

# مولکول‌های اطلاعاتی

یکی از پرسش‌هایی که یافتن جوابی برای آن بیش از پنجاه سال طول کشید، این بود که ژن چیست و از چه ساخته شده است؟ پاسخ این سؤال، به ظاهر شاید ساده باشد ولی برای رسیدن به آن، پژوهش‌ها و آزمایش‌های زیادی انجام شد که در حال حاضر هم ادامه دارد.

در این فصل مطالب در قالب زنجیره‌ای از آزمایش‌ها توضیح داده می‌شود که نتایج آنها آگاهی ما را از ژن و مولکول‌های مرتبط به آن یعنی دنا (DNA)، رنا (RNA) و پروتئین بیشتر می‌کند.



گفتار! نوکلئیک اسید

هریک از یاخته‌های بدن ما ویژگی‌هایی مانند شکل و اندازه دارند. این ویژگی‌ها تحت فرمان هسته هستند. دستورالعمل‌های هسته در حین تقسیم از یاخته‌ای به یاخته دیگر و در حین تولید مثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. اطلاعات و دستورالعمل فعالیت‌های یاخته در چه قسمتی از هسته ذخیره می‌شود؟ قبلاً آموختیم که فام تن‌ها در هسته قرار دارند و در ساختار آنها دنا (DNA) و پروتئین مشارکت می‌کنند. کدامیک از این دو ماده، ذخیره کننده اطلاعات وراثتی است؟ پاسخ این سؤال مشخص شده است. این ماده دنا است که به عنوان ماده ذخیره کننده اطلاعات وراثتی عمل می‌کند. اما دانشمندان چگونه به این پاسخ رسیده‌اند؟

۱- **گرفیت:** با بررسی اثرات تزریق دو نوع استرپتوکوکوس نومونیا روی موش‌ها، مشخص نمود ماده وراثتی می‌تواند از یاخته‌ای به یاخته دیگر منتقل شود ولی ماهیت ماده وراثتی و چگونگی انتقال آن را متوجه نشد.

۲- **ایوری:** با بررسی اثرات بخش‌های مختلف حاصل از سانتریفیوژ عصاره سلولی باکتری کپسول‌دار به کمک آنزیم‌های تخریب‌کننده مواد آلی، مشخص نمود که عامل انتقال صفات، دنا است.

۳- **چارگاف:** با تحقیق روی دناهای جانداران مختلف نشان داد که مقدار A با T و C با G برابر است.

۴- **ویلیکینز و فرانکلین:** با استفاده از تصاویر حاصل از پرتو X، ابعاد دنا، مارپیچی بودن آن و اینکه بیش از یک رشته دارد را مشخص کردند.

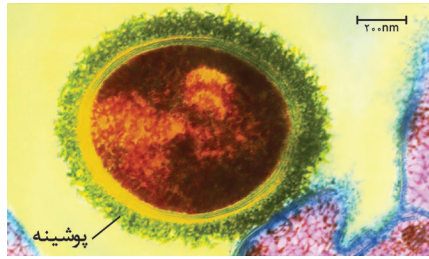
۵- **واتسون و کریک:** با استفاده از یافته‌های چارگاف و داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو X

مدل فعلی دنا را ارائه دادند.

فعالیت دانشمندان برای  
شناخت ساختار دنا

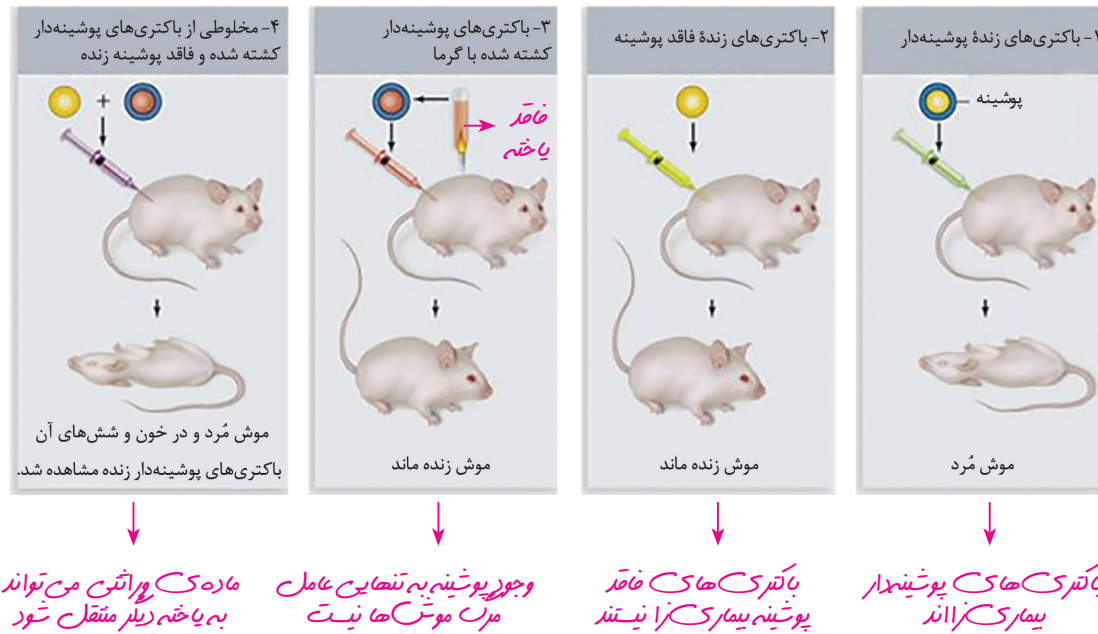
۱ **اطلاعات اولیه در مورد ماده وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام گرفیت به دست آمد.** ۲ **او سعی داشت واکسنی برای آنفلوآنزا تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا است.** ۳ **گرفیت با دو نوع از این باکتری، آزمایش‌هایی را روی موش‌ها انجام داد. نوع بیماری‌زای آن که پوشینه دار (کپسول‌دار) است در موش‌ها سبب سینه پهلوی می‌شود ولی نوع بدون پوشینه آن موش‌ها را بیمار نمی‌کند (شکل ۱).**

## زیست‌شناسی ۳



باکتری پوشینه‌دار

آزمایش‌ها و نتایج کار گریفیت را در شکل زیر ملاحظه می‌کنید.



### آزمایشات گریفیت و نتایج آن

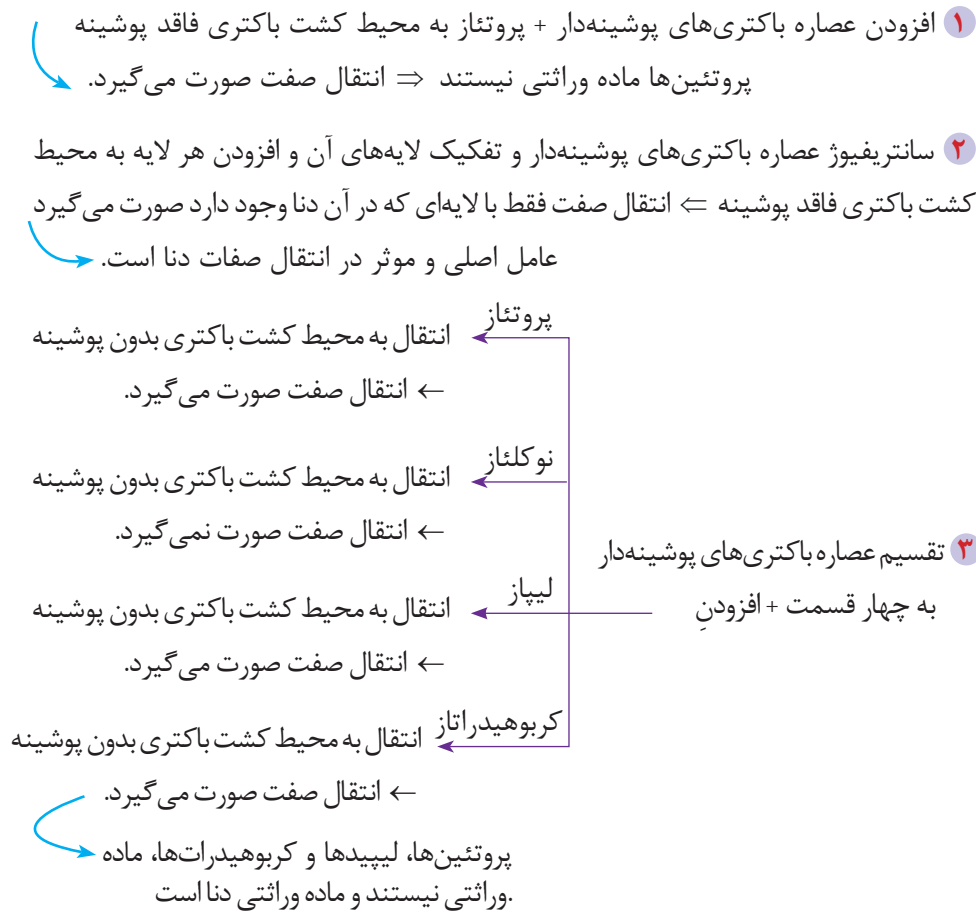
گریفیت مشاهده کرد تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار به موش باعث بروز علائم بیماری و مرگ در آنها می‌شود؛ در حالی که تزریق باکتری‌های بدون پوشینه به موش‌های مشابه، باعث بروز علائم بیماری نمی‌شود. او در آزمایش دیگری باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما را به موش‌ها تزریق و مشاهده کرد که موش‌ها سالم ماندند. ۴ گریفیت نتیجه گرفت وجود پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست. سپس مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما و زنده بدون پوشینه را به موش‌ها تزریق کرد؛ برخلاف انتظار، موش‌ها مُردند! او در بررسی خون و شش‌های موش‌های مرده، تعداد زیادی باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده کرد. مسلماً باکتری‌های مرده، زنده نشده‌اند بلکه تعدادی از باکتری‌های بدون پوشینه به نحوی تغییر کرده و پوشینه‌دار شده‌اند.

۵ از نتایج آزمایش‌های گریفیت مشخص شد که ماده وراثتی می‌تواند به یاخته دیگری منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.

۱ در آزمایش (ات) ..... گریفیت ..... به موش تزریق شد.

- (۱) آخر - ترکیبی شامل دو نوع باکتری واجد غشاء  
(۲) دوم و چهارم - مخلوطی حاوی دنا و پوشینه  
(۳) سوم - ترکیبی واجد نوعی یاخته فعال  
(۴) اول، دوم و چهارم - ترکیبی واجد یک نوع سلول زنده

### آزمایشات ایوری



عامل مؤثر در انتقال این صفت تا حدود ۱۶ سال بعد از گریفیت همچنان ناشناخته ماند. تا اینکه نتایج کارهای دانشمندی به نام ایوری و همکارانش عامل مؤثر در آن را مشخص کرد. آنها ابتدا ۱ از عصاره استخراج شده از باکتری‌های کشته شده پوشینه‌دار استفاده کردند و در آن تمامی پروتئین‌های موجود را تخریب کردند. سپس باقی مانده محلول را به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه اضافه کردند و دیدند که انتقال صفت صورت می‌گیرد؛ ۲ پس می‌توان نتیجه گرفت که پروتئین‌ها ماده وراثتی نیستند. در آزمایش دیگری عصاره استخراج شده از باکتری‌های کشته شده پوشینه‌دار را در یک گریزانه (سانتریفیوژ) با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به صورت لایه لایه جدا کردند. با اضافه کردن هریک از لایه‌ها به صورت جداگانه به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه مشاهده کردند که انتقال صفت فقط با لایه‌ای که در آن دنا وجود دارد انجام می‌شود.

نتایج این آزمایش‌ها ایوری و همکارانش را به این نتیجه رساند که ۳ عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است. به عبارت ساده‌تر، دنا همان ماده وراثتی است. با این حال نتایج به دست آمده مورد قبول عده‌ای قرار نگرفت؛ چون در آن زمان بسیاری از دانشمندان بر این باور بودند که پروتئین‌ها ماده وراثتی هستند.

در آزمایش‌های دیگری عصاره باکتری‌های پوشینه‌دار را استخراج و آن را به چهار قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت، آنزیم تخریب کننده یک گروه از مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک‌اسیدها) را اضافه کردند. سپس هر کدام را به محیط کشت حاوی باکتری بدون پوشینه منتقل و اجازه دادند تا فرصتی برای انتقال صفت و رشد و تکثیر داشته باشند. مشاهده شد که در همه ظروف انتقال صورت می‌گیرد به جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب کننده دنا است.

۲) در هر یک از آزمایشاتِ ایوری که با ..... همراه بود .....

