات، حذف میانه‌ها و اتصال بیانه‌ها است.

رمزهای وراثتی

- هر توالی سه نوکلئوتیدی در دنا، یک **رمز** نامیده می‌شود. با ۴ نوع نوکلئوتید به‌کار رفته در دنا، ۶۴ نوع رمز مختلف ایجاد می‌شود.
- به ساخته شدن مولکول رنا از روی بخشی از یک رشتهٔ مولکول دنا، **رونویسی** گفته می‌شود. در یاخته‌های هسته‌دار، انواعی از رنا از روی دنای موجود در **هسته** ساخته و به **سیتوپلاسم** منتقل می‌شوند تا رناتن‌ها با کمک آن‌ها، پروتئین بسازند.
- برخلاف همانندسازی که در هر چرخهٔ یاخته‌ای فقط یک‌بار انجام می‌شود، رونویسی، در هر چرخه **بارها** انجام می‌شود.

عمل رونویسی با کمک آنزیم‌هایی انجام می‌شود که آن‌ها را تحت عنوان کلی **رنابسپاراز** نام‌گذاری می‌کنند.

- یاخته‌های پروکاریوتی فقط **یک نوع** رنابسپاراز دارند که انواع رنا را می‌سازد اما یوکاریوت‌ها **سه نوع** رنابسپاراز مختلف دارند.
- رنای رناتنی توسط رنابسپاراز۱، رنای پیک توسط رنابسپاراز۲ و رنای ناقل توسط رنابسپاراز۳ ساخته می‌شود.



مراحل رونویسی

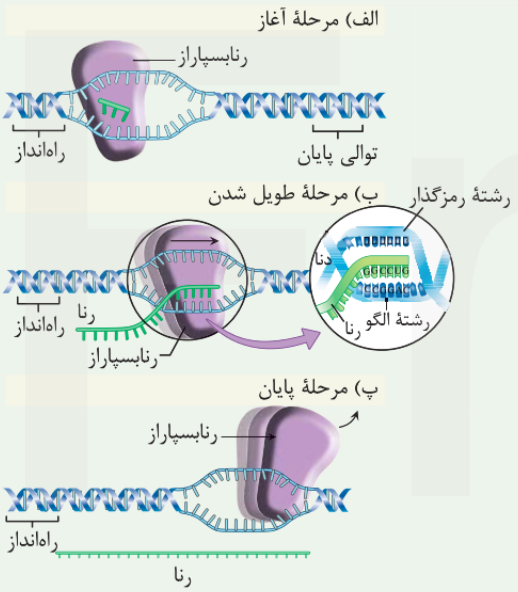
اصل مطلب

رونویسی فرایند پیوسته‌ای است اما برای سادگی، آن را به سه مرحله تقسیم می‌کنند:

مرحلهٔ آغاز: در این مرحله، آنزیم رنابسپاراز: ۱ توالی راه‌انداز را شناسایی می‌کند، به دنا متصل می‌شود و اولین نوکلئوتید مناسب روی رشتهٔ الگوی دنا را پیدا می‌کند. ۲ با شکستن پیوندهای هیدروژنی در بخش کوچکی از دنا، دو رشتهٔ دنا را از هم باز می‌کند. ۳ زنجیرهٔ کوتاهی از رنا در برابر رشتهٔ الگوی دنا می‌سازد.

مرحلهٔ طویل شدن: در این مرحله رنابسپاراز روی دنا به پیش می‌رود و بر طول رنا افزوده می‌شود. همزمان با حرکت رنابسپاراز به سمت جلو: ۱ در قسمت جلویی ژن، با شکستن پیوندهای هیدروژنی، دو رشتهٔ دنا از هم باز می‌شوند. ۲ قسمت‌هایی از رنا با شکستن پیوندهای هیدروژنی از رشتهٔ الگو جدا می‌شوند. ۳ کمی عقب‌تر، با تشکیل پیوندهای هیدروژنی، دو رشته دنا به هم می‌پیوندند.

مرحلهٔ پایان: با رسیدن رنابسپاراز به توالیِ پایان، آنزیم رنابسپاراز از دنا و رنای تازه ساخته شده جدا می‌شود و مجدداً دو رشتهٔ دنا با تشکیل پیوندهای هیدروژنی به هم متصل می‌شوند.



