

پیش‌هسته‌ای (پروکاریوت)	باکتری‌ها
هسته‌ای (یوکاریوت)	جانداران
	آغازیان
	قارچ‌ها
	گیاهان
	جانوران

### 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.

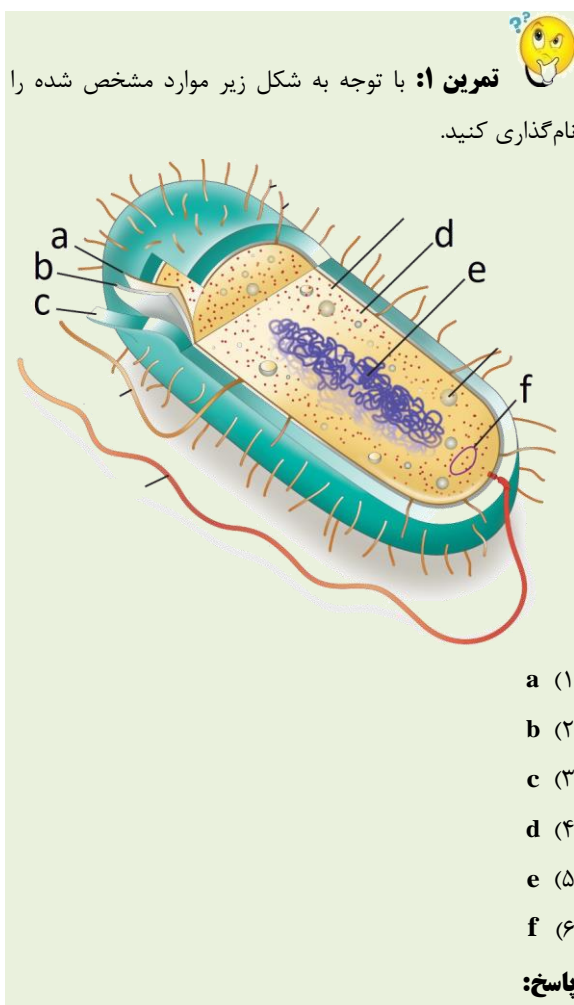
در این فصل مطالب در قالب زنجیره‌ای از آزمایش‌ها توضیح داده می‌شود که نتایج آن‌ها آگاهی ما را از ژن و مولکول‌های مرتبط به آن یعنی دنا (DNA) و رنا (RNA) و پروتئین بیش‌تر می‌کند. آشنا شدن با ساختار این مولکول‌ها مقدمه‌ای است برای فهم بهتر فصل‌های دیگر این کتاب. همچنین، در کنار این مباحث با سازوکار مولکولی و چگونگی ذخیره و انتقال اطلاعات وراثتی آشنا می‌شویم.

### گفتار ۱: نوکلئیک اسیدها

هر یک از یاخته‌های بدن ما ویژگی‌هایی مانند شکل، اندازه، توانایی‌ها و... دارند. این ویژگی‌ها تحت فرمان هسته هستند. دستورالعمل‌های هسته در حین تقسیم از یاخته‌ای به یاخته دیگر و در حین تولیدمثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. اطلاعات و دستورالعمل فعالیت‌های یاخته در چه قسمتی از هسته ذخیره می‌شود؟ قبلاً آموختیم که فام‌تن‌ها در هسته قرار دارند و در ساختار آن‌ها دنا (DNA) و پروتئین مشارکت می‌کنند.

کدام‌یک از این دو ماده، ذخیره‌کننده اطلاعات وراثتی است؟ پاسخ این سؤال مشخص شده و آن ماده دنا است که به عنوان ماده ذخیره‌کننده اطلاعات وراثتی عمل می‌کند. اما دانشمندان چگونه به این پاسخ رسیده‌اند؟

اطلاعات اولیه در مورد ماده 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. گریفیت با دو نوع از این باکتری، آزمایش‌هایی را روی موش‌ها انجام داد. نوع بیماری‌زای آن که پوشینه‌دار (کپسول‌دار) است در موش‌ها سبب **سینه پهلو** می‌شود ولی نوع بدون پوشینه آن موش‌ها را بیمار نمی‌کند (شکل ۱).

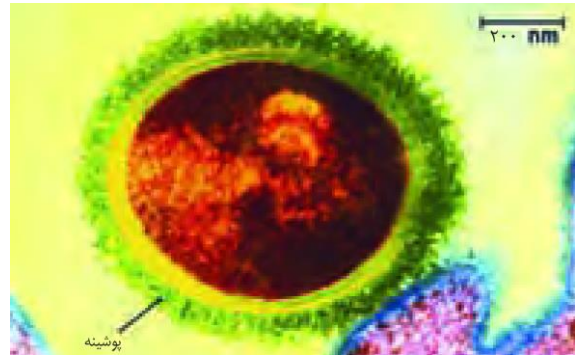




**تمرین ۱:** به پرسش های زیر پاسخ دهید.

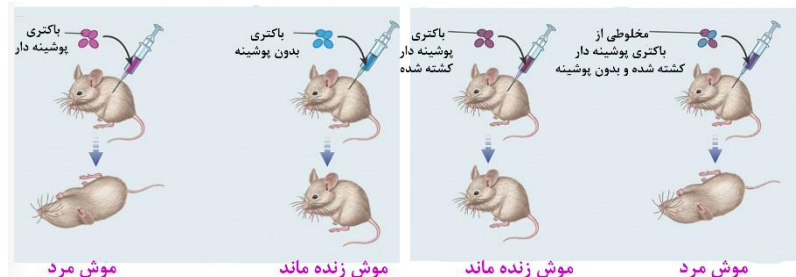
- الف) جنس پوشینه عامل سینه پهلوی در موش ها را مشخص کنید.  
 ب) گریدیت در آزمایش های خود دنبال تهیه سرم بود یا واکسن؟  
 پ) در کدام مرحله از آزمایش گریدیت مشخص شد پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش ها نیست؟  
 ت) در کدام مرحله از آزمایش گریدیت مشخص شد عامل وراثتی قابل انتقال است؟

**پاسخ:**



شکل ۱- باکتری پوشینه دار

آزمایش ها و نتایج کار گریدیت را در شکل ۲ ملاحظه می کنید.



شکل ۲- آزمایشات گریدیت و نتایج آن

گریدیت مشاهده کرد تزریق باکتری های پوشینه دار به موش باعث بروز علائم بیماری و مرگ در آن ها می شود؛ در حالی که تزریق باکتری های بدون پوشینه به موش های مشابه، باعث بروز علائم بیماری نمی شود. او در آزمایش دیگری باکتری های پوشینه دار کشته شده با گرما را به موش ها تزریق و مشاهده کرد که موش ها سالم ماندند. گریدیت نتیجه گرفت وجود پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش ها نیست.

سپس مخلوطی از باکتری های پوشینه دار کشته شده با گرما و زنده بدون پوشینه را به موش ها تزریق کرد و دید برخلاف انتظار، موش ها مُردند! او در بررسی خون و شش های موش های مرده، مقدار زیادی از باکتری های پوشینه دار زنده مشاهده کرد. مسلماً باکتری های مرده، زنده نشده اند بلکه تعدادی از باکتری های بدون پوشینه به نحوی تغییر کرده و پوشینه دار شده اند. از نتایج این آزمایش ها مشخص شد که ماده وراثتی می تواند از یاخته ای به یاخته دیگر منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.

**عامل اصلی انتقال صفات وراثتی، مولکول دنا است**

عامل مؤثر در انتقال این صفت تا حدود ۱۶ سال بعد از گریدیت همچنان ناشناخته ماند. تا این که نتایج کارهای دانشمندی به نام ایوری و همکارانش عامل مؤثر در آن را مشخص کرد. آن ها ابتدا از عصاره استخراج شده از باکتری های کشته شده پوشینه دار



**تمرین ۳:** هر یک از موارد زیر با کارهای کدام دانشمندان مشخص شد؟

- الف) ماده وراثتی می تواند از یاخته ای به یاخته دیگر منتقل شود.  
 ب) کشف مولکول DNA  
 پ) کشف مولکول DNA به عنوان ماده وراثتی  
 ت) برابر بودن مقدار A با T و C با G در DNA  
 ث) مکمل بودن A با T و C با G در DNA  
 ج) بیش از یک رشته ای بودن DNA  
 چ) دو رشته ای بودن DNA  
 ح) چگونگی انتقال DNA

**پاسخ:**



**تمرین ۴:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

(الف) برخلاف آزمایشات گریفیت، در کارهای ایوری چگونگی انتقال ماده وراثتی کشف شد.

(ب) در آزمایش اول ایوری همانند آزمایش سوم ایوری، آنزیم تجزیه‌کننده کلاژن استفاده شد.

(پ) استفاده از سانتیفریوز توسط ایوری به این دلیل بود که متوجه شد پروتئین عامل وراثت نیست.

(ت) در آزمایش سوم ایوری لیپاز استفاده شد.

**پاسخ:**



**تمرین ۵:** جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.

(۱) آدنین + ریبوز = .....

(۲) آدنین + دئوکسی‌ریبوز = .....

(۳) گوانین + ریبوز + ۳ فسفات = .....

(۴) تیمین + دئوکسی‌ریبوز + ۳ فسفات = .....

**پاسخ:**



**تست ۱:** دنا با رنا در چند مورد با هم تفاوت دارند؟

(الف) نوکلئوتید پورین‌دار

(ب) نوکلئوتید پیریمیدین‌دار

(پ) تعداد رشته پلی‌نوکلئوتیدی

(ت) نوع پیوند اشتراکی بین نوکلئوتیدها

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

**پاسخ:**

استفاده کردند و در آن تمامی پروتئین‌های موجود را تخریب کردند. به نظر شما چگونه این کار انجام شد؟

آن‌ها سپس باقی‌ماندهٔ محلول را به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه اضافه کردند و دیدند که انتقال صفت صورت می‌گیرد؛

پس می‌توان نتیجه گرفت که پروتئین‌ها مادهٔ وراثتی نیستند.

در آزمایش دیگری مخلوط به‌دست آمده را در یک گریزانه (سانتریفیوز) با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به‌صورت لایه‌لایه جدا کردند. با اضافه کردن هر یک از لایه‌ها به‌صورت 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 انکارناپذیر بود و ایوری و همکارانش را به این نتیجه رساند که عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است. به

عبارت ساده‌تر، دنا همان ماده وراثتی است. با این حال نتایج به‌دست 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 عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار را استخراج و آن را به چند قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت، آنزیم تخریب

کننده یک گروه از مواد آلی 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 همهٔ ظروف انتقال صورت می‌گیرد به جز ظرفی که

حاوی آنزیم تخریب‌کننده دنا است.