(۱) استفاده از آنزیم تجزیه‌کننده - عامل انتقالِ صفت شناخته شد

(۲) سانتریفیوژ - از نوعی آنزیم تجزیه‌کننده استفاده شد

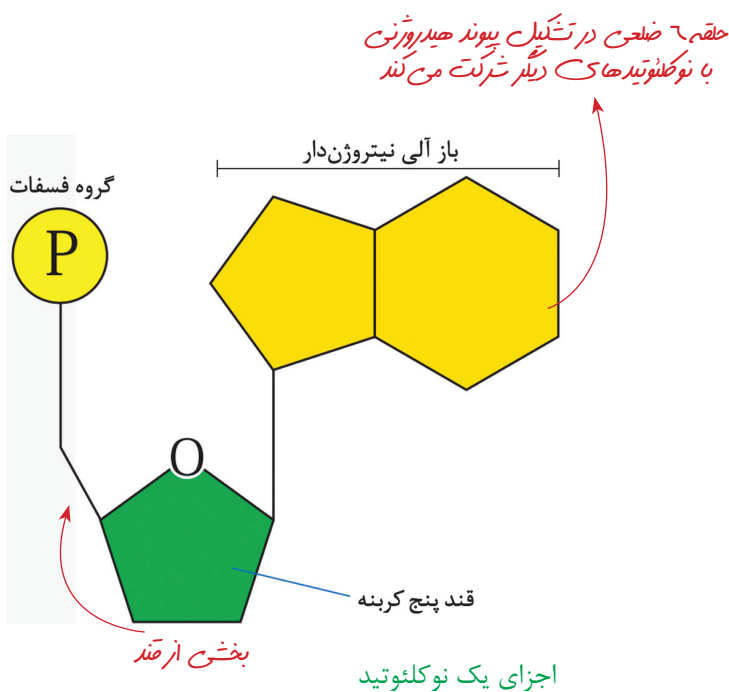
(۳) تقسیم عصاره باکتری‌ها و استفاده از پروتئاز - نوکلئاز استفاده شد

(۴) استفاده از آنزیم - باکتری‌های فعال به محیط کشت افزوده شد

### ساختار نوکلئیک اسیدها

نوکلئیک اسیدها که شامل دئوکسی ریبونوکلئیک اسید (دنا) و ریبونوکلئیک اسید (رنا) هستند، **همگی** بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرارشونده به نام **نوکلئوتید** هستند.

با هر نوکلئوتید شامل سه بخش است: یک قند پنج کربنه، یک باز آلی نیتروژن دار و یک تاسه گروه فسفات. قند پنج کربنه در دنا، دئوکسی ریبوز و در رنا، ریبوز است. دئوکسی ریبوز یک اکسیژن کمتر از ریبوز دارد. **باز آلی نیتروژن دار** می‌تواند پورین باشد که ساختار دو حلقه‌ای دارد؛ شامل آدنین (A) و گوانین (G) یا می‌تواند پیریمیدین باشد که ساختار تک حلقه‌ای دارد، شامل تیمین (T)، سیتوزین (C) و یوراسیل (U). در دنا باز یوراسیل شرکت ندارد و به جای آن تیمین وجود دارد و در رنا به جای تیمین، باز یوراسیل وجود دارد.



برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به دو سمت قند متصل می‌شوند.

نوکلئوتیدها از نظر نوع قند، نوع باز آلی و تعداد گروه‌های فسفات با یکدیگر تفاوت دارند.

نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند و رشته پلی نوکلئوتیدی را می‌سازند. در تشکیل

پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.

رشته‌های پلی نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک‌اسید را می‌سازند مثل رنا، یا به صورت دوتایی مقابل هم قرار می‌گیرند و

نوکلئیک‌اسیدهایی مثل دنا را می‌سازند.

## زیست‌شناسی ۳

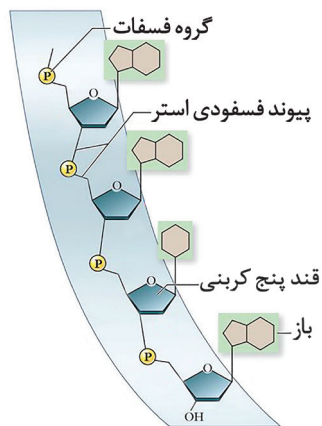


دنا و رنا از رشته‌ای و رنا تک رشته‌ای

### ۳) هر نوکلئوتید با .....

- ۱) دو حلقه نیتروژن دار، یک پیوند فسفودی‌استر دارد
- ۲) یک حلقه شش ضلعی، یک حلقه ۵ ضلعی فاقد نیتروژن دارد
- ۳) پیوند بین حلقه‌های ۵ ضلعی، دو حلقه‌ای محسوب می‌شود
- ۴) پیوند بین حلقه‌ای، یک قند با ۵ کربن در حلقه دارد

### تلاش برای کشف ساختار مولکولی دنا



بخشی از رشته نوکلئیک اسید

در ابتدا تصور می‌شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند. بر این اساس دانشمندان انتظار داشتند که مقدار ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول‌های دنا از هر جاندار که به دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد. اما مشاهدات و تحقیقات چارگاف روی دناهای جانداران نشان داد که مقدار آدنین در دنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می‌کند. تحقیقات بعدی دانشمندان دلیل این برابری نوکلئوتیدها را مشخص کرد.

### ۴) نمی‌توان گفت هر نوکلئوتید در بخش مرکزی یک رشته DNA، در ساختار خود .....

- ۱) یک پیوند اشتراکی بین کربن حلقه قندی و فسفات دارد
- ۲) یک حلقه ۵ ضلعی دارد
- ۳) لزوماً دارای یک حلقه ۶ ضلعی است
- ۴) فقط یک پیوند قند فسفات دارد

### استفاده از پرتو ایکس برای تهیه تصویر از دنا

ویلکینز و فرانکلین با ۱ استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دنا تصاویری تهیه کردند. با بررسی این تصاویر در مورد ساختار دنا نتایجی را به دست آوردند از جمله اینکه ۲ دنا حالت مارپیچی و ۳ بیش از یک رشته دارد. البته با استفاده از این روش ۴ ابعاد مولکول‌ها را نیز تشخیص دادند.



فرانکلین

ویلکینز

تصویر تهیه شده با پرتو ایکس از مولکول دنا توسط ویلکینز و فرانکلین

۵ دانشمندانی که تحقیقات آنها، منتهی به تشخیص ابعاد دنا شد، ..... را نیز برای اولین بار اثبات نمودند.

۲ امکان انتقال ماده وراثتی بین یاخته‌ها

۱ تشابه ساختار دنا به نردبان مارپیچ

۴ وجود حالت مارپیچی در مولکول دنا

۳ نقش دنا در انتقال صفات بین یاخته‌ها

۶ کدام گزینه عبارت زیر را به شکل صحیحی تکمیل می‌کند؟

کربن‌های [موجود در بخش حلقه‌ای شکل ریبوز یا دئوکسی‌ریبوز] .....

۱ نمی‌توانند از طریق پل اکسیژنی به هم مرتبط باشند

۲ ممکن است در تشکیل پیوند با حلقه ۵ کربنی شرکت کند

۳ حداقل با یک اتم کربن دیگر پیوند اشتراکی برقرار کرده است.

۴ ممکن است در تشکیل پیوند با حلقه ۶ کربنی شرکت کند

### مدل مولکولی دنا



واتسون و کریک و مدل

پیشنهادی آنها برای دنا

واتسون و کریک با استفاده از نتایج آزمایش‌های چارگاف و داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو ایکس و با استفاده از یافته‌های خود، مدل مولکولی نردبان مارپیچ را ساختند که باعث شد در سال ۱۹۶۲ جایزه نوبل را دریافت کنند. نتایج حاصل از این تحقیقات با پژوهش‌های امروزی مورد تأیید قرار گرفته‌اند.





مدل مارپیچ دو رشته‌ای دنا

هر مولکول دنا در حقیقت از دو رشته پلی نوکلئوتیدی ساخته شده است که به دور محوری فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دو رشته‌ای را ایجاد می‌کند. مارپیچ دنا اغلب با یک نردبان پیچ‌خورده مقایسه می‌شود. ستون‌های این نردبان را قند و فسفات و پله‌ها را بازهای آلی تشکیل می‌دهند. بین قند یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید مجاور پیوند فسفودی‌استر و بین بازهای روبه‌روی هم پیوند هیدروژنی برقرار است.

پیوندهای هیدروژنی بین بازها، دو رشته دنا را در مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها بین جفت بازها به صورت اختصاصی تشکیل می‌شوند. آدنین (A) با تیمین (T) روبه‌روی هم قرار می‌گیرند و گوانین (G) با سیتوزین (C) جفت می‌شوند. به این جفت بازها بازهای مکمل می‌گویند. بین C و G نسبت به A و T پیوند هیدروژنی بیشتری تشکیل می‌شود. [بین C و G ، ۳ و بین A و T ۲ پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود.]

قرارگیری جفت بازها به شکل مکمل باعث می‌شود که قطر مولکول دنا در سراسر آن یکسان باشد. زیرا یک باز تک حلقه‌ای در مقابل یک باز دو حلقه‌ای قرار می‌گیرد و باعث پایداری مولکول دنا می‌شود.

نتیجه دیگر جفت شدن بازهای مکمل این است که اگرچه دو رشته یک مولکول دنا یکسان نیستند، ولی شناسایی ترتیب نوکلئوتیدهای هر کدام می‌تواند ترتیب نوکلئوتیدهای رشته دیگر را هم مشخص کند؛ مثلاً اگر ترتیب نوکلئوتیدها در یک رشته ATGC باشد ترتیب نوکلئوتیدها در رشته مکمل آن باید TACG باشد.

اگرچه هر پیوند هیدروژنی به تنهایی انرژی پیوند کمی دارد، ولی وجود هزاران یا میلیون‌ها نوکلئوتید و برقراری پیوند هیدروژنی بین آنها به مولکول دنا حالت پایداری می‌دهد. در عین حال، دو رشته دنا در موقع نیاز هم می‌توانند در بعضی نقاط از هم جدا شوند بدون اینکه پایداری آنها به هم بخورد.

### ۷ در ساختار دنا، تنها امکان برقراری پیوندهای هیدروژنی بین ..... وجود دارد.

- |                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| (۱) حلقه‌های ۶ ضلعی فاقد کربن | (۲) حلقه‌های ۶ ضلعی کربن‌دار        |
| (۳) حلقه‌های ۵ ضلعی کربن‌دار  | (۴) حلقه‌های ۵ و ۶ ضلعی نیتروژن‌دار |

### ۸ در ساختار دنا پیوند بین دو نوکلئوتید مجاور .....

- |   |   |
|---|---|
| (۱) در یک رشته، فقط از نوع اشتراکی است              | (۲) در دو رشته، می‌تواند از نوع اشتراکی باشد              |
| (۳) در یک رشته از دو نوع فسفودی‌استر و هیدروژنی است | (۴) در دو رشته، می‌تواند بین بازهای دو حلقه‌ای برقرار شود |

### ۹ چند مورد در ارتباط با نوکلئوتیدهای به کار رفته در ساختار DNA نادرست است.

- (الف) هرکدام دارای ۱ یا ۲ حلقه در ساختار خوداند.
- (ب) می‌توانند دارای پیوند اشتراکی بین حلقه‌های ۵ کربنه باشند.
- (ج) می‌توانند دارای پیوند اشتراکی بین حلقه‌های ۵ و ۶ کربنه باشند.
- (د) یک پیوند اشتراکی بین ریبوز با حلقه نیتروژن‌دار دارند.

## بد نیست بدانیم!

### تاریخ علم

سال ۱۸۶۹ م: میشر در عصارهٔ یاخته‌ها به وجود اسیدهای هسته‌ای (نوکلئیک اسیدها) پی برد.  
 سال ۱۹۲۸ م: گریفیت نشان داد که خصوصیات یک باکتری به باکتری دیگر قابل انتقال است.  
 سال ۱۹۴۴ م: ایوری و همکارانش برای اولین بار نشان دادند که دنا، مادهٔ ژنتیک است.  
 سال ۱۹۵۰ م: چارگاف نشان داد که در دنا جانداران گوناگون تعداد T مساوی تعداد A و تعداد C مساوی تعداد G است.  
 سال ۱۹۵۲ م: فرانکلین و ویلکینز نشان دادند که دنا ساختار مارپیچی و چند رشته‌ای دارد.  
 سال ۱۹۵۳ م: واتسون و کریک مدل مارپیچ دو رشته‌ای را برای دنا ارائه کردند.

### رنا و انواع آن

گفتیم که نوع دیگری از نوکلئیک اسیدها، رنا است. مولکول رنا تک رشته‌ای است و از روی بخشی از یکی از رشته‌های دنا ساخته می‌شود. رناها نقش‌های متعددی دارند که به بعضی از آنها اشاره می‌کنیم:

- ۱ **ارنای پیک (mRNA):** اطلاعات را از دنا به رناتن‌ها می‌رساند. رناتن با استفاده از اطلاعات رنای پیک، پروتئین‌سازی می‌کند که در فصل بعد با آن آشنا خواهید شد.
  - ۲ **رنای ناقل (tRNA):** آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رناتن‌ها می‌برد.
  - ۳ **رنای رناتنی (rRNA):** در ساختار رناتن‌ها علاوه بر پروتئین، رنای رناتنی نیز شرکت دارد.
- علاوه بر این نقش‌ها، رناها ۴ نقش آنزیمی و ۵ دخالت در تنظیم بیان ژن نیز دارند.

### ژن چیست

در طی این گفتار با ساختار دنا آشنا شدید. طبق آزمایش‌های ایوری و همکارانش، اطلاعات وراثتی در دنا قرار دارد و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند. این اطلاعات در واحدهایی به نام ژن سازماندهی شده‌اند. ژن بخشی از مولکول دنا است که بیان آن می‌تواند به تولید رنا یا پلی‌پپتید بینجامد.

### دخالت نوکلئوتیدها در واکنش‌های سوخت و سازی

نوکلئوتیدها علاوه بر ۱ شرکت در ساختار دنا و رنا نقش‌های اساسی دیگری نیز در یاخته برعهده دارند.  
 برای مثال نوکلئوتید آدنین‌دار ATP (آدنوزین‌تری فسفات) به عنوان ۲ منبع رایج انرژی در یاخته است و یاخته در فعالیت‌های مختلف از آن استفاده می‌کند.  
 همچنین نوکلئوتیدها در ساختار مولکول‌هایی وارد می‌شوند که در فرایندهای فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای ۳ نقش حامل الکترون را بر عهده دارند. با این مولکول‌ها در فصل‌های آینده آشنا خواهید شد.



### ۱۰ همه ..... .

- (۲) هورمون‌های غدد درون‌ریز، دارای آمینواسید در ساختار خوداند  
(۴) مولکول‌های مؤثر در تنظیم بیان ژن، واجد نوکلئوتیداند

- (۱) آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای، توسط ریبوزوم‌ها ساخته می‌شوند  
(۳) انواع رانهای درون‌یاخته، فاقد آمینواسید در ساختار خوداند

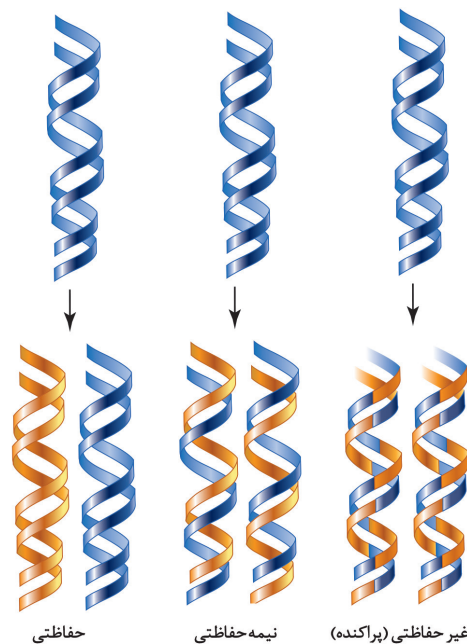
### ۱۱ منبع رایج انرژی در یاخته ..... .

- (۲) نمی‌تواند با از دست دادن فسفات، در ساختار DNA با کار رود  
(۴) می‌تواند ضمن مصرف انرژی، یک گروه فسفات خود را از دست بدهد

- (۱) دارای ۳ پیوند بین فسفاتی در ساختار خود است  
(۳) فاقد پیوند بین حلقه قندی و حلقه بازی ۵ ضلعی است



### گفتار ۲ همانندسازی دنا



#### طرح‌های مختلف برای همانندسازی

دنا به عنوان ماده وراثتی، حاوی اطلاعات یاخته است، و هنگام تقسیم یاخته، این اطلاعات، بدون کم و کاست به دو یاخته حاصل از تقسیم می‌رسند. این کار با همانندسازی دنا انجام می‌شود. به ساخته شدن مولکول دنا جدید از روی دنا قدیمی همانند سازی می‌گویند. با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطه مکملی بین بازها تا حد زیادی همانندسازی دنا قابل توضیح است؛ گرچه طرح‌های مختلفی برای همانندسازی دنا پیشنهاد شده بود (شکل ۹).

۱ **همانندسازی حفاظتی:** در این طرح هر دو رشته دنا قبلی (اولیه) به صورت دست‌نخورده باقی مانده، وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند، دو رشته دنا جدید هم وارد یاخته دیگر می‌شوند. چون دنا اولیه به صورت دست‌نخورده در یکی از یاخته‌ها حفظ شده است به آن همانندسازی حفاظتی می‌گویند.

۲ **همانندسازی نیمه حفاظتی:** در این طرح در هر یاخته یکی از دو رشته دنا مربوط به دنا اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است. چون در هر یاخته حاصل، فقط یکی از دو رشته دنا قبلی وجود دارد، به آن نیمه حفاظتی می‌گویند.

۳ **همانندسازی غیرحفاظتی (پراکنده):** در این طرح هر کدام از دناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جدید را به صورت پراکنده در خود دارند.

۱۲ طبق طرح همانندسازی غیرحفاظتی، حاصل یک نسل تکثیر یک باکتری معمولی، در محیط دارای نیتروژن ۱۴ تشکیل می‌باشد.

- (۱) دو مولکول دنا با چگالی سبک  
(۲) دو مولکول دنا با چگالی متوسط  
(۳) دو مولکول دنا یکی با چگالی سبک و یکی متوسط  
(۴) دو مولکول دنا یکی با چگالی سنگین و یکی متوسط

## کدام طرح مورد تأیید قرار گرفته است؟

مزلسون و استال با به کارگیری روش علمی پاسخ این پرسش را به دست آوردند. آنها فرضیه‌های متعدد ارائه شده را در نظر گرفتند و با توجه به امکانات، آزمایشی را طراحی کردند تا بتوانند به پاسخ قانع‌کننده‌ای برسند. برای شروع کار، آنها باید بتوانند رشته‌های دِنای نوساز را از رشته‌های قدیمی تشخیص دهند. آنها با این هدف دِنای را با استفاده از نوکلئوتیدهایی که ایزوتوپ سنگین نیتروژن ( $^{15}\text{N}$ ) دارند، نشانه‌گذاری کردند.

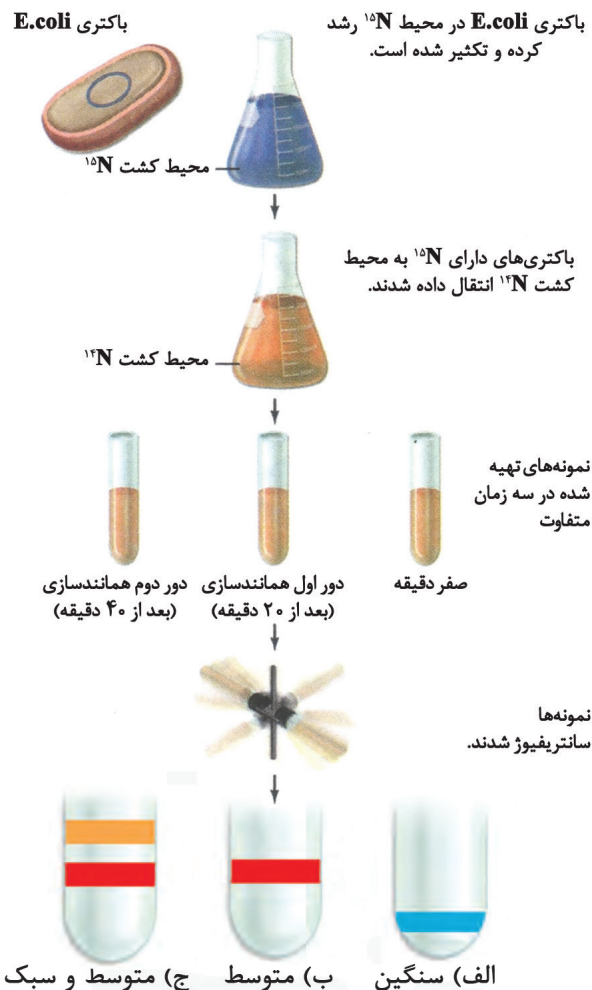
دِناهایی که با  $^{15}\text{N}$  ساخته می‌شوند نسبت به دِنای معمولی که در نوکلئوتیدهای خود  $^{14}\text{N}$  دارد چگالی بیشتری دارند. بنابراین، به وسیلهٔ گریزانه با سرعت بسیار بالا می‌توان آنها را از هم جدا کرد.

مزلسون و استال در آزمایشات خود ابتدا ۱) باکتری‌ها را در محیطی دارای  $^{15}\text{N}$  کشت دادند.  $^{15}\text{N}$  در ساختار بازهای آلی نیتروژن‌دار که در ساخت دِنای باکتری شرکت می‌کنند، وارد شدند. پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در محیط، دارای  $^{15}\text{N}$  باکتری‌هایی تولید شدند که دِنای سنگین‌تری نسبت به باکتری‌های اولیه داشتند.

۲) سپس این باکتری‌ها را به محیط کشت دارای  $^{14}\text{N}$  منتقل کردند. با توجه به اینکه تقسیم باکتری‌ها حدود ۲۰ دقیقه طول می‌کشد ۳) در فواصل ۲۰ دقیقه‌ای باکتری‌ها را از محیط کشت جدا و بررسی کردند.

۴) برای سنجش چگالی دِنای در هر فاصلهٔ زمانی، دِنای باکتری را استخراج و در شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت‌های متفاوت و در سرعتی بسیار بالا، گریز دادند. در نتیجه مواد بر اساس چگالی در بخش‌های متفاوتی از محلول در لوله قرار گرفتند. مراحل آزمایش مزلسون و استال و نتایج آن را در شکل می‌بینید.

همان طور که مشاهده می‌کنید نتایج این آزمایش نشان داد که همانندسازی دِنای، نیمه حفاظتی است.



آزمایش‌های مزلسون و استال و نتایج به دست آمده:

الف) دِنای باکتری‌های اولیه پس از گریز دادن، یک نوار در انتهای لوله تشکیل دادند چون هر دو رشته دِنای آنها  $^{15}\text{N}$  و چگالی سنگین داشت.

ب) دِنای باکتری‌های حاصل از دور اول همانندسازی در محیط کشت حاوی  $^{14}\text{N}$  (بعد از ۲۰ دقیقه) پس از گریز دادن، نوازی در میانه لوله تشکیل دادند پس دِنای آنها چگالی متوسط داشت.

پ) دِنای باکتری‌های حاصل از دور دوم همانندسازی (بعد از ۴۰ دقیقه) پس از گریز دادن دو نوار، یکی در میانه و دیگری در بالای لوله تشکیل دادند. پس نیمی از آنها چگالی متوسط و نیمی چگالی سبک داشتند.

با مشخص شدن اینکه همانندسازی به صورت نیمه حفاظتی انجام می‌شود، سؤال دیگری مطرح شد: دو رشته دنا چگونه از یکدیگر باز می‌شوند؟ آیا هر دو رشته کاملاً از یکدیگر جدا می‌شوند و سپس همانندسازی انجام می‌شود یا جدا شدن دو رشته تدریجی و همراه با آن همانندسازی انجام می‌شود؟ تحقیقات نشان داده است در محلی که قرار است همانندسازی انجام شود دو رشته از هم باز می‌شوند. بقیه قسمت‌ها بسته هستند و به تدریج باز می‌شوند.

۱۳) **مژلسون و استال بعد از ..... مشخص نمودند که همانندسازی ..... نمی‌باشد.**

- (۱) دور اول سانتیفریوژ - حفاظتی
- (۲) دور دوم سانتیفریوژ - غیرحفاظتی
- (۳) دور اول همانندسازی - نیمه‌حفاظتی
- (۴) دور سوم سانتیفریوژ - پراکنده

۱۴) **اگر مژلسون و استال، آزمایش خود را تا دقایق ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ادامه دهند، ..... .**

- (۱) به مرور تعداد نوارهایی که در لوله گریزانه تشکیل می‌شود، افزایش می‌یابد.
- (۲) تعداد نوارها در لوله گریزانه تغییر نمی‌کند اما ضخامت آنها افزایش می‌یابد.
- (۳) بدون تغییر در تعداد نوارها، ضخامت نوار بالایی، در هر مرحله بیشتر می‌شود.
- (۴) بدون تغییر در تعداد نوارها، ضخامت نوار پایینی، در هر مرحله بیشتر می‌شود.

۱۵) **در آزمایشات مژلسون و استال وجود ..... لوله گریزانه نشان‌دهنده ..... است.**

- (۱) نوار در انتهای - انجام دور اول همانندسازی دنا
- (۲) نوار در مرکز - وقوع همانندسازی دنا
- (۳) تنها یک نوار در - وقوع حداقل یک دور همانندسازی
- (۴) بیش از یک نوار در - گذشت ۲۰ دقیقه از شروع آزمایش

۱ قبل از همانندسازی دنا به کمک آنزیم‌هایی، پیچ و تاب کروموزم باز و پروتئین‌های همراه آن یعنی هیستون‌ها از آن جدا می‌شوند تا همانندسازی بتواند انجام شود این کارها به کمک آنزیم‌هایی انجام می‌شود.

۲ آنزیم هلیکاز مارپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می‌کند و به این منظور لازم است تعدادی پیوند هیدروژنی، توسط آنزیم هلیکاز، از هم باز شوند.

۳ دنا بسپاراز نوکلئوتیدها را به انتهای رشته در حال تشکیل اضافه می‌کند. اضافه شدن یک نوکلئوتید به نوع بازی بستگی دارد که در نوکلئوتید رشته الگو قرار دارد. هر نوکلئوتید باید با نوکلئوتید روی رشته الگو مکمل باشد. هنگام اضافه شدن هر نوکلئوتید سه فسفات به انتهای رشته پلی‌نوکلئوتید دو تا از فسفات‌های آن از مولکول جدا می‌شوند و نوکلئوتید به صورت تک فسفات به رشته متصل می‌شود.

۴ آنزیم دنا بسپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی‌استر، برمی‌گردد و رابطه مکملی نوکلئوتید را بررسی می‌کند که رابطه آن درست است یا اشتباه؟ اگر اشتباه باشد آن را برداشته و نوکلئوتید درست را به جای آن قرار می‌دهد. توانایی بریدن دنا را فعالیت **نوکلئازی** گویند که در آن پیوند فسفودی‌استر می‌شکند. بنابراین آنزیم دنا بسپاراز هم فعالیت **بسپارازی** (پلیمرازی) دارد که در آن پیوند فسفودی‌استر را تشکیل می‌دهد و هم فعالیت نوکلئازی که در آن پیوند فسفودی‌استر را برای رفع اشتباه می‌شکند. فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز را که باعث رفع اشتباه در همانندسازی می‌شود، **ویرایش** می‌گویند.

۵ واحدهای سازنده دنا نوکلئوتیدهای سه فسفاته‌اند و برای این که بتوانند در کنار هم، نسخه مکمل الگو را بسازند، لازم است با از دست دادن ۲ گروه فسفات خود در ساختار دنا قرار گیرند پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آنزیم دنا بسپاراز قابلیت شکستن پیوند بین گروه‌های فسفات را دارد.

۶ اغلب پروکاریوت‌ها فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در دنا خود دارند. در این جایگاه دو رشته دنا از هم باز می‌شوند. همانند یوکاریوت‌ها همانندسازی دو جهتی در باکتری‌ها نیز وجود دارد یعنی از یک نقطه همانندسازی شروع و در دو جهت ادامه می‌یابد تا به همدیگر رسیده و همانندسازی پایان یابد.

۷ در یوکاریوت‌ها، آغاز همانندسازی در چندین نقطه در هر فام‌تن انجام می‌شود. تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی در یوکاریوت‌ها حتی می‌تواند بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم شود؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا (مرحله تشکیل بلاستوسیست) سرعت تقسیم زیاد و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی هم زیاد است ولی پس از تشکیل اندام‌ها سرعت تقسیم و تعداد جایگاه‌های آغاز کم می‌شوند.

### عوامل و مراحل همانندسازی

در همانندسازی عوامل متعددی مؤثرند که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

- مولکول دنا به عنوان الگو
- واحدهای سازنده دنا که بتوانند در کنار هم نسخه مکمل الگو را بسازند. این واحدها نوکلئوتیدهای آزاد داخل یاخته و سه فسفات هستند که در لحظه اتصال به رشته پلی نوکلئوتید در حال ساخت، دو فسفات خود را از دست می‌دهند.
- آنزیم‌های لازم برای همانندسازی که ضمن باز کردن دو رشته نوکلئوتیدها را به صورت مکمل روبه‌روی هم قرار می‌دهد و با پیوند فسفودی‌استر به هم وصل می‌کند.

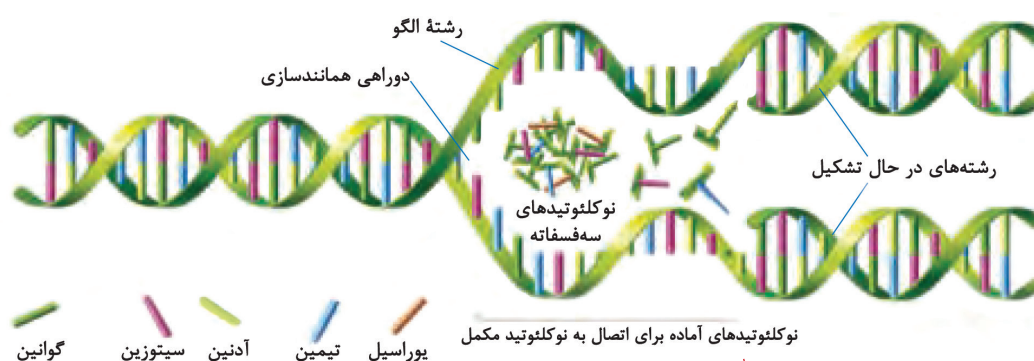
**مراحل همانندسازی:** قبل از همانندسازی دنا باید پیچ وتاب (فامینه) باز و پروتئین‌های همراه آن یعنی هیستون‌ها از آن جدا شوند تا همانندسازی بتواند انجام شود. این کارها با کمک آنزیم‌هایی انجام می‌شود. سپس آنزیم هلیکاز با باز کردن پیوندهای هیدروژنی بین بازهای مکمل، مارپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می‌کند (شکل ۱۱).



همانندسازی دنا

انواع دیگری از آنزیم‌ها با همدیگر فعالیت می‌کنند تا یک رشته دنا در مقابل رشته الگو ساخته شود. یکی از مهم‌ترین آنها که نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشته الگو جفت می‌کند دنا بسپاراز (DNA پلی‌مراز) است. با توجه به اینکه در محل همانندسازی، همانندسازی در دو جهت انجام می‌شود، به آن همانندسازی دو جهتی نیز می‌گویند.

**دوراهی همانندسازی:** در شکل ۱۱ می‌بینید در محلی که دو رشته دنا از هم جدا می‌شوند، دو ساختار Y مانند به وجود می‌آید که به هریک از آنها دوراهی همانندسازی می‌گویند. در فاصله بین این دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته از هم گسیخته و دو رشته از یکدیگر باز شده‌اند. همچنین پیوندهای فسفودی‌استر جدیدی در حال تشکیل هستند. دنا بسپاراز نوکلئوتیدها را به انتهای رشته در حال تشکیل اضافه می‌کند. اضافه شدن یک نوکلئوتید به نوع بازی بستگی دارد که در نوکلئوتید رشته الگو قرار دارد. هر نوکلئوتید باید با نوکلئوتید روی رشته الگو مکمل باشد. هنگام اضافه شدن هر نوکلئوتید سه فسفات به انتهای رشته پلی‌نوکلئوتید دو تا از فسفات‌های آن از مولکول جدا می‌شوند و نوکلئوتید به صورت تک فسفات به رشته متصل می‌شود (شکل ۱۲).



در محل دوراهی همانندسازی، نوکلئوتیدهای یوراسیل دار نیز می‌توانند اضافه می‌شوند، هر چند این نوکلئوتیدها در ساختار دنا به کار نمی‌روند.

همانندسازی دنا

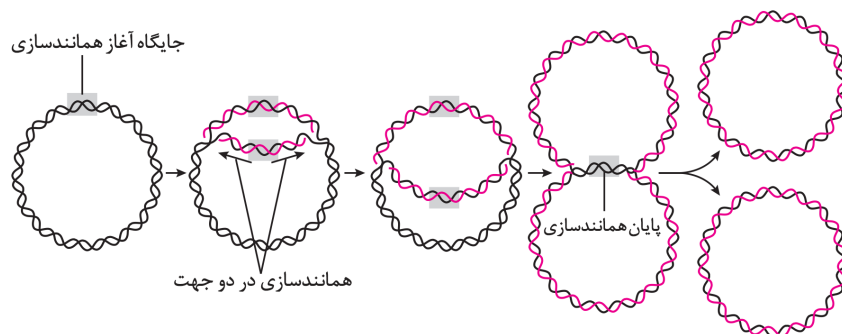
### فعالیت‌های آنزیم دنا‌ب‌سپاراز

همانندسازی دنا با دقت زیادی انجام می‌شود؛ این دقت تا حدود زیادی مربوط به رابطه مکملی بین نوکلئوتیدها است. اگر چه آنزیم دنا‌ب‌سپاراز، نوکلئوتیدها را براساس رابطه مکملی مقابل هم قرار می‌دهد ولی گاهی در این مورد اشتباهی هم صورت می‌گیرد؛ بنابراین آنزیم دنا‌ب‌سپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی‌استر، برمی‌گردد و رابطه مکملی نوکلئوتید را بررسی می‌کند که رابطه آن درست است یا اشتباه؟

اگر اشتباه باشد آن را برداشته و نوکلئوتید درست را به جای آن قرار می‌دهد. برای حذف نوکلئوتید نادرست باید بتواند پیوند فسفودی‌استر را بشکند و نوکلئوتید نادرست را از دنا جدا کند. توانایی بریدن دنا را فعالیت نوکلئازی گویند که در آن پیوند فسفودی‌استر می‌شکند. بنابراین آنزیم دنا‌ب‌سپاراز، هم فعالیت بسپارازی (پلیمرازی) دارد که در آن پیوند فسفودی‌استر را تشکیل می‌دهد و هم فعالیت نوکلئازی که در آن پیوند فسفودی‌استر را برای رفع اشتباه می‌شکند. فعالیت نوکلئازی دنا‌ب‌سپاراز را که باعث رفع اشتباه‌ها در همانندسازی می‌شود، **ویرایش** می‌گویند.

### همانندسازی در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

در پروکاریوت‌ها که ۱ شامل همهٔ باکتری‌ها می‌شوند، ۲ مولکول‌های وراثتی در غشا محصور نشده و ۳ فام‌تن اصلی دارای یک مولکول دناي حلقوی است که در سیتوپلاسم قرار دارد و به غشای یاخته متصل است. پروکاریوت‌ها ۴ علاوه بر دناي اصلی ممکن است مولکول‌هایی از دناي دیگر به نام **دیسک (پلازمید)** داشته باشند. ۵ اطلاعات این مولکول‌ها می‌تواند ویژگی‌های دیگری را به باکتری بدهد مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر پادزیست (آنتی بیوتیک‌ها). ۶ اغلب پروکاریوت‌ها فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در دناي خود دارند. در این جایگاه دو رشته دنا از هم باز می‌شوند. همانند یوکاریوت‌ها، ۷ همانندسازی دو جهتی در باکتری‌ها نیز وجود دارد؛ یعنی از یک نقطه همانندسازی شروع و در دو جهت ادامه می‌یابد تا به همدیگر رسیده و همانندسازی پایان یابد (شکل ۱۳).



همانندسازی دو جهتی دنا در پروکاریوت‌ها با یک نقطه آغاز

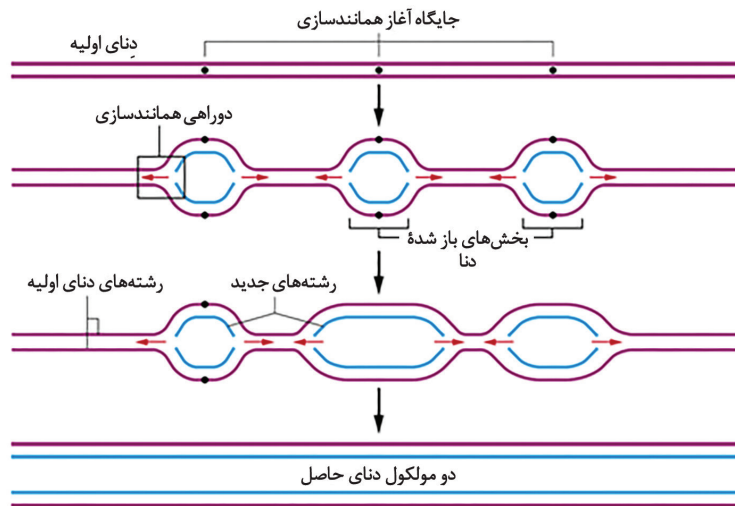
در یوکاریوت‌ها که بقیه موجودات زنده یعنی ۱ آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران را شامل می‌شوند ۲ دنا در هر فام‌تن به صورت خطی است و ۳ مجموعه‌ای از پروتئین‌ها که مهم‌ترین آنها هیستون‌ها هستند همراه آن قرار دارند. ۴ بیشتر دنا درون هسته قرار دارد که به آن دناي هسته‌ای می‌گویند. در یوکاریوت‌ها ۵ علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن دناي سیتوپلاسمی می‌گویند. ۶ این نوع از دنا که حالت حلقوی دارد در راکیزه (میتوکندری) و دیسه (پلاست) دیده می‌شود.



## زیست‌شناسی ۳

۷ همانندسازی در یوکاریوت‌ها بسیار پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها است. علت این مسئله وجود مقدار زیاد دنا و قرار داشتن در چندین فام‌تن است که هر کدام از آنها چندین برابر دنا ی باکتری هستند. بنابراین اگر فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در هر فام‌تن داشته باشند مدت زمان زیادی برای همانندسازی لازم است.

به همین علت در یوکاریوت‌ها، ۸ آغاز همانندسازی در چندین نقطه در هر فام‌تن انجام می‌شود (شکل ۱۴). تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی در یوکاریوت‌ها حتی می‌تواند بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم شود؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا (مرحله تشکیل بلاستوسیست) سرعت تقسیم زیاد و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی هم زیاد است ولی پس از تشکیل اندام‌ها، سرعت تقسیم و تعداد جایگاه‌های آغاز کم می‌شوند.



همانندسازی در یوکاریوت‌ها

۱۶ چند مورد، جمله زیر را به شکل صحیحی تکمیل می‌کند؟

«همانندسازی در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها .....»

- (الف) با باز شدن پیچ و تاب فامینه آغاز می‌شود.
- (ب) نیازمند بیش از یک نوع آنزیم هلیکاز می‌باشد.
- (ج) با تشکیل تنها دو دوراهی، در هر مولکول دنا همراه است.
- (د) با فعالیت هلیکازها و شکستن پیوندهای هیدروژنی آغاز می‌شود.

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

۱۷ نمی‌توان گفت ویرایش ..... .

- (۱) به دنبال برگشت دنا بسپاراز، پس از برقراری پیوند اشتراکی، رخ می‌دهد
- (۲) با تشکیل پیوند فسفودی‌استر همراه نیست
- (۳) توانایی بریدن دنا با شکستن پیوند فسفودی‌استر است
- (۴) در سیتوپلاسم یاخته‌های یوکاریوتی رخ نمی‌دهد

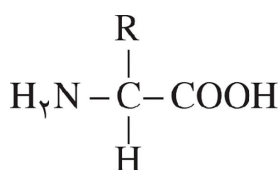
۱۸ در هر یاخته با ..... لزوماً .

- (۱) بیش از یک نقطه آغاز همانندسازی در یک دنا - ویرایش در هسته، نیز صورت می‌پذیرد
- (۲) بیش از یک مولکول دنا - هر مولکول دنا بیش از یک نقطه آغاز همانندسازی دارد
- (۳) بیش از یک نقطه آغاز همانندسازی در یک دنا - همانندسازی دنا در سیتوپلاسم صورت می‌پذیرد
- (۴) نقاط آغاز همانندسازی متغیر - قبل از شروع همانندسازی هر مولکول دنا، جدا شدن هیستون‌ها ضروری است

علاوه بر دنا و رنا که در یاخته ذخیره و انتقال اطلاعات را بر عهده دارند مولکول‌های دیگری نیز هستند که به انجام فرایندهای مختلف یاخته‌ای کمک می‌کنند. از جمله این مولکول‌ها پروتئین‌ها هستند که نقش بسیار مهمی در فرایندهای یاخته‌ای دارند.

## ساختار آمینواسیدها

پروتئین‌ها بسپارهایی خطی از آمینواسیدها هستند. نوع، ترتیب و تعداد آمینواسیدها در پروتئین، ساختار و عمل آنها را



ساختار عمومی یک آمینواسید

مشخص می‌کند. آمینواسیدها همان‌طور که از نامشان برمی‌آید یک گروه آمین ( $-\text{NH}_2$ ) و یک گروه اسیدی کربوکسیل ( $-\text{COOH}$ ) دارند. همان‌طور که در شکل ۱۵ می‌بینید گروه آمین و کربوکسیل به همراه یک هیدروژن و گروه R همگی به یک کربن مرکزی متصل‌اند و چهار ظرفیت آن را پر می‌کنند. گروه R در آمینو اسیدهای مختلف متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.

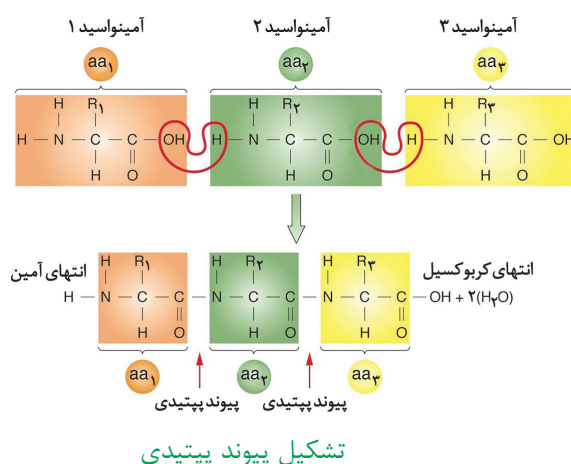
هر آمینواسید می‌تواند در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد و تأثیر آن به ماهیت شیمیایی گروه R بستگی دارد.

## پیوند پپتیدی آمینواسیدها را به یکدیگر متصل می‌کند.

آمینواسیدهای مختلف با حضور آنزیم، واکنش سنتز آبدهی را انجام می‌دهند. در این نوع واکنش با خروج یک مولکول آب، یک آمینواسید با آمینواسید دیگر پیوند اشتراکی ایجاد می‌کند. این پیوند اشتراکی بین آمینواسیدها را پیوند پپتیدی می‌گویند. شکل ۱۶ الگوی ساده‌ای از چگونگی تشکیل این پیوند را نشان می‌دهد.

وقتی تعدادی آمینواسید با پیوند پپتیدی به هم وصل شوند، زنجیره‌ای از آمینواسیدها به نام پلی‌پپتید تشکیل می‌شود. پروتئین‌ها از یک یا چند زنجیره بلند و بدون شاخه از پلی‌پپتیدها ساخته شده‌اند. هر نوع پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را دارد که با استفاده از روش‌های شیمیایی، آمینواسیدها را جدا و آنها را شناسایی می‌کنند.

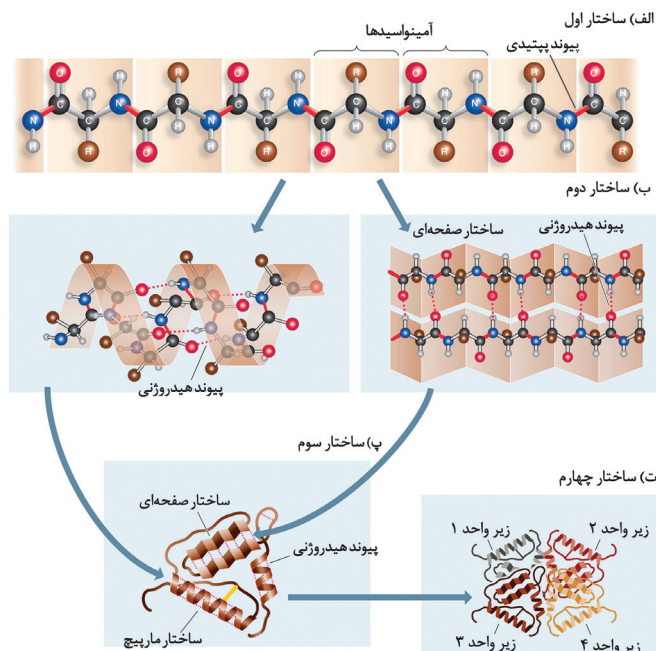
اگرچه آمینواسیدها در طبیعت انواع گوناگونی دارند اما فقط ۲۰ نوع از آنها در ساختار پروتئین‌ها به کار می‌روند.



## سطوح مختلف ساختاری در پروتئین‌ها

شکل فضایی پروتئین، نوع عمل آن را مشخص می‌کند. یکی از راه‌های پی بردن به شکل پروتئین استفاده از پرتوهای ایکس است. با استفاده از تصاویر حاصل از آن و روش‌های دیگر، محققین به ساختار سه بعدی پروتئین‌ها پی می‌برند که در آن حتی جایگاه هر اتم را می‌توانند مشخص کنند.

**میوگلوبین ۱** اولین پروتئینی بود که ساختار آن شناسایی شد این پروتئین **۲** به مقدار زیاد در تارهای ماهیچه‌ای نوع کند وجود دارد و **۳** مقداری اکسیژن را ذخیره می‌کند و **۴** از یک رشته پلی‌پپتید تشکیل شده است. ساختار پروتئین‌ها در چهار سطح بررسی می‌شود که هر ساختار مبنای تشکیل ساختار بالاتر است (شکل ۱۷).



ساختار پروتئین‌ها در چهار ساختار بررسی می‌شود.

**اول:** ترتیب توالی آمینواسیدها بوده، از برقراری پیوند پپتیدی بین گروه‌های آمین و کربوکسیل ایجاد می‌شود و در سایر ساختارهای پروتئین اثرگذار است.

**دوم:** از برقراری پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های آمین و کربوکسیل حاصل می‌آید و به شکل‌هایی مثل مارپیچ و صفحه‌ای دیده می‌شود.

**سوم:** با برقراری پیوند آب‌گریز بین گروه‌های R تشکیل شده و با انواع پیوندهای یونی، هیدروژنی و اشتراکی تثبیت می‌شود و ساختار نهایی پروتئین‌های تک زنجیره‌ای محسوب می‌شود.

**چهارم:** ساختار نهایی پروتئین‌هایی است که بیش از یک زنجیره پلی‌پپتیدی دارند.

ساختارهای پروتئین‌ها

**ساختار اول پروتئین - توالی آمینواسیدها: ۱** نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار اول پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند. ساختار اول **۱** با ایجاد پیوندهای پپتیدی بین آمینواسیدها شکل می‌گیرد و **۳** خطی است. این پیوند در واقع نوعی پیوند اشتراکی است. **۴** تغییر آمینواسید در هر جایگاه موجب تغییر در ساختار اول پروتئین می‌شود و ممکن است فعالیت آن را تغییر دهد. با در نظر گرفتن ۲۰ نوع آمینواسید و اینکه محدودیتی در توالی آمینواسیدها در ساختار اول پروتئین‌ها وجود ندارد پروتئین‌های حاصل می‌توانند بسیار متنوع باشند. با توجه به اهمیت توالی آمینواسیدها در ساختار اول، **۵** همه سطوح دیگر ساختاری در پروتئین‌ها به این ساختار بستگی دارند (شکل ۱۷ - الف).

**ساختار دوم الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی:** بین بخش‌هایی از زنجیره پلی‌پپتیدی می‌تواند پیوندهای هیدروژنی برقرار شود.

**۱** این پیوندهای هیدروژنی منشأ تشکیل ساختار دوم در پروتئین‌ها هستند که **۲** به چند صورت دیده می‌شوند. **۳** دو نمونه معروف آنها ساختار مارپیچ و ساختار صفحه‌ای است (شکل ۱۷ - ب).

## زیست‌شناسی ۳

**ساختار سوم – تاخورده و متصل به هم:** در ساختار سوم، ۱ تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها رخ می‌دهد و ۲ پروتئین‌ها

به شکل‌های متفاوتی در می‌آیند. ۳ تشکیل این ساختار در اثر برهم کنش‌های آب گریز است؛ به این صورت که ۴ گروه‌های R آمینواسیدهایی که آب گریزند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند. سپس ۵ با تشکیل پیوندهای دیگری مانند

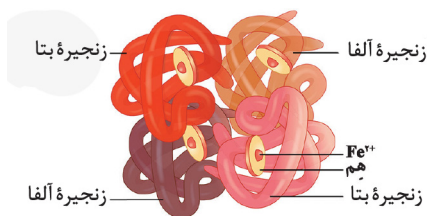


میوگلوبین با ساختار سوم

هیدروژنی، اشتراکی و یونی ساختار سوم پروتئین تثبیت می‌شود. مجموعه این نیروها قسمت‌های مختلف پروتئین را به صورت به هم پیچیده در کنار هم نگه می‌دارند (شکل ۱۷ - پ). بنابراین با وجود این نیروها ۶ پروتئین‌های دارای ساختار سوم، ثبات نسبی دارند. ایجاد تغییر در پروتئین، ۷ حتی تغییر یک آمینواسید هم می‌تواند ساختار و عملکرد آن را به شدت تغییر دهد. ۸ میوگلوبین نمونه‌ای از پروتئین‌ها با ساختار سوم است (شکل ۱۸ - الف).

**ساختار چهارم – آرایش زیر واحدها:** ۱ بعضی پروتئین‌ها ساختار چهارم دارند، این ساختار ۲ هنگامی شکل می‌گیرد که

دو یا چند زنجیره پلی‌پپتید در کنار یکدیگر پروتئین را تشکیل دهند. در این ساختار ۳ هریک از زنجیره‌ها نقشی کلیدی در شکل‌گیری پروتئین دارند. ۴ نحوه آرایش این زیر واحدها در کنار هم ساختار چهارم



هموگلوبین با ساختار چهارم

پروتئین‌ها نامیده می‌شود (شکل ۱۷ - ت). هموگلوبین از چهار زنجیره پلی‌پپتیدی تشکیل شده است. دو زنجیره از نوع آلفا و دو زنجیره از نوع بتا است. هر نوع زنجیره، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را در ساختار اول دارند. در ساختار دوم به شکل مارپیچ در می‌آیند. در ساختار سوم هریک از زنجیره‌ها به صورت یک زیر واحد، تاخورده و شکل خاصی پیدا می‌کند. در نهایت در ساختار چهارم، این چهار زیر واحد در کنار هم قرار گرفته و هموگلوبین را شکل می‌دهند (شکل ۱۸ - ب).

۱۹ ..... پروتئین‌ها با برقراری نوعی پیوند بین گروه‌های آمین و کربوکسیل، شکل می‌گیرد.

۲ ساختارهای اول و دوم

۴ فقط ساختار دوم

۱ فقط ساختار اول

۳ ساختارهای دوم و سوم

۲۰ کدام یک به درستی ساختار یک پلی‌پپتید را نشان می‌دهد.

۲ N-N-C-N-N-C-N-N-C

۱ N-C-C-N-C-C-N-C-C

۴ N-N-C-C-N-N-C-C-N-N-C-C

۳ N-C-N-C-N-C

۲۱ در هموگلوبین ساختار مارپیچی شکل گرفته از برقراری پیوندهای هیدروژنی ..... .

۱ تأثیری در شکل سه بعدی نهایی پروتئین ندارد

۲ تحت تأثیر ترتیب قرارگیری آمینواسیدها نمی‌باشد

۳ تحت تأثیر برقراری پیوند بین گروه‌های R تشکیل شده است

۴ با برقراری پیوند بین آمینواسیدهایی با فاصله مشخص، شکل گرفته است

۲۲ در بخش‌های صفحه‌ای شکل از ساختار دوم پروتئین‌ها، هر آمینواسید ..... در تشکیل پیوند هیدروژنی شرکت

کرده است.

۲ با آمینواسیدی از رشته دیگر، در مجاورت خود

۱ با آمینواسیدی که در فاصله نزدیک در همان رشته

۴ با آمینواسیدی در فاصله دور در همان رشته

۳ با آمینواسیدی که در فاصله دور یا نزدیک در همان رشته

### نقش‌های پروتئین‌ها

- ۱ **فعالیت آنزیمی:** که در آن به صورت کاتالیزورهای زیستی عمل می‌کنند و سرعت واکنش شیمیایی خاصی را زیاد می‌کنند.
- ۲ **گیرنده سطحی:** بعضی دیگر از پروتئین‌ها به صورت گیرنده‌هایی در سطح یاخته‌ها قرار دارند مثلاً گیرنده‌های آنتی ژنی در سطح لنفوسیت‌ها مثالی از این نوع پروتئین‌ها هستند.
- ۳ **انتقال گازهای تنفسی:** برخی پروتئین‌ها مثل هموگلوبین گازهای تنفسی را در خون منتقل می‌کنند.
- ۴ **نقش در انتقال مواد از عرض غشا:** پمپ سدیم - پتاسیم نیز پروتئینی است که در غشا وجود دارد. این پمپ یون‌های سدیم و پتاسیم را در عرض غشا جابه‌جا می‌کند و فعالیت آنزیمی هم دارد.
- ۵ **استحکام بافتی:** کلاژن پروتئینی است که باعث استحکام بافت پیوندی می‌شود. زردپی و رباط، مقدار فراوانی از پروتئین کلاژن دارند.
- ۶ **انقباض:** انقباض ماهیچه‌ها نیز ناشی از حرکت لغزشی دو نوع پروتئین روی یکدیگر یعنی اکتین و میوزین است.
- ۷ **نقش هورمونی:** از دیگر پروتئین‌ها می‌توان به هورمون‌ها اشاره کرد. بیشتر هورمون‌ها از جمله اکسی‌توسین و انسولین که پیام‌های بین یاخته‌ای را در بدن جانوران ردوبدل می‌کنند تا تنظیم‌های مختلف در بدن انجام شود، پروتئینی هستند.
- ۸ **نقش در تنظیم بیان ژن‌ها:** پروتئین‌هایی مثل مهارکننده و فعال‌کننده نقش‌های تنظیمی متعددی را در فعال و غیرفعال کردن ژن‌ها بر عهده دارند.

پروتئین‌ها متنوع‌ترین گروه مولکول‌های زیستی از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی هستند. پروتئین‌ها در فرایندها و فعالیت‌های متفاوتی شرکت دارند از جمله فعالیت آنزیمی که در آن به صورت کاتالیزورهای زیستی عمل می‌کنند و سرعت واکنش شیمیایی خاصی را زیاد می‌کنند.

بعضی دیگر از پروتئین‌ها به صورت گیرنده‌هایی در سطح یاخته‌ها قرار دارند؛ مثلاً گیرنده‌های آنتی ژنی در سطح لنفوسیت‌ها نمونه‌ای از این پروتئین‌ها هستند.

برخی پروتئین‌ها مثل هموگلوبین گازهای تنفسی را در خون منتقل می‌کنند. پمپ سدیم پتاسیم نیز که با آن آشنا هستید، پروتئینی است که در غشا وجود دارد. این پمپ یون‌های سدیم و پتاسیم را در عرض غشا جابه‌جا می‌کند و فعالیت آنزیمی هم دارد. آیا محل‌های فعالیت و نقش آنزیمی این پمپ را به یاد دارید؟

کلاژن پروتئینی است که باعث استحکام بافت پیوندی می‌شود. زردپی و رباط مقدار فراوانی از پروتئین کلاژن دارند.

انقباض ماهیچه‌ها نیز ناشی از حرکت لغزشی دو نوع پروتئین روی یکدیگر یعنی اکتین و میوزین است. از دیگر پروتئین‌ها می‌توان به هورمون‌ها اشاره کرد. بیشتر هورمون‌ها از جمله **اکسی‌توسین و انسولین** که پیام‌های بین یاخته‌ای را در بدن جانوران ردوبدل می‌کنند تا تنظیم‌های مختلف در بدن انجام شود، **پروتئینی** هستند. همچنین پروتئین‌هایی مثل مهارکننده‌ها که بعداً با آنها آشنا خواهید شد، نقش‌های تنظیمی متعددی را در فعال و غیرفعال کردن ژن‌ها بر عهده دارند.

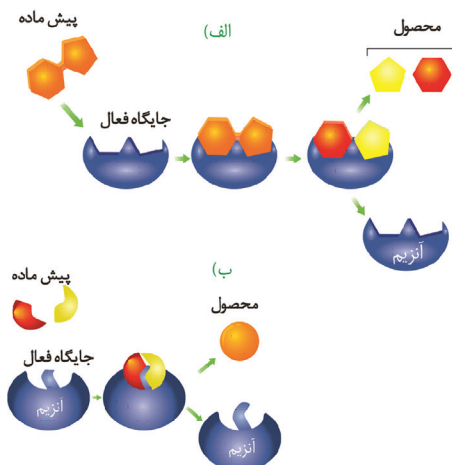
می‌توانند بیرون یا درون یا حتی روی غشاء فعالیت کنند.

واکنش‌های شیمیایی در صورتی سرعت مناسب می‌گیرند که انرژی اولیه کافی برای انجام آن وجود داشته باشد. این انرژی را انرژی فعال‌سازی گویند. انجام واکنش‌ها در بدن موجود زنده نیز که با عنوان کلی سوخت و ساز مطرح می‌شوند همین‌طور هستند. این واکنش‌ها با حضور آنزیم انجام می‌شوند. آنزیم امکان برخورد مناسب مولکول‌ها را افزایش و انرژی فعال‌سازی واکنش را کاهش می‌دهد. همچنین با این کار سرعت واکنش‌هایی را که در بدن موجود زنده انجام شدنی هستند زیاد می‌کند. بدون آنزیم ممکن است در دمای بدن سوخت‌وساز یاخته‌ها بسیار کند انجام شود و انرژی لازم برای حیات تأمین نشود. آنزیم‌های ترشحی دستگاه گوارش مثل آمیلاز بزاق و لیپاز در خارج یاخته عمل می‌کنند ولی آنزیم‌های مؤثر در تنفس یاخته‌ای، فتوسنتز و همانندسازی درون یاخته فعالیت می‌کنند. البته گروهی از آنزیم‌ها مثل پمپ سدیم پتاسیم فعالیت خود را در غشا انجام می‌دهند.

### ساختار آنزیم‌ها

آنزیم از جنس RNA هم داریم.

بیشتر آنزیم‌ها پروتئینی هستند. آنزیم‌ها در ساختار خود بخشی به نام جایگاه فعال دارند. جایگاه فعال بخشی اختصاصی در آنزیم است که پیش‌ماده در آن قرار می‌گیرد. ترکیباتی که آنزیم روی آنها عمل می‌کند، پیش‌ماده و ترکیباتی که حاصل فعالیت آنزیم هستند، فراورده یا محصول خوانده می‌شوند.



بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به یون‌های فلزی مانند آهن، مس و یا مواد آلی مثل ویتامین‌ها نیاز دارند. به مواد آلی که به آنزیم کمک می‌کنند کوآنزیم می‌گویند. وجود بعضی از مواد سمی در محیط مثل سیانید و آرسنیک می‌تواند با قرار گرفتن در جایگاه فعال آنزیم، مانع فعالیت آن شود. بعضی از این مواد به همین طریق باعث مرگ می‌شوند.

طرز عمل آنزیم در واکنش‌های سوخت‌وسازی

الف) تجزیه، ب) ترکیب

### عملکرد اختصاصی آنزیم‌ها

مثل رویسکو که کربوکسیلازی و آکسیژنازی می‌کند.

هر آنزیم روی یک یا چند پیش‌ماده خاص مؤثر است. بنابراین گفته می‌شود که آنزیم‌ها عمل اختصاصی دارند. شکل آنزیم در جایگاه فعال با شکل پیش‌ماده یا بخشی از آن مطابقت دارد و به اصطلاح مکمل یکدیگرند. اگرچه آنزیم‌ها عملی اختصاصی دارند ولی برخی از آنها بیش از یک نوع واکنش را سرعت می‌بخشند. آیا می‌توانید مثالی از این نوع آنزیم‌ها بیاورید؟

آنزیم‌ها در همه واکنش‌های شیمیایی بدن جانداران که شرکت می‌کنند، سرعت واکنش را زیاد می‌کنند اما در پایان واکنش‌ها دست‌نخورده باقی می‌مانند تا بدن بتواند بارها از آنها استفاده کند. به همین دلیل یاخته‌ها به مقدار کم به آنزیم‌ها نیاز دارند. البته به مرور مقداری از آنها از بین می‌روند و یاخته مجبور به تولید آنزیم‌های جدید می‌شود.



## عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم‌ها

عوامل متعددی از جمله pH، دما، غلظت آنزیم و پیش ماده بر سرعت فعالیت آنزیم‌ها تأثیر می‌گذارند.

**۱ pH محیط:** pH بیشتر مایعات بدن بین ۶ و ۸ است؛ مثلاً pH خون حدود ۷/۴ است. البته pH بعضی بخش‌ها خارج از این محدوده هستند. یکی از این موارد، pH ترشحات معده است که حدود ۲ می‌باشد.

هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینه می‌گویند؛ مثلاً pH بهینه پپسین حدود ۲ است در حالی که آنزیم‌هایی که از لوزالمعده به روده کوچک وارد می‌شوند pH بهینه حدود ۸ دارند. تغییر pH محیط با تأثیر بر پیوندهای شیمیایی مولکول پروتئین می‌تواند باعث تغییر شکل آنزیم شود و در نتیجه امکان اتصال آن به پیش ماده از بین برود، در نتیجه میزان فعالیت آن تغییر می‌کند.

**۲ دما:** آنزیم‌های بدن انسان در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد بهترین فعالیت را دارند. این آنزیم‌ها در دمای بالاتر ممکن است شکل غیر طبیعی یا برگشت‌ناپذیر پیدا کنند و غیرفعال شوند. آنزیم‌هایی که در دمای پایین غیرفعال می‌شوند با برگشت دما به حالت طبیعی، می‌توانند به حالت فعال برگردند.

**۳ غلظت آنزیم و پیش ماده:** مقدار بسیار کمی از آنزیم کافی است تا مقدار زیادی از پیش ماده را در واحد زمان به فراورده تبدیل کند. اگر مقدار آنزیم زیاده‌تر شود تولید فراورده در واحد زمان افزایش می‌یابد.

افزایش غلظت پیش ماده در محیطی که آنزیم وجود دارد نیز می‌تواند تا حدی باعث افزایش سرعت شود ولی این افزایش تا زمانی ادامه می‌یابد که تمامی جایگاه‌های فعال آنزیم‌ها با پیش ماده اشغال شوند. در این حالت سرعت انجام واکنش ثابت می‌شود.

چون در دمای بالاتر از ۳۷ درجه برخی آنزیم‌ها تغییر شکل داده و غیرفعال می‌شوند

### فعالیت

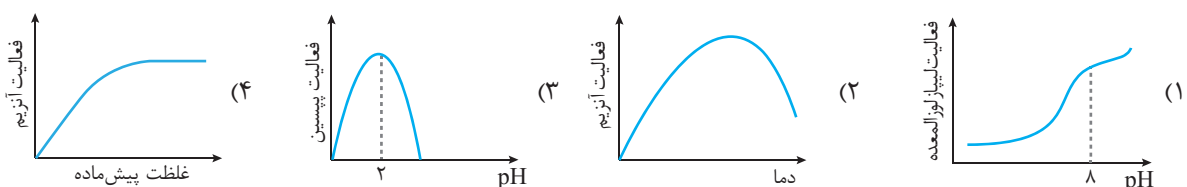
الف) گفته می‌شود تب بالا خطرناک است، بین این مسئله و فعالیت آنزیم‌ها چه ارتباطی می‌بینید؟

ب) با توجه به تأثیر متفاوت دمای کم و زیاد روی آنزیم‌ها، از این ویژگی آنزیم‌ها در آزمایشگاه‌ها چگونه می‌توان استفاده کرد؟

## ۲۳ آنزیم‌های مؤثر در تنفس یاخته‌ای، همانند .....

- (۱) آمیلاز و لیپاز، برون سلولی محسوب می‌شوند
- (۲) پمپ سدیم - پتاسیم، درون یاخته فعالیت می‌کنند
- (۳) کربنیک انیدراز، در غشاء یاخته عمل می‌کنند.
- (۴) آنزیم‌های مؤثر در فتوسنتز، درون سلولی محسوب می‌شوند

## ۲۴ کدام نمودار، فعالیت آنزیم را به نادرستی نشان می‌دهد.



## زیست‌شناسی ۳

### کاربرد آنزیم‌ها در صنعت

مایه پنیر، پروتئین در شیر و ترومبین، پروتئین در خون را دلمه می‌کنند.

از آنزیم‌ها در صنایع متفاوتی مانند تولید دارو، خوراکی، آشامیدنی و سوخت‌های زیستی استفاده می‌شود. مثلاً آنزیم سلولاز در تجزیه سلولاز به گلوکز نقش دارد از آنزیم‌های مورد استفاده در کاغذسازی و تولید سوخت زیستی است. آنزیم‌ها در صنایع غذایی، به ویژه صنایع لبنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مایه پنیر در واقع نامی عمومی برای آنزیم‌هایی است که با دلمه کردن پروتئین شیر آن را به پنیر تبدیل می‌کنند. مایه پنیر را به طور سنتی از معده نوزادان (شیرخواران) جانورانی مانند گوسفند و گاو به دست می‌آورند. امروزه انواعی از مایه پنیرها وجود دارد که از گیاهان و ریزجانداران (میکروارگانیسم‌ها) به دست می‌آیند. در صنایع شوینده با استفاده از لیپازها، پروتئازها و آمیلازها، انواعی از شوینده‌ها با قدرت تمیزکنندگی بالا تولید می‌شوند.



(سراسری ۱۴۰۰)

۱. چند مورد، دربارهٔ هر نوکلئوتید موجود در بدن یک فرد سالم صحیح است؟

- (الف) باز آلی تک‌حلقه‌ای یا دو حلقه‌ای متصل به ریبوز دارد.  
 (ب) گروه یا گروه‌های فسفات آن، با پیوند کووالانسی به قند اتصال دارد.  
 (ج) از طریق نوعی پیوند اشتراکی به نوکلئوتید دیگری متصل شده است.  
 (د) طی فرایند اکسایش در غشای درونی راکیزه (میتوکندری) تولید گردیده است.

(۱) ۱      (۲) ۲      (۳) ۳      (۴) ۴

گزینهٔ ۱

(سراسری ۱۴۰۱)

۲. کدام مورد، عبارت زیر را به‌طور مناسب کامل می‌کند؟

- «در مولکول انسولین، همانند مولکول .....»  
 (۱) هموگلوبین، رشتهٔ پلی‌پپتیدی ساختار فشرده و نامتقارنی به خود می‌گیرد.  
 (۲) هموگلوبین، زنجیره‌های پلی‌پپتیدی یکسان در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.  
 (۳) میوگلوبین، همهٔ گروه‌های R آمینواسیدهای آب‌گریز در بخش بیرونی ساختار قرار می‌گیرند.  
 (۴) میوگلوبین، با شکسته‌شدن هر نوع پیوند شیمیایی، همهٔ سطوح ساختاری پروتئین تغییر می‌یابد.

گزینهٔ ۱

(سراسری ۱۴۰۱)

۳. کدام مورد برای تکمیل عبارت‌های زیر مناسب است؟

- «در بدن انسان، همهٔ آنزیم‌ها ..... همهٔ کوآنزیم‌ها .....»  
 (۱) برخلاف - همواره با تغییرات دما، تغییر شکل برگشت‌ناپذیری پیدا می‌کنند.  
 (۲) برخلاف - در روند تنظیم سوخت و ساز یاخته‌ها مؤثرند.  
 (۳) همانند - در ساختار خود اتم کربن دارند.  
 (۴) همانند - فقط یک نوع واکنش را سرعت می‌بخشند.

گزینهٔ ۳

۴. با توجه به ساختار دوم پروتئین‌ها و آن دسته از پیوندهای هیدروژنی که منشأ تشکیل دو نمونه معروف این ساختار هستند،

(سراسری ۱۴۰۲)

کدام مورد نادرست است؟

- (۱) در ساختار مارپیچی، گروه‌های R آمینواسیدها به سمت خارج ساختار قرار می‌گیرند.  
 (۲) در ساختار صفحه‌ای، کربن مرکزی آمینواسیدها، تقریباً در محل تاخوردگی قرار دارد.  
 (۳) در هر دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین آمینواسیدهای مجاور هم در یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی برقرار می‌شوند.  
 (۴) در هر دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین اتم اکسیژن متصل به کربن یک آمینواسید با اتم هیدروژن گروه آمینی آمینواسید دیگر، برقرار می‌شوند.

گزینهٔ ۳

۵. با توجه به اطلاعات کتاب درسی، کدام مورد در ارتباط با ساختار و یا عملکرد آنزیم‌های بدن انسان، نادرست است؟

(سراسری اردیبهشت ۱۴۰۳)

- (۱) در آنزیم اتصال‌دهنده متیونین به رنا، محل استقرار توالی پادرمزه (آنتی‌کدون) با فاصله زیادی از جایگاه متیونین قرار دارد.
- (۲) در آنزیم مولد کراتین از کراتین فسفات، گروه‌های فسفات پیش‌ماده‌ها با فاصله بسیار زیادی از هم قرار می‌گیرند.
- (۳) در پی تغییر شکل گذرای پمپ سدیم-پتاسیم، تمایل این آنزیم به پیش‌ماده‌هایش عوض می‌شود.
- (۴) در حضور آب، دو نوع مونوساکارید از جایگاه فعال آنزیم تجزیه‌کننده ساکارز خارج می‌شود.

گزینه ۲

۶. به طور معمول و با توجه به اطلاعات کتاب درسی، کدام عبارت درباره ساختارهای مارپیچی شکل و منظم موجود در یاخته

(سراسری اردیبهشت ۱۴۰۳)

ماهیچه توأم انسان صدق می‌کند؟

- (۱) هنگام تشکیل پیوند اشتراکی بین واحدهای سازنده همه آنها، فقط مولکول آب آزاد شده است.
- (۲) همه آنها دو رشته‌ای و حاوی اتم‌های کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند.
- (۳) فقط بعضی از آنها، جهت فعالیت زیستی، به نوعی ماده آلی وابسته‌اند.
- (۴) فقط بعضی از آنها، توسط پوشش دو غشایی احاطه شده‌اند.

گزینه ۴

(سراسری تیر ۱۴۰۳)

۷. کدام عبارت صحیح است؟

- (۱) در ساختار دوم میوگلوبین، با مشاهده ساختار صفحه‌ای می‌توان تعداد پیوندهای پپتیدی آن ناحیه را محاسبه نمود.
- (۲) در ساختار نهایی هموگلوبین و میوگلوبین، اتم آهن مستقیماً به گروه‌های R آمینواسیدهای زیرواحد متصل شده است.
- (۳) در ساختار نهایی هموگلوبین، انتهای آمین و کربوکسیل هر زیرواحد از یکدیگر بسیار دور است.
- (۴) در ساختار سوم میوگلوبین و هموگلوبین، همه ساختارهای مارپیچی هم‌اندازه هستند.

گزینه ۱

(سراسری تیر ۱۴۰۳)

۸. با توجه به بدن انسان، چند مورد را می‌توان نوعی مولکول زیستی دانست؟

- (الف) هر ترکیبی که در نتیجه فعالیت آنزیم تولید می‌شود. (ب) هر ترکیبی که آنزیم برای فعالیت خود به آن نیاز دارد.
- (ج) هر ترکیبی که وجود آن در روند انعقاد خون لازم است. (د) هر ترکیبی که بسیاری از واحدهای تکرارشونده است.

۴ (۱)                      ۳ (۲)                      ۲ (۳)                      ۱ (۴)

گزینه ۴

(سراسری تیر ۱۴۰۳)

۹. کدام عبارت نادرست است؟

- (۱) در اشرشیاکلائی، محل باز شدن موضعی دو رشته دنا به هنگام رونویسی، محل تشکیل پیوند فسفودی‌استر است.
- (۲) در آژولا، به هنگام رشتمان (میتوز)، دناى مادر و دناى جدید به طور مساوی بین دو یاخته جدید توزیع می‌شود.
- (۳) در استرپتوکوکوس نومونیا، نقطه پایان همانندسازی در مقابل محل آغاز همانندسازی قرار دارد.
- (۴) در اسپیروژیر، فعالیت هلیکاز قبل از جدا شدن هیستون‌ها از مولکول دنا، رخ می‌دهد.

گزینه ۴



- ۱) اطلاعات اولیه در مورد ماده وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام ..... به دست آمد. او سعی داشت واکسنی برای ..... تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام ..... است.
- ۲) ..... در آزمایش دیگری باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با ..... را به موش‌ها تزریق و مشاهده کرد که موش‌ها سالم ماندند و نتیجه گرفت وجود ..... به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست.
- ۳) ..... مشخص کرد که ماده وراثتی می‌تواند به یاخته دیگری منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.
- ۴) ..... به این نتیجه رسید که عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است.
- ۵) هر نوکلئوتید شامل سه بخش است ..... قند پنج کربنه، ..... باز آلی نیتروژن دار و ..... تا ..... گروه فسفات.
- ۶) باز آلی نیتروژن دار می‌تواند پورین باشد که ساختار ..... حلقه‌ای دارد؛ شامل ..... و ..... یا می‌تواند پیریمیدین باشد که ساختار ..... حلقه‌ای دارد؛ شامل ..... و ..... .
- ۷) برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند ..... به دو سمت ..... متصل می‌شوند.
- ۸) در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه ..... از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.
- ۹) در نوکلئیک اسیدهای ..... گروه ..... در یک انتها و گروه ..... در انتهای دیگر آزاد است؛ بنابراین هر رشته ..... و ..... همیشه دو سر متفاوت دارد.
- ۱۰) مشاهدات و تحقیقات ..... روی دناهای جانداران نشان داد که مقدار آدنین در دنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می‌کند.
- ۱۱) ..... و ..... با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دنا تصاویری تهیه کردند که مشخص کرد دنا حالت ..... و ..... دارد. البته با استفاده از این روش ..... را نیز تشخیص دادند.
- ۱۲) واتسون و کریک مدل مولکولی ..... را برای دنا ساختند.
- ۱۳) ستون‌های نردبان دنا را ..... و ..... و پله‌ها را ..... تشکیل می‌دهند. بین قند یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید مجاور پیوند ..... و بین بازهای روبه‌روی هم پیوند ..... برقرار است.
- ۱۴) پیوندهای .....، دو رشته دنا را در مقابل هم نگه می‌دارد.

## زیست‌شناسی ۳

- ۱۵) بین C و G نسبت به A و T پیوند هیدروژنی ..... تشکیل می‌شود.
- ۱۶) قرارگیری جفت بازها به شکل مکمل باعث می‌شود که ..... در سراسر آن یکسان باشد و باعث ..... مولکول دنا می‌شود.
- ۱۷) ..... اطلاعات را از دنا به رناتن‌ها می‌رساند. ..... آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رناتن‌ها می‌برد. در ساختار رناتن‌ها علاوه بر پروتئین، ..... نیز شرکت دارد.
- ۱۸) ژن بخشی از مولکول دنا است که بیان آن می‌تواند به تولید ..... یا ..... بینجامد.
- ۱۹) نوکلئوتید آدنین دار ATP (آدنوزین تری فسفات) به عنوان ..... در یاخته است.
- ۲۰) نوکلئوتیدها در ساختار مولکول‌هایی وارد می‌شوند که در فرایندهای ..... و ..... نقش ..... را برعهده دارند.
- ۲۱) در طرح همانندسازی ..... دنا هر دو رشته دنا ی قبلی (اولیه) به صورت دست‌نخورده باقی‌مانده، وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند، دو رشته دنا ی جدید هم وارد یاخته دیگر می‌شوند.
- ۲۲) در طرح همانندسازی ..... دنا، در هر یاخته یکی از دو رشته دنا مربوط به دنا ی اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است.
- ۲۳) در طرح همانندسازی ..... دنا، هر کدام از دناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جدید را به صورت پراکنده در خود دارند.
- ۲۴) ..... و ..... برای سنجش چگالی دناها در هر فاصله زمانی، دنا ی باکتری را استخراج و در شیبی از محلول ..... با غلظت‌های متفاوت و در سرعتی بسیار بالا گریز دادند.
- ۲۵) در زمان انجام همانندسازی، در محلی که ..... دو رشته از هم باز می‌شوند و بقیه قسمت‌ها بسته هستند و به تدریج باز می‌شوند.
- ۲۶) واحدهای سازنده دنا که بتوانند در کنار هم نسخه مکمل الگو را بسازند نوکلئوتیدهای ..... و ..... هستند که در لحظه اتصال به رشته پلی‌نوکلئوتید در حال ساخت، ..... را از دست می‌دهند.
- ۲۷) قبل از همانندسازی دنا، باید پیچ و تاب دنا باز و پروتئین‌های همراه آن یعنی ..... از آن جدا شوند تا همانندسازی بتواند انجام شود. این کارها با کمک آنزیم‌هایی انجام می‌شود ..... آنزیم ..... مارپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می‌کند.
- ۲۸) همانندسازی ..... جهتی و رونویسی ..... جهتی است.
- ۲۹) در محلی که دو رشته دنا از هم جدا می‌شوند، دو ساختار ..... مانند به وجود می‌آید که به هریک از آنها ..... می‌گویند.
- ۳۰) در محل هر دو راهی همانندسازی ..... هلیکاز و ..... دنا بسپاراز وجود دارد.



۳۱) توانایی بریدن دنا را فعالیت ..... گویند که در آن پیوند ..... می‌شکند.

۳۲) فعالیت نوکلئازی دنباسپاراز را که باعث رفع اشتباه‌ها در همانندسازی می‌شود، ..... می‌گویند.

۳۳) در ..... که شامل همهٔ باکتری‌ها می‌شوند، مولکول‌های وراثتی در غشا محصور ..... و فام‌تن اصلی به صورت یک مولکول دنا ..... است که در ..... قرار دارد و به ..... متصل است. این یاخته‌ها علاوه بر دنا اصلی ..... مولکول‌هایی از دنا بی دیگر به نام ..... داشته باشند.

۳۴) ..... پروکاریوت‌ها ..... جایگاه آغاز همانندسازی در دنا خود دارند.

۳۵) در یوکاریوت‌ها علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن دنا سیتوپلاسمی می‌گویند. این نوع از دنا که حالت ..... دارد در ..... و ..... دیده می‌شود.

۳۶) در .....، آغاز همانندسازی در چندین نقطه در هر فام‌تن انجام می‌شود. تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی حتی می‌تواند بسته به مراحل ..... و ..... تنظیم شود؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل مورو و بلاستولا (مرحله تشکیل بلاستوسیست) سرعت تقسیم ..... و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی ..... است ولی پس از تشکیل اندام‌ها سرعت تقسیم و تعداد جایگاه‌های آغاز ..... می‌شوند.

۳۷) ..... در آمینواسیدهای مختلف متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.

۳۸) هر آمینواسید می‌تواند در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد و تأثیر آن به ماهیت شیمیایی ..... بستگی دارد.

۳۹) پروتئین‌ها از یک یا چند زنجیره ..... و ..... از پلی‌پپتیدها ساخته شده‌اند.

۴۰) اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد ..... بود. این پروتئین از ..... رشته پلی‌پپتید تشکیل شده است.

۴۱) نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار ..... پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند که با ایجاد پیوندهای ..... بین آمینواسیدها شکل می‌گیرد و ..... است.

۴۲) ..... پروتئین‌ها الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی است که به چند صورت دیده می‌شوند. دو نمونه معروف آن‌ها ساختار ..... و ساختار ..... است.

۴۳) در ساختار ..... تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها رخ می‌دهد و پروتئین‌ها به شکل ..... درمی‌آیند. تشکیل این ساختار در اثر برهم‌کنش‌های ..... است؛ به این صورت که گروه‌های ..... آمینواسیدهایی که آب‌گریزند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند. سپس با تشکیل پیوندهای دیگری مانند .....، ..... و ..... ساختار سوم پروتئین تثبیت می‌شود.

۴۴) ساختار ..... - ..... هنگامی شکل می‌گیرد که دو یا چند زنجیره پلی‌پپتید در کنار یکدیگر، پروتئین را تشکیل دهند.

۴۵) هموگلوبین از چهار زنجیره پلی‌پپتیدی از دو نوع ..... و ..... تشکیل شده است. هر نوع زنجیره، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را در ساختار اول دارند. در ساختار دوم به شکل ..... درمی‌آیند.

## زیست‌شناسی ۳

- ۴۶ ..... هورمون‌ها از جمله ..... و ..... پروتئینی هستند.
- ۴۷ آنزیم امکان برخورد مناسب مولکول‌ها را ..... و انرژی فعال‌سازی واکنش را ..... می‌دهد. همچنین با این کار سرعت واکنش‌هایی را که در بدن موجود زنده انجام شدنی هستند ..... می‌کند.
- ۴۸ بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به یون‌های فلزی مانند آهن، مس و یا مواد آلی مثل ویتامین‌ها نیاز دارند. به مواد آلی که به آنزیم کمک می‌کنند ..... می‌گویند.
- ۴۹ هر آنزیم روی ..... یا ..... پیش ماده خاص مؤثر است. بنابراین گفته می‌شود که آنزیم‌ها عمل ..... دارند.
- ۵۰ هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH ..... می‌گویند؛ این pH برای پیسین حدود ..... است در حالی که برای آنزیم‌هایی که از لوزالمعده به روده کوچک وارد می‌شوند حدود ..... می‌باشد.
- ۵۱ آنزیم‌ها در دمای ..... ممکن است شکل غیرطبیعی یا برگشت‌ناپذیر پیدا کنند و غیرفعال شوند. آنزیم‌هایی که در دمای ..... غیرفعال می‌شوند با برگشت دما به حالت طبیعی، می‌توانند به حالت فعال برگردند.
- ۵۲ از آنزیم‌ها در صنایع متفاوتی مانند .....، ..... و ..... استفاده می‌شود.
- ۵۳ آنزیم سلولاز که در تجزیه سلولز به گلوکز نقش دارد در ..... و ..... مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۵۴ ..... نام عمومی برای آنزیم‌هایی است که با دلمه کردن پروتئین شیر آن را به پنیر تبدیل می‌کنند. این ماده به طور سنتی از ..... جانورانی مانند گاو و گوسفند به دست می‌آید.
- ۵۵ امروزه انواعی از مایه پنیرها وجود دارد که از ..... و ..... به دست می‌آید.
- ۵۶ در صنایع شوینده با استفاده از .....، ..... و ..... انواعی از شوینده‌های با قدرت تمیزکنندگی بالا تولید می‌شوند.



- ۱ اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام **گریفیت** به دست آمد. او سعی داشت واکسنی برای **آنفلوانزا** تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام **استرپتوکوکوس نومونیا** است.
- ۲ **گریفیت** در آزمایش دیگری باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با **گرما** را به موش‌ها تزریق و مشاهده کرد که موش‌ها سالم ماندند و نتیجه گرفت وجود **پوشینه** به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست.
- ۳ **گریفیت** مشخص کرد که مادهٔ وراثتی می‌تواند به یاختهٔ دیگری منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.
- ۴ **ایوری** به این نتیجه رسید که عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است.
- ۵ هر نوکلئوتید شامل سه بخش است **یک** قند پنج کربنه، **یک** باز آلی نیتروژن دار و **یک** تا سه گروه فسفات.
- ۶ باز آلی نیتروژن دار می‌تواند پورین باشد که ساختار **دو** حلقه‌ای دارد؛ شامل **آدنین (A)** و **گوانین (G)** یا می‌تواند پیریمیدین باشد که ساختار **تک** حلقه‌ای دارد؛ شامل **تیمین (T)**، **سیتوزین (C)** و **یوراسیل (U)**.
- ۷ برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند **اشتراکی (کووالانسی)** به دو سمت **قند** متصل می‌شوند.
- ۸ در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه **هیدروکسیل** از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.
- ۹ در نوکلئیک اسیدهای **خطی** گروه **فسفات** در یک انتها و گروه **هیدروکسیل** در انتهای دیگر آزاد است؛ بنابراین هر رشتهٔ **دنا و رنای خطی** همیشه دو سر متفاوت دارد.
- ۱۰ مشاهدات و تحقیقات **چارگاف** روی دناهای جانداران نشان داد که مقدار آدنین در دنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می‌کند.
- ۱۱ **ویلکینز و فرانکلین** با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دنا تصاویری تهیه کردند که مشخص کرد دنا حالت **مارپیچی** و **بیش از یک رشته** دارد. البته با استفاده از این روش **ابعاد مولکول‌ها** را نیز تشخیص دادند.
- ۱۲ واتسون و کریک مدل مولکولی **نردبان مارپیچ** را برای دنا ساختند.
- ۱۳ ستون‌های نردبان دنا را **قند و فسفات** و پله‌ها را **بازهای آلی** تشکیل می‌دهند. بین قند یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید مجاور پیوند **فسفودی‌استر** و بین بازهای روبه‌روی هم پیوند **هیدروژنی** برقرار است.
- ۱۴ پیوندهای **هیدروژنی بین بازها**، دو رشته دنا را در مقابل هم نگه می‌دارد.

## زیست‌شناسی ۳

- ۱۵) بین C و G نسبت به A و T پیوند هیدروژنی **بیشتری** تشکیل می‌شود.
- ۱۶) قرارگیری جفت بازها به شکل مکمل باعث می‌شود که **قطر مولکول دنا** در سراسر آن یکسان باشد و باعث **پایداری** مولکول دنا می‌شود.
- ۱۷) **رنای پیک (mRNA)** اطلاعات را از دنا به رناتن‌ها می‌رساند. **رنای ناقل (tRNA)** آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رناتن‌ها می‌برد. در ساختار رناتن‌ها علاوه بر پروتئین، **رنای رناتنی** نیز شرکت دارد.
- ۱۸) ژن بخشی از مولکول دنا است که بیان آن می‌تواند به تولید **رنا** یا **پلی‌پپتید** بینجامد.
- ۱۹) نوکلئوتید آدنین دار ATP (آدنوزین تری فسفات) به عنوان **منبع رایج انرژی** در یاخته است.
- ۲۰) نوکلئوتیدها در ساختار مولکول‌هایی وارد می‌شوند که در فرایندهای **فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای** نقش **حامل الکترون** را برعهده دارند.
- ۲۱) در طرح همانندسازی **حفاظتی** دنا هر دو رشته دنا ی قبلی (اولیه) به صورت دست نخورده باقی‌مانده، وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند، دو رشته دنا ی جدید هم وارد یاخته دیگر می‌شوند.
- ۲۲) در طرح همانندسازی **نیمه حفاظتی** دنا، در هر یاخته یکی از دو رشته دنا مربوط به دنا ی اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است.
- ۲۳) در طرح همانندسازی **غیرحفاظتی (پراکنده)** دنا، هر کدام از دناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جدید را به صورت پراکنده در خود دارند.
- ۲۴) **مزلسون و استال** برای سنجش چگالی دناها در هر فاصله زمانی، دنا ی باکتری را استخراج و در شیبی از محلول **سزیم کلرید** با غلظت‌های متفاوت و در سرعتی بسیار بالا گریز دادند.
- ۲۵) در زمان انجام همانندسازی، در محلی که **قرار است همانندسازی انجام شود** دو رشته از هم باز می‌شوند و بقیه قسمت‌ها بسته هستند و به تدریج باز می‌شوند.
- ۲۶) واحدهای سازنده دنا که بتوانند در کنار هم نسخه مکمل الگو را بسازند نوکلئوتیدهای **آزاد داخل یاخته و سه فسفات** هستند که در لحظه اتصال به رشته پلی‌نوکلئوتید در حال ساخت، **دو فسفات خود** را از دست می‌دهند.
- ۲۷) قبل از همانندسازی دنا، باید پیچ و تاب دنا باز و پروتئین‌های همراه آن یعنی **هیستون‌ها** از آن جدا شوند تا همانندسازی بتواند انجام شود. این کارها با کمک آنزیم‌هایی انجام می‌شود **سپس آنزیم هلیکاز** ماریپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می‌کند.
- ۲۸) همانندسازی **دو جهتی** و رونویسی **یک جهتی** است.
- ۲۹) در محلی که دو رشته دنا از هم جدا می‌شوند، دو ساختار **Y** مانند به وجود می‌آید که به هریک از آنها **دوراهی همانندسازی** می‌گویند.
- ۳۰) در محل هر دو راهی همانندسازی **یک هلیکاز و دو** دنباسپاراز وجود دارد.

۳۱) توانایی بریدن دنا را فعالیت **نوکلئازی** گویند که در آن پیوند **فسفودی‌استر** می‌شکند.

۳۲) فعالیت نوکلئازی دنباسپاراز را که باعث رفع اشتباه‌ها در همانندسازی می‌شود، **ویرایش** می‌گویند.

۳۳) در **پروکاریوت‌ها** (پیش‌هسته‌ها) که شامل همهٔ باکتری‌ها می‌شوند، مولکول‌های وراثتی در غشا محصور **نشده** و فام‌تن اصلی به صورت یک مولکول دنا **حلقوی** است که در **سیتوپلاسم** قرار دارد و به **غشای یاخته** متصل است. این یاخته‌ها علاوه بر دنا **اصلی ممکن است** مولکول‌هایی از دنا **دیگر** به نام **دیسک (پلازمید)** داشته باشند.

۳۴) **اغلب** پروکاریوت‌ها فقط **یک** جایگاه آغاز همانندسازی در دنا خود دارند.

۳۵) در یوکاریوت‌ها علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن دنا **سیتوپلاسمی** می‌گویند. این نوع از دنا که حالت **حلقوی** دارد در **راکیزه (میتوکندری)** و **دیسک (پلاست)** دیده می‌شود.

۳۶) در **یوکاریوت‌ها**، آغاز همانندسازی در چندین نقطه در هر فام‌تن انجام می‌شود. تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی حتی می‌تواند بسته به مراحل **رشد و نمو** تنظیم شود؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا (مرحله تشکیل بلاستوسیست) سرعت تقسیم **زیاد** و تعداد جایگاه‌های آغاز همانندسازی **هم زیاد** است ولی پس از تشکیل اندام‌ها سرعت تقسیم و تعداد جایگاه‌های آغاز **کم** می‌شوند.

۳۷) **گروه R** در آمینواسیدهای مختلف متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.

۳۸) هر آمینواسید می‌تواند در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد و تأثیر آن به ماهیت شیمیایی **گروه R** بستگی دارد.

۳۹) پروتئین‌ها از یک یا چند زنجیره **بلند و بدون شاخه** از پلی‌پپتیدها ساخته شده‌اند.

۴۰) اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد **میوگلوبین** بود. این پروتئین از **یک** رشتهٔ پلی‌پپتید تشکیل شده است.

۴۱) نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار **اول** پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند که با ایجاد پیوندهای **پپتیدی** بین آمینواسیدها شکل می‌گیرد و **خطی** است.

۴۲) ساختار **دوم** پروتئین‌ها الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی است که به چند صورت دیده می‌شوند. دو نمونه معروف آن‌ها ساختار **مارپیچ** و ساختار **صفحه‌ای** است.

۴۳) در ساختار **سوم** تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها رخ می‌دهد و پروتئین‌ها به شکل **کروی** درمی‌آیند. تشکیل این ساختار در اثر برهم‌کنش‌های **آب‌گریز** است؛ به این صورت که گروه‌های **R** آمینواسیدهایی که آب‌گریزند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند. سپس با تشکیل پیوندهای دیگری مانند **هیدروژنی، اشتراکی و یونی** ساختار سوم پروتئین تثبیت می‌شود.

۴۴) ساختار **چهارم - آرایش زیرواحدها** هنگامی شکل می‌گیرد که دو یا چند زنجیره پلی‌پپتید در کنار یکدیگر، پروتئین را تشکیل دهند.

۴۵) هموگلوبین از چهار زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی از دو نوع **زنجیره آلفا** و دو نوع **زنجیره بتا** تشکیل شده است. هر نوع زنجیره، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را در ساختار اول دارند. در ساختار دوم به شکل **مارپیچ** درمی‌آیند.

## زیست‌شناسی ۳

- ۴۶ بیشتر هورمون‌ها از جمله **اکسی‌توسین و انسولین** پروتئینی هستند.
- ۴۷ آنزیم امکان برخورد مناسب مولکول‌ها را **افزایش** و انرژی فعال‌سازی واکنش را **کاهش** می‌دهد. همچنین با این کار سرعت واکنش‌هایی را که در بدن موجود زنده انجام شدنی هستند **زیاد** می‌کند.
- ۴۸ بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به یون‌های فلزی مانند آهن، مس و یا مواد آلی مثل ویتامین‌ها نیاز دارند. به مواد آلی که به آنزیم کمک می‌کنند **کوآنزیم** می‌گویند.
- ۴۹ هر آنزیم روی **یک یا چند** پیش ماده خاص مؤثر است. بنابراین گفته می‌شود که آنزیم‌ها عمل **اختصاصی** دارند.
- ۵۰ هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH **بهینه** می‌گویند؛ این pH برای پپسین حدود ۲ است در حالی که برای آنزیم‌هایی که از لوزالمعده به روده کوچک وارد می‌شوند حدود ۸ می‌باشد.
- ۵۱ آنزیم‌ها در دمای **بالا تر** ممکن است شکل غیرطبیعی یا برگشت‌ناپذیر پیدا کنند و غیرفعال شوند. آنزیم‌هایی که در دمای **پایین** غیرفعال می‌شوند با برگشت دما به حالت طبیعی، می‌توانند به حالت فعال برگردند.
- ۵۲ از آنزیم‌ها در صنایع متفاوتی مانند **تولید دارو، خوراکی، آشامیدنی و سوخت‌های زیستی** استفاده می‌شود.
- ۵۳ آنزیم سلولاز که در تجزیه سلولز به گلوکز نقش دارد در **کاغذسازی و تولید سوخت زیستی** مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۵۴ **مایه پنیر** نام عمومی برای آنزیم‌هایی است که با دلمه کردن پروتئین شیر آن را به پنیر تبدیل می‌کنند. این ماده به طور سنتی از **معدۀ نوزادان** جانورانی مانند گاو و گوسفند به دست می‌آید.
- ۵۵ امروزه انواعی از مایه پنیرها وجود دارد که از **گیاهان و میکروارگانیسم‌ها** به دست می‌آید.
- ۵۶ در صنایع شوینده با استفاده از **لیپازها، پروتئازها و آمیلازها** انواعی از شوینده‌های با قدرت تمیزکنندگی بالا تولید می‌شوند.