جمع‌بندی مراحل رونویسی

مرحله	وقایع مهم	پیوند فسفودی استر	پیوند هیدروژنی
آغاز	شناسایی راه‌انداز توسط رنابسپاراز	-	-
	باز شدن بخش کوچکی از دنا	-	شکستن
	ساخته شدن زنجیرهٔ کوتاهی از رنا	تشکیل	تشکیل
طویل شدن	حرکت رنابسپاراز به سمت انتهای ژن	-	-
	باز شدن دو رشتهٔ دنا در قسمت جلو	-	شکستن
	اضافه شدن نوکلئوتید به رنا	تشکیل	تشکیل
	بسته شدن دو رشتهٔ دنا در قسمت عقب	-	تشکیل
پایان	رسیدن رنابسپاراز به توالی پایان	-	-
	جدا شدن رنابسپاراز، دنا و رنا از هم	-	شکستن
	متصل شدن دو رشتهٔ دنا به هم	-	تشکیل

۱ در یاخته‌های پروکاریوتی، محل تولید و فعالیت رنابسپاراز سیتوپلاسم است. اما رنابسپارازهای یوکاریوتی در سیتوپلاسم تولید می‌شوند و درون هسته فعالیت می‌کنند.

۲ راه‌انداز موجب می‌شود رنابسپاراز اولین نوکلئوتید مناسب را به‌طور دقیق پیدا و رونویسی را از آن‌جا آغاز کند.

۳ در رونویسی، نوکلئوتید **یوراسیل‌دارِ** رنا، به عنوان مکمل در برابر نوکلئوتید آدنین‌دارِ دنا قرار می‌گیرد.

۴ در محل هر ژن، فقط یکی از دو رشتهٔ دنا رونویسی می‌شود. در محل یک ژن، رشته‌ای از دنا که رونویسی می‌شود، رشتهٔ **الگو** و رشتهٔ مقابل آن را رشتهٔ **رمزگذار** می‌نامند. رشتهٔ الگو برای ژن‌های مختلف یک مولکول دنا، یکسان نیست.

۵ راه‌انداز، قسمتی از **دو** رشتهٔ دناست اما جزء ژن نیست و رونویسی نمی‌شود.

۶ توالی پایان بخش انتهایی **ژن** است؛ یعنی جزء ژن محسوب می‌شود و پس از رونویسی از آن، فرایند رونویسی به پایان می‌رسد.

۷ **جهت** رونویسیِ ژن‌های مختلفی که در یک دنا قرار دارند، یکسان نیست.

۸ در دناهای هسته‌ای یوکاریوت‌ها، به ازای هر ژن یک راه‌انداز وجود دارد. بنابراین شناسایی **یک راه‌انداز**، منجر به رونویسی از یک **ژن** می‌شود.

۹ باز شدن دو رشتهٔ دنا توسط رنابسپاراز، به صورت **تدریجی** انجام می‌شود.

۱۰ نمی‌توان گفت محصول هر ژن، یک پروتئین است! چون اولاً فقط **رنای پیک** به **پلی‌پپتید** ترجمه می‌شود و اگر محصول ژن، رنایی غیر از رنای پیک باشد (مانند رنای ناقل یا رنای رناتنی) محصول آن پلی‌پپتید نخواهد بود. ثانیاً ممکن است یک پروتئین از **چند رشتهٔ** پلی‌پپتید تشکیل شده باشد. در این‌صورت، از روی **یک‌ژن**، فقط **قسمتی** از یک پروتئین ساخته می‌شود.

۱۱ در پروکاریوت‌ها، رونویسی فقط در **سیتوپلاسم** انجام می‌شود اما محل رونویسی در یوکاریوت‌ها، هم **هسته** و هم **سیتوپلاسم** است. بخش عمدهٔ دنای یوکاریوتی درون هسته و بخشی از آن نیز درون سیتوپلاسم (میتوکندری و پلاست) قرار دارد؛ بنابراین در سیتوپلاسم نیز رونویسی انجام می‌شود.