### ساختار نوکلئیک اسید

نوکلئیک اسیدها که شامل دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید (دنا) و ریبونوکلئیک اسید (رنا) هستند، همگی بسپارهایی (پلیمرهایی)

از واحدهای تکرارشونده به نام نوکلئوتید هستند. با توجه به شکل ۳ هر نوکلئوتید شامل سه بخش است: یک قند پنج کربنه، یک باز

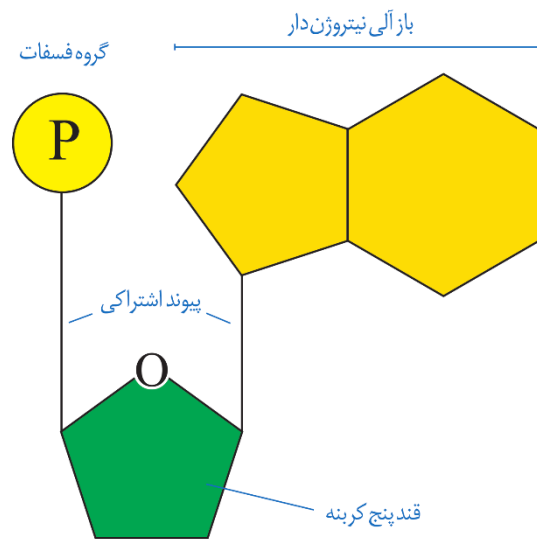
آلی نیتروژن‌دار و یک تا سه گروه فسفات. قند پنج کربنه در دنا، دئوکسی‌ریبوز و در رنا، ریبوز است. دئوکسی‌ریبوز یک اکسیژن

کم‌تر از ریبوز دارد. باز آلی نیتروژن‌دار می‌تواند پورین باشد که ساختار دو حلقه‌ای دارد؛ شامل آدنین (A) و گوانین (G) یا می

تواند 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.

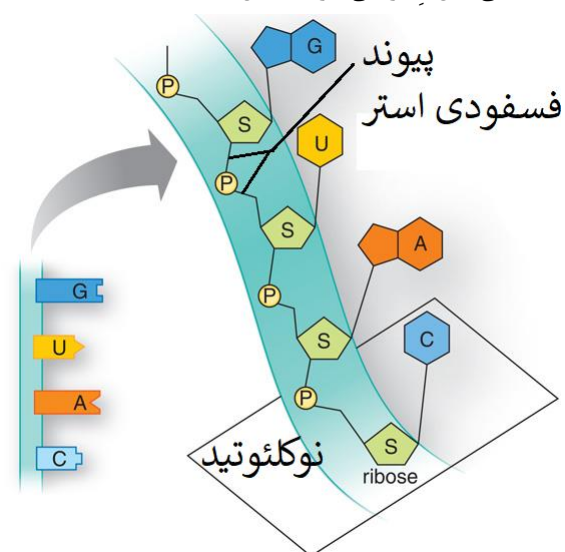
برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن دار و گروه های فسفات با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به دو سمت قند متصل می شوند (شکل ۳).



شکل ۳- اجزای یک نوکلئوتید

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

نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودی استر به هم متصل می شوند و رشته پلی نوکلئوتیدی را می سازند. در پیوند فسفودی استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) پلی نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک اسید را می سازند مثل رنا، یا به صورت دوتایی مقابل هم قرار می گیرند و نوکلئیک اسیدهایی مثل دنا را می سازند (شکل ۴).



شکل ۴- تشکیل رشته نوکلئیک اسید

بنابراین مولکول های دنا از دو رشته پلی نوکلئوتید و مولکول های رنا از یک رشته پلی نوکلئوتید تشکیل می شوند (شکل ۵).

تمرین ۶: ۹ نوع نوکلئوتید آدنین دار نام ببرید.

- ..... (۱)
- ..... (۲)
- ..... (۳)
- ..... (۴)
- ..... (۵)
- ..... (۶)
- ..... (۷)
- ..... (۸)
- ..... (۹)

پاسخ:

تمرین ۷: جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز

- پر کنید.
- الف) آدنین از حلقه (۵ ضلعی - ۶ ضلعی) ..... خود با قند پنج کربنه پیوند کووالانسی برقرار می کند.
- ب) هر زنجیره پلی نوکلئوتیدی برای تشکیل پیوند فسفودی استر با نوکلئوتید آزاد گروه (فسفات- هیدروکسیل) ..... خود را شرکت می دهد.
- پ) هر پیوند قند- فسفاتی در زنجیره پلی نوکلئوتیدی نوعی پیوند (کووالانسی- فسفودی استر) ..... است.
- ت) در یک زنجیره پلی نوکلئوتیدی دو نوکلئوتیدی که با هم پیوند فسفودی استر دارند ممکن نیست از نظر نوع (قند- باز آلی نیتروژن دار) ..... متفاوت باشند.

پاسخ:



**تمرین ۸:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

الف) ممکن نیست نوکلئوتیدهای یک زنجیره با پیوند هیدروژنی به هم متصل شوند.

ب) ممکن نیست همه نوکلئوتیدهای یک زنجیره با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل باشند.

پ) ممکن نیست بین دو نوکلئوتیدی که از نظر نوع قند با هم تفاوت دارند پیوند هیدروژنی تشکیل شود.

ت) ممکن نیست هر رشته دنا و رنا خطی دو سر مشابه هم داشته باشد.

**پاسخ:**



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

تحقیقات چارگاف روی دناهای طبیعی موجودات .....

۱) نشان داد که به چه دلیل مقدار **A** با **T** و **C** با **G** برابر است.  
۲) مشخص کرد که چهار نوع نوکلئوتید به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند.

۳) معرف این است که مقدار پورین با مقدار پیریمیدین همواره برابر است.

۴) می‌تواند مشخص کند که ماده وراثتی چگونه همانندسازی می‌کند.

**پاسخ:**



**تمرین ۹:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

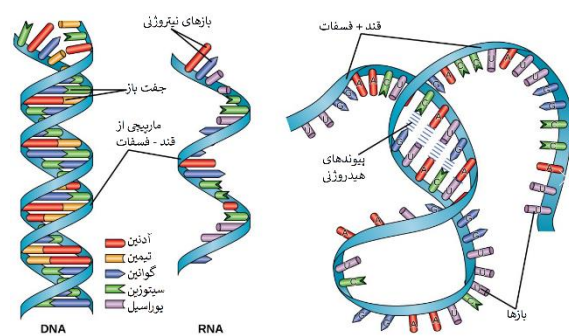
الف) پرتوی که ویلکینز و فرانکلین برای تحقیقات خود استفاده نمودند در رادیولوژی کاربرد دارد.

ب) ویلکینز و فرانکلین برای تحقیقات خود از یک مولکول **DNA** و یک تصویر استفاده کرده‌اند.

پ) با کارهای ویلکینز و فرانکلین مشخص شد که دنا نمی‌تواند تک رشته‌ای باشد.

ت) ویلکینز و فرانکلین نتوانستند اندازه دنا را تشخیص دهند.

**پاسخ:**



شکل ۵- دنا و رنا دو رشته‌ای و رنا تک رشته‌ای

دو انتهای رشته‌های پلی‌نوکلئوتید نیز می‌توانند با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل شوند و نوکلئیک اسید حلقوی را ایجاد کنند؛ برای مثال دنا در باکتری‌ها به صورت حلقوی است، در نوکلئیک اسیدهای خطی گروه فسفات در یک انتها و گروه هیدروکسیل در انتهای دیگر آزاد است؛ بنابراین هر رشته دنا و رنا خطی همیشه دو سر متفاوت دارد.

### تلاش برای کشف ساختار مولکولی دنا

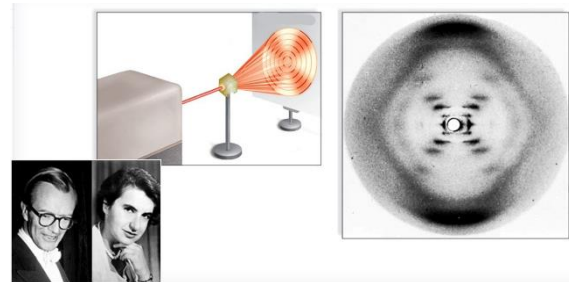
در ابتدا تصور می‌شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند. بر این اساس دانشمندان انتظار داشتند که مقدار ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول‌های دنا از هر جاندار که به دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد.

اما مشاهدات و تحقیقات چارگاف روی دناهای طبیعی موجودات نشان داد که:

مقدار آدنین موجود 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.

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

ویلکینز و فرانکلین با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دنا تصویری تهیه کردند (شکل ۶).



شکل ۶- تصویر تهیه شده با پرتو ایکس از مولکول دنا توسط ویلکینز و فرانکلین



**تست ۳:** با تکنیک پرتو ایکس چند مورد قابل تعیین است؟

(الف) اندازه مولکول

(ب) شکل مولکول

(پ) جایگاه اتمها در پلیمر

(ت) تعداد رشته های پلیمر

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

**پاسخ:**



**تست ۴:** کدام از یافته های واتسون و کریک برای معرفی

مدل نردبان مارپیچ دنا است؟

(۱) برابر بودن مقدار A با T و C با G

(۲) مارپیچی شکل بودن مولکول دنا

(۳) شناخت از پیوندهای شیمیایی

(۴) تعیین ابعاد مولکول دنا

**پاسخ:**



**تست ۵:** ویلکینز و فرانکلین در زمینه شناسایی ساختار

مولکول های DNA ، ..... (سراسری خارج کشور ۸۸)

(۱) مدل گوی و میله ای DNA را ارائه دادند.

(۲) مقدار بازهای آلی در DNA جانداران مختلف را اندازه گرفتند.

(۳) تصاویری از بلورهای مولکول DNA به روش پراش پرتو ایکس تهیه کردند.

(۴) DNA باکتری های کپسول دار و بدون کپسول را به طور خاص تهیه نمودند.

**پاسخ:**



**تست ۶:** در یک مولکول DNA ، تعداد ..... کم تر از

سایرین است. (سراسری ۸۹)

(۱) بازهای پورینی

(۲) پیوندهای هیدروژنی

(۳) پنتوزها

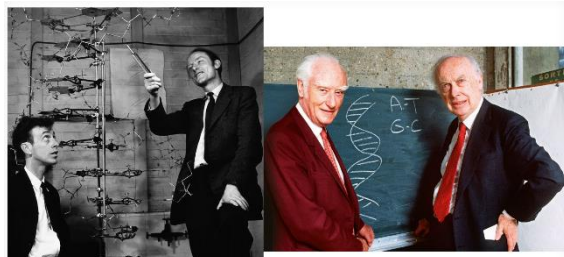
(۴) پیوندهای فسفو دی استر

**پاسخ:**

با بررسی این تصاویر در مورد ساختار دنا نتایجی را به دست آوردند از جمله این که دنا حالت مارپیچی و بیش از یک رشته دارد. البته با استفاده از این روش ابعاد مولکولها را نیز تشخیص دادند.

### مدل مولکولی دنا

واتسون و کریک با استفاده از نتایج آزمایش های چارگاف و داده های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو ایکس و با استفاده از یافته های خود، مدل مولکولی نردبان مارپیچ را ساختند که باعث شد در سال ۱۹۶۲ جایزه نوبل را دریافت کنند. نتایج حاصل از این تحقیقات با پژوهش های امروزی مورد تأیید قرار گرفته اند.



شکل ۷- واتسون و کریک و مدل پیشنهادی آنها برای دنا

### نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

هر مولکول دنا در حقیقت از دو رشته پلی نوکلئوتیدی ساخته شده است که به دور محوری فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دو رشته ای را ایجاد می کند. این مارپیچ اغلب با یک نردبان پیچ خورده مقایسه می شود. ستون های این نردبان را قند و فسفات و پله ها را بازهای آلی تشکیل می دهند. بین قند یک نوکلئوتید و فسفات نوکلئوتید دیگر پیوند فسفودی استر و بین بازهای روبه روی هم پیوند هیدروژنی برقرار است ( شکل ۸).



**تمرین ۱۰:** مشخص کنید کدام موارد مطابق با نکات کلیدی

مدل واتسون و کریک می‌باشد؟

- (۱) در یک زنجیره، بین دو قند، پیوند فسفودی‌استر وجود دارد.
- (۲) پله‌های نردبان فرضی از نظر تعداد پیوندهای هیدروژنی نمی‌توانند متفاوت باشند.
- (۳) دنا دارای چهار نوع پله می‌باشد.
- (۴) پیوند بین جفت بازها به صورت اختصاصی تشکیل می‌شود.
- (۵) پیوند بین جفت بازهای پورین بیش‌تر از جفت بازهای پیریمیدین است.
- (۶) در هنگام رونویسی به دلیل شکسته شدن پیوند هیدروژنی پایداری دنا به هم می‌خورد.
- (۷) در هنگام همانندسازی به دلیل شکسته شدن پیوند هیدروژنی پایداری دنا به هم می‌خورد.
- (۸) قرار گرفتن **A** مقابل **T** و **C** مقابل **G** باعث می‌شود که قطر دنا در سراسر آن یکسان باشد.
- (۹) ثابت ماندن قطر دنا باعث پایداری اطلاعات آن می‌شود.
- (۱۰) ثابت ماندن قطر دنا در فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها مؤثر است.

**پاسخ:**



شکل ۸- مدل مارپیچ دو رشته‌ای دنا

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. مکمل بودن بازهای آلی نتایج آزمایش‌های چارگاف را نیز تأیید می‌کند.

قرارگیری جفت بازها به این صورت باعث می‌شود قطر مولکول در سراسر آن یکسان باشد. چون در هر صورت یک باز تک حلقه‌ای در مقابل یک باز دو حلقه‌ای قرار می‌گیرد. ثابت ماندن قطر دنا باعث پایداری اطلاعات آن شده و در فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها مؤثر است. جفت شدن بازهای مکمل نتیجه دیگری هم دارد و آن این‌که اگر چه 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



**تست ۷:** کدام گزینه جمله زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

به‌طور طبیعی در هر دنا .....

- (۱) نیروی نگهدارنده دو رشته در سراسر طول آن ثابت است.
- (۲) توالی نوکلئوتیدی یک رشته با رشته دیگر همواره متفاوت است.
- (۳) مقدار پورین‌های یک رشته با پورین‌های رشته دیگر متفاوت است.
- (۴) مقدار پورین‌های یک رشته با پیریمیدین‌های رشته دیگر متفاوت است.

**پاسخ:**



### تمرین ۱۱: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را

مشخص کنید:

الف) هر نوع رنایی از روی یکی از رشته‌های دنا درون هسته ساخته می‌شود.

ب) رناتن همانند هسته تن از جنس پروتئین و نوکلئیک اسید است. (پ) مولکولی که دستورالعمل‌های دنا را اجرا می‌کند نمی‌تواند با آمینو اسید پیوند برقرار کند.

ت) مولکولی که دستورالعمل‌های دنا را اجرا می‌کند نمی‌تواند نقش آنزیمی داشته باشد.

ث) مولکولی که مستقیماً از روی ژن ساخته می‌شود نمی‌تواند در تنظیم بیان ژن نقش داشته باشد.

پاسخ:



### تمرین ۱۲: موارد ستون «الف» را با ستون «ب» ارتباط

دهید.

محل (سلول یوکاریوتی)	نوکلئوتید
a) هسته	ATP (۱)
b) میان‌یاخته	FADH <sub>۲</sub> (۲)
c) راکیزه	NADH (۳)
d) سبزدیسه	NADPH (۴)

پاسخ:

ATGC باشد ترتیب نوکلئوتیدها در رشته مکمل آن باید TACG باشد. اگر چه 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 پایدارتری می‌دهد. در عین حال، دو رشته دنا در موقع نیاز هم می‌توانند در بعضی از نقاط از هم جدا شوند و بدون اینکه پایداری آن‌ها به هم بخورد وظایف خود را انجام دهند.

### 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:

**رنای 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.

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

**رنای رناتنی (rRNA):** در ساختار رناتن‌ها علاوه بر پروتئین، رنای رناتنی نیز شرکت دارد.

علاوه بر نقش‌های بالا، برای رناها نقش‌های آنزیمی و دخالت در تنظیم بیان ژن نیز مطرح می‌شود.

### 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 می‌تواند بیان آن به تولید رنا یا پلی‌پپتید بینجامد. این که رنا چگونه دستورالعمل‌های دنا را اجرا می‌کند، در فصل‌های آینده با آن آشنا خواهید شد.

### دخالت نوکلئوتیدها در واکنش‌های سوخت و سازی:

نوکلئوتیدها علاوه بر شرکت در ساختار دنا و رنا نقش‌های اساسی دیگری نیز در یاخته بر عهده دارند.

برای مثال نوکلئوتید آدنین‌دار ATP (آدنوزین تری فسفات) به عنوان 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 نقش ناقل الکترون را بر عهده دارند. با این مولکول‌ها در فصل‌های آینده آشنا خواهید شد.





**تمرین ۱۳:** با توجه به انواع مدل همانندسازی دنا، کروماتیدهای خواهری یک فام‌تن از نظر رشته‌های جدید چگونه‌اند؟

الف) حفاظتی  
ب) نیمه‌حفاظتی  
پ) غیرحفاظتی

**پاسخ:**



**تمرین ۱۴:** اگر دنا اولیه دارای  $^{15}\text{N}$  باشد و بخواهد با نوکلئوتیدهای دارای  $^{14}\text{N}$  با مدل‌های زیر همانندسازی کند پس از یکبار همانندسازی از نظر چگالی مولکول‌های حاصل چگونه‌اند؟

الف) حفاظتی  
ب) نیمه‌حفاظتی  
پ) غیرحفاظتی

**پاسخ:**



**تمرین ۱۵:** به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

الف) در کدام مدل همانندسازی هر یک از DNAها نوکلئوتید جدید دارند؟

ب) در کدام مدل همانندسازی هیچ یک از رشته‌های DNAها نمی‌توانند فقط نوکلئوتید قدیمی داشته باشند؟

پ) در کدام مدل همانندسازی بین رشته‌های جدید و قدیم دنا پیوند هیدروژنی تشکیل نمی‌شود؟

ت) در کدام مدل همانندسازی پیوند فسفو دی‌استر دنا اولیه می‌شکند؟

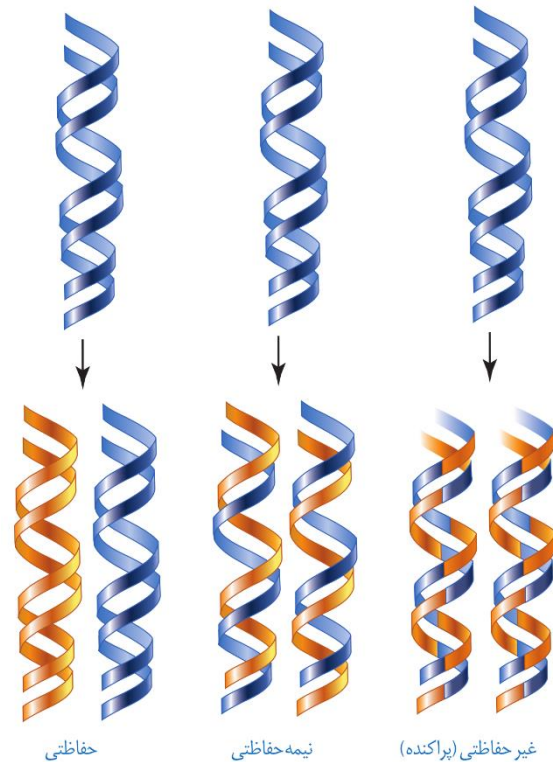
**پاسخ:**

## گفتار ۲: همانندسازی دنا

با توجه به این که دنا به عنوان ماده وراثتی، حاوی اطلاعات یاخته است، این پرسش مطرح می‌شود که هنگام تقسیم یاخته، این اطلاعات، چگونه 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 همانندسازی گویند.

با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطه مکملی بین بازها تا حد زیادی همانندسازی دنا قابل توضیح است ولی با این وجود طرح‌های مختلفی برای همانندسازی دنا پیشنهاد شده بود (شکل ۹).



شکل ۹- طرح‌های مختلف برای همانندسازی

**۱- همانندسازی حفاظتی:** در این طرح هر دو رشته دنا قبلی (اولیه) به صورت دست‌نخورده باقی‌مانده و وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند و 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 نیمه‌حفاظتی:** 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 دِنای قبلی وجود دارد به آن نیمه حفاظتی می گویند.

**۳- همانندسازی غیر حفاظتی (پراکنده):** در این طرح هر کدام از دِناهای حاصل، قطعاتی از رشته های قبلی و رشته های جدید را به صورت پراکنده در خود دارند.

### کدام طرح مورد تأیید قرار گرفته است؟

**مزلسون و استال** با به کارگیری روش علمی پاسخ این پرسش را به دست آوردند. آن ها فرضیه های متعدد ارائه شده را در نظر گرفتند و با توجه به امکانات، آزمایشی را طراحی کردند تا بتوانند به پاسخ قانع کننده ای برسند. برای شروع کار، آن ها باید بتوانند رشته های دِنای نوساز را از رشته های قدیمی تشخیص دهند. آن ها با این هدف دِنا را با استفاده از نوکلئوتیدهایی که ایزوتوپ سنگین نیتروژن ( $^{15}\text{N}$ ) دارند، نشانه گذاری کردند.

دِناهایی که با  $^{15}\text{N}$  ساخته می شوند نسبت به دِنای معمولی که در نوکلئوتیدهای خود  $^{14}\text{N}$  دارد چگالی بیش تری دارند. بنابراین با ابزارهایی مثل فراگریزانه (سانتریفیوژ سرعت بالا) می توان آن ها را از هم جدا کرد.

آن ها ابتدا باکتری ها را در محیطی حاوی نوکلئوتیدهای  $^{15}\text{N}$  کشت دادند.  $^{15}\text{N}$  در ساختار بازهای آلی نیتروژن دار که در ساخت دِنای باکتری شرکت می کنند، وارد شدند. پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط، باکتری هایی تولید شدند که دِنای سنگین تری نسبت به باکتری های اولیه داشتند.

سپس این باکتری ها را به محیط کشت حاوی نوکلئوتیدهای  $^{14}\text{N}$  منتقل کردند. با توجه به این که تقسیم باکتری ها حدود ۲۰ دقیقه طول می کشد در فواصل ۲۰ دقیقه ای باکتری ها را از محیط کشت جدا و بررسی کردند.

برای سنجش چگالی دِناها در هر فاصله زمانی، دِنای باکتری ها را استخراج و در محلولی از **سزیم کلرید** در سرعتی بسیار بالا گریز می دادند.

با توجه به این که در **گریزانه میزان حرکت مواد در محلول براساس چگالی است** و **مواد سنگین تر تندتر حرکت می کنند**، توانستند براساس میزان حرکت، نوع دِنای تشکیل شده در هر مرحله را تشخیص دهند.

مراحل آزمایش مزلسون و استال و نتایج آن را در شکل ۱۰ می بینید.



**تست ۸:** اگر دِنای  $^{15}\text{N}$  بخواهد با نوکلئوتیدهای  $^{14}\text{N}$  به روش ..... همانندسازی کند، انتظار می رود پس از یک بار همانندسازی، در لوله های آزمایش خارج شده از دستگاه فراگریزانه .....

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

(۲) پراکنده - یک نوار در وسط لوله تشکیل شود.

(۳) حفاظتی - دو نوار یکی در وسط و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

(۴) پراکنده - دو نوار یکی در وسط و دیگری در پایین لوله تشکیل شود.

**پاسخ:**



**تست ۹:** در ارتباط با آزمایش مزلسون و استال چند مورد صحیح است؟

\* دِناهای به دست آمده پس از ۲۰ دقیقه نسبت به دِناهای صفر دقیقه، در دستگاه فراگریزانه حرکت کندتری دارند.

\* بعد از ۲۰ دقیقه همانندسازی همه دِناها در دستگاه فراگریزانه سرعت حرکت برابری داشتند.

\* همه دِناهای به دست آمده پس از ۴۰ دقیقه در دستگاه فراگریزانه سرعت متفاوت با دِناهای صفر دقیقه داشتند.

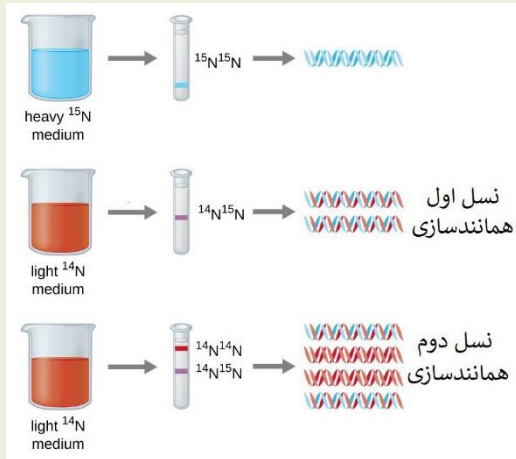
\* نیمی از دِناهای به دست آمده پس از ۴۰ دقیقه در دستگاه فراگریزانه سرعت مشابه با دِناهای ۲۰ دقیقه داشتند.

۴(۱)      ۱(۲)      ۲(۳)      ۳(۴)

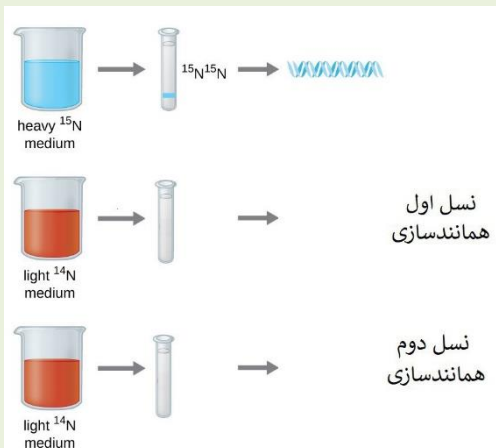
**پاسخ:**



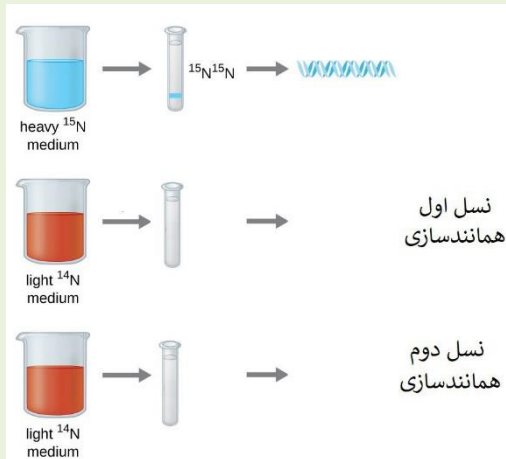
**تمرین ۱۶:** اگر شکل زیر نمونه آزمایش مزلسون و استال برای مدل نیمه حفاظت شده برای دنا باشد به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:



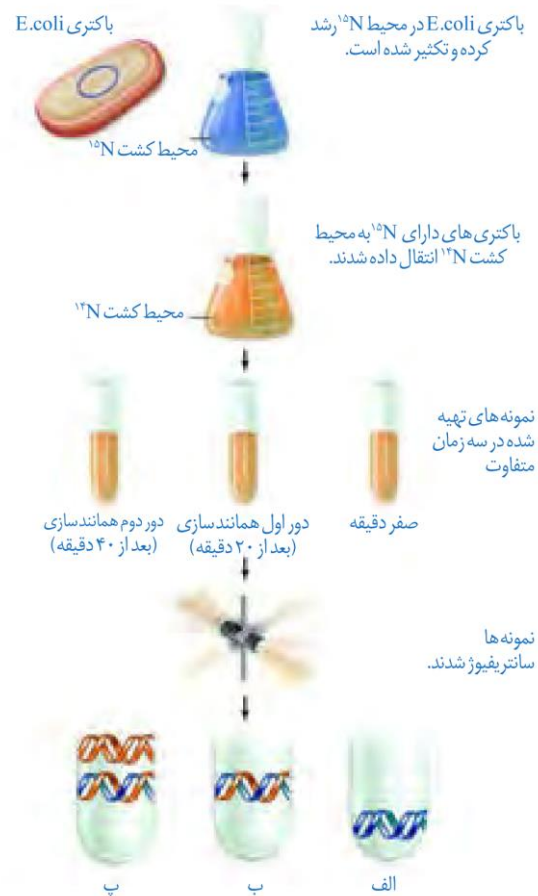
الف) اگر مدل همانندسازی با مدل پراکنده مطابقت داشت دناها چگونه و نوارها در کجا تشکیل می‌شوند؟



ب) اگر مدل همانندسازی با مدل حفاظت شده مطابقت داشت دناها چگونه و نوارها در کجا تشکیل می‌شوند؟



پاسخ:



شکل ۱۰- 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 سنگینی داشت.

ب) دِنای باکتری‌های حاصل از دور اول همانندسازی در محیط کشت حاوی  $^{14}\text{N}$  (بعد از ۲۰ دقیقه) پس از گریز دادن نواری 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. چرا؟

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

با مشخص شدن اینکه همانندسازی به صورت نیمه حفاظتی انجام می‌شود، سؤال دیگری مطرح شد: **دو رشته دِنای چگونه از یکدیگر باز می‌شوند؟** آیا هر دو رشته کاملاً از یکدیگر جدا می‌شوند و سپس



**تست ۱۰:** چند مورد به عنوان مهم ترین عوامل مؤثر در همانندسازی دنا شناخته می شود؟

- وجود نوکلئوتیدهای آزاد سه فسفات در یاخته
- وجود دو رشته پلی نوکلئوتیدی به عنوان الگو
- وجود آنزیمی برای باز کردن دو رشته از هم
- وجود مولکولی که دستورالعمل های دنا را اجرا کند.

۱(۱)      ۲(۲)      ۳(۳)      ۴(۴)

**پاسخ:**



**تمرین ۱۷:** ترتیب مراحل همانندسازی را مشخص کنید:

الف) تشکیل پیوند فسفو دی استر  
ب) گسیخته شدن پیوندهای هیدروژنی  
پ) جفت شدن بازهای مکمل  
ت) ناپدید شدن هسته تن

**پاسخ:**



**تمرین ۱۸:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید.

الف) در هر دو راهی همانندسازی (یک- دو) ..... آنزیم هلیکاز فعالیت دارد.

ب) در هر دو راهی همانندسازی (دو- چهار) ..... آنزیم دنابسپاراز شرکت دارند.

پ) سر زنجیره در حال تشکیل به سمت دوراهی همانندسازی دارای (فسفات- هیدروکسیل) ..... است.

ت) دنابسپاراز با جدا کردن (یک- دو) ..... فسفات نوکلئوتید آزاد آن را به زنجیره متصل می کند.

**پاسخ:**

همانندسازی انجام می شود یا جدا شدن دو رشته تدریجی و همراه با آن همانندسازی انجام می شود؟

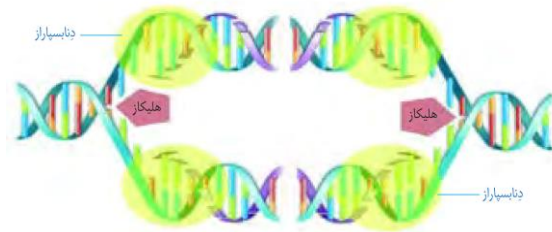
تحقیقات نشان داده است که در محلی که قرار است همانندسازی انجام شود دو رشته از هم باز می شوند. بقیه قسمت ها بسته هستند و به تدریج باز می شوند.

### عوامل و مراحل همانندسازی

در همانندسازی عوامل متعددی مؤثرند که **مهم ترین آن ها** 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 می دهند.
- آنزیم های لازم برای همانندسازی که ضمن باز کردن دو رشته نوکلئوتیدها را به صورت مکمل روبه روی هم قرار می دهد و با پیوند فسفودی استر به هم وصل می کند.

**مراحل همانندسازی:** قبل از همانندسازی دنا باید پیچ وتاب دنا باز و پروتئین های همراه آن **یعنی هیستون ها از آن جدا شوند** تا همانندسازی بتواند انجام شود. پس از آن، دو رشته الگو هم باید از هم باز شوند. **آنزیم هلیکاز** این کارها را انجام می دهد. این آنزیم ابتدا ماریپیچ دنا را باز می کند سپس دو رشته دنا را در محلی از هم فاصله می دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- همانندسازی دنا

به نظر شما برای باز شدن دو رشته دنا آنزیم هلیکاز چه پیوندهایی را از هم باز می کند؟

**انواع دیگری از آنزیم ها با همدیگر فعالیت می کنند** تا یک رشته دنا در مقابل رشته الگو ساخته شود.

یکی از مهم ترین آن ها که نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشته الگو جفت می کند دنابسپاراز ( DNA پلی مراز) است.

**دوراهی همانندسازی:** در محلی که دو رشته دنا از هم جدا می شوند، دو ساختار Y مانندی به وجود می آید که به هر یک از آن ها دوراهی همانندسازی می گویند. در فاصله بین این دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته از هم گسیخته و دو رشته از یکدیگر باز شده اند. همچنین پیوندهای فسفودی استر جدیدی در حال تشکیل هستند. دنا بسپاراز از نوکلئوتیدها را به انتهای رشته در حال تشکیل اضافه می کند.



**تمرین ۱۹:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

الف) رشته جدید در حال تشکیل مقابل رشته الگو ۱ دنا، با رشته الگو ۲ دنا یکسان است.

ب) در همانندسازی تعداد پیوندهای هیدروژنی تشکیل شده دو برابر پیوندهای هیدروژن شکسته شده است.

پ) در محل دوراهی همانندسازی نوکلئوتیدهای یوراسیل دار حضور دارند.

ت) کل دقت همانندسازی به رابطه مکملی بین نوکلئوتیدها وابسته است.

**پاسخ:**



**تست ۱۱:** چند مورد در ارتباط با فعالیت آنزیم دنا بسپاراز نادرست است؟

- پس از هر فعالیت نوکلئازی برمی‌گردد و رابطه مکملی نوکلئوتیدها را بررسی می‌کند.

- برای عمل ویرایش به همکاری هلیکاز نیاز دارد.

- می‌تواند مهم‌ترین پروتئین‌های فام‌تن‌ها را از آن دنا جدا کند.

- برای اضافه کردن ATP به زنجیره جدید ابتدا دو فسفات آن را آزاد می‌کند.

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

**پاسخ:**

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).



شکل ۱۲- همانندسازی دنا

### فعالیت‌های آنزیم دنا بسپاراز:

همانندسازی دنا با دقت زیادی انجام می‌شود؛ این دقت تا حدود زیادی مربوط به رابطه مکملی بین نوکلئوتیدها است. اگر چه آنزیم دنا بسپاراز نوکلئوتیدها را براساس رابطه مکملی مقابل هم قرار می‌دهد ولی گاهی در این مورد اشتباهی هم صورت می‌گیرد؛ مثلاً اگر در مقابل A به جای T، C قرار گیرد، برای جلوگیری از این اشتباه آنزیم دنا بسپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی استر، 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 فسفودی استر را بشکند و نوکلئوتید نادرست را از دنا جدا کند. توانایی بریدن دنا را فعالیت نوکلئازی گویند که در آن پیوند فسفودی استر می‌شکند. بنابراین آنزیم دنا بسپاراز هم فعالیت بسپارازی (پلیمرازی) دارد که در آن پیوند فسفودی استر را تشکیل می‌دهد و هم فعالیت نوکلئازی که در آن پیوند فسفودی استر را برای رفع اشتباه می‌شکند. فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز را که باعث رفع اشتباه در همانندسازی می‌شود، ویرایش می‌گویند.

### همانندسازی در پیش هسته‌ای‌ها (پروکاریوت‌ها) و هوهسته‌ای‌ها (یوکاریوت‌ها)

در پیش‌هسته‌ای‌ها که شامل همه باکتری‌ها می‌شوند، مولکول‌های وراثتی آن‌ها در غشا محصور نشده و فام‌تن اصلی به صورت یک مولکول دنا حلقوی است که در سیتوپلاسم قرار دارد و به غشای پلاسمایی یاخته متصل است. پیش‌هسته‌ای‌ها علاوه بر دنا اصلی ممکن است مولکول‌هایی از دنا دیگر به نام دیسک (پلازمید) در اختیار داشته باشند. اطلاعات این مولکول‌ها می‌تواند ویژگی‌های دیگری را به باکتری بدهد مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها.

در هوهسته‌ای‌ها که بقیه موجودات زنده یعنی آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران را شامل می‌شوند دنا در هر فام‌تن به صورت خطی است و مجموعه‌ای از پروتئین‌ها که مهم‌ترین آن‌ها هیستون‌ها



**تمرین ۲۰:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید:

الف- در **E.Coli**، فام تن اصلی به ساختاری با تراوایی نسبی در تماس است.

ب- اغلب پیش‌هسته‌ای‌ها فقط یک جایگاه همانندسازی دارند.

پ- برخلاف همانندسازی دناهای هسته، در پیش‌هسته ای‌ها دو راهی‌ها همانندسازی ایجاد شده در یک جایگاه آغاز، به هم می‌رسند.

ت- هر اندامک دارای دنا حلقوی در یوکاریوت‌ها، توانایی تولید آندوزین تری فسفات را دارد.

**پاسخ:**



**تمرین ۲۱:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید.

الف) ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در باکتری‌ها بر روی (فام تن اصلی - دیسک) ..... قرار دارد.

ب) در تارهای ماهیچه‌ای تند نسبت ماهیچه‌های کند، تعداد دناهای حلقوی (کم‌تر - بیشتر) ..... است.

پ) تنوع اندامک‌های دارای دنا حلقوی در یاخته‌های نگهبان روزنه (کم‌تر - بیشتر) ..... از یاخته‌های پارانیشیم خورش است.

ت) در هوسته‌ای‌ها سرعت همانندسازی در بخش‌های باز شده بر روی یک مولکول دنا الزاماً یکسان (است - نیست) .....

**پاسخ:**



**تست ۱۲:** کدام عبارت نادرست است؟

(۱) تعداد نقطه آغاز همانندسازی در یاخته‌های ترشح‌کننده **HCG** زیاد است.

(۲) تعداد نقطه همانندسازی در یاخته‌های ملانوما همانند لیپوما زیاد است.

(۳) با تزریق واکسن تعداد نقاط آغاز همانندسازی یاخته‌های پادتن‌ساز زیاد می‌شود.

(۴) یاخته **G** ممکن است از نقطه آغاز همانندسازی خود استفاده کند.

**پاسخ:**

هستند همراه آن قرار دارند. فام‌تن‌ها و بیش‌تر دنا درون هسته قرار دارد که به آن **دناي هسته‌ای** گفته می‌شود.

در هوسته‌ای‌ها علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن **دناي سیتوپلاسمی** گفته می‌شود. این نوع از دنا که حالت حلقوی دارد در **راکیزه (میتوکندری)** و **سبزدیسه (کلروپلاست)** دیده می‌شود.

اغلب پیش‌هسته‌ای‌ها فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در **دناي خود** دارند. این نقطه در بخش خاصی از دنا قرار دارد، در این جایگاه دو رشته دنا از هم باز می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده است **همانندسازی دو جهتی** در باکتری‌ها هم وجود دارد یعنی از یک نقطه همانندسازی شروع و در دو جهت ادامه می‌یابد تا به همدیگر رسیده و همانندسازی پایان یابد (شکل ۱۳).

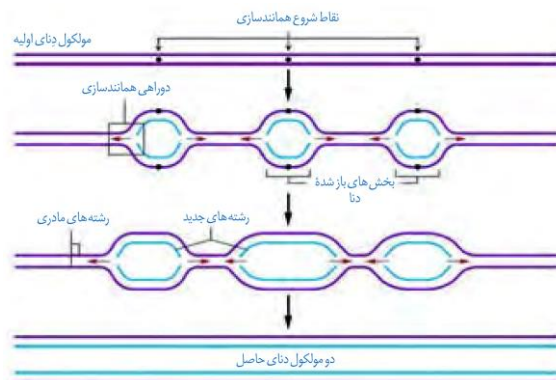


شکل ۱۳- همانندسازی دو جهتی دنا در پیش‌هسته‌ای‌ها با یک نقطه آغاز

همانندسازی در هوسته‌ای‌ها بسیار پیچیده‌تر از پیش‌هسته‌ای‌ها است. علت این مسئله وجود مقدار زیاد دنا و قرار داشتن در چندین فام‌تن است که هر کدام از آن‌ها چندین برابر دناي 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 هوسته‌ای‌ها، آغاز همانندسازی در چندین نقطه در هر فام‌تن انجام می‌شود.

تعداد نقطه‌های آغاز همانندسازی در هوسته‌ای‌ها حتی می‌تواند بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم شود؛ مثلاً در ابتدای تقسیمات یاخته‌ای تعداد جایگاه آغاز همانندسازی کم‌تر و هنگامی که سرعت تقسیم یاخته زیاد می‌شود تعداد جایگاه آغاز همانندسازی نیز افزایش می‌یابد. پس از آن اگر سرعت تقسیم بخواهد کاهش یابد تعداد جایگاه آغاز هم کاهش می‌یابد؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل **مورولا** و **بلاستولا** سرعت تقسیم زیاد و تعداد نقاط آغاز مورد استفاده هم زیاد است ولی پس از تشکیل اندام‌ها سرعت تقسیم و تعداد نقاط آغاز کم می‌شوند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- همانندسازی در هوسته‌ای‌ها

**تست ۱۳:** چند مورد صحیح است؟

- در ساختار هیچ آمینواسیدی ممکن نیست R با هیچ یک از گروه‌های ساختار عمومی شبیه باشد.
- گروهی که ویژگی منحصر به فرد هر آمینواسید را تعیین می‌کند ممکن نیست در تشکیل پیوند پپتیدی شرکت داشته باشد.
- در ساختار عمومی آمینواسیدها به غیر از R، تعداد کربن با تعداد اکسیژن برابر است.
- در بدن هر انسان سالم، ۱۲ آمینواسید ساخته می‌شود.

۱ (۱)    ۲ (۲)    ۳ (۳)    ۴ (۴)

**پاسخ:****تمرین ۲۲:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید.

- الف) پیوند فسفودی‌استر (همانند- برخلاف) ..... پیوندهای پپتیدی نوعی پیوند اشتراکی است.
- ب) هر گاه تیروزین در میان یاخته قرار می‌گیرد گروه (کربوکسیل- آمین) ..... آن بار مثبت به خود می‌گیرد.
- پ) ساختار اکسی‌توسین (همانند- برخلاف) ..... عمل اکسی‌توسین به ترتیب آمینواسید بستگی دارد.
- ت) برای تشکیل یک زنجیره پلی‌پپتیدی با همه انواع آمینواسیدهای طبیعی حداقل (۱۹-۲۰) ..... مولکول آب خارج می‌شود.

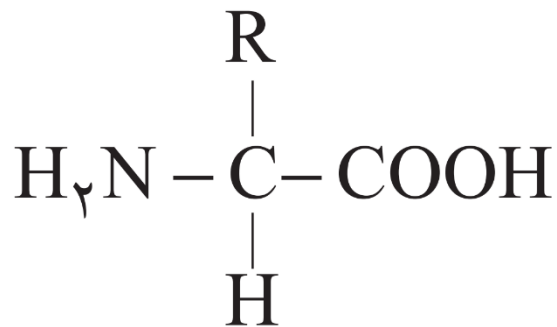
**پاسخ:**

### گفتار ۳: پروتئین‌ها

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 بسپارهای خطی از آمینواسیدها هستند. نوع، ترتیب و تعداد آمینواسیدها در پروتئین، ساختار و عمل آن‌ها را مشخص می‌کند. آمینواسیدها همان طور که از نامشان برمی‌آید یک گروه آمین ( $\text{NH}_2$ ) و یک گروه اسیدی کربوکسیل ( $\text{COOH}$ ) دارند. همان طور که در شکل 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 آمینواسیدهای مختلف متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.



شکل ۱۵- ساختار عمومی یک آمینواسید

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

هنگامی که آمینواسیدی در محیط آبی (یاخته) قرار می‌گیرد، گروه آمین بار مثبت (+) و گروه کربوکسیل بار منفی (-) به خود می‌گیرد. این دو گروه در آمینواسیدهای مختلف می‌توانند به همدیگر نزدیک شوند و با حضور آنزیم واکنش سنتزآبدی را انجام دهند. در این نوع واکنش با خروج یک مولکول آب، یک آمینواسید با آمینواسید یا رشته 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.



**تمرین ۲۳:** به پرسش های زیر پاسخ دهید.

۱- اگر شکل زیر مربوط به یک زنجیره پلی نوکلئوتیدی باشد، نوکلئوتید آزاد به کدام سر زنجیره اضافه می شود؟

(ب) OH-----P (الف)

۲- اگر شکل زیر مربوط به یک زنجیره پلی پپتیدی باشد، آمینواسید جدید به کدام سر زنجیره اضافه می شود؟

(ب) NH<sub>2</sub>-----COOH (الف)

**پاسخ:**



**تمرین ۲۴:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز

پر کنید.

(الف) H مولکول آب خارج شده به عامل (کربوکسیل- آمینی) ..... آمینواسید شماره (۱۴-۱۵) ..... بوده است.

(ب) OH مولکول آب خارج شده مربوط به عامل (کربوکسیل- آمین) ..... آمینواسید شماره (۱۴-۱۵) ..... بوده است.

**پاسخ:**



**تست ۱۳:** برای شناسایی ترتیب خاص آمینواسیدهای

میوگلوبین از روش های ..... استفاده می شود و برای این کار پیوندهای پپتیدی ..... می شوند.

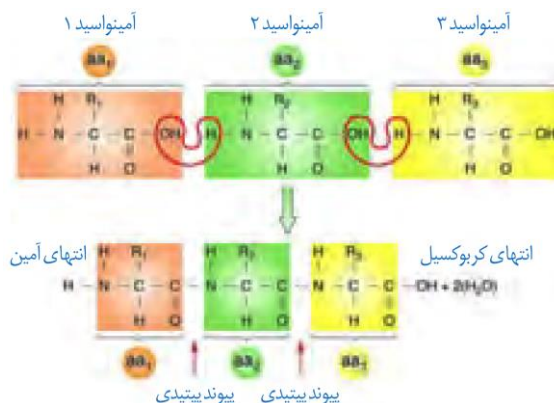
(۱) شیمیایی- آب کافت

(۲) پرتو ایکس- آب کافت

(۳) شیمیایی- سنتز آبدهی

(۴) پرتو ایکس- سنتز آبدهی

**پاسخ:**



شکل ۱۶- تشکیل پیوند پپتیدی

وقتی تعدادی آمینواسید با پیوند پپتیدی به هم وصل شوند، زنجیره ای از آمینواسیدها به نام **پلی پپتید** تشکیل می شود. پروتئین ها از یک یا چند زنجیره بلند و بدون شاخه از پلی پپتیدها ساخته شده اند.

هر نوع پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را دارد که با استفاده از روش های شیمیایی، آمینواسیدها را جدا و آن ها را شناسایی می کنند. اگر چه آمینواسیدها در طبیعت انواع گوناگونی دارند اما فقط ۲۰ نوع از آن ها در ساختار پروتئین ها به کار می روند. از این ۲۰ نوع، ۸ مورد آن ها را در انسان بالغ ضروری (اساسی) می دانند؛ یعنی بدن انسان نمی تواند آن ها را بسازد؛ بنابراین باید این آمینواسیدها را به همراه مواد غذایی دریافت کند.

### سطوح مختلف ساختاری در پروتئین ها

شکل فضایی پروتئین، نوع عمل آن را مشخص می کند. یکی از راه های پی بردن به شکل پروتئین استفاده از پرتوهای ایکس است. با استفاده از تصاویر حاصل از آن و روش های دیگر، محققین به ساختار سه بعدی پروتئین ها پی می برند که در آن حتی جایگاه هر اتم را می توانند مشخص کنند.

اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد میوگلوبین بود. آیا به یاد می آورید میوگلوبین در بدن چه نقشی دارد؟ این پروتئین از یک رشته پلی پپتید تشکیل شده است.

ساختار پروتئین ها در چهار سطح بررسی می شود که هر ساختار مبنای تشکیل ساختار بالاتر است (شکل ۱۷).





**تمرین ۲۵:** در ارتباط با ساختار اول پروتئین‌ها درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید:

(الف) همه پیوندهای آن از نوع اشتراکی است.

(ب) برای تشکیل این ساختار گروه R آمینواسید هیچ دخالتی ندارد.

(پ) این ساختار توسط توالی نوکلئوتیدی ژن تعیین می‌شود.

(ت) در این ساختار دو نوع آمینواسید می‌توانند تکرار یکسانی داشته باشند.

**پاسخ:**



**تست ۱۴:** چند مورد جمله زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

در ارتباط با ساختار اول پروتئین‌ها .....

- هیچ محدودیتی در توالی آمینواسیدها وجود ندارد.

- هر تغییری موجب تغییر فعالیت آن می‌شود.

- سه نوع رنا فعالیت داشته‌اند.

- توالی آمینواسیدها اهمیت دارد چرا که سطح چهارم همه پروتئین‌ها به آن وابسته است.

۱ (۱)    ۲ (۲)    ۳ (۳)    ۴ (۴)

**پاسخ:**



**تمرین ۲۶:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

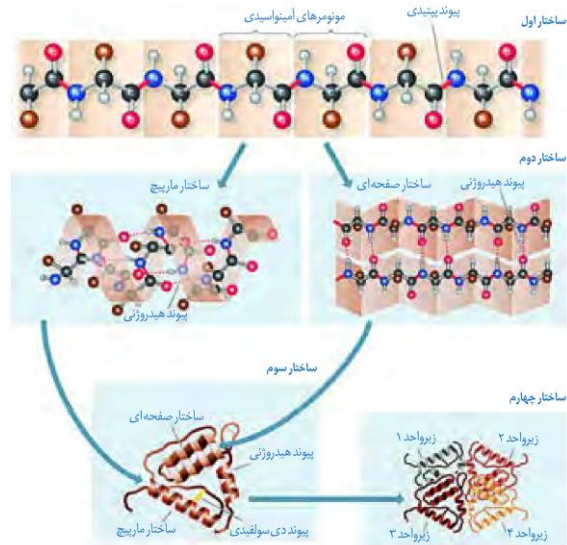
(الف) در پروتئین دارای ساختار اول، همانند پروتئین ساختار دوم، پیوند پپتیدی وجود دارد.

(ب) ساختار دوم پروتئین همانند ساختار اول پروتئین از طریق پیوند پپتیدی ایجاد می‌شود.

(پ) برای ایجاد ساختار دوم پیوند بین گروه‌های R آمینواسیدها ضروری است.

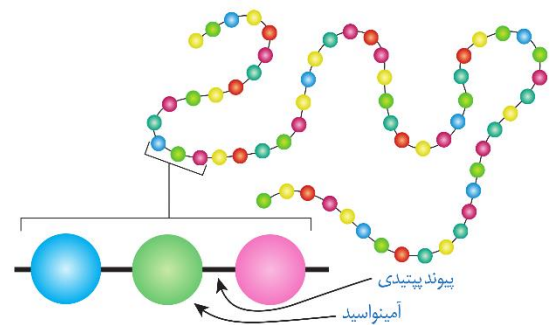
(ت) پیوندی که منشأ ساختار دوم میوگلوبین می‌شود ممکن نیست در بین نوکلئوتیدهای یک زنجیره اسید نوکلئیک تشکیل شود.

**پاسخ:**



شکل ۱۷- ساختار پروتئین‌ها در چهار ساختار بررسی می‌شود.

**ساختار اول پروتئین - توالی آمینواسیدها:** ترتیب قرار گرفتن آمینواسیدها به صورت خطی، ساختار اول پروتئین‌ها را مشخص می‌کند، نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، در ساختار اول هر پروتئین مطرح است. ساختار اول با ایجاد پیوندهای پپتیدی بین آمینواسیدها شکل می‌گیرد. این پیوند در واقع نوعی پیوند اشتراکی است. 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 این که 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، همه سطوح دیگر ساختاری در پروتئین‌ها به این ساختار بستگی دارند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- ساختار اول پروتئین‌ها

**ساختار دوم - الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی:** بین بخش‌هایی از زنجیره پلی‌پپتیدی می‌تواند پیوندهای هیدروژنی برقرار شود. این پیوندها منشأ تشکیل ساختار دوم در پروتئین‌ها



**تمرین ۲۷:** جملات زیر را با کلمات داخل پرانتز کامل کنید:

(الف) ساختار نهایی آکوپورین با کانال نشستی سدیمی (مشابه- متفاوت) ..... است.

(ب) برای ساختار صفحه‌ای حداکثر (یک- دو) ..... زنجیره پلی‌پپتیدی شرکت دارد.

(پ) یک زنجیره پلی‌پپتیدی (می‌تواند- نمی‌تواند) ..... همزمان هر دو ساختار مارپیچی و صفحه‌ای را داشته باشد.

(ت) هر نوع آمینواسیدی در پروتئینی با ساختار اول (همانند- برخلاف) ..... پروتئینی با ساختار دوم حداکثر توانایی تشکیل (یک-

دو) ..... پیوند پپتیدی را دارد.

**پاسخ:**



**تمرین ۲۸:** موارد ستون «الف» را با ستون «ب» ارتباط

دهید.

ساختار پروتئین	شکل پروتئین
اول	(a) تاخورد و متصل به هم
دوم	(b) آرایش زیرواحدها
سوم	(c) الگوهای از پیوند هیدروژنی
چهارم	(d) توالی آمینواسیدها

**پاسخ:**



**تمرین ۲۹:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را

مشخص کنید:

(الف) شکل سه بعدی پروتئین همانند شکل صفحه‌ای دارای پیوندهای هیدروژنی است.

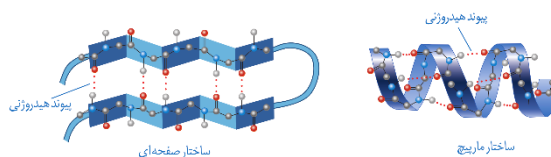
(ب) هر پروتئین دارای شکل سه بعدی دارای آمینواسیدهای گروه‌های R آب‌گریز است.

(پ) برای ایجاد شکل کروی در پروتئین‌ها لازم است تاخوردگی‌ها و مارپیچ‌های ساختار دوم بیش‌تر شود.

(ت) ثبات نسبی میوگلوبین از آکوپورین بیش‌تر است.

**پاسخ:**

هستند که به دو صورت مارپیچ و صفحه‌ای دیده می‌شوند. ساختار نهایی بعضی از پروتئین‌ها می‌تواند همین ساختار دوم باشد. منافذ غشایی، مجموعه‌ای از پروتئین‌ها با ساختار صفحه‌ای هستند که در کنار هم منظم شده‌اند. در هموگلوبین زنجیره‌های پپتیدی مارپیچی با همکاری همدیگر مولکول هموگلوبین را می‌سازند که هر کدامشان خصوصیات ساختار دوم را دارند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- ساختار دوم پروتئین‌ها وجود پیوندهای هیدروژنی بین بخش‌های مختلف زنجیره این ساختارها را به وجود می

آورد.

**ساختار سوم- تاخورد و متصل به هم:** ساختار سوم، ساختار

سه بعدی پروتئین‌هاست که در آن با تاخوردگی بیش‌تر صفحات و مارپیچ‌های ساختار دوم به شکل کروی در می‌آیند. تشکیل این

ساختار در اثر پیوندهای آب‌گریز است؛ به این صورت که گروه‌های

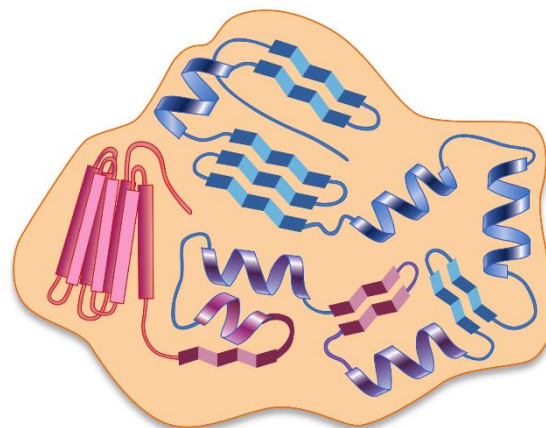
R آمینواسیدهایی که آب‌گریزند، به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند. سپس با تشکیل پیوندهای دیگری مانند

هیدروژنی، اشتراکی و یونی ساختار سوم پروتئین تثبیت می‌شود. مجموعه‌ای این نیروها قسمت‌های مختلف پروتئین را به صورت به هم

پیچیده در کنار هم نگه می‌دارند. بنابراین با وجود این نیروها پروتئین‌های دارای ساختار سوم، ثبات نسبی دارند. ایجاد تغییر در

پروتئین، حتی تغییر یک آمینواسید هم می‌تواند ساختار و عملکرد آن‌ها را به شدت تغییر دهد.

شکل ۲۰ نمونه‌ای از پروتئین‌ها با ساختار سوم، میوگلوبین است.



شکل ۲۰- ساختار سوم پروتئین‌ها



**تست ۱۵:** چند مورد در ارتباط با پروتئینی با ساختار سوم صحیح است؟

- هر نوع تغییر در ساختار و عمل آن وابسته به تغییر در ساختار اول است.

- برای پیدایش آن حداقل یک زنجیره پلی‌پپتیدی شرکت دارد.

- یک آمینو اسید در ساختار خطی می‌تواند با یک آمینواسید در ساختار مارپیچی پیوند دی‌سولفید تشکیل دهد.

- بخش‌های صفحه‌ای آن می‌تواند سه رشته‌ای یا دو رشته‌ای به نظر برسند.

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

**پاسخ:**



**تست ۱۶:** چند مورد جمله زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟ پروتئینی با ساختار سوم نسبت به پروتئینی با ساختار دوم می‌تواند از نظر ..... تفاوت داشته باشد.

- داشتن پیوند هیدروژنی

- نوع پیوند کووالانسی

- داشتن پیوند یونی

- تعداد زنجیره پلی‌پپتیدی

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

**پاسخ:**

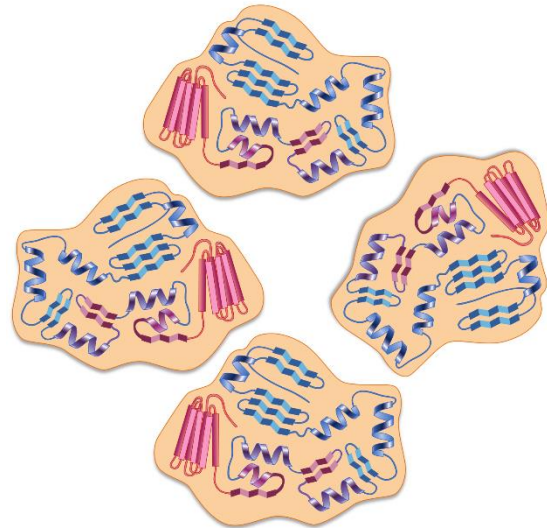


**تست ۱۷:** هر زنجیره هموگلوبین ..... زنجیره میوگلوبین دارای ..... است.

(۱) برخلاف - ساختار چهارم      (۲) همانند -  $Fe^{3+}$

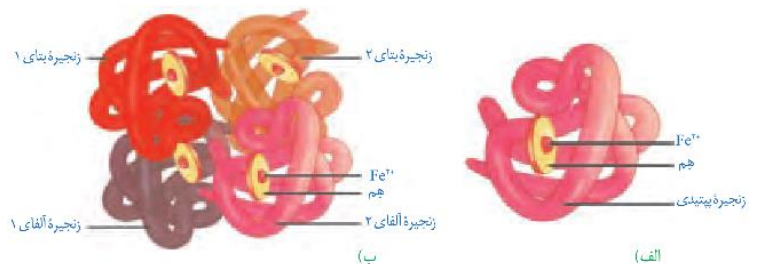
(۳) برخلاف -  $Fe^{2+}$       (۴) همانند - آمینواسید آبگریز

**ساختار چهارم - آرایش زیر واحدها:** بعضی از پروتئین‌ها ساختار چهارم دارند، این ساختار هنگامی شکل می‌گیرد که دو یا چند زنجیره پلی‌پپتید در کنار یکدیگر پروتئین را تشکیل دهند. در این ساختار هر یک از زنجیره‌ها نقشی کلیدی در شکل‌گیری پروتئین دارند. نحوه آرایش این زیر واحدها در کنار هم ساختار چهارم پروتئین‌ها نامیده می‌شود (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- ساختار چهارم پروتئین‌ها

هموگلوبین چهار زنجیره از دو نوع متفاوت دارد. هر زنجیره، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را در ساختار اول دارند. در ساختار دوم به شکل مارپیچ در می‌آیند. در ساختار سوم هر یک از زنجیره‌ها به صورت یک زیر واحد تاخورده و شکل خاصی پیدا می‌کنند. در نهایت در ساختار چهارم این چهار زیر واحد در کنار هم قرار گرفته و هموگلوبین را شکل می‌دهند. برای پروتئین‌هایی که فقط یک زنجیره پلی‌پپتید دارند ساختار نهایی می‌تواند ساختار دوم یا سوم باشد، مثل میوگلوبین که ساختار نهایی آن سوم است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- الف) میوگلوبین با ساختار سوم

ب) هموگلوبین با ساختار چهارم

**فعالیت ۱:** با استفاده از دو یا چند مفتول فلزی ساختار دوم، سوم و چهارم پروتئین‌ها را مدل‌سازی کنید.

## نقش پروتئین‌ها

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 و میکروبوهای خارجی، یاخته‌های سرطانی یا مولکول‌های دیگر را تشخیص می‌دهند. گلوبولین‌های دفاعی هم که پادتن‌ها را می‌سازند مثالی از این نوع پروتئین 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 ساختار غشا شرکت دارد. این پمپ یون‌های سدیم و پتاسیم را در عرض غشا جابه جا می‌کند و فعالیت آنزیمی هم دارد. آیا محل‌های فعالیت و نقش آنزیمی این پمپ را به یاد دارید؟

پروتئین‌هایی مثل فیبرین و کلاژن در بافت‌های پیوندی از بخش‌های مختلف بدن حفاظت می‌کنند. زردپی، رباط، استخوان و پوست 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 آکسی‌توسین 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.