۱۲ در یوکاریوت‌ها، **رنابسپاراز۲**، **ژن سازندهٔ خودش** و سایر رنابسپارازها را **رونویسی** می‌کند؛ چون رنابسپاراز از جنس پروتئین است و در یاخته‌های یوکاریوتی، ژن پروتئین‌ساز توسط رنابسپاراز۲ رونویسی می‌شود.

۱۳ **تنوع** محصولات رنابسپاراز پروکاریوتی از هر یک از رنابسپارازهای یوکاریوتی **بیشتر** است؛ چون رنابسپاراز پروکاریوتی همهٔ انواع رنای این یاخته‌ها را می‌سازد.

۱۴ متنوع‌ترین محصولات رونویسی، **رناهای پیک** هستند؛ چون ژن‌های سازندهٔ پلی‌پپتیدها بسیار متنوع‌اند و رناهای پیک از روی این ژن‌ها ساخته می‌شوند.

۱۵ **فراوان‌ترین** رناها در یاخته‌هایی که از نظر سوخت‌وساز فعال‌اند، **رناهای رناتنی** هستند. چون این یاخته‌ها به تعداد زیادی رناتن نیاز دارند و در هر رناتن، چندین مولکول رنا به‌کار رفته است.

۱۶ هیچ ژنی نمی‌تواند توسط **چندین نوع** رنابسپاراز رونویسی شود. پروکاریوت‌ها فقط یک نوع رنابسپاراز دارند و در یوکاریوت‌ها نیز هر ژن همواره توسط یک نوع رنابسپاراز رونویسی می‌شود.

۱۷ یک رنابسپاراز می‌تواند **چندین ژن** را رونویسی کند؛ مثلاً در باکتری‌ها، یک رنابسپاراز ممکن است دو یا چند ژن مرتبط را که به دنبال یکدیگر قرار دارند، رونویسی کند.

۱۸ **چندین رنابسپاراز** (از یک نوع) می‌توانند یک ژن را رونویسی کنند. در صورتی که محصول یک ژن به مقدار زیاد مورد نیاز باشد، رنابسپارازهای متعدد می‌توانند به دنبال یکدیگر آن ژن را رونویسی کنند.

۱۹ محصول مستقیم رونویسی از همهٔ ژن‌ها **رناست** و بعضی از این رناها به **پلی‌پپتید** ترجمه می‌شوند. محصول مستقیم هیچ ژنی **نمی‌تواند** پروتئین، لیپید و یا کربوهیدرات باشد. البته لیپیدها و کربوهیدرات‌ها اصلاً ژن ندارند اما برای ساخت آن‌ها به آنزیم نیاز است و آنزیم با استفاده از ژن ساخته می‌شود. به عبارت دیگر، ژن‌ها به‌طور غیرمستقیم در تولید لیپیدها و کربوهیدرات‌ها نیز نقش دارند.

۲۰ در محل حباب رونویسی، **سه** رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید با **توالی متفاوت** دیده می‌شود؛ دو رشته مربوط به دنا و یکی از رشته‌ها رنای در حال ساخت است.

۲۱ در حباب رونویسی، رشتهٔ الگو دارای **دو** رشتهٔ مکمل است؛ یکی رشتهٔ رمزگذار و دیگری رنای در حال ساخت.

۲۲ مقایسهٔ رونویسی و همانندسازی:

شباهت‌های مهم:

(۱) در هر دو فرایند، با شکستن **پیوندهای هیدروژنی**، دو رشتهٔ دنا از هم جدا می‌شوند.

(۲) در هر دو فرایند، باز شدن دنا به‌صورت **تدریجی** صورت می‌گیرد.

(۳) در هر دو فرایند **پیوندهای هیدروژنی** شکسته و تشکیل می‌شوند.

(۴) در هر دو فرایند، رشتهٔ پلی‌نوکلئوتید جدید با واکنش سنتز آبدهی و تشکیل پیوندهای **فسفودی‌استر** به وجود می‌آید.

تفاوت‌های مهم:

۱) در چرخهٔ یاخته‌ای، همانندسازی **یک‌بار** انجام می‌شود آن هم در صورتی که قرار باشد یاخته **تقسیم** شود؛ در حالی که رونویسی از یک ژن ممکن است **بارها** انجام شود.

۲) مونومرهای مورد استفاده در همانندسازی از نوع **دئوکسی‌ریبونوکلئوتید** اما در رونویسی از نوع **ریبونوکلئوتید** هستند.

۳) باز شدن دو رشتهٔ دنا در همانندسازی توسط **هلیکاز** اما در رونویسی توسط **رنابسپاراز** انجام می‌شود.

۴) در همانندسازی، **دو** رشتهٔ دنا به‌طور کامل الگوست اما در رونویسی، فقط **بخشی از یک** رشتهٔ دنا به عنوان الگو استفاده می‌شود.

۵) در پایان همانندسازی، دو رشتهٔ دنای اولیه **کاملاً از هم جدا** می‌شوند اما در پایان رونویسی، دو رشتهٔ دنا **مجدداً به هم می‌چسبند**.

۶) در پایان همانندسازی، رشتهٔ **تازه‌ساخت** در برابر رشتهٔ الگو **می‌ماند** اما در پایان رونویسی، رشتهٔ **تازه‌ساخت** از رشتهٔ الگو **جدا** می‌شود.

۷) در همانندسازی برخلاف رونویسی، رشتهٔ در حال ساخت **ویرایش** می‌شود.

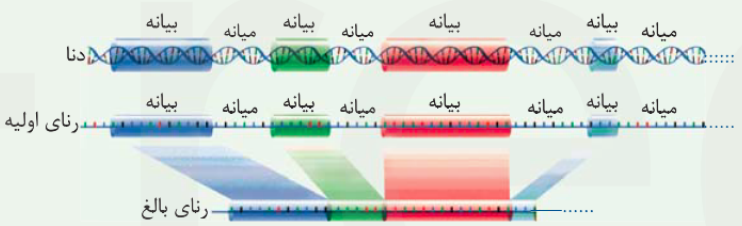
تغییرات رنا

اصل مطلب

■ در یاخته‌های یوکاریوتی، رنای ساخته شده در **رونویسی** با رنایی که در **سیتوپلاسم** وجود دارد، متفاوت است. **رنای پیک ممکن** است در حین رونویسی و یا پس از آن دچار تغییراتی شود. **یکی از این تغییرات**، حذف بخش‌هایی از مولکول رنای پیک طی فرایندی به نام **پیرایش** است که در رونوشت **بعضی** ژن‌ها رخ می‌دهد.

■ دستورالعمل‌های بعضی ژن‌ها در قطعاتی به نام **بیانه (اگزون)** قرار دارند و بین بیانه‌ها، قطعاتی به نام **میانه (اینترون)** قرار دارند که **فاقد** دستورالعمل ژن هستند. رنای حاصل از رونویسی این نوع ژن‌ها، رنای پیک **نابالغ (اولیه)** نام دارد که حاوی رونوشت بیانه‌ها و میانه‌هاست. رنای پیک نابالغ پس از **حذف میانه‌ها** و اتصال بیانه‌ها به یکدیگر به **رنای بالغ** تبدیل و به سیتوپلاسم فرستاده می‌شود.

■ **اینترون‌ها**، بخش‌هایی از ژن هستند که رونوشت آن‌ها از رنای پیک **حذف** می‌شوند. **اگزون‌ها**، بخش‌هایی از ژن هستند که رونوشت آن‌ها در رنای پیک باقی می‌مانند.



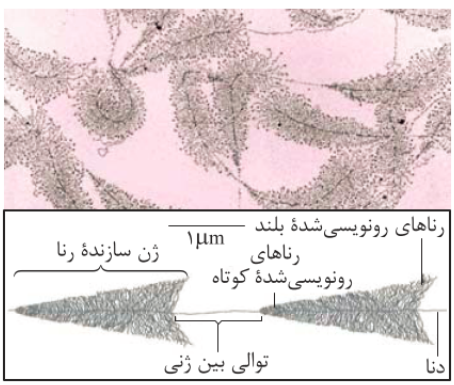
۲۳ بالغ شدن رنای یوکاریوتی درون هسته صورت می‌گیرد؛ سپس رنای پیک بالغ از هسته به سیتوپلاسم فرستاده می‌شود.

۲۴ **ویژه** هنگام حذف هر میانه **دو** پیوند فسفودی‌استر شکسته می‌شود و سپس با تشکیل **یک** پیوند فسفودی‌استر، دو بیانه به هم متصل می‌شوند.