## آنزیم‌ها

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 سوخت‌وساز مطرح می‌شوند همین طور 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 انجام‌شدنی هستند زیاد می‌کند. بدون آنزیم ممکن است در دمای بدن سوخت‌وساز یاخته‌ها بسیار کند انجام شود و انرژی لازم برای حیات تأمین نشود.



تست ۱۸: چند مورد صحیح است؟

- هر عاملی که در تنظیم بیان ژن دخالت دارد از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی جزو متنوع‌ترین گروه مولکول‌های زیستی‌اند.
- حاصل تأثیر ترومبین بر فیبرینوژن، پیدایش پروتئینی است که در حفاظت از بدن نقش دارد.
- هر پیک شیمیایی دوربردی، حداقل دارای ساختار دوم پروتئین‌هاست.
- پروتئین‌هایی که سبب افزایش فاگوسیتوز ماکروفاژ می‌شوند، می‌توانند از گروه گلوبولین‌ها باشد.

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

پاسخ:



تمرین ۳۰: جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز

پر کنید:

- الف) زردپی‌ها (همانند- برخلاف) ..... پوست مقداری فراوانی کلاژن دارند.
- ب) (بیش‌تر- بعضی) ..... هورمون‌ها پروتئین هستند.
- پ) پمپ سدیم- پتاسیم (برخلاف- همانند) ..... فاکتور داخلی معده جزو کاتالیزورهای زیستی است.
- ت) هلیکاز انرژی فعال‌سازی را (کاهش- افزایش) ..... می‌دهد.

پاسخ:



**تمرین ۳۱:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

- (الف) هر کاتالیزور زیستی درون یاخته فعالیت می‌کند.  
 (ب) هر آنزیمی انرژی فعال‌سازی درون میان‌یاخته را کاهش می‌دهد.  
 (پ) بدون آنزیم‌ها، سوخت و ساز یاخته‌ها در بدن قطعاً کاهش می‌یابد.  
 (ت) آنزیم پروترومبیناز همانند لیپاز صفرا، در خارج یاخته عمل می‌کند.

**پاسخ:**



**تمرین ۳۲:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید:

- (الف) (بیش‌تر - بعضی) ..... آنزیم‌ها پروتئینی است و (بعضی - بیش‌تر) ..... آنزیم به کوآنزیم نیاز دارند.  
 (ب) (پ) کوآنزیم‌ها همگی (همانند آنزیم نوعی ماده آلی - کمک‌کننده به آنزیم) ..... هستند.  
 (ت) بخش اختصاصی هر آنزیمی (مکمل - مشابه) ..... پیش‌ماده است.

**پاسخ:**



**تمرین ۳۳:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

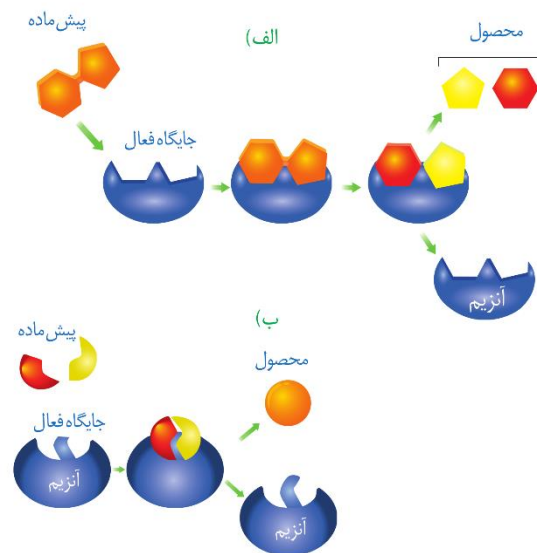
- (الف) هر آنزیمی روی یک پیش‌ماده خاص مؤثر است.  
 (ب) هر آنزیمی فقط یک نوع واکنش را سرعت می‌بخشد.  
 (پ) سیانید همانند آرسنیک می‌تواند به بخش اختصاصی هر آنزیم متصل شود.  
 (ت) بعضی کوآنزیم‌ها از طریق انتقال فعال جذب روده می‌شوند.

**پاسخ:**

آنزیم‌های ترشحی دستگاه گوارش مثل آمیلاز بزاق و لیپاز در خارج یاخته عمل می‌کنند ولی آنزیم‌های مؤثر در تنفس یاخته‌ای، قیتوسنتز و همانندسازی درون یاخته فعالیت می‌کنند. البته گروهی از آنزیم‌هایی مثل پمپ سدیم-پتاسیم فعالیت خود را در غشا انجام می‌دهند.

### ساختار آنزیم‌ها

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 (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- طرز عمل آنزیم در واکنش‌های الف) سوخت و سازی تجزیه، ب) ترکیب

بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به **یون‌های فلزی** مانند آهن، مس و یا مواد آلی مثل **ویتامین‌ها** نیاز دارند که به این مواد **کوآنزیم (کمک‌کننده به آنزیم)** گفته می‌شود. 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.

### عملکرد اختصاصی آنزیم‌ها

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.

اگر چه آنزیم‌ها عملی اختصاصی دارند ولی **برخی از آن‌ها** بیش از یک نوع واکنش را سرعت می‌بخشند.



**تمرین ۳۴:** جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز

پر کنید.

الف) در (همه- بیشتر) ..... واکنش های شیمیایی بدن جانداران، کاتالیزورهای زیستی دخالت دارند.

ب) پخته ها به مقدار (کم- زیاد) ..... به آنزیم ها نیاز دارند چون (به طور پیوسته آن ها را تولید می کنند- در پایان واکنش ها دست نخورده باقی می ماند) .....

پ) لیزوزیم (همانند- برخلاف) ..... میوزین نقش آنزیمی دارد.

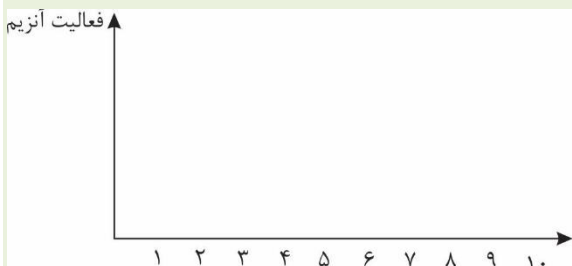
ت) عامل حفاظتی ویتامین B<sub>۱۲</sub> در pH (۸-۲) ..... می تواند فعالیت کند.

**پاسخ:**



**تمرین ۳۵:** منحنی فعالیت هر یک از آنزیم های پپسین،

تریپسین و پروترومبیناز با توجه به تغییر pH رسم کنید:



**پاسخ:**



**تمرین ۳۶:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را

مشخص کنید.

الف) افزایش مقدار آنزیم همواره سرعت واکنش را زیاد می کند.

ب) افزایش غلظت پیش ماده همواره سرعت واکنش را زیاد می کند.

پ) آنزیم هایی که در دمای پایین غیرفعال می شوند با برگشت دما می توانند به حالت فعال برگردند.

ت) هر آنزیمی که در اثر دما به طور برگشتناپذیری غیرفعال می شوند شکل فضایی پروتئینی خود را از دست داده اند.

**پاسخ:**

آیا می توانید مثالی از این نوع آنزیم ها بیاورید؟

آنزیم ها در همه واکنش های شیمیایی بدن جانداران که شرکت می کنند؛ سرعت واکنش را زیاد می کنند اما در پایان واکنش ها دست نخورده باقی می مانند تا بدن بتواند بارها از آن ها استفاده کند. به همین دلیل یاخته ها به مقدار کم به آنزیم ها نیاز دارند. البته به مرور مقداری از آن ها از بین می روند و یاخته مجبور به تولید آنزیم های جدید می شود.

### عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم ها

عوامل متعددی از جمله pH، دما، غلظت آنزیم و پیش ماده بر سرعت فعالیت آنزیم ها تأثیر می گذارند.

**pH محیط:** بیش تر مایعات بدن بین ۶ و ۸ است مثلاً pH

خون حدود ۷/۴ است. البته pH بعضی بخش ها خارج از این محدوده هستند. یکی از این موارد ترشحات معده است که حدود ۲ می باشد.

هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH

بهینه می گویند؛ مثلاً pH بهینه پپسین که از یاخته های معده

ترشح می شود حدود ۲ است در حالی که آنزیم هایی که از لوزالمعده

به روده کوچک وارد می شوند pH بهینه حدود ۸ دارند. تغییر pH

با تأثیر بر پیوندهای شیمیایی مولکول پروتئین می تواند باعث تغییر

شکل آنزیم شود و در نتیجه امکان اتصال آن به پیش ماده از بین

برود، در نتیجه میزان فعالیت آن تغییر می کند.

**دما:** آنزیم های بدن انسان در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد بهترین

فعالیت را دارند. این آنزیم ها در دمای بالاتر ممکن است شکل غیر

طبیعی یا برگشتناپذیر پیدا کنند و غیرفعال شوند. آنزیم هایی که در

دمای پایین غیرفعال می شوند با برگشت دما به حالت طبیعی، می

توانند به حالت فعال برگردند.

**فعالیت ۲:** الف) گفته می شود تب بالا خطرناک است، بین این مسئله

و فعالیت آنزیم ها چه ارتباطی می بینید؟

ب) با توجه به تأثیر متفاوت دمای کم و زیاد روی آنزیم ها، از این

ویژگی آنزیم ها در آزمایشگاه ها چگونه می توان استفاده کرد؟

**غلظت آنزیم و پیش ماده:** مقدار بسیار کمی از آنزیم کافی است تا

مقدار زیادی از پیش ماده را در واحد زمان به فرآورده تبدیل کند. اگر

مقدار آنزیم زیادتر شود تولید فرآورده در واحد زمان افزایش می یابد.

افزایش غلظت پیش ماده در محیطی که آنزیم وجود دارد نیز می تواند

تا حدی باعث افزایش سرعت شود ولی این افزایش تا زمانی ادامه می

یابد که تمامی جایگاه های فعال آنزیم ها با پیش ماده اشغال شوند. در

این حالت سرعت انجام واکنش ثابت می شود.