۲۵ رنای اولیه (نابالغ) پس از حذف رونوشت اینترون‌ها و اتصال رونوشت اگزون‌ها، **تغییرات دیگری** نیز می‌کند و به رنای بالغ تبدیل و به سیتوپلاسم فرستاده می‌شود. رنای بالغ فاقد بخش‌های اینترونی است و به آن رنای سیتوپلاسمی نیز گفته می‌شود.

۲۶ اگر یک رنای پیک سیتوپلاسمی را با رشتهٔ الگوی ژن سازندهٔ آن مجاور هم قرار دهیم، بخش‌هایی از دنای الگو که با رنای سیتوپلاسمی رابطهٔ مکملی دارند، دو رشتهٔ مکمل را تشکیل می‌دهند، اما بخش‌هایی نیز **بدون مکمل** می‌مانند. این بخش‌های بدون مکمل، به‌صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دورشته‌ای قرار می‌گیرند. بخش‌های دارای مکمل، **اگزون** و بخش‌های بدون مکمل، **اینترون‌های** رشتهٔ الگو هستند.

۲۷ میزان رونویسی از یک ژن به مقدار نیاز یاخته به فراورده‌های آن بستگی دارد. بعضی ژن‌ها، مانند ژن‌های سازندهٔ رنای رناتنی در یاخته‌های **تازه تقسیم شده** بسیار فعال‌اند؛ چون این یاخته‌ها باید تعداد زیادی از این نوع رنا را بسازند. در رونویسی از این ژن‌ها:



۱) به طور همزمان، تعداد زیادی رنابسپاراز (همگی از یک نوع) از روی ژن رونویسی می‌کنند.

۲) چندین آنزیم رنابسپاراز مشابه، همگی از روی یک رشتهٔ ژن (رشتهٔ الگو) در حال رونویسی بوده و در مراحل مختلفی از رونویسی هستند.

۳) رناهای در حال رونویسی، اندازه‌های متفاوتی دارند. هر چه رنا به انتهای ژن نزدیک‌تر باشد، طول آن بیشتر است. این رناها پس از ساخته شدن، توالی یکسانی خواهند داشت.

۴) جهت رونویسی از سمت کوتاه‌ترین رنا به سمت بلندترین رناست.

۵) راه‌انداز به رناهای کوتاه‌تر و توالی پایان به رناهای بلندتر نزدیک‌تر است.

۲۸ در یاختهٔ **تخم** و یاخته‌های **مورولا** و **بلاستولا**، میزان رونویسی از ژن سازندهٔ رنای رناتنی بسیار **زیاد** است و ساختاری شبیه شکل بالا ایجاد می‌شود.
۲۹ توالی‌های بین ژنی، جزء هیچ یک از ژن‌ها نیستند و رونویسی نمی‌شوند. به عبارت دیگر در توالی‌های بین ژنی، بیانه و میانه وجود ندارد.
۳۰ اینترون‌ها و اگزون‌های مختلف از نظر اندازه با هم متفاوت‌اند.
۳۱ هنگام رونویسی از یک ژن یوکاریوتی، همه اینترون‌های آن همراه با اگزون‌ها رونویسی می‌شوند اما رونوشت هیچ یک از اینترون‌ها ترجمه نمی‌شوند. ضمناً **بخش عمدهٔ** رونوشت اگزون‌ها ترجمه می‌شود (نه تمام طول آن‌ها!). چون در رنای بالغ، قبل از رمزهٔ آغاز و بعد از رمزهٔ پایان، **تعدادی نوکلئوتید** وجود دارد که **ترجمه نمی‌شوند**. هم‌چنین در گفتار بعد می‌خوانید که رمزهٔ پایان نیز ترجمه نمی‌شود.
۳۲ در رنای پیک یوکاریوتی، رمزه‌های آغاز و پایان در رونوشت اگزون قرار دارند؛ چون بخش‌های ابتدایی و انتهایی هر ژن یوکاریوتی، اگزون است.
۳۳ **ویژه** مقایسهٔ ژن پلی‌پپتیدساز با mRNA حاصل از رونویسی و پلی‌پپتید محصول از نظر تعداد مونومرهای سازنده در یاخته‌های یوکاریوتی: