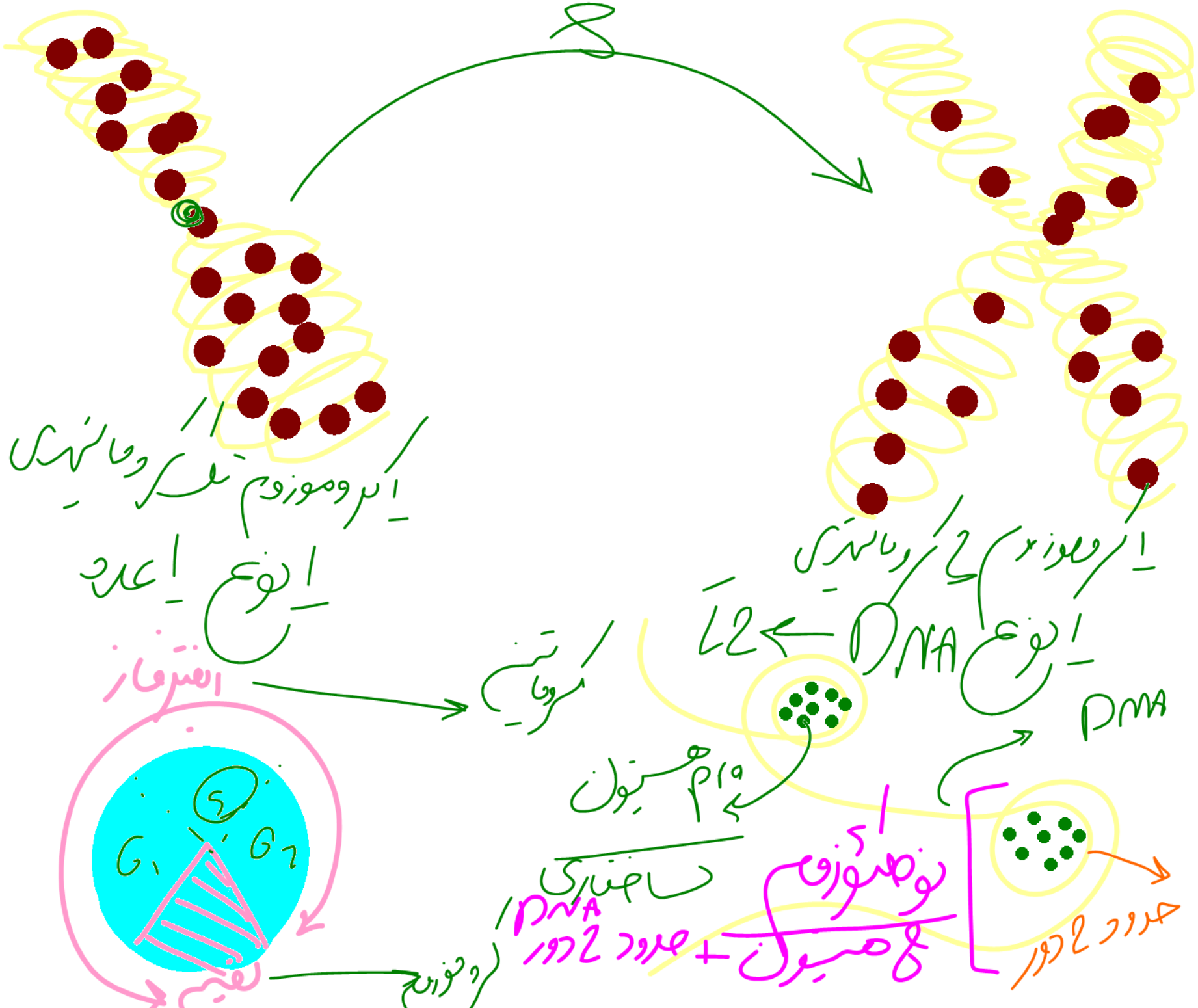
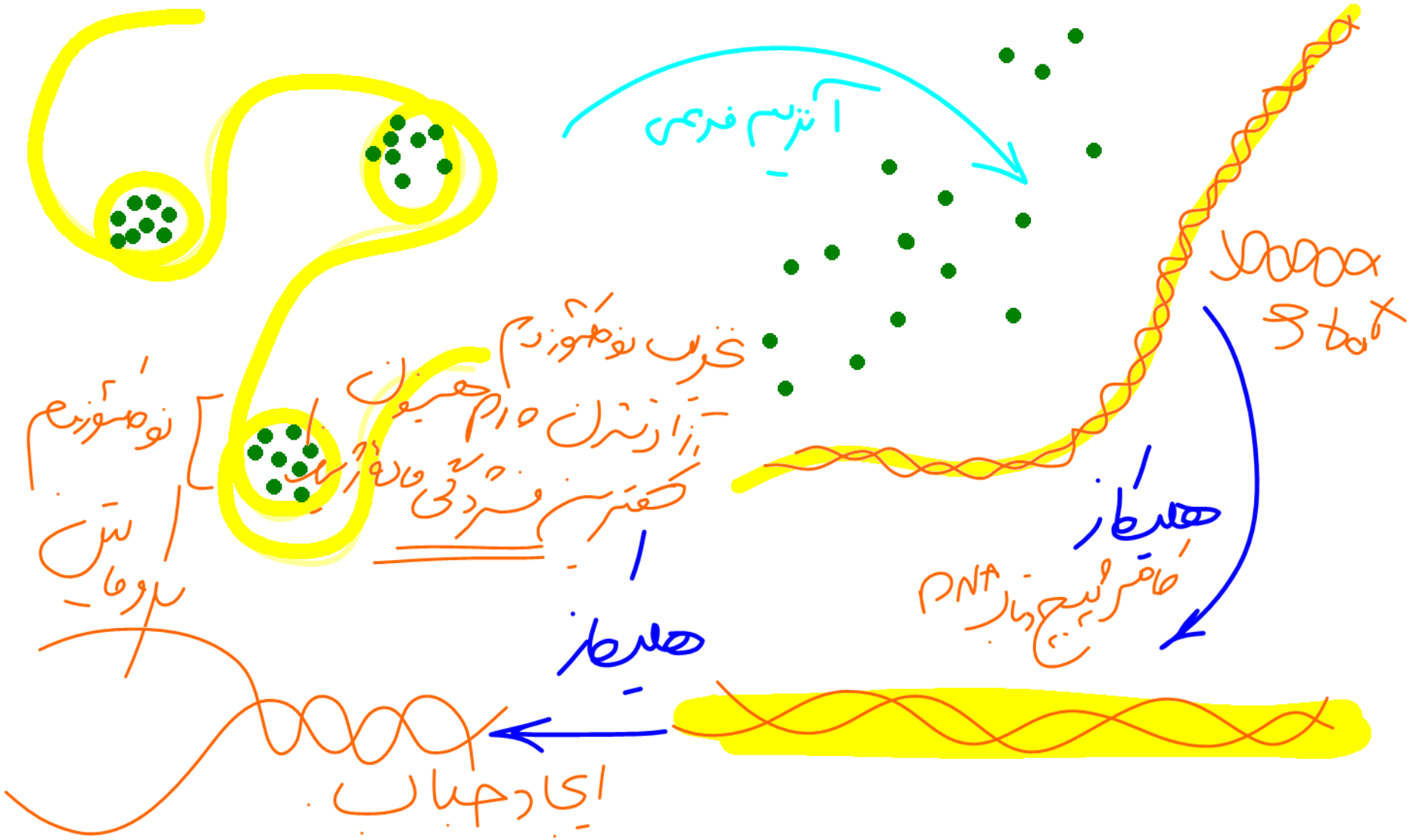
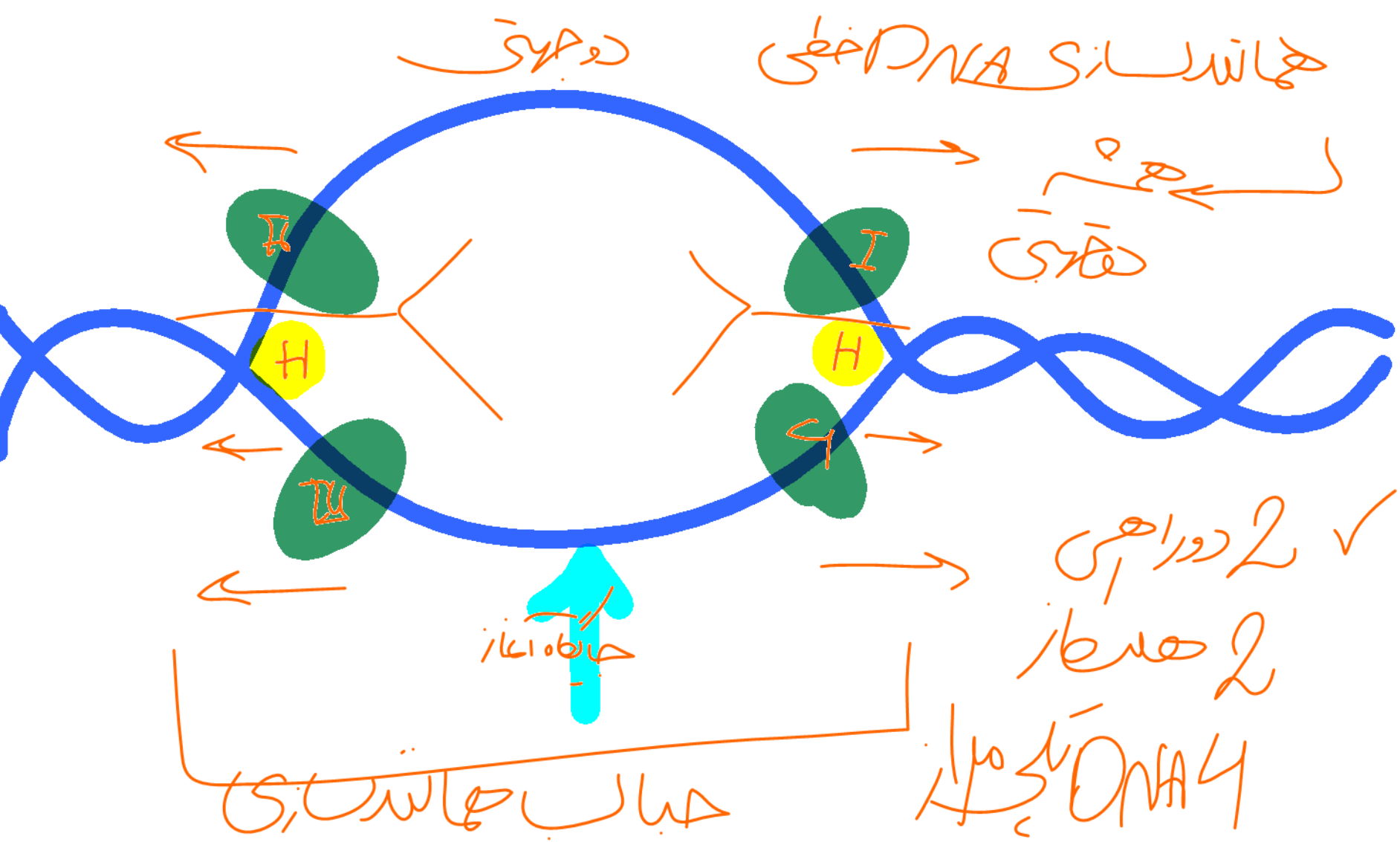
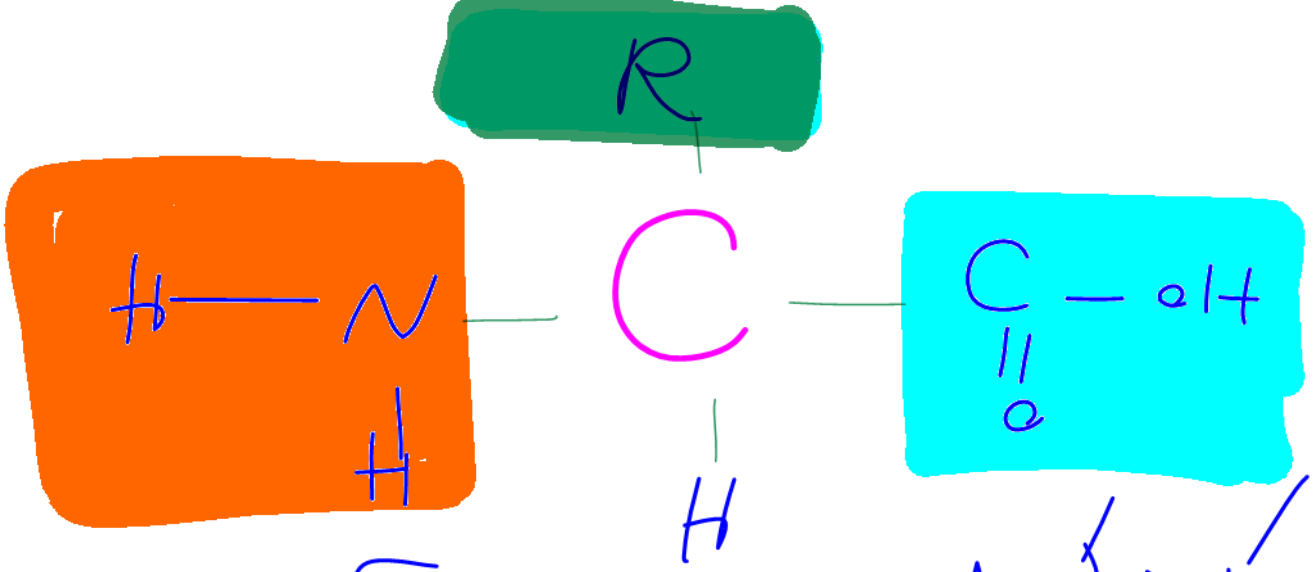
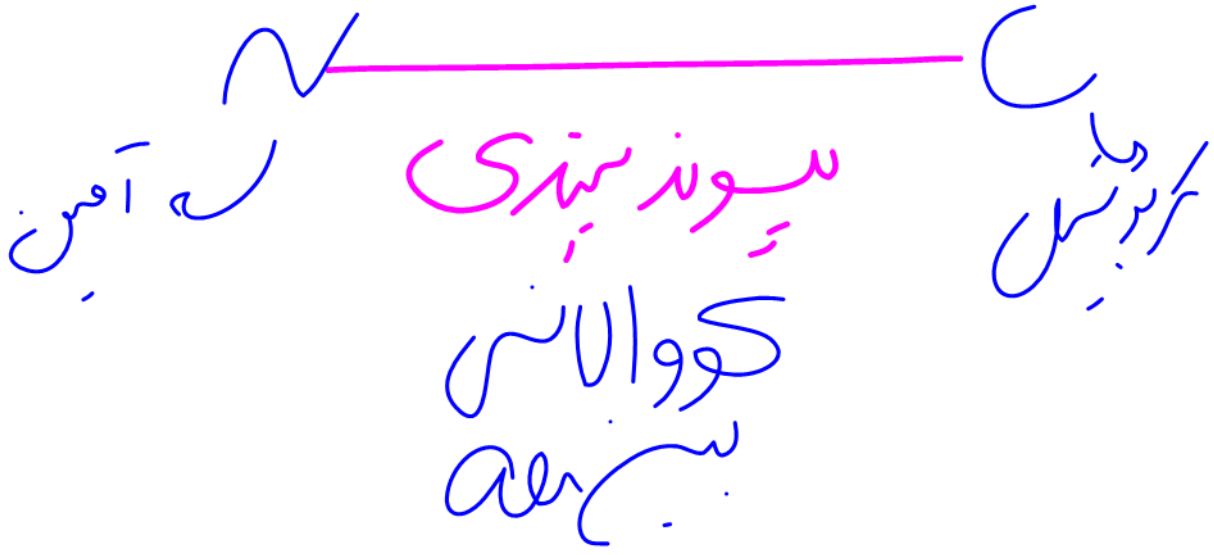
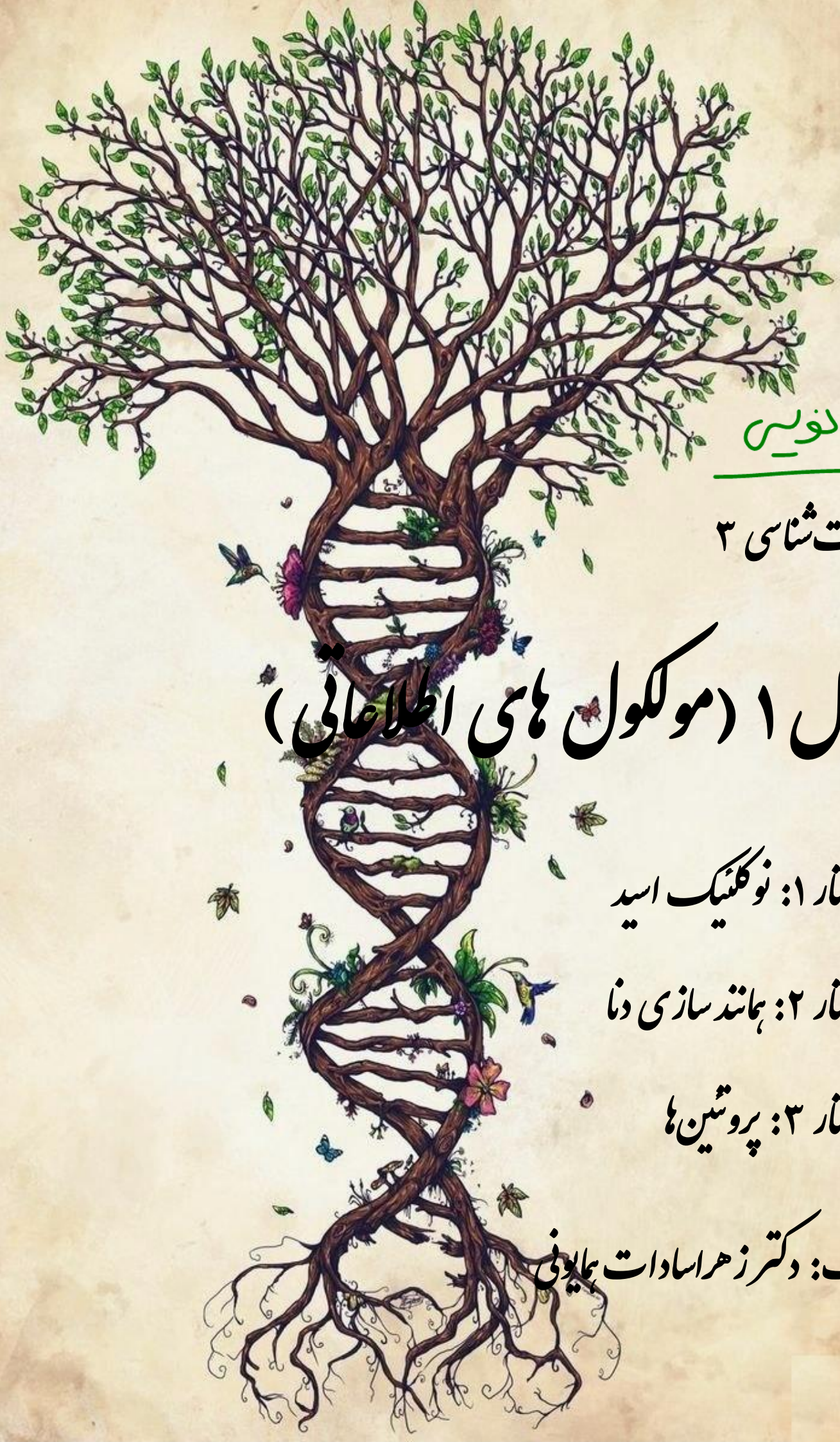

کروماتین
انتروفاز
G1
S
G2
تقسیم
کروموزوم
DNA
هیستون
ساختاری
DNA
کروموزوم
هیستون
DNA
کروموزوم


آنزیم فرعی
خرید نوکلئوزید
از اینترل
هیبرید
هلیکاز
هلیکاز
ایجاد حباب


دوبرشی
همانندسازی DNA خطی
I
II
III
IV
H
H
حباب همانندسازی
2 دوراهی
2 همتا
DNA تک مولکولی


R
H
H
H
O
OH
آمین +
کربوکسیل
قلیایی
اسیدی


پپتیدی
کووالانسی
آمین
کربوکسیل



خلاصه نویسی

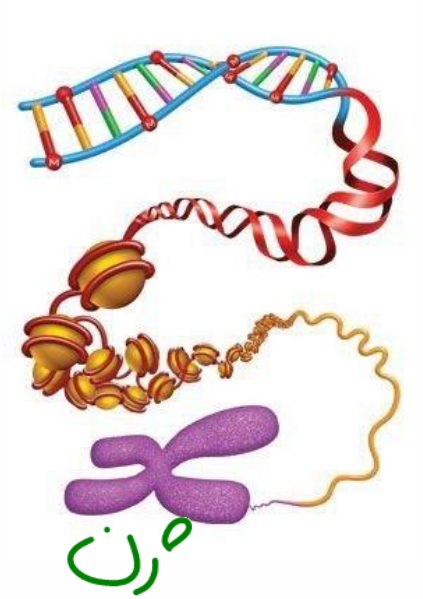
زیست‌شناسی ۳

فصل ۱ (مولکول های اطلاعاتی)

- گفتار ۱: نوکلئیک اسید
- گفتار ۲: همانندسازی دنا
- گفتار ۳: پروتئین‌ها

مولف: دکتر زهرا سادات همایونی

فصل ۱
گفتار ۱: نوکلئیک اسید



یک واقعیت:

همه ویژگی‌های یک سلول که در نهایت ویژگی جاندار را می‌سازد تحت فرمانِ اطلاعاتی است که درون اسامک ۲ غشایی هسته حفاظت می‌شود. و هنگام تقسیمِ میتوز بطور کامل از سلولی به سلولِ دیگر منتقل شده و طی میوز در تولید مثل جنسی، بخشی از این اطلاعات به نسل بعد منتقل می‌شود. این اطلاعات، همان ماده ژنتیک بوده و تشکیل شده از کروموزوم‌هاست که در هر جاندار تعداد این کروموزوم‌ها متفاوت است. کروموزوم‌ها (فامتن) در ساختارشان DNA و پروتئین (هیستون) قرار دارد (ساختار نوکلئو پروتئینی دارند) این ماده ژنتیک دارای ۳ ویژگی می‌باشد:

۱- در سرتاسر زندگی سلول این مواد ثابت بوده

۲- تمام اطلاعات را در خودش حفظ می‌کند.

۳- از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود.

**** کشف‌های گیج‌کننده این فصل رو طبقه‌بندی کن تو ذهنت تا من واست داستانشو بگم:**

- کشف وجود نوکلئیک اسیدها ← فردریک میشیر (سوئیس)
- کشف وظیفه نوکلیک اسید DNA ← بار اول: گریفیت (انگلیسی)
  ← بعد: ایوری و همکاران

آموزش را با دبیران برند ایران تجربه کنید

کشف‌های مربوط به ساختار نوکلئیک اسید DNA

- ✓ بازهای آلی ← دانشمندان چارگف
- ✓ ویکلینز و فرانکلین
- ✓ واتسون و کریک (مدل مولکولی)
- A) فردریک میشر (دانشمند سوئیسی)

- آزمایش: استخراج ماده سفیدرنگی از هسته گلبول سفید انسان و اسپرم ماهی که ترکیبات آلی آن کمی متفاوت بود و آن را به عنوان ترکیب زیستی جدید معرفی کرد. و آن را چون درون هسته بود و خاصیت اسیدی داشت، نوکلئیک اسید نامید.
- نتیجه: کشف نوکلئیک اسید.

فعالیت دانشمندان برای شناخت ساختار دنا

۱- **گریفیت:** 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- **ویلکینز 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.

هر یک از یاخته‌های بدن ما، ویژگی‌هایی مثل شکل و اندازه، تحت فرمان هسته دارند.

DNA مولکولی در کروموزوم‌هاست که ماده ذخیره اطلاعات وراثتی یاخته و جاندار می‌باشد.

گریفیت

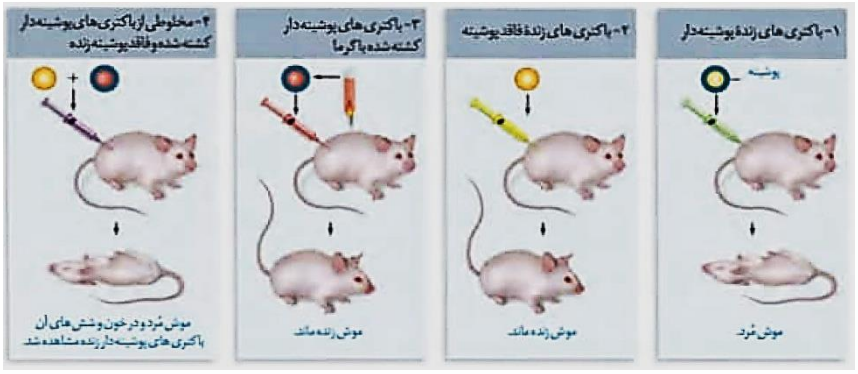
- اطلاعات اولیه در مورد ماده وراثتی از فالیت‌ها و آزمایشات این باکتری‌شناس انگلیسی به دست آمد.
- در پی ساخت واکنسی برای آنفلوانزا بود که در آن زمان فکر می‌کرد عامل آن نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا است.
- روی باکتری استرپتوکوکوس نومونیا (عامل سینه پهلو) در موش‌ها کار می‌کرد که خود دو نوع داشت: پوشینه‌دار و فاقد پوشینه
- نوع پوشینه‌دار، در موش بیماری‌زا بود ولی نوع فاقد پوشینه بیماری ایجاد نمی‌کرد ← قطر این باکتری بیشتر از ۲۰۰ نانومتر می‌باشد.

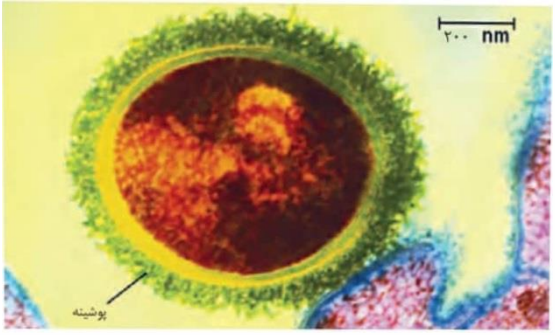
آزمایشات گریفیت

- آزمایش اول ← تزریق باکتری‌های زنده پوشینه‌دار به موش
  - نتیجه ← موش مُرد و در خون و شش‌های آن باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده شد.
- آزمایش دوم ← تزریق باکتری‌های زنده فاقد پوشینه به موش
  - نتیجه ← موش زنده ماند و در خون و شش‌های موش، باکتری زنده یافت نشد.
- نتیجه‌گیری بعد از دو آزمایش اول و دوم ← پوشینه عامل سینه‌پهلو در موش‌ها می‌باشد.
- آزمایش سوم ← تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما به موش‌ها
  - نتیجه ← موش زنده ماند ← در خون و شش موش، هیچ باکتری نبود ← پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست
- آزمایش چهارم ← مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و فاقد پوشینه زنده را به موش تزریق کرد.
  - نتیجه ← موش مرد و در خون و شش‌های آن، باکتری پوشینه‌دار و فاقد پوشینه زنده مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی از آزمایشات گریفیت

۱- تعدادی از باکتری‌های بدون پوشینه زنده به نحوی تغییر کرده و پوشینه‌دار زنده شدند.
۲- ماده وراثتی می‌تواند به یاخته دیگری منتقل شود.
۳- ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.





ترکیب کنیم

نکته

از آنجا که تزریق باکتری پوشینه‌دار حرارت دیده به موش سبب مرگ موش نشد می‌توان نتیجه گرفت که حرارت، تا حدی که سبب کشته‌شدن باکتری شود، روی پوشینه باکتری اثرگذار نیست و به عبارت دیگر پوشینه باکتری نسبت به حرارتی که باعث مرگ باکتری می‌شود مقاوم است.

در واقع لازم است درباره کپسول باکتری استرپتوکوکوس نومونیا موارد زیر را به خاطر بسپارید:

۱- پوشینه نیز نامیده می‌شود.

۲- بودن یا نبودن آن ویژگی ژنتیکی محسوب می‌شود.

۳- تا حدی به حرارت مقاوم است.

۴- به تنهایی عامل بروز بیماری محسوب نمی‌شود.

ایوری

- عوامل مؤثر در انتقال صفت را حدود ۱۶ سال بعد از گریفیت کشف کرد.

آزمایش اول

- ابتدا از عصاره استخراج شده از باکتری کشته شده پوشینه‌دار استفاده کردند و در آن تمامی پروتئین‌های موجود را توسط پروتئازها تخریب کردند، سپس باقی‌مانده محلول را به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه اضافه کردند.
- نتیجه آزمایش ← انتقال صفت صورت گرفت، یعنی باکتری‌های زنده فاقد پوشینه به نوع زنده پوشینه‌دار تبدیل شدند.
- نتیجه‌گیری نهایی از آزمایش اول ← پروتئین‌ها ماده وراثتی نیستند و سبب انتقال صفت بین دو جاندار نشده‌اند.

آزمایش دوم

- عصاره استخراج شده از باکتری کشته شده پوشینه‌دار را سانتریفیوژ کرد (با سرعت بالا) و مواد آن را به صورت لایه‌لایه جدا کرد.
- هر یک از لایه‌ها را به صورت جداگانه به محیط کشت دارای باکتری فاقد پوشینه اضافه کرد ← در این آزمایش از آنزیم‌های هیدرولاز استفاده نشد.
- نتیجه ← انتقال صفت، فقط با لایه‌ای که در آن دنا وجود دارد، انجام شد.
- نتیجه‌گیری نهایی ← عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است و پروتئین نمی‌باشد.

- با آینکه ثابت کردند ماده وراثتی، DNA می‌باشد ← ولی بسیاری از دانشمندان همچنان بر این باور بودند که عامل تغییر صفت، پروتئین‌ها می‌باشند.

آزمایش سوم

- عصاره استخراج شده از باکتری پوشینه‌دار را چهار قسمت کرد.
- به هر قسمت آنزیم تخریب‌کننده یک گروه از مواد آلی را اضافه کرد ← از هر چهار نوع آنزیم هیدرولاز (پروتئاز، لیپاز، نوکلئاز و کربوهیدراز) استفاده کرد.
- هر کدام را به محیط کشت حاوی باکتری بدون پوشینه اضافه کرد (فرصت انتقال صفت تکثیر و رشد داده شد).
- نتیجه ← در همه ظروف انتقال صورت می‌گیرد به جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کننده دنا است.

- از نتایج هر سه آزمایش، متوجه شدند که پروتئین، عامل انتقال صفت نیست.
- از نتایج آزمایش دوم و سوم، متوجه شدند که DNA، عامل وراثتی و انتقال صفت است.
- در هر سه آزمایش از عصاره باکتری‌های کشته شده پوشینه‌دار به همراه باکتری‌های زنده فاقد پوشینه استفاده کردند.

*** تعداد آزمایش‌های ایوری:**

۱- تخریب پروتئین‌ها

- هدف: آیا پروتئین انتقال صفات را عهده‌دارند؟ - نتیجه: خیر

۲- سانتریفیوژ عصاره سلولی و تقسیم آن و اضافه کردن هر بخش به محیط کشت باکتری بی‌کپسول

- هدف: ماده وراثتی چیست؟
- نتیجه: DNA

۳- اضافه کردن آنزیم‌های تجزیه‌کننده ترکیب‌های آلی به قسمت‌های یکسان از عصاره سلولی باکتری کپسول‌دار و اضافه کردن حاصل آن به محیط کشت بی‌کپسول

- هدف: تحکیم ادعای وراثتی بودن DNA
- نتیجه: تحکیم ادعا

✓ پس تا اینجا وجود نوکلئیک اسید DNA (مشیر) و وظیفه آن (گریفیت و ایوری و دوستانش) کشف کردند.

ترکیب کنیم

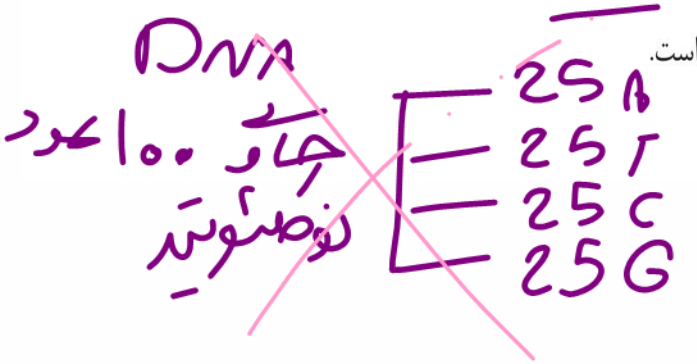
نکته

از آنجا که تزریق باکتری پوشینه‌دار حرارت دیده به موش سبب مرگ موش نشد می‌توان نتیجه گرفت که حرارت، تا حدی که سبب کشته شدن باکتری شود، روی پوشینه باکتری اثرگذار نیست و به عبارت دیگر پوشینه باکتری نسبت به حرارتی که باعث مرگ باکتری می‌شود مقاوم است.

در واقع لازم است درباره کپسول باکتری استریتوکوکوس نومونیا موارد زیر را به خاطر بسپارید:

۱- پوشینه نیز نامیده می‌شود. ۲- بودن یا نبودن آن ویژگی ژنتیکی محسوب می‌شود. ۳- تا حدی به حرات مقاوم است. ۴- به تنهایی عامل بروز بیماری محسوب نمی‌شود.

چارگاف
- نقض تصورات گذشته مبنی بر اینکه ۴ نوع نوکلئوتید موجود در دنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند را اعلام کرد.
- روی دنای جانداران مختلف نشان داد که $A = T$ و $C = G$ است.
- دلیل برابری نسبت $\frac{A}{T}$ و $\frac{G}{C}$ را نمی‌دانست.



چارگف:

- تصوراتِ غلط قبل از چارگف: در سرتاسر مولکول چهار نوع نوکلئوتید به نسبت مساوی توزیع شده و مقدار ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول یکسان می‌باشد.
- با مشاهدات و تحقیقات چارگف: در همه DNAها مقدار A با T و C با G برابر است.

درباره‌ی بازهای DNA

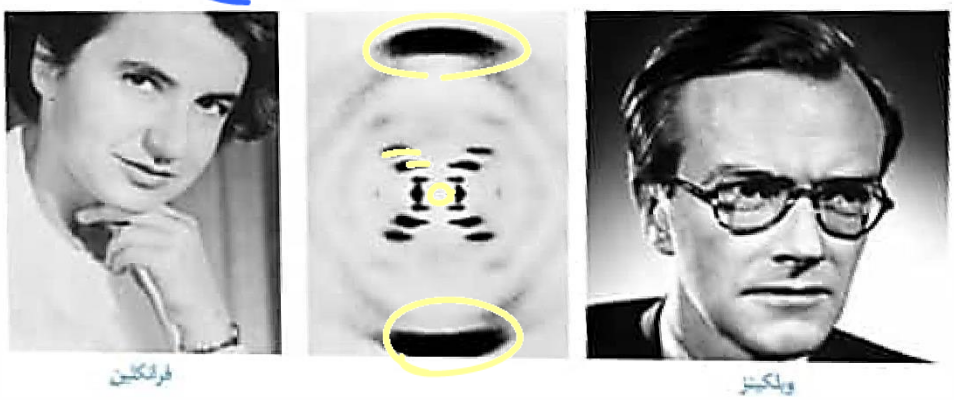
- با تحقیقات دانشمندان بعدی: برای نوکلئوتیدها را مشخص کردند.

$$\left.\begin{matrix} A = T \\ C = G \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{matrix} ۱)\ A + C = T + G = \text{نوکلئوتیدها } \frac{۱}{۲} \\ ۲)\ A + G = C + T = \text{نوکلئوتیدها } \frac{۱}{۲} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} ۳)\ \frac{A + C}{T + G} = ۱ \\ ۴)\ \frac{A + G}{C + T} = ۱ \end{matrix}$$

- جور شدن بازهای مکمل، اصل چارگف را تأیید کرد.

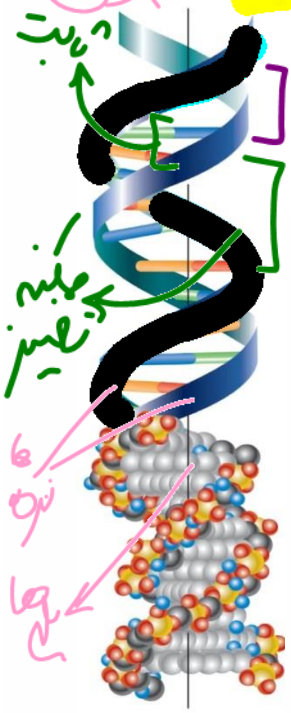
ویلکینز و فرانکلین

- با استفاده از پرتو X از مولکول دنا تصاویری تهیه کردند.
- نتایج به دست آمده با تجزیه و تحلیل این تصاویر: دنا حالت مارپیچی دارد. بیش از یک رشته دارد و ابعاد مولکول‌ها را نیز تشخیص دادند.



واتسون و کریک

- با استفاده از نتایج چارگاف، مطالعات حاصل از تصاویر تهیه شده با اشعه X و اطلاعاتی که از یافته‌های خود داشتند، مدل نردبان مارپیچ دوگانه را پیشنهاد دادند.
- بیان کردند که هر مولکول دنا از دو رشته پلی نوکلئوتیدی ساخته شده که به دور محور فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دورشته‌ای را ایجاد می‌کند.
- ستون‌های نردبان DNA را از فسفات و قند و پله‌های آن را از بازهای آلی نیتروژن‌دار می‌دانستند.



*** نکات کلیدی مدل مولکولی واتسون و کریک: (تأیید شده)**

- هر DNA از ۲ رشته پلی نوکلئوتیدی (تعداد زیادی دئوکسی ریبونوکلوئید با پیوند فسفودی استر بهم متصل شده)
- هر DNA دور یک محور فرضی پیچیده و ساختار مارپیچ ۲ رشته‌ای ایجاد می‌کند.
- این DNA مارپیچی اغلب به یک نردبان پیچ‌خورده تشبیه می‌شود.
- که ستون‌های این نردبان را قند و فسفات و پیوندهای کووالانسی (برخی فسفودی استر) و پله‌های آن را بازهای آلی و هیدروژنی بینشان تشکیل می‌دهد.

* اگر قند و فسفات برای نوکلئوتید باشند که پیوند اشتراکی است اما اگر هر کدام برای نوکلئوتید دیگری باشند پیوند فسفودی استر می‌باشد.

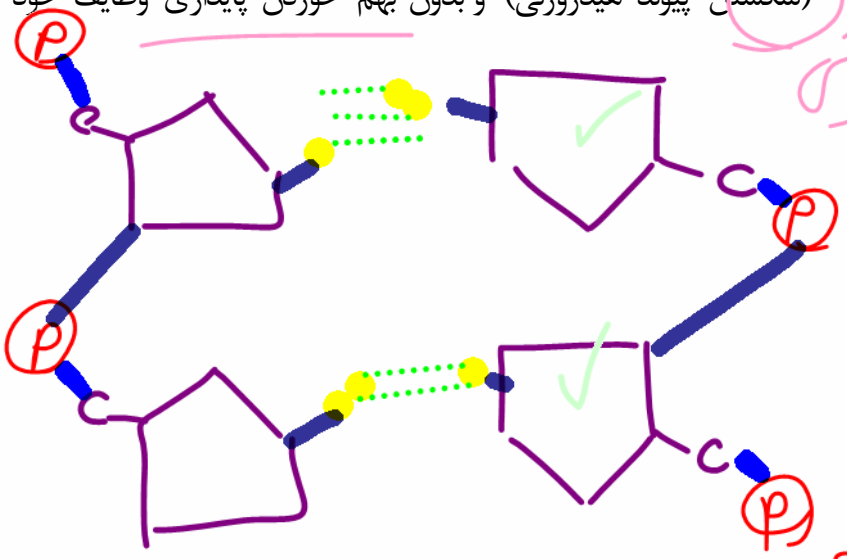
** پیوندهای هیدروژنی دو رشته را به هم متصل می‌کند و بین جفت بازها (بازهای مکمل) وجود دارد. (بین A,T، ۲ تا بین G,C ۳ تا)

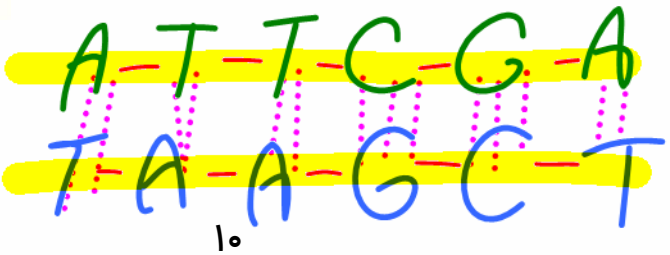
- در مقابل هر باز ۲ حلقه‌ای همیشه یک تک‌حلقه‌ای قرار گرفته پس همیشه در هر جفت باز با ۳ حلقه باز الی داریم و با در نظرگیری قند ۵ کربنه حلقه‌ای دئوکسی ریبوز می‌توان در هر جفت نوکلئوتید ۵ حلقه در نظر گرفت (۳ حلقه باز + ۲ حلقه قند) ← این نوع قرارگیری جفت بازها باعث می شود قطر مولکول DNA در سراسر آن یکسان می‌باشد ← ثابت ماندن قطر DNA باعث پایداری اطلاعات آن شد و در فشرده شدن بهتر کروموزوم‌ها مؤثر است. (هر کروموزوم ممکن است از یک DNA (تک کروماتیدی) یا از دو DNA (دوکروماتیدی یا مضاعف) تشکیل شده باشد)

- دو رشته DNA شبیه بهم نیستند اما شناسایی ترتیب نوکلئوتیدهای هر کدام می‌تواند توالیِ رشته مکمل را هم مشخص کند.

ATCG↔TAGC

-پیوند هیدروژنی انرژی پیوند کمی دارد اما چون در ساختار پلیمر، هزاران نوکلئوتید با این پیوند بهم متصل هستند و با این پیوند هیدروژنی متصل هستند به DNA حالت پایدارتری می‌دهد. اما DNA می تواند در مواقع لزوم (همانندسازی، ...)، از بعضی نقاط (جایگاه اغاز همانندسازی، ...) از هم جدا شوند (شکستن پیوند هیدروژنی) و بدون بهم خوردن پایداری وظایف خود را انجام دهند.

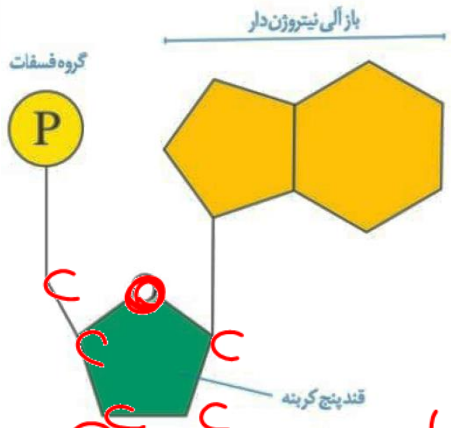


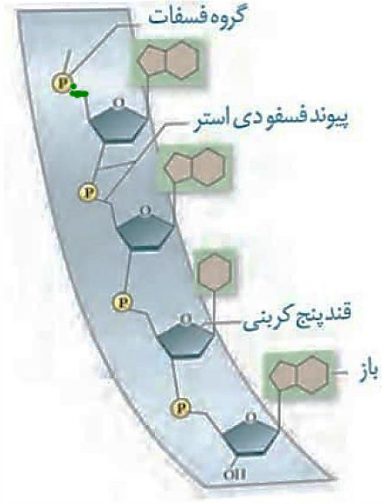


واحد سازنده نوکلئیک اسیدها — انواع نوکلئوتید

اجزای هر نوکلئوتید

- قند پنج کربنی
  - در DNA ← دئوکسی ریبوز است.
  - در RNA ← ریبوز است
- باز آلی نیتروژن‌دار
  - با پیوند اشتراکی به قند متصل است ← هر نوکلئوتید، یک پیوند قند باز دارد.
  - انواع
    - دو حلقه‌ای (پورین)
      - آدنین و گوانین است.
      - یک حلقه پنج ضلعی و یک حلقه شش ضلعی دارد.
      - از حلقه کوچکتر خود به قند متصل می‌شود.
    - تک‌حلقه‌ای (پیریمیدین‌ها)
      - سیتوزین، تیمین و یوراسیل هستند.
      - یک حلقه شش‌ضلعی دارند.
  - باز آلی تیمین، فقط در DNA و یوراسیل، فقط در RNA وجود دارد.
- یک، دو یا سه گروه فسفات به صورت رشته فسفاتی به قند متصل می‌باشد.
  - پیوند بین قند و فسفات از نوع اشتراکی (فسفواستر) است.
  - پیوند بین فسفات‌ها از نوع اشتراکی و پرانرژی است.



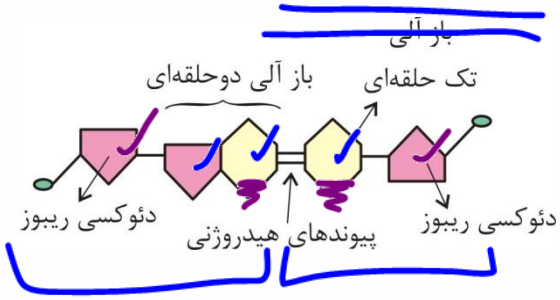


- بدون در نظر گرفتن فسفات‌ها، ۸ نوع نوکلئوتید می‌توان با قندها و بازهای آلی متنوع تولید کرد.
- با در نظر گرفتن فسفات‌ها، ۲۴ نوع نوکلئوتید در طبیعت وجود دارد.
- در ساختار دنا و رنا وجود دارد.
- در ساختار ATP منبع رایج انرژی نیز با قند ریبوز وجود دارد.
- در ساختار مولکول‌های حامل الکترون در واکنش‌های سوخت‌وسازی فرآیندهای فتوسنتزی و تنفس یاخته‌ای ($NADPH$, $FADH_2$, $NADH$) وجود دارند.

نکات شکل:

نکته

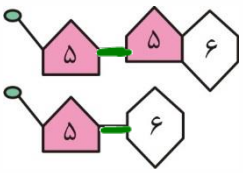
در ساختار دنا، اولاً پیوند بین دو نوکلئوتید مجاور در یک رشته فقط اشتراکی (فسفودی‌استر) است و هیچ‌گونه پیوند غیراشتراکی بین آنها برقرار نمی‌شود، ثانیاً پیوند بین دو نوکلئوتید مقابل از دو رشته دنا، تنها از نوع غیراشتراکی هیدروژنی است.



هر جفت نوکلئوتید مکمل دنا، دارای ۵ حلقه آلی در ساختار خود است [۲ حلقه قندی و ۳ حلقه بازی یا دو حلقه ۶ ضلعی و ۳ حلقه ۵ ضلعی] که پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای مکمل، لزوماً بین حلقه‌های ۶ضلعی برقرار می‌شود.

نکته

هر چند بازهای آلی، یک یا دو حلقه‌ای‌اند، اما چون در ساختار هر نوکلئوتید، قند که ساختار حلقوی دارد نیز به کار می‌رود، هر نوکلئوتید، ۲ یا ۳ حلقه دارد، توجه داشته باشید که پیوند اشتراکی بین قند و باز در نوکلئوتیدهای ۲ حلقه‌ای، بین حلقه‌های ۵ و ۶ کربنه برقرار می‌شود و در نوکلئوتیدهای ۳ حلقه‌ای بین حلقه‌های ۵ کربنه برقرار می‌شود پس هرگز در یک نوکلئوتید پیوند بین حلقه‌های ۶ ضلعی وجود ندارد.



نکته

نوکلئوتید آدنین‌دار ATP منبع انرژی رایج در یاخته است و همچنین در ساختار ناقل‌های الکترونی مربوط به تنفس یاخته‌ای و فتوسنتز ($NADPH, FADH_2, NADH$)، نوکلئوسیدها شرکت دارند.

انواع نوکلئیک اسیدها

دنا

- مارپیچ دو رشته‌ای است ← تفاوت نوکلئوتیدهای آن، در نوع باز آلی آن‌هاست.
- ستون‌های این نردبان را قند و فسفات و پله‌ها را بازهای آلی تشکیل می‌دهد.
- بین قند یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید مجاور پیوند فسفودی‌استر و بین بازهای روبه‌روی هم پیوند هیدروژنی برقرار است.
- در هر رشته پلی‌نوکلئوتید، نوکلئوتیدها با پیوند اشتراکی به نام فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند.
- در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات نوکلئوتید جدید به گروه هیدروکسیل قند نوکلئوتید قبلی متصل می‌شود.
- پیوندهای هیدروژنی بین بازها، دو رشته دنا را مقابل هم نگه می‌دارد. $C \equiv G$, $A = T$
- قرارگیری جفت بازها به این شکل باعث می‌شود که قطر مولکول دنا در سراسر آن یکسان باشد ← سبب پایداری DNA می‌شود.
- اگر چه هر پیوند هیدروژنی به تنهایی انرژی پیوند کمی دارد ولی وجود هزاران یا میلیون‌ها پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدها به دنا حالت پایدارتری می‌دهد.
- با باز شدن دو رشته دنا در بعضی نقاط، پایداری دنا به هم نمی‌خورد.

با شناسایی نوکلئوتیدهای یک رشته

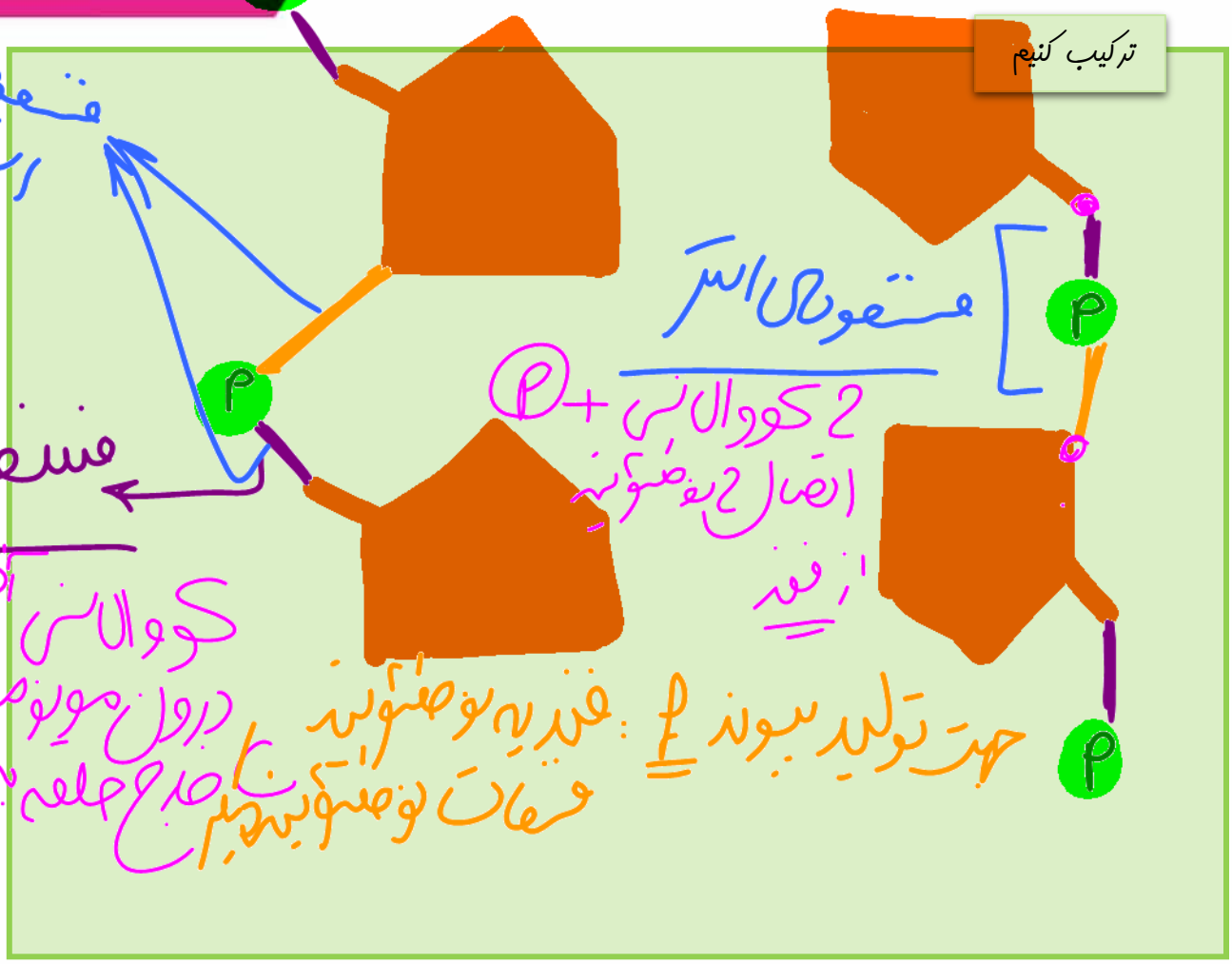
- می‌توانیم از ردیف نوکلئوتیدهای رشته دیگر مطلع شویم.
- می‌توانیم نوکلئوتیدهای RNAهای ساخته شده از بخش‌های آن را شناسایی کنیم.

رنا

- تک رشته‌ای پلی‌نوکلئوتیدی است و از روی بخشی از یکی از رشته‌های دنا ساخته می‌شود.
- تفاوت نوکلئوتید آن، در نوع باز آلی آن‌هاست.

انواع و نقش‌های متعدد دارند

- رنای پیک (mRNA): انتقال اطلاعات از DNA به ریبوزوم برای پروتئین‌سازی می‌آورد.
- رنای ناقل (tRNA): انتقال آمینواسیدها به سمت ریبوزوم برای استفاده در پروتئین‌سازی را انجام می‌دهد ← پیوند هیدروژنی دارد.
- رنای ریبوزومی (rRNA): شرکت در ساختار رناتن دارند.
- نقش آنزیمی (کاتالیزوری) با پایین آوردن انرژی فعال‌سازی دارند ← جایگاه فعال برای اتصال به پیش‌ماده دارند.
- برخی از آن‌ها در بیان ژن‌ها دخالت دارند.



پیوندهای موجود در نوکلئیک اسیدها

- **هیدروژنی**
  - بین دو باز آلی A و T ← دو عدد
  - بین دو باز آلی C و G ← سه عدد
- **اشتراکی**
  - **قند فسفات**
    - در یک نوکلئوتید ← فسفواستر
    - بین دو نوکلئوتید ← فسفودی استر
  - **بین فسفات‌ها** ← پرانرژی است.

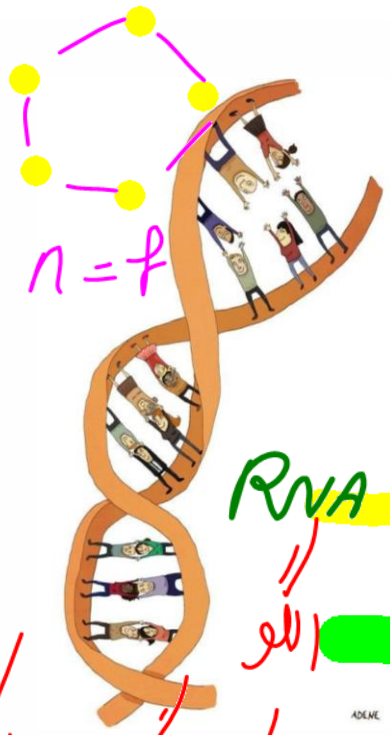
تفاوت نوکلئوتیدهای DNA و RNA

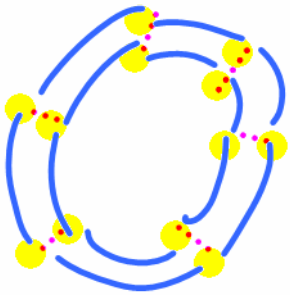
- قطعاً در نوع قند آن‌ها می‌باشد.
- ممکن است در نوع باز آلی آن‌ها نیز باشد.

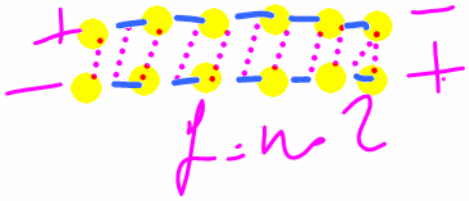
رشته پلی نوکلئوتید

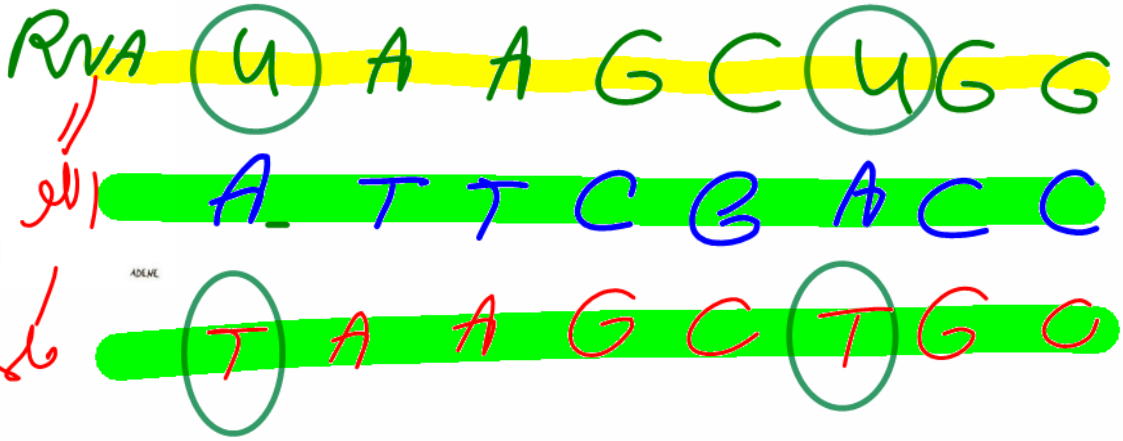
- **خطی**
  - همیشه دو سر متفاوت از یک فسفات آزاد در یک انتها و یک گروه هیدروکسیل در انتهای دیگر دارند.
  - در هر رشته DNA هسته یوکاریوت‌ها و هر RNA در همه جانداران دیده می‌شود.
  - بین هر دو نوکلئوتید آن، یک پیوند فسفودی‌استر وجود دارد ← تعداد نوکلئوتیدهای آن > تعداد پیوند فسفودی‌استر
- **حلقوی**
  - در اثر اتصال دو نوکلئوتید دو انتهای رشته به هم با پیوند فسفودی‌استر ایجاد می‌شوند.
  - در DNA حلقی اصلی، کمکی (پلاسمید) باکتری‌ها و در میتوکندری و کلروپلاست یوکاریوت‌ها مشاهده می‌شوند.
  - سر آزاد فسفات یا هیدروکسیل ندارند.
  - همواره در آن‌ها ← تعداد نوکلئوتیدها = تعداد پیوند فسفودی‌استر

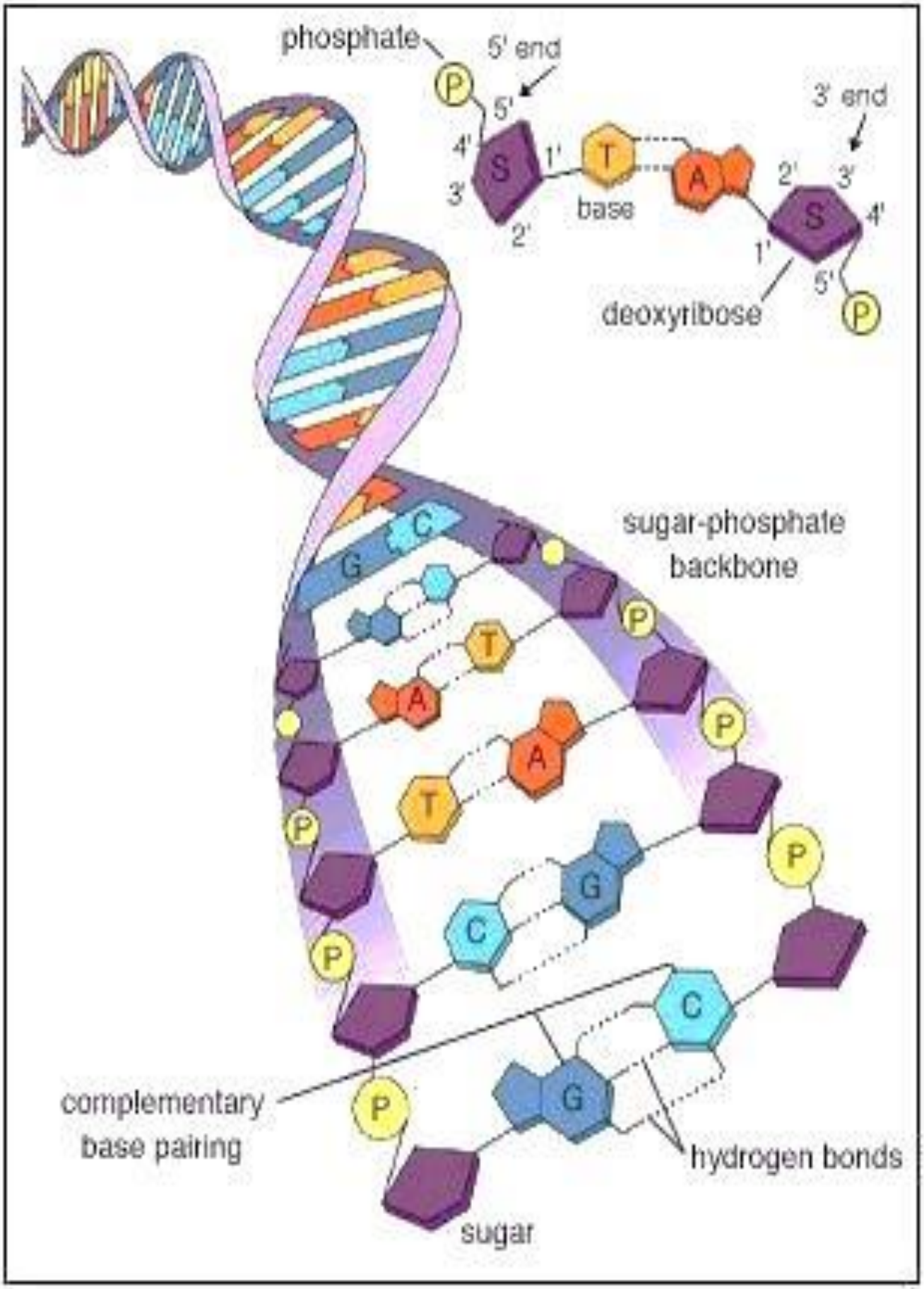
هر نوکلئوتیدی که در هر نوع رشته پلی نوکلئوتید قرار می‌گیرد ← ابتدا پیوند اشتراکی بین فسفات‌های آن می‌شکند ← به صورت یک فسفاته در رشته قرار می‌گیرد.










phosphate
5' end
3' end
base
deoxyribose
sugar-phosphate backbone
complementary base pairing
hydrogen bonds
sugar

فصل ۱
گفتار ۲: همانند سازی دنا

همانندسازی

به ساخته شده مولکول دنای جدید از روی دنای قدیمی، همانندسازی می‌گویند.

با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطه مکملی بین بازها، تا حد زیادی همانندسازی دنا قابل توضیح است.

طرح‌های مختلف ارائه شده برای همانندسازی دنا

۱- همانندسازی حفاظتی ← در این طرح هر دو رشته دنای قبلی به صورت دست‌نخورده باقی می‌ماند و وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند و دنای حاوی دو رشته جدید هم وارد یاخته دیگر می‌شوند.

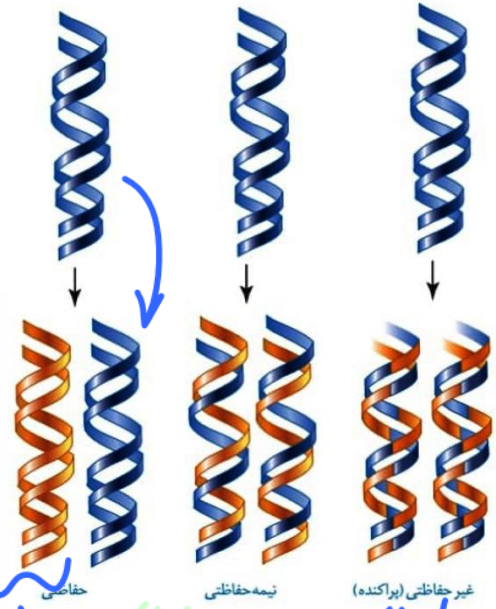
دلیل نام‌گذاری ← چون دنای اولیه به صورت دست‌نخورده در یکی از یاخته‌ها حفظ شده است ←

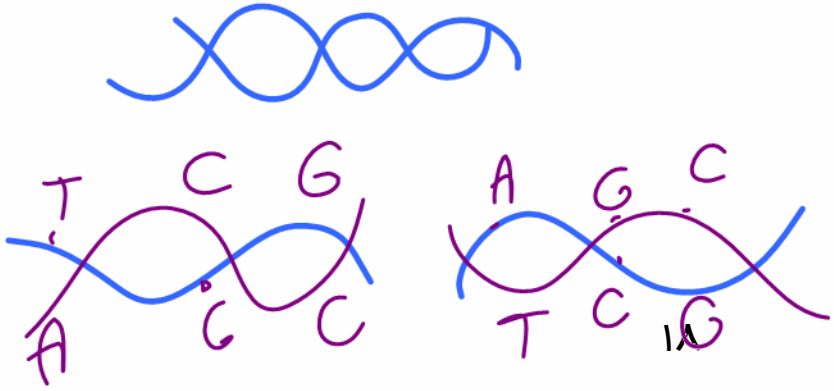
طبق این روش در هر همانندسازی، یک مولکول جدید و یک مولکول قدیمی ایجاد می‌شود.

۲- همانندسازی نیمه حفاظتی ← یکی از دو رشته دنای هر یاخته، مربوط به دنای اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است.

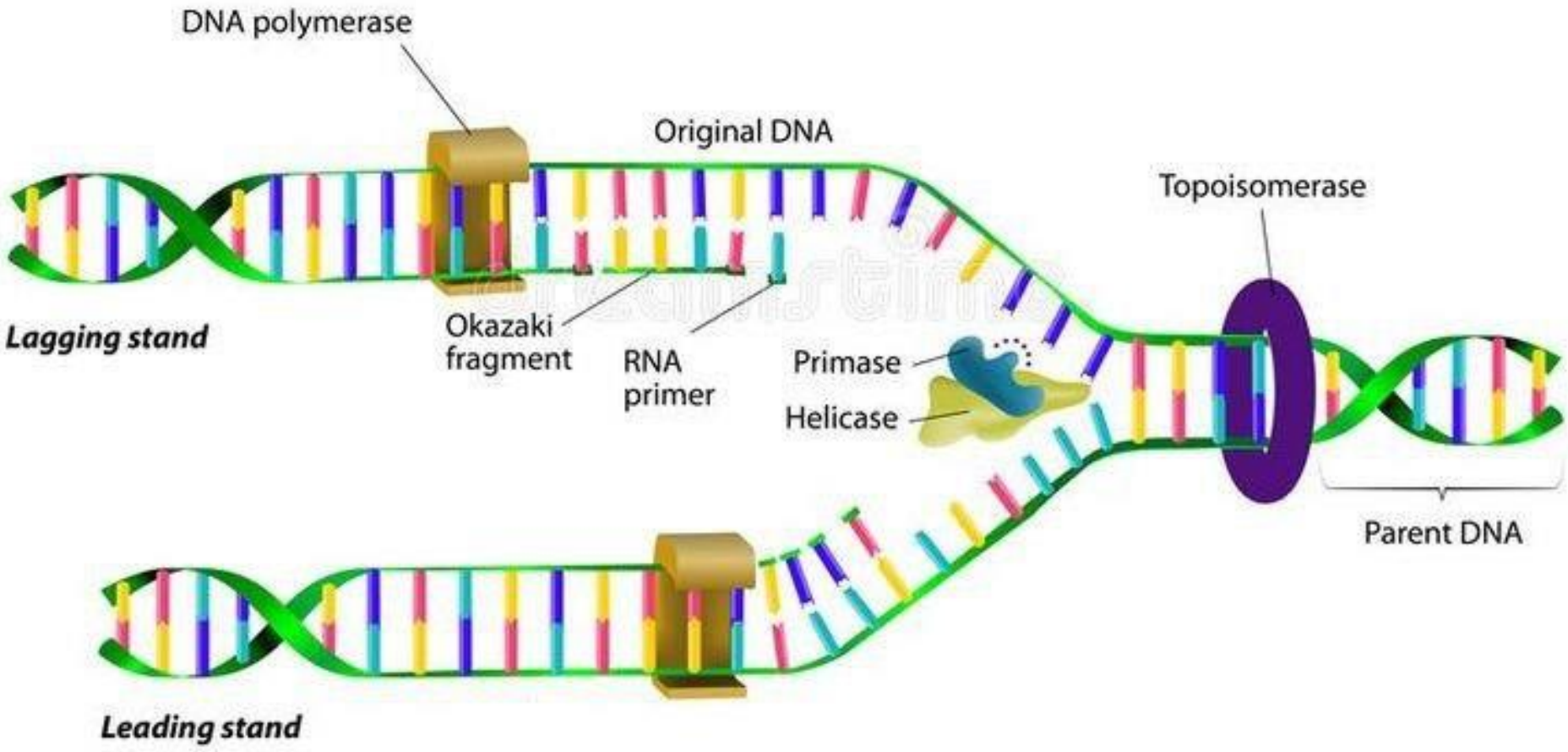
دلیل نامگذاری ← چون در هر یاخته حاصل، فقط یکی از دو رشته دنای قبلی وجود دارد ← از هر مولکول DNA یک رشته آن مربوط به مادر و یکی دیگر جدید ساخته شده است.

۳- همانندسازی غیرحفاظتی (پراکنده) ← هر کدام از دنای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جدید را به صورت پراکنده در خود دارند.





DNA replication



تحقیقات مزلسون و استال

نکات

- به پرسش «کدام طرح همانندسازی مورد تأیید قرار گرفت؟» ← از طریق روش علمی پاسخ دادند.
- با توجه به فرضیه‌های متعدد ارائه شده و امکانات، آزمایشی را طراحی کردند ← در انتها متوجه شدند که روش نیمه حفاظتی صحیح است.
- در ابتدای کار، آن‌ها باید می‌توانستند رشته‌های دنای نوساز را از رشته قدیمی تشخیص دهند ←
  به همین دلیل دنای اولیه یا مادر را با استفاده از ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) نشانه‌گذاری کردند.
- دنای معمولی در نوکلئوتیدهای خود ^{14}N دارد که نسبت به نوکلئوتید با ^{15}N چگالی کمتری دارد ← دناهای معمولی (^{14}N) در لوله سانتریفیوژ در محل بالاتری قرار می‌گیرند.

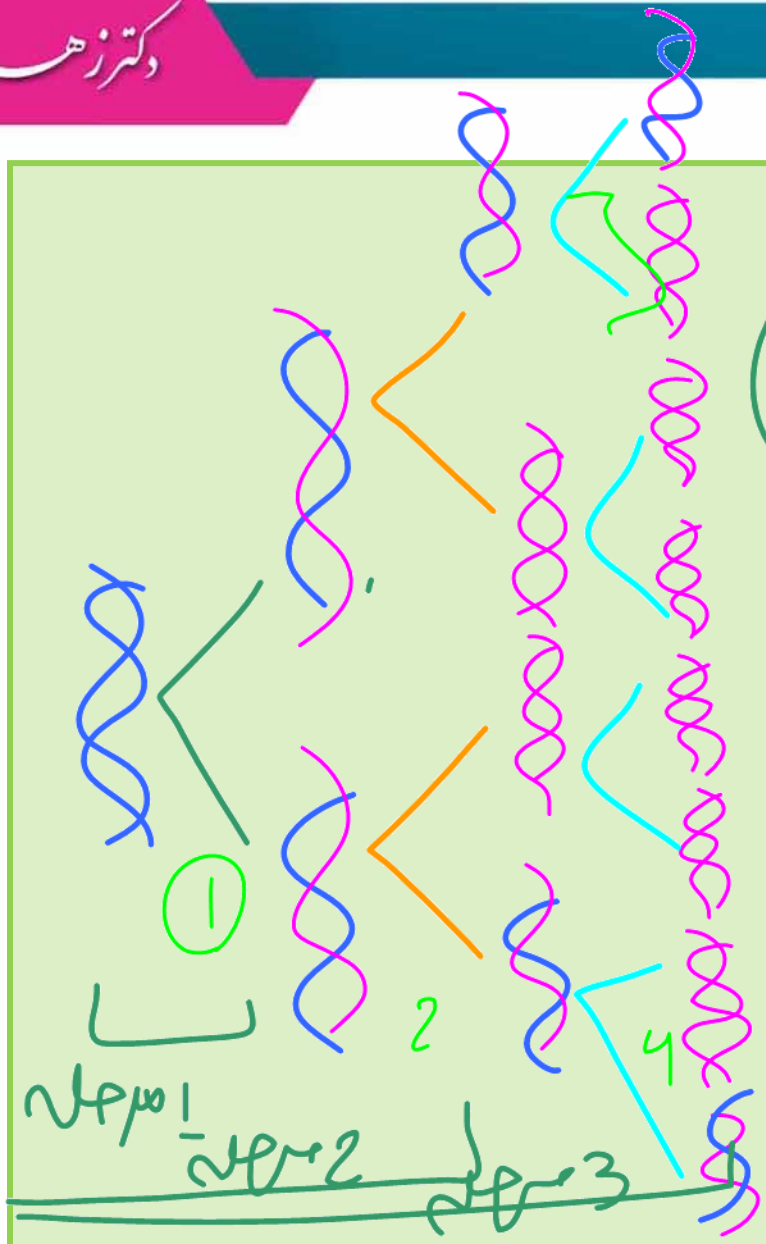
آزمایش

۱- ابتدا باکتری‌ها را در محیط دارای ^{15}N کشت دادند (^{15}N در ساختار بازهای آلی نیتروژن‌دار دنا وارد شدند).
۲- چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط ← باکتری‌هایی با دنای سنگین‌تر و حاوی دو رشته ^{15}N تولید کردند.
۳- این باکتری‌ها را به محیط کشت با نوکلئوتیدهای حاوی ^{14}N منتقل کردند.
همواره در آن‌ها ← تعداد نوکلئوتیدها = تعداد پیوند فسفودی‌استر
۴- به فواصل ۲۰ دقیقه‌ای باکتری‌ها را از محیط کشت جدا و بررسی کردند (تقسیم باکتری‌ها حدود ۲۰ دقیقه طول می‌کشد).
۵- دنای باکتری‌ها برای سنجش چگالی استخراج شد.
۶- دناهای استخراج شده در شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت‌های مختلف در سرعت بالا سانتریفیوژ شدند.
۷- نتیجه ← مواد براساس چگالی در بخش‌های متفاوتی از محلول در لوله قرار گرفتند.

نتایج آزمایش

۱- دنای باکتری‌های اولیه دو رشته حاوی ^{15}N و سنگین داشتند و پس از گریز دادن، یک نوار در انتهای لوله تشکیل دادند (صفر دقیقه).
دلیل ← چون هر دو رشته دنای آن‌ها ^{15}N و چگالی سنگینی داشت.
۲- دنای باکتری‌های حاصل از دور اول همانندسازی در محیط کشت حاوی ^{14}N (بعد از ۲۰ دقیقه) ← پس از گریز دادن، یک نوار در میانه لوله تشکیل دادند.
دلیل ← چون دنای آن‌ها چگالی متوسط داشت ← فهمیدند طرح همانندسازی، قطعاً از نوع حفاظتی نمی‌باشد.
۳- دنای باکتری‌های حاصل از دور دوم همانندسازی (پس از ۴۰ دقیقه) بعد از گریز دادن دو نوار یکی در میانه و دیگری در بالای لوله تشکیل دادند.
دلیل ← چون نیمی از آن‌ها چگالی متوسط و نیمی چگالی سبک داشتند ← فهمیدند که طرح همانندسازی
- غیرحفاظتی نمی‌باشد.
- فقط نوع نیمه‌حفاظتی صحیح است.

نکات شکل:



تعداد DNA حاصل همانندسازی
از 8 DNA → 2 تا
→ 4 تا

تعداد مراحل همانندسازی
= تعداد DNA

5 مرحله همانندسازی

$32 = 2^5$ = تعداد DNA حاصل

90 → 2 → 2/32

نکته

هنگام همانندسازی دنا، جدا شدن دو رشته تدریجی است و همراه با آن همانندسازی انجام می‌شود، در واقع در محلی که قرار است همانندسازی انجام شود دو رشته از هم باز می‌شوند و بقیه قسمت‌ها بسته هستند و به تدریج باز می‌شوند

نکته

براساس طرح حفاظتی همانندسازی دنا بعد از n نسل همانندسازی، 2^n مولکول خواهیم داشت که یکی از آنها دارای ویژگی‌های دنای مادری است و بقیه مولکول‌ها دنای جدیدند مثلاً اگر یک باکتری حاوی یک مولکول دنا را که با ایزوتوپ نیتروژن (^{15}N) نشانه‌گذاری شده است در محیط کشت حاوی ^{14}N قرار دهیم بعد از ۴ نسل همانندسازی 2^4 یعنی ۱۶ مولکول خواهیم داشت که مطابق طرح حفاظتی یکی از مولکول‌ها دارای ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) و ۱۵ مولکول دیگر دارای ^{14}N می‌باشند.

نکته

در طرح واقعی همانندسازی، یعنی همانندسازی نیمه حفاظتی، به دنبال n نسل همانندسازی 2^n مولکول خواهیم داشت که ۲ تای آنها یک رشته قدیم و یک رشته جدید خواهند داشت و سایر مولکول‌ها دارای رشته‌های جدیدند مثلاً اگر یک باکتری حاوی مولکول دنا با ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) را در محیط کشت حاوی ^{14}N قرار دهیم بعد از ۴ نسل همانندسازی 2^4 یعنی ۱۶ مولکول دنا خواهیم داشت که دوتای آنها در یک رشته دارای ^{15}N و در رشته دیگر دارای ^{14}N می‌باشند یعنی چگالی متوسط دارند و ۱۴ مولکول دیگر تنها دارای ^{14}N می‌باشند یعنی دارای چگالی سبک‌اند.

نکته

از آنجا که تقسیم باکتری‌ها حدود ۲۰ دقیقه طول می‌کشد برای به دست آوردن تعداد باکتری‌های حاصل از تقسیم باکتری در یک زمان مشخص ابتدا آن زمان را بر عدد ۲۰ دقیقه تقسیم می‌کنیم سپس ۲ را به توان عدد به دست آمده می‌رسانیم مثلاً برای به دست آوردن تعداد باکتری‌های حاصل از تقسیم یک باکتری بعد از مدت زمان ۲ ساعت یعنی ۱۲۰ دقیقه، ابتدا عدد ۱۲۰ را بر ۲۰ تقسیم می‌کنیم تا عدد ۶ بدست آید. سپس تعداد باکتری‌های حاصل بعد از ۲ ساعت تقسیم را از رابطه $۲^{۶}$ یعنی ۶۴ بدست می‌آوریم.

نکته

دقت داشته باشید که در آزمایشات مزلسون و استال ابتدا باکتری‌هایی در محیطی حاوی ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{۱۵}N) قرار گرفته‌اند تا پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط، باکتری‌هایی با دنای سنگین‌تری نسبت به باکتری‌های اولیه ایجاد شوند. سپس برای ادامه تحقیقات این باکتری‌ها را به محیط کشت حاوی ^{۱۴}N منتقل کردند.

نکته

در آزمایشات مزلسون و استال، حاصل سانتریفیوژ با سرعت بالای عصاره یاخته‌ای باکتری‌های مورد آزمایش در دقیقه صفر، ۱ نوار در بخش پایینی لوله آزمایش و در دقیقه ۲۰، ۱ نوار، در بخش میانی لوله آزمایش و در دقایق ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و...، ۲ نوار خواهد بود که یکی در بخش میانی و دیگری در بخش بالایی لوله آزمایش قرار می‌گیرد با ذکر این نکته که ضخامت این نوارها در دقیقه ۴۰ برابر است اما از دقیقه ۴۰ به بعد، به ضخامت نوار بالایی، مرتباً افزوده می‌شود.

نکته

در آزمایشات مزلسون و استال، پس از سانتریفیوژ با سرعت بالایِ دنای باکتری‌های حاصل از همانندسازی در دقایق صفر، ۲۰ و ۴۰ تنها در لوله سانتریفیوژِ حاصل از همانندسازی بعد از ۴۰ دقیقه، دو نوار تشکیل شد و در لوله‌های سانتریفیوژ دیگر تنها یک نوار به وجود آمد.

نکته

در صورت همانندسازی یک مولکول دنا با ^{15}N در محیط کشت حاوی ^{14}N، بعد از یک نسل همانندسازی مولکول‌های دنا با چگالی متوسط و از نسل دوم همانندسازی به بعد مولکول‌های دنا با چگالی سبک، مشاهده خواهند شد.

اگر بخواد مسئله بده

✓ **مزلسون و استال، تعدادی باکتری معمولی را ابتدا ..... کشت دادند و سپس ..... .**

۱) در محیطی حاوی ^{15}N - دنای باکتری‌ها در فواصل ۲۰ دقیقه‌ای بررسی نمودند.

۲) در محیطی حاوی ^{14}N - دنای باکتری‌ها را استخراج و در سرعت بالا سانتریفیوژ کردند.

۳) در محیطی حاوی ^{15}N - آنها را به محیط کشت حاوی ^{14}N منتقل کردند.

۴) در محیطی حاوی ^{14}N - آنها را به محیط کشت حاوی ^{15}N منتقل کردند.

پاسخ:

در این سؤال مراحل آزمایشات مزلسون و استال مورد پرسش قرار گرفته است و در این آزمایشات ابتدا تعدادی باکتری معمولی را در محیطی حاوی ^{15}N کشت دادند تا تعدادی باکتری با مولکول‌های دنا حاوی ^{15}N و چگالی سنگین حاصل آید. سپس این باکتری‌ها را به محیط کشت حاوی ^{14}N منتقل کردند تا همانندسازی کنند سپس در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه‌ای نتیجه را مورد بررسی قرار دادند بنابراین گزینه سه صحیح می‌باشد.

✓ **از همانندسازی یک مولکول دنا با چگالی سنگین در محیط حاوی نوکلئوتیدهای دارای ^{14}N امکان تشکیل ..... وجود دارد.**

۱) مولکول‌های دنا با چگالی سنگین، بعد از یک نسل

۲) بیش از دو مولکول دنا با چگالی متوسط بعد از چند نسل

۳) مولکول‌های دنا با چگالی سبک بعد از یک نسل

۴) بیش از دو مولکول دنا با چگالی سبک بعد از بیش از دو نسل

پاسخ:

بعد از دو نسل همانندسازی یک مولکول دنا با چگالی سنگین، در محیط حاوی ^{14}N، تعداد مولکول‌های دنا با چگالی سبک به بیش از دو مولکول خواهد رسید. بنابراین گزینه چهار صحیح است.

✓ **اگر ۱۰۰ باکتری حاوی دناهایی با ایزوتوپ سنگین نیتروژن را به مدت یک ساعت، در محیط کشت حاوی ^{15}N قرار دهیم تا رشد و تکثیر کنند، تعداد مولکول‌های دنای حاوی ^{15}N در این محیط کشت به چند عدد خواهد رسید؟**

۱) ۲۰۰ ۲) ۳۰۰ ۳) ۷۰۰ ۴) ۸۰۰

پاسخ:

در صورت سؤال عنوان شده است که تعداد باکتری حاوی دناهای با ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) در محیط کشت حاوی ^{15}N قرار می‌دهیم بنابراین همه باکتری‌های حاصل حاوی مولکول های دنایی با نیتروژن سنگین خواهند بود ضمناً از آنجا که تقسیم باکتری‌ها حدود ۲۰ دقیقه طول می کشد در مدت زمان یک ساعت باکتری‌ها ۳ نسل تقسیم می‌کنند و از هر باکتری 2^3 یعنی ۸ باکتری به دست می‌آید و چون تعداد باکتری‌های اولیه ۱۰۰ عدد بوده است بعد از یک ساعت در این محیط ۸۰۰ عدد باکتری خواهیم داشت و گزینه چهار صحیح می‌باشد.

✓ **اگر یک باکتری حاوی دنای سنگین، دو نسل در محیط حاوی ^{14}N تکثیر کند، حاصل تکثیر، ..... مولکول دنا است که ..... .**

۱) ۲- یکی چگالی متوسط و یکی چگالی سنگین

۲) ۴- دوتا چگالی متوسط و دو تا چگالی سبک است.

۳) ۲- یکی چگالی متوسط و یکی چگالی سبک دارد.

۴) ۴- دو تا چگالی سنگین و دو تا چگالی متوسط دارند.

پاسخ:

بعد از ۲ نسل همانندسازی باکتری حاوی دنای سنگین در محیط حاوی ^{14}N، ۴ مولکول به دست می‌آید که دو تای آنها در هر ۲ رشته، ^{14}N داشته و چگالی سبک دارند و دوتای دیگر در یک رشته ^{15}N و در رشته دیگر ^{14}N داشته و چگالی متوسط خواهند داشت یعنی گزینه دو صحیح است.

✓ **اگر یک باکتری حاوی دنای دارای ایزوتوپ سنگین نیتروژن، ۶۰ دقیقه در محیط حاوی ^{14}N تکثیر کند، چه نسبتی از مولکول‌های حاصل، چگالی متوسط خواهند داشت؟**

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) $\frac{1}{4}$ ۳) $\frac{1}{8}$ ۴) $\frac{1}{16}$

پاسخ:

وقتی یک باکتری حاوی دنای دارای ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) را ۶۰ دقیقه در محیط حاوی ^{14}N قرار می‌دهیم این باکتری ۳ بار تقسیم می‌کند و در نتیجه 2^3 یعنی ۸ باکتری جدید حاوی ۸ مولکول دنا به وجود می‌آید که دو تای آنها چگالی متوسط و بقیه چگالی سبک خواهند داشت یعنی نسبتی از مولکول‌هایی که چگالی متوسط دارند ۲ مولکول از ۸ مولکول خواهد بود و گزینه دو صحیح می‌باشد.

مهم‌ترین عوامل مؤثر در همانندسازی

۱- مولکول دنای دو رشته‌ای به عنوان الگو

۲- واحدهای سازنده دنا
- نوکلئوتیدهای آزاد سه فسفاته داخل یاخته که در لحظه اتصال به رشته پلی نوکلئوتید، با شکستن پیوند اشتراکی بین فسفات‌ها ← دو فسفات خود را از دست می‌دهند.
- هنگامی که در رشته قرار می‌گیرند، همواره یک فسفات هستند.

۳- آنزیم‌های لازم
- دو نوع اصلی آن
  - هلیکاز
  - دناپلیمراز
- آنزیم‌های فرعی ← قبل از شروع و در حین همانندسازی لازم هستند.

مراحل همانندسازی

۱- قبل از همانندسازی ← با کمک آنزیم‌هایی باید پیچ و تاب دنا باز و پروتئین‌های همراه آن یعنی هیستون‌ها از آن جدا شوند (هیستون مخصوص یوکاریوت‌هاست).

۲- مارپیچ دنا و دو رشته آن توسط آنزیم هلیکاز از هم باز می‌شود ← این عمل به تدریج صورت می‌گیرد و دو رشته از ابتدا کاملاً از هم جدا نمی‌شوند.

۳- انواع دیگری از آنزیم‌ها با همدیگر فعالیت می‌کنند تا رشته الگو مقابل یک رشته دنا ساخته شود. یکی از مهم‌ترین این آنزیم‌ها دنابسپاراز است.

جهت همانندسازی — همواره از نقطه یا نقاط آغاز اختصاصی شروع می‌شود ← معمولاً به صورت دو جهته و همواره از هر دو رشته دنای الگو صورت می‌گیرد.

نکات شکل

دوراهی همانندسازی

در محلی که دو رشته دنا به وسیله هلیکاز از هم جدا می‌شوند ← دو ساختار Y مانند به وجود می‌آید ← به هر کدام، یک دو راهی همانندسازی می‌گویند.

در این محل همانندسازی در دو جهت انجام می‌شود که به آن همانندسازی دوجهتی نیز می‌گویند.

ترتیب اتفاقات در فاصله بین ساختار Y

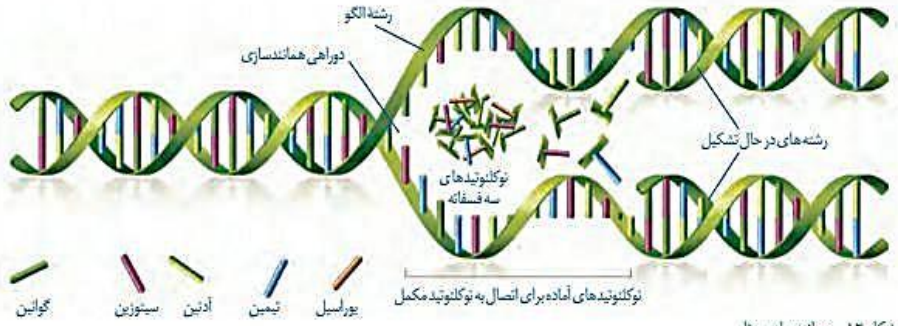
۱- شکست پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته از دو طرف توسط دو هلیکاز مختلف.

۲- قرارگیری نوکلئوتیدهای مکمل (بسته به نوع باز) روبه‌روی رشته الگو و ایجاد پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل

۳- شکسته شدن پیوند اشتراکی پرانرژی بین فسفات‌ها و ایجاد نوکلئوتید یک فسفاته جدید.

۴- تشکیل پیوند فسفودی‌استر جدید بین فسفات نوکلئوتید جدید با هیدروکسیل نوکلئوتید قبلی در همان رشته (توسط دنابسپاراز).

۵- اضافه شدن هر نوکلئوتید جدید، به نوع باز آلی مکمل آن در رشته الگو بستگی دارد.



شکل ۱۲ ـ همانندسازی دنا

اعمال آنزیم‌ها

هلیکاز

۱- شناسایی نقطه شروع همانندسازی به صورت اختصاصی

۲- باز کردن مارپیچ دنا

۳- باز کردن تدریجی دو رشته دنا با شکستن پیوند هیدروژنی

دنابسپاراز

۱- نوکلئوتیدها را براساس رابطه مکملی با دقت زیادی مقابل هم قرار می‌دهد.

۲- برقرار کردن پیوند فسفودی‌استر در همانندسازی ← فعالیت بسپارازی (پلیمرازی)

۳- پس از برقراری هم پیوند فسفودی استر، برمی‌گردد و رابطهٔ مکملی نوکلئوتیدها را بررسی می‌کند.

۴- ویرایش ← در صورت وجود نوکلئوتید جدید نادرست، پیوند فسفودی‌استر را با فعالیت نوکلئازی می‌شکند و آن را از دنا جدا می‌کند.
- سپس نوکلئوتید مناسب را قرار می‌دهد.
- ضمن این عمل، پیوند هیدروژنی آن‌ها نیز شکسته می‌شود.

به این عمل ویرایش می‌گویند.

اگر انجام نشود ← سپس ایجاد جهش‌یابی پایدار می‌شود.

نکته

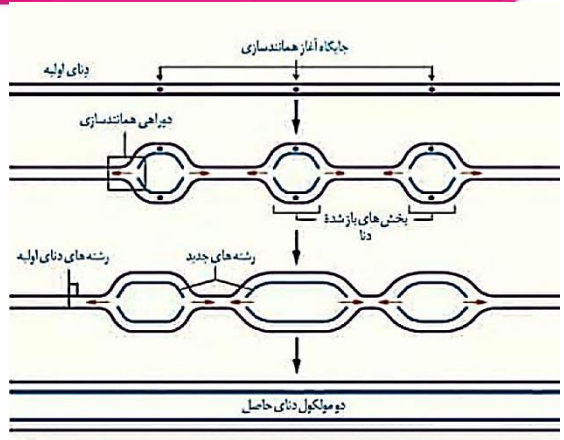
توجه داشته باشید که برگشت آنزیم دنابسپاراز در خلاف جهت همانندسازی، ارتباطی به صحیح یا غلط بودن نوکلئوتید قرار گرفته در ساختار رشته در حال ساخت ندارد و همواره در جهت بازبینی، صورت می‌پذیرد یعنی آنزیم دنابسپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی‌استر یکبار برگشت کرده و نوکلئوتید را بازبینی می‌کند که رابطه آن صحیح است یا غلط! و اگر اشتباه باشد آن را حذف کرده و نوکلئوتید صحیح را قرار می‌دهد.

نکته

فقط فعالیت نوکلئازی دنابسپاراز که سبب حذف نوکلئوتید غلط می‌شود ویرایش نامیده می‌شود و قرارگیری نوکلئوتید صحیح در برابر رشته الگو جزء فرایند ویرایش محسوب نمی‌شود.

نکته

از آنجا که همانندسازی پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها را دو جهتی در نظر می‌گیریم می‌توان گفت اولاً به ازای هر نقطه آغاز همانندسازی، ۲ راهی همانندسازی ایجاد می‌شود و اندازه حباب همانندسازی، از دو جهت، افزایش می‌یابد. ضمناً در هر دو راهی همانندسازی یک هلیکاز و دو دنابسپاراز در حال فعالیت‌اند و در حباب همانندسازی ۴ نوع نوکلئوتید، ۴ نوع باز آلی و ۱ نوع مونوساکارید [یعنی دئوکسی ریبوز] در ساختار دنا، دیده می‌شود. ضمناً در حباب همانندسازی، ۴ رشته دئوکسی ریبونوکلئوتیدی دیده می‌شود که تقریباً هم‌اندازه‌اند.

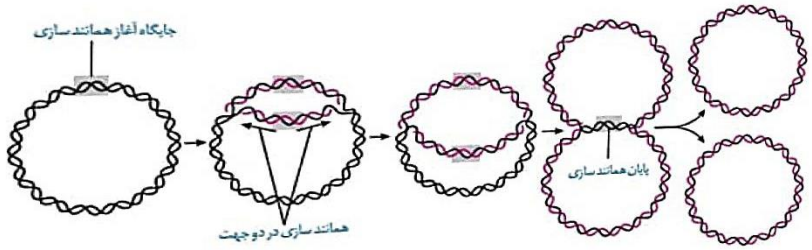


همانندسازی در پروکاریوت‌ها

- فام‌تن اصلی آن‌ها به صورت یک مولکول دنای حلقوی در سیتوپلاسم و متصل به غشای یاخته است.
- علاوه بر دنای اصلی ممکن است دنای حلقوی دیگری به نام دیسک (پلازمید) داشته باشد ← دنای کمکی به غشا متصل نیست.
- دیسک می‌تواند ویژگی‌های درگیری به باکتری بدهد، مانند افزایش مقاومت باکتری به آنتی‌بیوتیک.
- از یک نقطه همانندسازی شروع می‌شود ← دو رشته توسط دو هلیکاز به تدریج از هم باز می‌شوند ← دو راهی همانندسازی ایجاد می‌شود.
- **در هر دوراهی آن‌ها**
  - یک هلیکاز وجود دارد.
  - دو دنابسپاراز وجود دارد.
- همانندسازی آن‌ها همانند یوکاریوت‌ها دوجهته می‌باشد ← در انتها دو دوراهی در مقابل نقطه آغاز به هم می‌رسند ← همانندسازی در روبه‌روی نقطه‌ی آغاز، تمام می‌شود دو مولکول DNA حلقوی از هم جدا می‌شوند.

همانندسازی در یوکاریوت‌ها

- آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران را شامل می‌شوند.
- **انواع دنا**
  - **در فام‌تن هسته‌ای**
    - دنای خطی دارد.
    - همراه دنا، مجموعه‌ای از پروتئین‌ها (مهم‌ترین آن‌ها هیستون‌ها) قرار دارد ← سبب فشردگی دنا می‌شوند.
    - بیشتر دنای یاخته را تشکیل می‌دهد ← دنای هسته‌ای را تشکیل می‌دهند.
  - **سیتوپلاسمی**
    - مقداری از دنای یاخته را تشکیل می‌دهد.
    - حلقوی می‌باشد و دو سر آزاد ندارند.
    - در راکیزه (میتوکندری) و دیسه (پلاست) وجود دارد ← برخی فعالیت این اندامک‌ها مثل تنفس و فتوسنتز را انجام می‌دهند.
- **بسیار پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها است ← علت آن**
  - وجود مقدار زیادی دنا
  - قرار داشتن دنا در چندین فام‌تن ← دنای هر فام‌تن آن‌ها، چندین برابر دنای باکتری است.
- چندین نقطه آغاز در هر فام‌تن دارند ← تا مدت زمان همانندسازی را کاهش دهند.
- **تعداد جایگاه همانندسازی آن‌ها ← بستگی به مراحل رشد و نمو دارد و متغیر است.**
  - در مراحل مورولا و بلاستولای جنینی ← سرعت تقسیم زیاد ← تعداد جایگاه آغاز همانندسازی هم زیاد است.
  - پس از تشکیل اندام‌های جنین (انتهای سه ماه اول جنینی در انسان) ← سرعت تقسیم و تعداد جایگاه‌های آغاز کمتر می‌شود.
- به ازای هر نقطه شروع همانندسازی ← دو دوراهی همانندسازی دارند.
- به ازای هر دو راهی همانندسازی ← یک هلیکاز و دو دنابسپاراز نیاز دارند.



*** تفاوت سلول‌های یوکاریوتی و پروکاریوتی**

۱- سلول‌های یوکاریوتی دارای اندامک غشادار هستند اما پروکاریوتی خیر.

۲- سلول‌های یوکاریوتی دارای DNA خطی اصلی محور در غشا هسته هستند اما DNA اصلیِ پروکاریوتی‌ها حلقوی بوده و توسط غشا اصلی سلول محصور می‌شود.

۳- همراه DNA اصلی یوکاریوت و پروکاریوت، Pro وجود داد اما هیستون، Pro ویژه یوکاریوتهاست.

۴- ریبوزوم‌های باکتری همگی ساده هستند ولی ریبوزوم‌های سلول یوکاریوتی علاوه بر ریبوزوم‌های ساده موجود در میتوکندری و کلروپلاست دارای ریبوزوم‌های پیچیده و بزرگ‌تری در سیتوپلاسم خود هستند.

۵- باکتری‌های برخلاف سلول‌های یوکاریوتی امکان دارد که خارجِ دیواره سلولیِ خود کپسول برای حفاظت از خود و اتصال به سطوح مختلف داشته باشند.

۶- یوکاریوتی‌ها ممکن است تک سلولی یا پرسلولی باشند اما باکتری‌ها تک‌سلولی بوده و فقط می‌توانند با اتصال بهم یک ساختار پرسلولی بسازند.

۷- پروکاریوت‌ها علاوه بر DNA اصلی، دارای DNA کمکی نیز هستند اما یوکاریوت‌ها تمامی صفات درون DNA اصلیِ خطی می‌باشد و پلازمید ندارند.

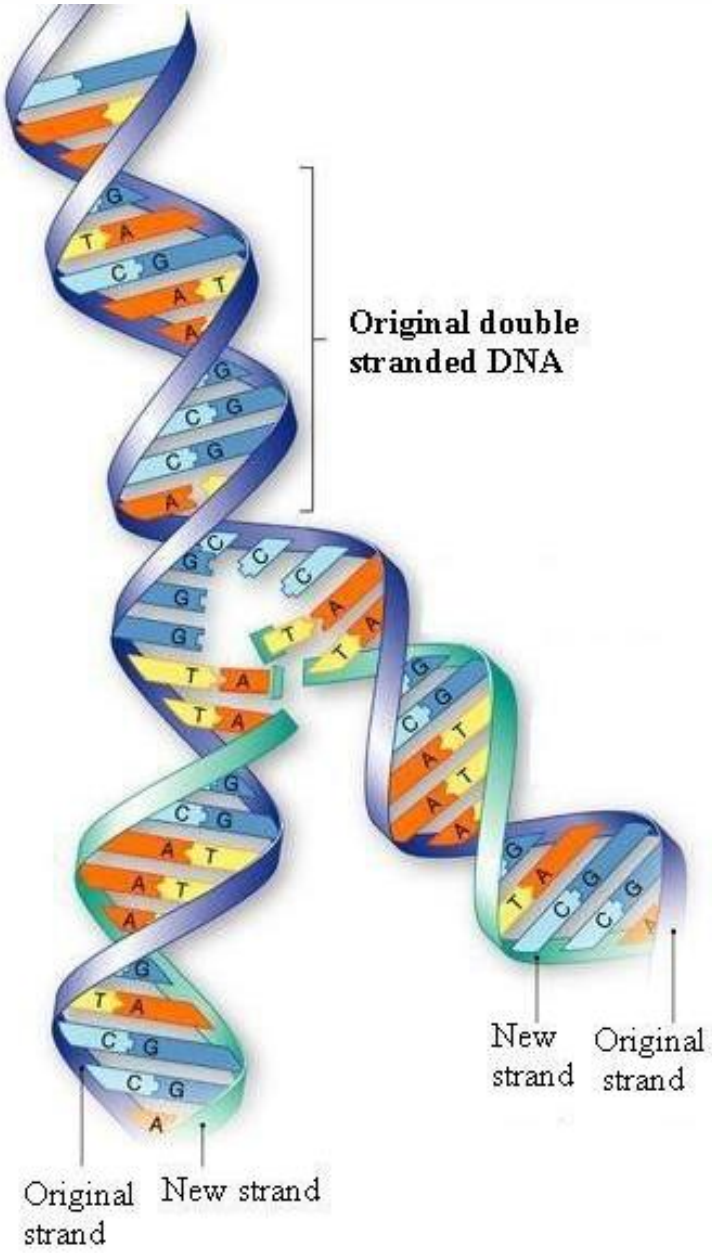
۸- تمامی DNAهای پروکاریوت‌ها به صورت حلقوی بوده اما در یوکاریوت‌ها DNAهای هسته‌ای که حاوی تمام اطلاعات سلول است خطی بوده و DNAهای سیتوپلاسمیِ درون اندامک میتوکندری و کلروپلاست، حلقوی بوده.

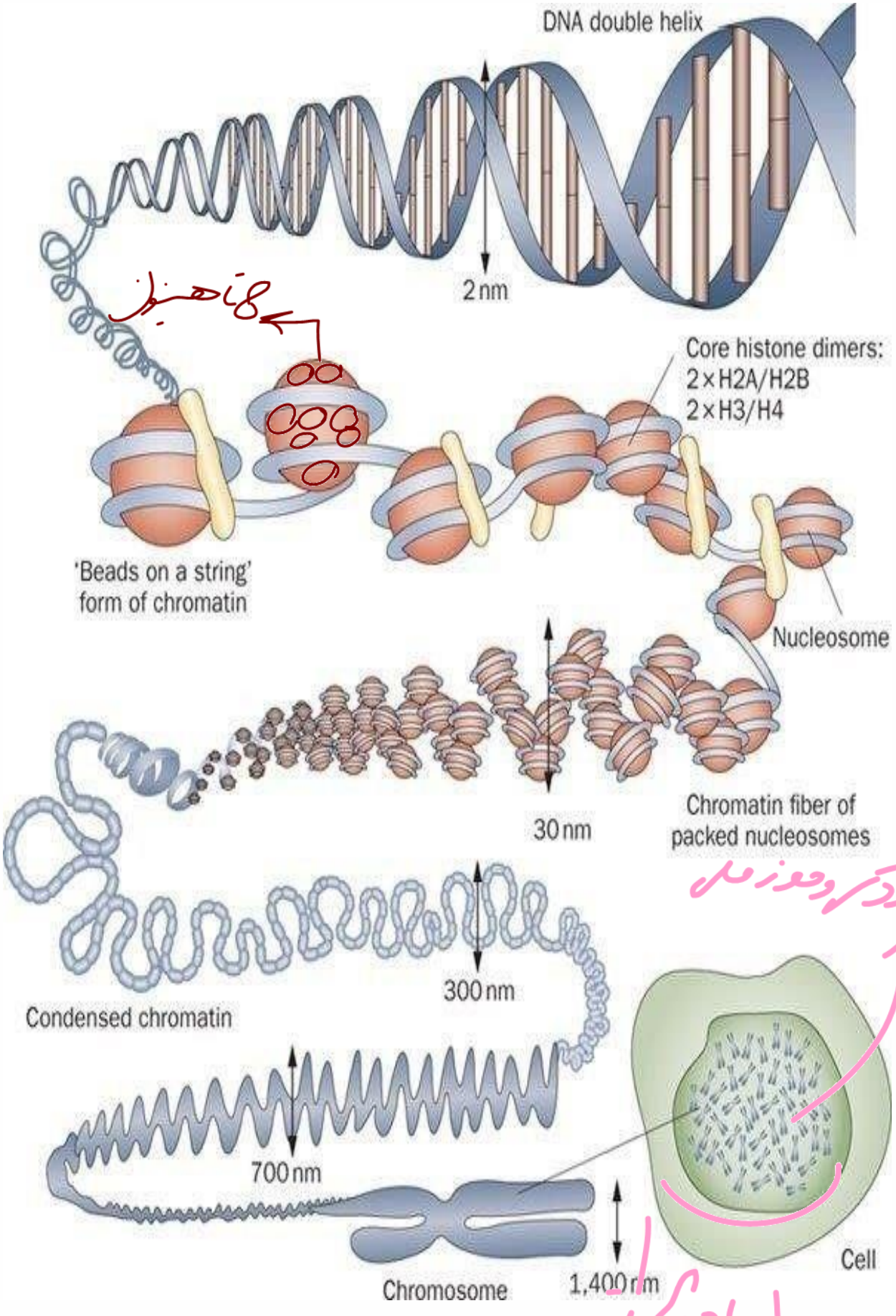
۹- DNA اصلی باکتری به بخشی از غشا سیتوپلاسمی متصل شد اما در سلول‌های یوکاریوت این‌گونه نیست.

۱۰- همانندسازیِ یوکاریوت‌ها بسیار پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها می‌باشد ← علت: در یوکاریوت‌ها تعداد DNAها بسیار زیادتر است و در چندین کروموزوم قرار دارند که هر کدام از DNAهای خطی یوکاریوت‌ها چندین برابر DNA باکتری است ← اگر مثل DNA باکتری دارای یک جایگاه شروع همانندسازی در هر کروموزوم باشد مدت زیادی برای همانندسازی نیاز است ← راه کار؟ جایگاه آغاز همانندسازی در هر فامتن چندتا می‌باشد.

۱۱- در باکتری‌ها همیشه ۱ جایگاه آغاز همانندسازی وجود دارد و تغییر نمی‌کند اما در یوکاریوت‌ها جایگاه آغاز همانندسازی تعداد بیشتری می‌باشد در هر فامتن و تعداد این جایگاه‌ها بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم می‌شود و تغییر می‌کند به عنوان مثال ابتدای تقسیم‌های سلولی (میتوز و میوز) کمتر و وقتی سرعت تقسیم سلولی زیاد می‌شود تعداد جایگاه همانندسازی هم زیاد می‌شود و هنگامی که تقسیم سلولی بخواهد کاهش یابد تعداد جایگاه‌های همانندسازی هم کاهش می‌یابد.

EX: در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا سرعت تقسیم زیاد و تعداد نقاط آغاز مورد استفاده هم زیاد اما بعد از تشکیل اندامها سرعت تقسیم‌ها یعنی تعداد نقاط آغاز کم می‌شوند.




DNA double helix
2 nm
Core histone dimers:
2 × H2A/H2B
2 × H3/H4
'Beads on a string'
form of chromatin
Nucleosome
30 nm
Chromatin fiber of
packed nucleosomes
300 nm
Condensed chromatin
700 nm
Cell
Chromosome
1,400 nm

فصل ۱
گفتار ۳: پروتئین‌ها

پروتئین‌ها

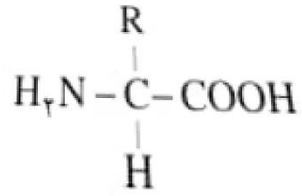
نکات

- از جمله مولکول‌هایی هستند که نقش بسیار مهمی در فرایندهای یاخته‌ای دارند (برخلاف دنا و رنا، به ذخیره و انتقال اطلاعات کمک نمی‌کنند).
- متنوع‌ترین گروه مولکول‌های زیستی از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی هستند.
- نوع، ترتیب و تعداد آمینواسیدهای آن ← ساختار آن را ایجاد می‌کند ← شکل فضایی آن ← نوع عمل آن را مشخص می‌کند.
- یکی از راه‌های پی بردن به شکل پروتئین ← استفاده از پرتو X است.
- با استفاده از تصاویر حاصل از پرتو X و روش‌های دیگر ← محققین به ساختار سه بعدی پروتئین‌ها پی می‌برند ← به کمک پرتو X ، حتی جایگاه هر اتم را می‌توانند مشخص کنند.
- اولین پروتئینی که ساختار آن مشخص شد، میوگلوبین بود.
- میوگلوبین از یک رشته پلی پپتیدی تشکیل شده است ← ساختار نهایی آن، ساختار سوم می‌باشد ← در یاخته ماهیچه‌ای به ذخیره آهن و اکسیژن می‌پردازد.
- هر نوع پروتئین، ترتیب خاصی از آمینواسیدها را دارد که با استفاده از روش‌های شیمیایی، آمینواسیدها را جدا و آن‌ها را شناسایی می‌کنند.

ساختار آمینواسیدها

- پروتئین‌ها، بسپارهایی از آمینواسیدها هستند ← واحدهایی متشکل از اتم‌های کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن (برخی از آن‌ها، عناصر دیگری هم دارند).
- نوع، تعداد و ترتیب آمینواسیدها در پروتئین، ساختار و عمل آن‌ها را مشخص می‌کند.
- متشکل از:
  - یک گروه آمین (NH_2) ← در سمت چپ
  - یک گروه اسیدی کربوکسیل $(COOH)$ ← در سمت راست
  - یک اتم هیدروژن
  - یک گروه R (از اتم‌های مختلف)

  ← همگی به یک اتم کربن مرکزی متصلند.
- گروه R در آمینواسیدهای مختلف، متفاوت است و ویژگی‌های منحصر به فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.
- هر آمینواسید به دلیل ماهیت شیمیایی گروه R ، در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد.
- در طبیعت، آمینواسیدهای گوناگونی وجود دارد ولی فقط ۲۰ نوع آن‌ها در ساختار پروتئین‌ها به کار می‌روند.



ساختارهای پروتئین‌ها

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 صفحه دیده می‌شود.

سوم: با برقراری پیوند آب گریز بین گروه‌های R تشکیل شده و با انواع پیوندهای یونی، هیدروژنی و اشتراکی تثبیت می‌شود و ساختار نهایی پروتئین‌های تک‌زنجیره‌ای محسوب می‌شود.

چهارم: ساختار نهایی پروتئین‌هایی است که بیش از یک زنجیره پلی پپتیدی دارند.

پیوند پپتیدی

- پیوند از نوع اشتراکی بین دو آمینواسید مجاور می‌باشد که با حضور آنزیم و خروج یک مولکول آب طی فرایند سنتز آبدهی شکل می‌گیرد.
- پیوند اشتراکی بین آمینواسیدهای مجاور هم را پیوند پپتیدی می‌گویند.

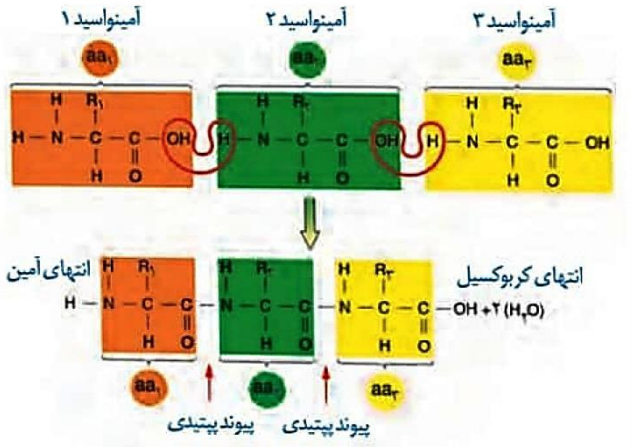
برای تشکیل پیوند پپتیدی

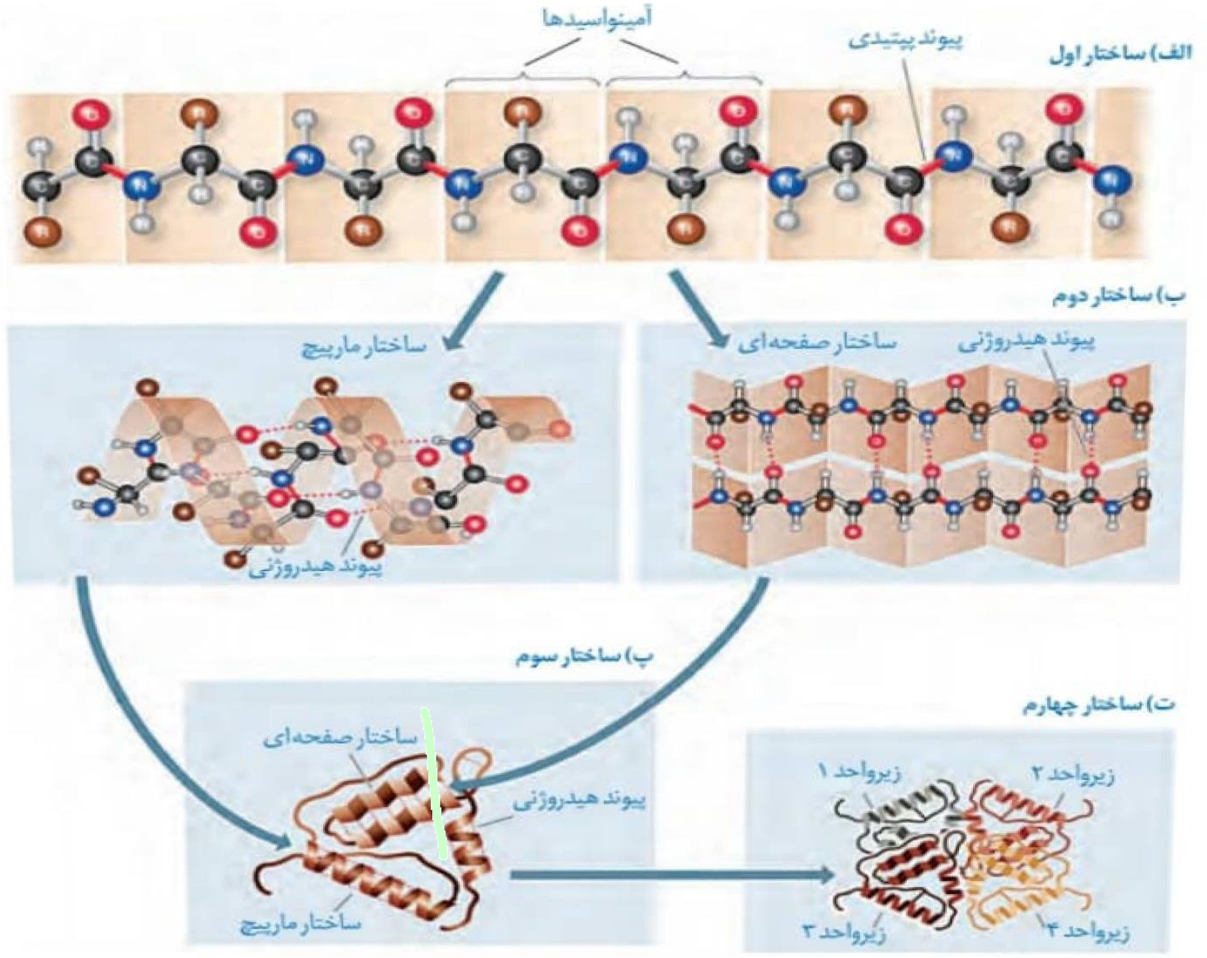
- عامل کربوکسیل آمینواسید و عامل آمین از آمینواسید بعدی نقش دارند.
- گروه هیدروکسیل (OH) از عامل کربوکسیل آمینواسید اول جدا می‌شود.
- یک اتم H از عامل آمینی (NH_2) آمینواسید بعدی نیز جدا می‌شود.
  - یک مولکول H_2O آزاد می‌شود.
  - یک پیوند اشتراکی $(-C(=O)-NH-)$ به نام پپتیدی تشکیل می‌شود.

- وقتی تعدادی آمینواسید با پیوند پپتیدی به هم متصل می‌شوند ← به زنجیره آمینواسید حاصل، پلی پپتید گویند.
- یک یا چند زنجیره بلند و بدون شاخه از پلی‌پپتید ← تشکیل یک پروتئین می‌دهد.

هر پروتئین

- ترتیب خاصی از آمینواسیدها را دارد.
- شکل‌دهی آن به نوع هر آمینواسید و گروه R آن بستگی دارد.





نکته شکل

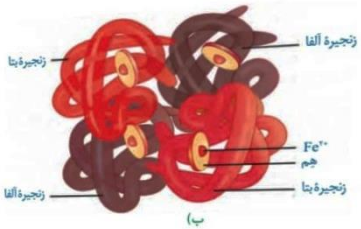
رمز = DNA ... توالی 3 نوکلئوتیدی از رشته ...

رمز (کدون) = mRNA ... ...

UGA
UAG
UAA

64 نوع رمز
64 نوع رمزه − 3 کدون پایان = 61 کدون
61 نوع رمزه ⇐ و نوع رمزه پپتیدی قابل ترجمه

(الف)



(ب)

سطوح ساختاری پروتئین‌ها

- از چهار ساختار تشکیل شده است ← هر ساختار ← مبنای تشکیل ساختار بالاتر از خود است.

ساختار اول (والی آمینواسیدها)

- نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار اول پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند.
- این ساختار خطی است و با تشکیل پیوند اشتراکی از نوع پپتیدی شکل می‌گیرد.
- تغییر آمینواسید در هر جایگاه، موجب تغییر در ساختار اول می‌شود.
- تغییر آمینواسید ممکن است فعالیت آن را تغییر دهد.
- عدم محدودیت در توالی آمینواسیدها ← موجب تنوع بسیار زیاد پروتئین‌ها می‌شود.
- همه سطوح دیگر ساختاری پروتئین‌ها به این ساختار بستگی دارد.
- پیوند پپتیدی آن ← بین عوامل کربوکسیل و آمینی دو آمینواسید مجاور صورت می‌گیرد.

ساختار دوم (الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی)

- بین بخش‌هایی از زنجیره پلی‌پپتیدی ← می‌تواند پیوند هیدروژنی برقرار شود.
- به چند صورت دیده می‌شود. دو نوع معروف آن‌ها:
  - ساختار مارپیچ (در هر رشته هموگلوبین دیده می‌شود.)
  - ساختار صفحه‌ای
- همه آمینواسیدها در تشکیل پیوند هیدروژنی شرکت نمی‌کنند.
- پیوند هیدروژنی بین H عامل آمینی (NH) با اکسیژن عامل کربوکسیلی ($\overset{O}{\overset{\|}{C}}$) برخی آمینواسیدها صورت می‌گیرد.
- اولین تاخوردگی مولکول در این ساختار دیده می‌شود.

ساختار سوم (تاخورده و متصل به هم)

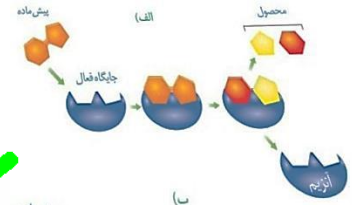
- در اثر تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها رخ می‌دهد و پروتئین‌ها به شکل کروی درمی‌آیند.
- نحوه تشکیل در اثر برهم کنش‌های آب گریز می‌باشد ← نزدیک شدن گروه R آمینواسیدهایی که آب‌گریز هستند:
  - به هم نزدیک می‌شوند.
  - تا در معرض آب نباشند.
- این ساختار با تشکیل پیوندهای هیدروژنی، اشتراکی و یونی تثبیت می‌شود.
- مجموع این نیروها ← سبب پیچیده شدن و کنار هم قرار گرفتن قسمت‌های مختلف پروتئین می‌شود.
- پیوند اشتراکی در این ساختار برخلاف ساختار اول از نوع پپتیدی نمی‌باشد.
- ایجاد تغییر در پروتئین، حتی تغییر یک آمینواسید (جهش جانشینی در ژن سازنده آن‌ها) هم می‌تواند ساختار و هم عملکرد را به شدت تغییر دهد.
- مثال پروتئین با ساختار سوم: میوگلوبین ← یک گروه غیرآلی هم ← یک آهن ← یک O_2 دارد.

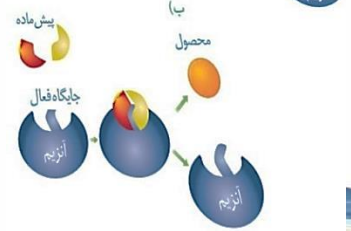
ساختار چهارم (آرایش زیرواحدها)

- بعضی پروتئین‌ها ساختار چهارم را دارند ← باید بیش از یک زنجیره پلی پپتید داشته باشند.
- دو یا چند زنجیره پلی‌پپتیدی در کنار هم این ساختار را تشکیل می‌دهند ← نحوه آرایش زیرواحدها سبب ساختار چهارم می‌شود.
- هر یک از زنجیره‌ها نقش کلیدی در شکل‌گیری پروتئینی دارد.

مثال این ساختار: هموگلوبین که ۴ زنجیره دارد

- ۲ زنجیره از نوع آلفا
- ۲ زنجیره از نوع بتا
  - ۴ گروه هم و آهن
- هر زنجیر ترتیب خاصی از آمینواسیدها ← در ساختار اول دارد.
- شکل مارپیچی اولیه ← در ساختار دوم دارد.
- هر زیرواحد تاخورده با شکل خاص کروی سه بعدی ← ساختار سوم دارد.
- قرارگیری چهار زیر واحد کنار هم ← ساختار چهارم را ایجاد می‌کند.





انواع نقش پروتئین‌ها

۱- آنزیمی ← به صورت کاتالیزورهای زیستی عمل می‌کنند ← سرعت واکنش شیمیایی خاصی را افزایش می‌دهند.

۲- گیرنده سطح یاخته ← به طور مثال گیرنده‌های آنتی‌ژنی در سطح لنفوسیت‌ها نمونه‌ای از این‌هاست (پلاسموسیت‌ها، گیرنده آنتی‌ژنی ندارند).

۳- انتقال دهنده ← مانند هموگلوبین که گاز تنفسی را منتقل می‌کند.

۴- پمپ سدیم - پتاسیم ← ۲ نوع فعالیت دارد
- ۱- نقش آنزیمی ← خاصیت هیدرولیز ATP دارد.
- ۲- نقش جابه‌جایی یون‌های سدیم و پتاسیم در عرض غشا

۵- ساختاری ← مثل کلاژن که باعث استحکام بافت پیوندی می‌شوند ← زردپی، رباط، لایه درم پوست و استخوان‌ها مقدار فراوانی از آن را دارند.

۶- انقباض ← انقباض ماهیچه‌ها نیز ناشی از حرکت لغزشی دو نوع پروتئین روی یکدیگر یعنی اکتین و میوزین است.

۷- نشانه‌ای (پیام‌آور) ← بیشترهورمون‌ها پروتئینی هستند ← مانند اکسی‌توسین و انسولین

۸- تنظیمی ← مثل مهارکننده‌ها و فعال‌کننده‌ها که نقش تنظیمی در فعال و غیرفعال کردن ژن‌ها برعهده دارند.

آنزیم‌های پروتئینی

نکات
- سوخت و ساز یا همان انجام واکنش‌ها در بدن موجود زنده را انجام می‌دهند.
- در صورتی یک واکنش شیمیایی سرعت مناسب می‌گیرد که ← انرژی فعال‌سازی (انرژی اولیه) کافی داشته باشد.
- **فعالیت آنزیم**
  - افزایش امکان برخورد مناسب مولکول‌های پیش‌ماده را فراهم می‌کنند.
  - کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش را سبب می‌شوند.
- سرعت واکنش‌های انجام‌شدنی را زیاد می‌کند.
- بعضی مواد سمی مانند سیانید و آرسنیک با قرار گرفتن در جایگاه فعال آنزیم مانع فعالیت آن می‌شوند. ← بعضی از این مواد به همین طریق باعث مرگ می‌شوند.
- بدون آنزیم ← سوخت و ساز یاخته‌ها در دمای بدن بسیار کند می‌شود ← انرژی لازم برای حیات تأمین نمی‌شود.

محل تولید در یوکاریوت‌ها
- ریبوزوم آزاد در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم ← آنزیم‌های هسته، ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم، میتوکندری و کلروپلاست را می‌سازد.
- ریبوزوم شبکه آندوپلاسمی ← به دستگاه گلژی می‌رود ← پس از بسته‌بندی
  - آنزیم غشایی می‌شود (پمپ سدیم - پتاسیم).
  - اگزوسیتوز می‌شوند ← آنزیم گوارشی
  - آنزیم لیزوزوم و واکوئول را می‌سازند.

محل فعالیت
- درون یاخته ← مانند آنزیم‌های مؤثر در تنفس یاخته‌ای، فتوسنتز، همانندسازی، رونویسی، ترجمه، گلیکولیز
- بیرون یاخته ← مانند آنزیم‌های ترشحی دستگاه گوارش مانند آمیلاز بزاق و لیپاز
- سطح غشای یاخته ← مانند پمپ سدیم- پتاسیم
- صفرا و موسین لوله گوارش نقش آنزیمی ندارد.

ساختار
- بیشتر آنزیم‌ها پروتئینی هستند و بعضی غیرپروتئینی هستند، مانند rRNA در ریبوزوم
- هر نوع آنزیم پروتئینی و RNAای، در ساختار خود بخشی به نام جایگاه فعال دارند که بخش اختصاصی اتصال به پیش‌ماده است.
- پیش ماده ← ترکیباتی که آنزیم‌ها روی آن عمل می‌کنند.
- محصول (فراورده) ← ترکیباتی که حاصل فعالیت آنزیم هستند.
- **بعضی آنزیم‌ها برای فعالیت به ماده‌ای نیاز دارند.**
  - کوآنزیم ← مواد آلی مثل ویتامین‌ها یا کوآنزیم A در تنفس هوازی
  - یون‌های فلزی مانند مس و آهن

عملکرد اختصاصی
- آنزیم روی یک یا چند پیش ماده خاص مؤثر است (عمل اختصاصی آنزیم).
- شکل آنزیم در جایگاه فعال با شکل پیش‌ماده یا بخشی از آن مطابقت دارد (مکمل یکدیگرند).
- برخی از آن‌ها بیش از یک نوع واکنش را سرعت می‌بخشند ← مثلاً دنابسپاراز هم فعالیت نوکلئازی و هم فعالیت پلیمرازی (بسپارازی) دارد.
- در همه واکنش‌های شیمیایی بدن جانداران شرکت می‌کنند و سرعت واکنش را زیاد می‌کنند ← انرژی فعال‌سازی را کاهش می‌دهند.
- در پایان واکنش دست‌نخورده باقی می‌مانند (بارها از آن‌ها استفاده می‌شود)، به همین دلیل یاخته‌ها به مقدار کم به آنزیم‌ها نیاز دارند.
- به مرور مقداری از آن‌ها از بین می‌روند و یاخته آن را می‌سازد.
- **تغییر در ساختار آنزیم‌ها**
  - اگر سبب تغییر در جایگاه فعال شود ← احتمال تغییر عملکرد آنزیم بسیار زیاد است.
  - اگر در جایی دور از جایگاه فعال باشد ← به طوری که روی عمل آن اثر نگذارد ← احتمال تغییر در عملکرد آنزیم را کم و یا حتی صفر می‌کند.

عوامل مؤثر بر فعالیت آنزیم

- **pH**
  - pH بیشتر مایعات بدن بین ۶ و ۸ است (pH = ۷/۴ خون، pH = ۲ ترشحات معده).
  - هر آنزیم در یک pH ویژه بهترین فعالیت را دارد که به آن pH بهینه می‌گویند.
  - pH بهینه پپسین ۲ و pH بهینه آنزیم‌های لوزالمعده ۸ می‌باشد.
  - تغییر pH محیط با تأثیر بر پیوندهای شیمیایی باعث تغییر شکل و تغییر فعالیت آنزیم می‌شود ← امکان اتصال آنزیم به پیش‌ماده کم می‌شود.
- **دما**
  - بهترین فعالیت آنزیم‌های بدن در ۳۷ درجه است (به جز آنزیم‌های درون کیسه بیضه که در دمای ۳۴ °C فعالیت بهینه دارند).
  - آنزیم‌ها در دمای بالاتر، شکل غیرطبیعی یا برگشت‌ناپذیر پیدا می‌کنند و غیرفعال می‌شوند.
  - آنزیم‌هایی که در دمای پایین غیرفعال می‌شوند، با برگشت دما به حالت طبیعی، می‌توانند به حالت فعال برگردند.
- **غلظت آنزیم و پیش ماده**
  - مقدار بسیار کم آنزیم برای تبدیل مقدار زیادی پیش‌ماده به فراورده در واحد زمان، کافی است.
  - افزایش مقدار آنزیم در بدن ← تولید فرآورده در واحد زمان افزایش می‌یابد.
  - **افزایش غلظت پیش‌ماده آنزیم**
    - در صورت وجود مقدار مناسب آنزیم ← سرعت واکنش زیاد و تولید محصول بیشتر می‌شود.
    - اگر با محدودیت آنزیم‌ها، سبب اشباع جایگاه فعال شود ← سرعت واکنش پس از اشباع آنزیم‌ها ثابت می‌شود.

نمودارها

نکته

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

نکته

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 پیش‌ماده از بین برود، در نتیجه میزان فعالیت آن تغییر می‌کند.

نکته

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

نکته

مقدار بسیار کمی از آنزیم کافی است تا مقدار زیادی از پیش‌ماده را در واحد زمان به فرآورده تبدیل کند. اگر مقدار آنزیم زیادتر شود تولید فراورده در واحد زمان افزایش می‌یابد. افزایش غلظت پیش‌ماده 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 پیش‌ماده اشغال شوند. در این حالت سرعت انجام واکنش ثابت می‌شود.

نکته

همه آنزیم‌ها می‌توانند با کاهش فعال‌سازی، سرعت انجام یک واکنش را افزایش دهند اما توجه داشته باشید که هیچ آنزیمی نمی‌تواند واکنش‌های انجام نشدنی را به انجام برساند!

نکته

نمی‌توان گفت همه آنزیم‌ها پروتئینی بوده و در ساختار خود آمینواسید دارند چون بعضی از مولکول‌های رنا دارای نقش آنزیمی‌اند اما می‌توان گفت بیشتر آنزیم‌ها از جنس پروتئین بوده، دارای ۲۰ نوع آمینواسید به عنوان مونومرند و در بین مونومرهای خود پیوند پپتیدی دارند.

نکته

بعضی از آنزیم‌ها از جنس رِنا بوده و در ساختار خود ۴ نوع نوکلئوتید به عنوان مونومر و پیوند فسفودی‌استر دارند.

نکته

هرچند آنزیم‌ها حین انجام واکنش‌ها دست‌نخورده باقی می‌مانند و بارها قابل استفاده‌اند اما دارای طول عمر مشخص‌اند و به مرور مقداری از آنها از بین می‌روند.

نکته

هرچند قرارگیری آنزیم در دمای بالا ممکن است سبب برگشت‌ناپذیری غیرطبیعی عملکرد آن شود. اما قرارگیری آنزیم در دمای پایین سبب غیرفعال شدن آن به شکل برگشت‌ناپذیر نمی‌شود یعنی با برگشت دما به حالت طبیعی آنزیم می‌تواند به حالت فعال برگردد.

نکته

تغییرات شدید pH و افزایش شدید دما می‌تواند سبب تغییر شکل آنزیم و تغییر شکل جایگاه فعال آن شده و آنزیم را به شکل برگشت‌ناپذیر، غیرفعال کند.

نکته

از آنجا که آنزیم نوکلئوتیدی و هورمون لیپیدی نیز وجود دارد، می‌توان گفت بیشتر آنزیم‌ها و هورمون‌ها پروتئینی هستند نه همه آن‌ها. همچنین چون آنزیم از جنس RNA داریم، می‌توان گفت درون سلول آنزیم دارای مونوساکارید یا پیوند فسفودی‌استر یا یوراسیل و سیتوزین وجود دارد اما آنزیم تیمین‌دار یا دئوکسی ریبوزدار نداریم.

نکته

هرچند پروتئین فقط در سیتوپلاسم ساخته می‌شود اما نمی‌توان گفت محل ساخت هر آنزیم فقط سیتوپلاسم است چون آنزیم‌های از جنس رنا در هسته تولید می‌شوند.

فعالیت‌ها

توجه داشته باشید بروز تب بالا به دلیل اثری که بر فعالیت آنزیم‌ها داشته و می‌تواند سبب اختلال در عملکرد آنها شود، برای بیماران خطرناک است.

✓ **همه آنزیم‌ها ..... .**

۱) روی یک پیش‌ماده خاص اثر می‌گذارند.

۲) در دمای بالای ۳۷ درجه، شکل غیرطبیعی می‌یابند.

۳) در پایان واکنش‌ها، دست‌نخورده باقی می‌مانند.

۴) در محیط‌های اسیدی، غیرفعال می‌شوند.

پاسخ:

چون همه آنزیم‌ها در پایان واکنش‌ها دست‌نخورده باقی می‌مانند گزینه سه صحیح است. گزینه یک نادرست است چون کتاب درسی عنوان کرده است که هر آنزیم روی یک یا چند پیش‌ماده (سوبسترا) خاص اثر می‌گذارد گزینه دو نادرست است چون در کتاب درسی ذکر شده است که آنزیم‌های بدن ممکن است در دمای بالا شکل غیرطبیعی یا برگشت‌ناپذیر پیدا کرده و غیرفعال شوند و گزینه چهار نیز نادرست است چون بعضی از آنزیم‌ها مثل پپسین معده در محیطی با pH حدود ۲ حداکثر فعالیت خود را دارند.

تست کده

۱- در یک مولکول DNA، تعداد ..... کمتر از سایرین است. (سراسری- ۸۹)

۱) بازهای پورینی
۲) پیوندهای هیدروژنی
۳) قندهای دئوکسیریبوز
۴) پیوندهای فسفودی استر

۲- در هیچ کدام از باکتری‌ها، امکان ..... وجود ندارد. (سراسری- ۹۱)

۱) دریافت ماده ژنتیکی از محیط خارج
۲) اتصال مولکول DNA به غشای پلاسمایی
۳) اضافه شدن ویژگی در اثر DNA غیراصلی
۴) تقسیم شدن پس از تکثیر ریزلوله‌ها

۳- مولکول DNA را در نظر بگیرید که در ساختار هر دو زنجیره آن، ماده رادیواکتیو به کار رفته است. اگر در همانندسازی نیمه حفاظتی این مولکول برای سه نسل متوالی در محیطی کشت داده شود که فاقد ماده رادیواکتیو می‌باشد، در این صورت ..... از مولکول‌های حاصل ..... . (سراسری خارج- ۹۱)

۱) نیمی- غیر رادیواکتیو می‌باشند.
۲) نیمی- یک زنجیره رادیواکتیو دارند.
۳) یک چهارم، غیررادیواکتیو می‌باشند.
۴) یک چهارم، یک زنجیره رادیواکتیو دارند.

۴- چند مورد، عبارت مقابل را به صورت مناسب کامل می‌کند؟ «در سیرابی گوسفند برای هضم نوعی ماده آلی، نوعی آنزیم استفاده می‌شود. این آنزیم فقط .....» (سراسری- ۹۶)

*** می‌تواند توسط جانداری با هسته مشخص و سازمان یافته تولید شود.**
*** بر مولکولی رشته‌ای و بدون انشعاب تأثیر می‌گذارد.**
*** نسبت به تغییرات شدید pH محیط حساس است.**
*** نوعی واکنش سنتز آب‌دهی را به انجام می‌رساند.**

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

۵- کدام عبارت، درباره اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد، صحیح است؟(سراسری- ۹۸)

۱) در تشکیل ساختار نهایی آن فقط نوع پیوند دخالت دارد.

۲) با تغییر یک آمینواسید، ساختار و عملکرد آن می‌تواند به شدت تغییر یابد.

۳) هر یک از زنجیره‌های پلی پپتیدی آن، به صورت یک ریز واحد ناخورده است.

۴) با دارا بودن رنگدانه‌های فراوان، توانایی ذخیره انواعی از گازهای تنفسی را دارد.

۶- کدام گزینه، عبارت زیر را به طور مناسب کامل می‌کند؟(سراسری- ۹۸)

«در جاندارانی که عامل اصلی انتقال صفات وراثتی به غشای یاخته، متصل ..... وجود دارد.»

۱) است. فقط پروتئین‌های هیستونی همراه با دنا (DNA)ی آن‌ها

۲) نیست. فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در دنا (DNA)ی آن‌ها

۳) نیست. در دو انتهای هر یک از رشته‌های این عامل، ترکیباتی متفاوت

۴) است. در ساختار هر واحد تکرارشونده دنا (DNA)ی آن‌ها. پیوند فسفودی‌استری

۷- کدام گزینه، عبارت مقابل را به طور مناسب کامل می‌کند؟ (سراسری خارج- ۹۸)

«در جاندارانی که عامل اصلی انتقال صفات وراثتی، به غشای یاخته متصل .....»

۱) نیست. در هر فام‌تن، جایگاه‌های آغاز همانندسازی متعددی به وجود آید.

۲) است، در ساختار هر واحد تکرارشونده دنای (DNA)ی آن‌ها، پیوند فسفودی‌استری وجود دارد.

۳) است. با جدا شدن دو گروه فسفات از انتهای رشته پلی‌نوکلئوتیدی دنا (DNA)، نوکلئوتید جدید به آن اضافه می‌شود.

۴) نیست. آنزیم دورکننده دو رشته دنا (DNA) از یکدیگر، می‌تواند نوکلئوتیدها را براساس رابطه مکملی نوکلئوتیدهای رشته الگو قرار دهد.

۸- کدام عبارت، درباره اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد، نادرست است؟(سراسری خارج- ۹۸)

۱) در بخش‌هایی از این مولکول، ساختارهای متنوعی وجود دارد.

۲) ساختار نهایی آن با تشکیل بیش از یک نوع پیوند، تثبیت می‌شود.

۳) هر یک از زنجیره‌های پلی‌پپتیدی آن، به صورت یک زیرواحد تاخورده است.

۴) با تغییر یک آمینواسید، ممکن است ساختار و عملکرد آن به شدت تغییر یابد.

۹- کدام مورد برای تکمیل عبارت مقابل نامناسب است؟ «نوعی آنزیم می‌تواند .....» (سراسری- ۹۹)

۱) با کمک فرایندی انرژی‌زا، نوعی واکنش انرژی‌خواه را به انجام رساند.

۲) پیوندی را که در یک مرحله ایجاد کرده است، در مرحله دیگری بشکند.

۳) از طریق کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش‌های انجام نشدنی را ممکن سازد.

۴) از طریق اتصال با مولکول‌های دیگر، تمایل خود را به پیش‌ماده تنظیم کند.

۱۰- در ارتباط با هر مولکول حامل اطلاعات وراثتی در هوهسته‌ای (یوکاریوت)ها، کدام مورد صحیح است؟(سراسری- ۹۹)

۱) هر رشته آن دو سر متفاوت دارد.

۲) همانندسازی آن در دو جهت انجام می‌گیرد.

۳) واحدهای سه بخشی آن توسط نوعی پیوند به هم متصل می‌شوند.

۴) تعداد جایگاه‌های همانندسازی آن بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم می‌شود.

۱۱- کدام عبارت درباره ساختار پروتئین قرمزرنگ موجود در تار ماهیچه‌ای کند انسان صحیح است؟(سراسری- ۹۹)

۱) بخشی که دارای آهن مرکزی است، جزئی از زنجیره پپتیدی آن محسوب می‌شود.

۲) زنجیره‌های ناخورده آن، از طریق پیوندهای غیراشتراکی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.

۳) همه آمینواسیدهای موجود در ساختار دوم، از طریق پیوند هیدروژنی با یکدیگر ارتباط دارند.

۴) در یک زنجیره، گروه CO آمینواسید به گروه NH آمینواسید غیرمجاورش نزدیک و پیوند برقرار می‌نماید.

۱۲- چند مورد، ارتباط با هر مولکول حامل اطلاعات وراثتی در هوهسته‌ای (یوکاریوت)ها صحیح است؟ (سراسری خارج- ۹۹)

الف) بیش از یک جایگاه آغاز همانندسازی دارد.

ب) مطابق با یکی از سه طرح پیشنهادی، همانندسازی می‌نماید.

ج) در ساختار بدون انشعاب خود، واحدهای سه بخشی دارد.

د) در پی جدا شدن پروتئین‌های همراه خود، آماده همانندسازی می‌شود.

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

۱۳- کدام گزینه، عبارت مقابل را به طور مناسب کامل می‌کند؟(سراسری خارج- ۹۹)

«در یک یاخته گیاهی برگ، در زمانی که نخستین مقدمات تقسیم میان‌یاخته (سیتوپلاسم) فراهم می‌گردد ..... .»

۱) پوشش هسته‌ای در اطراف هر مجموعه کروموزومی بازسازی می‌شود.

۲) فام‌تن (کروموزوم)های کوتاه و فشرده شد و شروع به بار شدن می‌نمایند.

۳) رشته‌های دوک به فام‌تن (کروموزوم)های تک کروماتیدی اتصال دارند.

۴) فام‌تن (کروموزوم)های غیرهم‌ساخت در وسط یاخته به صورت ردیف درمی‌آیند.

۱۴- کدام عبارت، درباره ساختار پروتئین قرمزرنگ موجود در تارماهیچه‌ای کند انسان صحیح است؟(سراسری خارج- ۹۹)

۱) زنجیره‌های ناخورده آن، از طریق پیوندهای غیراشتراکی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.

۲) به منظور اتصال به گاز تنفسی، تعدادی اتم آهن مرکزی در بخش پپتیدی زنجیره خود دارد.

۳) همه واحدهای ساختاری موجود در ساختار دوم، از طریق پیوند هیدروژنی با یکدیگر ارتباط دارند.

۴) به دنبال ایجاد نوعی از الگوهای پیوند هیدروژنی، بخشی از زنجیره پلی‌پپتیدی آن تغییر جهت پیدا می‌کند.

۱۵- چند مورد، برای تکمیل عبارت مقابل مناسب است؟ «در انسان، نوعی آنزیم می‌تواند .....» (سراسری خارج- ۹۹)

الف) پیوندی را که در یک مرحله ایجاد کرده است. در مرحله دیگری بشکند.

ب) با کمک فرایندی انرژی‌زا، نوعی واکنش انرژی‌خواه را به انجام رساند.

ج) از طریق اتصال با مولکول‌های دیگر، تمایل خود را به پیش‌ماده تنظیم کند.

د) از طریق کاهش انرژی فعال‌سازی، واکنش‌های انجام نشدنی را ممکن سازد.

۱) ۱ مورد

۲) ۲ مورد

۳) ۳ مورد

۴) ۴ مورد

۱۶- چند مورد، درباره هر نوکلئوتید موجود در بدن یک فرد سالم صحیح است؟(سراسری - ۱۴۰۰)

الف) باز آلیِ تک حلقه‌ای یا دو حلقه‌ایِ 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

۱۷- در ارتباط با فرایند همانندسازی در یوکاریوت‌ها، چند مورد صحیح است؟ (سراسری - ۱۴۰۰)

الف) آنزیمی که از وقوع جهش در ماده ژنتیکی ممانعت به عمل می‌آورد، می‌تواند نوکلئوتیدها را به صورت تک‌فسفاته به رشته پلی‌نوکلئوتیدی متصل نماید.

ب) آنزیمی که باعث جدا شدن هیستون‌ها از مولکول دنا (DNA) می‌شود، مارپیچ دنا (DNA) و دو رشته آن را از هم جدا می‌کند.

ج) آنزیمی که نوکلئوتیدها را به صورت مکمل به روبه‌روی هم قرار می‌دهد، انرژی فعال‌سازی واکنش را کاهش می‌دهد.

د) آنزیمی که پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته مکمل را برقرار می‌کند، تنها آنزیم دوراهی همانندسازی محسوب می‌شود.

۱) ۱

۲) ۲

۳) ۳

۴) ۴

پاسخنامه

۱) ۱

۲) ۴

۳) ۴

۴) ۱

۵) ۲

۶) ۳

۷) ۱

۸) ۳

۹) ۳

۱۰) ۳

۱۱) ۴

۱۲) ۱

۱۳) ۳

۱۴) ۴

۱۵) ۳

۱۶) ۱

۱۷) ۲

بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

زیست‌شناسی (۳)

رشتهٔ علوم تجربی

پایهٔ دوازدهم

دورهٔ دوم متوسطه

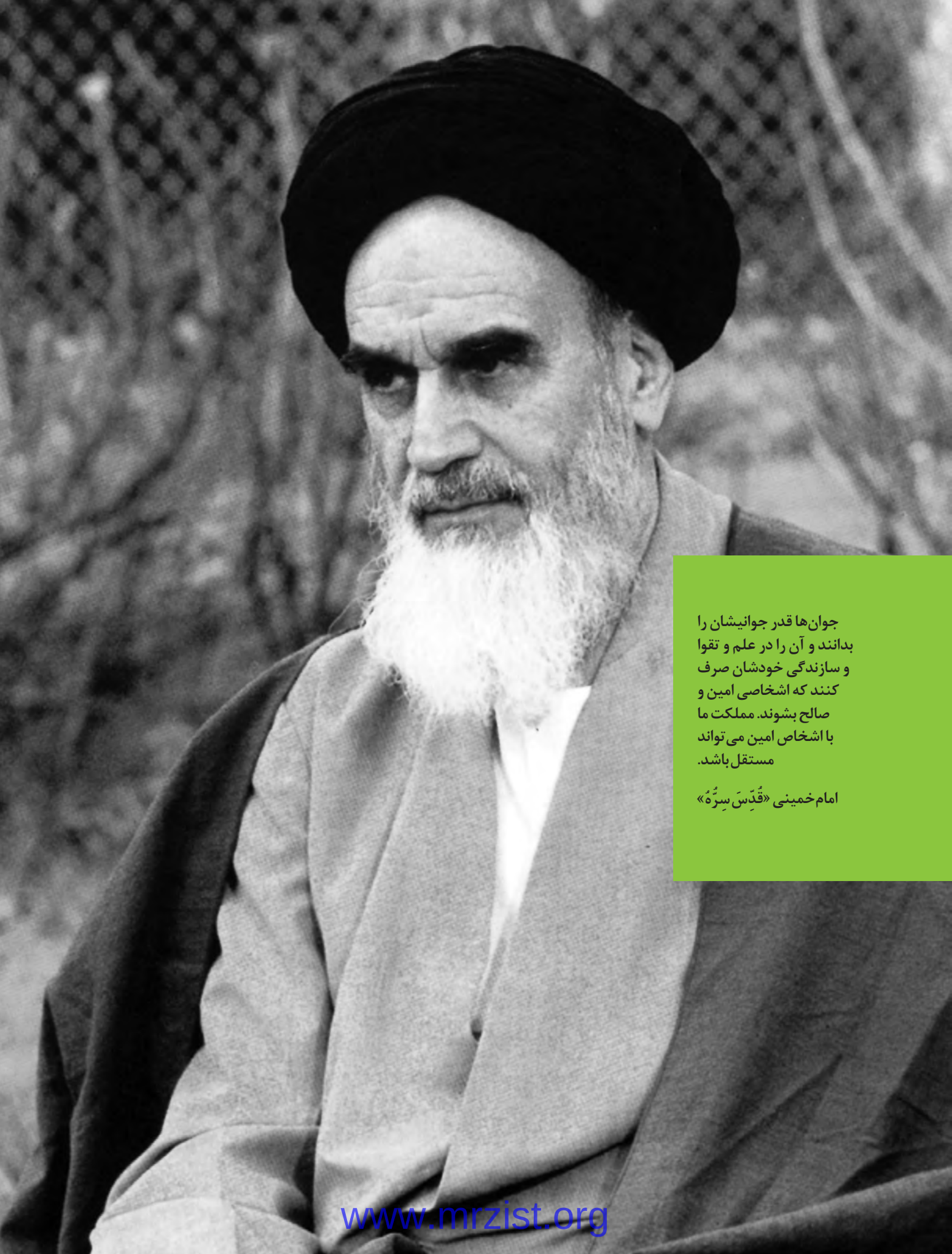
www.mrzist.org

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: زیست‌شناسی (۳)ـ پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه ـ ۱۱۲۲۱۶
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: سید علی آل‌محمد، محمد ابراهیمی، مریم انصاری، خدابخش بهزادی، علی‌هاتف سلمانیان، الهه علوی، اعظم غلامی و بهمن فخریان (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
سید علی آل‌محمد، محمد ابراهیمی، مریم انصاری، الهه علوی، اعظم غلامی و بهمن فخریان (اعضای گروه تألیف) ـ بهمن فخریان (ویراستار علمی) ـ شیما شریفی، سهیلا عابدینی (ویراستار ادبی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) ـ مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ احسان رضوانی (طراح گرافیک، طراح جلد و صفحه‌آرا) ـ الهه بهین، مریم دهقان‌زاده (تصویرگر و رسام) ـ فاطمه باقری‌مهر، زهرا ایمانی‌نصر، زهرا رشیدی مقدم، نوشین معصوم‌دوست، فاطمه پزشکی و ناهید خیام‌باشی (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران تهران: کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)
تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۴۰۰

شابک ۷ـ۳۱۳۲ـ۰۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸
ISBN: 978_964_05_3132_7

www.mrzist.org



جوان‌ها قدر جوانیشان را بدانند و آن را در علم و تقوا و سازندگی خودشان صرف کنند که اشخاصی امین و صالح بشوند. مملکت ما با اشخاص امین می‌تواند مستقل باشد.

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

www.mrzist.org

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

www.mrzist.org

فهرست

فصل ۱- مولکول‌های اطلاعاتی ۱

نوکلئیک اسیدها

همانندسازی دِنا

پروتئین ها

فصل ۲- جریان اطلاعات در یاخته ۲۱

رونویسی

به سوی پروتئین

تنظیم بیان ژن

فصل ۳- انتقال اطلاعات در نسل‌ها ۳۷

مفاهیم پایه

انواع صفات

فصل ۴- تغییر در اطلاعات وراثتی ۴۷

تغییر در مادهٔ وراثتی جانداران

تغییر در جمعیت ها

تغییر در گونه ها

فصل ۵- از ماده به انرژی ۶۳

تأمین انرژی

اکسایش بیشتر

زیستن مستقل از اکسیژن

فصل ۶- از انرژی به ماده ۷۷

فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

واکنش های فتوسنتزی

فتوسنتز در شرایط دشوار

فصل ۷- فناوری های نوین زیستی ۹۱

زیست فناوری و مهندسی ژنتیک

فناوری مهندسی پروتئین و بافت

کاربردهای زیست فناوری

فصل ۸- رفتارهای جانوران ۱۰۷

اساس رفتار

انتخاب طبیعی و رفتار

ارتباط و زندگی گروهی

www.mrzist.org

مقدمه

کتاب زیست شناسی۳ سومین کتاب زیست شناسی دورهٔ دوم متوسطه است که برای پایهٔ دوازدهم رشتهٔ علوم تجربی تألیف و چاپ شده است. این کتاب ادامه اجرای برنامهٔ ۱۲ ساله حوزه تربیت و یادگیری علوم تجربی در موضوع زیست شناسی است که از دورهٔ ابتدایی آغاز و در سه سال اوّل متوسطه در قالب کتاب‌های علوم تجربی ادامه یافت و با کتاب زیست ۱ پایه دهم به دوره دوم متوسطه رسید.

برنامه زیست شناسی براساس راهنمای برنامه حوزه تربیت و یادگیری علوم تجربی و منطبق با برنامهٔ درسی ملّی تدوین شده است. اهداف این برنامه مطابق با برنامهٔ درسی ملّی در سه عرصهٔ ارتباطی انسان یعنی ارتباط با خود، خلق و خلقت، مبتنی بر ارتباط با خدا، تعریف شده و در جهت تقویت پنج عنصر (تفکر و تعقل، ایمان، علم، عمل و اخلاق) پیش می‌رود. بر این اساس مهم ترین شایستگی‌های مدنظر حوزه علوم تجربی که درس زیست‌شناسی تلاش می‌کند در دانش آموز تحقق یابددر زیر فهرست شده‌اند. انتظار می رود دانش آموز بتواند:

- نظام مندی طبیعت را براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده های طبیعی به‌عنوان آیات الهی کشف و گزارش کند و نتایج آن را برای حل مسائل حال و آینده در ابعاد فردی و اجتماعی در قالب ایده یا ابزار ارائه دهد / به کار گیرد.
- با ارزیابی رفتارهای متفاوت در ارتباط باخود و دیگران در موقعیت های گوناگون زندگی، رفتارهای سالم را انتخاب کند / گزارش کند / به کار گیرد.
- با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به کارگیری این علم را در حل مسائل واقعی زندگی (حال و آینده)، تحلیل و محدودیت ها و توانمندی های علوم تجربی را در حل این مسائل گزارش کند.
- با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علم تجربی،بتواند ایده‌هایی مبتنی بر تجارب شخصی، برای مشارکت در فعالیت های علمی ارائه دهد و در این فعالیت ها با حفظ ارزش‌ها و اخلاق علمی مشارکت کند.

این کتاب در ادامه زیست شناسی ۱و۲ تألیف شده و زمینه اصلی آن تغییر، پایداری و زمان است. در این ارتباط سازوکارهای مولکولی در ارتباط با کسب ماده و انرژی، سازوکارهای انتقال صفات از نسلی به نسل دیگر و سازوکارهای تغییر گونه ها و رفتارهای جانوران در گذر زمان مطالعه می شوند.

دانش آموزان با مطالعه این کتاب همچنین با فرایندها و ساختارهایی آشنا می شوند که با وجود تنوع

www.mrzist.org

در دنیای زنده از اصول ثابتی پیروی می کنند. کتاب ابتدا به معرفی سازوکارهای مولکولی ذخیره و انتقال اطلاعات در یاخته می پردازد، به دنبال آن چگونگی جریان اطلاعات در یاخته و نسل ها و در آخر در مورد تغییر در اطلاعات مباحثی را مطرح می کند.

بخش دیگری از کتاب به شارش انرژی در موجودات زنده می پردازد که در آن دانش آموزان با دو مبحث از ماده به انرژی (تنفس سلولی) و از انرژی به ماده (فتوسنتز) آشنا خواهند شد.

در قسمتی از کتاب به فناوری های نوین زیستی به ویژه مهندسی ژنتیک، مهندسی بافت و پروتئین پرداخته شده است و ضمن اشاره به پایه های زیست فناوری در مورد استفاده از این فناوری ها مباحثی مطرح شده است. در انتهای کتاب بخشی به رفتارهای جانوران در موقعیت های مختلف و سازوکارهای مربوط به آنها اختصاص یافته است.

مفاهیم اساسی در این کتاب با توجه به بازخوردهای حاصل از آموزش های قبلی، اصلاح و متناسب با یافته های جدید در علم زیست شناسی، به روز شده اند.

انتخاب و سازماندهی محتوا در این کتاب مانند کتاب زیست شناسی ۱و ۲ بر اساس آموخته های دانش آموزان در متوسطه اول بوده است. در ارائه محتوا، اولویت با آنهایی است که دانش آموز در زندگی با آنها مواجه می شود. همچنین بر اساس تجربیات به دست آمده از آموزش مفاهیم زیست شناسی، سعی شده تا حد امکان از محتواهای صرفاً دانشی پرهیز شود.

دربیشتر قسمت های کتاب بحث با طرح سؤالاتی شروع می شود. هدف از این روش درگیرکردن دانش آموز با مبحث، بارش فکری و تا حدی مفهوم سازی توسط خود دانش آموز است.

در کتاب نمونه هایی از تاریخ تحولات علمی مانند کشف ساختار دِنا، سازوکارهای کسب و تبدیل انرژی، سازوکارهای زیست فناوری و روش های استفاده از آن، و شناخت رفتارهای جانوری آورده شده تا دانش آموزان علاوه بر آنکه علم را به عنوان محصول کار دانشمندان می شناسند، به فرایند تولید علم نیز توجه کنند.

آموزش این کتاب مستلزم به کارگیری ظرفیت دانش آموزان در کلاس درس و مشارکت هر چه بیشتر آنها در امر یادگیری است. معلم در این جایگاه نقش تسهیل گر آموزش و نه انتقال دهنده دانش را ایفا می کند.

www.mrzist.org

سخنی با همکاران ارجمند

در تألیف این کتاب چند نکته مدنظر مؤلفان و شورای تألیف بوده که لازم است مورد توجه دبیران و اولیای محترم نیز قرار گیرد.

سعی شده حجم کتاب با ساعت اختصاص یافته به آن (۴ ساعت در هفته) متناسب باشد و با توجه به برگزاری امتحانات نهایی و کنکور در انتهای این سال تحصیلی، حجم و چگالی مطالب کتاب به گونه‌ای در نظر گرفته شده که دانش آموزان فرصت بیشتری داشته باشند تا کتاب های قبلی را مرور و برای شرکت در این آزمون ها آمادگی پیدا کنند.

با توجه به بازخوردهای دریافت شده از آموزش مباحث زیست شناسی در سال های قبل در کلاس های تقویتی و کنکور که اهداف اصلی کتاب را به فراموشی سپرده و کلاس به سمت حل مسائل عددی و محاسباتی هدایت می شد در این کتاب ممنوعیت هایی در خصوص برگزاری آزمون ها مطرح شده است، به این صورت که طراحی سؤالات عددی و محاسباتی از محتوای فصل های این کتاب در همه آزمون ها منع شده و لازم است همه دبیران، دانش آموزان و اولیای محترمشان و همچنین سازمان سنجش آموزش کشور این نکته مهم را مد نظر قرار دهند تا از فشارهای روانی به دانش آموزان و والدین آنها در خصوص آزمون ها کاسته شود.

درمقایسه این کتاب با کتاب‌های قبلی به دلایلی بعضی مطالب حذف شده است مثل آغازیان، باکتری‌ها و قارچ ها که بیشتر برای دانش آموزان حالت حفظی داشته و در کنکور و امتحانات نهایی چالش هایی را ایجاد می کرده است. دانش آموزان و دبیران گرامی در مورد محتواهای حذف شده دقت نمایند که این مطالب در سرفصل های کتاب حاضر نیست و در آزمون‌ها هم ارزشیابی نمی‌شوند. معیار کنکور و آزمون های آموزش و پرورش فقط محتوای کتاب درسی است.

در برنامه جدید زیست شناسی به‌ویژه دوره متوسطه (زیست شناسی ۱و۲و۳) به هر بحث یک‌بار پرداخته شده است و حد نهایی آن بر اساس آنچه در کتاب درسی آمده، تعیین می شود. بنابراین همکاران محترم از افزودن مطالب غیرضروری به درس و ارزشیابی از آنها اجتناب نمایند.

گروه زیست شناسی دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطهٔ نظری

مطالب «بیشتر بدانید» و «پاورقی‌ها» در این کتاب، صرفاً جنبه آگاهی‌بخشی دارد و نباید در ارزشیابی، آزمون ها و کنکور مورد پرسش قرار گیرد.

www.mrzist.org

فصل ۱

مولکول های 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 دِنا (DNA)، رِنا (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.

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

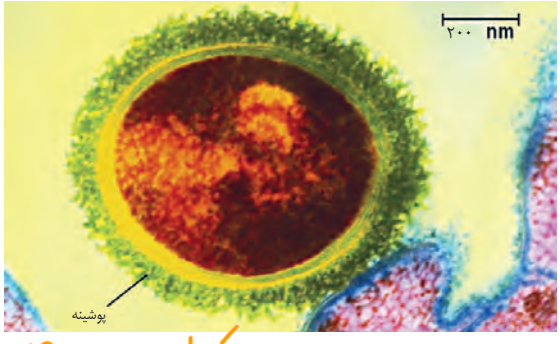
www.mrzist.org

گفتار ۱ نوکلئیک اسیدها

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 فام‌تن‌ها در هسته قرار دارند و در ساختار آنها دِنا و پروتئین مشارکت می‌کنند. کدام‌یک از این دو ماده، ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی است؟

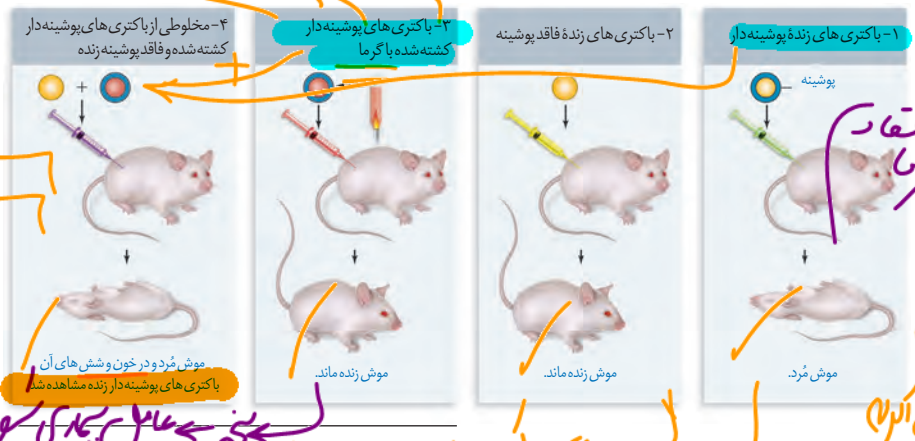
پاسخ این سؤال مشخص شده است. این ماده دِنا است که به‌عنوان مادهٔ ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی عمل می‌کند. امّا دانشمندان چگونه به این پاسخ رسیده‌اند؟

اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام گریفیت[۱] به‌دست آمد. او سعی داشت واکسنی برای آنفلوانزا تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا[۲] 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).



شکل ۱ــ باکتری پوشینه‌دار

آزمایش‌ها و نتایج کار گریفیت را در شکل ۲ ملاحظه می‌کنید.



شکل ۲ــ آزمایشات گریفیت و نتایج آن

۱ــ Fredrick Griffith
۲ــ *Streptococcus Pneumoniae*

بیشتر بدانید

دانشمندی سوئیسی به نام میشر[۱] در سال ۱۸۶۹ نوکلئیک اسیدها را کشف کرد. او ترکیبات سفید رنگی را از هسته گویچه‌های سفید انسان و اسپرم ماهی استخراج کرد که نسبت نیتروژن و فسفات در این ترکیبات با نسبت آن در ترکیبات حاصل از بخش‌های دیگر یاخته متفاوت بود. همین باعث شد که میشر این ترکیب زیستی را به عنوان ترکیب جدیدی معرفی کند. او این ماده را نوکلئیک‌اسید (اسید هسته‌ای) نامید؛ چون از هسته (Nucleus) استخراج شده بود و خاصیت اسیدی ضعیفی هم داشت.

۱ــ Friedrich Miescher

www.mrzist.org

گریفیت مشاهده کرد تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار به موش باعث بروز علائم بیماری و مرگ در آنها می‌شود؛ درحالی‌که 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. گریفیت نتیجه گرفت وجود پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست. سپس مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما و زندهٔ 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.

از نتایج این آزمایش‌ها مشخص شد که مادهٔ وراثتی می‌تواند به یاختهٔ دیگری منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.

بیشتر بدانید

گریفیت در سال ۱۹۲۸ نشان داد که خصوصیات یک باکتری به باکتری دیگر قابل انتقال است.

عامل اصلی انتقال صفات وراثتی، مولکول دِنا است

عامل مؤثر در انتقال این صفت تا حدود ۱۶ سال بعد از گریفیت همچنان ناشناخته ماند. تا اینکه نتایج کارهای دانشمندی به نام ایوری[۱] و همکارانش عامل مؤثر در آن را مشخص کرد. آنها ابتدا از عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار 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.

بیشتر بدانید

ایوری و همکارانش برای اولین بار در سال ۱۹۴۴ نشان دادند که دِنا، مادهٔ ژنتیک است.

در آزمایش دیگری عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار را در یک گریزانه (سانتریفیوژ[۲]) با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به‌صورت لایه‌لایه جدا کردند. با اضافه کردن هریک از لایه‌ها به‌صورت جداگانه به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه مشاهده کردند که انتقال صفت فقط با لایه‌ای که در آن دِنا وجود دارد انجام می‌شود.

نتایج این آزمایش‌ها، ایوری و همکارانش را به این نتیجه رساند که عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دِنا است. به عبارت ساده‌تر، دِنا 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.

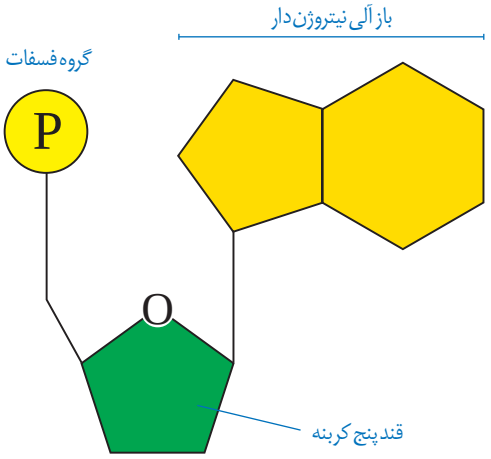
در آزمایش‌های دیگری عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار را استخراج و آن را به چهار قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت، آنزیم تخریب‌کننده یک گروه از مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، نوکلئیک اسیدها) را اضافه کردند. سپس هر کدام را به محیط کشت حاوی باکتری بدون پوشینه منتقل و اجازه دادند تا فرصتی برای انتقال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

۱_ Oswald Avery

۲_ Centrifuge

www.mrzist.org

ساختار نوکلئیک اسیدها



شکل ۳ـ اجزای یک نوکلئوتید

نوکلئیک اسیدها که شامل **دئوکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید** (دِنا) و **ریبونوکلئیک‌اسید** (رِنا) هستند، همگی بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرارشونده به‌نام **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 دِنا، **دئوکسی‌ریبوز** و در رِنا، **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 می‌تواند **پیریمیدین** باشد که ساختار تک‌حلقه‌ای دارد؛ شامل تیمین (T) سیتوزین (C) و یوراسیل (U). در دِنا باز یوراسیل شرکت ندارد و به‌جای آن تیمین وجود دارد و در رِنا به‌جای تیمین، باز یوراسیل وجود دارد.

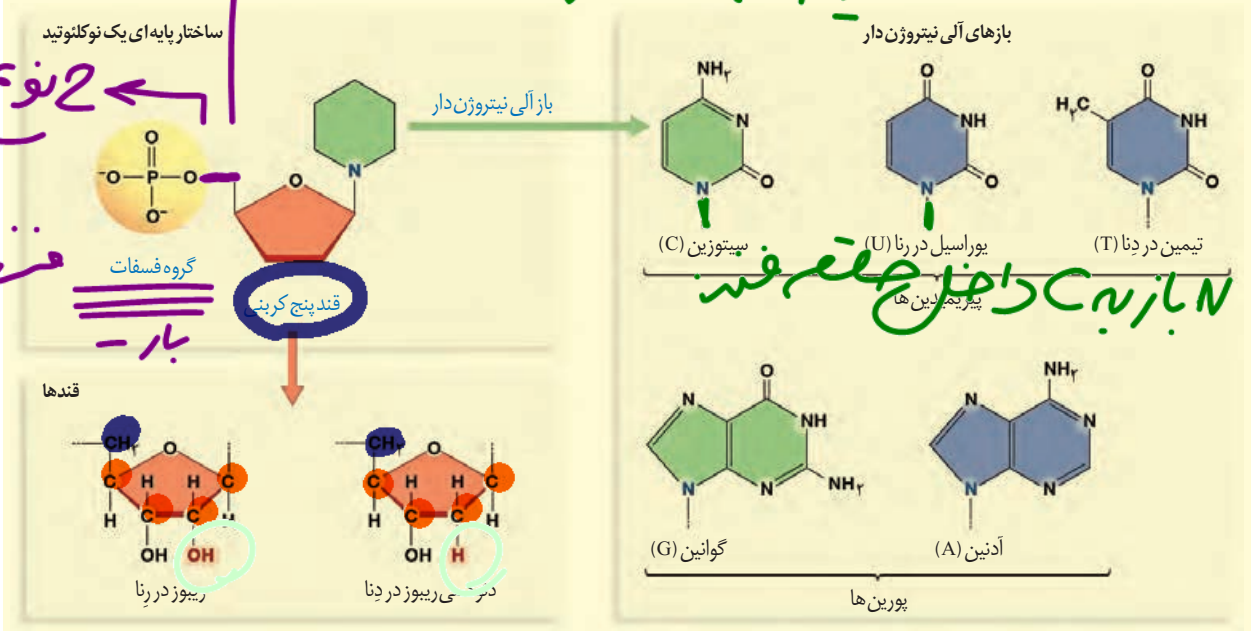
برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن‌دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به دو سمت قند متصل می‌شوند (شکل ۳).

نوکلوتیدها 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 **رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی** را می‌سازند. در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود (شکل ۵). رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک اسید را می‌سازند، مثل رنا، یا به‌صورت دوتایی مقابل هم قرار می‌گیرند و نوکلئیک اسیدهایی مثل دِنا را می‌سازند.

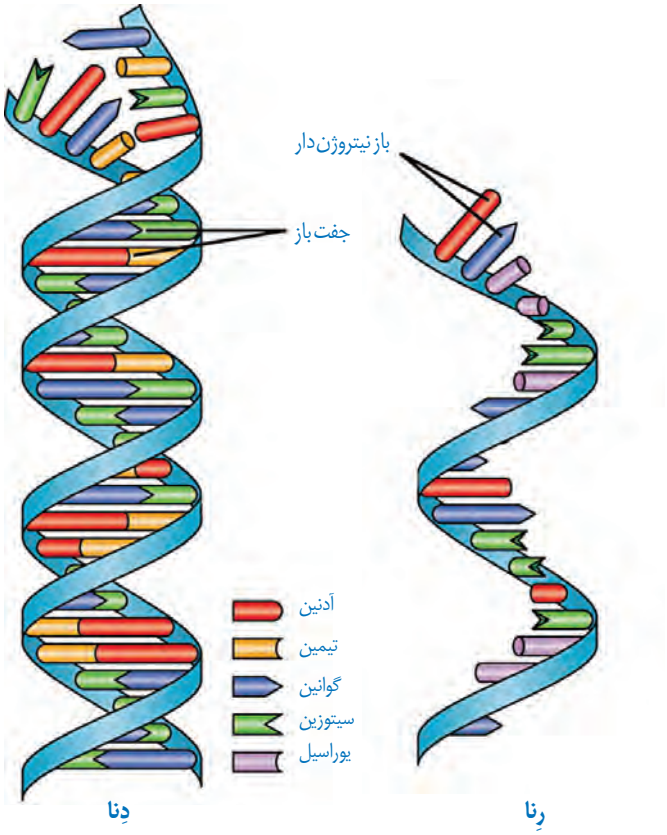
بیشتر بدانید

انواع بازهای آلی نیتروژن‌دار و پنتوزها



www.mrzist.org

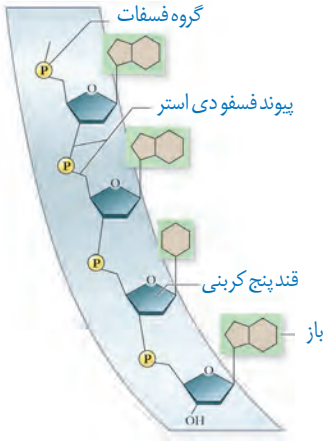
بنابراین مولکول های دِنا از دو رشته پلی نوکلئوتید و مولکول های رِنا از یک رشته پلی نوکلئوتید تشکیل می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۴ــ دنای دورشته‌ای و رنای تک‌رشته‌ای

دو انتهای رشته‌های پلی نوکلئوتید نیز می‌توانند با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل شوند و نوکلئیک اسید **حلقوی** را ایجاد کنند؛ برای مثال دِنا در باکتری‌ها به‌صورت حلقوی است.

در نوکلئیک اسیدهای **خطی** گروه فسفات در یک انتها و گروه هیدروکسیل در انتهای دیگر آزاد است؛ بنابراین هر رشتهٔ دِنا و رِنای خطی همیشه دو سر متفاوت دارد (شکل ۵).



شکل ۵ ــ بخشی از رشته نوکلئیک اسید

تلاش برای کشف ساختار مولکولی دِنا

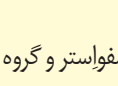
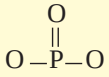
در ابتدا تصور می‌شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دِنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند. بر این اساس دانشمندان انتظار داشتند که مقدار ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول‌های دِنا از هر جانداری که به‌دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد.

امّا مشاهدات و تحقیقات چارگاف[۱] روی دِناهای جانداران نشان داد که مقدار آدنین در دِنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می کند. تحقیقات بعدی دانشمندان دلیل این برابری نوکلئوتیدها را مشخص کرد.

۱ــ Erwin Chargaff

بیشتر بدانید

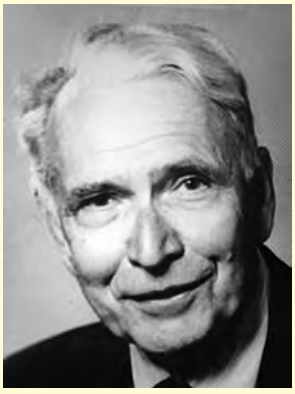
فسفودی استر

در درس شیمی با اِسترها آشنا شدید که دارای گروه عاملی هستند این گروه عاملی در ساختار برخی مواد سازندهٔ بدن موجودات زنده از جمله نوکلئیک اسیدها وجود دارد. با این توصیف گروه عاملی  فسفواستر و گروه عاملی  فسفودی‌اِستر نامیده می‌شوند که در زیست‌شناسی آن را پیوند فسفودی‌اِستر می‌خوانند.

www.mrzist.org

بیشتر بدانید

چارگاف در سال ۱۹۵۰ نشان داد که در دِنای جانداران گوناگون A=T و G=C است.



بیشتر بدانید

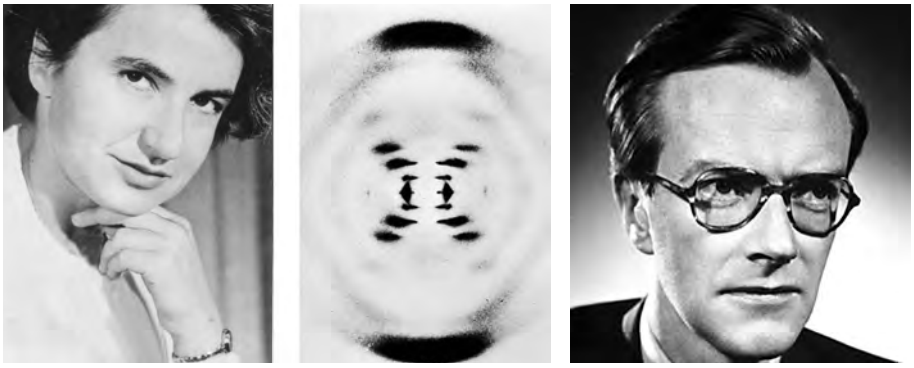
برخی از نتایج آزمایش‌های چارگاف (درصد)

گونه	A	T	G	C	$\frac{A+G}{T+C}$	$\frac{A+T}{G+C}$
انسان	۳۱/۰	۳۱/۵	۱۹/۱	۱۸/۴	۱/۰۰	۱/۶۶
مگس سرکه	۲۷/۳	۲۷/۶	۲۲/۵	۲۲/۶	۰/۹۹	۱/۲۲
ذرت	۲۵/۶	۲۵/۳	۲۴/۵	۲۴/۶	۱/۰۰	۱/۰۴

اختلاف کم درصدها به دلیل خطاهای آزمایش است.

استفاده از پرتو ایکس برای تهیهٔ تصویر از دِنا

ویلکینز[۱] و فرانکلین[۲] با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دِنا تصاویری تهیه کردند (شکل ۶). با بررسی این تصاویر در مورد ساختار دِنا نتایجی را به‌دست آوردند از جمله اینکه دِنا حالت مارپیچی و بیش از یک رشته دارد. البته با استفاده از این روش ابعاد مولکول‌ها را نیز تشخیص دادند.



ویلکینز — فرانکلین

شکل ۶ــ تصویر تهیه شده با پرتو ایکس ازمولکول دِنا توسط ویلکینز و فرانکلین

مدل مولکولی دِنا

واتسون[۳] و کریک[۴] 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.

شکل ۷ــ واتسون و کریک و مدل پیشنهادی آنها برای دِنا

۱ــ Maurice Wilkins
۲ــ Rosalind Franklin
۳ــ James Watson
۴ــ Francis Crick

www.mrzist.org

نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

هر مولکول دِنا در حقیقت از دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی ساخته شده است که به دور محوری فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دو رشته‌ای را ایجاد می‌کند. این مارپیچ 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 (شکل ۸).

پیوندهای هیدروژنی بین بازها، دو رشته دِنا را در مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها بین جفت بازها به‌صورت 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.

قرارگیری جفت بازها به این شکل باعث می‌شود که قطر مولکول دنا در سراسر آن یکسان باشد؛ زیرا یک باز تک‌حلقه‌ای در مقابل یک باز دوحلقه‌ای قرار می‌گیردو باعث پایداری مولکول دنا می‌شود.

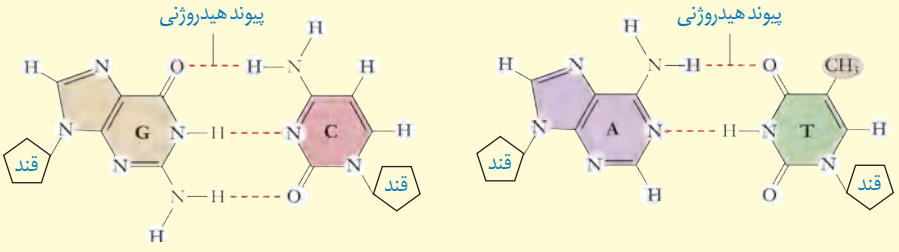
نتیجهٔ دیگرِ جفت شدن بازهای مکمل این است که اگرچه دو رشتهٔ یک مولکول دِنا یکسان نیستند، ولی شناسایی ترتیب نوکلئوتیدهای هر کدام می‌تواند ترتیب نوکلئوتیدهای رشتهٔ دیگر را هم مشخص کند؛ مثلاً اگر ترتیب نوکلئوتیدها در یک رشته ATGC باشد ترتیب نوکلئوتیدها در رشتهٔ مکمل آن باید TACG باشد.

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

شکل ۸ــ مدل مارپیچ دو رشته‌ای دِنا

بیشتر بدانید

بازهای مکمل و پیوندهای هیدروژنی بین آنها



www.mrzist.org

بیشتر بدانید

تاریخ علم

سال ۱۸۶۹م: میشر در عصارهٔ یاخته‌ها به وجود اسیدهای هسته‌ای (نوکلئیک اسیدها) پی‌برد.

سال ۱۹۲۸م: گریفیت نشان داد که خصوصیات یک باکتری به باکتری دیگر قابل انتقال است.

سال ۱۹۴۴م: ایوری و همکارانش برای اولین بار نشان دادند که دِنا، مادهٔ ژنتیک است.

سال ۱۹۵۰م: چارگاف نشان داد که در دِنای جانداران گوناگون تعداد T مساوی تعداد A و تعداد C مساوی تعداد G است.

سال ۱۹۵۲م: فرانکلین و ویلکینز نشان دادند که دِنا ساختار مارپیچی و چندرشته‌ای دارد.

سال ۱۹۵۳م: واتسون و کریک مدل مارپیچ دورشته‌ای را برای دِنا ارائه کردند.

رِنا و انواع آن

گفتیم که نوع دیگری از نوکلئیک‌اسیدها، رِنا است. مولکول رِنا تک‌رشته‌ای است و از روی بخشی از یکی از رشته‌های دِنا ساخته می‌شود. رِناها نقش‌های متعددی دارند که به بعضی از آنها اشاره می‌کنیم:

رِنای پیک (mRNA[1]): اطلاعات را از دِنا به رِناتَن‌ها می‌رساند. رِناتَن با استفاده از اطلاعات رِنای پیک، پروتئین‌سازی می‌کند که در فصل بعد با آن آشنا خواهید شد.

رِنای ناقل (tRNA[2]): آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رِناتَن‌ها می‌برد.

رِنای رِناتَنی (rRNA[3]): در ساختار رِناتَن‌ها علاوه بر پروتئین، رِنای رِناتَنی نیز شرکت دارد.

علاوه بر این نقش‌ها، رِناها نقش آنزیمی و دخالت در تنظیم بیان ژن نیز دارند.

ژن چیست؟

در طی این گفتار با ساختار دِنا آشنا شدید. طبق آزمایش‌های ایوری و همکارانش، اطلاعات وراثتی در دِنا قرار دارد و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند. این اطلاعات در واحدهایی به نام ژن سازماندهی شده‌اند. ژن بخشی از مولکول دِنا است که بیان آن می‌تواند به تولید رِنا یا پلی‌پپتید بینجامد. اینکه رِنا چگونه دستورالعمل‌های دِنا را اجرا می‌کند، در فصل‌های آینده با آن آشنا خواهید شد.

دخالت نوکلئوتیدها در واکنش‌های سوخت‌وسازی[4]

نوکلئوتیدها علاوه برشرکت در ساختار دِنا و رِنا نقش‌های اساسی دیگری نیز در یاخته برعهده 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 حامل الکترون را بر عهده دارند. با این مولکول‌ها در فصل‌های آینده آشنا خواهید شد.

۱ـ messenger RNA
۲ـ transfer RNA
۳ـ ribosomal RNA
۴ـ Metabolism

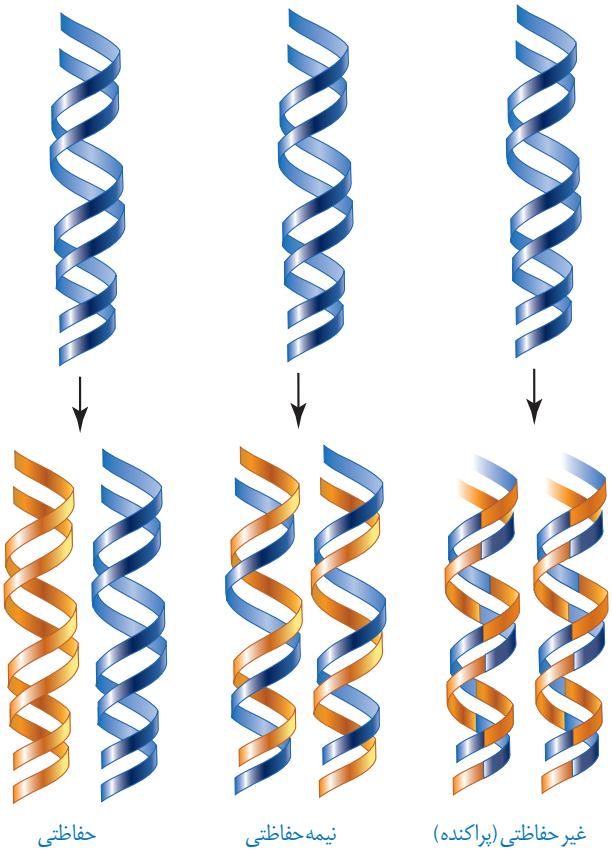
www.mrzist.org

گفتار ۲ همانندسازی دِنا

با توجه به اینکه دِنا به عنوان ماده وراثتی، حاوی اطلاعات یاخته است، این پرسش مطرح می‌شود که هنگام تقسیم یاخته، این اطلاعات، چگونه بدون کم وکاست به دو یاخته حاصل از تقسیم می‌رسند؟

این کار با همانندسازی دِنا انجام می‌شود. به ساخته شدن مولکول دِنای جدید از روی دِنای قدیمی **همانندسازی**[۱] می‌گویند.

با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطهٔ مکملی بین بازها تا حد زیادی همانندسازی دِنا قابل توضیح است؛ گرچه طرح‌های مختلفی برای همانندسازی دِنا پیشنهاد شده بود (شکل ۹).



شکل ۹ـ طرح‌های مختلف برای همانندسازی

۱ـ همانندسازی حفاظتی: در این طرح هر دو رشتهٔ دِنای قبلی (اولیه) به‌صورت دست نخورده باقی مانده، وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند، دو رشته دِنای جدید هم وارد یاختهٔ دیگر می‌شوند. چون دِنای اولیه به‌صورت دست نخورده در یکی از یاخته‌ها حفظ شده است به آن همانندسازی حفاظتی می‌گویند.

۲ـ همانندسازی نیمه‌حفاظتی: در این طرح در هر یاخته یکی از دو رشته دِنا مربوط به دِنای اولیه است و رشتهٔ دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است. چون در هر یاختهٔ حاصل، فقط یکی از دو رشته دِنای قبلی وجود دارد، به آن نیمه‌حفاظتی می‌گویند.

۳ـ همانندسازی غیرحفاظتی (پراکنده): در این طرح هر کدام از دِناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جدید را به‌صورت پراکنده در خود دارند.

کدام طرح مورد تأیید قرار گرفته است؟

مزلسون[۲] و استال[۳] با به‌کارگیری روش علمی پاسخ این پرسش را به‌دست 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 دِنا را با استفاده از نوکلئوتیدهایی که ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) دارند، نشانه‌گذاری کردند.

۱ـ Replication
۲ـ Meselson
۳ـ Stahl

www.mrzist.org

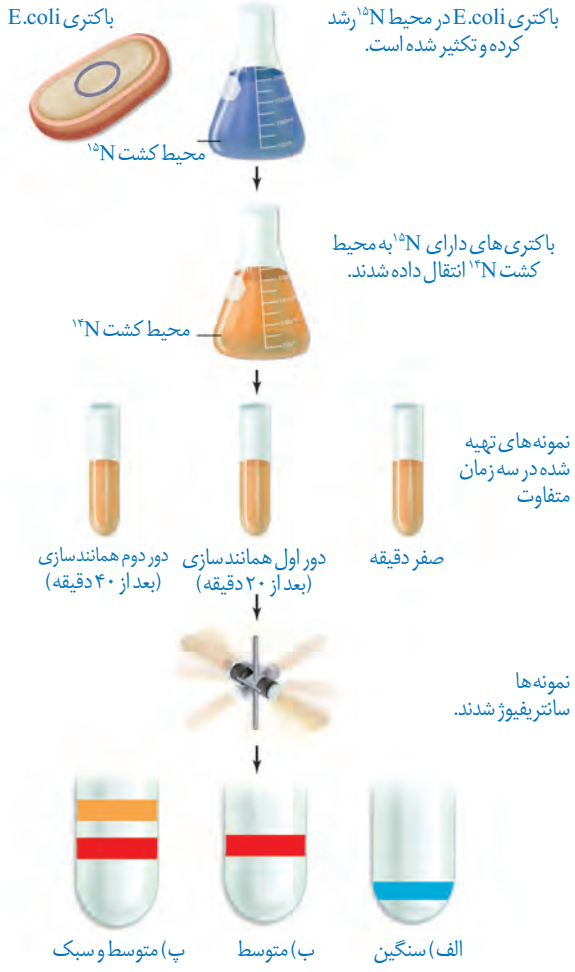
دِناهایی که با ^{15}N ساخته می‌شوند نسبت به دِنای معمولی که در نوکلئوتیدهای خود ^{14}N دارد چگالی بیشتری دارند. بنابراین، به‌وسیلهٔ گریزانهٔ با سرعت بسیار بالا[1] می‌توان آنها را از هم جدا کرد.

آنها ابتدا باکتری‌ها را در محیط دارای ^{15}N کشت دادند. ^{15}N در ساختار بازهای آلی نیتروژن‌دار که در ساخت دِنای باکتری شرکت می‌کنند، وارد شدند. پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط، باکتری‌هایی تولید شدند که دِنای سنگین‌تری نسبت به باکتری‌های اولیه داشتند.

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

برای سنجش چگالی دِناها در هر فاصلهٔ زمانی، دِنای باکتری‌را استخراج و در شیبی از محلول سزیم‌کلرید 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 ۱۰ می‌بینید.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید نتایج این آزمایش نشان داد که همانندسازی دِنا، نیمه حفاظتی است.



شکل ۱۰ــ آزمایش‌های مزلسون و استال و نتایج به‌دست آمده:
الف) دِنای باکتری‌های اولیه پس از گریز دادن، یک نوار در انتهای لوله تشکیل دادند چون هر دو رشته دِنای آنها ^{15}N و چگالی سنگینی داشت.
ب) دِنای باکتری‌های حاصل از دور اول همانندسازی در محیط کشت حاوی ^{14}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؟

۱ــ Ultracentrifuge

www.mrzist.org

با مشخص شدن اینکه همانندسازی به‌صورت نیمه‌حفاظتی انجام می‌شود، سؤال دیگری مطرح شد: دو رشته دِنا 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.

عوامل و مراحل همانندسازی

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

ـ مولکول دِنا به عنوان الگو

ـ واحدهای سازندهٔ دِنا که بتوانند در کنار هم نسخه مکمل الگو را بسازند. این واحدها نوکلئوتیدهای آزاد داخل یاخته، سه فسفاته هستند که در لحظهٔ اتصال به رشته پلی‌نوکلئوتید در حال ساخت، دو فسفات خود را از دست می‌دهند.

ـ آنزیم‌های لازم برای همانندسازی که ضمن بازکردن دو رشته نوکلئوتیدها را به‌صورت مکمل روبه‌روی هم قرار می‌دهد و با پیوند فسفودی‌استر به هم وصل می‌کند.

مراحل همانندسازی: قبل از همانندسازی دِنا باید پیچ‌وتاب 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**[1] مارپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می‌کند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱ـ همانندسازی دِنا

به نظر شما برای باز شدن دورشته دِنا آنزیم هلیکاز چه پیوندهایی را از هم باز می‌کند؟

انواع دیگری از آنزیم‌ها با همدیگر فعالیت می‌کنند تا یک رشته دِنا در مقابل رشته الگو ساخته شود. یکی از مهم‌ترین آنها که نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشته الگو جفت می‌کند **دِنابسپاراز**[2] (DNA پلی‌مِراز) است. با توجه به اینکه در محل همانندسازی، همانندسازی در دو جهت انجام می‌شود؛ به آن **همانندسازی دو جهتی** نیز می‌گویند.

۱ـ Helicase
۲ـ DNA Polymerase

بیشتر بدانید

گریزانهٔ هم‌چگال

برای جداکردن ذره‌هایی با چگالی متفاوت و تعیین چگالی آنها از روشی به نام گریزانهٔ هم‌چگال استفاده می‌شود. در این روش محلولی از نمک یک فلز سنگین مثل سزیم کلرید را در لوله آزمایش قرار می‌دهند. غلظت این ماده و چگالی آن به طور یکنواخت از پایین به بالای لوله کم می‌شود و به اصطلاح شیب پیوسته‌ای از غلظت‌های مختلف نمک در آن وجود دارد.

با ورود مولکول های مد نظر در این محلول و حرکت آنها حین سانتریفوژ، براساس چگالی خود در نقطه ای متوقف می شوند. چون ذره ها با چگالی یکسان در یک منطقه تجمع می‌یابند، نوارهایی را تشکیل می دهند که به آسانی قابل تشخیص اند. با مشخص شدن چگالی محلول درهرنقطه ازلوله، می توان چگالی ذره های مورد آزمایش را معلوم کرد.

www.mrzist.org

دوراهی همانندسازی: در شکل ۱۱ می‌بینید در محلی که دو رشتهٔ دِنا از هم جدا می‌شوند، دو ساختار Y مانند به‌وجود می‌آید که به هریک از آنها دوراهی همانندسازی می‌گویند. در فاصلهٔ 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. دِنابسپاراز 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 فسفاته به انتهای رشته پلی‌نوکلئوتید دو تا از فسفات‌های آن از مولکول جدا می‌شوند و نوکلئوتید به‌صورت تک‌فسفاته به رشته متصل می‌شود (شکل ۱۲).

شکل ۱۲ ــ همانندسازی دِنا

فعالیت‌های آنزیم دِنابسپاراز

همانندسازی دِنا با دقت زیادی انجام می‌شود؛ این دقت تاحدود زیادی مربوط به رابطهٔ مکملی بین نوکلئوتیدها است. اگرچه آنزیم دِنابسپاراز، نوکلئوتیدها را براساس رابطهٔ مکملی مقابل هم قرار می‌دهد ولی گاهی در این مورد اشتباهی هم صورت می‌گیرد؛ بنابراین آنزیم دِنابسپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی‌استر، برمی‌گردد و رابطهٔ مکملی نوکلئوتید را بررسی می‌کند که رابطه آن درست است یا اشتباه؟ اگر اشتباه باشد آن را برداشته و نوکلئوتید درست را به‌جای آن قرار می‌دهد. برای حذف نوکلئوتید نادرست باید بتواند پیوند فسفودی‌استر را بشکند و نوکلئوتید نادرست را از دِنا جدا کند. توانایی بریدن دِنا را فعالیت **نوکلئازی** گویند که در آن پیوند فسفودی‌استر می‌شکند. بنابراین آنزیم دِنابسپاراز، 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.

همانند سازی در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

در پروکاریوت‌ها که شامل همهٔ باکتری‌ها می‌شوند، مولکول‌های وراثتی در غشا محصور نشده

www.mrzist.org

و فام‌تن اصلی دارای یک مولکول دِنای حلقوی است که در سیتوپلاسم قرار دارد و به غشای یاخته متصل است. پروکاریوت‌ها علاوه بر دِنای اصلی ممکن است مولکول هایی از دِنایی دیگر به نام **دیسَک (پلازمید)** داشته باشند. اطلاعات این مولکول ها می‌تواند ویژگی های دیگری را به باکتری بدهد مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر **پادزیست (آنتی بیوتیک) ها**.

اغلب پروکاریوت‌ها فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در دِنای خود دارند. در این جایگاه دو رشته دِنا از هم باز می‌شوند. همانند یوکاریوت‌ها، همانندسازی دوجهتی 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).

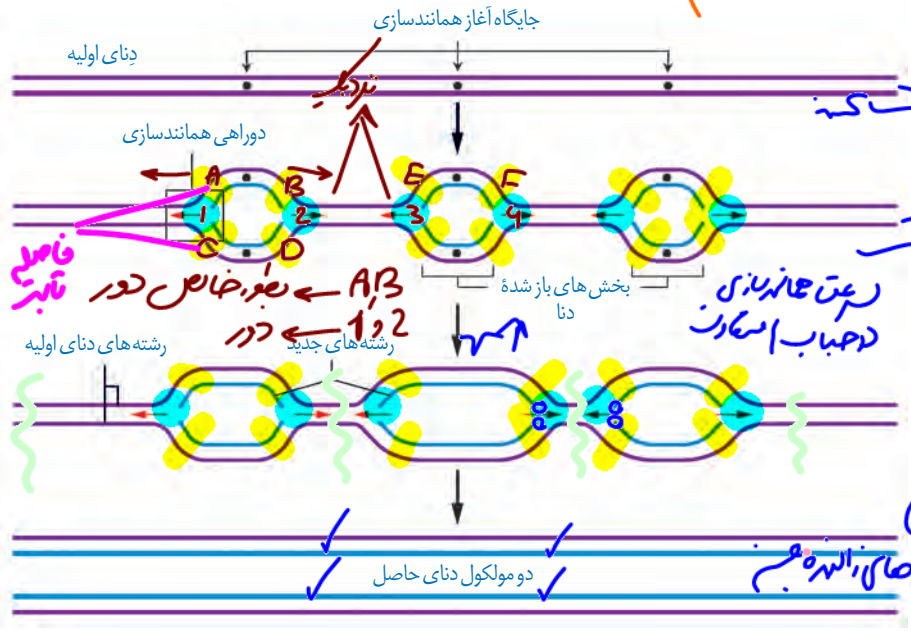
شکل ۱۳ــ همانندسازی دو جهتی دِنا در پروکاریوت‌ها با یک نقطهٔ آغاز

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

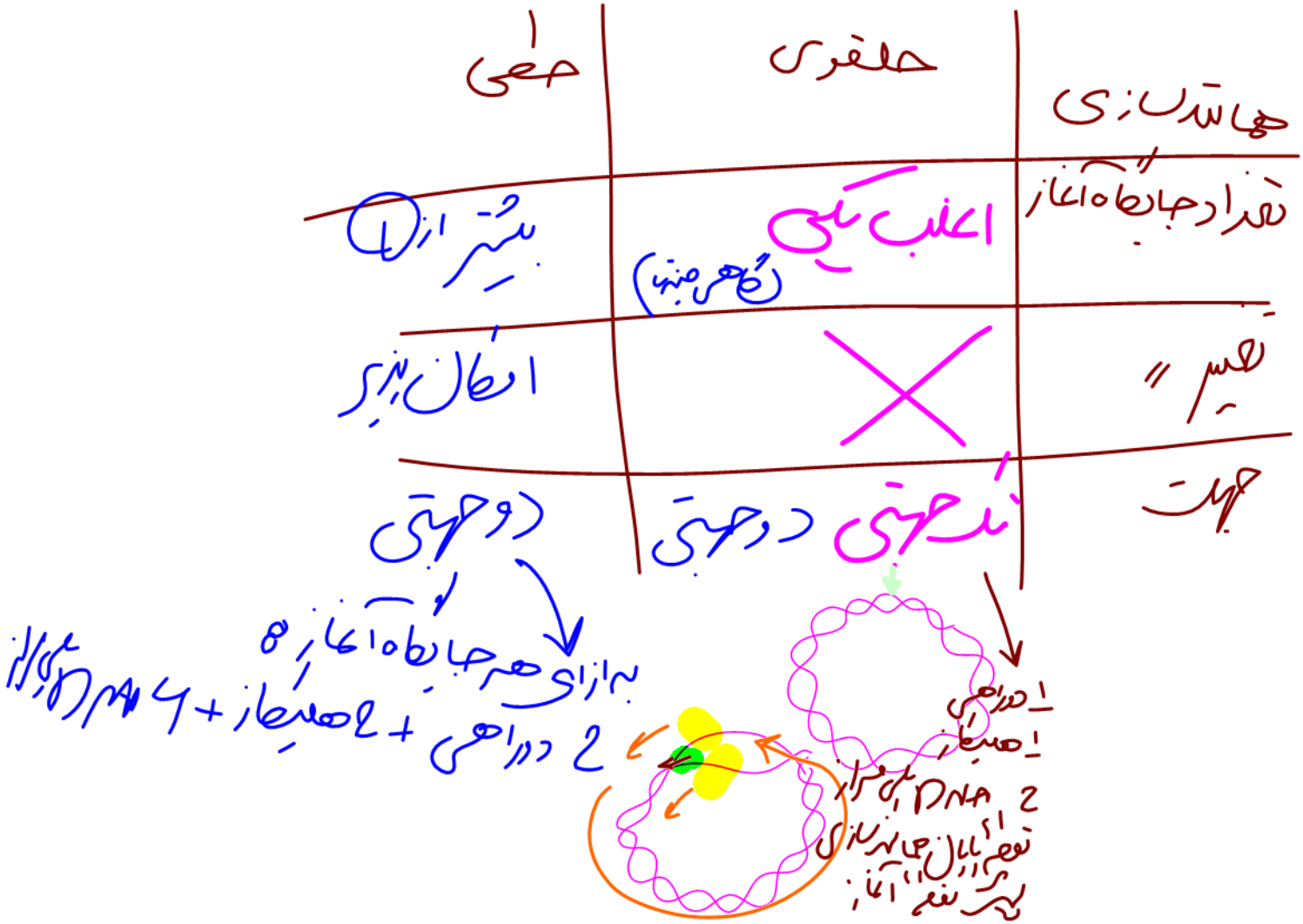
همانندسازی در یوکاریوت‌ها بسیار پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها است. علت این مسئله وجود مقدار زیاد دِنا و قرار داشتن در چندین فام‌تن است که هر کدام از آنها چندین برابر دِنای باکتری هستند. بنابراین اگر فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در هر فام‌تن داشته باشند مدت زمان زیادی برای همانندسازی لازم است. به همین علت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

www.mrzist.org



شکل ۱۴ ـ همانندسازی در یوکاریوت‌ها



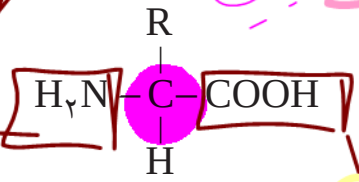
www.mrzist.org

گفتار ۳ پروتئین‌ها

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

ساختار آمینواسیدها

پروتئین‌ها بَسپارهایی از آمینواسیدها هستند. نوع، ترتیب و تعداد آمینواسیدها در پروتئین، ساختار و عمل آنها را مشخص می‌کند. آمینواسیدها همان‌طور که از نامشان برمی‌آید یک **گروه آمین** ($-NH_2$) و یک گروه اسیدی **کربوکسیل** ($-COOH$) دارند. همان‌طور که در شکل ۱۵ می‌بینید گروه امین 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 منحصربه‌فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.

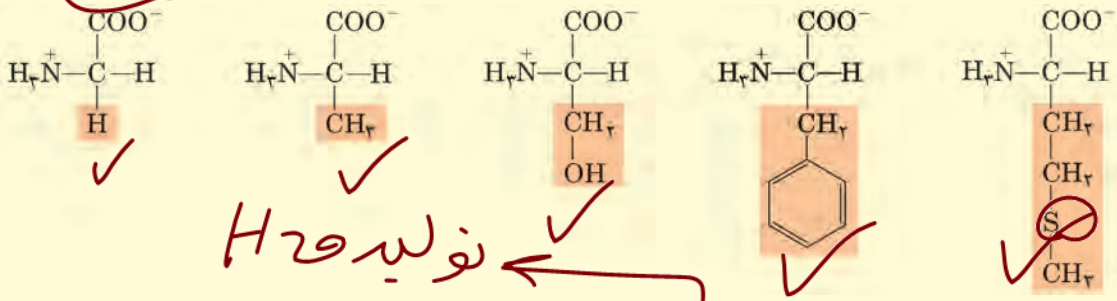


شکل ۱۵ــ ساختار عمومی یک آمینواسید

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

بیشتر بدانید

نمونه‌هایی از آمینواسیدها را در زیر می‌بینید که به دلیل تفاوت در R ویژگی‌های متفاوت دارند.



گلایسین (Gly) آلانین (Ala) سرین (Ser) فنیل آلانین (Phe) متیونین (Met)

پیوند پپتیدی آمینواسیدها را به یکدیگر متصل می‌کند

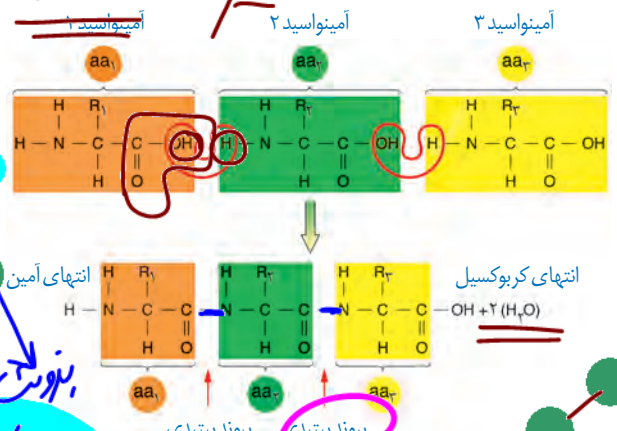
آمینواسیدهای مختلف با حضور آنزیم، واکنش **سنتز آبدهی** را انجام می‌دهند. در این نوع واکنش با خروج یک مولکول آب، یک آمینواسید با آمینواسید دیگر پیوند اشتراکی ایجاد می‌کند. این پیوند اشتراکی بین آمینواسیدها را **پیوند پپتیدی** می‌گویند. شکل ۱۶ الگوی ساده‌ای از چگونگی تشکیل این پیوند را نشان می‌دهد.

www.mrzist.org

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.



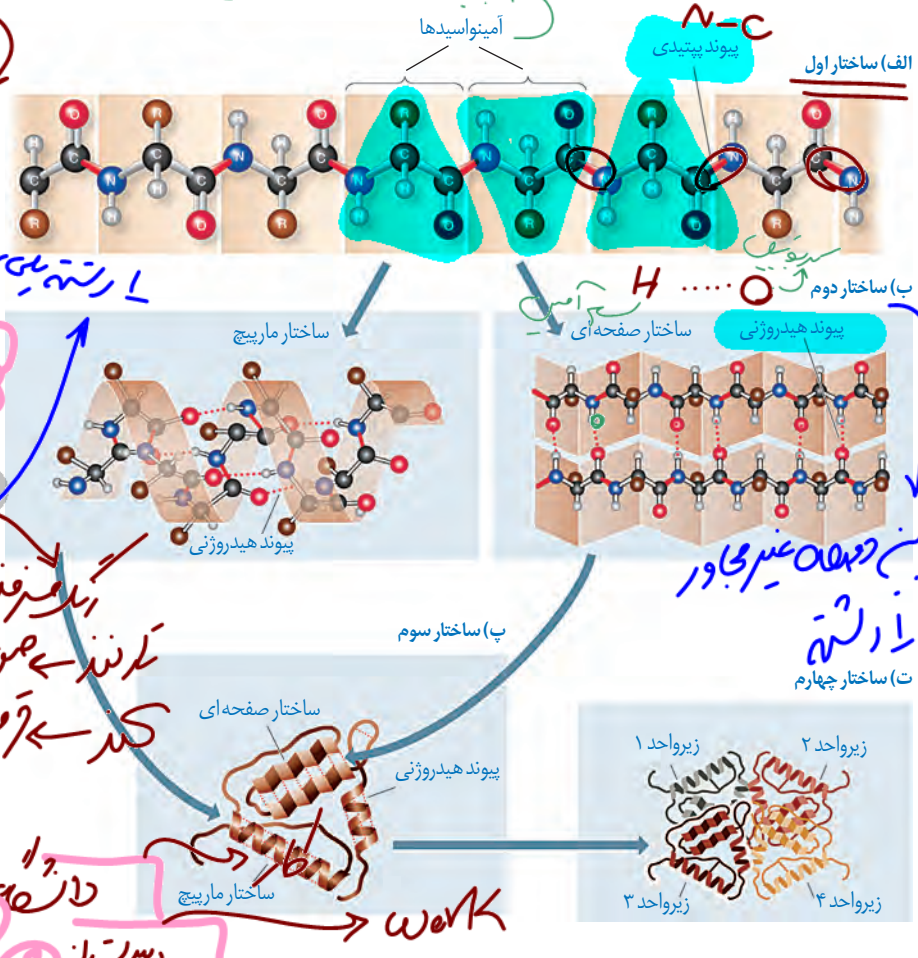
شکل ۱۶ــ تشکیل پیوند پپتیدی

سطوح مختلف ساختاری در پروتئین‌ها

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

اولین پروتئینی که ساختار آن شناسایی شد میوگلوبین بود. آیا به یاد می‌آورید میوگلوبین در بدن چه نقشی دارد؟ این پروتئین از یک رشتهٔ پلی‌پپتید تشکیل شده است.

ساختار پروتئین‌ها در چهار سطح بررسی می‌شود که هر ساختار مبنای تشکیل ساختار بالاتر است (شکل ۱۷).



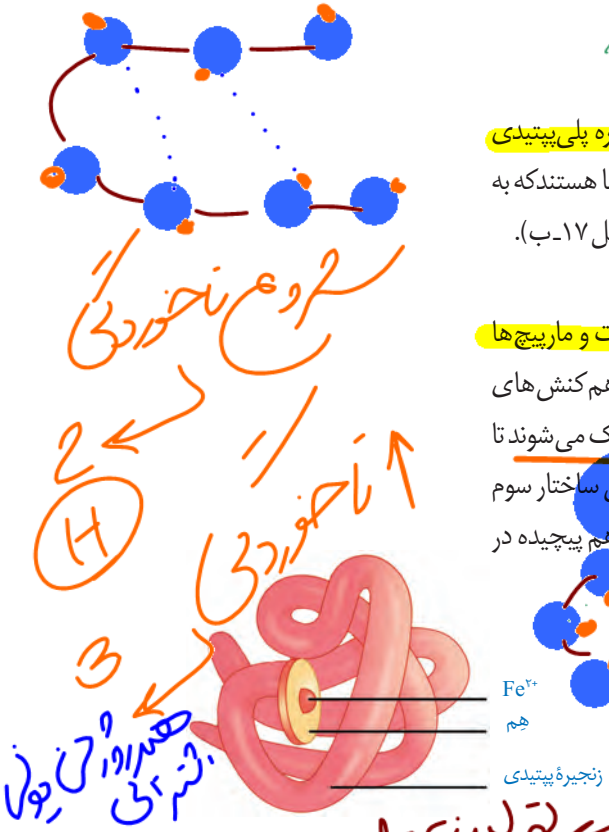
شکل ۱۷ــ ساختار پروتئین‌ها در چهار ساختار بررسی می‌شود.

www.mrzist.org

ساختار اول پروتئین ـ توالی آمینواسیدها: نوع، تعداد، ترتیب و تکرار آمینواسیدها، ساختار اول پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند. ساختار اول با ایجاد پیوندهای پپتیدی بین آمینواسیدها شکل می‌گیرد و خطی است. این پیوند در واقع نوعی پیوند اشتراکی است. تغییر آمینواسید در هر جایگاه موجب تغییر در ساختار اول پروتئین می‌شود. 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، همه سطوح دیگر ساختاری در پروتئین‌ها به این ساختار بستگی دارند (شکل ۱۷ـ الف).

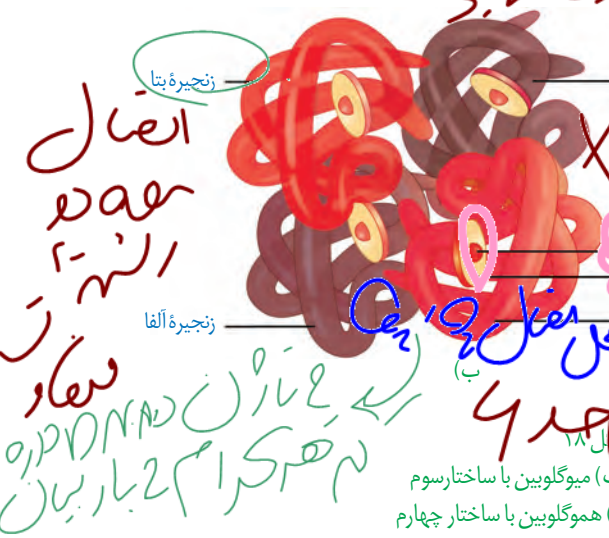
ساختار دوم ـ الگوهایی از پیوندهای هیدروژنی: بین بخش‌هایی از زنجیره پلی‌پپتیدی می‌تواند پیوندهای هیدروژنی برقرار شود. این پیوندها منشأ تشکیل ساختار دوم در پروتئین‌ها هستند که به چند صورت دیده می‌شوند. دو نمونه معروف آنها ساختار مارپیچ و ساختار صفحه‌ای است (شکل ۱۷ـ ب).

ساختار سوم ـ تاخورده و متصل به هم: در ساختار سوم، تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها رخ می‌دهد و پروتئین‌ها به شکل‌های متفاوتی در می‌آیند. 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. مجموعهٔ این نیروها قسمت‌های مختلف پروتئین را به‌صورت به‌هم پیچیده در کنار هم نگه می‌دارند (شکل ۱۷ـ پ). 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 آن را به شدت تغییر دهد. میوگلوبین نمونه‌ای از پروتئین‌ها با ساختار سوم است (شکل ۱۸ـ الف).



ساختار چهارم ـ آرایش زیرواحدها: بعضی 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 هریک از زنجیره‌ها نقشی کلیدی در شکل‌گیری پروتئین دارند. نحوهٔ آرایش این زیرواحدها در کنار هم ساختار چهارم پروتئین‌ها نامیده می‌شود (شکل ۱۷ـ ت).

هموگلوبین از چهار زنجیرهٔ 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 به‌صورت یک زیرواحد، تاخورده و شکل خاصی پیدا می‌کند. در نهایت در ساختار چهارم، این چهار زیرواحد در کنار هم قرار گرفته و هموگلوبین را شکل می‌دهند (شکل ۱۸ـ ب).



شکل ۱۸
الف) میوگلوبین با ساختارسوم
ب) هموگلوبین با ساختار چهارم

www.mrzist.org

فعّالیت 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 به‌صورت کاتالیزورهای زیستی عمل می‌کنند و سرعت واکنش شیمیایی خاصی را زیاد می‌کنند.

بعضی دیگر از پروتئین‌ها به‌صورت گیرنده‌هایی در سطح یاخته‌ها قرار دارند؛ مثلاً گیرنده‌های آنتی‌ژنی در سطح لنفوسیت‌ها نمونه‌ای از این پروتئین‌ها هستند.

برخی پروتئین‌ها مثل هموگلوبین گازهای تنفسی را در خون منتقل می‌کنند. پمپ سدیم ـ 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.

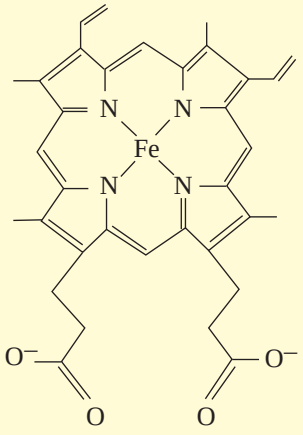
انقباض ماهیچه‌ها نیز ناشی از حرکت لغزشی دو نوع پروتئین روی یکدیگر یعنی اکتین و میوزین است. از دیگر پروتئین‌ها می‌توان به هورمون‌ها اشاره کرد. بیشتر هورمون‌ها از جمله اکسی‌توسین و انسولین که پیام‌های بین یاخته‌ای را در بدن جانوران ردوبدل می‌کنند تا تنظیم‌های مختلف در بدن انجام شود، پروتئینی هستند. همچنین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

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 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 انجام‌شدنی 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

بیشتر بدانید

هِم (Heme) ترکیبی آهن‌دار و غیرپروتئینی است و در ساختار پروتئین‌هایی مانند هموگلوبین و میوگلوبین وجود دارد. هم انواع متفاوتی دارد، فرمول شیمیایی رایج‌ترین آن $C_{34}H_{32}N_4O_4Fe$ است. هر زنجیره هموگلوبین، یک گروه هم دارد که با داشتن اتم آهن می‌تواند به یک مولکول اکسیژن متصل شود؛ بنابراین مولکول هموگلوبین ظرفیت حمل چهار اکسیژن را دارد.



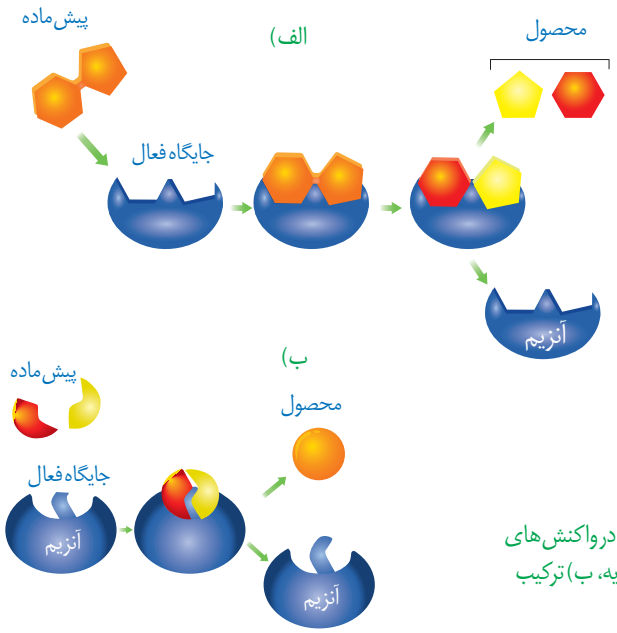
www.mrzist.org

مؤثر در تنفس یاخته‌ای، فتوسنتز و همانندسازی درون یاخته فعالیت می‌کنند. البته گروهی از آنزیم‌ها مثل پمپ سدیم ـ پتاسیم فعالیت خود را در غشا انجام می‌دهند.

ساختار آنزیم‌ها

بیشتر آنزیم‌ها پروتئینی هستند. آنزیم‌ها در ساختار خود بخشی به نام **جایگاه فعال**[1] دارند. جایگاه فعال بخشی اختصاصی در آنزیم است که **پیش‌ماده**[2] در آن قرار می‌گیرد. ترکیباتی که آنزیم روی آنها عمل می‌کند، پیش‌ماده و ترکیباتی که حاصل فعالیت آنزیم هستند، **فراورده**[3] یا محصول خوانده می‌شوند (شکل ۱۹).

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**[4] 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.



شکل ۱۹ـ طرز عمل آنزیم در واکنش‌های سوخت‌وسازی الف) تجزیه، ب) ترکیب

۱ـ Active site
۲ـ Substrate
۳ـ Product
۴ـ Coenzyme

www.mrzist.org

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.

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 امّا 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 پیش‌ماده بر سرعت فعالیت آنزیم‌ها تأثیر می‌گذارند.

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 پیش‌ماده از بین برود، در نتیجه میزان فعالیت آن تغییر می‌کند.

دما: آنزیم‌های بدن انسان در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد بهترین فعالیت را دارند. این آنزیم‌ها در دمای بالاتر 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.

غلظت آنزیم و پیش‌ماده: مقدار بسیار کمی از آنزیم کافی است تا مقدار زیادی از پیش‌ماده را در واحد زمان به فراورده تبدیل کند. اگر مقدار آنزیم زیادتر شود تولید فراورده در واحد زمان افزایش می‌یابد. افزایش غلظت پیش‌ماده 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 پیش‌ماده اشغال شوند. در این حالت سرعت انجام واکنش ثابت می‌شود.

بیشتر بدانید

باکتری‌های مقاوم به گرما

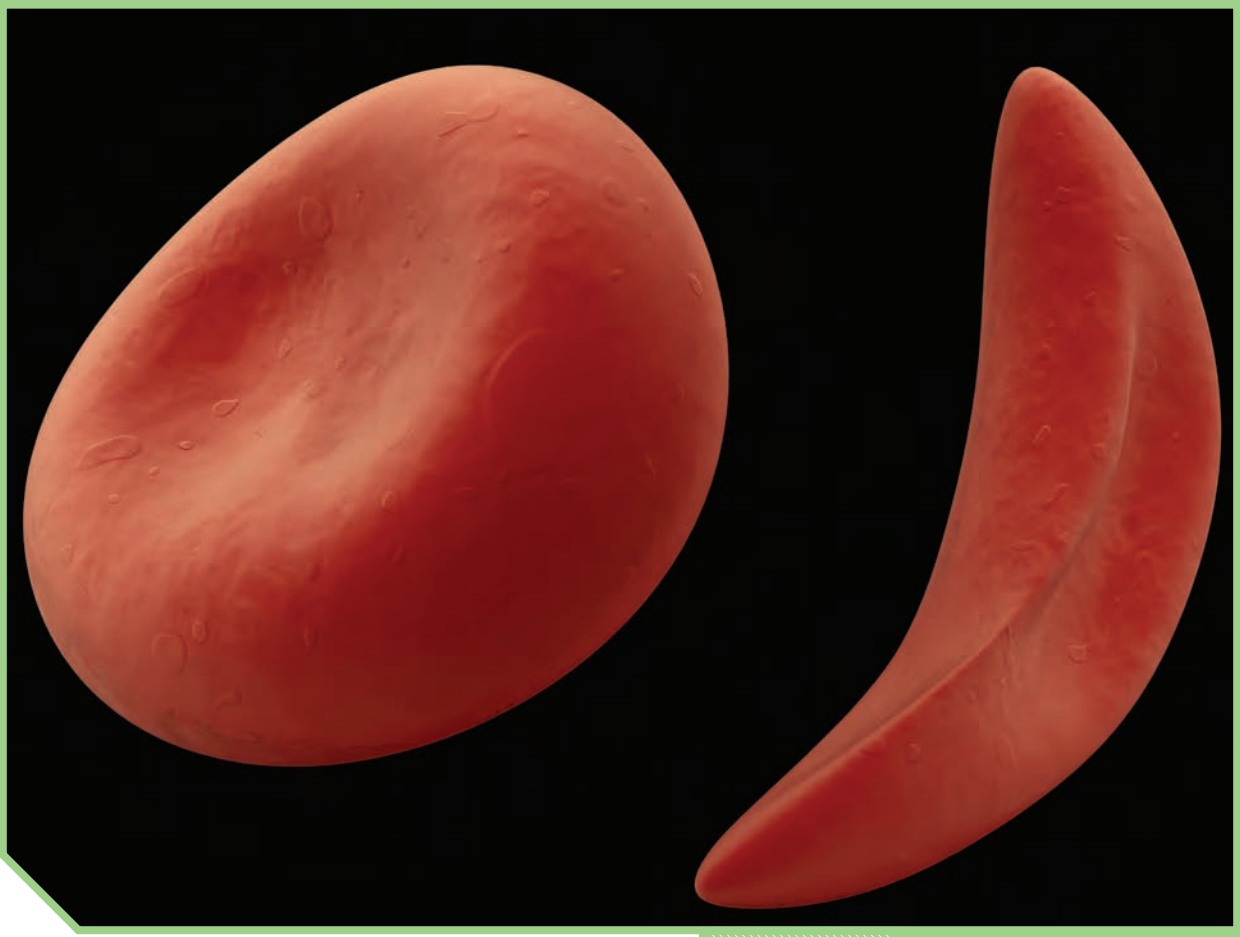
بعضی باکتری‌ها در چشمه‌های آب گرم زندگی می‌کنند. آنزیم‌های این باکتری‌ها در دمای حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین فعالیت را دارند. دِنای آنها هم درصد زیادی باز G و C دارد تا با سه پیوند هیدروژنی استحکام و ثبات بیشتری داشته باشد.

فعّالیت ۲

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؟

www.mrzist.org



فصل ۲

جریان اطلاعات در یاخته

تصویر بالا دو گویچه قرمز را نشان می‌دهد. گویچهٔ سمت راست مربوط به شخصی است که دچار نوعی بیماری ارثی به نام **کم‌خونی داسی‌شکل**[۱] است. علت این بیماری نوعی تغییر ژنی است که باعث می‌شود پروتئین هموگلوبین حاصل از آن دچار تغییر شود که نتیجه آن تغییر شکل گویچه قرمز از حالت گرد به داسی‌شکل است. این تغییر ژنی، بسیار جزئی است و در آن تنها یک جفت از صدها جفت نوکلئوتید دنا در افراد بیمار تغییر یافته است. همچنین این بیماری به نوعی، رابطهٔ بین ژن و پروتئین را نشان می‌دهد. به‌نظر شما اطلاعات ژن‌ها چگونه در این یاخته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ آیا این اطلاعات در سایر یاخته‌ها نیز وجود دارد؟ چرا بعضی ژن‌ها مانند ژن سازنده هموگلوبین فقط در گویچه‌های قرمز بروز می‌کنند و مثلاً در یاخته‌های بافت پوششی پوست بروز نمی‌کنند؟ این موارد نمونهٔ پرسش‌هایی هستند که در این فصل به آنها پاسخ داده می‌شود.

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

۱ـ Sickle cell anemia

www.mrzist.org

گفتار ۱ رونویسی

در فصل گذشته دیدید که واحد سازندهٔ مولکول دنا، نوکلئوتید است ولی پلی‌پپتیدها از آمینواسید تشکیل شده‌اند. چون دستورالعمل ساخت پلی‌پپتیدها در مولکول دنا قرار دارد، پس باید بین نوکلئوتیدهای ژن و آمینواسیدهای پلی‌پپتید، ارتباطی وجود داشته باشد.

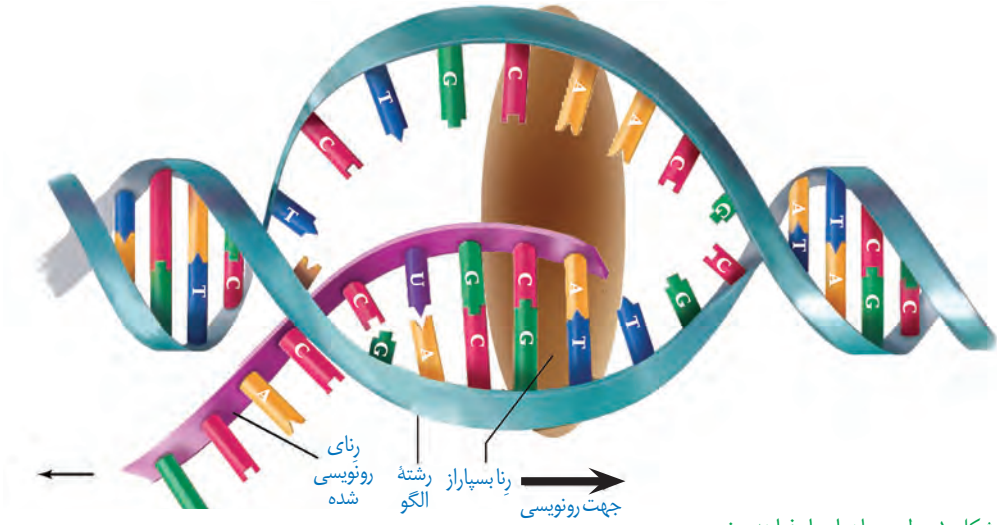
دنا چگونه نوع آمینواسیدهای پلی‌پپتید را تعیین می‌کند؟

آموختید که در مولکول دنا، ۴ نوع نوکلئوتید وجود دارد که فقط در نوع بازهای آلی تفاوت دارند. درحالی‌که پلی‌پپتیدها از ۲۰ نوع آمینواسید تشکیل شده‌اند. پس از پژوهش‌هایی مشخص شد که هر توالی ۳ تایی از نوکلئوتیدهای دنا، بیانگر نوعی آمینواسید است. با ۴ نوع نوکلئوتید به‌کار رفته در دنا، ۶۴ توالی ۳ نوکلئوتیدی مختلف ایجاد می‌شود که می‌توانند رمز ساخت پلی‌پپتیدهایی با ۲۰ نوع آمینواسید را داشته باشند؛ به هر یک از این توالی‌های سه نوکلئوتیدی در دنا **رمز** می‌گویند.

نقش مولکول رنا به عنوان میانجی

می‌دانید که پلی‌پپتیدها بر اساس اطلاعات دنا و توسط رِناتَن‌ها در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند. در یاخته‌های دارای هسته، چون رِناتَن‌ها درون هسته حضور ندارند، فرایند ساخت پلی‌پپتید در آن انجام نمی‌شود. با توجه به اینکه اطلاعات دنا برای ساخت پلی‌پپتید ضروری است و دنا هم از هسته خارج نمی‌شود، این سؤال پیش می‌آید که دستورات ساخت پلی‌پپتید چگونه به بیرون هسته منتقل می‌شود؟

پاسخ در مولکول رنا است. همان‌طور که دیدید انواعی از رنا در یاخته وجود دارند که در پروتئین‌سازی نقش دارند. این رناها از روی مولکول دنا ساخته می‌شوند. به ساخته شدن مولکول رنا از روی بخشی از یک رشته دنا، **رونویسی**[۱] گفته می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ــ طرح ساده‌ای از فرایند رونویسی

۱ــ Transcription

www.mrzist.org

اساس رونویسی شبیه همانندسازی است. در این فرایند نیز با توجه به نوکلئوتیدهای رشته دنا، نوکلئوتیدهای مکمل در زنجیره رنا قرار می‌گیرد و به هم متصل می‌شوند. برخلاف همانندسازی که در هر چرخهٔ یاخته‌ای یک‌بار انجام می‌شود، رونویسی یک ژن می‌تواند در هر چرخه بارها انجام شود و چندین رشته رنا ساخته شود. آیا می‌توانید تفاوت‌های دیگری برای این دو فرایند بیان کنید؟

آنزیم‌های ویژه‌ای رونویسی را تسهیل می‌کنند

در یاخته انواعی از رنا ساخته می‌شود. عمل رونویسی از دنا به کمک آنزیم‌ها انجام می‌شود. این آنزیم‌ها را، تحت عنوان کلی **رِنابسپاراز**[۱] نام‌گذاری می‌کنند.

در پروکاریوت‌ها یک نوع رنابسپاراز وظیفهٔ ساخت انواع رنا را بر عهده دارد. در یوکاریوت‌ها، انواعی از رنابسپاراز، ساخت رناهای مختلف را انجام می‌دهند؛ مثلاً رنای پیک توسط رنابسپاراز ۲، رنای ناقل توسط رنابسپاراز ۳ و رنای رِناتَنی توسط رنابسپاراز ۱ ساخته می‌شود.

مراحل رونویسی

رونویسی فرایندی پیوسته است ولی برای سادگی موضوع، آن را به سه مرحلهٔ **آغاز**، **طویل شدن** و **پایان** تقسیم می‌کنند. در این مراحل، آنزیم رنابسپاراز، عمل رونویسی را از بخشی از یک رشته دنا انجام می‌دهد.

مرحله آغاز[۲]: در این مرحله، رنابسپاراز به مولکول دنا متصل می‌شود و دو رشتهٔ آن را از هم باز می‌کند. به نظر شما برای باز شدن دو رشته کدام پیوندها در این ناحیه شکسته می‌شوند؟ برای اینکه رونویسی ژن از محل صحیح خود شروع شود توالی‌های نوکلئوتیدی ویژه‌ای در دنا وجود دارد که رنابسپاراز آن را شناسایی می‌کند. به این توالی‌ها، **راه‌انداز**[۳] گفته می‌شود. راه انداز موجب می‌شود رنابسپاراز اولین نوکلئوتید مناسب را به‌طور دقیق پیدا و رونویسی را از آنجا آغاز کند. در این حالت بخش کوچکی از مولکول دنا باز و زنجیره کوتاهی از رنا ساخته می‌شود (شکل ۲ــ الف). نحوهٔ عمل رنابسپاراز به این صورت است که آنزیم با توجه به نوع نوکلئوتید رشته الگوی دنا، نوکلئوتید مکمل را در برابر آن قرار می‌دهد و سپس این نوکلئوتید را به نوکلئوتید قبلی رشته رنا متصل می‌کند. در رونویسی، نوکلئوتید یوراسیل‌دار رنا به عنوان مکمل در برابر نوکلئوتید آدنین‌دار دنا قرار می‌گیرد.

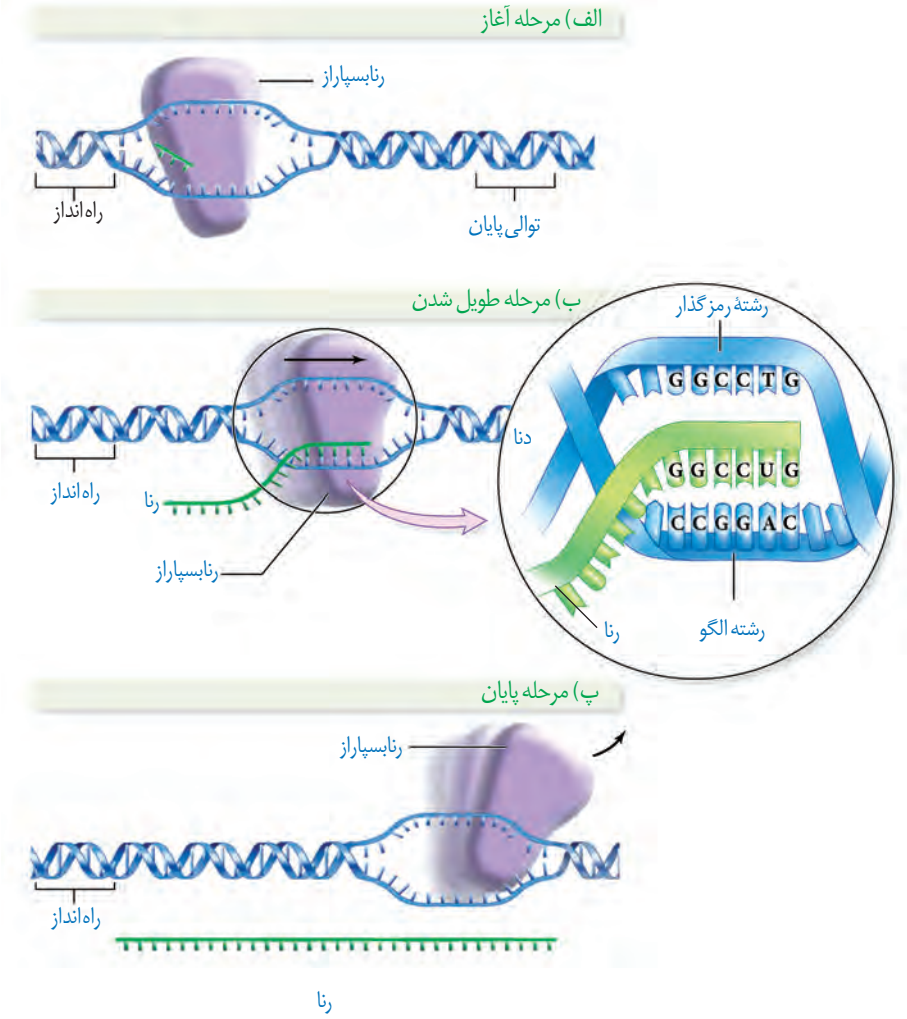
مرحله طویل شدن[۴]: در این مرحله رنابسپاراز ساخت رنا را ادامه می‌دهد که در نتیجهٔ آن، رنا طویل می‌شود. همچنان که مولکول رنابسپاراز به پیش می‌رود، دو رشته دنا در جلوی آن باز و در چندین نوکلئوتید عقب‌تر، رنا از دنا جدا می‌شود و دو رشتهٔ دنا مجدداً به هم می‌پیوندند (شکل ۲ــ ب).

مرحله پایان[۵]: در دنا توالی‌های ویژه‌ای وجود دارد که موجب پایان رونویسی توسط آنزیم رنابسپاراز

۱ــ RNA Polymerase
۲ــ Initiation
۳ــ Promoter
۴ــ Elongation
۵ــ Termination

www.mrzist.org

می‌شوند. در این محل‌ها، آنزیم از مولکول دنا و رنای تازه ساخت جدا و دو رشتهٔ دنا به هم متصل می‌شوند(شکل ۲ــ پ).



شکل ۲ــ مراحل مختلف رونویسی

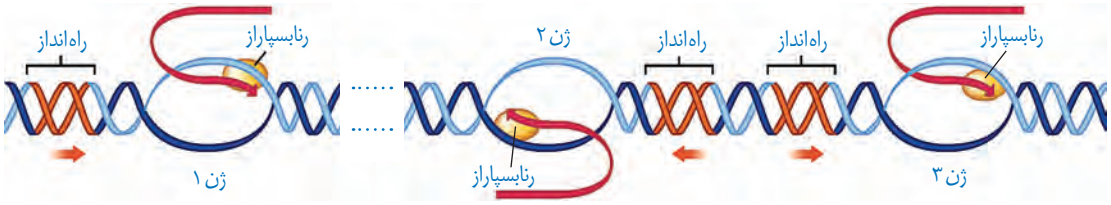
فقط یکی از دو رشتهٔ دنا در هر ژن رونویسی می‌شود

همان‌طور که گفته شد، ژن بخشی از مولکول دنای دو رشته‌ای است ولی رونویسی از روی هردو رشته یک ژن انجام نمی‌شود. به نظر شما اگر از روی دو رشتهٔ یک ژن رونویسی انجام می‌شد، محصولات این دو رشتهٔ مکمل نسبت به هم چگونه می‌شدند؟ مسلماً رنا و پلی‌پپتید ساخته‌شده از روی دو رشتهٔ مکمل دنا بسیار متفاوت می‌شدند. بنابراین برای هر ژن خاص، یکی از دو رشته رونویسی می‌شود. به بخشی از رشته دنا که مکمل رشته رنای رونویسی شده است **رشته الگو**[۱] می‌گویند (شکل۲ــ الف). به رشته مکمل همین بخش در مولکول دنا، **رشتهٔ رمزگذار** گفته می‌شود، زیرا توالی نوکلئوتیدی آن شبیه رشته رنایی است که از روی رشته الگوی آن ساخته می‌شود. به نظر شما رشته رنا با رشته رمزگذار چه تفاوت‌هایی می‌تواند داشته باشد؟ پاسخ در نوکلئوتیدهای مورد استفاده است؛ مثلاً به‌جای نوکلئوتید تیمین‌دار در دنا، نوکلئوتید یوراسیل‌دار در رنا قرار دارد.

۱ــ Template

www.mrzist.org

رشتهٔ مورد رونویسی یک ژن ممکن است با رشته مورد رونویسی ژن‌های دیگر یکسان یا متفاوت باشد (شکل ۳).



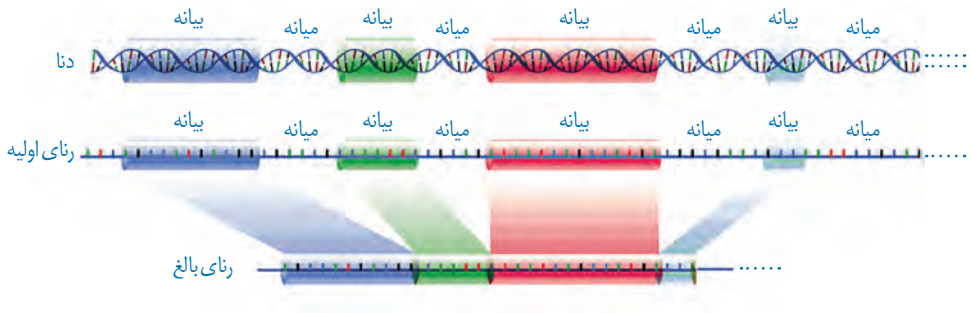
شکل ۳ــ همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، فقط یکی از دو رشته هر ژن رونویسی می‌شود.

رناهای ساخته شده دچار تغییر می‌شوند

در چند دهه گذشته، پژوهشگران دریافتند که در یاخته‌های یوکاریوتی، رنای ساخته شده در رونویسی با رنایی که در سیتوپلاسم وجود دارد تفاوت‌هایی دارد. بعدها مشخص شد که این مولکول‌ها برای انجام کارهای خود دستخوش تغییراتی می‌شوند.

تغییرات رنای پیک

رنای پیک ممکن است دستخوش تغییراتی در حین رونویسی و یا پس از آن شود. یکی از این تغییرات حذف بخش‌هایی از مولکول رنای پیک است. در بعضی ژن‌ها، توالی‌های معینی از رنای ساخته شده، جدا و حذف می‌شود و سایر بخش‌ها به هم متصل می‌شوند و یک رنای پیک یکپارچه می‌سازند. به این فرایند **پیرایش**[۱] گفته می‌شود (شکل ۴).



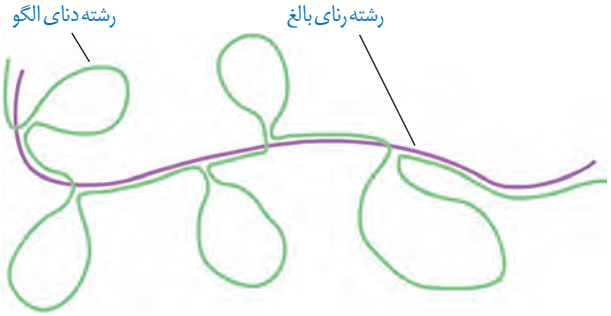
شکل ۴ــ پیرایش در بخشی از رنای یک ژن

این فرایند هنگامی آشکار شد که دانشمندان یک رنای پیک درون سیتوپلاسم را با رشتهٔ الگوی ژن آن در دنا مجاورت دادند. آنها دریافتند که بخش‌هایی از دنای الگو با رنای رونویسی شده، دو رشته مکمل را تشکیل می‌دهند ولی بخش‌هایی نیز فاقد مکمل باقی می‌مانند. این بخش‌ها به‌صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دو رشته‌ای قرار می‌گیرند. به این نواحی که درمولکول دنا وجود دارد ولی رونوشت آن در رنای پیک سیتوپلاسمی حذف شده **میانه (اینترون)**[۲] می‌گویند. به سایر بخش‌های مولکول

۱ــ Splicing

۲ــ Intron

www.mrzist.org

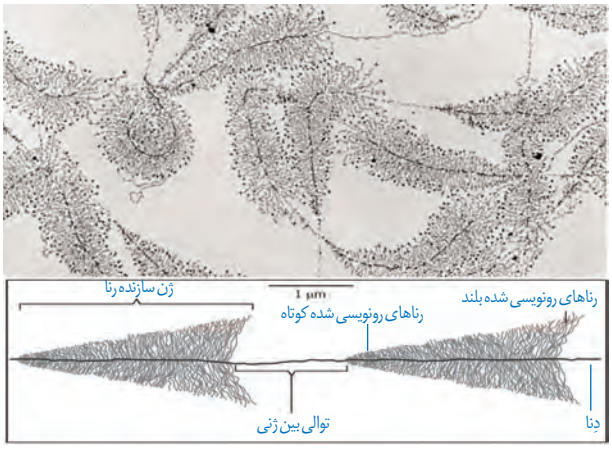


شکل ۵ــ طرح ساده‌ای از رشته الگوی مولکول دنا و رنای بالغ حاصل از آن.
به نظر شما حلقه‌های سبز میانه هستند یا بیانه؟

دنا، که رونوشت آنها حذف نمی‌شوند **بیانه (اگزون)**[۱] گفته می‌شود (شکل۵). در واقع رنای رونویسی شده از رشته الگو، در ابتدا دارای رونوشت‌های میانهٔ دنا است. به این رنا، **رنای نابالغ** یا **اولیه**[۲] گفته می‌شود. با حذف این رونوشت‌ها از رنای اولیه و پیوستن بخش‌های باقی‌مانده به هم، **رنای بالغ**[۳] ساخته می‌شود.

شدت و میزان رونویسی

به‌طور کلی میزان رونویسی یک ژن به مقدار نیاز یاخته به فراورده‌های آن بستگی دارد. بعضی ژن‌ها، مانند ژن‌های سازنده رنای رِناتَنی در یاخته‌های تازه تقسیم شده بسیار فعال‌اند؛ زیرا باید تعداد زیادی از این نوع رِنا را بسازند. در این نوع ژن‌ها، هم‌زمان تعداد زیادی رنابسپاراز از ژن رونویسی می‌کنند. به این دلیل که در هر زمان، رنابسپارازها در مراحل مختلفی از رونویسی هستند، در زیر میکروسکوپ الکترونی، اندازه رناهای ساخته شده متفاوت دیده می‌شود. در این تصاویر رناها از اندازهٔ کوتاه به بلند دیده می‌شود (شکل۶). با توجه به شکل آیا می‌توانید جهت رونویسی هر ژن را مشخص کنید؟



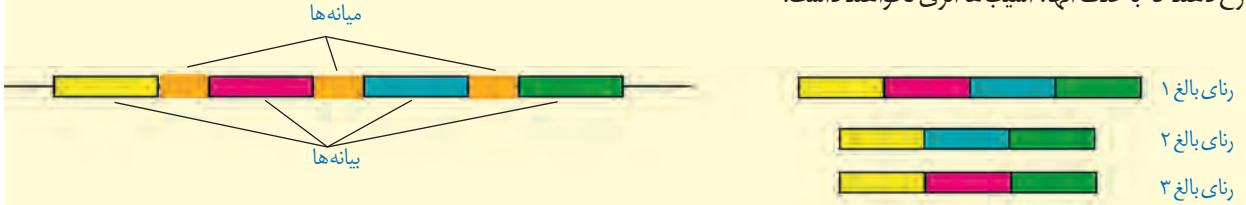
شکل ۶ ــ ساخته شدن هم‌زمان چندین رنا از روی ژن

بیشتر بدانید

نقش زیستی میانه‌ها و بیانه‌ها

اندازهٔ میانه‌ها ممکن است بخش عمده‌ای از رنای اولیه را تشکیل دهد که در رنای بالغ حذف می‌شود. با توجه به اینکه یاخته برای رونویسی میانه‌ها انرژی زیادی صرف می‌کند، این سؤال پیش می‌آید که نقش زیستی این اجزا در یاخته چیست؟

به نظر می‌رسد یکی از نقش‌های میانه، تنظیم رونویسی و در نتیجه تعداد رونوشت‌ها است. با افزایش تعداد و اندازه میانه‌ها، رونویسی از ژن‌ها بیشتر طول می‌کشد و در نتیجه محصول کمتری تولید می‌شود. نقش دیگر میانه‌ها، ایجاد تنوع در محصول است که نتیجهٔ پیرایش متفاوت رنای پیک است. با اینکه در بعضی ژن‌ها چسبیدن رونوشت‌های بیانه یک ژن، به‌طور منظم و یکنواخت انجام می‌شود، در بعضی دیگر از ژن‌ها، چسبیدن رونوشت‌های بیانه به‌صورت تصادفی انجام می‌شود (شکل زیر). پیرایش‌های متفاوت از یک ژن منجر به ساخته شدن رناهای مختلف می‌شود که می‌تواند پلی‌پپتیدهای متفاوتی را ایجاد کند. در پیرایش حتی ممکن است بخش‌های بیانه یک رونوشت به بخش‌هایی از بیانه‌های رونوشت دیگر متصل شود و برگونا گونی محصول اضافه کند. نقش دیگری که برای میانه‌ها در نظر می‌گیرند، کاهش آسیب‌های مؤثر به دِنا است زیرا برخی آسیب‌ها ممکن است در محل میانه‌ها رخ دهند که با حذف آنها، آسیب‌ها اثری نخواهند داشت.



پیرایش‌های متفاوت یک ژن: با کنار هم قرار گیری متفاوت بیانه‌ها، ترکیب‌های متفاوتی حاصل می‌شود.

۱ــ Exon
۲ــ Precursor mRNA (Pre-mRNA)
۳ــ Mature messenger RNA

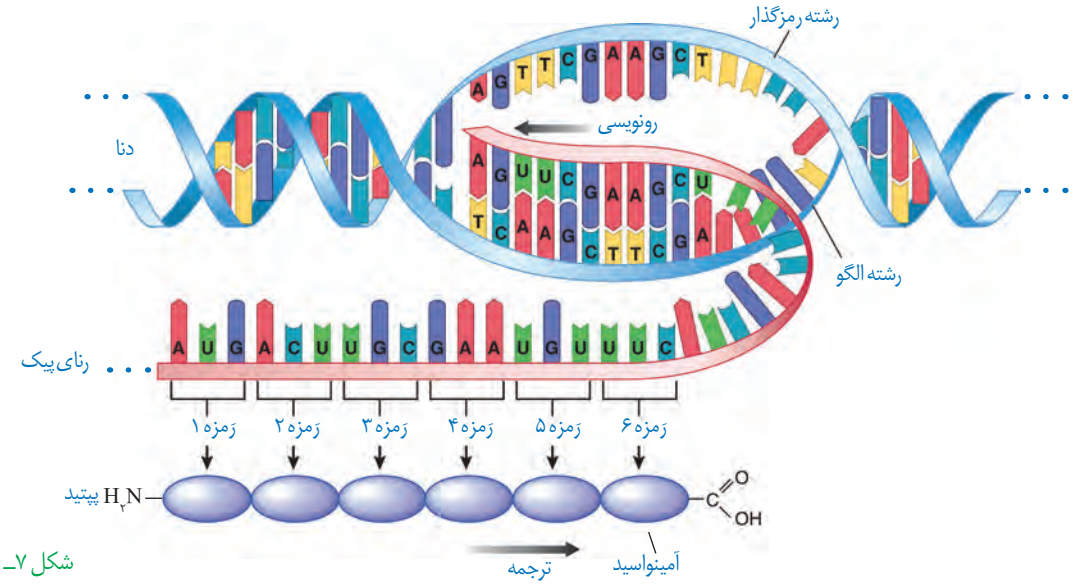
www.mrzist.org

گفتار ۲ به سوی پروتئین

پلی پپتیدها از مهم‌ترین فراورده‌های ژن‌ها هستند. پروتئین‌ها اعمال مختلفی را در بدن انجام می‌دهند که پیش از این با برخی از آنها آشنا شده‌اید. اینکه چگونه ژن‌ها و پروتئین‌های حاصل از آن، صفات را ایجاد می‌کنند در آینده مورد بحث قرار می‌گیرند. در این گفتار به نحوهٔ تبدیل اطلاعات وراثتیِ رنا، به پروتئین می‌پردازیم.

تبدیل زبان نوکلئیک‌اسیدی رنا به زبان پلی پپتیدی

دانستید که در فرایند رونویسی از روی توالی‌های دنا، رنا ساخته می‌شود که هر دو از نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. ولی در ساختار پلی‌پپتیدها، آمینواسید وجود دارد. به ساخته شدن پلی‌پپتید از روی اطلاعات رنای پیک، **ترجمه**[۱] می‌گویند. طرح ساده‌ای از ژن تا پلی‌پپتید را در شکل زیر مشاهده می‌کنید (شکل ۷).



شکل ۷ــ طرح ساده‌ای از تشکیل شدن پلی‌پپتید

توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی رنای پیک تعیین می‌کند که کدام آمینواسیدها باید در ساختار پلی‌پپتید قرار بگیرد. به این توالی‌ها، **رمزه** (کُدون)[۲] گفته می‌شود. در یاخته ۶۴ نوع رَمزه وجود دارد. نکته قابل توجه این است که رَمزه آمینواسیدها در جانداران یکسان‌اند. به نظر شما این موضوع بیانگر چه واقعیتی است؟

رَمزه‌های **UAA**، **UGA** و **UAG** هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کنند که به آنها **رَمزهٔ پایان** می‌گویند، زیرا حضور این رَمزه‌ها در رنای پیک موجب پایان یافتن عمل ترجمه می‌شود. **رَمزهٔ آغاز** یا **AUG** رَمزه‌ای است که ترجمه از آن آغاز می‌شود. این رَمزه، معرف آمینواسید متیونین نیز است.

۱ــ Translation

۲ــ Codon

www.mrzist.org

بیشتر بدانید

انواع رَمزه و آمینواسیدهای مربوط به آنها

طرح پرسش از این جدول در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

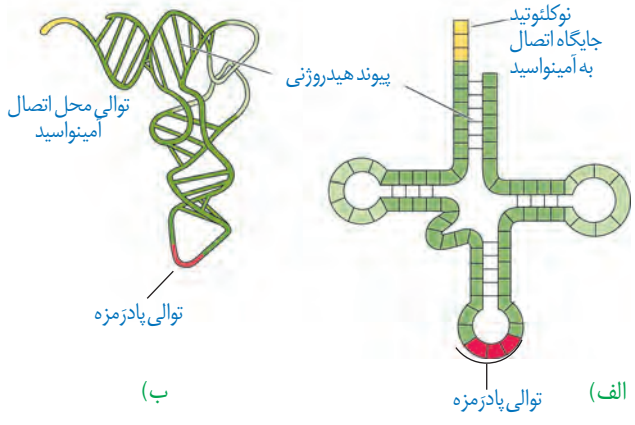
حرف اول	حرف دوم U	حرف سوم	حرف دوم C	حرف سوم	حرف دوم A	حرف سوم	حرف دوم G	حرف سوم
U	UUU, UUC: فنیل آلانین	U C A G	UCU, UCC, UCA, UCG: سرین	U C A G	UAU, UAC: تیروزین	U C	UGU, UGC: سیستئین	U C
	UUA, UUG: لوسین				UAA, UAG: رَمزه پایان	A G	UGA: رَمزه پایان	A
							UGG: تریپتوفان	G
C	CUU, CUC, CUA, CUG: لوسین	U C A G	CCU, CCC, CCA, CCG: پرولین	U C A G	CAU, CAC: هیستیدین	U C	CGU, CGC, CGA, CGG: آرژنین	U C A G
					CAA, CAG: گلوتامین	A G		
A	AUU, AUC, AUA: ایزولوسین	U C A	ACU, ACC, ACA, ACG: ترئونین	U C A G	AAU, AAC: آسپاراژین	U C	AGU, AGC: سرین	U C
	AUG: (متیونین) رَمزه آغاز	G			AAA, AAG: لیزین	A G	AGA, AGG: آرژنین	A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG: والین	U C A G	GCU, GCC, GCA, GCG: آلانین	U C A G	GAU, GAC: آسپارتیک اسید	U C	GGU, GGC, GGA, GGG: گلیسین	U C A G
					GAA, GAG: گلوتامیک اسید	A G		

عوامل لازم در ترجمه

ترجمه نیازمند عوامل مختلفی است. ترجمه را می‌توان به یک فرایند آشپزی از روی کتاب آن تشبیه کرد. براساس دستورالعمل این کتاب، مواد اولیه به مقدار و ترتیب خاصی استفاده و غذای خاصی درست می‌شود. در ترجمه هم براساس رَمزه‌های رنای پیک، پلی‌پپتید خاصی ساخته می‌شود. مواد اولیه مصرفی در ترجمه، آمینواسیدها هستند. رِناتَن‌ها و رناهای ناقل از دیگر عوامل لازم در ترجمه هستند. انرژی لازم برای تهیه پلی‌پپتید هم از مولکول‌های پر انرژی مانند ATP به‌دست می‌آید.

ساختار رنای ناقل

رنای ناقل پس از رونویسی دچار تغییراتی می‌شود. در ساختار نهایی رنای ناقل، نوکلئوتیدهای مکمل می‌توانند پیوند هیدروژنی ایجاد کنند. به همین علت رنای تک رشته‌ای، روی خود تا می‌خورد (شکل ۸ ــ الف). رنای ناقل تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه‌بعدی را



شکل ۸ ــ رنای ناقل
الف) تاخوردگی اولیه
ب) ساختار سه بعدی

www.mrzist.org

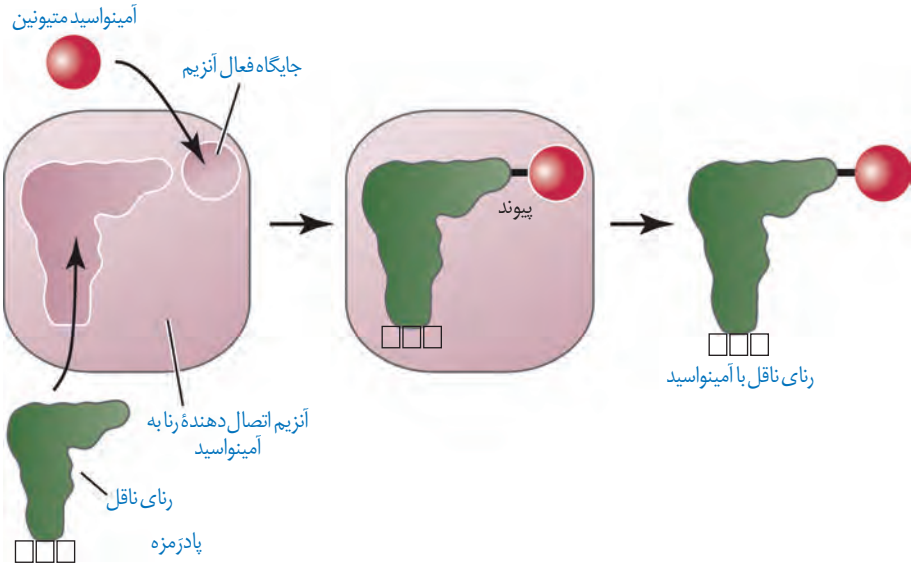
به‌وجود می‌آورد. در این ساختار یک بخش محل اتصال آمینواسید و دیگری توالی ۳ نوکلئوتیدی به نام **پادرمزه (آنتی کدون)**[۱] است (شکل ۸). به نظر شما علت این نام‌گذاری چیست؟ هنگام ترجمه، این توالی با توالی رَمزه مکمل خود پیوند هیدروژنی مناسب برقرار می‌کند.

در همه رناهای ناقل، به جز در ناحیه پادرَمزه‌ای، انواع توالی‌های مشابهی وجود دارند. انتظار این است که به تعداد انواع رَمزه‌ها، پادرَمزه وجود داشته باشد ولی تعداد انواع پادرَمزه‌ها کمتر از رَمزه‌ها است؛ مثلاً برای رَمزه‌های پایان، رنای ناقل وجود ندارد.

نحوهٔ عمل رنای ناقل: همان‌طور که گفته شد، آمینواسید به رنای ناقل متصل می‌شود. حال پرسش این است که آیا هر نوع آمینواسید به هر نوع رنای ناقل می‌تواند متصل شود؟ اهمیت بخش پادرَمزه‌ای در این اتصال چیست؟

در واقع در یاخته‌ها، آنزیم‌های ویژه‌ای وجود دارند که براساس نوع توالی پادرَمزه، آمینواسید مناسب را به رنای ناقل متصل می‌کنند؛ یعنی آنزیم با تشخیص پادرَمزه در رنای ناقل، آمینواسید مناسب را یافته و به آن وصل می‌کند. این فرایند نیازمند انرژی است (شکل ۹).

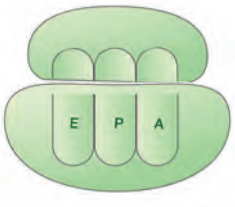
حال بر اساس آنچه تاکنون دربارهٔ رَمزه‌ها خوانده‌اید آیا می‌توانید حدس بزنید رنای ناقل با چه توالی پادرَمزه‌ای می‌تواند به آمینواسید متیونین متصل شود؟



شکل ۹ــ نحوهٔ پیوستن آمینواسید به رنای ناقل مربوط به خود توسط آنزیم ویژه آن

ساختار رِناتَن

دانستید که رِناتَن در ساخت پلی‌پپتید نقش دارد. رِناتَن‌ها از دو زیرواحد تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰). هر زیرواحد نیز از رنا و پروتئین تشکیل شده است. به یاد می‌آورید که رنای رِناتَنی به‌وسیله کدام رنابسپارازها ساخته می‌شود؟ در یاخته، پروتئین‌های رِناتَنی ساخته شده و رنای مربوط به آنها در کنار هم قرار گرفته و زیرواحد کوچک و بزرگ رِناتَن را می‌سازد. رِناتَن در ساختار کامل، سه جایگاه به نام P، A و E دارد که با آنها در ادامه آشنا خواهیم شد.



شکل ۱۰ــ ترتیب قرارگیری زیرواحدهای رِناتَن

۱ــ Anticodon

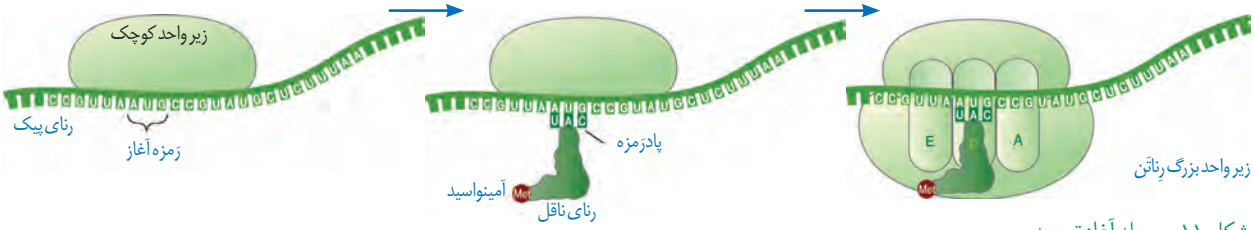
www.mrzist.org

مراحل ترجمه

ترجمه نیز فرایندی پیوسته است که برای سادگی در یادگیری آن را به سه مرحلهٔ **آغاز**، **طویل شدن** و **پایان** تقسیم می کنند.

مرحله آغاز: در این مرحله بخش‌هایی از رنای پیک، زیرواحد کوچک رِناتَن را به‌سوی رَمزهٔ آغاز، هدایت می کند. سپس در این محل رنای ناقلی که مکمل رَمزه آغاز است به آن متصل می‌شود. با افزوده شدن زیرواحد بزرگ رِناتَن به این مجموعه، ساختار رِناتَن کامل می‌شود.

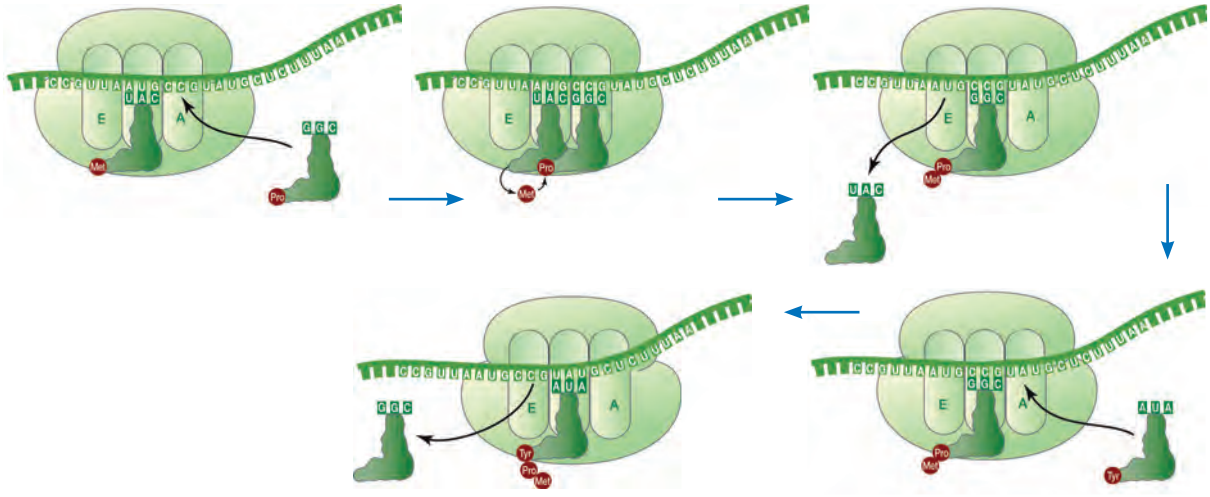
در این مرحله جایگاه P در رِناتَن، محل قرارگیری رنای ناقل دارای آمینواسید است. این جایگاه در ابتدا توسط رنای ناقل متیونین اشغال می‌شود. جایگاه A محل قرارگیری رنای ناقل بعدی و آمینواسید متصل به آن خواهد بود. پیوند پپتیدی در جایگاه A برقرار می‌شود. جایگاه E محل خروج رنای ناقل بدون آمینواسید است. در مرحله آغاز فقط جایگاه P پر می‌شود و جایگاه A و E خالی می‌ماند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ــ مرحله آغاز ترجمه

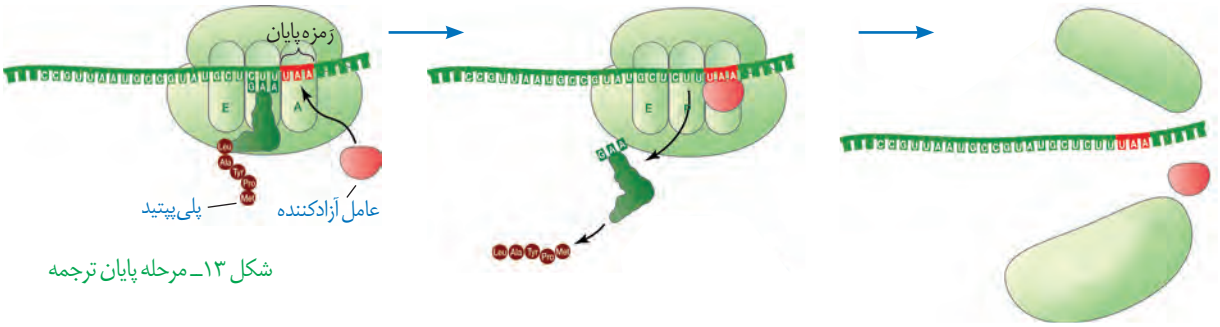
مرحلهٔ طویل شدن: در این مرحله ممکن است رناهای ناقل مختلفی وارد جایگاه A رِناتَن شوند ولی فقط رنایی که مکمل رَمزهٔ جایگاه A است، استقرار پیدا می کند؛ در غیر این صورت جایگاه را ترک می کند. سپس آمینواسیدِ جایگاهP از رنای ناقل خود جدا می‌شود و با آمینواسید جایگاه A پیوند بر قرار می کند. آیا می‌دانید پیوند حاصل چه نام دارد؟ پس از آن رِناتَن به اندازهٔ یک رَمزه به سوی رَمزه پایان پیش می‌رود. در این موقع رنای ناقل که حامل رشته پپتیدی در حال ساخت است در جایگاه P قرار می‌گیرد (علت نام‌گذاری جایگاهP) و جایگاه A خالی می‌شود تا پذیرای رنای ناقل بعدی باشد. رنای ناقل بدون آمینواسید نیز در جایگاه E قرار می‌گیرد و سپس از این جایگاه خارج می‌شود. این فرایند بارها تکرار می‌شود و طول زنجیرهٔ آمینواسیدی بیشتر می‌شود تا رِناتَن به یکی از رَمزه‌های پایان برسد (شکل ۱۲).

شکل ۱۲ــ مرحله طویل شدن ترجمه



www.mrzist.org

مرحلهٔ پایان: با ورود یکی از رَمزه‌های پایان ترجمه در جایگاه A، چون رنای ناقل مکمل آن وجود ندارد، این جایگاه توسط پروتئین‌هایی به نام عوامل آزادکننده[1] اشغال می‌شود. عوامل آزادکننده باعث جدا شدن پلی‌پپتید از آخرین رنای ناقل می‌شوند؛ همچنین باعث جدا شدن زیرواحدهای رِناتَن از هم و آزاد شدن رنای پیک می‌شوند. زیرواحدهای رِناتَن‌ها می‌توانند مجدداً این مراحل را تکرار کنند تا چندین نسخه از یک پلی‌پپتید ساخته شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳ــ مرحله پایان ترجمه

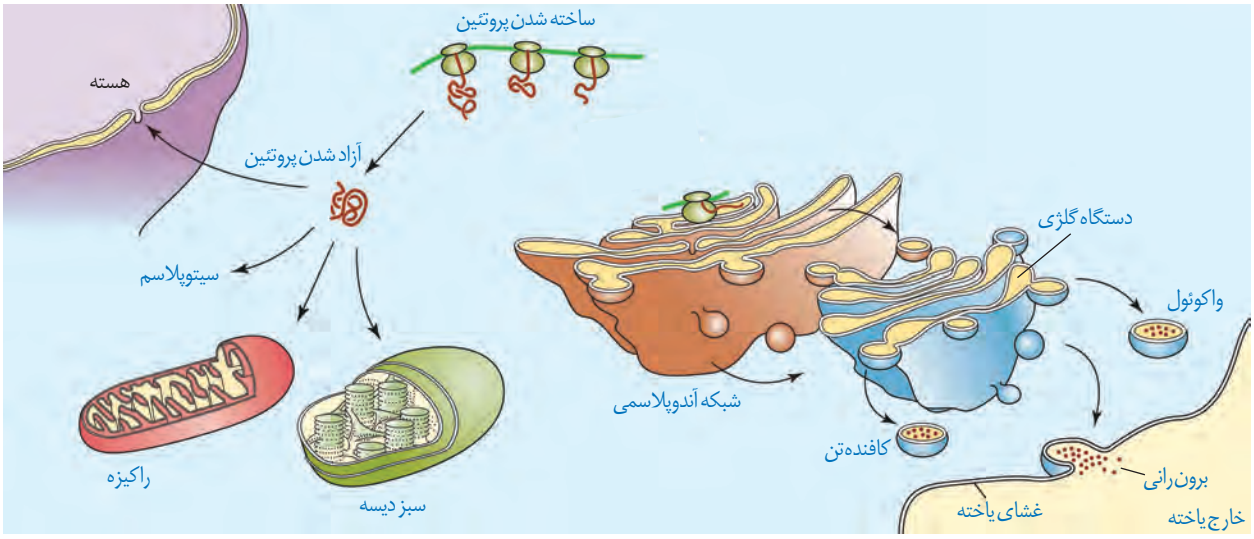
محل پروتئین‌سازی و سرنوشت آنها

پروتئین‌ها در بخش‌های مختلفی از یاخته ساخته می‌شوند. به‌طور کلی پروتئین‌سازی در هر بخشی از یاخته که رِناتَن‌ها حضور داشته باشند می‌تواند انجام شود.

همان‌طور که در شکل ۱۴ می‌بینید، پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم سرنوشت‌های مختلفی پیدا می‌کنند. بعضی از این پروتئین‌ها به شبکهٔ آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌روند و ممکن است برای ترشح به خارج رفته یا به بخش‌هایی مثل واکوئول (کُریچه) و کافنده‌تن بروند. بعضی پروتئین‌ها نیز در سیتوپلاسم می‌مانند و یا اینکه به راکیزه‌ها، هسته و یا دیسه‌ها می‌روند. در هر یک از این موارد براساس مقصدی که پروتئین باید برود، توالی‌های آمینواسیدی در آن وجود دارد که پروتئین را به مقصد هدایت می‌کند (شکل ۱۴).

طرح سؤال از توالی‌های رمزه، پادرمزه و آمینواسیدهای مربوط به آنها در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

شکل ۱۴ــ سرنوشت پروتئین‌های ساخته‌شده در سیتوپلاسم



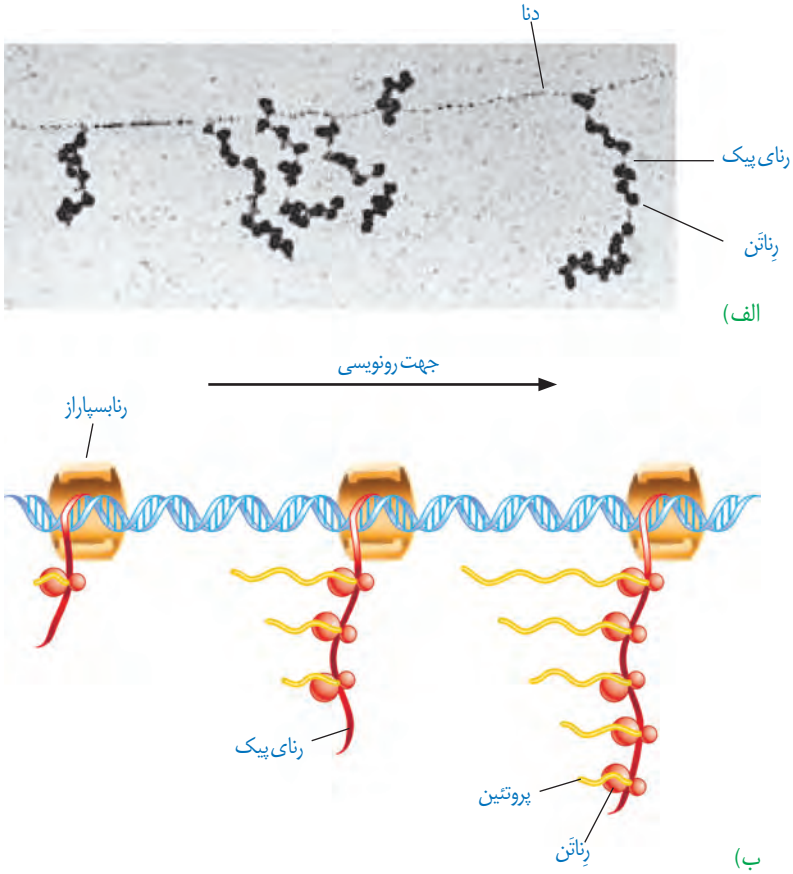
۱ــ Release Factors

www.mrzist.org

سرعت و مقدار پروتئین‌سازی

به‌طور کلی سرعت و مقدار پروتئین‌سازی در یاخته‌ها بسته به نیاز تنظیم می‌شود. در پروکاریوت‌ها پروتئین‌سازی حتی ممکن است پیش از پایان رونویسی رنای پیک آغاز شود؛ زیرا طول عمر رنای پیک در این یاخته‌ها کم است. برای پروتئین‌هایی که به مقدار بیشتری مورد نیازند، ساخت پروتئین‌ها، به‌طور هم‌زمان و پشت سر هم توسط مجموعه‌ای از رِناتَن‌ها انجام می‌شود تا تعداد پروتئین بیشتری در واحد زمان ساخته‌شود (شکل ۱۵). در این مجموعه، رِناتَن‌ها مانند دانه‌های تسبیح و رنای پیک شبیه نخی است که از درون این دانه‌ها می‌گذرد. همکاری جمعی رِناتَن‌ها به پروتئین‌سازی سرعت بیشتری می‌دهد.

تجمع رِناتَن‌ها در یاخته‌های یوکاریوتی نیز دیده می‌شوند. البته در این یاخته‌ها سازوکارهایی برای حفاظت رنای پیک در برابر تخریب وجود دارد. بنابراین، فرصت بیشتری برای پروتئین‌سازی هست. در مجموع، این عوامل موجب طولانی‌تر شدن عمر رنای پیک پیش از تجزیه می‌شود.



شکل ۱۵ــ الف) تصویر میکروسکوپی مجموعهٔ رِناتَن‌ها
ب) طرحی ساده از رناتن‌هایی که چند رنای در حال رونویسی را ترجمه می‌کنند.

فعّالیت ۱

الف) چه رابطه‌ای بین طول عمر رنای پیک یاخته‌ها با میزان پروتئین‌سازی آنها برقرار است؟
ب) رونویسی و ترجمه در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها را با هم مقایسه کنید.

www.mrzist.org

گفتار ۳ تنظیم بیان ژن

در سال گذشته آموختید که همه یاخته‌های پیکری بدن از تقسیم رِشتمان (میتوز) یاخته تخم منشأ می‌گیرند. یاخته‌های حاصل، از نظر فام‌تنی و ژن‌ها یکسان‌اند. با این حال در ادامهٔ تقسیمات و رشد جنین، یاخته‌های متفاوتی ایجاد می‌شوند که اعمال مختلفی انجام می‌دهند؛ مثلاً یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای بدن یک فرد، ژن‌های یکسانی دارند ولی دارای عملکرد و شکل متفاوتی هستند. حال این سؤال مطرح می‌شود که چگونه ممکن است یاخته‌هایی با ژن‌های یکسان تا این حد متفاوت باشند؟ پاسخ این است که در هر یاخته تنها تعدادی از ژن‌ها فعال و سایر ژن‌ها غیر فعال هستند. هرگاه اطلاعات ژنی در یک یاخته مورد استفاده قرار بگیرد، می‌گوییم آن ژن بیان شده و به‌اصطلاح روشن است و ژنی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد خاموش و به‌اصطلاح بیان نشده است. مقدار، بازه و زمان استفاده از ژن در یاخته‌های مختلف یک جاندار ممکن است فرق داشته باشد و حتی در یک یاخته هم بسته به نیاز متفاوت باشد. به فرایندهایی که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و یا بیان نشوند، فرایندهای **تنظیم بیان ژن**[۱] می‌گویند. تنظیم بیان ژن فرایندی بسیار دقیق و پیچیده است و عوامل متعددی ممکن است بر آن اثر بگذارند. تنظیم بیان ژن موجب می‌شود تا جاندار به تغییرات پاسخ دهد؛ مثلاً در گیاه، نور می‌تواند باعث فعال شدن ژن سازندهٔ آنزیمی شود که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نبود نور این ژن بیان نمی‌شود. همچنین تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب ایجاد یاخته‌های مختلفی از یک یاخته شود. یاخته‌های متفاوتی که از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان ایجاد می‌شوند، مثالی مناسب در این مورد هستند. در مورد این یاخته‌ها در کتاب دهم مطالبی را فرا گرفتید. آیا می‌توانید برخی یاخته‌های حاصل از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان را نام ببرید؟

تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها

محصول ژن، رنا و پروتئین است. بنابراین، تغییر در فعالیت ژن‌ها، بر ساخت این محصولات نیز اثر می‌گذارد. تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها می‌تواند در هر یک از مراحل ساخت رنا و پروتئین تأثیر بگذارد ولی به‌طور معمول تنظیم بیان ژن در مرحلهٔ رونویسی انجام می‌شود. در مواردی هم ممکن است یاخته با تغییر در پایداری (طول عمر) رنا یا پروتئین، فعالیت آن را تنظیم کند.

تنظیم رونویسی در پروکاریوت‌ها

در این نوع تنظیم عواملی به پیوستن رنابسپاراز به توالی راه‌انداز کمک و یا مانع حرکت رنا بسپاراز می‌شوند. در نتیجه، رونویسی ژن تسهیل یا ممانعت می‌شود؛ مثلاً با اتصال پروتئین‌های خاصی به بخشی از دنا که سر راه رنابسپاراز است، از انجام رونویسی جلوگیری می‌شود. نمونهٔ این نوع تنظیم، در نوعی باکتری به نام **اشرشیا کلای**[۲] شناخته شده است. قند مصرفی ترجیحی این باکتری گلوکز است.

بیشتر بدانید

در باکتری‌ها ژن‌هایی که محصولات آنها چند فرایند مرتبط به هم را اداره می‌کند در واحدهایی به نام اُپران[۱] قرار گرفته‌اند و بیان یا عدم بیان آنها به‌طور هماهنگ انجام می‌شود. برای مثال برای جذب و تجزیه لاکتوز در باکتری اشرشیاکلای، ۳ آنزیم مورد نیاز است که ژن‌های سازندهٔ آنها در کنار هم قرار دارند و توسط یک بخش تنظیمی اداره می‌شوند. به مجموعهٔ این ژن‌ها و بخش تنظیمی آن اُپران گفته می‌شود. مثال دیگر، ژن‌های مسئول ساخت آمینواسید تریپتوفان است. ۵ ژن در ساخت این آمینواسید دخالت دارند که در یک اُپران قرار دارند.

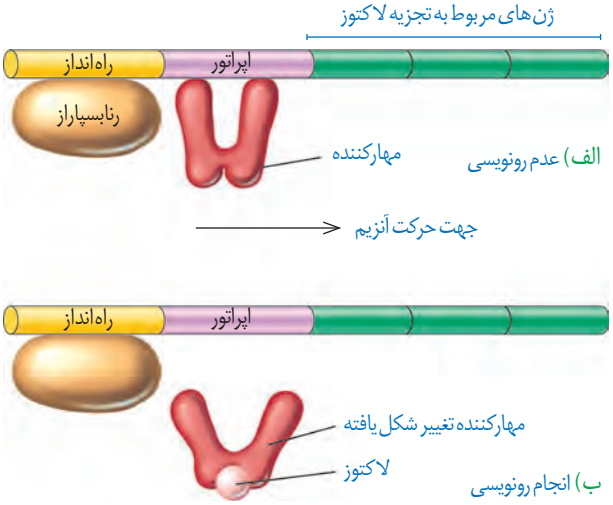
۱_ Operons

۱- Regulation of gene expression

۲_ *Escherichia coli*

www.mrzist.org

مراحل تجزیهٔ قند گلوکز در یاخته را در فصول بعد خواهید آموخت. اگر گلوکز در محیط باکتری وجود نداشته باشد ولی قند دیگری به نام **لاکتوز**[۱] در اختیار باکتری قرار بگیرد، باکتری می‌تواند از این قند استفاده کند. این قند متفاوت از گلوکز بوده است و آنزیم‌های لازم برای مصرف آن نیز متفاوت است. بنابراین وقتی لاکتوز در محیط وجود دارد باکتری باید آنزیم‌های تجزیه‌کننده آن را بسازد و در نبود یا کاهش لاکتوز نیز ساخت آنزیم‌های تجزیه کننده آن متوقف یا کاهش پیدا کند. حال این پرسش پیش می‌آید که باکتری چگونه می‌تواند حضور لاکتوز را در محیط تشخیص دهد و آنزیم‌های تجزیه کننده آن را بسازد؟ ژن‌هایی که این آنزیم‌ها را می‌سازند چگونه روشن و یا خاموش می‌شوند؟ در پروکاریوت‌ها بیان ژن به دو صورت منفی و مثبت تنظیم می‌شود.



شکل ۱۶ــ الف) عدم رونویسی ژن‌ها در غیاب لاکتوز ب) رونویسی ژن‌ها در حضور لاکتوز

تنظیم منفی رونویسی: در گفتار ۱ آموختید که رونویسی با چسبیدن رناسپاراز به راه‌انداز مربوط به ژن شروع می‌شود. حال اگر مانعی بر سر راه رناسپاراز وجود داشته باشد، رونویسی انجام نمی‌شود. به این نوع تنظیم، تنظیم منفی رونویسی گفته می‌شود. مانع پیش روی رناسپاراز نوعی پروتئین به نام **مهارکننده**[۲] است. این پروتئین به توالی خاصی از دنا به‌نام **اپراتور**[۳] متصل می‌شود و جلوی حرکت رناسپاراز را می‌گیرد (شکل ۱۶ــ الف). لاکتوز موجود در محیط به باکتری وارد می‌شود و با اتصال به مهارکننده، شکل آن را تغییر می‌دهد. تغییر شکل مهارکننده، آن را از اپراتور جدا می‌کند و نیز مانع از اتصال آن به اپراتور می‌شود. با برداشته شدن مانع سر راه، رناسپاراز می‌تواند رونویسی ژن‌ها را انجام دهد (شکل ۱۶ــ ب). محصولات این ژن‌ها تجزیه لاکتوز را ممکن می‌کند.

تنظیم مثبت رونویسی: در این نوع تنظیم، پروتئین‌های خاصی به رناسپاراز کمک می‌کنند تا بتواند به راه‌انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند. مثال این نوع تنظیم نیز در باکتری اشرشیاکلای وجود دارد. مشخص شده که اگر در محیط باکتری، قند **مالتوز**[۴] وجود داشته باشد، درون باکتری آنزیم‌هایی ساخته می‌شوند که در تجزیهٔ آن دخالت دارند. در عدم حضور مالتوز این آنزیم‌ها ساخته نمی‌شوند چون باکتری نیازی به آنها ندارد.

تنظیم رونویسی در مورد این ژن‌ها به‌صورت مثبت انجام می‌شود. در حضور قند مالتوز، انواعی از پروتئین به نام **فعال کننده**[۵] وجود دارند که به توالی‌های خاصی از دنا متصل می‌شوند. به این توالی‌ها **جایگاه اتصال فعال کننده**[۶] گفته می‌شود. (شکل ۱۷ــ الف) در حضور مالتوز در محیط، پروتئین فعال کننده به جایگاه خود متصل می‌شود و پس از اتصال به رناسپاراز کمک می‌کند تا به راه‌انداز متصل

۱ــ Lactose
۲ــ Repressor
۳ــ Operator
۴ــ Maltors
۵ــ Activator
۶ــ Activator Binding Site

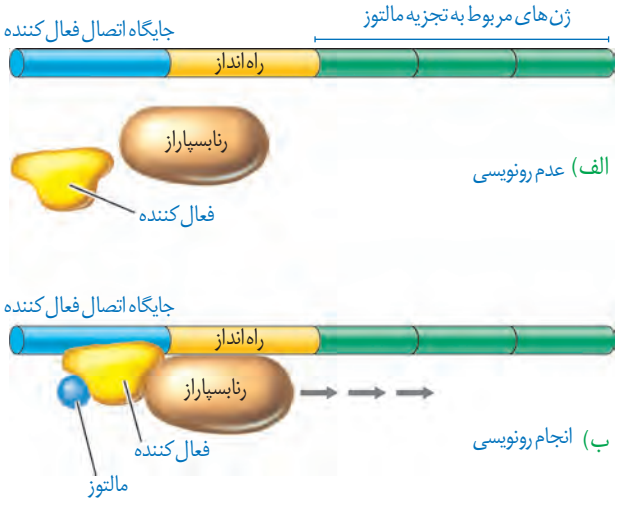
بیشتر بدانید

تنظیم منفی در پروکاریوت به دو صورت **القایی**[۱] و **مهاری**[۲] انجام می‌شود. در حالت القایی، حضور یک ماده موجب بیان ژن‌ها می‌شود. تنظیم بیان ژن در حضور لاکتوز مثالی از تنظیم منفی از نوع القایی است. در حالت مهاری، حضور یک ماده موجب خاموش شدن ژن و عدم بیان آنها می‌شود. مثال این نوع تنظیم در مورد آمینواسید **تریپتوفان** دیده می‌شود. در باکتری اشرشیاکلای با حضور تریپتوفان، ژن‌هایی که در ساخت آن دخالت دارند خاموش می‌شوند. وقتی تریپتوفان در محیط نیست، این ژن‌ها روشن می‌شوند تا آنزیم‌های سازندهٔ تریپتوفان ساخته شوند.

۱ــ Inducer
۲ــ Repressor

www.mrzist.org

شود و رونویسی را شروع کند. چه عاملی سبب می‌شود که فعال کننده به جایگاه خود بچسبد؟ این عامل مالتوز است. اتصال مالتوز به فعال کننده باعث پیوستن آن به جایگاه اتصال شده و رونویسی شروع می‌شود (شکل ۱۷ــ ب).

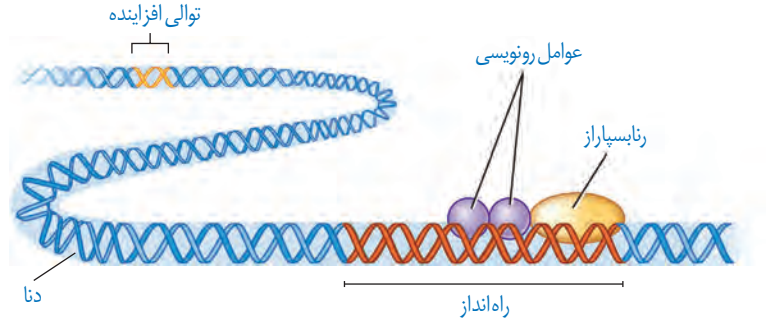


شکل ۱۷ــ تنظیم مثبت رونویسی ژن‌های مؤثر در تجزیه مالتوز

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

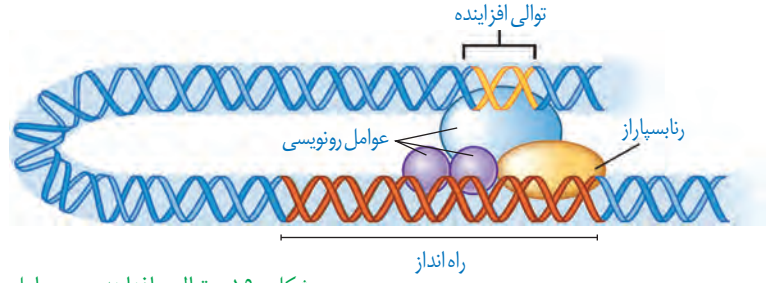
تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها پیچیده‌تر از پروکاریوت‌هاست و می‌تواند در مراحل بیشتری انجام شود. یاخته‌های یوکاریوتی به‌وسیلهٔ غشاها به بخش‌های مختلفی تقسیم شده‌اند. بنابراین، برای آنکه یاخته نسبت به یک ماده واکنش نشان دهد، آن ماده باید به طریقی از غشاها عبور کند و ژن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. در یاخته‌های یوکاریوتی، بیشتر ژن‌ها در هسته و برخی در راکیزه‌ها و دیسه‌ها قرار دارند. در هر یک از این محل‌ها، یاخته می‌تواند بر بیان ژن نظارت داشته باشد. بنابراین تنظیم بیان ژن می‌تواند در مراحل متعددی انجام شود.

تنظیم بیان ژن در مرحلهٔ رونویسی: در یوکاریوت‌ها نیز مانند پروکاریوت‌ها، رونویسی با پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز آغاز می‌شود. در یوکاریوت‌ها رنابسپاراز نمی‌تواند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به‌نام **عوامل رونویسی**[1] هستند. گروهی از این پروتئین‌ها با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز، رنابسپاراز را به محل راه‌انداز هدایت می‌کند، چون تمایل پیوستن این پروتئین‌ها به راه‌انداز در اثر عواملی تغییر می‌کنند، مقدار رونویسی ژن آن هم تغییر می‌کند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸ــ تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

در یوکاریوت‌ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری به بخش‌های خاصی از دنا به نام **توالی افزاینده**[2] متصل شوند. با پیوستن این پروتئین‌ها به توالی افزاینده و با ایجاد خمیدگی در دنا، عوامل رونویسی در کنار هم قرار می‌گیرند. کنار هم قرارگیری این عوامل، سرعت رونویسی را افزایش می‌دهند. توالی‌های افزاینده متفاوت از راه‌انداز هستند و ممکن است در فاصلهٔ دوری از ژن قرار داشته باشند. اتصال این پروتئین‌ها بر سرعت و مقدار رونویسی ژن مؤثر است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ــ توالی افزاینده و عوامل رونویسی متصل به آن

۱ــ Transcription Factors
۲ــ Enhancer

www.mrzist.org

تنظیم بیان ژن در مراحل غیررونویسی: در یوکاریوت‌ها تنظیم بیان ژن می‌تواند پیش از رونویسی یا پس از آن هم انجام شود. اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی است. با اتصال این رناها، از کار رِناتَن جلوگیری می‌شود. در نتیجه، عمل ترجمه متوقف و رنای ساخته شده پس از مدتی تجزیه می‌شود.

روش تنظیم دیگر در سطح فام‌تنی است. به‌طور معمول بخش‌های فشرده فام‌تن کمتر در دسترس رنابسپارازها قرار می‌گیرند بنابراین یاخته می‌تواند با تغییر در میزان فشردگی فام‌تن در بخش‌های خاصی، دسترسی رنابسپاراز را به ژن مورد نظر تنظیم کند. به نظر شما این تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی است یا پس از آن؟

از روش‌های دیگر تنظیم بیان ژن طول عمر رنای پیک است. افزایش طول عمر رنای پیک موجب افزایش محصول می‌شود. این فرایندها در میزان پروتئین‌سازی مؤثر خواهند بود. شیوه‌های دیگری نیز در تنظیم بیان ژن مؤثرند که نحوه عمل بسیاری از آنها ناشناخته است.

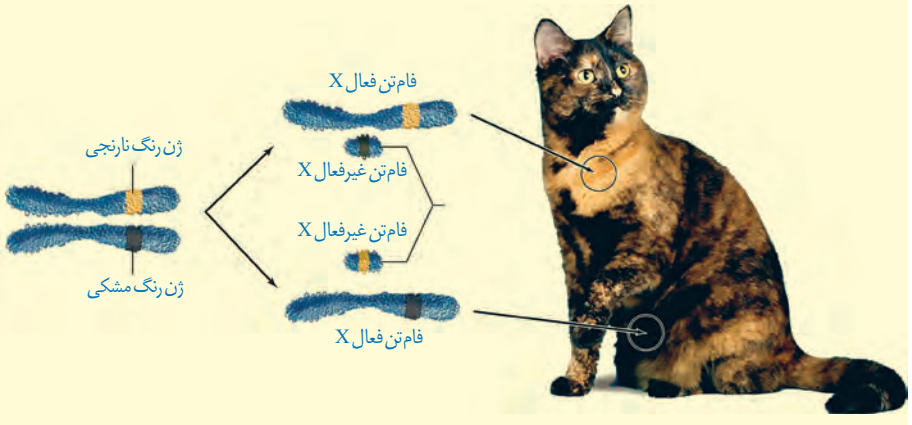
بیشتر بدانید

بعضی ژن‌ها در یاخته‌ها به‌طور دائم بیان می‌شوند. ژن‌های سازنده اجزای رِناتَن از این جمله‌اند. این ژن‌ها رنای رِناتَن و پروتئین‌های آن را می‌سازند. با توجه به نیاز یاخته‌های درحال تقسیم به تعداد زیادی رِناتَن، این ژن‌ها به‌طور دائم روشن هستند.

بیشتر بدانید

بیان ژن به روش‌های مختلفی ممکن است کاهش یا افزایش یابد. یکی از این روش‌ها افزایش تعداد ژن‌هایی است که به محصولات آنها به مقدار زیادی نیاز است. در این موارد ممکن است یاخته چندین کپی از یک ژن داشته باشد. در نتیجه رونویسی از تعداد بیشتری ژن انجام شود. این حالت موجب ساخت محصول بیشتر در زمان کمتر می‌شود. نمونهٔ این ژن‌ها، ژن‌های سازندهٔ رنای رِناتَنی است. نوعی از این رنای رِناتَنی هزاران ژن در یک یاخته دوزیست دارد.

روش دیگر فعال یا غیرفعال کردن برخی فام‌تن‌ها مانند فام‌تن X در انسان است. چون در یاخته‌های پیکری زن، دو نسخه از فام‌تن X و در مرد یک نسخه وجود دارد، برای بیان متعادل در دو جنس، یکی از فام‌تن‌های X در یاخته‌های زن غیرفعال می‌شود تا ژن‌های آن بیان نشوند. در اثر این فرایند ژن‌های فام‌تن X در زن و مرد، به یک نسبت بیان می‌شود. مثالی از بیان ژن‌های روی فام‌تن X و اثرات آن بر صفات را در تصویر زیر مشاهده می‌کنید. در یاخته‌ها، یکی از فام‌تن‌های X به‌صورت تصادفی غیرفعال می‌شوند.



www.mrzist.org

فصل ۳

انتقال اطلاعات در نسل‌ها

شباهت بین فرزندان و والدین، گویای آن است که ویژگی‌های والدین به‌نحوی به فرزندان منتقل می‌شود. همچنین می‌دانیم که در تولیدمثل جنسی ارتباط بین نسل‌ها را گامت‌ها برقرار می‌کنند و ویژگی‌های هریک از والدین توسط دستورالعمل‌هایی که در دِنای موجود در گامت‌ها قرار دارد، به نسل بعد منتقل می‌شود.

پیش از کشف قوانین وراثت، تصور بر آن بود که صفات فرزندان، آمیخته‌ای از صفات والدین و حد واسطی از آنهاست. مثلاً اگر یکی از والدین بلندقد و دیگری کوتاه‌قد باشد، فرزند آنان قدی متوسط خواهد داشت. اما مشاهدات متعدد نشان داد که این تصور درست نیست.

در اواخر قرن نوزدهم، زمانی که هنوز ساختار و عمل دِنا و ژن‌ها معلوم نبود، دانشمندی به‌نام **گریگور مندل**[۱] توانست قوانین بنیادی وراثت را کشف کند. به کمک این قوانین، می‌شد صفات فرزندان را پیش‌بینی کرد. با توجه به شناخت شما از ساختار و عمل دِنا، در این فصل با مفاهیم پایه وراثت به زبان امروزی آشنا می‌شویم.

۱- Gregor Mendel

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

گفتار ۱ مفاهیم پایه

هر یک از ما ویژگی‌هایی داریم که ما را با آنها می‌شناسند. بعضی از این ویژگی‌ها را از والدین خود دریافت کرده‌ایم؛ مثل رنگ چشم، رنگ مو یا گروه خونی. ویژگی‌هایی را هم می‌شناسیم که ارثی نیستند؛ مثل تیره‌شدن رنگ پوست که به علت قرارگرفتن در معرض آفتاب ایجاد شده است.

در علم ژن‌شناسی، ویژگی‌های ارثی جانداران را **صفت** می‌نامند (شکل ۱). **ژن‌شناسی**، شاخه‌ای از زیست‌شناسی است که به چگونگی وراثت صفات از نسلی به نسل دیگر می‌پردازد.

شکل ۱ــ هر یک از افراد جمعیت، ویژگی هایی دارد که ممکن است این ویژگی‌ها به نسل بعد منتقل شوند.

هر یک از صفاتی که نام بردیم به شکل‌های مختلفی دیده می‌شوند. مثلاً رنگ چشم ممکن است به رنگ مشکی، قهوه‌ای، سبز یا آبی باشد. یا حالت مو ممکن است به شکل صاف، موج‌دار یا فر دیده شود. به انواع مختلف یک صفت، **شکل**‌های آن صفت می‌گویند.

گروه‌های خونی

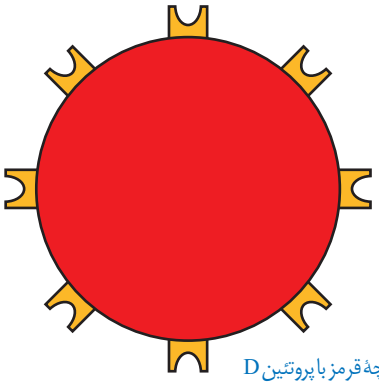
آیا شما گروه خونی خود را می‌دانید؟ آیا می‌دانید منظور از گروه خونی مثلاً A^+ چیست؟ وقتی می‌گویند گروه خونی شخصی A^+ است در واقع «دو» گروه خونی را برای او مشخص کرده‌اند. یکی گروه خونی معروف به **ABO** و دیگری گروه خونی ای به نام **Rh**. در ادامه این دو گروه خونی را بررسی می‌کنیم. توضیح Rh ساده‌تر است و با آن آغاز می‌کنیم.

گروه خونی Rh: گروه خونی Rh بر اساس بودن یا نبودن پروتئینی است که در غشای گویچه‌های قرمز جای دارد و پروتئین D نامیده می‌شود. اگر این پروتئین وجود داشته باشد، گروه خونی Rh مثبت است و اگر وجود نداشته باشد گروه خونی Rh منفی خواهد شد (شکل ۲).

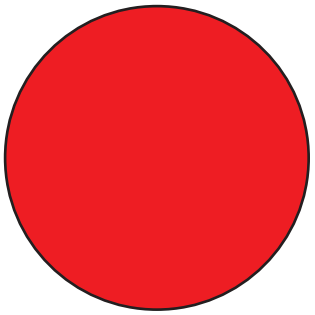
بیشتر بدانید

Rh برگرفته از نام میمونی به نام رزوس (Rhesus) است. این گروه خونی ابتدا در این میمون کشف و Rh نامیده شد.

www.mrzist.org



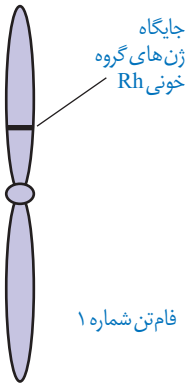
گویچهٔ قرمز با پروتئین D



گویچهٔ قرمز بدون پروتئین D

شکل ۲ـ مبنای گروه خونی Rh
پروتئین D

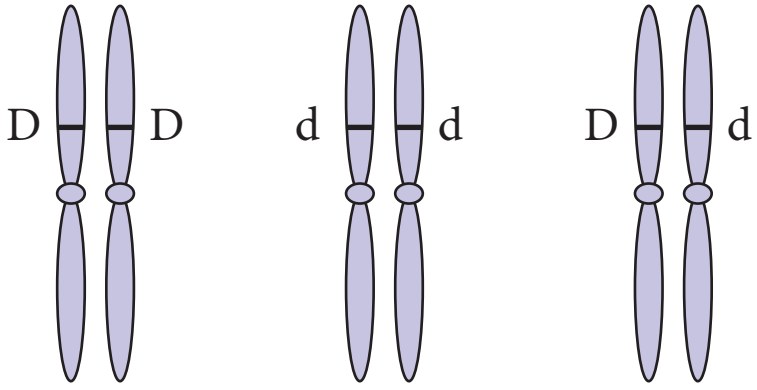
بود و نبود پروتئین D به نوعی ژن بستگی دارد. دو ژن در ارتباط با این پروتئین، در میان مردم دیده می‌شود. ژنی که می تواند پروتئین D را بسازد و ژنی که نمی‌تواند پروتئین D را بسازد. این دو ژن را به ترتیب **D** و **d** می نامیم.



شکل ۳ـ جایگاه ژن‌های Rh

D و d جایگاه یکسانی در فام‌تن شمارهٔ ۱ دارند. توجه داشته باشید که هر فام‌تن شماره ۱ در این جایگاه ژن D یا d را دارد و نه هر دو را. به این جایگاه از فام‌تن شماره ۱، **جایگاه ژن‌های Rh** می گویند (شکل ۳).

D و d که شکل‌های مختلف صفت Rh را تعیین می کنند و هر دو جایگاه ژنی یکسانی دارند؛ **دِگَرهٔ (الل)** هم هستند. از آنجا که هر یک از ما دو فام‌تن ۱ داریم، پس دو دگره هم برای Rh داریم. بنابراین ممکن است هر دو فام‌تن شمارهٔ ۱، D یا هر دو d را داشته باشند. در این صورت می گویند فرد برای این صفت **خالص** است. اما اگر یک فام‌تن D و دیگری d را داشته باشد می‌گویند فرد برای این صفت، **ناخالص** است (شکل ۴).



خالص　　خالص　　ناخالص

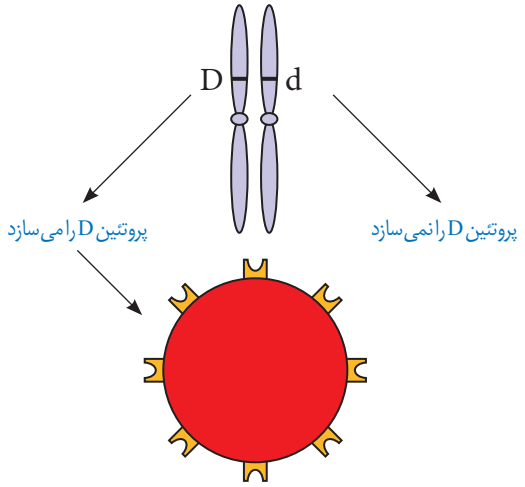
شکل ۴ـ ژن‌نمودهای خالص و ناخالص

گروه خونی فردی که DD است، مثبت و گروه خونی فرد dd، منفی است. اما گروه خونی فردی که Dd است؛ چگونه می شود؟ برای پاسخ به این سؤال باید رابطهٔ بین این دو دگره را دانست.

مشاهدات نشان می‌دهند که افراد ناخالص، گروه خونی مثبت را خواهند داشت. بنابراین اگر دو دگرهٔ D و d کنار هم قرار بگیرند، این دگره D است که بروز می کند. در چنین حالتی گفته می‌شود که دگره D **بارز** و دگرهٔ d **نهفته** است و بین دگره‌ها رابطهٔ **بارز و نهفتگی** برقرار است. طبق قرارداد، دگره بارز را با حرف بزرگ و دگرهٔ نهفته را با حرف کوچک آن نشان می‌دهیم.

www.mrzist.org

توضیح علت رابطهٔ بارز و نهفتگی دگره‌های گروه خونی Rh کار آسانی است. داشتن تنها یک دگره D کافی است تا در غشای گویچه‌های قرمز پروتئین D مشاهده شود به همین علت، گروه خونی فردی که برای این صفت ناخالص است، مثبت خواهد شد (شکل ۵).



شکل ۵ ــ توضیح رابطهٔ بارز و نهفتگی بین دگره‌های گروه خونی Rh

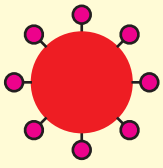
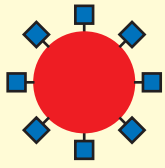
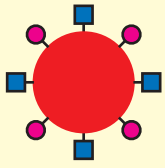
ترکیب دگره‌ها را در فرد، **ژن‌نمود** (ژنوتیپ) و شکل ظاهری یا حالت بروز یافته صفت را **رخ‌نمود** (فنوتیپ) می‌نامیم. جدول ۱ انواع ژن‌نمود و رخ‌نمود را درمورد این گروه خونی نشان می دهد.

ژن‌نمود	رخ‌نمود
DD	گروه خونی +
Dd	گروه خونی+
dd	گروه خونی -

جدول ۱ ــ انواع ژن‌نمود و رخ‌نمود گروه خونی Rh

نوع دیگری از رابطهٔ بین دگره‌ها را در صفت گروه خونی ABO می‌توانیم ببینیم.

گروه خونی ABO: در گروه خونی ABO خون به چهار گروه A، B، AB و O گروه‌بندی می‌شود. این گروه‌بندی بر مبنای بودن یا نبودن دو نوع کربوهیدرات به نام‌های A و B در غشای گویچه‌های قرمز است (شکل ۶).

	گروه خونی A	گروه خونی B	گروه خونی AB	گروه خونی O
گویچه قرمز				
نوع کربوهیدرات گویچه قرمز	A	B	A و B	هیچ‌کدام

شکل ۶ ــ مبنای گروه خونی ABO

برای گروه خونی ABO چه دگره‌هایی وجود دارد؟ اضافه شدن کربوهیدرات‌های A و B به غشای گلبول قرمز، یک واکنش آنزیمی است. دو نوع آنزیم وجود دارد. یکی آنزیم A، که کربوهیدرات A را به

www.mrzist.org

غشا اضافه می‌کند و دیگری آنزیم B، که کربوهیدرات B را اضافه می‌کند. اگر هیچ یک از این دو آنزیم وجود نداشته باشند، آن‌گاه هیچ کربوهیدراتی اضافه نخواهد شد. بنابراین برای این صفت، سه دگره وجود دارد. دگره‌ای که آنزیم A را می‌سازد، دگره‌ای که آنزیم B را می‌سازد و دگره‌ای که هیچ آنزیمی نمی‌سازد. جایگاه ژن‌های گروه خونی ABO در فام‌تن شمارهٔ ۹ است.

برای سادگی، این سه دگره را به ترتیب A، B و O می‌نامیم. در اینجا تشخیص رخ‌نمود برای ژن‌نمودهای خالص AA، BB یا OO آسان است: گروه خونی به‌ترتیب A، B یا O می‌شود. اما، رخ‌نمود ژن‌نمودهای ناخالص چیست؟ رابطهٔ بارز و نهفتگی بین دگره‌ها چگونه است؟

ژن‌نمودهای ناخالص برای این دگره‌ها عبارت‌اند از AO، BO و AB. آیا می‌توانید حدس بزنید گروه خونی فردی که AO است چیست؟ دگره A آنزیم A را می‌سازد اما دگره O هیچ آنزیمی نمی‌سازد. پس گروه خونی این فرد A خواهد شد. به همین علت گفته می‌شود A نسبت به O بارز است. همین استدلال را می‌توان برای ژن‌نمود BO به‌کار برد. دگره B نیز نسبت به دگره O بارز است. در ژن‌نمود AB هر دو آنزیم ساخته می‌شوند و به همین علت گلبول قرمز هر دو کربوهیدرات A و B را خواهد داشت. در اینجا رابطه بین دگره A و B، از نوع بارز و نهفتگی نیست. چنین رابطه‌ای را **هم‌توانی** می‌نامیم و می‌گوییم دگره‌های A و B نسبت به یکدیگر **هم‌توان** هستند. در هم‌توانی، اثر دگره‌ها، همراه با هم ظاهر می‌شود.

ژن‌شناسان دگره‌های A، B و O را به ترتیب با I^A، I^B و i نشان می‌دهند. این نوع نام‌گذاری به روشنی نشان می‌دهد که دگره I^A و I^B نسبت به یکدیگر هم‌توان اما نسبت به i بارزند.

بارزیت ناقص

تا اینجا با دو نوع رابطهٔ دگره‌ای آشنا شدیم: یکی بارز و نهفتگی و دیگری هم‌توانی. رابطهٔ دیگری نیز بین دگره‌ها برقرار است و آن موقعی است که صفت در حالت ناخالص، به صورت حد واسط حالت‌های خالص مشاهده می‌شود. این بار مثالی از گیاهان بیاوریم. رنگ گل میمونی مثال خوبی است (شکل ۷).

دو دگره برای رنگ گل میمونی وجود دارد که یکی قرمز و دیگری سفید است. این دو را به ترتیب با R و W نشان می‌دهیم. در حالت RR رنگ گل، قرمز و در حالت WW رنگ گل، سفید است. رنگ گل RW چگونه است؟ این گل، صورتی است. رنگ صورتی، حالت حدواسط قرمز و سفید است. در این حالت گفته می‌شود که **رابطهٔ بارزیت ناقص** برقرار است.

گل قرمز　　گل صورتی　　گل سفید

شکل ۷ــ گل میمونی

www.mrzist.org

گفتار ۲ انواع صفات

به یاد دارید که فام‌تن‌ها به دو دستهٔ غیرجنسی و جنسی تقسیم می‌شوند. فام‌تن‌های جنسی انسان X و Y هستند. صفاتی را که جایگاه ژنی آنها در یکی از فام‌تن‌های غیرجنسی قرار داشته باشد **صفت مستقل از جنس** و صفاتی را که جایگاه ژنی آنها در یکی از دو فام‌تن جنسی قرار داشته باشد **وابسته به جنس** می‌گویند.

وراثت صفات مستقل از جنس

صفات مستقل از جنس چگونه به ارث می‌رسند؟ Rh یک صفت مستقل از جنس است. اگر پدر و مادری هر دو ژن‌نمود Dd داشته باشند، چه ژن‌نمود یا ژن‌نمودهایی برای فرزندان آنها مورد انتظار است؟

می‌دانیم هر یک از پدر و مادر، از هر جفت فام‌تن همتا تنها یکی را از طریق گامت‌ها به نسل بعد منتقل می‌کنند. در این مثال، هم پدر و هم مادر از نظر Rh دو نوع گامت تولید می‌کنند: یکی گامتی که D دارد و دیگری گامتی که d دارد. ژن‌نمود فرزندان به این بستگی دارد که کدام گامت‌ها با یکدیگر لقاح پیدا کنند. ژن‌نمود فرزندان را می‌توان با روشی به نام **مربع پانت** به‌دست آورد. پانت[۱] نام دانشمندی است که این روش را پیشنهاد کرده است.

در روش مربع پانت، گامت‌های والدین را به‌طور جداگانه در سطر و ستون یک جدول می‌نویسیم و بعد خانه‌های جدول را با کنار هم قرار دادن گامت‌های سطر و ستون متناظر هم پر می‌کنیم (جدول ۲).

گامت‌ها	D	d
D	DD	Dd
d	dD	dd

جدول ۲ــ مربع پانت

باید توجه داشت که ژن‌نمودهای Dd و dD یکسان‌اند. بنابراین هر فرزندی که متولد می‌شود می‌تواند یکی از ژن‌نمودهای DD، Dd و dd را داشته باشد.

فعّالیت ۱

پدری گروه خونی O و مادری گروه خونی AB دارد.
چه ژن‌نمود و رخ‌نمودهایی برای فرزندان آنان پیش‌بینی می‌کنید؟

۱- Reginald Pannet

www.mrzist.org

صفت وابسته به X

گاهی ژنِ صفتی که بررسی می‌شود در فام‌تن X قرار دارد. به چنین صفاتی، صفت **وابسته به X**[1] می‌گویند. هموفیلی، یک بیماری وابسته به X و نهفته است یا به عبارتی دیگر، دگرهٔ این بیماری که روی فام‌تن **X** قرار دارد نهفته است. در این بیماری، فرایند لخته شدن خون دچار اختلال می‌شود. شایع‌ترین نوع هموفیلی به فقدان عامل انعقادی VIII (هشت) مربوط است.

دگرهٔ بیماری هموفیلی را h می‌نامیم؛ دگرهٔ سالمِ ژن، H نامیده می‌شود. برای آنکه نشان دهیم این صفت وابسته به X است، دگره‌ها را به صورت بالانویس X می‌نویسیم: X^H و X^h.

جدول ۳ انواع ژن‌نمودها و رخ‌نمودها را برای هموفیلی نشان می‌دهد. دقت کنید که در فام‌تن Y جایگاهی برای دگره‌های هموفیلی وجود ندارد.

رخ‌نمود	زن	مرد	
سالم	X^HX^H	X^HY	ژن‌نمود
سالم	X^HX^h	—	
هموفیل	X^hX^h	X^hY	

جدول ۳ــ انواع ژن‌نمودها و رخ‌نمودها برای هموفیلی

فرد با ژن نمود X^HX^h که سالم است؛ **ناقل** نامیده می‌شود؛ زیرا می‌تواند ژن بیماری را به نسل بعد منتقل کند.

برای پیش‌بینی ژن‌نمودها و رخ‌نمودهای صفات وابسته به X در نسل‌های بعد، می‌توان همچنان از مربع پانت استفاده کرد. به مثال زیر توجه کنید.

مثال: مردی هموفیل قصد دارد با زنی ازدواج کند که سالم است و ناقل هم نیست. زن می‌خواهد بداند آیا ممکن است فرزند حاصل از این ازدواج، هموفیل باشد؟

ژن‌نمود مرد هموفیل X^hY و گامت‌هایی که تولید می‌کند X^h و Y است. ژن‌نمود زن سالم X^HX^H است و برای این صفت فقط یک نوع گامت، یعنی X^H تولید می‌کند. ژن‌نمودها و رخ‌نمودهای نسل‌های بعد را می‌توان به کمک مربع پانت یافت.

گامت‌ها	X^h	Y
X^H	X^HX^h دختر ناقل	X^HY پسر سالم

جدول ۴ــ ژن‌نمودو رخ‌نمود نسل بعد

بنابراین براساس جدول شمارهٔ ۴، فرزندان حاصل از این ازدواج هموفیل نخواهند بود.

فعّالیت ۲

مردی سالم قصد دارد با زنی هموفیل ازدواج کند. چه ژن‌نمود و رخ‌نمودهایی برای فرزندان آنان پیش‌بینی می‌کنید؟

۱- X - linked

www.mrzist.org

صفات پیوسته و گسسته

اندازهٔ قد شما چقدر است؟ اگر از هم‌کلاسی‌های خود اندازهٔ قدشان را بپرسید، اعداد گوناگونی را خواهید شنید. اندازه قد صفتی **پیوسته** است. آیا می‌توان گفت که Rh هم چنین است؟ در میان انسان‌ها، صفت Rh تنها به دو شکل مثبت و منفی دیده می‌شود؛ بنابراین Rh صفتی **گسسته** است.

صفات تک جایگاهی و چند جایگاهی

صفاتی که تا اینجا بررسی کردیم، صفاتی هستند که یک جایگاه ژن در فام‌تن دارند. برای مثال، دگره صفت گروه‌های خونی ABO یک جایگاه مشخص از فام‌تن ۹ را به خود اختصاص داده‌اند. چنین صفاتی را **تک جایگاهی** می‌نامیم.

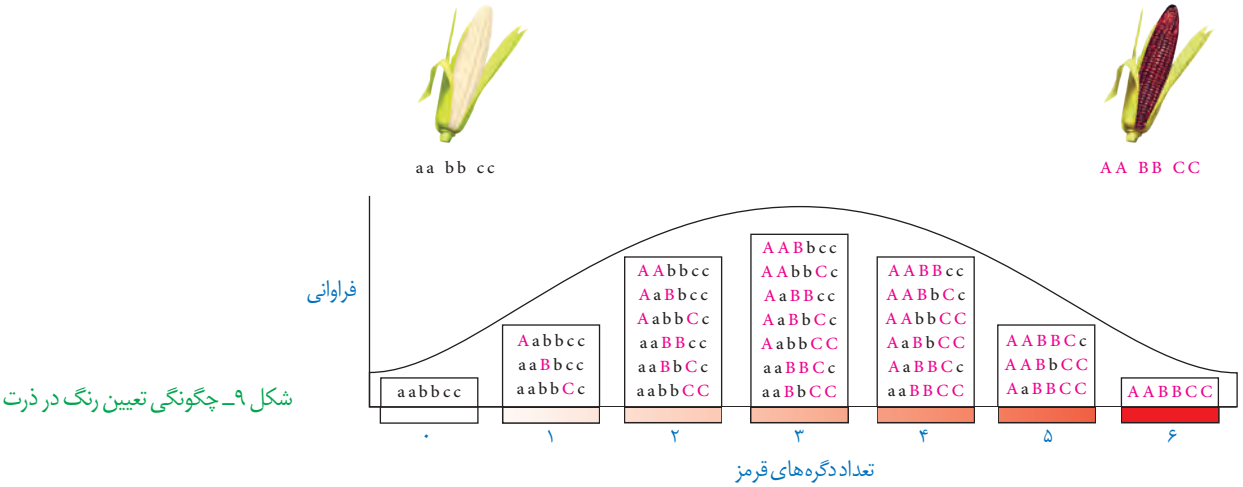
در مقابل، صفاتی هستند که در بروز آنها بیش از یک جایگاه ژن شرکت دارد. رنگ نوعی ذرت مثالی از صفات **چند جایگاهی** است. رنگ این ذرت طیفی از سفید تا قرمز است (شکل ۸).

شکل ۸ــ رنگ‌های متفاوت ذرت

صفت رنگ در این نوع ذرت صفتی با سه جایگاه ژنی است که هر کدام دو دگره دارند.برای نشان دادن ژن‌ها در این سه جایگاه، از حروف بزرگ و کوچک A، B و C استفاده می‌کنیم. برحسب نوع ترکیب دگره‌ها، رنگ‌های مختلفی ایجاد می‌شود. دگره‌های بارز، رنگ قرمز و دگره‌های نهفته رنگ سفید را به‌وجود می‌آورند. بنابراین رخ‌نمودهای دو آستانهٔ طیف، یعنی قرمز و سفید به ترتیب ژن‌نمودهای AABBCC و aabbcc را دارند. در رخ‌نمودهای ناخالص، هرچه تعداد دگره‌های بارز بیشتر باشد، مقدار رنگ قرمز بیشتر است.

www.mrzist.org

چنان که می‌بینیم صفات چند جایگاهی رخ‌نمودهای پیوسته‌ای دارند. یعنی افراد جمعیت این ذرت، در مجموع طیف پیوسته‌ای بین سفید و قرمز را به نمایش می‌گذارند. به همین علت، نمودار توزیع فراوانی این رخ‌نمودها شبیه زنگوله است.



شکل ۹ــ چگونگی تعیین رنگ در ذرت

اثر محیط

گاهی برای بروز یک رخ‌نمود تنها وجود ژن کافی نیست. برای مثال در گیاهان، ساخته شدن سبزینه علاوه بر ژن، به نور هم نیاز دارد.

محیط انسان، شامل عوامل متعددی است. تغذیه و ورزش عواملی محیطی‌اند که می‌توانند بر ظهور رخ‌نمود اثر بگذارند. به‌عنوان مثال، قد انسان به تغذیه و ورزش هم بستگی دارد. بنابراین نمی‌توان تنها از روی ژن‌ها، علت اندازه قد یک نفر را توضیح داد.

مهار بیماری‌های ژنتیک

گرچه نمی‌توان بیماری‌های ژنتیک را در حال حاضر درمان کرد (مگر در موارد معدود) اما گاهی می‌توان با تغییر عوامل محیطی، عوارض بیماری‌های ژنی را مهار کرد. مثال این موضوع، بیماری فنیل‌کتونوری (PKU) است. در این بیماری آنزیمی که آمینواسید فنیل‌آلانین را می‌تواند تجزیه کند وجود ندارد. تجمع فنیل‌آلانین در بدن به ایجاد ترکیبات خطرناک منجر می‌شود. در این بیماری، مغز آسیب می‌بیند. خوشبختانه می‌توان از بروز این بیماری جلوگیری کرد. اما چگونه؟ علت این بیماری، تغذیه از پروتئین‌های حاوی فنیل‌آلانین است. پس با تغذیه نکردن از خوراکی‌هایی که فنیل‌آلانین دارند، می‌توان مانع بروز اثرات این بیماری شد.

فنیل کتونوری یک بیماری نهفته است. وقتی نوزاد متولد می‌شود، علائم آشکاری ندارد. در عین حال، تغذیه نوزاد مبتلا به فنیل کتونوری با شیر مادر (که حاوی فنیل‌آلانین است) به آسیب یاخته‌های مغزی او می‌انجامد. به همین علت، نوزادان را در بدو تولد از نظر ابتلای احتمالی به این بیماری، با انجام آزمایش

www.mrzist.org

خون بررسی می‌کنند. در صورت ابتلا، نوزاد با شیرخشک‌هایی که فاقد فنیل‌آلانین است تغذیه می‌شود و در رژیم غذایی او برای آینده، از رژیم‌های بدون (یا کم) فنیل‌آلانین استفاده می‌شود (شکل ۱۰).

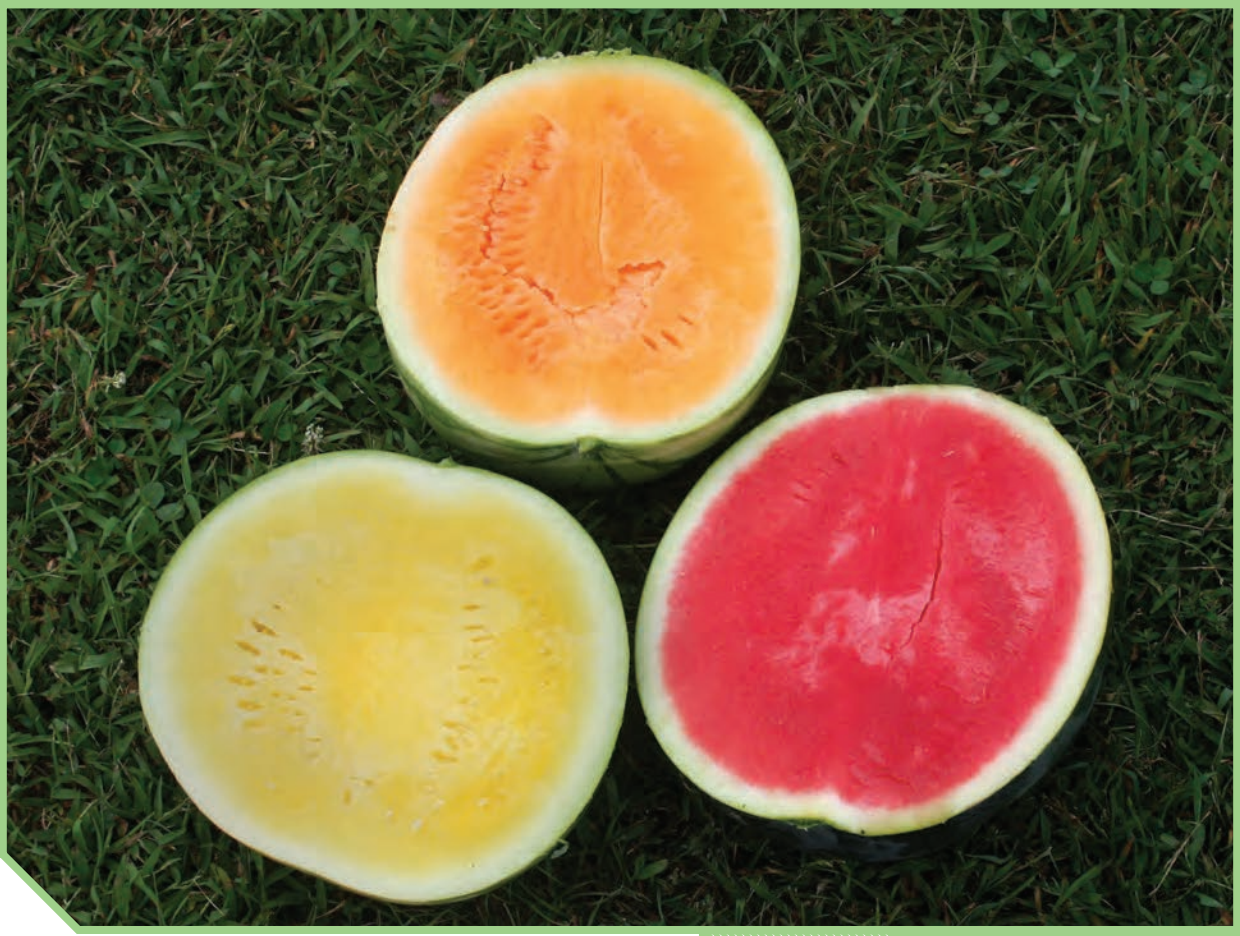
شکل ۱۰ــ خون‌گیری از نوزاد برای انجام آزمایش‌های بدو تولد

بیشتر بدانید

غذاهای مناسب و نامناسب برای بیماران PKU در شکل زیر نشان داده شده‌اند.

غذاهایی که فنیل آلانین کم دارند	غذاهایی که فنیل آلانین زیاد دارند
انواعی از میوه‌ها و سبزیجات نان و شیرینی‌های مخصوص	گوشت / ماهی شیر / لبنیات لوبیا / آجیل و حبوبات تخم‌مرغ نان گندم غذاهای غنی از پروتئین

www.mrzist.org



فصل ۴

تغییر در اطلاعات وراثتی

پایداری اطلاعات در سامانه‌های زنده، یکی از ویژگی‌های مادهٔ وراثتی است اما در عین حال، مادهٔ وراثتی به‌طور محدود تغییرپذیر است. این تغییرپذیری باعث ایجاد گوناگونی می‌شود و چنان که خواهیم دید توان بقای جمعیت‌ها را در شرایط متغیر محیط افزایش می‌دهد و زمینهٔ تغییر گونه‌ها را فراهم می‌کند. در این فصل با انواع تغییرات مادهٔ وراثتی و اثرات آن بر فرد، جمعیت و گونه آشنا خواهیم شد.

طرح سؤال‌های محاسباتی و طرح سؤال از توالی‌های رمز، رمزه و آمینواسیدهای مربوط به آنها در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

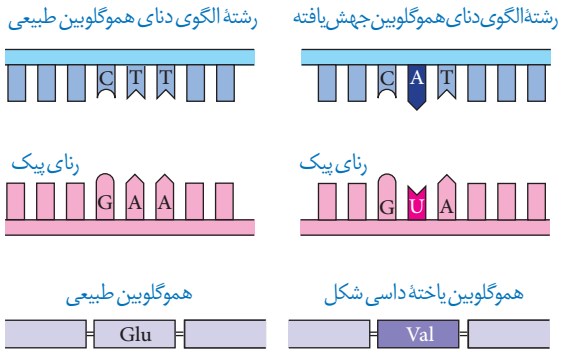
گفتار ۱ تغییر در مادهٔ وراثتی جانداران

تغییرپذیری مادهٔ وراثتی پیامدهای مختلفی دارد. تغییر، ممکن است «مفید»، «مضر» یا «خنثی» باشد. تغییر در مادهٔ وراثتی چگونه رخ می‌دهد و چه چیزی پیامد آن را تعیین می‌کند؟ در ادامه به این سؤالات پاسخ خواهیم داد.

جهش

در فصل ۲ با کم‌خونی ناشی از گویچه‌های قرمز داسی شکل آشنا شدیم و دیدیم که علت این بیماری، تغییر شکل در مولکول‌های هموگلوبین است. علت این تغییر شکل چیست؟ دانشمندان با مقایسهٔ آمینواسیدهای هموگلوبین‌های سالم و تغییر شکل یافته، دریافتند که این دو هموگلوبین فقط در ششمین آمینواسید از زنجیرهٔ بتا متفاوت‌اند.

مقایسهٔ ژن‌های زنجیرهٔ بتای هموگلوبین در بیماران و افراد سالم نشان می‌دهد که در رمز مربوط به ششمین آمینواسید، نوکلئوتید A به جای T قرار گرفته است (شکل ۱). شگفتا که تغییر در یک نوکلئوتید از میلیون‌ها نوکلئوتید انسان، می‌تواند پیامدی این‌چنین وخیم را به دنبال داشته باشد. تغییر ماندگار در نوکلئوتیدهای مادهٔ وراثتی را **جهش** می‌نامند.



شکل ۱ــ مقایسهٔ ژن‌های هموگلوبین در افراد سالم و بیمار. در این شکل فقط بخشی از ژن نشان داده شده است.
Glu: گلوتامیک اسید
Val: والین

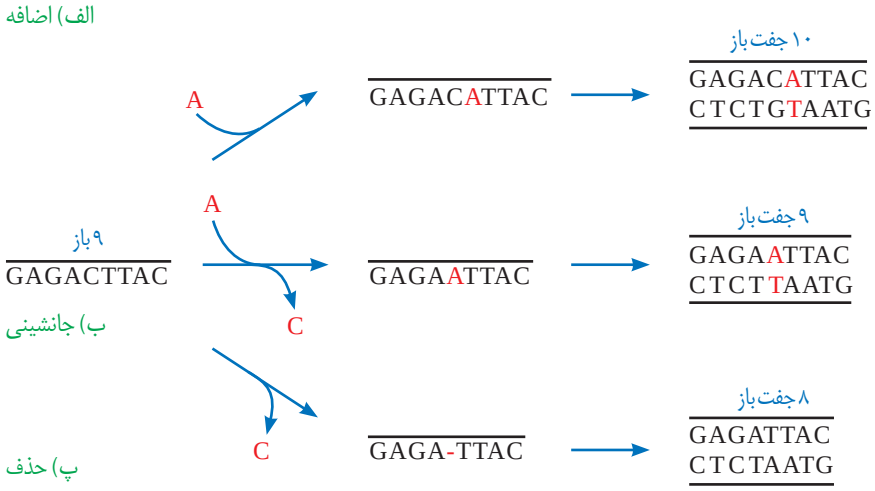
انواع جهش

در مثال بالا دیدیم که جهش در یک نوکلئوتید رخ داده است، اما جهش می‌تواند در اندازهٔ بسیار وسیع‌تری هم رخ دهد. گاهی جهش آن‌قدر وسیع است که حتی ساختار یا تعداد فام‌تن را تغییر می‌دهد. بر همین اساس، جهش‌ها را به دو گروه کوچک و بزرگ تقسیم می‌کنند.

جهش‌های کوچک: این جهش‌ها یک یا چند نوکلئوتید را در برمی‌گیرند. انواع جهش‌های کوچک در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مثالِ یاخته‌های داسی شکل، نمونه‌ای از جهش کوچک است. در اینجا یک نوکلئوتید، جانشین نوکلئوتید دیگری شده است. این نوع جهش را **جانشینی** می‌نامند. از آن‌جایی که این جهش سبب تغییر در نوع آمینواسید در زنجیره پلی‌پپتیدی شده است؛ این نوع جهش جانشینی را **جهش دگر معنا** می‌نامند. به علت وجود رابطهٔ مکملی بین بازها، تغییر در یک نوکلئوتید از یک رشتهٔ دنا،

www.mrzist.org

نوکلئوتید مقابل آن را در رشتهٔ دیگر تغییر می‌دهد به همین علت، جانشینی در یک نوکلئوتید به جانشینی در یک جفت نوکلئوتید منجر می‌شود.



شکل ۲ــ انواع جهش‌های کوچک

نباید تصور کرد که جهش جانشینی همیشه باعث تغییر در توالی آمینواسیدها می‌شود. می‌دانید چرا؟ پاسخ این است که گاهی جهش، رمز یک آمینواسید را به رمز دیگری برای همان آمینواسید تبدیل می‌کند. این نوع جهش تأثیری بر توالی آمینواسیدها نخواهد گذاشت. چنین جهشی را **جهش خاموش** می‌نامند. این امکان وجود دارد که جهش جانشینی رمز یک آمینواسید را به رمز پایان ترجمه تبدیل کند که در این صورت پلی‌پپتید حاصل از آن، کوتاه خواهد شد به این جهش، **جهش بی‌معنا** می‌گویند(شکل ۳).

جهش‌های **اضافه** و **حذف**، انواع دیگر جهش‌های کوچک‌اند. در این جهش‌ها به ترتیب یک یا چند نوکلئوتید اضافه یا حذف می‌شود. نتیجهٔ این جهش‌ها چیست؟ می‌دانیم که رمز دنا به‌صورت دسته‌های سه‌تایی از نوکلئوتیدها خوانده می‌شود. اگر نوکلئوتیدی اضافه یا حذف شود ممکن است پیامد وخیمی داشته باشد. برای درک بهتر موضوع، به این مثال توجه کنید. جملهٔ «این سیب سرخ است» را که با کلمات سه حرفی نوشته شده است، به‌صورت زیر در نظر بگیرید:

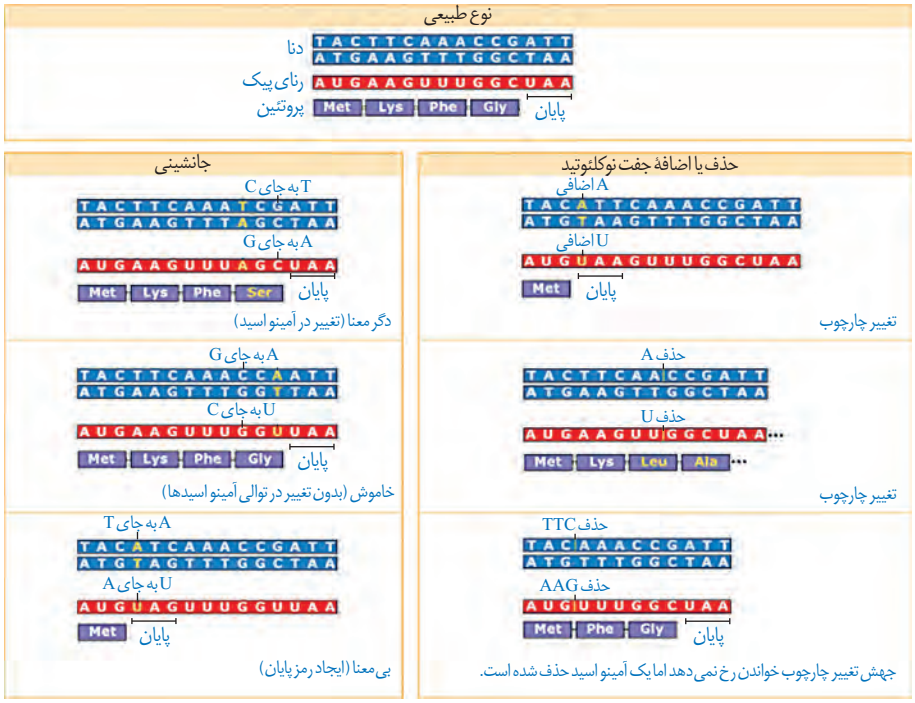
ا ی ن / س ی ب / س ر خ / ا س ت

اگر یک حرف به جایی درون این جمله اضافه شود چگونه خوانده می‌شود؟ قرار است این جمله را همچنان به‌صورت کلمات سه حرفی بخوانیم:

ا ی ن / ر س ی / ب س ر / خ ا س / ت

می‌بینیم که جمله معنای خود را از دست می‌دهد. جهش‌های از نوع اضافه و حذف را که باعث چنین تغییری در خواندن می‌شوند، جهش **تغییر چارچوب خواندن** می‌نامند. در شکل ۳، تأثیر این جهش بر توالی یک پروتئین فرضی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ می‌بینید، جهش‌های اضافه و حذف، الزاماً به تغییر چارچوب خواندن نمی‌انجامند.

www.mrzist.org



شکل ۳ـ تأثیر جهش بر پروتئین

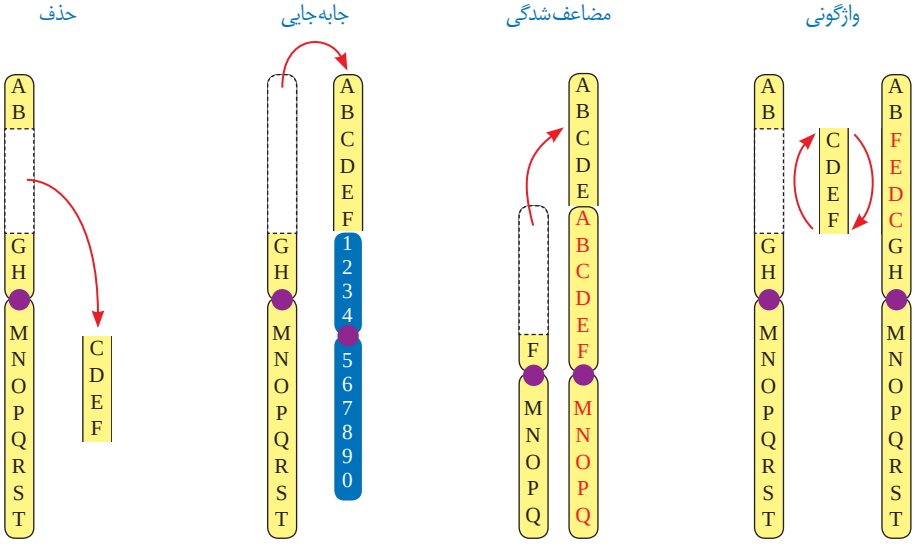
فعالیت ۱

الف) در چه صورت طول یک رشتهٔ پلی پپتیدی ممکن است افزایش یابد؟
ب) اگر تعداد نوکلئوتیدهای اضافه یا حذف شده مضربی از سه باشد، چه پیامدی مورد انتظار است؟

جهش‌های بزرگ (ناهنجاری‌های فام‌تنی): جهش ممکن است در مقیاس وسیع‌تری رخ دهد تا جایی که به **ناهنجاری‌های فام‌تنی** منجر شود. زیست‌شناسان با مشاهدهٔ کاریوتیپ می‌توانند از وجود چنین ناهنجاری‌هایی آگاه شوند.

در سال گذشته با نشانگان داون آشنا شدید. می‌دانید که مبتلایان به این بیماری یک فام‌تن ۲۱ اضافی دارند. تغییر در تعداد فام‌تن‌ها را **ناهنجاری عددی** در فام‌تن‌ها می‌نامند.

نوع دیگری از ناهنجاری فام‌تنی، **ناهنجاری ساختاری** است. انواع این جهش‌ها در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴ـ انواع ناهنجاری‌های ساختاری در فام‌تن‌ها

www.mrzist.org

همان‌طور که در شکل می‌بینید، ممکن است قسمتی از فام‌تن از دست برود که به آن **حذف** می‌گویند. جهش‌های فام‌تنی حذفی غالباً باعث مرگ می‌شوند. **جابه‌جایی**، نوع دیگری از ناهنجاری فام‌تنی است که در آن قسمتی از یک فام‌تن به فام‌تن غیرهمتا یا حتی بخش دیگری از همان فام‌تن منتقل می‌شود. اگر قسمتی از یک فام‌تن به فام‌تن همتا جابه‌جا شود، آن‌گاه در فام‌تن همتا، از آن قسمت دو نسخه دیده می‌شود. به این جهش، **مضاعف‌شدگی** می‌گویند. نوع دیگری از ناهنجاری‌های فام‌تنی، **واژگونی** است که در آن جهت قرارگیری قسمتی از یک فام‌تن در جای خود معکوس می‌شود.

پیامدهای جهش

تأثیر جهش به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل، محل وقوع جهش در **ژنگان (ژنوم)** است. ژنگان به کل محتوای مادهٔ وراثتی گفته می‌شود و برابر است با مجموع محتوای مادهٔ وراثتی هسته‌ای و سیتوپلاسمی. طبق قرارداد، ژنگان هسته‌ای را معادل مجموعه‌ای شامل یک نسخه از هریک از انواع فام‌تن‌ها در نظر می‌گیرند. ژنگان هسته‌ای انسان شامل ۲۲ فام‌تن غیرجنسی و فام‌تن‌های جنسی X و Y است. دنای راکیزه، ژنگان سیتوپلاسمی را در ژنگان انسان تشکیل می‌دهد.

ژن‌ها فقط بخشی از ژنگان‌اند. ممکن است جهش در توالی‌های بین ژنی رخ دهد. در این صورت بر توالی محصول ژن، اثری نخواهد گذاشت. اگر جهش درون ژن رخ دهد، آن‌گاه پیامدهای آن مختلف خواهد بود. آنزیمی را در نظر بگیرید که در ژن آن جهش جانشینی رخ داده و رمز یک آمینواسید را به آمینواسید دیگری تبدیل کرده است. آیا این جهش باعث تغییر در عملکرد آنزیم خواهد شد؟ پاسخ این سؤال به محل وقوع تغییر در آنزیم بستگی دارد. اگر جهش باعث تغییر در جایگاه فعال آنزیم شود، آن‌گاه احتمال تغییر عملکرد آنزیم بسیار زیاد است. اما اگر جهش در جایی دور از جایگاه فعال رخ دهد، به‌طوری‌که بر آن اثری نگذارد، احتمال تغییر در عملکرد آنزیم کم یا حتی صفر است.

گاهی جهش در یکی از توالی‌های تنظیمی رخ می‌دهد، مثلاً در راه‌انداز یا افزاینده. این جهش بر توالی پروتئین اثری نخواهد داشت بلکه بر «مقدار» آن تأثیر می‌گذارد. جهش در راه‌انداز، ممکن است آن را به راه‌اندازی قوی‌تر یا ضعیف‌تر تبدیل کند و با اثر بر میزان رونویسی از ژن، محصول آن را نیز بیشتر یا کمتر کند.

علت جهش

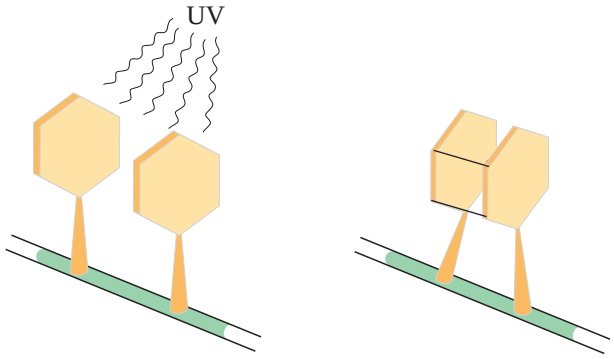
گرچه سازوکارهای دقیقی برای اطمینان از صحت همانندسازی دنا وجود دارد اما با وجود اینها، گاهی در همانندسازی خطاهایی رخ می‌دهد که باعث جهش می‌شوند.

جهش، تحت اثر **عوامل جهش‌زا** هم رخ می‌دهد. عوامل جهش‌زا را می‌توان به دو دستهٔ فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد. پرتو فرابنفش یکی از عوامل جهش‌زای فیزیکی است. این پرتو، که در نور خورشید وجود دارد، باعث تشکیل پیوند بین دو تیمین مجاور هم در دنا می‌شود که به آن **دوپار (دیمر) تیمین** می‌گویند (شکل ۵). دوپار تیمین با ایجاد اختلال در عملکرد آنزیم دنا بسپاراز، همانندسازی دنا را با مشکل مواجه می‌کند. از مواد شیمیایی جهش‌زا می‌توان به بنزوپیرن اشاره کرد که در دود سیگار وجود

www.mrzist.org

دارد و جهشی ایجاد می‌کند که به سرطان منجر می‌شود.

جهش ارثی یا اکتسابی است. جهش ارثی از یک یا هر دو والد به فرزند می‌رسد. این جهش در گامت‌ها وجود دارد که پس از لقاح، جهش را به تخم منتقل می‌کنند. در این صورت همهٔ یاخته‌های حاصل از آن تخم، دارای آن جهش‌اند. جهش اکتسابی از محیط کسب می‌شود. مثلاً سیگار کشیدن می‌تواند باعث ایجاد جهش در یاخته‌های دستگاه تنفس شود.



شکل ۵ــ تشکیل دوپار تیمین

سبک زندگی و تغذیه سالم نقش مهمی در پیشگیری از سرطان دارند. ورزش و وزن مناسب، از عوامل مهم در حفظ سلامت‌اند. در سال‌های قبل دیدید که غذاهای گیاهی که پاد اکسنده و الیاف دارند در پیشگیری از سرطان مؤثرند. در عین حال، شیوهٔ فراوری و پخت غذا بر سلامت آن اثر می‌گذارد. تحقیقات نشان داده است در مناطقی که مصرف غذاهای نمک‌سود یا دودی شده رایج است، سرطان شیوع بیشتری دارد. همچنین، ارتباط بعضی از سرطان‌ها با مصرف زیاد غذاهای کباب شده یا سرخ شده مشخص شده است. گزارش‌های متعددی در دست است که نشان می‌دهد ترکیبات نیتریت‌دار مانند سدیم نیتریت، که برای ماندگاری محصولات پروتئینی مثل سوسیس و کالباس به آنها اضافه می‌شود، در بدن به ترکیباتی تبدیل می‌شوند که تحت شرایطی قابلیت سرطان‌زایی دارند. بنابراین مصرف زیاد چنین موادغذایی از عوامل ایجاد سرطان است.

www.mrzist.org

گفتار ۲ تغییر در جمعیت‌ها

بعد از کشف پادزیست (آنتی‌بیوتیک)ها در نیمه قرن گذشته، آدمی به یکی از کارآمدترین ابزارهای دفاعی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا مجهز شد و توانست در نبرد با آنها پیروز شود. با این وجود، مدتی است که از گوشه و کنار دنیا خبر می‌رسد باکتری‌ها نسبت به پادزیست‌ها مقاوم شده‌اند. گرچه دانشمندان با طراحی داروهای جدید، برتری انسان را در این نبرد همچنان حفظ کرده‌اند اما در عین حال، روند مقاوم شدن باکتری‌ها آدمی را سخت نگران کرده است. مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به داروها، یکی از مثال‌هایی است که نشان می‌دهد «موجودات زنده می‌توانند در گذر زمان تغییر کنند». این تغییر چگونه رخ می‌دهد؟

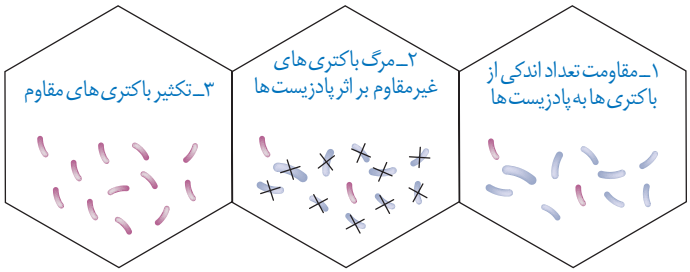
تغییر در گذر زمان

به انسان‌های اطراف خود نگاه کنید. همهٔ انسان‌ها ویژگی های مشترکی دارند که باعث می‌شود آنان را در گروهی به نام «انسان‌ها» قرار دهیم. در عین حال، در میان انسان‌ها «تفاوت‌های فردی» نیز وجود دارد که باعث شناخت آنها از یکدیگر می‌شود.تفاوت‌های فردی منحصر به انسان نیست. در میان افراد گونه‌های دیگر هم تفاوت‌های فردی مشاهده می‌شود.

تفاوت‌های فردی چگونه می‌تواند در پایداری گونه مؤثر باشد؟ این سؤال را با ذکر مثالی پاسخ می‌دهیم. فرض کنید در نوعی از جانوران، افراد تحمل متفاوتی نسبت به سرما دارند؛ یعنی بعضی‌ها می‌توانند سرما را تحمل کنند. اگر سرمای شدیدی رخ دهد، آنان که سرما را تحمل می‌کنند شانس بیشتری برای زنده ماندن دارند. بنابراین، این افراد، بیشتر از دیگران تولیدمثل می‌کنند و در نتیجه صفت تحمل سرما، بیش از گذشته، به نسل بعد منتقل می‌شود. اگر سرما همچنان ادامه یابد، باز هم آنها که سرما را تحمل می‌کنند، شانس بیشتری برای تولیدمثل و انتقال صفت به نسل های بعد را خواهند داشت. بنابراین، بعد از مدتی با جمعیتی روبه‌رو خواهیم شد که در آن، تعداد افرادی که سرما را تحمل می‌کنند در مقایسه با جمعیت اول، بیشتر است و این یعنی تغییر در جمعیت.

مثال ساده‌ای که در بالا عنوان شد، نشان می‌دهد که برای تغییر، شرایطی لازم است. یکی از این شرایط، وجود تفاوت‌های فردی است. وقتی تفاوت فردی هست، این سؤال پیش می‌آید که کدام تفاوت‌ها بهترند. در مثال ما، آنها که سرما را تحمل می‌کردند، در مقایسه با بقیه، شانس بیشتری برای زنده ماندن داشتند. با کمی دقت متوجه می‌شویم که این «بهتر» بودن یک صفت همیشگی نیست؛ بلکه شرایط محیط تعیین کنندهٔ صفات بهتر است. اگر هوا به جای سرد شدن گرم می‌شد، آن گاه افراد دیگری شانس زنده ماندن داشتند. بنابراین، زیست‌شناسان از واژهٔ «صفت بهتر» استفاده نمی‌کنند بلکه به جای آن می‌گویند «صفت سازگارتر با محیط». به روشنی دیده می‌شود این، «محیط» است که تعیین می‌کند کدام صفات با فراوانی بیشتری به نسل بعد منتقل شوند. این فرایند را که در آن افراد سازگارتر با محیط انتخاب می‌شوند، یعنی آنهایی که شانس بیشتری برای زنده ماندن و تولیدمثل دارند، **انتخاب طبیعی** می‌نامند.

www.mrzist.org



شکل ۶ـ چگونگی مقاوم شدن باکتری‌ها به پادزیست

انتخاب طبیعی می‌تواند علت مقاوم شدن باکتری‌ها به پادزیست‌ها را نیز توضیح دهد (شکل ۶). در این مثال باکتری‌های غیرمقاوم از بین می‌روند و باکتری‌های مقاوم تکثیر می‌شوند و به‌تدریج همه جمعیت را به خود اختصاص می‌دهند؛ در نتیجه جمعیت از غیرمقاوم به مقاوم تغییر می‌یابد.

وقتی از تفاوت‌های فردی سخن می‌گوییم در واقع در حال بررسی جمعیتی از افراد هستیم نه یک فرد. انتخاب طبیعی «جمعیت» را تغییر می‌دهد نه «فرد» را. جمعیت، به افرادی گفته می‌شود که به یک گونه تعلق دارند و در یک زمان و مکان زندگی می‌کنند.

بیشتر بدانید

ابوریحان بیرونی، در کتاب تحقیق ماللهند، نخستین دانشمندی است که تغییر گونه‌ها را توصیف می‌کند. چالرز داروین (Charles Robert Darwin) وآلفردوالاس (AlfredRusselWallace) مستقل از یکدیگر سازوکار انتخاب طبیعی را برای تغییرگونه‌ها ارائه کردند.

خزانهٔ ژن

قبل از کشف مفاهیم پایهٔ ژنتیک، زیست‌شناسان جمعیت را بر اساس صفات ظاهری توصیف می‌کردند. مثل گوناگونی رنگ بدن در یک جمعیت جانوری یا گوناگونی رنگ گلبرگ در یک جمعیت گیاهی. با شناخت ژن‌ها، این امکان فراهم شد که زیست‌شناسان، جمعیت را بر اساس ژن‌های آن توصیف کنند. مجموع همهٔ دگره‌های موجود در همهٔ جایگاه‌های ژنی افراد یک جمعیت را **خزانهٔ ژن** آن جمعیت می‌نامند.

تعادل در جمعیت

اگر در جمعیتی فراوانی نسبی دگره‌ها یا ژن‌نمودها از نسلی به نسل دیگر ثابت باشد، آن‌گاه می‌گویند جمعیت **در حال تعادل ژنی** است. تا وقتی جمعیت در حال تعادل است، تغییر در آن، مورد انتظار نیست. اگر جمعیت از تعادل خارج شود، روند تغییر را در پیش گرفته است. عوامل زیر باعث می‌شوند جمعیت از حال تعادل خارج شود.

الف) جهش: یک باکتری را در نظر بگیرید که هر ۲۰ دقیقه تقسیم می‌شود. اگر جهش رخ دهد، آن‌گاه دگره‌های جدیدی ایجاد می شوند که این یعنی تغییر در فراوانی نسبی دگره‌ها.

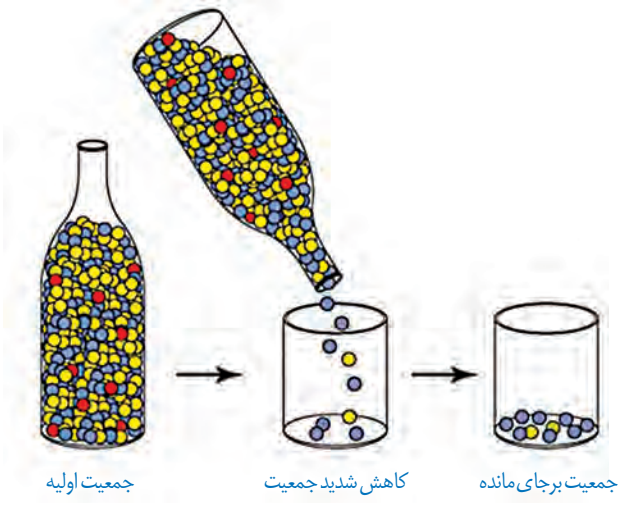
جهش، با افزودن دگره‌های جدید، خزانهٔ ژن را غنی‌تر می‌کند و گوناگونی را افزایش می‌دهد. بسیاری از جهش‌ها تأثیری فوری بر رخ‌نمود ندارند و بنابراین ممکن است تشخیص داده نشوند. اما با تغییر شرایط محیط ممکن است دگرهٔ جدید، سازگارتر از دگره یا دگره‌های قبلی عمل کند.

ب) رانش دگره‌ای: فرض کنید گله‌ای شامل ۱۰۰ گوسفند در حال عبور از ارتفاعات است. حین عبور، تعدادی گوسفند به پایین سقوط می‌کنند و می‌میرند. اگر این گوسفندان زاده‌ای نداشته باشند، شانس انتقال ژن‌های خود به نسل بعد را از دست داده‌اند. به فرایندی که باعث تغییر فراوانی دگره‌ای بر

www.mrzist.org

اثر رویدادهای تصادفی می‌شود، **رانش دگره‌ای** می‌گویند. رانش دگره‌ای گرچه فراوانی دگره‌ها را تغییر می‌دهد اما برخلاف انتخاب طبیعی به سازش نمی‌انجامد.

به مثال دیگری توجه کنید. گاهی در حوادثی نظیر سیل، زلزله، آتش‌سوزی و نظایر آن، تعداد آنهایی که می‌میرند ممکن است بیش از آنهایی باشند که زنده می‌مانند. بنابراین فقط بخشی از دگره‌های جمعیت بزرگ اولیه به جمعیت کوچک باقی‌مانده خواهد رسید و جمعیت آینده از همین دگره‌های برجای مانده تشکیل خواهند شد (شکل ۷). در این صورت نیز فراوانی دگره‌ها تغییر می‌کند اما این تغییر در فراوانی، ارتباطی با سازگاری آنها با محیط و انتخاب طبیعی ندارد.



شکل ۷ــ کاهش شدید در اندازه جمعیت باعث تغییر فراوانی‌های دگره‌ای می‌شود.

هرچه اندازهٔ یک جمعیت کوچک‌تر باشد، رانش دگره‌ای اثر بیشتری دارد. به همین علت، برای آنکه جمعیتی در تعادل باشد، باید اندازهٔ بزرگی داشته باشد. منظور از اندازهٔ جمعیت، تعداد افراد آن است.

پ) شارش ژن: وقتی افرادی از یک جمعیت به جمعیت دیگری مهاجرت می‌کنند، در واقع تعدادی از دگره‌های جمعیت مبدأ را به جمعیت مقصد وارد می‌کنند و سبب تغییر در فراوانی نسبی دگره‌های هر دو جمعیت می‌شود. به این پدیده، **شارش ژن** می‌گویند. اگر بین دو جمعیت، شارش ژن به‌طور پیوسته و دوسویه ادامه یابد، سرانجام خزانهٔ ژن دو جمعیت به هم شبیه می‌شود.

ت) آمیزش غیرتصادفی: برای آنکه جمعیتی در حال تعادل باشد، لازم است آمیزش‌ها در آن تصادفی باشند. آمیزش تصادفی آمیزشی است که در آن احتمال آمیزش هر فرد با افراد جنس دیگر در آن جمعیت یکسان باشد. اگر آمیزش‌ها به رخ‌نمود یا ژن‌نمود بستگی داشته باشد دیگر تصادفی نیست و فراوانی نسبی ژن‌نمودها را تغییر می‌دهد. برای مثال، جانوران جفت خود را بر اساس ویژگی‌های ظاهری و رفتاری «انتخاب» می‌کنند (فصل ۸).

ث) انتخاب طبیعی: انتخاب طبیعی فراوانی دگره‌ها را در خزانهٔ ژنی تغییر می‌دهد. انتخاب طبیعی افراد سازگارتر با محیط را برمی‌گزیند و از فراوانی دیگر افراد می‌کاهد. به این ترتیب، خزانهٔ ژن نسل آینده دستخوش تغییر می‌شود. در مثال ابتدای این گفتار، دیدیم که چگونه در نتیجهٔ انتخاب طبیعی، بعضی از باکتری‌ها نسبت به تغییر شرایط (حضور پادزیست‌ها) سازش پیدا کرده‌اند.

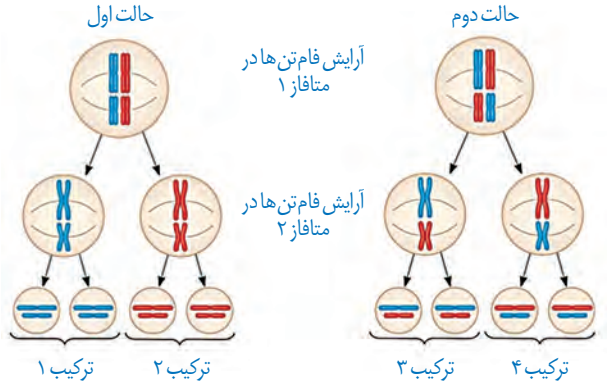
تداوم گوناگونی در جمعیت‌ها

دانستیم که نتیجهٔ انتخاب طبیعی، سازگاری بیشتر جمعیت با محیط است. با انتخاب شدن افراد سازگارتر، تفاوت‌های فردی و در نتیجه گوناگونی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، دیدیم که گوناگونی در میان افراد یک جمعیت، توانایی بقای جمعیت را در شرایط محیطی جدید بالا می‌برد. از این‌رو به سازوکارهایی نیاز است که با وجود انتخاب طبیعی، گوناگونی تداوم داشته باشد. در ادامه، این سازوکارها را بررسی می‌کنیم.

الف) گوناگونی دگره‌ای در گامت‌ها: در تولیدمثل جنسی، هر والد از طریق گامت‌هایی که می‌سازد، نیمی از فام‌تن‌های خود را به نسل بعد منتقل می‌کند. اینکه هر گامت کدام‌یک از فام‌تن‌ها را منتقل می‌کند به آرایش

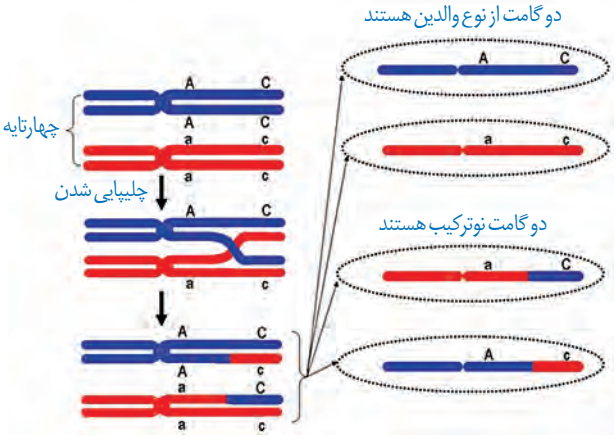
www.mrzist.org

چهارتایه‌ها (تترادها) در میوز ۱ بستگی دارد. در متافاز میوز ۱، فام‌تن‌ها با آرایش‌های مختلفی ممکن است در سطح میانی یاخته قرار گیرند که به ایجاد گامت‌های مختلف می‌انجامد. در شکل ۸ نحوهٔ توزیع فام‌تن‌ها طی میوز نشان داده شده است.



شکل ۸ــ نحوهٔ توزیع فام‌تن‌ها طی میوز

ب) نوترکیبی: در میوز ۱، هنگام جفت شدن فام‌تن‌های همتا و ایجاد چهارتایه، ممکن است قطعه‌ای از فام‌تن بین فامینک‌های غیرخواهری مبادله شود. این پدیده را **چلیپایی شدن (کراسینگ اور)** می‌گویند. اگر قطعات مبادله شده حاوی دگره‌های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از دگره‌ها در این دو فامینک به‌وجود می‌آید و به آنها فامینک‌های **نوترکیب** می‌گویند. از میان گامت‌ها، آنهایی که فامینک‌های نوترکیب را دریافت می‌کنند، **گامت نوترکیب** نامیده می‌شوند (شکل ۹).



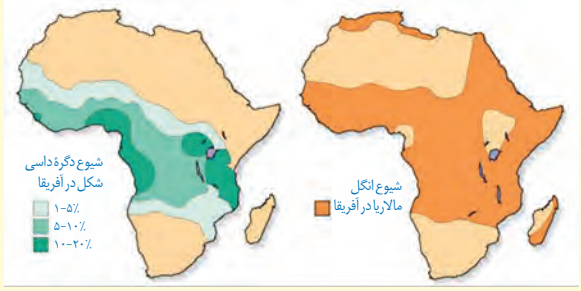
شکل ۹ــ نوترکیبی بر اثر چلیپایی شدن

پ) اهمیت ناخالص‌ها: اهمیت ناخالص‌ها در تداوم گوناگونی را می‌توان به‌وسیلهٔ بیماری کم‌خونی ناشی از گویچه‌های قرمز داسی‌شکل نیز نشان داد. افراد مبتلا به بیماری گویچه‌های قرمز داسی‌شکل ژن‌نمود Hb^SHb^S دارند و در سنین پایین معمولاً می‌میرند. ژن‌نمود ناخالص‌ها Hb^AHb^S است و وضع بهتری دارند. گویچه‌های قرمز آنها فقط هنگامی داسی شکل می‌شوند که مقدار اکسیژن محیط کم باشد.

ژن‌شناسان با مطالعهٔ توزیع این بیماری در جهان دریافته‌اند که فراوانی دگرهٔ Hb^S در مناطقی که مالاریا شایع است، بسیار بیشتر از سایر مناطق است. بیماری مالاریا به‌وسیلهٔ نوعی انگل تک یاخته‌ای ایجاد می‌شود که بخشی از چرخهٔ زندگی خود را در گویچه‌های قرمز می‌گذراند. افرادی که گویچه سالم دارند، یعنی Hb^AHb^A هستند، در معرض خطر ابتلا به مالاریا قرار دارند. این انگل نمی‌تواند در افراد Hb^AHb^S سبب بیماری شود، پس افراد Hb^AHb^S در برابر مالاریا مقاوم‌اند. بنابراین، وجود دگرهٔ Hb^S در این منطقه باعث بقای جمعیت می‌شود؛ حال آنکه این دگره در سایر مناطق، دگرهٔ مناسبی نیست. این مثال، مثال خوبی است که نشان می‌دهد شرایط محیط، تعیین کنندهٔ صفتی است که حفظ می‌شود.

بیشتر بدانید

نقشهٔ پراکنش جغرافیایی انگل مالاریا و بیماری کم‌خونی ناشی از گویچه‌های قرمز داسی در آفریقا.



www.mrzist.org

گفتار ۳ تغییر در گونه‌ها

گونه‌های بسیاری روی کرهٔ زمین زندگی می‌کنند. آیا این گونه‌ها در گذشته‌های دور هم وجود داشته‌اند؟ یا اینکه در طول زمان پدید آمده‌اند؟

شواهد تغییر گونه‌ها

شواهدی وجود دارند که نشان می‌دهند گونه‌ها در طول زمان تغییر کرده‌اند. در ادامه به این شواهد می‌پردازیم.

الف) سنگواره‌ها: در سال‌های قبل، با انواع سنگواره‌ها و نحوهٔ تشکیل آنها آشنا شده‌اید. به یاد دارید که سنگواره عبارت بود از بقایای یک جاندار یا آثاری از جانداری که در گذشتهٔ دور زندگی می‌کرده است. سنگواره معمولاً حاوی قسمت‌های سخت بدن جانداران (مثل استخوان‌ها یا اسکلت خارجی) است. گاهی ممکن است کل یک جاندار سنگواره شده باشد مثل ماموت‌های منجمد شده‌ای که همهٔ قسمت‌های بدن آنها، حتی پوست و مو، حفظ شده‌اند یا حشراتی که در رزین‌های گیاهان به دام افتاده‌اند.

سنگواره‌ها اطلاعات فراوانی به ما می‌دهند. **دیرینه‌شناسان**، که به مطالعهٔ سنگواره‌ها می‌پردازند، دریافته‌اند که در گذشته جاندارانی زندگی می‌کرده‌اند که امروز دیگر نیستند، مثل دایناسورها. در مقابل، جاندارانی هم هستند که امروز زندگی می‌کنند، اما در گذشته زندگی نمی‌کرده‌اند مثل گل لاله یا گربه. در این میان، گونه‌هایی هم هستند که از گذشته‌های دور تا زمان حال زندگی کرده‌اند مثل درخت گیسو. شواهد سنگواره‌ای نشان می‌دهند که این درخت در ۱۷۰ میلیون سال پیش هم وجود داشته است (شکل ۱۰).

شکل ۱۰ــ برگ درخت گیسو و سنگوارهٔ آن

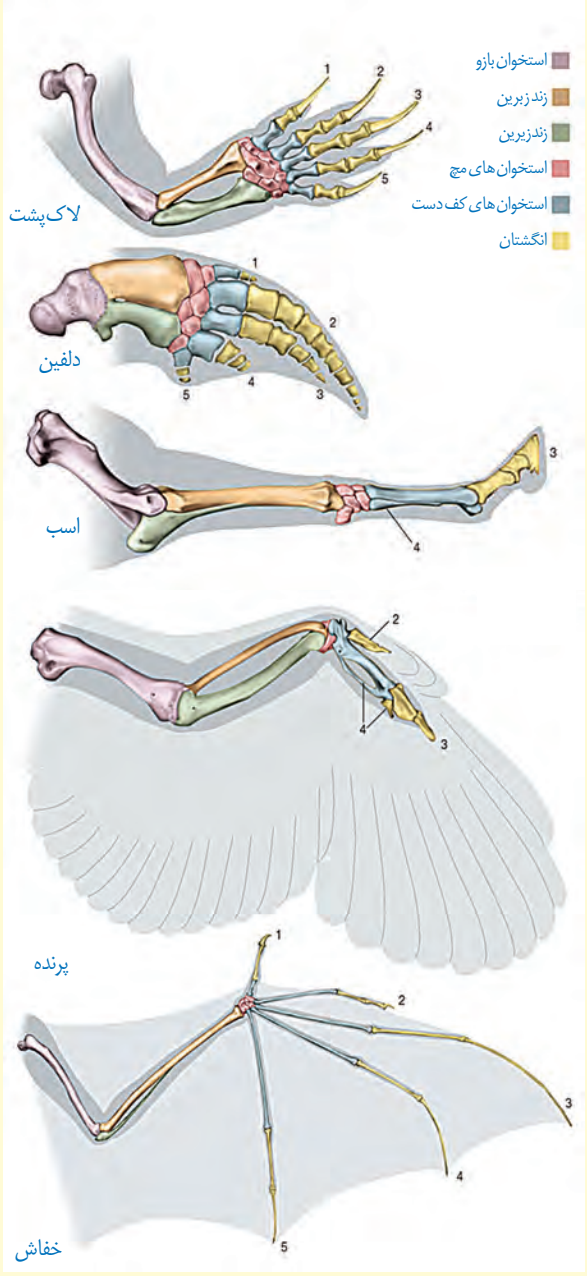
دیرینه‌شناسان قادرند عمر یک سنگواره را تعیین کنند. آنان اکنون می‌دانند که در هر زمان، چه جاندارانی وجود داشته‌اند. در مجموع، سنگواره‌ها نشان می‌دهند که در زمان‌های مختلف، زندگی به شکل‌های مختلفی جریان داشته است.

www.mrzist.org

بیشتر بدانید

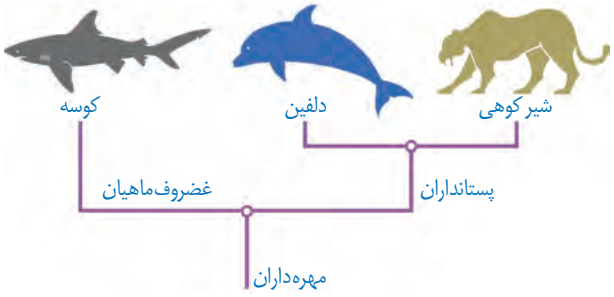
ساختارهای همتا

طرح ساختاری یکسان در اندام حرکتی جلویی بعضی از مهره‌داران



ب) تشریح مقایسه‌ای: در تشریح مقایسه‌ای اجزای پیکر جانداران گونه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شود. این مقایسه نشان می‌دهد که ساختار بدنی بعضی گونه‌ها از طرح مشابهی برخوردار است. مقایسهٔ اندام حرکتی جلویی در مهره‌داران مختلف، از طرح ساختاری یکسان حکایت دارد. اندام‌هایی را که طرح ساختاری آنها یکسان است، حتی اگر کار متفاوتی انجام دهند، «اندام‌ها یا ساختارهای **همتا**» می‌نامند. دست انسان، بال پرنده، بالهٔ دلفین و دست گربه مثال‌هایی از اندام‌های همتا هستند.

علت وجود ساختارهای همتا در گونه‌های متفاوت چیست؟ زیست‌شناسان بر این باورند که این گونه‌ها، نیای مشترکی دارند یعنی اینکه در گذشته از گونهٔ مشترکی مشتق شده‌اند (شکل ۱۱)، به همین علت این شباهت‌ها میان آنها دیده می‌شود. گونه‌هایی را که نیای مشترکی دارند **گونه‌های خویشاوند** می‌گویند.



شکل ۱۱ــ نیای مشترک و گونه‌های خویشاوند. از خویشاوندی موجودات زنده در رده‌بندی هم استفاده می‌شود. دلفین با شیر کوهی خویشاوندی نزدیک‌تری دارد تا با کوسه. بنابراین دلفین و شیر کوهی در یک گروه قرار می‌گیرند.

زیست‌شناسان از ساختارهای همتا برای رده‌بندی جانداران استفاده می‌کنند و جانداران خویشاوند را در یک گروه قرار می‌دهند.

ساختارهایی را که کار یکسان اما طرح ساختاری متفاوت دارند، **ساختارهای آنالوگ** می‌نامند. بال کبوتر و بال پروانه آنالوگ‌اند چون هر دو برای پرواز کردن‌اند (کار یکسان) گرچه ساختارهای متفاوتی دارند. این ساختارها نشان می‌دهند که برای پاسخ به یک نیاز، جانداران به روش‌های مختلفی سازش پیدا کرده‌اند.

تشریح مقایسه‌ای علاوه بر آشکارکردن خویشاوندی گونه‌ها، اطلاعات دیگری را نیز فراهم می‌کند. وقتی گونه‌های مختلف را

www.mrzist.org

مقایسه می‌کنیم، گاهی به ساختارهایی برمی‌خوریم که در یک عده بسیار کارآمد هستند اما در عدهٔ دیگر، کوچک یا ساده شده و حتی ممکن است فاقد کار خاصی باشند. این ساختارهای کوچک، ساده یا ضعیف شده را ساختارهای **وستیجیال** (به معنی ردپا) می‌نامیم. مار پیتون با اینکه پا ندارد اما بقایای پا در لگن آن به‌صورت وستیجیال موجود است و این حاکی از وجود رابطه‌ای میان آن و دیگر مهره‌داران است (شکل ۱۲).

در واقع ساختارهای وستیجیال ردپای «تغییر گونه‌ها» هستند. شواهد متعددی در دست است که نشان می‌دهد مارها از تغییر یافتن سوسمارها پدید آمده‌اند.

شکل ۱۲ــ بقایای پا در مار پیتون

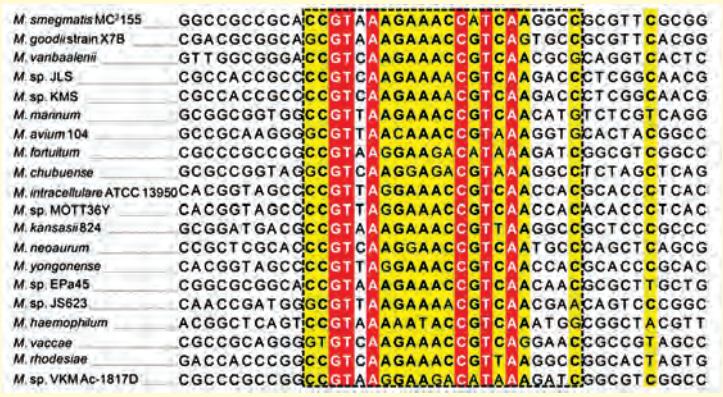
پ) مطالعات مولکولی: مقایسه گونه‌ها را می‌توان در تراز ژنگان هم انجام داد. از این مقایسه، اطلاعات ارزشمندی به دست می‌آید. مثلاً اینکه کدام ژن‌ها در بین گونه‌ها مشترک‌اند و کدام ژن‌ها ویژگی‌های خاص یک گونه را باعث می‌شوند. همچنین، زیست‌شناسان از مقایسهٔ بین دنای جانداران مختلف برای تشخیص خویشاوندی آنها استفاده می‌کنند. هرچه بین دنای دو جاندار شباهت بیشتری وجود داشته باشد، خویشاوندی نزدیک‌تری دارند. همچنین می‌توان به تاریخچهٔ تغییر آنها پی برد.

توالی‌هایی از دنا را که در بین گونه‌های مختلف دیده می‌شوند **توالی‌های حفظ شده** می‌نامند.

بیشتر بدانید

توالی‌های حفظ شده در ژن یکی از پروتئین‌های باکتریایی. در بخش‌های قرمز، توالی‌ها کاملاً حفظ شده‌اند اما در بخش‌های زرد، کمتر حفظ شده‌اند.

زیست‌شناسان در برخورد با ساختار یا توالی‌های حفظ شده از خود می‌پرسند این ساختار یا توالی چه اهمیت ویژه‌ای داشته است که همچنان حفظ شده و تغییر نکرده است؟ مثلاً چرا همهٔ غشاهای یاخته‌ای از دو لایهٔ فسفولیپید تشکیل شده‌اند؟ به این ترتیب، زیست‌شناسان امروزی فقط به توصیف دنیای زنده بسنده نمی‌کنند بلکه با نگرشی چراجویانه به تجزیه و تحلیل آن نیز می‌پردازند.



www.mrzist.org

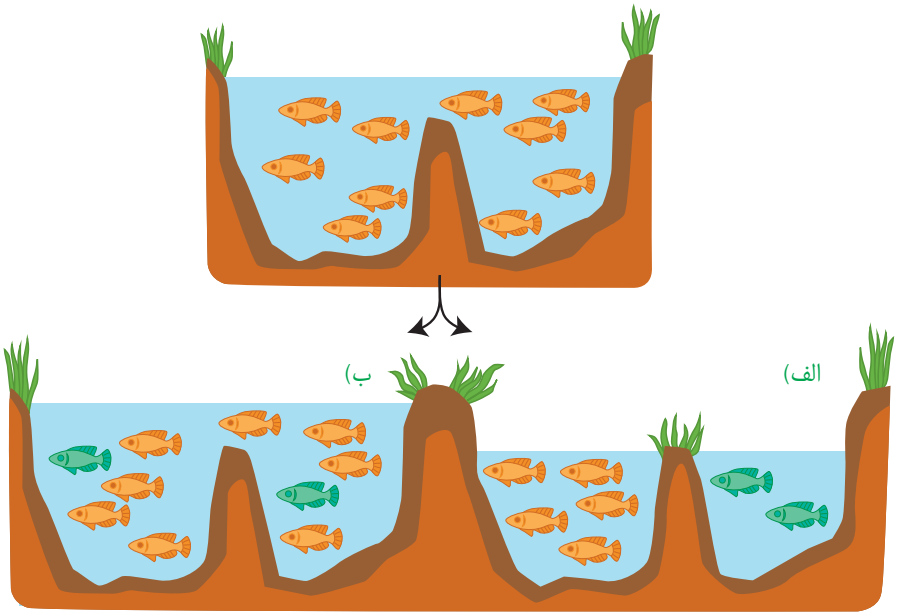
گونه‌زایی

تعاریف مختلفی برای گونه وجود دارد که هر کدام در محدودهٔ مشخصی کارآمدند. یکی از تعاریف رایج برای گونه، تعریفی است که ارنست مایر ارائه کرده است و برای جاندارانی کاربرد دارد که تولیدمثل جنسی دارند: «گونه در زیست‌شناسی به جاندارانی گفته می‌شود که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های زیستا و زایا به‌وجود آورند ولی نمی‌توانند با جانداران دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند».

زیستا در تعریف بالا، به جانداری گفته می‌شود که زنده می‌ماند و زندگی طبیعی خود را ادامه می‌دهد. همچنین، منظور از آمیزش موفقیت‌آمیز، آمیزشی است که به تولید زاده‌های زیستا و زایا منجر شود.

اگر میان افراد یک گونه جدایی تولیدمثلی رخ دهد، آن‌گاه خزانه ژنی آنها از یکدیگر جدا و احتمال تشکیل گونهٔ جدید فراهم می‌شود. منظور از جدایی تولیدمثلی، عواملی است که مانع آمیزش بعضی از افراد یک گونه با بعضی دیگر از افراد همان گونه می‌شوند.

به‌طور کلی سازوکارهایی را که باعث ایجاد گونه‌ای جدید می‌شوند، به دو گروه تقسیم می‌کنند: گونه‌زایی **دگرمیهنی** که در آن جدایی جغرافیایی رخ می‌دهد و گونه‌زایی **هم‌میهنی** که در آن جدایی جغرافیایی رخ نمی‌دهد. در شکل ۱۳ این دو نوع گونه‌زایی با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۳ــ الف) گونه‌زایی دگرمیهنی و ب) هم‌میهنی

گونه‌زایی دگرمیهنی: گاهی بر اثر وقوع رخدادهای زمین‌شناختی و سدهای جغرافیایی، یک جمعیت، به دو قسمت جداگانه تقسیم می‌شود. مثلاً در نتیجه پدیده کوه‌زایی، ممکن است در یک منطقه مثلاً کوه، دره و یا دریاچه ایجاد شود و یک جمعیت را به دو قسمت تقسیم کند.

این سدهای جغرافیایی، ارتباط دو قسمت را ــ که قبلاً به یک جمعیت تعلق داشتند ــ قطع می‌کنند و بین آنها دیگر شارش ژن صورت نمی‌گیرد. بر اثر وقوع پدیده‌هایی همچون جهش، نوترکیبی و انتخاب طبیعی، به‌تدریج دو جمعیت یاد شده با یکدیگر متفاوت می‌شوند. از آنجا که شارش ژن میان آنها وجود ندارد، این تفاوت بیشتر و بیشتر می‌شود تا جایی که حتی اگر این دو جمعیت کنار هم باشند، آمیزشی بین آنها رخ نخواهد داد (مثلاً زمان تولیدمثل آنها فرق کند)؛ بنابراین می‌توان آنها را دوگونه مجزا به‌شمار آورد.

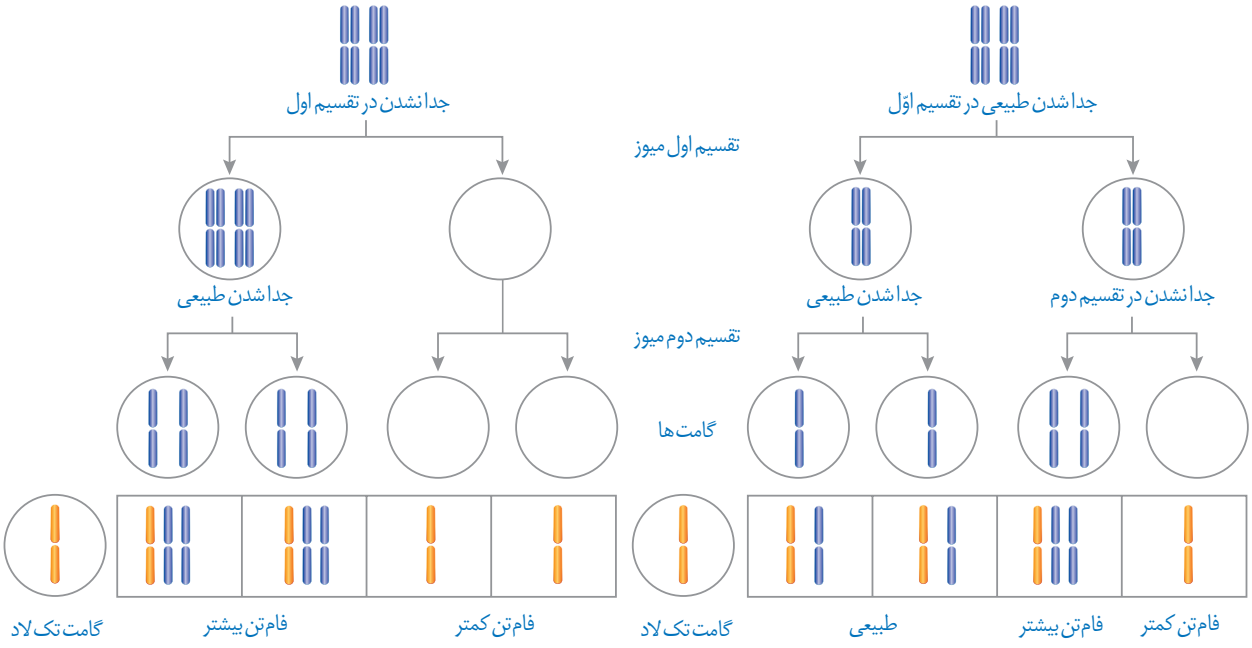
www.mrzist.org

اگر جمعیتی که از جمعیت اصلی جدا شده است کوچک باشد، آن‌وقت اثر رانش ژن را نیز باید در نظر گرفت که خود بر میزان تفاوت بین دو جمعیت می‌افزاید.

گونه‌زایی هم‌میهنی: گاهی بین جمعیت‌هایی که در یک زیستگاه زندگی می‌کنند، جدایی تولیدمثلی اتفاق می‌افتد و در نتیجه، گونه جدیدی حاصل می‌شود. این نوع گونه‌زایی را **گونه‌زایی هم‌میهنی** می‌نامند. در گونه‌زایی هم‌میهنی، برخلاف گونه‌زایی دگرمیهنی، جدایی جغرافیایی رخ نمی‌دهد.

پیدایش گیاهان **چندلادی (پلی‌پلوییدی)**، مثال خوبی از گونه‌زایی هم‌میهنی است. چندلادی به تولید گیاهانی منجر می‌شود که زیستا و زایا هستند اما نمی‌توانند در نتیجهٔ آمیزش با افراد گونهٔ نیایی خود، زاده‌های زیستا و زایا پدید آورند و بنابراین گونه‌ای جدید به شمار می‌روند.

گیاهان چندلادی بر اثر خطای میوزی ایجاد می‌شوند. می‌دانیم که جدانشدن فام‌تن‌ها در میوز به تشکیل گامت‌هایی با عدد فام‌تنی غیرطبیعی منجر می‌شود و اگر این گامت‌ها با گامت طبیعی لقاح کنند تخم طبیعی تشکیل نخواهد شد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ــ نتیجهٔ آمیزش گامت‌های حاصل از خطای میوزی با گامت سالم

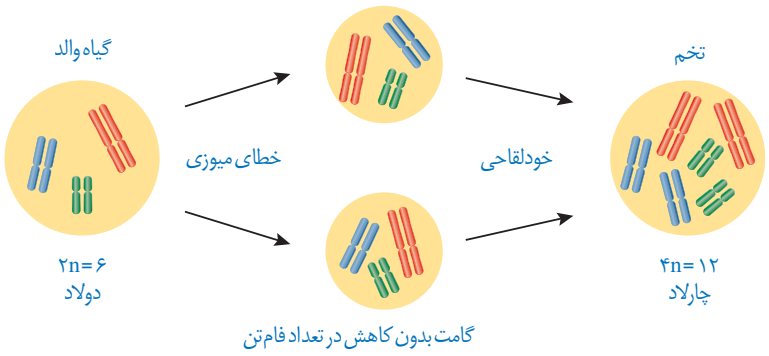
در اوایل دههٔ ۱۹۰۰ دانشمندی به نام هوگو دووری که با گیاهان گل مغربی ($2n = 14$) کار می‌کرد، متوجه شد که یکی از گل‌های مغربی ظاهری متفاوت با بقیه دارد. وی با بررسی فام‌تن‌های آن دریافت که این گیاه به جای ۱۴ فام‌تن، ۲۸ فام‌تن دارد و بنابراین چارلاد (تتراپلوئید) ($4n$) است. گامت‌هایی که گیاه چارلاد ایجاد می‌کند، دولاد ($2n$) اند نه تک لاد (n).

اگر گامت‌های این گیاه با گامت‌های گیاهان طبیعی، که تک لادند، آمیزش کنند تخم‌های حاصل سه لاد (تریپلوئید) ($3n$) خواهند شد. گیاه سه لاد حاصل از نمو این تخم، نازاست.

اما اگر گیاه چارلاد بتواند خودلقاحی انجام دهد، یا در نزدیکی آن گیاه چارلاد مشابه دیگری وجود داشته باشد، یاخته تخم $4n$ خواهد بود و گیاهی که از آن ایجاد می‌شود، قادر به میوز بوده، بنابراین زایاست. این گیاه، با جمعیت نیایی خود (که $2n$ بودند) نمی‌تواند آمیزش کند و بنابراین به گونهٔ جدیدی

www.mrzist.org

تعلق دارد که افراد آن ۴n هستند. شکل ۱۵ این سازوکار را برای گیاهی با ۶ فام‌تن نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ چگونگی تشکیل گیاه چارلاد از گیاه دولاد

بیشتر بدانید

مالاریا و گویچه‌های داسی شکل

با اینکه مقاومت افراد ناخالص (Hb^AHb^S) نسبت به مالاریا در دهه ۱۹۵۰ مشخص شد، اما چگونگی آن همچنان در حال بررسی است. دانشمندان در دهه ۱۹۷۰ دریافتند که سرعت داسی شکل شدنِ گویچه‌های قرمز، پس از ورود انگل مالاریا به آنها بین ۲ تا ۸ برابر افزایش می‌یابد. بر این اساس با مرتبط دانستن مقاومت افراد ناخالص با شکل داسی گویچه‌های قرمز، این فرضیه مطرح شد که «داسی شدن» به افزایش بیگانه‌خواری و در نتیجه ازبین رفتن انگل می‌انجامد.

در سال‌های بعد نیز فرضیه‌های دیگری با تأکید بر شکل «داسی» این یاخته‌ها ارائه شد. مانند این فرضیه که می‌گوید با داسی شدن گویچه‌ها، منافذی در غشا ایجاد می‌شود که نتیجه آن خروج مواد مغذی از یاخته و روبه‌رو شدن انگل با کمبود غذا است. بدین ترتیب رشد انگل کُند یا متوقف می‌شود.

در شرایطی که تصور می شد توضیحات قابل قبولی برای علت مقاومت به مالاریا وجود دارد، بررسی‌های بیشتر نشان داد که کندی رشد انگل مالاریا، در همه گویچه‌های قرمز در افراد ناخالص رخ می‌دهد و منحصر به گویچه‌های داسی‌شکل نیست.

در دهه ۲۰۱۰، فرضیه‌ای مبنی بر رناهای کوچکِ مکمل (فصل۲) ارائه شد که برمبنای آن، گویچه قرمز در افراد ناخالص رناهای کوچکی می‌سازد که به رنای انگل متصل و مانع از ترجمه آن می‌شوند و در نتیجه در فرایند رشد انگل اختلال به‌وجود می‌آید.

در همین دهه با نگاهی متفاوت، فرضیه ای براساس سازوکار بیماری‌زایی مالاریا در افراد Hb^AHb^A ارائه شد. در این افراد، که گویچه‌های قرمز طبیعی دارند، مالاریا باعث چسبیدن گویچه‌ها به همدیگر و یا به دیوارهٔ رگ‌ها می‌شود که از نتایج آن آسیب بافتی و التهاب گسترده در رگ‌ها است. اما علت چسبندگی آنها چیست؟ انگل مالاریا در گویچه قرمز، پروتئینی می‌سازد که در غشای گویچه قرار می‌گیرد و باعث چسبندگی آنها می‌شود. در افراد ناخالص از واکنش اکسیژن با هموگلوبین جهش یافته، ماده‌ای تولید می شود که تلاش انگل را در فرستادن این پروتئین به سطح یاخته، بی‌ثمر می‌سازد. در نتیجه گویچه‌های قرمز، چسبنده نمی‌شوند و بیمار جان سالم به‌در می‌برد.

ارائه فرضیه‌های جدید همچنان ادامه دارد. شواهد جدید ممکن است فرضیه های قبل را تضعیف یا تقویت کند. باید منتظر بود تا قطعات بیشتری از این جورچین کشف شود. این ماهیت علم و نشانی از پویا بودن آن است. با بیشتر شدن دانش، پرسش‌های ما نیز بیشتر می شوند. پرسش‌های بیشتر، زمینه‌های اکتشاف بیشتری فراهم می‌کند. شاید کشف بعدی را «شما» انجام دهید.

www.mrzist.org

فصل ۵

از ماده به انرژی

اکنون که در حال مطالعه این درس هستید، یاخته‌های بدنتان انرژی مصرف می‌کنند. این انرژی از کجا و چگونه تأمین می‌شود؟

چرا ورزش و فعالیت‌های بدنی شدید، سبب می‌شوند تا احساس گرما کنیم و مقداری آب به شکل عرق از دست بدهیم؟

با همه تفاوت‌هایی که بین ما و زرافه‌ای که در تصویر می‌بینید، وجود دارد؛ انرژی مورد نیاز ما به شیوهٔ یکسانی از غذایی که می‌خوریم تأمین می‌شود. در این فصل به فرایندهای آزاد شدن انرژی از مادهٔ مغذی در یاخته‌ها می‌پردازیم.

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همه آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

گفتار ۱ تأمین انرژی

تنفس یاخته‌ای

به یاد دارید چرا به اکسیژن نیاز داریم؟ در کتاب زیست‌شناسی ۱، آموختید که نیاز ما به اکسیژن به علت انجام فرایندی به نام تنفس یاخته‌ای است؛ زیرا در این فرایند ATP تولید می‌شود؛ مثلاً انرژی ذخیره شده در گلوکز در تنفس یاخته‌ای، برای تشکیل مولکول ATP به کار می‌رود (واکنش ۱).

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + ADP + P(\text{فسفات}) \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

واکنش ۱ــ تنفس یاخته‌ای

این واکنش **تنفس یاخته‌ای هوازی**[1] را نشان می‌دهد؛ زیرا تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP با حضور اکسیژن انجام می‌شود. تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP بدون نیاز به اکسیژن نیز انجام می‌شود که در گفتار ۳ به آن می‌پردازیم.

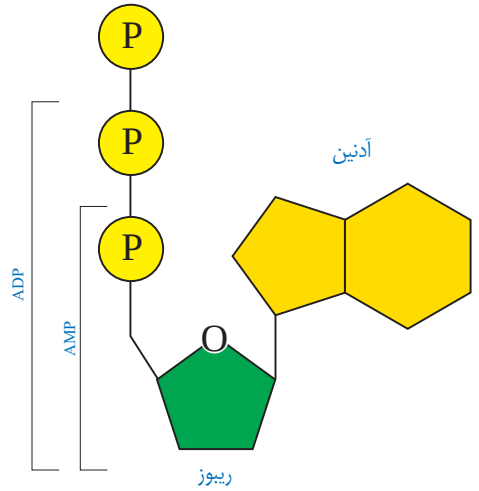
واژه‌شناسی

راکیزه (میتوکندری / mitochondrion)
راکیزه، اندامکی کروی یا میله‌ای شکل در یاخته‌های یوکاریوتی و عهده‌دار تنفس هوازی و تولید انرژی است. «راکیزه» از دو جزء «راک» به معنی رشته و نخ (در برابر «میتو» یونانی به همین معنی) و پسوند تصغیر و شباهت «ـ ایزه» ساخته شده است.

ATP مولکول پرانرژی

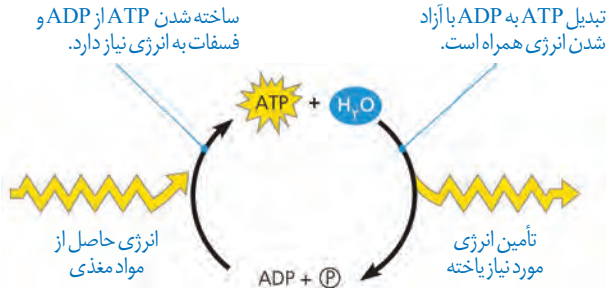
هیچ جانداری نمی‌تواند بدون انرژی زنده بماند، رشد و فعالیت کند. حفظ هریک از ویژگی‌های جانداران مانند رشد و نمو و تولید مثل به در اختیار داشتن ATP وابسته است.

ATP یا **آدنوزین تری فسفات**، شکل رایج و قابل استفادهٔ انرژی در یاخته‌ها است. این نوکلئوتید از باز آلی آدنین، قند پنج کربنی ریبوز (که با هم آدنوزین نامیده می‌شوند) و سه گروه فسفات تشکیل شده است. افزوده شدن فسفات به آدنوزین در سه مرحله روی می‌دهد. در نتیجه در ابتدا AMP (آدنوزین مونو فسفات)، سپس ADP (آدنوزین دی فسفات) و در نهایت ATP (آدنوزین تری فسفات) تشکیل می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ــ ساخته شدن ATP

در شکل ۲ تبدیل ATP و ADP را به یکدیگر می‌بینید. تشکیل ATP از ADP، با مصرف انرژی و تبدیل آن به ADP همراه با آزاد شدن انرژی است.



شکل ۲ــ تبدیل ADP و ATP به یکدیگر

روش‌های ساخته شدن ATP: دیدیم که برای ساخته شدن ATP به فسفات نیاز هست. یکی از روش‌های ساخته شدنِ ATP برداشته شدن گروه فسفات از یک ترکیب فسفات‌دار (پیش‌ماده) و

۱ــ Aerobic Cell Respiration

www.mrzist.org

افزودن آن به ADP است. به همین علت، این روش را **ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده** می‌نامند.

در کتاب «زیست‌شناسی ۲» با نمونه‌ای از ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده آشنا شده‌اید، آیا آن را به یاد دارید؟ در آنجا دانستید که ماهیچه‌ها برای انقباض به ATP نیاز دارند و یکی از راه‌های تأمین آن در ماهیچه‌ها، برداشتِ فسفات از مولکولِ کراتین فسفات و انتقال آن به ADP است (شکل ۳). در این مثال کراتین فسفات، پیش‌ماده‌ای است که فسفات آن برای ساخته شدن ATP به کار می‌رود.

شکل ۳ـ ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده

ساخته شدن اکسایشی و ساخته شدن نوری ATP، دو روش دیگرند. در **ساخته شدن اکسایشی**، ATP از یون فسفات و انرژی حاصل از انتقال الکترون‌ها در راکیزه ساخته می‌شود که در ادامهٔ این فصل با آن آشنا می‌شوید. روش دیگر ساخته شدن ATP، **ساخته شدن نوری** است که در سبزدیسه انجام می‌شود (فصل ۶).

بیشتر بدانید

ارتباط با شیمی

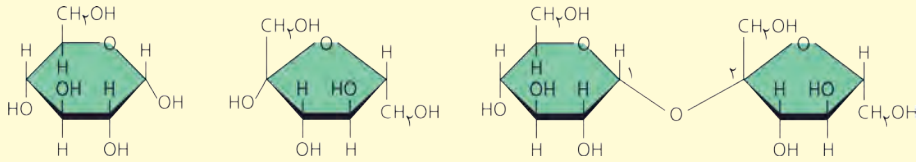
تعریف جامع و امروزی اکسایش و کاهش بر اساس داد و ستد الکترون است. از دست دادن الکترون به معنی اکسایش و گرفتن الکترون به معنی کاهش است.

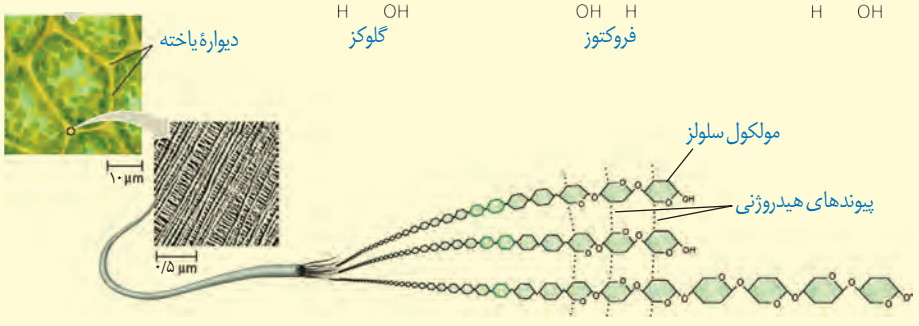
بیشتر بدانید

کربوهیدرات‌ها

کربوهیدرات‌ها دارای کربن، هیدروژن و اکسیژن‌اند. نقش انرژی‌زایی کربوهیدرات‌ها به‌خوبی شناخته شده است. این ترکیبات به علت داشتن پیوندهای هیدروژن ـ کربن، انرژی فراوانی در خود ذخیره و هنگام اکسایش آزاد می‌کنند.

در یک نوع تقسیم‌بندی، کربوهیدرات‌ها را در سه گروه مونوساکاریدها (مانندگلوکز و فروکتوز)، دی‌ساکاریدها (مانند ساکارز) و پلی‌ساکاریدها (مانند سلولز، نشاسته و گلیکوژن) قرار می‌دهند. قند و شکر از ساکارز تشکیل شده‌اند. این دی‌ساکارید از مونوساکاریدهای گلوکز و فروکتوز تشکیل شده است.





www.mrzist.org

زیستن با اکسیژن

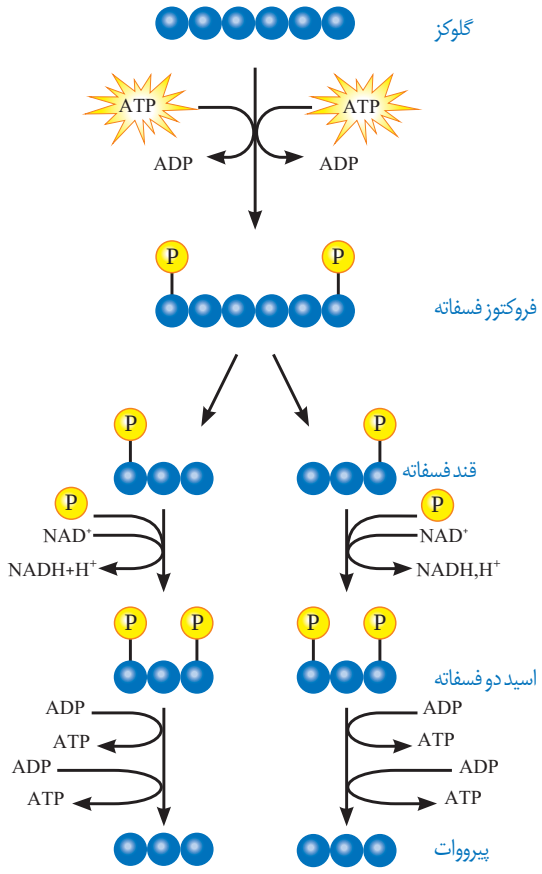
اغلب، واژه تنفس یاخته‌ای را برای تنفس یاخته‌ای هوازی به‌کار می‌برند. در اینجا ما نیز **تنفس یاخته‌ای** را به‌جای تنفس یاخته‌ای هوازی به‌کار می‌بریم.

قندکافت (گلیکولیز): اولین مرحلهٔ تنفس یاخته‌ای، قندکافت و به معنی تجزیهٔ گلوکز است که در مادهٔ زمینه سیتوپلاسم انجام می‌شود. تجزیه گلوکز در قندکافت، نه به‌صورت یک‌باره، بلکه به‌صورت مرحله‌ای انجام می‌شود (شکل ۴).

برای انجام واکنش‌های مربوط به تجزیه گلوکز انرژی فعال‌سازی نیاز هست. این انرژی از ATP تأمین می‌شود.

در شکل ۴ می‌بینید که از گلوکز و ATP، قند فروکتوز با دو فسفات ایجاد می‌شود. از تجزیه این قند، دو قند سه کربنیِ فسفاته به‌وجود می‌آید. هر یک از این قندها با گرفتن یک گروه فسفات به اسیدی سه‌کربنی تبدیل می‌شود. هر یک از این مولکول‌های سه کربنی در نهایت به پیرووات (بنیان پیرورویک اسید) تبدیل می‌شود. در این واکنش‌ها مولکول‌های ATP و NADH به‌وجود می‌آیند.

NADH حامل الکترون است، دو نوکلئوتید دارد و از NAD^+ به اضافه الکترون و پروتون تشکیل می‌شود. NAD^+ و NADH با گرفتن و از دست دادن الکترون و پروتون، به همدیگر تبدیل می‌شوند (واکنش ۲). NAD^+ با گرفتن الکترون کاهش و NADH با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابد.



شکل ۴ــ مراحل قندکافت

$$NAD^+ + ۲H^+ + ۲e^- \rightleftharpoons NADH + H^+$$

واکنش ۲ــ یک الکترون برای خنثی کردن NAD^+ به کار می‌رود. بنابراین محصول به صورت $NADH + H^+$ در واکنش نوشته می‌شود.

فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

همان‌طور که دیدید، در قندکافت ATP ساخته می‌شود. براساس روش‌هایی که دربارهٔ تولید ATP گفتیم، ساخته شدن ATP در قندکافت با کدام روش انجام می‌شود؟

www.mrzist.org

راکیزه مقصد پیرووات

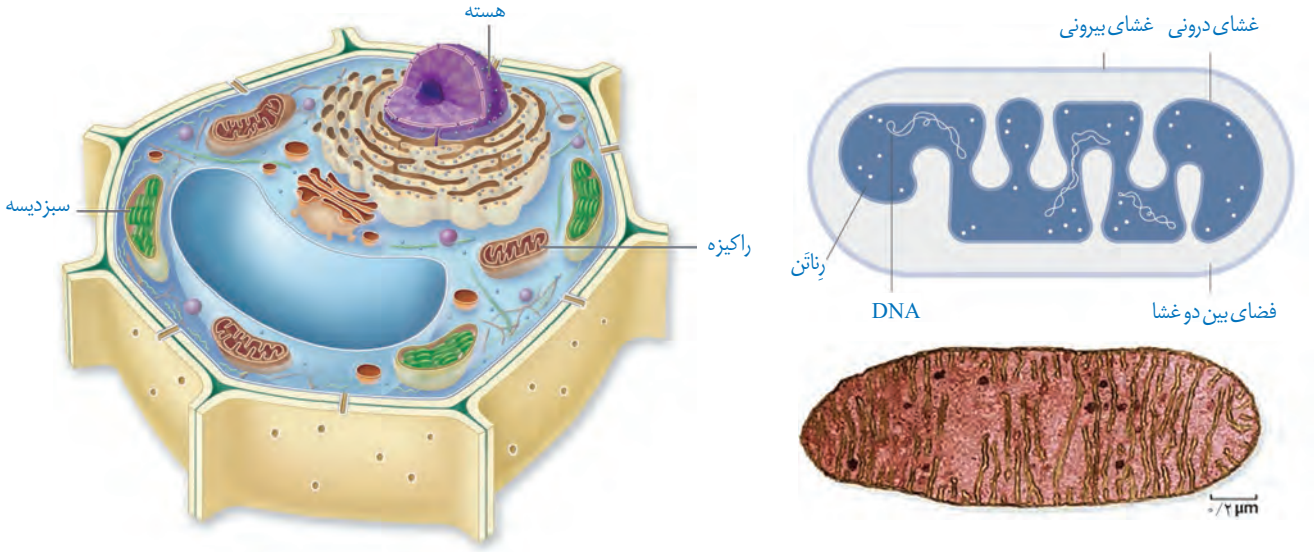
مرحلهٔ دیگر تنفس یاخته‌ای به اکسیژن نیاز دارد و در یوکاریوت‌ها در راکیزه انجام می‌شود.

راکیزه دو غشا دارد: غشای بیرونی صاف، و غشای درونی آن به داخل چین خورده است. درنتیجه، فضای درون آن به بخش داخلی و بخش بیرونی (فضای بین دو غشا) تقسیم می‌شود (شکل ۵).

راکیزه دنای مستقل از هسته و رِناتَن مخصوص به خود را دارد، بنابراین در آن پروتئین‌سازی انجام می‌شود. در دنای راکیزه، ژن‌های مورد نیاز برای ساخته شدنِ انواعی از پروتئین‌های مورد نیاز در تنفس یاخته‌ای وجود دارند.

راکیزه همراه با یاخته و نیز مستقل از آن تقسیم می‌شود. به‌نظر شما مستقل بودن تقسیم راکیزه از تقسیم یاخته چه اهمیتی دارد؟

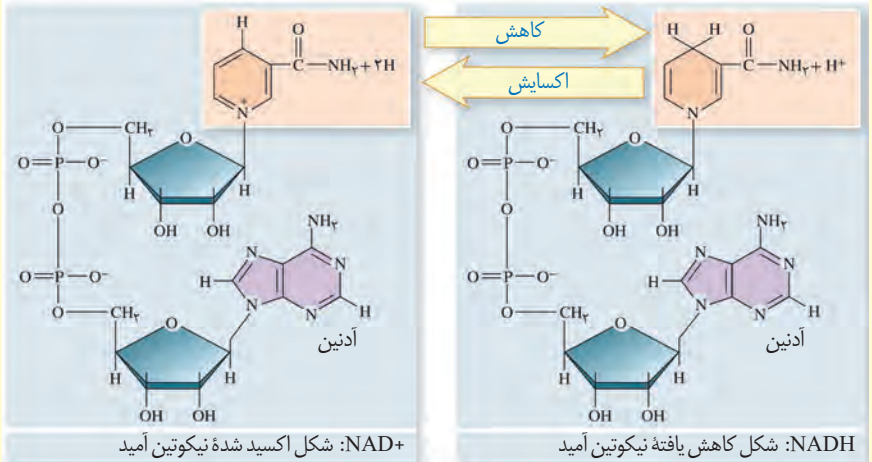
به هر حال راکیزه برای انجام نقش خود در تنفس یاخته‌ای به پروتئین‌هایی وابسته است که ژن‌های آنها در هسته قرار دارند و به‌وسیلهٔ رِناتَن‌های سیتوپلاسمی ساخته می‌شوند.



شکل ۵ـ راکیزه. الف) راکیزه و ترسیمی از آن — ب) راکیزه در یاخته گیاهی

بیشتر بدانید

تبدیل NAD^+ و NADH به یکدیگر

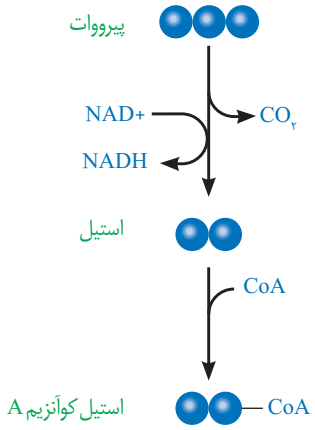


NADH: شکل کاهش یافتهٔ نیکوتین آمید — +NAD: شکل اکسید شدهٔ نیکوتین آمید

www.mrzist.org

اکسایش پیرووات: گفتیم که در انتهای قندکافت، پیرووات به‌وجود می‌آید. این مولکول از طریق انتقال فعال وارد راکیزه می‌شود و در آنجا اکسایش می‌یابد. پیرووات در راکیزه یک کربن دی‌اکسید از دست می‌دهد و به بنیان استیل تبدیل می‌شود. استیل با اتصال به مولکولی به‌نام کوآنزیم A، استیل کوآنزیم A را تشکیل می‌دهد. در این واکنش NADH نیز به‌وجود می‌آید (شکل ۶).

اکسایش استیل کوآنزیم A در چرخه‌ای از واکنش‌های آنزیمی، به‌نام **چرخهٔ کِربس**، در بخش داخلی راکیزه انجام می‌گیرد که در گفتار بعدی به آن می‌پردازیم.



شکل ۶ـ اکسایش پیرووات و تشکیل استیل کوآنزیم A

بیشتر بدانید

دانشمند موفق

هانس آدولف کِربس فیزیک‌دان و زیست‌شیمی‌دان آلمانیِ متولد بریتانیا (۱۹۸۱-۱۹۰۰) بسیاری از مراحل اکسایش پیرووات را کشف و معرفی کرد. به همین علت این چرخه، چرخهٔ کربس نامیده شد. او در سال ۱۹۵۳ به همراه دانشمندی دیگر، موفق به دریافت جایزه نوبل در زمینه کار اندام‌شناسی (فیزیولوژی) و پزشکی شد.

از نظر کربس دانشمند موفق، فردی است که مهارت‌های فنی و علمی لازم را برای کسب موفقیت‌های بیشتر با استفاده از امکانات موجود داشته باشد. همچنین، در راه رسیدن به هدف، سختی‌ها را تحمل کند و نتایج پژوهش را به روشنی ارائه دهد.

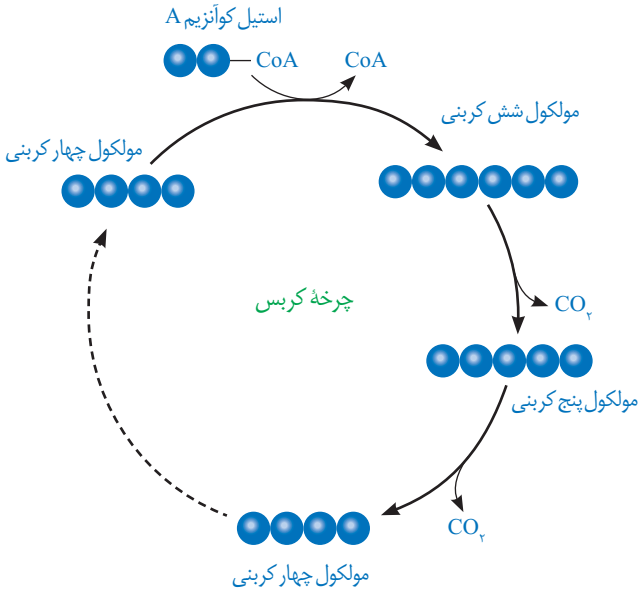
www.mrzist.org

گفتار ۲ اکسایش بیشتر

مولکول گلوکز در تنفس هوازی باید تا حد تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه شود. بخشی از تجزیه گلوکز در قندکافت و اکسایش پیروات و بخش دیگر آن در چرخهٔ کربس انجام می‌شود.

چرخه کربس

شکل ۷ ترسیم ساده‌ای از وقایع کلی چرخهٔ کربس را نشان می‌دهد. در این چرخه، ضمن ترکیب استیل کوآنزیم A با مولکولی چهارکربنی، کوآنزیم A جدا و مولکولی شش‌کربنی، ایجاد می‌شود.پس از آن در طی واکنش‌های متفاوتی که در چرخهٔ کربس رخ می‌دهد، دو اتم کربن به‌صورت CO_2 آزاد و مولکول چهار کربنی برای گرفتن استیل کوآنزیم دیگر، بازسازی می‌شود.



شکل ۷ــ طرح ساده ای از چرخهٔ کربس

از اکسایش هر مولکول شش کربنی در واکنش‌های چرخه کربس، مولکول‌های NADH، $FADH_2$[1] و ATP در محل‌های متفاوتی از چرخه تشکیل می‌شوند.

$FADH_2$ ترکیبی نوکلئوتیددار و همانند NADH حامل الکترون است. $FADH_2$ از FADساخته می‌شود (واکنش ۳).

واکنش ۳)
$$FAD + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons FADH_2$$

به این ترتیب با انجام قندکافت، اکسایش پیروات و چرخهٔ کربس، مولکول گلوکز تا تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه می‌شود. انرژی حاصل از تجزیهٔ گلوکز صرف ساخته شدنِ ATP و مولکول‌های حامل الکترون (NADH و $FADH_2$) می‌شود.

تشکیل ATP بیشتر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای ATP به‌وجود می‌آید. جالب است بدانیم که مولکول‌های NADH و $FADH_2$ نیز برای تولید ATP مصرف می‌شوند. چگونه انرژی مولکول‌های حامل الکترون برای تولید ATP به‌کار می‌رود؟

همچنین براساس رابطهٔ کلی تنفس یاخته‌ای می‌دانیم که در این فرایند آب نیز تشکیل می‌شود. آب چگونه در این فرایند تولید می‌شود ؟ پاسخ این پرسش‌ها در **زنجیرهٔ انتقال الکترون** در غشای درونی راکیزه نهفته است.

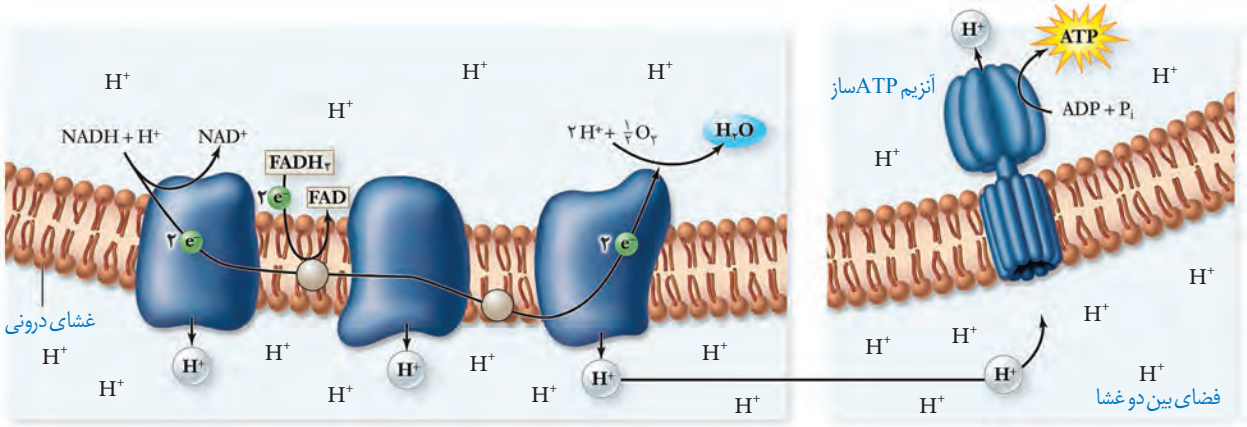
۱- Flavin Adenine Dinucleotide

www.mrzist.org

زنجیره انتقال الکترون

این زنجیره از مولکول‌هایی تشکیل شده است که در غشای درونی راکیزه قرار دارند و می‌توانند الکترون بگیرند یا از دست دهند.

در این زنجیره می‌بینید که الکترون‌ها در نهایت به اکسیژن مولکولی می‌رسند. اکسیژن با گرفتن الکترون به یون اکسید (اتم اکسیژن با دو بار منفی) تبدیل می‌شود.



شکل ۸ــ زنجیره انتقال الکترون در راکیزه و تشکیل ATP

یون‌های اکسید در ترکیب با پروتون‌هایی که در بخش داخلی قرار دارند، مولکول‌های آب را تشکیل می‌دهند (واکنش ۴).

واکنش ۴- تشکیل آب

$$\frac{1}{2}O_2 + 2e \rightarrow O^{2-} \qquad O^{2-} + 2H^+ + \rightarrow H_2O$$

اگر به شکل ۸ توجه کنید، می‌بینید که پروتون‌ها (یون‌های H^+) در سه محل از زنجیرهٔ انتقال الکترون از بخش داخلی به فضای بین دو غشا پمپ می‌شوند. انرژی لازم برای انتقال پروتون‌ها از الکترون‌های پرانرژی NADH و $FADH_2$ فراهم می‌شود.

انتظار دارید ادامه ورود پروتون‌ها به فضای بین دو غشا چه نتیجه‌ای در پی داشته باشد؟

با ورود پروتون‌ها از بخش داخلی به فضای بین دو غشا، تراکم آنها در این فضا، نسبت به بخش داخلی افزایش می‌یابد. پروتون‌ها براساس شیب غلظت، تمایل دارند که به سمت بخش داخلی برگردند، اما تنها راه پیش‌روی پروتون‌ها برای برگشتن به این بخش، مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATP‌ساز** است. پروتون‌ها از کانالی که در این مجموعه قرار دارد، می‌گذرند و انرژی موردنیاز برای تشکیل ATP از ADP و گروه فسفات فراهم می‌شود.

فعّالیت ۲

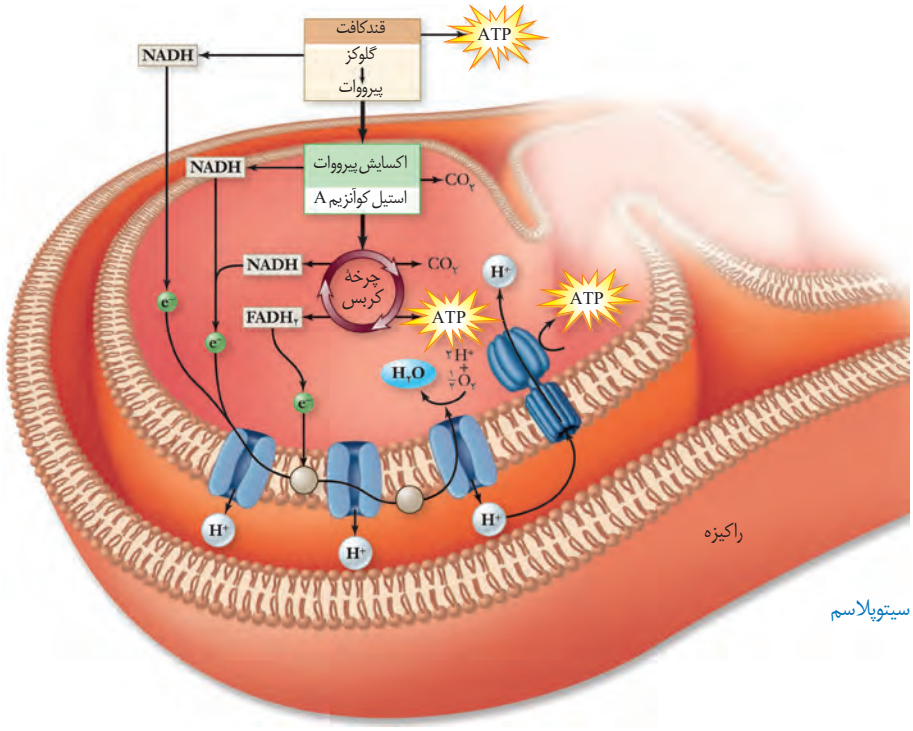
الف) توضیح دهید چرا ساخته شدن ATP در زنجیرهٔ انتقال الکترون، از نوع ساخته شدن اکسایشی ATP است؟

ب) با توجه به نقش غشای درونی راکیزه در تنفس یاخته‌ای، چین خورده بودن آن چه ارزشی برای یاخته دارد؟

www.mrzist.org

مروری بر تنفس یاخته‌ای

خلاصه‌ای از تنفس یاخته‌ای را در شکل ۹ مشاهده می‌کنید. همان‌طور که می‌بینید در فرایند قندکافت از گلوکز پیرووات ایجاد می‌شود. پیرووات به راکیزه می‌رود و در آنجا به استیل کوآنزیم A اکسایش می‌یابد. استیل کوآنزیم A وارد چرخهٔ کربس می‌شود. در تنفس یاخته‌ای مولکول‌های کربن‌دی‌اکسید، ATP، NADH، $FADH_2$ و آب تولید می‌شوند.



شکل ۹ـ خلاصه‌ای از تنفس هوازی

بیشتر بدانید

ویتامین‌های B و تنفس یاخته‌ای

شاید شنیده باشید که ویتامین‌های گروه B برای سلامت مغز و اعصاب ضروری‌اند. یکی از دلایل آن عملکرد انواعی از ویتامین‌های B به عنوان کوآنزیم در واکنش‌های مربوط به تنفس یاخته‌ای است. مثلاً تشکیل استیل کوآنزیم A وابسته به حضور ویتامین B_1 (تیامین) است. جالب است که مغز حدود دو درصد از وزن بدن را تشکیل می‌دهد، اما بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی در بدن را استفاده می‌کند. بنابراین تغذیه نامناسب می‌تواند بر کارکرد درست مغز از طریق تأثیر بر میزان ATP تولید شده، اثر منفی بگذارد. ویتامین B_2 (ریبوفلاوین) ویتامین B_3 (نیاسین) نیز در تنفس یاخته‌ای نقش کوآنزیمی دارند.

فعّالیت ۳

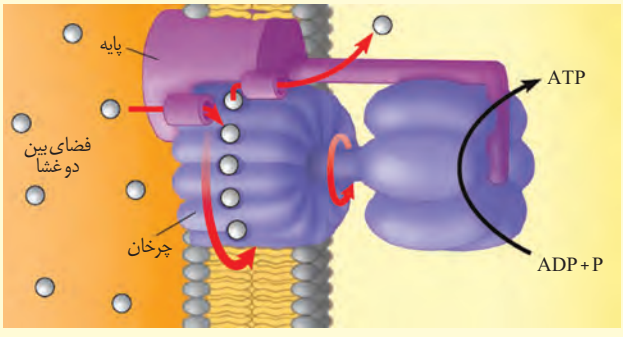
ارائه دهید

با استفاده از شکل ۹، به‌طور گروهی طرحی تصویری و نوشتاری از تنفس یاخته‌ای تولید و سعی کنید حداقل واژه‌ها را به‌کاربرید. هر گروه طرح خود را در کلاس ارائه دهد. این طرح را می‌توانید با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، نقاشی و به‌صورت‌های متفاوت تولید کنید.

بیشتر بدانید

موتورچرخنده

آنزیم ATPساز درواقع مجموعه‌ای پروتئینی است که مانند یک موتورچرخنده عمل می‌کند. این موتور دارای پایه، قسمت چرخان و سر است. کانالی که پروتون‌ها می‌توانند از آن عبور کنند، در پایه قرار دارد و از دو نیمه تشکیل شده است. دونیمهٔ کانال رو به روی هم قرار ندارند. پروتون وارد یک نیمه کانال می‌شود و سپس از یک زیر واحد به زیر واحدی دیگر از بخش چرخنده متصل و به نیمهٔ دیگر کانال منتقل و باعث چرخشِ چرخنده می‌شود. این چرخش به سر، منتقل و سبب می‌شود که سر در وضعیت مناسب برای ساختن ATP قرارگیرد.



www.mrzist.org

تنظیم تنفس یاخته‌ای: تولیدی اقتصادی

اندازه‌گیری‌های واقعی در شرایط بهینه آزمایشگاهی نشان می‌دهند که مقدار ATP تولید شده در ازای تجزیهٔ کامل گلوکز در بهترین شرایط در یاخته یوکاریوت، حداکثر ۳۰ ATP است. باید توجه داشت که تولید ATP در یاخته‌های متفاوت و متناسب با نیاز بدن فرق می‌کند. به نظر شما اگر مقدار ATP در یاخته زیاد باشد، واکنش‌های قندکافت و چرخهٔ کربس، به‌همان میزانی انجام می‌شوند که در شرایط کمبود ATP است؟ مشخص شده که تولید ATP تحت کنترل میزان ATP و ADP است. اگر ATP زیاد باشد، آنزیم‌های درگیر در قندکافت و چرخهٔ کربس مهار می‌شوند تا تولید ATP کم شود. در صورتی که مقدار ATP کم و ADP زیاد باشد، این آنزیم‌ها فعال و تولید ATP افزایش می‌یابد. این تنظیم مانع از هدر رفتن منابع می‌شود.

یاخته‌های بدن ما به‌طور معمول از گلوکز و ذخیرهٔ قندی کبد برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند. درصورتی که این منابع کافی نباشند، آنها برای تولید ATP به سراغ تجزیهٔ چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌روند. به همین علت تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه‌های اسکلتی و سیستم ایمنی از عوارض سوء تغذیه و فقر غذایی شدید و طولانی‌مدت در افرادی است که رژیم غذایی نامناسب دارند یا اینکه به دلایل متفاوت غذای کافی دراختیار ندارند.

بیشتر بدانید

انرژی در دسترس

مقدار انرژی آزاد شده از اکسایش گلوکز در آزمایشگاه در شرایط استاندارد ۶۸۶ Kcal/mol است. اگر در تنفس یاخته‌ای از یک مولکول گلوکز ۳۰ ATP تولید شود، با توجه به اینکه هر ATP حدود ۷٫۳ Kcal/mol انرژی دارد، بنابراین بازده فرایند تنفس حدود ۳۲ درصد خواهد بود که بسیار بیشتر از دستگاه‌های ساخت بشر است که در آنها تبدیل انرژی صورت می‌گیرد.

بیشتر بدانید

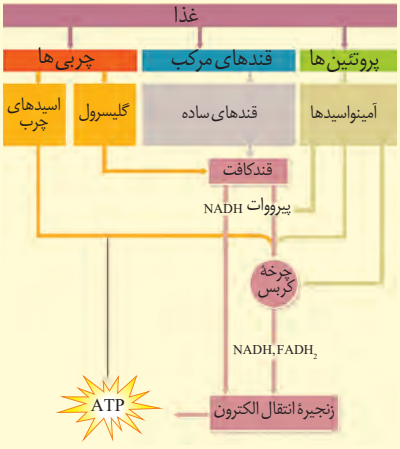
ATP بیشتر

باکتری‌ها راکیزه ندارند؛ درنتیجه قندکافت و چرخهٔ کربس در سیتوپلاسم باکتری‌های هوازی انجام می‌شوند. بنابراین به ازای اکسایش هر مولکول گلوکز در تنفس یاخته‌ای در باکتری‌ها تا ۳۲ ATP ممکن است تولید شود.

بیشتر بدانید

اگر کربوهیدرات‌ها کافی نباشند

پروتئین‌ها و چربی‌ها نیز برای تأمین انرژی به کار می‌روند. چربی‌ها به اسیدهای چرب و گلیسرول تجزیه می‌شوند. پروتئین‌ها نیز به آمینواسیدها تجزیه می‌شوند و در مراحل متفاوت تنفس هوازی به کار می‌روند.



فعّالیت ۴

گفت‌وگو کنید

شاید دیده باشید که در دانه‌های خشک و بدون آب مانند نخود و لوبیا، حشرات و لارو آنها رشد ونمو می‌کند. با توجه به اینکه این دانه‌ها خشک‌اند و تقریباً آبی ندارند، آب مورد نیاز این جانوران چگونه تأمین می‌شود؟

www.mrzist.org

گفتار ۳ زیستن مستقل از اکسیژن

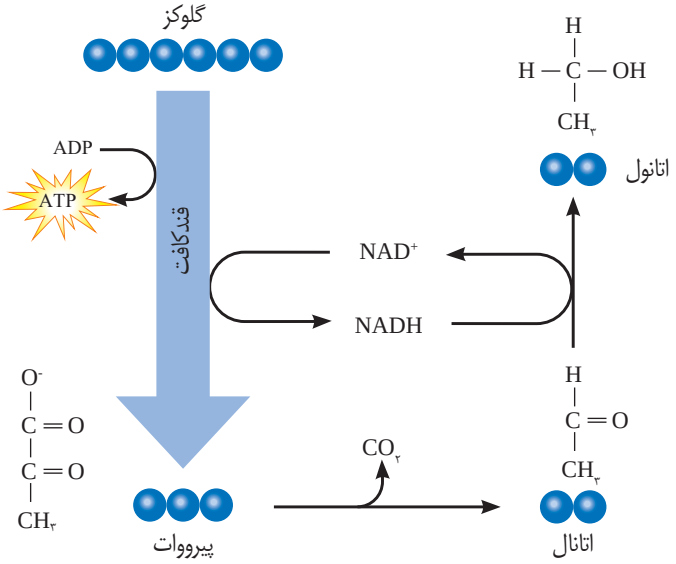
تخمیر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای، اکسیژن گیرندهٔ نهایی الکترون است. آیا تجزیهٔ گلوکز و تأمین انرژی، همیشه وابسته به حضور اکسیژن است؟ آیا در محیط‌هایی که اکسیژن ندارند یا اکسیژن اندکی دارند، حیات وجود ندارد؟ در این صورت ATP مورد نیاز چگونه تأمین می‌شود؟

تخمیر از روش‌های تأمین انرژی در شرایط کمبود یا نبود اکسیژن است که در انواعی از جانداران رخ می‌دهد. در فرایند تخمیر، راکیزه و در نتیجه زنجیره انتقال الکترون نقشی ندارند. **تخمیر الکلی** و **تخمیر لاکتیکی** انواعی از تخمیرند که در صنایع متفاوت از آنها بهره می‌بریم.

تخمیر الکلی و لاکتیکی مانند تنفس هوازی با قندکافت آغاز می‌شوند و پیرووات ایجاد می‌کنند؛ در قندکافت دیدیم که تشکیل پیرووات از قند فسفاته همراه با ایجاد NADH از NAD^+ است؛ بنابراین برای تداوم قندکافت، NAD^+ ضروری است و اگر نباشد قندکافت متوقف می‌شود و در نتیجه تخمیر انجام نمی‌شود. در تخمیر، مولکول‌هایی ایجاد می‌شوند که در فرایند تشکیل آنها NAD^+ به وجود می‌آید. در ادامه با این دو نوع تخمیر بیشتر آشنا می‌شویم.

تخمیر الکلی: ورآمدن خمیر نان به علت انجام تخمیر الکلی است. شکل ۱۰ طرح ساده‌ای از مراحل این نوع تخمیر را نشان می‌دهد. در این فرایند، پیرووات حاصل از قندکافت با از دست دادن CO_2، به اتانال تبدیل می‌شود. اتانال با گرفتن الکترون‌های NADH اتانول ایجاد می‌کند.



شکل ۱۰ــ تخمیر الکلی

بیشتر بدانید

تخمیر الکلی در پخت نان

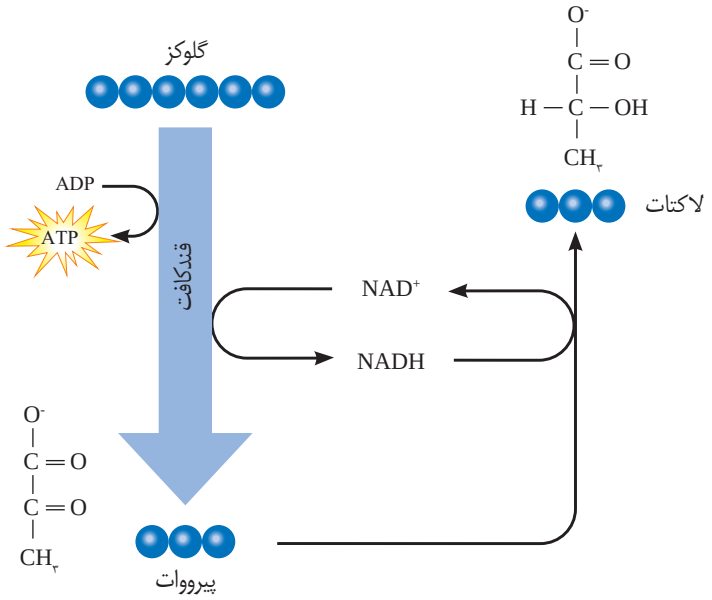
Saccharomyces cervisiae قارچی تک یاخته‌ای است که نشاسته را تجزیه می‌کند. در فرایند تولید نان، این قارچ به خمیر اضافه و خمیر در شرایط مناسب نگه‌داری می‌شود. CO_2 حاصل از تخمیر الکلی در خمیر حباب‌هایی ایجاد می‌کند که سبب **ورآمدن** یا **رسیدن خمیر** و در نتیجه تردی‌نان می‌شود. اتانول تولید شده در خمیر بر اثر حرارت، تبخیر می‌شود. قارچ، راکیزه دارد، اما می‌تواند به‌روش تخمیر انرژی مورد نیاز خود را تأمین کند.

طرح پرسش از فرمول ساختاری مواد شیمیایی در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

تخمیر لاکتیکی: در سال گذشته خواندید، ماهیچه‌های اسکلتی برای تجزیه کامل گلوکز به اکسیژن نیاز دارند و اگر اکسیژن کافی نباشد، لاکتات در ماهیچه‌ها تجمع می‌یابد. اما لاکتات با چه سازوکاری ایجاد می‌شود؟

فعالیت شدید ماهیچه‌ها به اکسیژن فراوان نیاز دارد. اگر اکسیژن کافی نباشد، پیرووات حاصل از قندکافت وارد راکیزه‌ها نمی‌شود، بلکه با گرفتن الکترون‌های NADH به لاکتات تبدیل می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ــ تخمیر لاکتیکی. علت ترش شدن شیر، لاکتیک اسید است.

انواعی از باکتری‌ها تخمیر لاکتیکی را انجام می‌دهند. بعضی از این باکتری‌ها، مانند آنچه در ترش شدن شیر رخ می‌دهد، سبب فساد غذا می‌شوند؛ اما انواعی از آنها در تولید فراورده‌های غذایی به‌کار می‌روند. تخمیر لاکتیکی در تولید فراورده‌های شیری و خوراکی‌هایی مانند خیارشور نقش دارد.

تخمیر در گیاهان: گیاهانی که به طور طبیعی در شرایط غرقابی رشد می‌کنند، سازوکارهایی برای تأمین اکسیژن مورد نیاز دارند. تشکیل بافت پارانشیمی (نرم‌آکنه‌ای) هوادار در گیاهان آبزی و شُش‌ریشه در درخت حَرَا از سازوکارهایی است که قبلاً با آن آشنا شده‌اید.

به هر حال، اگر اکسیژن به هر علتی در محیط نباشد یا کم باشد، تخمیر انجام می‌شود. هر دو نوع تخمیر الکلی و لاکتیکی در گیاهان وجود دارد. توجه داشته باشید که تجمع الکل یا لاکتیک اسید در یاخته گیاهی به مرگ آن می‌انجامد، بنابراین باید از یاخته‌ها دور شوند.

طرح پرسش از فرمول ساختاری مواد شیمیایی در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

سلامت بدن: پاداکسنده‌ها

در درس شیمی آموختید رادیکال‌های آزاد به علت داشتن الکترون‌های جفت نشده در ساختار خود، واکنش‌پذیری بالایی دارند و می‌توانند در واکنش با مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ بافت‌های بدن، به آنها آسیب برسانند. امکان تشکیل رادیکال آزاد از اکسیژن در فرایند تنفس هوازی، وجود دارد. اما چگونه؟

دیدیم اکسیژن با پذیرش الکترون در پایان زنجیرهٔ انتقال الکترون، به یون اکسید (O^{2-}) تبدیل می‌شود. یون‌های اکسید با یون‌های هیدروژن (H^+) ترکیب می‌شوند و در نتیجه مولکول آب به‌وجود می‌آید اما گاه پیش می‌آید که درصدی از اکسیژن‌ها وارد واکنش تشکیل آب نمی‌شوند، بلکه به‌صورت رادیکال آزاد در می‌آیند. رادیکال‌های آزاد از عوامل ایجاد سرطان‌اند.

راکیزه‌ها برای مقابله با اثر سمی رادیکال‌های آزاد، به ترکیبات پاداکسنده وابسته‌اند. بارها شنیده‌اید که خوردن میوه‌ها و سبزیجات در حفظ سلامت بدن نقش دارند. این موادغذایی دارای پاداکسنده‌هایی مانند کاروتنوئیدها هستند. پاداکسنده‌ها در واکنش با رادیکال‌های آزاد مانع از اثر تخریبی آنها بر مولکول‌های زیستی و درنتیجه تخریب بافت‌های بدن می‌شوند.

تجمع رادیکال‌های آزاد: آیا مبارزه با رادیکال‌های آزاد در راکیزه‌ها همیشه با موفقیت انجام می‌شود؟ اگر به هر علت سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از سرعت مبارزه با آنها بیشتر باشد، چه اتفاقی را پیش‌بینی می‌کنید؟

مشخص است که در چنین شرایطی، رادیکال‌های آزاد در راکیزه تجمع می‌یابند و آن را تخریب می‌کنند؛ در نتیجه، یاخته هم تخریب می‌شود. رادیکال‌های آزاد برای جبران کمبود الکترونی خود به مولکول‌های سازندهٔ یاخته و اجزای آن، حمله می‌کنند و باعث تخریب آنها می‌شوند.

عوامل فراوانی می‌توانند، راکیزه را در مبارزه با رادیکال‌های آزاد با مشکل روبه‌رو کنند؛ مثلاً الکل و انواعی از نقص‌های ژنی در عملکرد راکیزه در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد مشکل ایجاد می‌کنند.

اثر الکل: مطالعات نشان می‌دهد که الکل سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از اکسیژن را افزایش می‌دهد و مانع از عملکرد راکیزه در جهت کاهش آنها می‌شود. رادیکال‌های آزاد با حمله به DNA راکیزه، سبب تخریب راکیزه و در نتیجه مرگ یاخته‌های کبدی و بافت مردگی (نکروز) کبد می‌شوند. به همین علت اختلال در کار کبد و ازکار افتادن آن از شایع‌ترین عوارض نوشیدن مشروبات الکلی است.

نقص ژنی: گاه نقص در ژن‌های مربوط به پروتئین‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون، به ساخته شدن پروتئین‌های معیوب می‌انجامد. راکیزه‌ای که این پروتئین‌های معیوب را داشته باشد در مبارزه با رادیکال‌های آزاد، عملکرد مناسبی ندارد.

بیشتر بدانید

تنفس یاخته‌ای بی هوازی

انواعی از باکتری‌ها وجود دارند که می‌توانند در محیط‌های بدون اکسیژن زندگی کنند. این جانداران انرژی موردنیاز خود را از طریق تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی به‌دست می‌آورند. گیرندهٔ نهایی الکترون در این باکتری‌ها اکسیژن نیست، بلکه ماده‌ای معدنی مانند سولفات است.

بیشتر بدانید

سلاح شیمیایی

دولت بعث عراق در جنگ هشت ساله علیه ایران بمب‌های شیمیایی دارای هیدروژن سیانید را به کار برد. هیدروژن سیانید با توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون در راکیزه سبب مرگ افراد با حالتی شبیه خفگی می‌شود.

دور کردن افراد از محل حادثه، استفاده از ماسک اکسیژن و تنفس مصنوعی از اقدامات مؤثر در نجات جان این افراد است.

www.mrzist.org

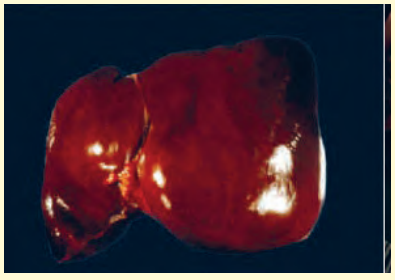
توقف انتقال الکترون: مواد سمی فراوانی وجود دارند که با مهار یک یا تعدادی از واکنش‌های تنفس هوازی، سبب توقف تنفس یاخته و مرگ می‌شوند. **سیانید** یکی از این ترکیب‌هاست که واکنش نهایی مربوط به انتقال الکترون‌ها به O_2 را مهار و در نتیجه باعث توقف زنجیره انتقال الکترون می‌شود.

از زیست‌شناسی سال دهم نیز به یاد دارید که گاز کربن‌مونواکسید با اتصال به هموگلوبین، مانع از اتصال اکسیژن به آن می‌شود و چون به آسانی از هموگلوبین جدا نمی‌شود، ظرفیت حمل اکسیژن در خون را کاهش می‌دهد. این عملکرد مونواکسیدکربن، در واقع در انجام تنفس یاخته‌ای اختلال ایجاد می‌کند. مونواکسید کربن به شکل دیگری نیز بر تنفس یاخته‌ای اثر می‌گذارد؛ این گاز سبب توقف واکنش مربوط به انتقال الکترون‌ها به اکسیژن می‌شود. دود خارج شده از خودروها و سیگار، از منابع دیگر تولید مونواکسیدکربن‌اند.

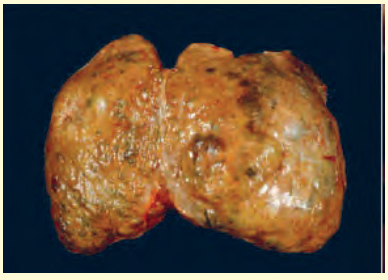
بیشتر بدانید

الکل و سرطان کبد

اثر منفی دیگر الکل بر کبد، به تجزیهٔ چربی‌ها در کبد مربوط می‌شود. سیروز کبدی از عوارض مصرف درازمدت الکل است. این وضعیت به علت اثر منفی الکل بر تجزیهٔ چربی‌ها ایجاد می‌شود. در این بیماری، چربی در یاخته‌های کبدی افراد الکلی تجمع می‌یابد. تجمع چربی مانع از عملکرد درست کبد می‌شود. سیروز کبدی احتمال ابتلا به سرطان کبد را افزایش می‌دهد.



کبد سالم



کبد سیروزی

www.mrzist.org

فصل ۶

از انرژی به ماده

دانستیم انرژی مورد نیاز ما برای انجام فعالیت‌های حیاتی، از مواد مغذی مانند گلوکز تأمین می‌شود. اکنون پرسش این است که منشأ انرژی ذخیره شده در ترکیباتی مانند گلوکز چیست؟ چه فرایند یا فرایندهایی در دنیای حیات وجود دارد که با ساختن ماده آلی، انرژی را در آنها ذخیره می‌کند؟ چه جاندارانی می‌توانند این فرایندها را انجام دهند و این جانداران چه ویژگی‌هایی دارند؟

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همه آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

www.mrzist.org

گفتار ۱ فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

می‌دانید گیاهان در فرایند فتوسنتز CO_2 را با استفاده از انرژی نور خورشید به ماده آلی تبدیل و اکسیژن نیز تولید می‌کنند (واکنش ۱). بر این اساس می‌توان میزان فتوسنتز را با تعیین میزان کربن دی‌اکسید مصرف شده و یا اکسیژن تولید شده، اندازه گرفت.

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

واکنش ۱ــ واکنش کلی فتوسنتز

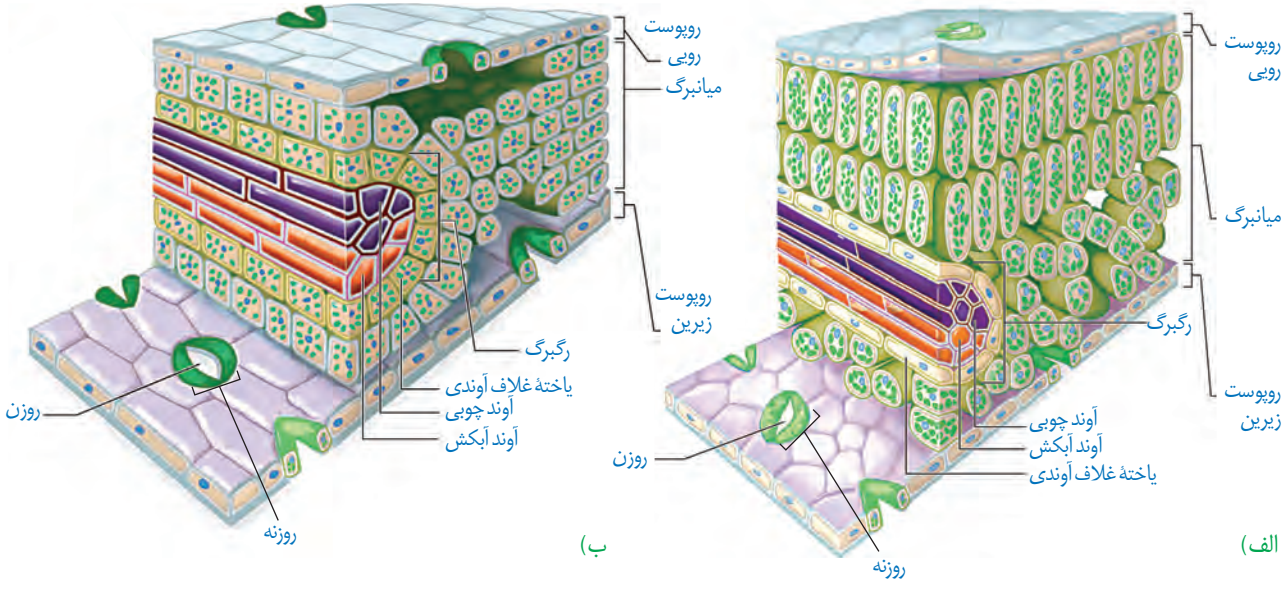
برای اینکه جانداری بتواند فتوسنتز انجام دهد، چه ویژگی هایی باید داشته باشد؟ یکی از این ویژگی‌ها داشتن مولکول‌های رنگیزه‌ای است که بتوانند انرژی نور خورشید را جذب کنند. همچنین، باید سامانه‌ای برای تبدیل این انرژی به انرژی شیمیایی وجود داشته باشد. انواعی از جانداران وجود دارند که فتوسنتز می‌کنند. در ادامه به بررسی این فرایند در گیاهان می‌پردازیم.

برگ ساختار تخصص یافته برای فتوسنتز

برگ که مناسب‌ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان است تعداد فراوانی سبزدیسه دارد. همان‌طور که می‌دانید، فتوسنتز در سبزدیسه‌ها انجام می‌شود.

برگ گیاهان دو لپه دارای پهنک و دمبرگ است. پهنک شامل **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی** (رگبرگ) است. روپوست **رویی** و **زیرین** به ترتیب در سطح رویی و زیرین پهنک برگ قرار دارند.

میانبرگ شامل یاخته‌های پارانشیمی است. در شکل ۱ـ الف میانبرگ از یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی تشکیل شده است. همان‌طور که در این شکل می‌بینید، یاخته‌های نرده‌ای بعد از روپوست



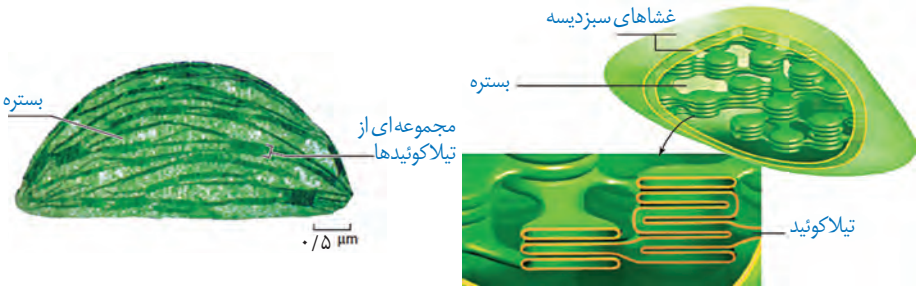
شکل ۱ــ ترسیمی از برگ
الف) نمونه‌ای گیاه دولپه
ب) نمونه‌ای گیاه تک‌لپه

www.mrzist.org

رویی قراردارند و به هم فشرده‌اند، در حالی که یاخته‌های اسفنجی به سمت روپوست زیرین قراردارند. میانبرگ در بعضی گیاهان از یاخته‌های اسفنجی تشکیل شده است (شکل ۱ـ ب).

سبزدیسه: سبزدیسه همانند راکیزه دارای غشای بیرونی و غشای درونی است که از هم فاصله دارند. فضای درون سبزدیسه با سامانه‌ای غشایی به نام **تیلاکوئید** به دو بخش فضای درون تیلاکوئید و **بستره** تقسیم شده است. تیلاکوئیدها ساختارهای غشایی و کیسه‌مانند و به هم متصل هستند (شکل ۲). بستره دارای دنا، رنا و رِناتَن است. بنابراین، سبزدیسه مانند راکیزه می‌تواند بعضی پروتئین‌های مورد نیاز خود را بسازد. سبزدیسه نیز می‌تواند به‌طور مستقل تقسیم شود.

شکل ۲ـ ساختار سبزدیسه



الف) ترسیمی

ب) تصویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی

بیشتر بدانید

گوناگونی شکل برگ‌ها

برگ ذرت، دمبرگ ندارد.

برگ مرکب از تعدادی برگچه تشکیل شده است، مانند برگ درخت گردو.

لبه برگ بعضی گیاهان کنگره دار است، مانند برگ درخت بلوط.

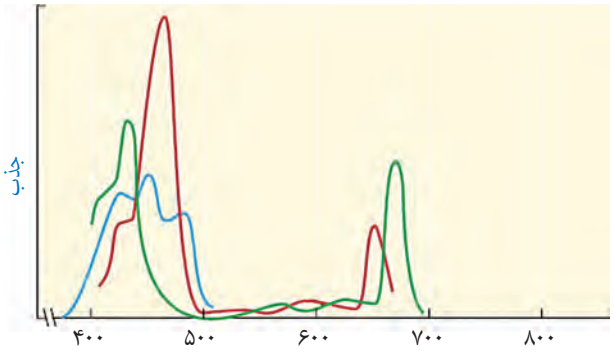
فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

سبزینه همان‌طور که از نامش پیداست، به رنگ سبز دیده می‌شود. با توجه به آنچه در سال گذشته درباره بینایی آموختید، توضیح دهید این رنگیزه چرا به رنگ سبز دیده می‌شود؟

رنگیزه‌های فتوسنتزی در غشای تیلاکوئید قرار دارند. افزون بر سبزینه که بیشترین رنگیزه در سبزدیسه‌هاست، کاروتنوئیدها نیز در غشای تیلاکوئید وجود دارند. وجود رنگیزه‌های متفاوت، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج های متفاوت نور افزایش می‌دهد.

در گیاهان سبزینه‌های a و b وجود دارند. بیشترین جذب هر دو نوع سبزینه در محدوده‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر (بنفش ـ آبی) و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (نارنجی ـ قرمز) است. گرچه حداکثر جذب آنها در هر یک از این محدوده‌ها با هم فرق می‌کند. کاروتنوئیدها به رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز دیده می‌شوند و بیشترین جذب آنها در بخش آبی و سبز نور مرئی است (شکل ۳).



شکل ۳ـ طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی. سبزینهٔ a (سبز)، سبزینهٔ b (قرمز) و کاروتنوئیدها (آبی)

www.mrzist.org

فتوسیستم: سامانه تبدیل انرژی

رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه‌هایی به‌نام **فتوسیستم ۱** و **۲** قرار دارند. هر فتوسیستم شامل **آنتن‌های گیرنده نور** و یک **مرکز واکنش** است. هر آنتن که از رنگیزه‌های متفاوت (کلروفیل ها و کاروتنوئیدها) و انواعی پروتئین ساخته شده است، انرژی نور را می‌گیرد و به مرکز واکنش منتقل می‌کند. مرکز واکنش، شامل مولکول های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند.

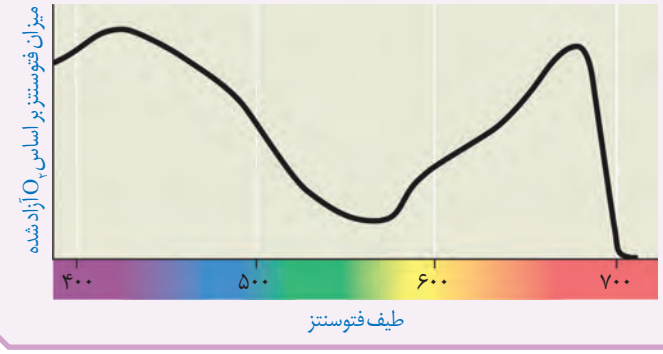
حداکثر جذب سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، در طول موج ۷۰۰ نانومتر و حداکثر جذب آن در فتوسیستم ۲، در طول موج ۶۸۰ نانومتر است. بر همین اساس، به سبزینه a در فتوسیستم ۱، P۷۰۰ و در فتوسیستم ۲، P۶۸۰ می‌گویند.

فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول‌هایی به نام **ناقل الکترون** به هم مرتبط می‌شوند. این مولکول ها می‌توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش).

فعّالیت ۲

ارائه دلیل

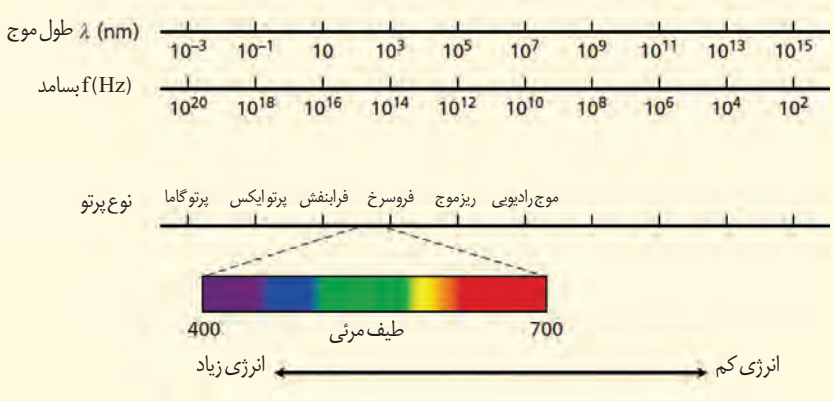
نمودار زیر میزان فتوسنتز یک گیاه را نشان می‌دهد. این نمودار را با نمودار شکل ۳ مقایسه کنید و نتایجی را که از آن به‌دست می‌آورید، بنویسید.



بیشتر بدانید

طیف الکترومغناطیس

بخش مرئی نور، بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس است. طیف الکترومغناطیس را در کتاب فیزیک ۳ مطالعه می‌کنید.



www.mrzist.org

فعّالیت ۳

گفت‌وگو کنید

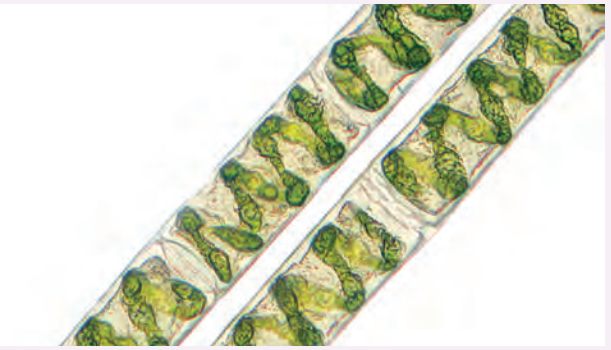
آیا همهٔ طول موج های نور مرئی به یک اندازه در فتوسنتز نقش دارند؟ می‌توان با استفاده از اسپیروژیر (جلبک سبز رشته‌ای)، نوعی باکتری هوازی، چشمه نور و منشور ــ برای تجزیه نور ــ آزمایشی را برای پاسخ به این پرسش انجام داد.

اسپیروژیر سبزدیسه‌های نواری و دراز دارد (شکل الف). اگر همهٔ طول موج‌های نور به یک اندازه در فتوسنتز مؤثر باشند، انتظار داریم که تراکم اکسیژن در اطراف جلبک رشته‌ای یکسان باشد.

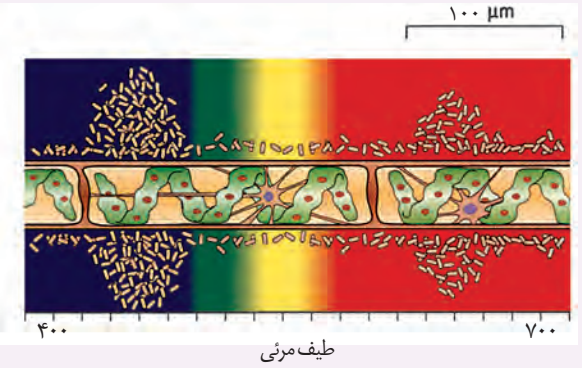
در آزمایشی که برای بررسی این فرض انجام شد، جلبک را روی سطحی ثابت کردند و درون لولهٔ آزمایشی شامل آب و باکتری های هوازی قرار دادند. لوله آزمایش در برابر نوری قرار گرفت که از منشور عبور کرده و به طیف‌های متفاوت تجزیه شده بود. بعد از گذشت مدتی، مشاهده شد که باکتری‌ها در بعضی قسمت‌ها تجمع یافته‌اند (شکل ب).

الف) چه توضیحی برای این مشاهده دارید؟ با چه آزمایشی می‌توانید درستی این توضیح را بررسی کنید؟

ب) آیا از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که سبزینه، رنگیزه اصلی در فتوسنتز است؟ پاسخ خود را توضیح دهید.



الف)اسپیروژیر

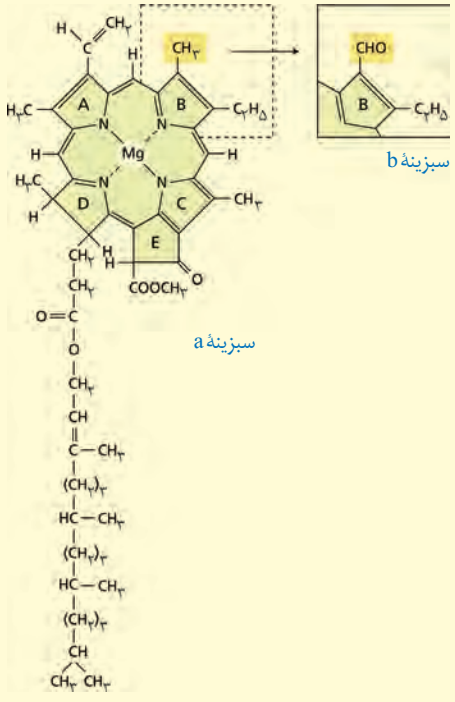


ب) ترسیمی از نتیجه آزمایش

بیشتر بدانید

ساختار سبزینه

مولکول سبزینه از دو بخش سر و دم تشکیل شده است. تفاوت سبزینه های a و b به اختلاف اندکی در بخش سر مربوط می‌شود. جالب است که ساختار بخش سر شبیه بخش هم در مولکول هموگلوبین است؛ با این تفاوت که به جای آهن، منیزیم دارد.



www.mrzist.org

گفتار ۲ واکنش‌های فتوسنتزی

واکنش‌های فتوسنتزی را در دو گروه واکنش‌های وابسته به نور و مستقل از نور قرار می‌دهند. در ادامه به معرفی این دو نوع واکنش می‌پردازیم.

واکنش‌های وابسته به نور: واکنش های تیلاکوئیدی

وقتی نور به مولکول‌های رنگیزه می‌تابد، الکترون انرژی می‌گیرد و ممکن است از مدار خود خارج شود. به چنین الکترونی، **الکترون برانگیخته** می‌گویند، زیرا پرانرژی و از مدار خود خارج شده است. الکترون برانگیخته ممکن است با انتقال انرژی به مولکول رنگیزه بعدی، به مدار خود برگردد یا از رنگیزه خارج و به‌وسیلهٔ رنگیزه یا مولکولی دیگر گرفته شود (شکل ۴).

در فتوسنتز، انرژی الکترون‌های برانگیخته در رنگیزه‌های موجود در آنتن‌ها از رنگیزه‌ای به رنگیزه دیگر منتقل و در نهایت، به مرکز واکنش می‌رود و در آنجا سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینهٔ a و خروج الکترون از آن می‌شود (شکل ۵).

الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۲ بعد از عبور از زنجیره انتقال الکترون به مرکز واکنش در فتوسیستم ۱ می‌رود. همچنین، الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۱در نهایت به مولکول $NADP^+$[۱] می‌رسد (شکل ۶).

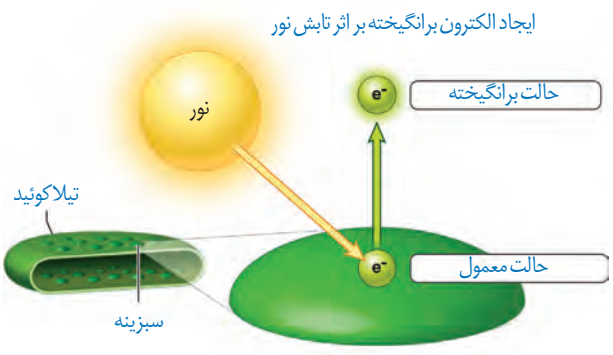
دو نوع زنجیرهٔ انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید وجود دارد. یک زنجیره بین فتوسیستم ۲ و فتوسیستم ۱ و دیگری بین فتوسیستم ۱ و $NADP^+$ قراردارد.

$NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می‌کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH تبدیل می‌شود (واکنش ۲).

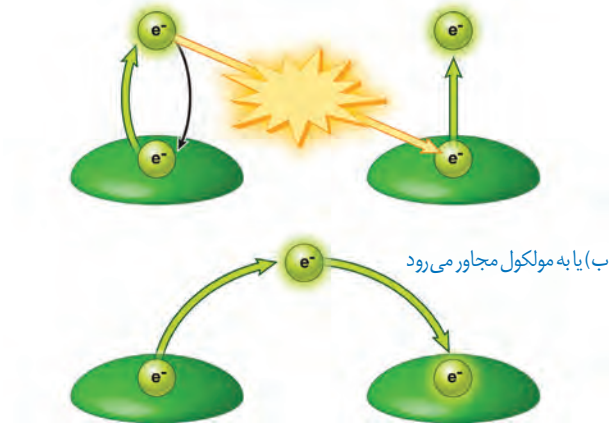
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH + H^+$$

واکنش ۲ــ تشکیل NADPH

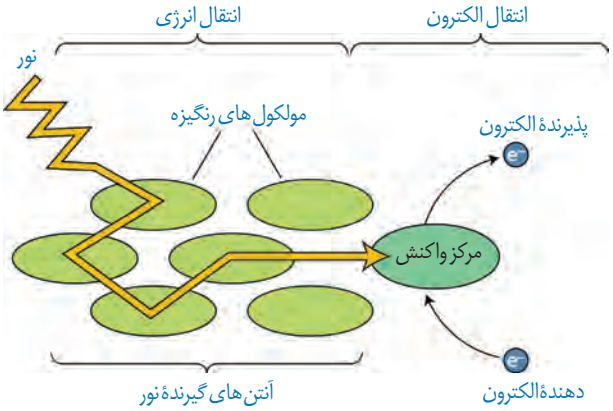
با توجه به شکل ۶ درمی‌یابیم الکترونی که از سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ می‌آید، کمبود الکترون سبزینه a در فتوسیستم ۱



الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گردد.



شکل ۴ــ ایجاد الکترون برانگیخته و سرانجام آن



شکل ۵ــ انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن

۱ــ Nicotinamid Adenine Dinucleotide Phosphate

www.mrzist.org

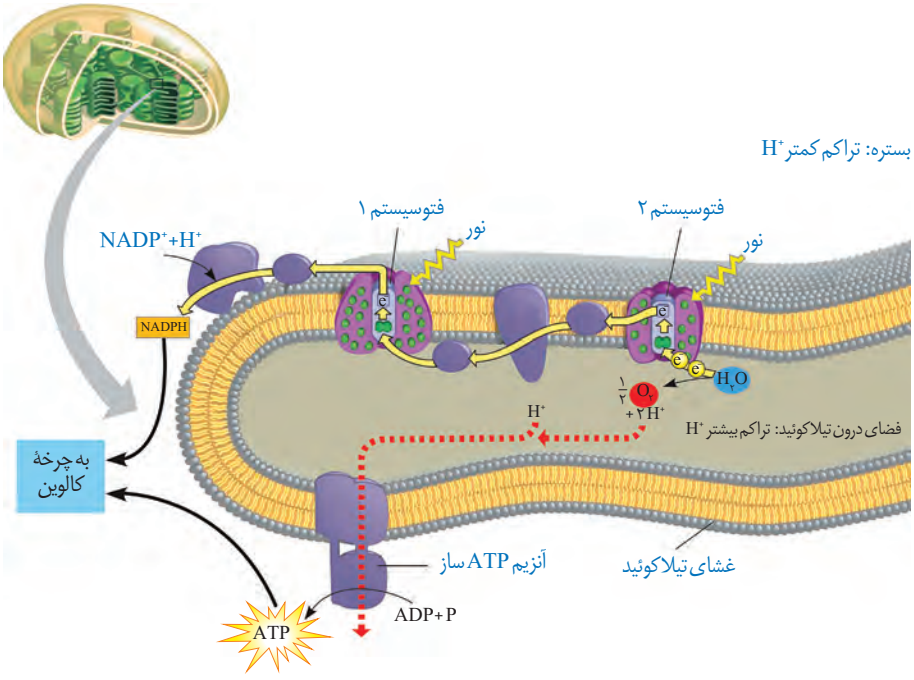
را جبران می‌کند، اما کمبود الکترون سبزینهٔ a در فتوسیستم ۲ چگونه جبران می‌شود؟

تجزیه نوری آب: به شکل ۶ نگاه کنید: در این شکل می‌بینید، مولکول‌های آب تجزیه می‌شوند و الکترون‌های حاصل از آن به فتوسیستم ۲ می‌روند. تجزیه آب به علت فرایندهایی است که به اثر نور مربوط می‌شود. بنابراین به آن، تجزیه نوری آب می‌گویند.

تجزیه نوری آب در فتوسیستم ۲ و در سطح داخلی تیلاکوئید انجام می‌شود. حاصل تجزیه آب در فتوسیستم۲، الکترون، پروتون و اکسیژن است (واکنش ۳). الکترون‌ها، کمبود الکترونی سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم۲ را جبران می‌کنند و پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها تجمع می‌یابند.

$$H_2O \longrightarrow 2H^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2e^-$$

واکنش ۳ـ تجزیه آب



شکل ۶ـ طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون در واکنش‌های نوری

ساخته شدن ATP در فتوسنتز

یکی از اجزای زنجیره انتقال الکترون که بین فتوسیستم ۲ و ۱ قرار دارد، پروتئینی است که یون‌های H^+ را از بستره به فضای درون تیلاکوئیدها پمپ می‌کند. بنابراین، با گذشت زمان تعدادی پروتون از بستره به فضای درون تیلاکوئید وارد می‌شود.

همچنین دانستیم که تعدای پروتون از تجزیه آب، درون فضای تیلاکوئید به وجود می‌آید. درنتیجه، به تدریج بر تراکم پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها نسبت به بستره افزوده می‌شود.

پروتون‌ها بر اساس شیب غلظت خود می‌خواهند از فضای درون تیلاکوئید به بستره بروند، اما نمی‌توانند از طریق انتشار از غشای تیلاکوئید عبور کنند. پس، پروتون‌ها از چه راهی به بستره می‌روند؟ در غشای تیلاکوئید مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATP ساز** وجود دارد. این آنزیم مشابه آنزیم

بیشتر بدانید

نام گذاری فتوسیستم ها

شاید انتظار داشته باشید چون فتوسیستم ۲ قبل از فتوسیستم ۱ فعالیت می‌کند، نام آنها برعکس باشد. اما به این دلیل که ابتدا فتوسیستم ۱ کشف شده بود، فتوسیستم بعدی را فتوسیستم ۲ نامیدند. فتوسیستم ۲ در دهه ۵۰ میلادی و چند سال بعد از فتوسیستم ۱ شناسایی شد.

www.mrzist.org

ATP ساز در راکیزه است. پروتون‌ها فقط از طریق این آنزیم می‌توانند به بستره منتشر شوند. همانند آنچه در راکیزه رخ می‌دهد، همراه با عبور پروتون‌ها از این آنزیم، ATP ساخته می‌شود.

به ساخته شدن ATP در واکنش های نوری، **ساخته شدن نوری ATP** می‌گویند، زیرا حاصل فرایندی است که با نور به راه می‌افتد.

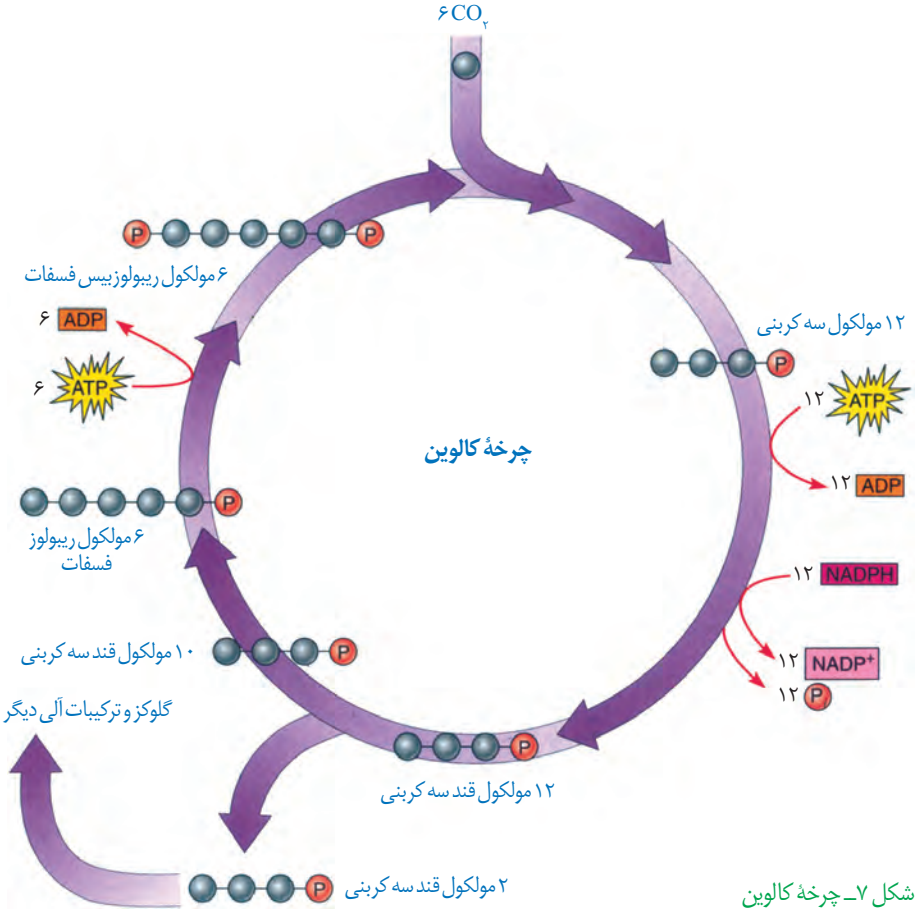
واکنش‌های مستقل از نور: واکنش‌های تثبیت کربن

می‌دانیم که در فتوسنتز، مولکول‌های CO_2 به قند تبدیل می‌شوند. ساخته شدن این مولکول همانند تجزیه آن به یکباره رخ نمی‌دهد.

عدد اکسایش اتم کربن در مولکول قند، نسبت به کربن در CO_2، کاهش یافته است، بنابراین گیاه برای ساختن قند، به انرژی و منبعی برای تأمین الکترون نیاز دارد که از واکنش‌های وابسته به نور تأمین می‌شوند.

ساخته شدن قند در چرخه‌ای از واکنش‌ها، به نام **چرخهٔ کالوین** رخ می‌دهد (شکل ۷). این واکنش‌ها در بستره سبزدیسه انجام می‌شوند.

در چرخهٔ کالوین CO_2 با قندی پنج کربنی به نام **ریبولوزبیس فسفات** ترکیب و مولکول شش کربنی ناپایداری تشکیل می‌شود. افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی، با آنزیم **روبیسکو** (ریبولوزبیس

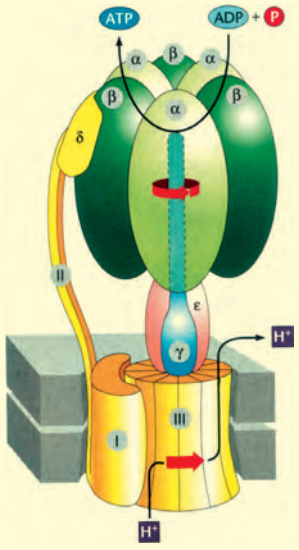


شکل ۷ـ چرخهٔ کالوین

بیشتر بدانید

آنزیم ATP ساز در سبزدیسه

شکل زیر طرحی از آنزیم ATPساز را در غشای تیلاکوئید نشان می‌دهد. با عبور پروتون از بخش کانال این آنزیم، سر می‌چرخد و در جهت مناسب برای ترکیب ADP با فسفات قرار می‌گیرد. درنتیجه ATP ساخته می‌شود.



بیشتر بدانید

ارتباط با شیمی

در کتاب شیمی ۳ با مفهوم عدد اکسایش اتم در گونه (ترکیب) و چگونگی تعیین آن آشنا شده‌اید.

www.mrzist.org

فسفات کربوکسیلاز ـ اکسیژناز) و فعالیت کربوکسیلازی آن (تشکیل گروه کربوکسیل) انجام می‌شود. هر مولکول شش کربنی که ناپایدار است، بلافاصله تجزیه و دو مولکول اسید سه کربنی ایجاد می‌کند. این مولکول‌ها در نهایت به قندهای سه کربنی تبدیل می‌شوند.

همان‌طور که در شکل ۷ می‌بینید، تعدادی از این قندها برای ساخته شدن گلوکز و ترکیبات آلی دیگر و تعدادی نیز برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات به مصرف می‌رسند.

گرچه واکنش‌های کالوین مستقل از نور انجام می‌شوند، اما انجام این واکنش‌ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری است.

در چرخهٔ کالوین دیدیم که CO_2 برای ساخته شدن ترکیب آلی به کار می‌رود. به فرایند استفاده از CO_2 برای تشکیل ترکیب‌های آلی **تثبیت کربن** می‌گویند.

دیدیم اولین مادهٔ آلی پایدار ساخته شده، ترکیبی سه کربنی است؛ به همین علت به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها فقط با چرخهٔ کالوین انجام می‌شود، **گیاهان C_3** می‌گویند. اکثر گیاهان C_3 هستند؛ گرچه انواع دیگری از تثبیت کربن در طول حیات گیاهان روی زمین نیز شکل گرفته است که در گفتار بعد به آنها می‌پردازیم.

اثر محیط بر فتوسنتز

بدیهی است فرایندی مانند فتوسنتز تحت تأثیر محیط باشد. به نظر شما چه عوامل محیطی بر فتوسنتز اثر می‌گذارند؟

با توجه به واکنش کلی فتوسنتز، انتظار داریم نور و CO_2 از عوامل مؤثر بر فتوسنتز باشند. مشاهدات نشان می‌دهد، میزان CO_2، طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارند.

از طرفی فتوسنتز فرایندی آنزیمی است و می‌دانیم بیشترین فعالیت آنزیم‌ها در گسترهٔ دمایی خاص انجام می‌شود، بنابراین دما نیز بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. همچنین خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد.

بیشتر بدانید

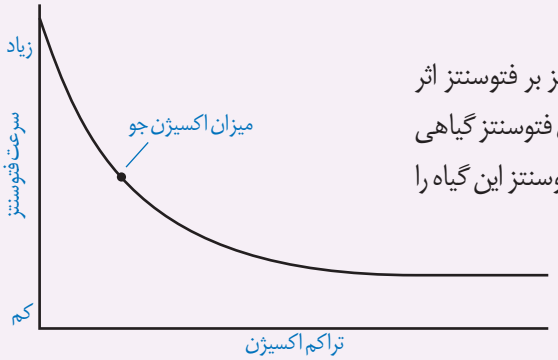
شناسایی چرخهٔ کالوین

کشف مواد پرتوزا این امکان را به محققان داد تا با استفاده از این مواد، فرایندهای زیستی را شناسایی کنند. یکی از این فرایندها فتوسنتز بود. ملوین اِلیس کالوین و همکارانش با ردیابی ^{14}C در جلبک تک یاخته‌ای سبز، توانستند مراحل متفاوت این فرایند را شناسایی کنند. کالوین که زیست‌شیمی‌دان بود، از پدرومادری روس که به امریکا مهاجرت کرده بودند در سال ۱۹۱۱ به دنیا آمد (مرگ ۱۹۹۷). کالوین در سال ۱۹۶۱ موفق به دریافت جایزه نوبل در شیمی برای تحقیقاتش در فتوسنتز شد.

فعّالیت ۴

تفسیر کنید

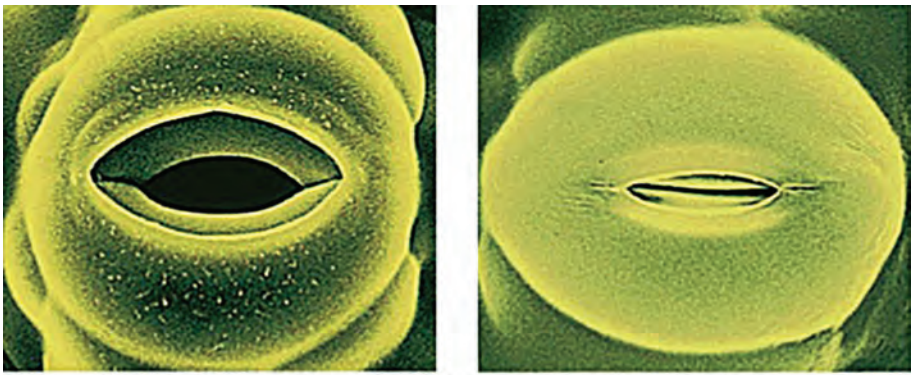
در گفتار بعد خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد. نمودار مقابل تأثیر میزان اکسیژن بر میزان فتوسنتز گیاهی C_3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، ارتباط بین میزان اکسیژن و فتوسنتز این گیاه را توضیح دهید.



www.mrzist.org

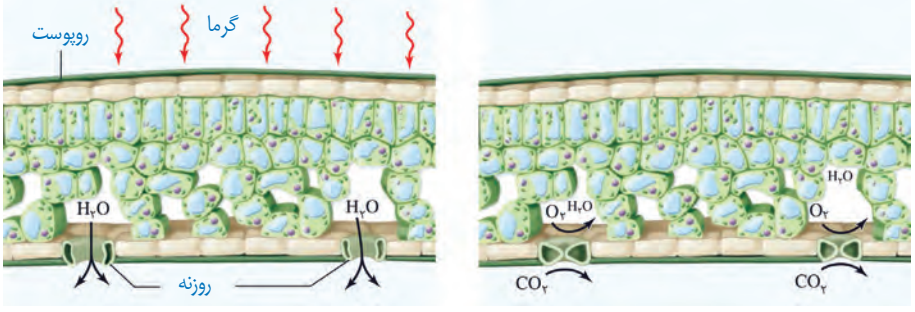
گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار

شکل ۸ روزنه را در دو حالت باز و بسته نشان می‌دهد. چه عواملی سبب بسته شدن روزنه می‌شود؟ به یاد دارید که افزایش بیش از حد دما و نور سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها چه تأثیری می‌تواند بر فتوسنتز داشته باشد؟



شکل ۸ــ روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته می‌شوند.

در چنین شرایطی وقتی روزنه‌ها به‌منظور کاهش تعرق بسته می‌شوند، تبادل گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید از روزنه‌ها نیز توقف می‌یابد، اما فتوسنتز همچنان ادامه دارد. بنابراین در حالی که CO_2 برگ کم می‌شود، اکسیژن در آن افزایش می‌یابد (شکل ۹).



(الف) (ب)

شکل ۹ــ افزایش میزان اکسیژن در اطراف یاخته‌ها به علت بسته شدن روزنه‌ها.
وقتی روزنه‌ها باز هستند (الف) نسبت CO_2 به O_2 بیشتر از زمانی است که روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته شده‌اند (ب).

در چنین حالتی، وضعیت برای نقش اکسیژنازی آنزیم روبیسکو مساعد می‌شود؛ زیرا نقش کربوکسیلازی یا اکسیژنازی این آنزیم به نسبت CO_2 و اکسیژن در محیط عملکرد آن ارتباط دارد. بنابراین با افزایش اکسیژن در برگ، اکسیژن با ریبولوزبیس فسفات ترکیب می‌شود. مولکول حاصل، ناپایدار است و به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی تجزیه می‌شود. مولکول سه کربنی به مصرف بازسازی ریبولوزبیس فسفات می‌رسد.

مولکول دو کربنی از کلروپلاست خارج و در واکنش‌هایی که بخشی از آنها در راکیزه انجام می‌گیرد، از آن مولکول CO_2 آزاد می‌شود. چون این فرایند با مصرف اکسیژن، آزاد شدن CO_2 و همراه با فتوسنتز است، **تنفس نوری** نامیده می‌شود.

در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می‌شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP از آن ایجاد

بیشتر بدانید

آیا تنفس نوری بی فایده است؟

گرچه تنفس نوری را عامل مزاحمی برای فتوسنتز در نظر می‌گیرند، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد بعضی گیاهان که به‌علت نقص ژنی تنفس نوری ندارند، در مقایسه با هم نوعان خود، آسیب بیشتری از نورهای شدید می‌بینند.

www.mrzist.org

نمی‌شود. بنابراین تنفس نوری باعث کاهش فراورده‌های فتوسنتز می‌شود.

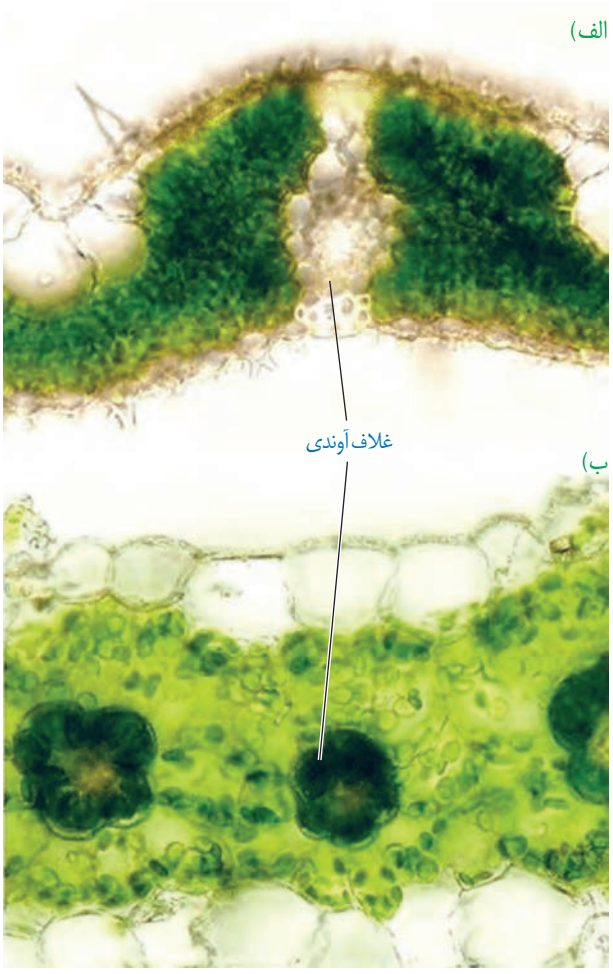
به هر حال انواعی از گیاهان وجود دارند که در محیط‌های با دمای بالا و تابش شدید نور خورشید زندگی می‌کنند. این گیاهان با چه سازوکاری توانسته‌اند تنفس نوری خود را کاهش دهند؟

فتوسنتز در گیاهان C_4

یکی از سازوکارها برای ممانعت تنفس نوری، در گیاهانی وجود دارد که به گیاهان C_4 معروف‌اند.

یاخته‌های **غلاف آوندی** در این گیاهان سبزدیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین‌اند، در حالی که در گیاهان C_3، سبزدیسه ندارند (شکل ۱۰).

تثبیت کربن در این گیاهان در دو مرحله، ابتدا در یاخته‌های میانبرگ و سپس در یاخته‌های غلاف آوندی انجام می‌شود که در ادامه به آن می‌پردازیم.



شکل ۱۰ـ الف) برگ گیاه C_3
ب) برگ گیاه C_4

در گیاهان C_4، CO_2 در یاخته‌های میانبرگ با اسیدی سه کربنی ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی ایجاد می‌شود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان C_4 می‌گویند؛ زیرا اولین مادهٔ پایدار حاصل از تثبیت کربن، ترکیبی چهار کربنی است.

آنزیمی که در ترکیب CO_2 با اسید سه کربنی و تشکیل اسید چهارکربنی نقش دارد، برخلاف روبیسکو به طور اختصاصی با CO_2 عمل می‌کند و تمایلی به اکسیژن ندارد.

اسید چهار کربنی از یاخته‌های میانبرگ از طریق پلاسمودسم‌ها به یاخته‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. در این یاخته‌ها، مولکول CO_2 از اسید چهار کربنی آزاد و وارد چرخهٔ کالوین می‌شود. اسید سه کربنی باقیمانده نیز به یاخته‌های میانبرگ برمی‌گردد.

در گیاهان C_4 با وجود عملکرد آنزیم‌های گوناگون در تثبیت کربن و تقسیم مکانی آن در دو نوع یاخته، میزان CO_2 در محل فعالیت آنزیم روبیسکو، به اندازه‌ای بالا نگه داشته می‌شود که بازدارندهٔ تنفس نوری است. بنابراین، تنفس نوری به ندرت در این گیاهان روی می‌دهد.

این گیاهان در دماهای بالا، شدت‌های زیاد نور و کمبود آب، در حالی که روزنه‌ها بسته‌شده‌اند تا از تبخیر آب جلوگیری شود، همچنان میزان CO_2 را در محل عملکرد آنزیم روبیسکو بالا نگه می‌دارند. به همین علت کارایی آنها در چنین شرایطی بیش از گیاهان C_3 است.

فتوسنتز در گیاهان CAM

بعضی گیاهان در مناطقی زندگی می‌کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند. برگ،

بیشتر بدانید

عملکرد اختصاصی

پذیرنده CO_2 در گیاهان C_4 فسفوانول‌پیرووات است. این اسید با فعالیت آنزیم فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز با CO_2 ترکیب و اسید چهار کربنی(مالات یا اگزالات) تشکیل می‌شود. جایگاه فعالِ آنزیمِ فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز به شکلی است که فقط کربن‌دی‌اکسید در آن قرار می‌گیرد.

www.mrzist.org

ساقه یا هردوی آنها در چنین گیاهانی گوشتی و پرآب است. این گیاهان در واکوئول های خود ترکیباتی دارند که آب را نگه می‌دارند.

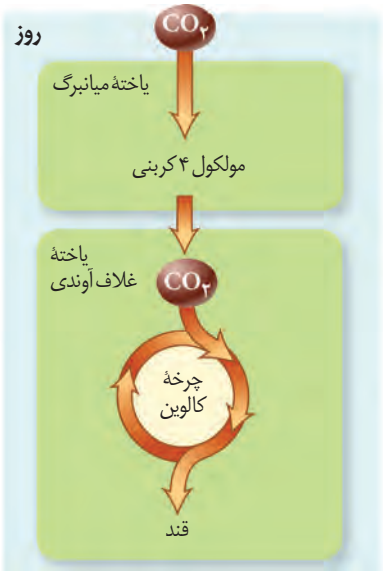
تثبیت کربن در این گیاهان، مانند گیاهان C_4 است، با این تفاوت که تثبیت کربن در آنها در یاخته‌های متفاوت نیست و به عبارتی تقسیم‌بندی مکانی نشده، بلکه در زمان‌های متفاوت انجام می‌شود. تثبیت اولیهٔ کربن در شب که روزنه‌ها بازند و چرخهٔ کالوین در روز انجام می‌شود که روزنه‌ها بسته‌اند. آناناس از گیاهان CAM [1] (کَم) است.

گل رز

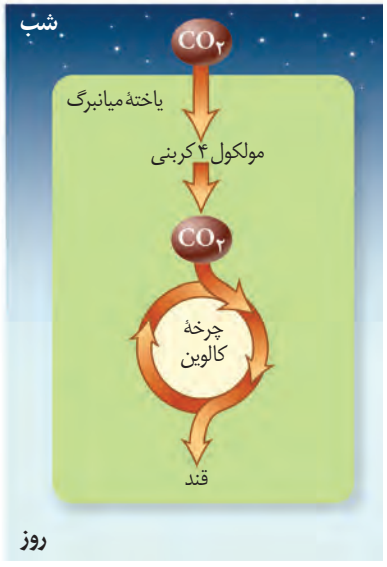
ذرت

آناناس

الف



ب



پ

شکل ۱۱ــ مقایسه فتوسنتز در گیاهان الف) C_3، ب) C_4 و پ) CAM

فعّالیت ۵

گفت‌وگو کنید

سه گیاه الف، ب و پ داریم. با فرض اینکه فتوسنتز هیچ یک از این گیاهان یکسان نباشد، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

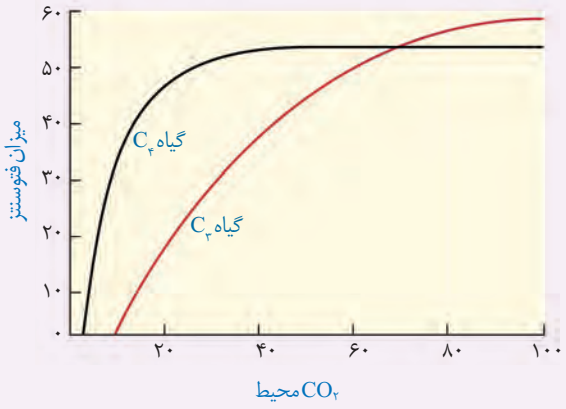
۱ـ الف) عصارهٔ برگ هر یک از این گیاهان در دو زمان، یکی در آغاز تاریکی (شب) و دیگری در آغاز روشنایی (صبح) استخراج و pH آنها اندازه‌گیری شد. pH عصارهٔ گیاه ب در آغاز روشنایی نسبت به آغاز تاریکی اسیدی‌تر بود. گیاه «ب» چه نوع فتوسنتزی دارد؟

۱ـ Crassulacean Acid Metabolism

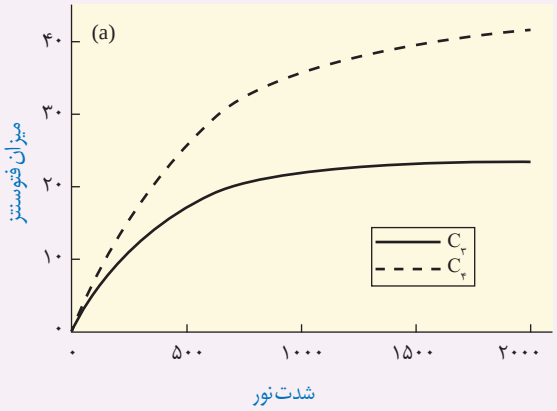
www.mrzist.org

ب) برای تشخیص نوع فتوسنتز گیاه الف و پ چه راهی پیشنهاد می‌دهید؟ آیا ساختار این گیاهان در تشخیص نوع فتوسنتز به شما کمک می‌کند؟

۲ـ نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب اثر کربن دی اکسید جوّ و شدت نور را بر فتوسنتز دو گیاه C_3 و C_4 نشان می‌دهند. چه نتیجه‌ای از این نمودارها می‌گیرید؟



نمودار ۱



نمودار ۲

جانداران فتوسنتزکنندهٔ دیگر

بخش عمدهٔ فتوسنتز را جاندارانی انجام می‌دهند که گیاه نیستند و در خشکی زندگی نمی‌کنند. انواعی از باکتری‌ها و آغازیان در محیط‌های متفاوت خشکی و آبی فتوسنتز می‌کنند که در ادامه به آنها می‌پردازیم.

باکتری‌ها: باکتری‌هایی که فتوسنتز می‌کنند، سبزدیسه ندارند، اما دارای رنگیزه‌های جذب کنندهٔ نورند.

بعضی باکتری‌ها سبزینه دارند. مثلاً سیانوباکتری‌ها سبزینه a دارند و همانند گیاهان با استفاده از CO_2 و نور ماده آلی می‌سازند؛ و چون همانند گیاهان در فرایند فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند، باکتری‌های فتوسنتزکنندهٔ **اکسیژن‌زا** نامیده می‌شوند.

گروهی دیگر از باکتری‌ها، فتوسنتزکنندهٔ **غیراکسیژن‌زا** هستند. باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه‌اند. رنگیزهٔ فتوسنتزی این باکتری‌ها، **باکتریوکلروفیل** است. این باکتری‌ها کربن‌دی‌اکسید را جذب می‌کنند، اما اکسیژن تولید نمی‌کنند؛ زیرا منبع تأمین الکترون در آنها ترکیبی به غیر از آب است. مثلاً در باکتری‌های گوگردی منبع تأمین الکترون H_2S است و به‌جای اکسیژن، گوگرد ایجاد می‌شود. از این باکتری‌ها در تصفیهٔ فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند. هیدروژن سولفید گازی بی‌رنگ است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.

واکنش ۴ـ فتوسنتز در باکتری‌های گوگردی

$$۶\,CO_2 + ۱۲\,H_2S + \text{نور} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + ۱۲\,S + ۶H_2O$$

بیشتر بدانید

گیاهان C_4 سهم اندکی از گیاهان را به خود اختصاص می‌دهند. بیشتر گیاهان C_4 تک لپه‌اند، اما انواع دولپه‌ای نیز وجود دارد. گیاه تاج خروس از دولپه‌ای‌های C_4 است. بعضی دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند با توجه به گرم شدن کره زمین، شاهد انواع بیشتری از گیاهان C_4 در کره زمین باشیم.

www.mrzist.org

آغازیان: آغازیان نقش مهمی در تولید مادهٔ آلی از ماده معدنی دارند. می‌دانید که جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای از آغازیان هستند و فتوسنتز می‌کنند. اوگلنایی که در شکل ۱۲ می‌بینید، جانداری تک‌یاخته‌ای و مثال دیگری از آغازیان فتوسنتزکننده است. این جاندار در حضور نور فتوسنتز می‌کند و در صورتی که نور نباشد، سبزدیسه‌های خود را از دست می‌دهد و با تغذیه از مواد آلی، ترکیبات مورد نیاز خود را به دست می‌آورد.

شکل ۱۲ــ اوگلنا

شیمیوسنتز

آیا ساختن مادهٔ آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز و جاندارانی است که از انرژی نور استفاده می‌کنند؟ آیا تولیدکنندگان در اعماق تاریک وجود ندارند؟

امروزه می‌دانیم انواعی از باکتری‌ها در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانهٔ آتشفشان‌های زیرآب وجود دارند که می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی‌اکسید مادهٔ آلی بسازند. زیستن در چنین مناطقی برای بسیاری از جانداران غیرممکن است. دانشمندان بر اساس وضعیت زمین در آغاز شکل‌گیری حیات، بر این باورند که **باکتری‌های شیمیوسنتزکننده** از قدیمی‌ترین جانداران روی زمین‌اند.

چنین باکتری‌هایی، انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش‌های اکسایش به دست می‌آورند. به این فرایند **شیمیوسنتز** می‌گویند.

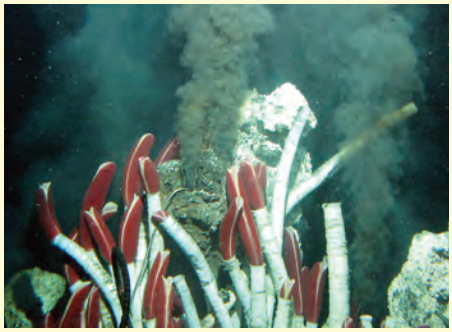
باکتری‌های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند، از باکتری‌های شیمیوسنتزکننده‌اند.

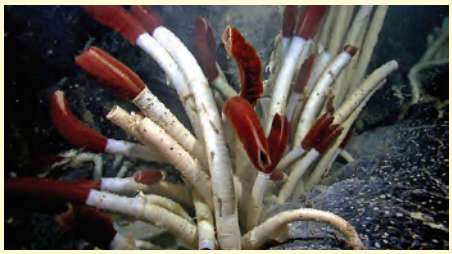
بیشتر بدانید

شیمیوسنتز در اعماق اقیانوس

در اعماق اقیانوس شکاف‌هایی وجود دارد که از آنها گاز سولفید هیدروژن خارج می‌شود.

با وجود فشار و گرمای زیاد، انواعی از کرم‌های لوله‌ای در آنجا وجود دارند. در بدن این کرم‌ها، باکتری‌های شیمیوسنتز کننده زندگی می‌کنند، که با اکسایش هیدروژن سولفید، انرژی مورد نیاز برای ساخت ماده آلی را به دست می‌آورند. زیست این کرم‌ها وابسته به غذایی است که این باکتری‌ها برای آنها می‌سازند.





www.mrzist.org

فصل ۷

فناوری‌های نوین زیستی

آیا تاکنون دربارهٔ تولید پلاستیک‌های قابل تجزیهٔ زیستی شنیده‌اید؟ با توجه به اهمّیت محیط‌زیست و حفظ آن، تولید و استفاده از چنین پلاستیک‌هایی راهکار مناسبی برای پیشگیری از مصرف بی‌رویهٔ پلاستیک‌های غیرقابل تجزیه است. امروزه به کمک روش‌های زیست فناوری، تولید پلاستیک‌های قابل‌تجزیه با صرف هزینهٔ کمتر ممکن شده است. این کار با وارد کردن ژن‌های تولیدکنندهٔ بسیاری از این نوع مواد از باکتری به گیاه امکان‌پذیر است.

چگونه می‌توان از فناوری‌های زیستی برای بهبود زندگی انسان و حفظ محیط‌زیست استفاده کرد؟

آیا می‌توان با استفاده از آنها همهٔ مشکلات بشر را حل کرد؟

انسان از نظر اخلاقی تا چه حد می‌تواند این فناوری‌ها را به خدمت بگیرد؟

در این فصل با این فناوری‌ها آشنا می‌شویم و می‌توانیم در آخر، به بخشی از پرسش‌های مطرح شده در مورد این فناوری‌ها پاسخ دهیم.

www.mrzist.org

گفتار ۱ زیست فناوری و مهندسی ژنتیک

همان‌طور که می‌دانیم جهش در یک ژن و درنتیجه، تغییر در محصول آن می‌تواند به بروز بیماری منجر شود. اختلال در عملکرد و مقدار عوامل مؤثر در انعقاد خون از این دسته هستند. با توجه به افزایش افراد نیازمند به این ترکیبات، تأمین نیاز دارویی آنها با مشکل مواجه می‌شود.

امروزه استفاده از روش‌های زیست فناوری[۱] و مهندسی ژنتیک[۲] تحولات مهمی در زمینهٔ تولید چنین فراورده‌هایی فراهم آورده است. تا چندی پیش، انتقال ژن‌های انسان به داخل یاخته‌های سایر موجودات زنده و یا استفاده از باکتری‌ها برای ساختن پروتئین‌های انسانی غیرقابل تصور بود اما اکنون روش‌های لازم برای تحقق آن توسعه یافته و کاربرد فراوانی پیدا کرده است. آیا می‌دانید چگونه می‌توان از باکتری برای ساختن یک پروتئین انسانی استفاده کرد؟ فرض کنید می‌خواهیم باکتری را برای ساختن هورمون رشد انسانی تغییر دهیم، پس ضرورت دارد تمام احتیاجات این فرایند را در یاختهٔ باکتری فراهم کنیم. در ادامه مطلب با مراحل این روش آشنا خواهیم شد.

زیست فناوری چیست؟

به‌طورکلی به هرگونه فعالیت هوشمندانه آدمی در تولید و بهبود محصولات گوناگون با استفاده از موجود زنده، **زیست فناوری** گویند.

زیست فناوری قلمروی بسیار گسترده دارد و روش‌هایی مانند مهندسی ژنتیک، مهندسی پروتئین و بافت را دربرمی‌گیرد. زیست فناوری از گرایش‌های علمی متعددی مانند علوم زیستی، فیزیک، ریاضیات و علوم مهندسی بهره می‌برد. کاربردهای فراوان زیست فناوری، آن را به‌عنوان نشانهٔ پیشرفت کشورها در قرن حاضر و به یکی از ابزارهای مهم برای تأمین نیازهای متنوع تبدیل کرده است.

تاریخچهٔ زیست فناوری

برای زیست فناوری، که از سال‌های بسیار دور آغاز شده است، سه دوره درنظر می‌گیرند:

زیست فناوری سنتی: تولید محصولات تخمیری مانند سرکه، نان و فراورده‌های لبنی با استفاده از فرایندهای زیستی مربوط به این دوره است.

زیست‌فناوری کلاسیک: با استفاده از روش‌های تخمیر و کشت ریزجانداران (میکروارگانیسم‌ها) تولید موادی مانند پادزیست‌ها، آنزیم‌ها و مواد غذایی در این دوره ممکن شد.

زیست فناوری نوین: این دوره با انتقال ژن از یک ریزجاندار به ریز جاندار دیگر آغاز شد. دانشمندان توانستند با تغییر و اصلاح خصوصیات ریزجانداران، ترکیبات جدید را با مقادیر بیشتر و کارایی بالاتر تولید کنند.

۱ـ Biotechnology

۲ـ Genetic Engineering

بیشتر بدانید

تاکنون تعاریف متعددی برای زیست‌فناوری ارائه شده است که علت آن را باید در ماهیت زیست‌فناوری جست‌وجو کرد. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران زیست‌فناوری را چنین تعریف می‌کند: «تولید فراورده‌ها از طریق فرایند زیستی که مستلزم فنون مهندسی است».

بیشتر بدانید

شاخه‌های زیست فناوری

امروزه متخصصان، این رشته را به شاخه‌های مختلفی از قبیل کشاورزی، پزشکی، دارویی، دامی، میکروبی، قضایی یا پزشکی قانونی، غذایی، صنعتی و... تقسیم‌بندی کرده‌اند.

در برخی تقسیم‌بندی‌ها به شاخه‌های زیست فناوری رنگ اختصاص داده‌اند که عبارت‌اند از:

- سبز: زیست فناوری کشاورزی؛ بهره‌برداری از گیاهان دست‌ورزی شده ژنتیکی
- قرمز: زیست فناوری پزشکی؛ بهره‌برداری از یاخته‌های دست‌ورزی شده برای درمان، تولید دارو و مسائل قضایی و پزشکی قانونی
- خاکستری: زیست فناوری محیط‌زیست؛ جلوگیری و رفع مشکلات محیط‌زیست
- سفید: زیست فناوری صنعتی؛ استفاده از موجودات زنده در مسائل صنعتی مثلاً ساخت مواد شیمیایی
- آبی: زیست فناوری دریایی؛ بهره‌وری از فرایندهای دریایی و موجودات آبزی

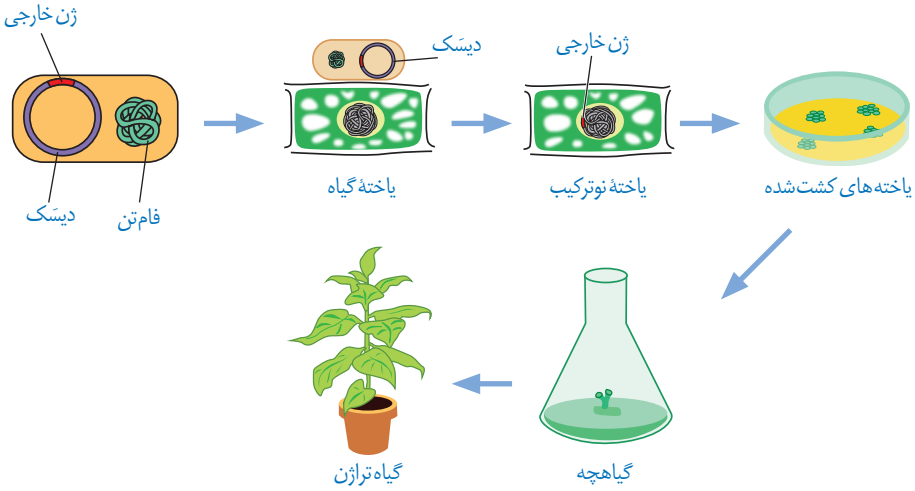
www.mrzist.org

مهندسی ژنتیک

یکی از روش‌های مؤثر در زیست فناوری نوین، مهندسی ژنتیک است. در مهندسی ژنتیک قطعه‌ای از دنای یک یاخته توسط ناقل به یاخته‌ای دیگر انتقال می‌یابد. در این حالت، یاختهٔ دریافت‌کننده قطعه دنا دچار دست‌ورزی ژنتیکی و دارای صفت جدید می‌شود. به جانداری که از طریق مهندسی ژنتیک دارای ترکیب جدیدی از مواد ژنتیکی شده است، جاندار **تغییریافته ژنتیکی**[۱] یا **تراژنی**[۲] می‌گویند. گرچه این روش ابتدا با باکتری‌ها شروع شد؛ اما پیشرفت‌های بعدی، امکان دست‌ورزی ژنتیکی برای سایر موجودات زنده مثل گیاهان و جانوران را نیز فراهم کرد. مثلاً مراحل ایجاد گیاهان زراعی تراژنی از طریق مهندسی ژنتیک را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱ــ تعیین صفت یا صفات مطلوب ۲ــ استخراج ژن یا ژن‌های صفت موردنظر ۳ــ آماده‌سازی و انتقال ژن به گیاه ۴ــ تولید گیاه تراژنی ۵ــ بررسی دقیق ایمنی زیستی و اثبات بی‌خطر بودن برای سلامت انسان و محیط زیست ۶ــ تکثیر و کشت گیاه تراژنی با رعایت اصول ایمنی زیستی.

شکل ۱ بعضی از این مراحل را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ تولید یک گیاه تراژنی

مراحل مهندسی ژنتیک

یکی از اهداف مهندسی ژنتیک تولید انبوه ژن و فراورده‌های آن است. تولید انبوه ژن با همسانه‌سازی دنا[۳] انجام می‌شود. جداسازی یک یا چند ژن و تکثیر آنها را **همسانه‌سازی دِنا** می‌گویند. در همسانه‌سازی دِنا مادهٔ وراثتی با ابزارهای مختلفی در خارج از یاخته تهیه و به وسیلهٔ یک **ناقل همسانه‌سازی**[۴] به درون ژنوم میزبان منتقل می‌شود. هدف از این کار تولید مقادیر زیادی از دنای خالص است که می‌تواند برای دست‌ورزی، تولید یک مادهٔ بخصوص و یا مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

برای این منظور مراحل زیر انجام می‌شود:

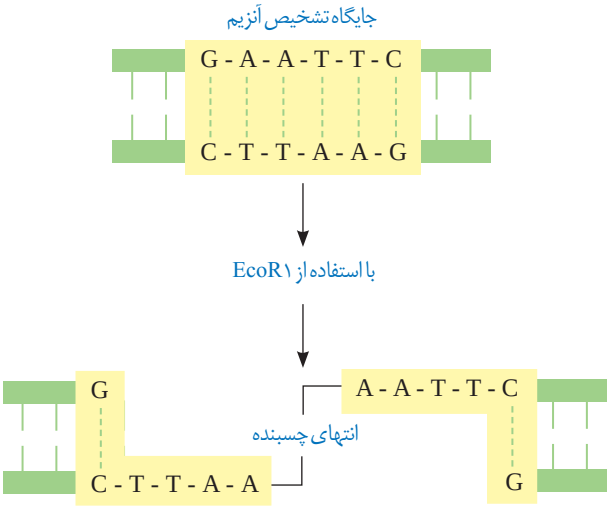
جداسازی قطعه‌ای از دِنا: این کار به‌وسیلهٔ **آنزیم‌های برش‌دهنده**[۵] انجام می‌شود. این آنزیم‌ها در باکتری‌ها وجود دارند و قسمتی از سامانهٔ دفاعی آنها محسوب می‌شوند. اولین مرحله از همسانه‌سازی

۱ــ Genetically Modified Organism
۲- Transgenic Organism
۳- DNA Cloning
۴- Cloning Vector
۵- Restriction Enzyme

www.mrzist.org

که جداسازی ژن‌ها است، به وسیلهٔ این آنزیم‌ها انجام می‌شود. این آنزیم‌ها توالی‌های نوکلئوتیدی خاصی را در دنا تشخیص و برش می‌دهند. مثلاً آنزیم EcoR۱ توالی شش جفت نوکلئوتیدی $\frac{GAATTC}{CTTAAG}$ را شناسایی و برش می‌دهد. به این توالی **جایگاه تشخیص آنزیم** گفته می‌شود (شکل ۲).

همان‌طورکه در شکل می‌بینید در جایگاه تشخیص آنزیم EcoR۱، توالی نوکلئوتیدهای هر دو رشته دنا از دو سمت مخالف یکسان خوانده می‌شود. این آنزیم پیوند فسفودی استر بین نوکلئوتید گوانین‌دار و آدنین‌دار هر دو رشته را برش می‌زند. در نتیجه، انتهایی از مولکول دنا ایجاد می‌شود که یک رشته آن بلندتر از رشته مقابل است و به آن **انتهای چسبنده** می‌گویند. برای تشکیل چنین انتهایی از مولکول دنا، علاوه بر پیوندهای فسفودی استر، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته دنا در منطقه تشخیص نیز شکسته می‌شوند. استفاده از آنزیم‌های برش‌دهنده، دنا را به قطعات کوتاه‌تری تبدیل می‌کند. این قطعات را با روش‌های خاصی جدا می‌کنند و تشخیص می‌دهند.



شکل ۲ـ برش مولکول دنا توسط آنزیم EcoR۱

اتصال قطعه دِنا به ناقل و تشکیل دِنای نوترکیب[۱]: مرحله بعدی، اتصال قطعه دنای جداسازی شده به ناقل همسانه‌سازی است. این ناقلین، توالی‌های دنایی هستند که در خارج از فام‌تن اصلی قرار دارند و می‌توانند مستقل از آن تکثیر شوند. یکی از این مولکول‌ها دیسَک حلقوی باکتری است. این نوع دیسَک یک مولکول دنای دورشته‌ای و خارج فام‌تنی است که معمولاً درون باکتری‌ها و بعضی قارچ‌ها مثل مخمرها وجود دارد و می‌تواند مستقل از ژنوم میزبان همانندسازی کند. دیسَک‌ها را فام‌تَن‌های کمکی نیز می‌نامند چون حاوی ژن‌هایی هستند که در فام‌تن اصلی باکتری وجود ندارند. مثلاً ژن مقاومت به پادزیست در دیسَک قرار دارد. در صورت انتقال قطعه دنای موردنظر به دیسَک و ورود آن به یاخته میزبان، با هر بار همانندسازی دیسَک، دنای مورد نظر نیز همانندسازی می‌شود. بهتر است از دیسَکی استفاده شود که فقط یک جایگاه تشخیص برای آنزیم برش‌دهنده داشته باشد. به نظر شما چرا؟

شکل ۳ طرح ساده‌ای از دیسَک دارای یک جایگاه تشخیص آنزیم EcoR۱ را نشان می‌دهد، بسیاری از دیسَک‌ها دارای ژن‌های مقاومت به پادزیست‌ها هستند. چنین ژن‌هایی به باکتری این توانایی را می‌دهند که پادزیست‌ها را به موادی غیرکشنده و قابل استفاده برای

شکل ۳ـ طرح ساده‌ای از دیسَک و یک ژن خارجی

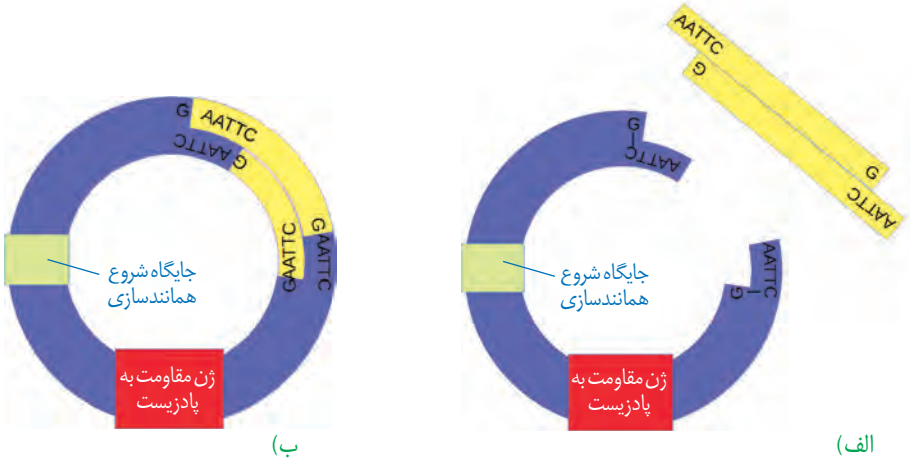
۱ـ Recombinant DNA

www.mrzist.org

خود تبدیل کنند. این ویژگی در مهندسی ژنتیک اهمیت زیادی دارد که در مباحث بعد به آن می‌پردازیم.

در ساخت یک دنای نوترکیب، قطعه دنای حاوی توالی موردنظر در دنای ناقل جاسازی می‌شود. دانستید که برای جداسازی قطعه دنای موردنظر از نوعی آنزیم برش‌دهنده استفاده می‌شود. توجه داشته باشید آنزیم مورد استفاده برای برش دادن دیسَک، باید همان آنزیمی باشد که در جداسازی دنای موردنظر استفاده شده است. چرا؟

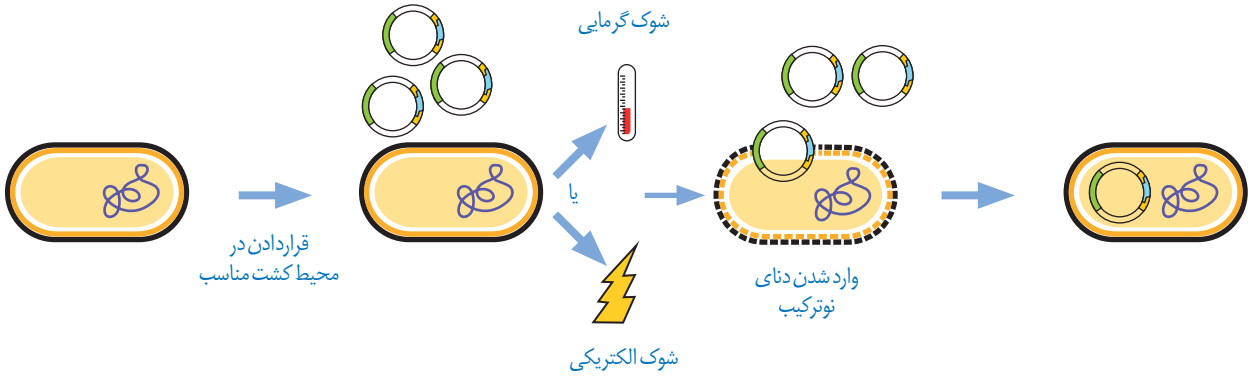
برش دیسَک با آنزیم، آن را به یک قطعه دنای خطی تبدیل می‌کند که دارای دو انتهای چسبنده است. همچنین قطعه دنای خارجی نیز دو انتهای چسبنده دارد. برای اتصال دنای موردنظر به دیسَک از آنزیم لیگاز (اتصال‌دهنده) استفاده می‌شود. این آنزیم پیوند فسفودی استر بین دو انتهای مکمل را ایجاد می‌کند. به مجموعه دنای ناقل و ژن جاگذاری شده در آن، **دنای نوترکیب** گفته می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴ــ تشکیل دنای نوترکیب: الف) قبل از تأثیر لیگاز و ب) بعد از تأثیر لیگاز

وارد کردن دِنای نوترکیب به یاخته میزبان: در این مرحله، دنای نوترکیب را به درون یاخته میزبان مثلاً باکتری منتقل می‌کنند (شکل ۵). به این منظور باید در دیواره باکتری منافذی ایجاد شود. این منافذ را می‌توان با کمک شوک الکتریکی و یا شوک حرارتی همراه با مواد شیمیایی ایجاد کرد.

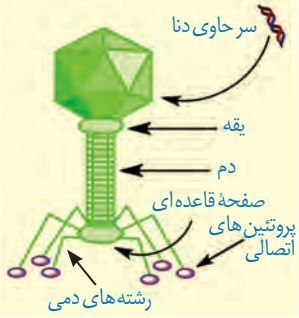
بر طبق اطلاعات به دست آمده، مشخص شده همه باکتری‌ها دنای نوترکیب را دریافت نمی‌کنند. بنابراین لازم است باکتری دریافت‌کنندهٔ دیسَک از باکتری فاقد آن تفکیک شود.



شکل ۵ــ وارد کردن دِنای نوترکیب به یاخته میزبان

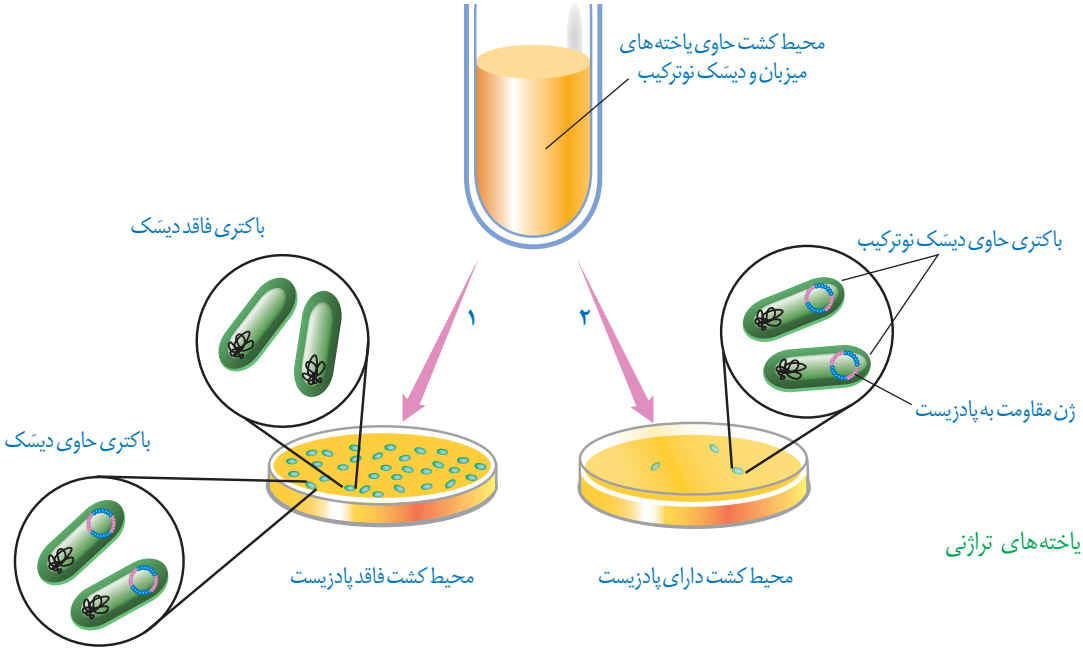
بیشتر بدانید

باکتری خوارها (باکتریوفاژها) ویروس‌هایی معمولاً دنادار هستند که به باکتری‌ها حمله می‌کنند و آنها را از بین می‌برند. نوکلئیک اسید این فاژها از دیسَک بزرگ‌تر است. مزیت دنای فاژها به‌عنوان ناقل همسانه‌سازی در این است که می‌توان قطعات دنای بزرگ‌تری را در آنها جاسازی کرد.



www.mrzist.org

جداسازی یاخته‌های تراژنی: برای انجام این مرحله، از روش‌های متفاوتی می‌توان استفاده کرد. یکی از این روش‌ها استفاده از دیسَکی است که دارای ژن مقاومت به پادزیستی مثل آمپی‌سیلین است. اگر باکتری، دنای نوترکیب را دریافت کرده باشد، در محیط حاوی پادزیست رشد می‌کند. باکتری‌های فاقد دنای نوترکیب به‌دلیل حساسیت به پادزیست در چنین محیطی از بین می‌روند (شکل ۶).



شکل ۶ــ جداسازی یاخته‌های تراژنی دارای دنای نوترکیب

در شرایط مناسب، باکتری‌های تراژنی با سرعت بالایی تکثیر می‌شوند. همچنین از دناهای نوترکیب نیز به‌صورت مستقل از فام‌تَنِ اصلی یاخته، نسخه‌های متعددی ساخته می‌شود که درنتیجهٔ آن دنای خارجی به سرعت تکثیر می‌شود. بنابراین، تعداد زیادی باکتری دارای دنای خارجی آماده خواهد شد که می‌توان از آنها برای تولید فراورده یا استخراج ژن استفاده کرد.

امروزه با پیشرفت روش‌های مهندسی ژنتیک می‌توان یاخته‌های دیگری مثل مخمرها، یاخته‌های گیاهی و حتی جانوری را با این فرایند تغییر داد. دناها و سایر مولکول‌های حاصل از دناهای تولید شده برای اهداف گوناگون علمی و کاربردی استفاده می‌شوند. در گفتارهای بعدی این فصل به برخی از این موارد اشاره شده است.

www.mrzist.org

گفتار ۲ فناوری مهندسی پروتئین و بافت

روش‌های جدید امکان ایجاد تغییرات دلخواه در توالی آمینواسیدهای یک پروتئین را فراهم کرده است که می‌توان از آنها به منظور تغییر در ویژگی‌های یک پروتئین و بهبود عملکرد آن بهره‌مند شد. انجام چنین تغییراتی که به آن **مهندسی پروتئین** گفته می‌شود، نیازمند شناخت کامل ساختار و عملکرد آن پروتئین است. این تغییرات می‌تواند جزئی یا کلی باشد.

تغییر جزئی شامل تغییر در رمز یک یا چند آمینواسید در مقایسه با پروتئین طبیعی است. تغییرات عمده، گسترده‌تر است و می‌تواند شامل برداشتن قسمتی از ژن یک پروتئین تا ترکیب بخش‌هایی از ژن‌های مربوط به پروتئین‌های متفاوت باشد.

می‌دانیم تغییر در توالی آمینواسیدها ممکن است باعث تغییر در شکل فضایی مولکول پروتئین و در نتیجه تغییر در عمل آن شود. چنین پروتئین‌های تغییر یافته‌ای با اهداف مختلف، مثلاً درمانی و تحقیقاتی ساخته می‌شوند.

از تغییرات و اصلاحات مفید در فرایند مهندسی پروتئین‌ها می‌توان به افزایش پایداری پروتئین در مقابل گرما و تغییر pH، افزایش حداکثری سرعت واکنش و تمایل آنزیم برای اتصال به پیش‌ماده اشاره کرد.

افزایش پایداری پروتئین‌ها

امروزه با دستیابی به روش‌های مهندسی پروتئین می‌توان پایداری آنها را در مقابل گرما افزایش داد. این موضوع اهمیت زیادی دارد زیرا در دمای بالاتر سرعت واکنش بیشتر و خطر آلودگی میکروبی در محیط واکنش کمتر می‌شود. همچنین، نیازی به خنک کردن محیط واکنش به‌خصوص در مورد واکنش‌های گرمازا نیست. در ادامه مثال‌هایی از افزایش پایداری پروتئین‌ها، ارائه می‌دهیم.

آمیلازها: این آنزیم‌ها که از آنزیم‌های پرکاربرد در صنعت هستند مولکول‌های نشاسته را به قطعات کوچک‌تری تجزیه می‌کنند. آمیلازها در بخش‌های مختلف صنعتی مانند صنایع غذایی، نساجی و تولید شوینده‌ها کاربرد دارند. بسیاری از مراحل تولید صنعتی در دماهای بالا انجام می‌شود. بنابراین، استفاده از آمیلاز پایدار در برابر گرما ضرورت دارد. امروزه به کمک روش‌های زیست فناوری، طراحی و تولید آمیلازهای مقاوم به گرما ممکن شده است. استفاده از این مولکول‌ها باعث کاهش زمان واکنش، صرفه‌جویی اقتصادی و در نتیجه افزایش بهره‌وری صنعتی می‌شود. مشاهده شده است که در طبیعت نیز آمیلاز مقاوم به گرما وجود دارد. مثلاً باکتری‌های گرمادوست در چشمه‌های آب گرم دارای آمیلازهایی هستند که پایداری بیشتری در مقابل گرما دارند.

اینترفرون: به یاد دارید که اینترفرون از پروتئین‌های دستگاه ایمنی است. وقتی این پروتئین با روش مهندسی ژنتیک ساخته می‌شود، فعالیتی بسیار کمتر از اینترفرون طبیعی دارد. علت این کاهشِ فعالیت، تشکیل پیوندهای نادرست در هنگام ساخته شدن آن در باکتری است. پیوندهای نادرست باعث تغییر در شکل مولکول و درنتیجه کاهش فعالیت آن می‌شوند. به کمک فرایند مهندسی پروتئین و تغییر جزئی در رمز آمینواسید، توالی آمینواسیدهای اینترفرون طوری تغییر می‌یابد که به جای یکی از آمینواسیدهای آن آمینواسید دیگری قرار می‌گیرد. این تغییر، فعالیت ضد ویروسی اینترفرون ساخته شده

www.mrzist.org

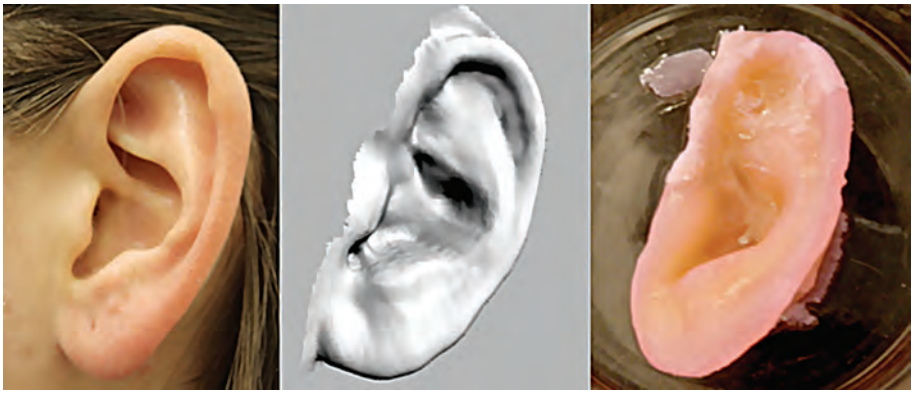
را به اندازهٔ پروتئین طبیعی افزایش می‌دهد و همچنین آن را پایدارتر می‌کند. افزایش پایداری در نگهداری طولانی‌مدت پروتئین‌هایی که به‌عنوان دارو استفاده می‌شوند، اهمیت زیادی دارد.

پلاسمین: می‌دانیم تشکیل لخته، یک فرایند زیستی مهم است که از ادامه خونریزی جلوگیری می‌کند، اما تشکیل لخته در سرخرگ‌های شش، مغز و ماهیچه قلب به‌ترتیب منجر به بسته شدن رگ‌های شش، سکته مغزی و قلبی می‌شود که بسیار خطرناک است و می‌تواند باعث مرگ شود. لخته‌ها به‌طور طبیعی در بدن توسط آنزیم پلاسمین تجزیه می‌شوند. پلاسمین کاربرد درمانی دارد، اما مدت اثر آن در پلاسما خیلی کوتاه است. جانشینی یک آمینواسید پلاسمین با آمینواسید دیگری در توالی، باعث می‌شود که مدت زمان فعالیت پلاسمایی و اثرات درمانی آن بیشتر شود.

مهندسی بافت

از دست رفتن بافت به‌دلیل آسیب یا بیماری، زندگی را دشوار و هزینهٔ بالای اقتصادی و اجتماعی را بر فرد بیمار و خانواده او تحمیل می‌کند. فرض می‌کنیم که به علت سوختگی وسیع نیاز به پیوند پوست وجود داشته باشد. چنانچه اهداکننده پوست مناسب وجود نداشته باشد و یا به‌علت وسعت سوختگی، برداشت پوست از بدن بیمار ممکن نباشد، بهترین راه، کشت بافت و پیوند پوست است. ثابت شده است که در پوست یاخته‌هایی وجود دارد که توانایی تکثیر زیاد و تمایز به انواع یاخته‌های پوست را دارند. امروزه در **مهندسی بافت** از این یاخته‌ها، به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده می‌شود.

متخصصان مهندسی بافت، در زمینه تولید و پیوند اعضا نیز فعالیت می‌کنند. برای نمونه، جراحان بازسازی‌کنندهٔ چهره می‌توانند به کمک روش‌های مهندسی از بافت غضروف برای بازسازی لاله گوش و بینی استفاده کنند. در این روش، یاخته‌های غضروفی را در محیط کشت روی داربست مناسب تکثیر و غضروف جدید را برای بازسازی اندام آسیب دیده تولید می‌کنند (شکل ۷).

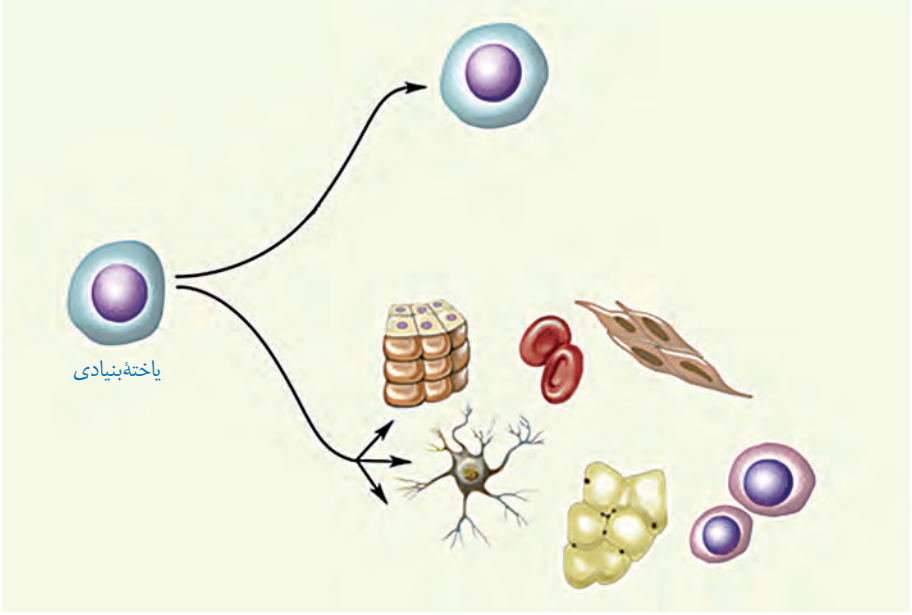


شکل ۷ـ مهندسی بافت غضروف گوش انسان: عکس گوش طبیعی (چپ) تصویر رقمی (دیجیتالی) (وسط) و غضروف گوش ساخته شده با روش مهندسی بافت بعد از دو هفته (راست)

یاخته‌های بنیادی و مهندسی بافت: یاخته‌های تمایز یافته‌ای مانند یاخته‌های ماهیچه‌ای در محیط کشت به مقدار کم تکثیر می‌شوند و یا اصلاً تکثیر نمی‌شوند. به‌همین دلیل، در چنین مواردی از منابع یاخته‌ای که سریع تکثیر می‌شوند مثل یاخته‌های بنیادی جنینی یا یاخته‌های بنیادی بالغ استفاده می‌کنند. یاخته‌های بنیادی جنینی، همان توده یاخته‌ای درونی هستند. یاخته‌های بنیادی بالغ در

www.mrzist.org

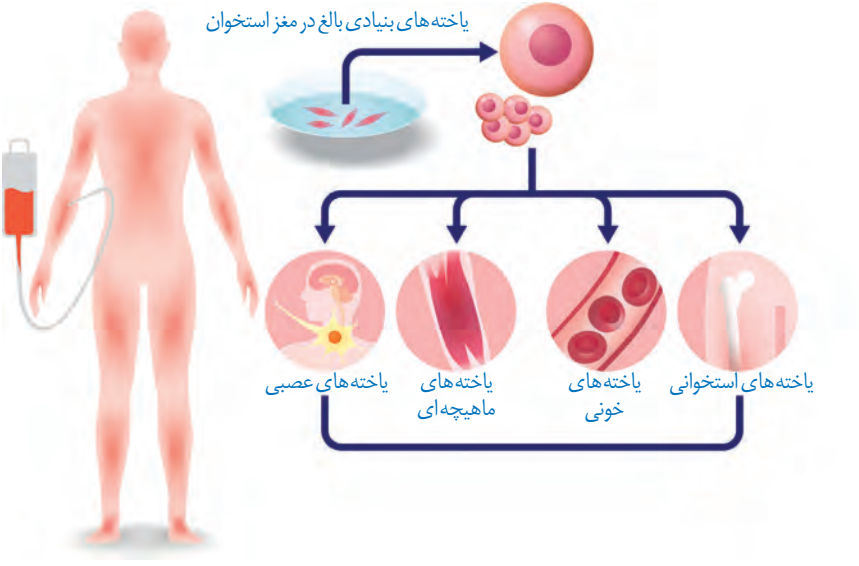
بافت‌ها یافت می‌شوند. یاخته‌های بنیادی می‌توانند تکثیر و به انواع متفاوت یاخته تبدیل شوند (شکل ۸).



شکل ۸ــ یاخته‌های بنیادی توانایی تکثیر و به‌وجود آوردن یاخته‌های مشابه خود؛ و نیز توانایی تبدیل شدن به سایر یاخته‌ها را دارند.

یاخته‌های بنیادی بالغ: در بافت‌های مختلف بدن یاخته‌های بنیادی وجود دارند که در محیط کشت تکثیر می‌شوند. به‌عنوان مثال یاخته‌های بنیادی کبد می‌توانند تکثیر شوند و به یاخته کبدی یا یاخته مجرای صفراوی تمایز پیدا کنند.

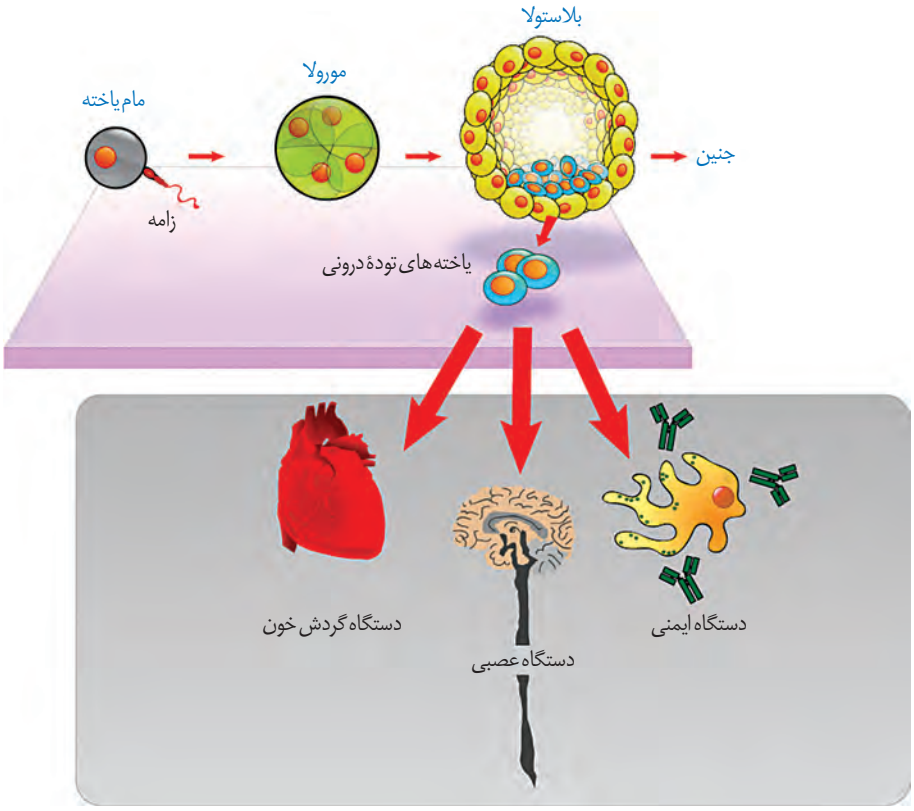
با دو نوع از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان قبلاً آشنا شده‌اید. آیا آنها را به یاد دارید؟ انواع دیگری از یاخته‌های بنیادی در مغز استخوان وجود دارند که می‌توانند به رگ‌های خونی، ماهیچه اسکلتی و قلبی تمایز پیدا کنند. این یاخته‌ها از فرد بالغ برداشته و کشت داده می‌شوند (شکل ۹).



شکل ۹ــ یاخته‌های بنیادی مغز استخوان به انواع مختلف یاخته‌ها و بافت‌ها تمایز پیدا می‌کنند.

www.mrzist.org

یاخته‌های بنیادی جنینی: چنین یاخته‌هایی نه‌تنها قادر به تشکیل همه بافت‌های بدن جنین هستند، بلکه اگر در مراحل اولیهٔ جنینی جداسازی شوند، می‌توانند یک جنین کامل را تشکیل دهند. این یاخته‌ها بعد از جداسازی کشت داده و برای تشکیل بسیاری از انواع یاخته‌ها تحریک می‌شوند (شکل ۱۰). اما تمایز چنین یاخته‌هایی هنوز نمی‌تواند به گونه‌ای تنظیم شود که بتوانند همه انواع یاخته‌هایی را که در بدن جنین تولید می‌کنند در شرایط آزمایشگاهی نیز به‌وجود بیاورند.



شکل ۱۰ــ الف) یاخته‌های بنیادی مورولا به همه انواع یاخته‌های جنینی و خارج جنینی (جفت و پرده‌ها) متمایز می‌شوند.
ب) یاخته‌های بنیادی توده یاخته‌ای درونی به انواع یاخته‌های بدن جنین متمایز می‌شوند.

www.mrzist.org

گفتار ۳ کاربردهای زیست فناوری

همان‌طور که در گفتار قبلی دیدید زیست فناوری در زمینه‌های متفاوتی کاربرد دارد. اکنون می‌خواهیم بدانیم چگونه می‌توان از این شاخهٔ علمی برای بهبود کیفیت زندگی انسان و حفظ محیط زیست بهره برد.

کاربرد زیست فناوری در کشاورزی

تحول در کشاورزی نوین توانست افزایش چشمگیری در محصولات کشاورزی مانند گندم، برنج و ذرت ایجاد کند. استفاده از کودها و سموم شیمیایی، کشت انواع محصول، استفاده از ماشین‌ها در کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت از نتایج این تحول بود. اما در کنار آن شاهد عواقب زیانباری همچون آلودگی محیط زیست، کاهش تنوع ژنی و تخریب جنگل‌ها و مراتع نیز بوده‌ایم. امروزه نمی‌توان برای افزایش محصولات به هر روشی متوسل شد. بنابراین، شاید فناوری‌های جدید زیستی بتوانند تا حدودی مشکلات بشر را در این زمینه حل کنند.

یکی از کاربردهای زیست فناوری، تولید گیاهان مقاوم در برابر بعضی آفت‌ها هستند. این روش توانسته است مصرف آفت‌کش‌ها را کاهش دهد. به‌عنوان مثال برخی از باکتری‌های خاکزی، پروتئین‌هایی تولید می‌کنند که حشرات مضر برای گیاهان زراعی را می‌کُشند. این باکتری‌ها در مرحله‌ای از رشد خود نوعی پروتئین سمی می‌سازند که ابتدا به‌صورت مولکولی غیرفعال است. این مولکول در بدن حشره فعال شده، حشره را از بین می‌برد. چرا این سم نمی‌تواند خود باکتری را از بین ببرد؟

پیش‌سم غیرفعال، تحت‌تأثیر آنزیم‌های گوارشی موجود در لوله گوارش حشره شکسته و فعال می‌شود. سم فعال شده باعث تخریب یاخته‌های لوله گوارش و سرانجام مرگ حشره می‌شود.

برای تولید گیاه مقاوم به آفت، ابتدا ژن مربوط به این سم از ژنوم باکتری جداسازی و پس از همسانه‌سازی به گیاه موردنظر انتقال داده می‌شود. تاکنون با این روش چند نوع گیاه مقاوم مثل ذرت، پنبه و سویا تولید شده‌اند. همان‌طورکه در شکل ۱۱ می‌بینید نوزاد کرمی شکل (لارو) به درون غوزه نارس پنبه نفوذ می‌کند، بنابراین برای از بین بردن این آفت سم‌پاشی‌های متعدد لازم است، زیرا آفت در معرض سم قرار نمی‌گیرد. از سوی دیگر، استفاده زیاد سم برای محیط زیست مضر است. امروزه با کمک فناوری زیستی و تولید پنبه‌های مقاوم، نیاز به سم‌پاشی مزارع پنبه تا حدود زیادی کاهش پیدا کرده است. حشره در اثر خوردن گیاه مقاوم شده از بین می‌رود و فرصت ورود به درون غوزه را از دست می‌دهد. بنابراین، نیاز به سم پاشی مزرعه کاهش می‌یابد.

شکل ۱۱ــ آلوده شدن غوزه گیاه پنبه به آفت را نشان می‌دهد. گیاه سالم (سمت چپ)، ورود آفت به درون غوزه (وسط) و گیاه آلوده (سمت راست)

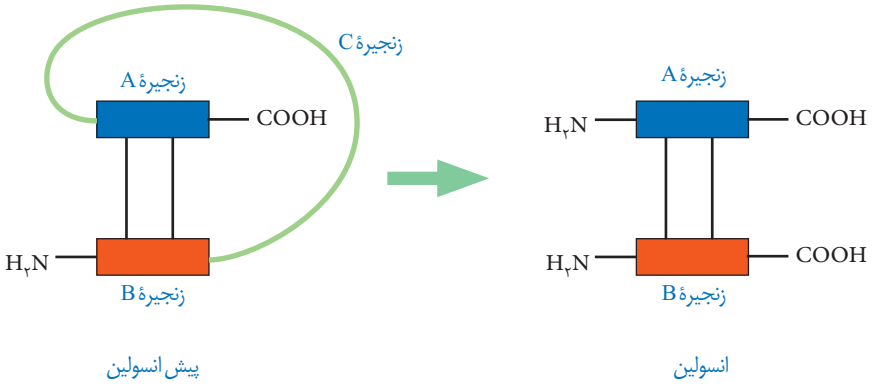
www.mrzist.org

زیست فناوری علاوه بر تولید گیاهان مقاوم در برابر آفت‌ها، کاربردهای زیادی در زمینهٔ کشاورزی دارد. اصلاح بذر برای تولید گیاهان مطلوب، تولید گیاهان مقاوم به خشکی و شوری، تنظیم سرعت رسیدن میوه‌ها و افزایش ارزش غذایی محصولات نیز با انجام روش‌های مهندسی ژنتیک ممکن شده است. تولید گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش‌ها نیز از دیگر دستاوردهای این فناوری است.

کاربرد زیست فناوری در پزشکی

۱ــ تولید دارو: فناوری دنای نوترکیب به‌علت تولید داروهای مطمئن و مؤثر، جایگاه ویژه‌ای در صنعت داروسازی دارد. این داروها، برخلاف فراورده‌های مشابهی که از منابع غیرانسانی تهیه می‌شوند، پاسخ‌های ایمنی ایجاد نمی‌کنند. انسولین یکی از داروهایی است که توسط این فناوری تولید می‌شود. دیابت نوع یک را می‌توان به‌وسیلهٔ دریافت انسولین کنترل کرد. به نظر شما چگونه می‌توان نیاز افراد نیازمند به این ماده را تأمین کرد؟ یکی از روش‌های تهیه انسولین جداسازی و خالص کردن آن از لوزالمعده جانورانی مثل گاو است. روش دیگر، استفاده از مهندسی ژنتیک است.

می‌دانیم که باکتری در صورت داشتن ژن انسولین انسانی می‌تواند آن را بسازد. مولکول انسولین فعال، از دو زنجیرهٔ کوتاه پلی‌پپتیدی به نام‌های A و B تشکیل شده است که به یکدیگر متصل هستند. در پستانداران از جمله انسان انسولین به‌صورت یک مولکول پیش‌هورمون ساخته می‌شود.



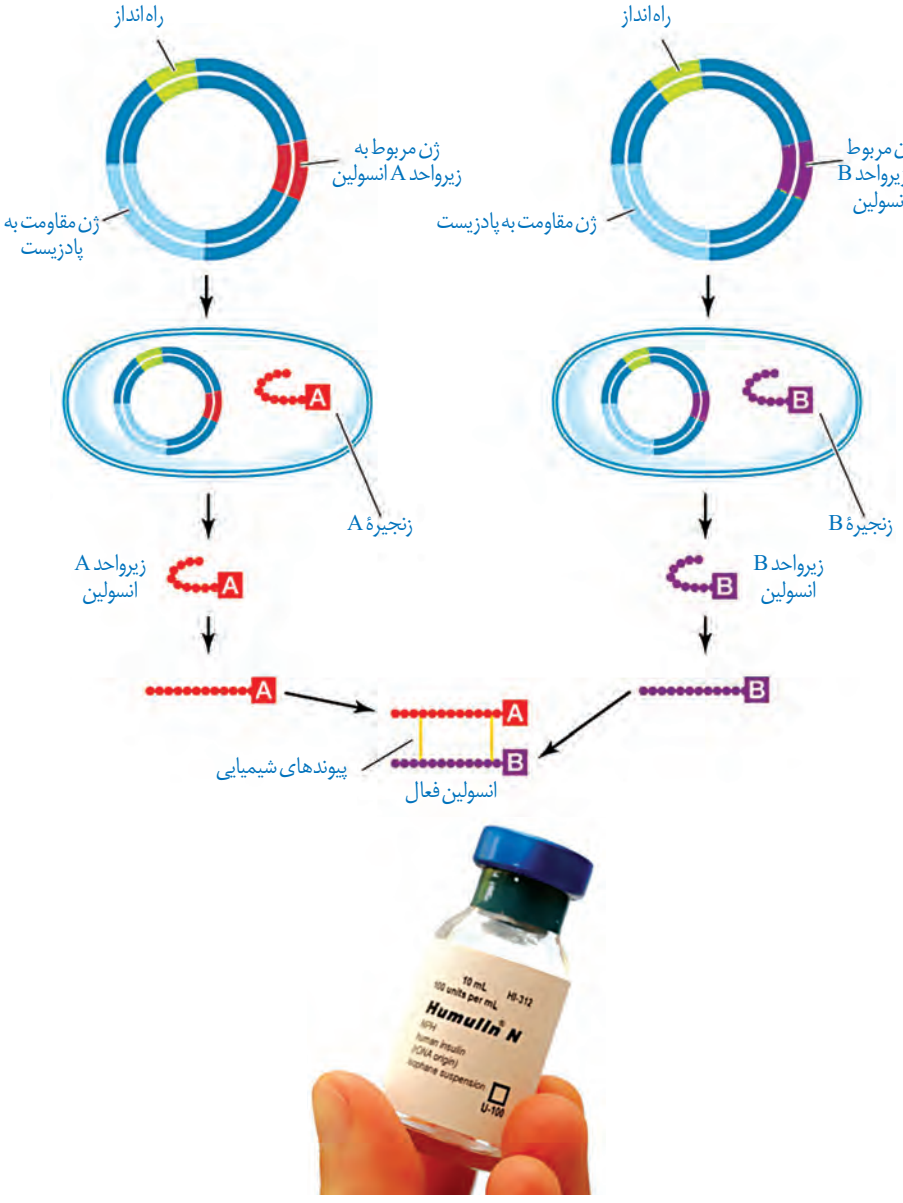
شکل ۱۲ــ جدا شدن زنجیره C و تبدیل پیش‌انسولین به انسولین

همان‌طور که در شکل ۱۲ می‌بینید، پیش‌هورمون به‌صورت یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی است و با جدا شدن بخشی از توالی به‌نام زنجیره C به هورمونِ فعال تبدیل می‌شود.

مهم‌ترین مرحله در ساخت انسولین به روش مهندسی ژنتیک، تبدیل انسولین غیرفعال به انسولین فعال است، زیرا تبدیل پیش‌هورمون به هورمون در باکتری انجام نمی‌شود. در سال ۱۹۸۳ برای اولین بار دو توالی دنا به‌صورت جداگانه برای رمز کردن زنجیره‌های A و B انسولین تولید و توسط دیسَک به نوعی

www.mrzist.org

باکتری منتقل شدند. سپس، زنجیره‌های پلی‌پپتیدی ساخته شده جمع‌آوری و در آزمایشگاه به‌وسیله پیوندهایی به یکدیگر متصل شدند (شکل ۱۳).



الف) انتقال ژن زنجیره‌های A و B انسولین به‌طور جداگانه به دیسک

ب) انتقال دیسک‌های نوترکیب به باکتری و انتخاب یاخته‌های دریافت‌کننده به کمک پادزیست

پ) خالص کردن زنجیره‌ها

ت) ترکیب زنجیره‌های A و B برای تولید انسولین فعال

شکل ۱۳ــ مراحل ساخت انسولین در مهندسی ژنتیک

۲ــ تولید واکسن: روش‌های قبلی تولید واکسن شامل ضعیف کردن میکروب‌ها، کشتن آنها و یا غیرفعال کردن سموم خالص شده آنها با روش‌هایی خاص بود. واکسن تولید شده باید بتواند دستگاه ایمنی را برای مقابله با عامل بیماری‌زا تحریک کند، اما منجر به ایجاد بیماری نشود. چنانچه در مراحل تولید واکسن خطایی رخ دهد، احتمال بروز بیماری در اثر مصرف آن وجود دارد. واکسن‌های تولید شده با روش مهندسی ژنتیک چنین خطری ندارند. در این روش، ژن مربوط به پادگِن (آنتی‌ژن) سطحی عامل بیماری‌زا به یک باکتری یا ویروس غیربیماری‌زا منتقل می‌شود. واکسن نوترکیب ضد هپاتیت B با این روش تولید شده است.

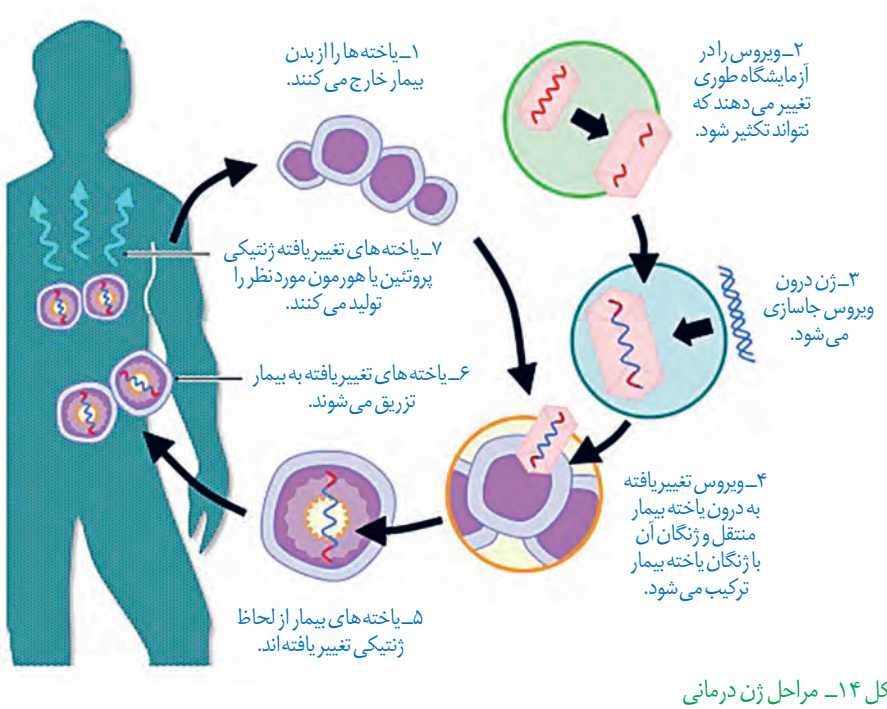
www.mrzist.org

۳ـ ژن درمانی: آیا می‌توان افرادی را که با بیماری ارثی متولد می‌شوند درمان کرد؟

پاسخ به این سؤال مشکل است ولی یکی از روش‌های جدید درمان بیماری‌های ژنتیکی، ژن درمانی است که خود مجموعه‌ای از روش‌هاست. ژن درمانی یعنی قرار دادن نسخه سالم یک ژن در یاخته‌های فردی که دارای نسخه‌ای ناقص از همان ژن است. در این روش یاخته‌هایی را از بدن بیمار خارج و ژن سالم را با کمک ناقل وارد آنها می‌کنند. سپس یاخته تغییریافته را به بدن بیمار باز می‌گردانند.

اولین ژن درمانی موفقیت‌آمیز در سال ۱۹۹۰ برای یک دختر بچه ۴ ساله، دارای نوعی نقص ژنی، انجام شد. این ژن جهش یافته نمی‌توانست یک آنزیم مهم دستگاه ایمنی را بسازد. برای درمان آن ابتدا لنفوسیت‌ها را از خون بیمار جدا کردند و در خارج از بدن کشت دادند. سپس نسخه‌ای از ژن کارآمد را به لنفوسیت‌ها منتقل و آنها را وارد بدن بیمار کردند. اگرچه این یاخته‌ها توانستند آنزیم مورد نیاز بدن را بسازند ولی چون قدرت بقای زیادی ندارند، لازم بود بیمار به‌طور متناوب لنفوسیت‌های مهندسی شده را دریافت کند (شکل ۱۴) .

برای درمان این افراد می‌توان از روش‌هایی مثل پیوند مغز استخوان و یا تزریق آنزیم هم استفاده کرد.



شکل ۱۴ـ مراحل ژن درمانی

۴ـ تشخیص بیماری: برای درمان موفقیت‌آمیز یک بیماری، تشخیص اولیه و شناخت دقیق آن بسیار مهم است. علاوه بر روش‌های تشخیصی مثل آزمایش خون و ادرار، روش‌های دیگری مثل فناوری‌های مبتنی بر دنا در تشخیص بیماری نقش مهمی دارند. تشخیص بیماری وقتی که علائم آن در بدن ظاهر شده باشد ساده است، اما وقتی که هنوز علائم ظاهر نشده‌اند و میزان عامل بیماری‌زا در بدن پایین است مشکل است. امروزه با کمک روش‌های زیست فناوری و شناسایی نوکلئیک اسید عامل بیماری‌زا می‌توان به‌وجود آن در بدن پی برد.

بیشتر بدانید

انقراض گونه‌ها و مهندسی ژنتیک

در سال ۲۰۰۸ با تعیین توالی ژنی یک ماموت، برای اولین بار ژنگان کامل یک گونهٔ جانوری منقرض شده مشخص شد. این موفقیت پژوهشگران را به نجات گونه‌های در خطر انقراض امیدوار کرده است. یکی دیگر از کاربردهای این فناوری در جلوگیری از انقراض گونه‌ها، روش شبیه‌سازی است. در ایران نیز طرح‌های تحقیقاتی در حال انجام است و تاکنون موفقیت‌هایی در این زمینه به‌دست آمده است. به‌عنوان مثال می‌توان به موفقیت پژوهشکده رویان در شبیه‌سازی قوچ وحشی اشاره کرد.

www.mrzist.org

همان‌طور که می‌دانید ایدز بیماری خطرناکی است و هنوز درمان قطعی برای آن وجود ندارد. فرد مبتلا به ایدز توانایی دفاع در مقابل عوامل بیماری‌زا را از دست می‌دهد. برای تشخیص ایدز در مراحل اولیه، دنای موجود در خون فرد مشکوک را استخراج می‌کنند. دنای استخراج شده شامل دنای یاخته‌های بدن خود فرد و احتمالاً دنای ساخته شده از رنای ویروس است. سپس با استفاده از روش‌های زیست فناوری دنای ویروس تشخیص داده می‌شود. تشخیص زودهنگام آلودگی با ویروس ایدز اهمیت زیادی دارد زیرا باعث می‌شود که بدون اتلاف وقت اقدامات درمانی و پیشگیری لازم برای جلوگیری از انتقال ویروس به سایر افراد صورت گیرد.

زیست فناوری در تشخیص ژن‌های جهش یافته در بیماران مستعد به سرطان، در مسائل پزشکی قانونی و تحقیقاتی همچون مطالعه در مورد دنای فسیل‌ها نیز کاربرد دارد.

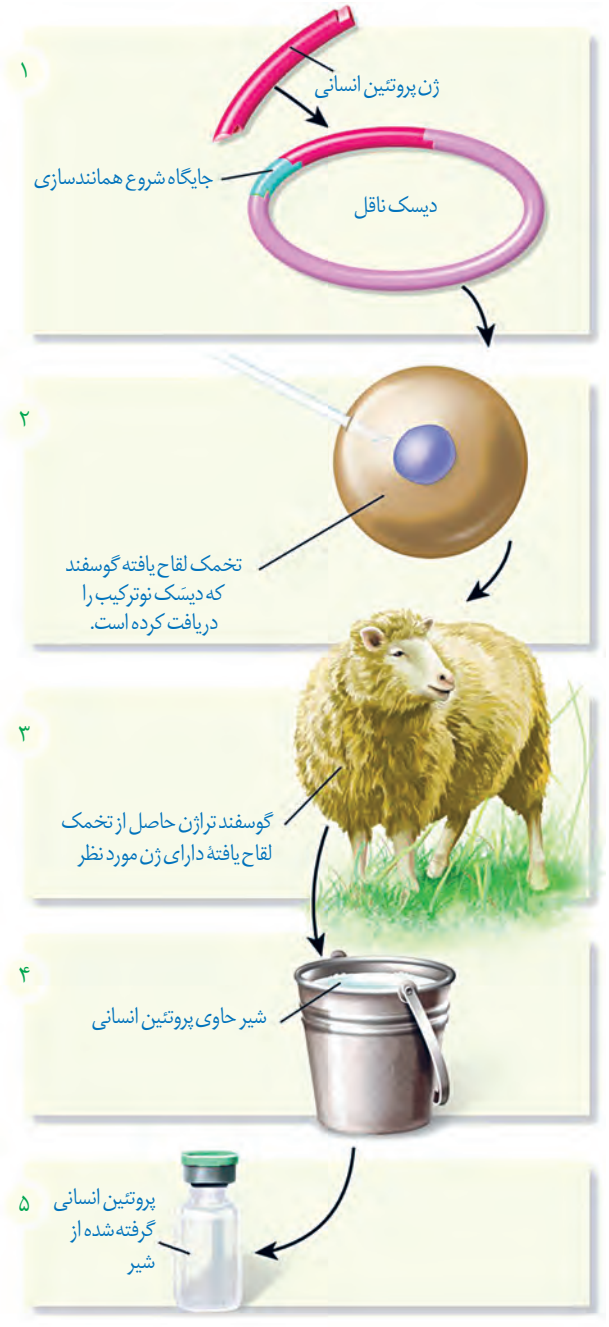
اهمیت تولید جانوران تراژنی در زیست فناوری

دلایل متعددی برای طراحی و تولید این جانوران وجود دارد که می‌توان به چند مورد اشاره کرد:

ـ مطالعه عملکرد ژن‌های خاص در بدن مثل ژن‌های عوامل رشد و نقش آنها در رشد بهتر دام‌ها

ـ کاربرد آنها به‌عنوان مدلی برای مطالعه بیماری‌های انسانی از قبیل انواع سرطان، آلزایمر و بیماری ام.اس

ـ تولید پروتئین‌های انسانی یا داروهای خاص در بدن آنها، به‌عنوان مثال دام‌های تراژنی می‌توانند، شیر غنی از نوعی پروتئین انسانی تولید کنند که برای انسان نسبت به شیر طبیعی دام‌ها مناسب‌تر است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵ـ تولید پروتئین‌های انسانی با استفاده از دام‌های تراژنی

زیست فناوری و اخلاق

مانند همهٔ دستاوردهای بشر، استفاده از این دستاورد علمی نیز باید با ملاحظاتی همراه باشد. این ملاحظات جنبه‌های مختلف اخلاقی، اجتماعی و ایمنی زیستی را دربر می‌گیرند. ایمنی زیستی شامل مجموعه‌ای از تدابیر، مقررات و روش‌هایی برای تضمین بهره‌برداری از این فناوری است. قانون ایمنی زیستی به‌منظور استفاده مناسب از مزایای زیست فناوری و پیشگیری از خطرات احتمالی آن، در همه کشورها از جمله ایران تدوین و به تصویب رسیده است.

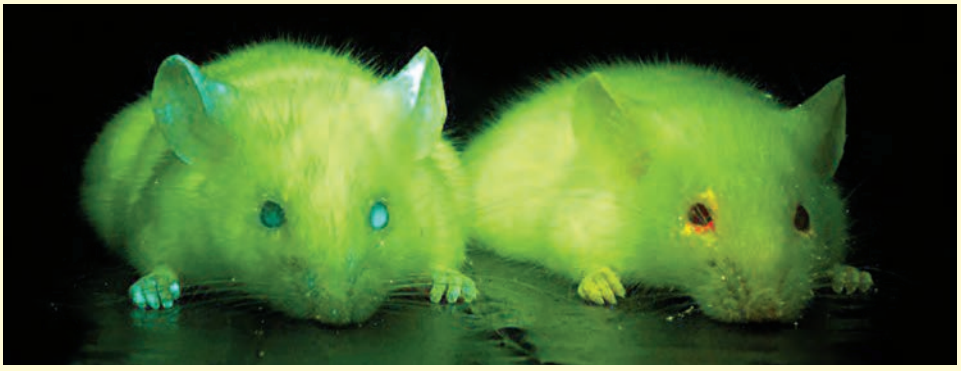
www.mrzist.org

همواره سؤال‌های متعددی در مورد نتایج انواع کاربردهای زیست فناوری مطرح بوده و هست. برای پاسخ به این سؤالات، پژوهش‌های زیادی در حال انجام است. نتایج به‌دست آمده از چنین پژوهش‌هایی از طرف مجموعه‌ای از دانشمندان با تخصص‌های مختلف داوری و صدور مجوز نهایی توسط دستگاه‌های نظارتی انجام می‌شود. تاکنون از نتایج تحقیقات انجام شده هیچ‌گونه گزارشی مبتنی بر شواهد و داده‌های علمی در مورد آثار جانبی کاربرد این فناوری، محصولات به‌دست آمده و خطرناک بودن آنها ارائه نشده است. لذا با توجه به حساسیت موضوع، این تحقیقات باید ادامه یابند و نتایج با دقت فراوان مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

بیشتر بدانید

ایران از جمله کشورهایی است که فناوری تولید جانوران تراژن مدل را دارد.

موش‌های تراژن به عنوان مدل، کاربردهای متفاوتی در تحقیقات مربوط به ژنتیک، داروسازی و پزشکی دارند. موش سمت چپ موش تراژنی است که در پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری ایران برای ایجاد مدل‌های تحقیقاتی تولید شده است. چشم‌ها و بخش‌هایی از بدن این موش به علت وجود پروتئین GFP (پروتئین با فلورسانس سبز) در برابر پرتو فرابنفش درخشش سبز دارد. این موش حاصل رشد تخمی است که ژن پروتئین GFP در ژنوم تخمک آن جاگذاری شده است.



موش معمولی (راست) و موش تراژن (چپ)

www.mrzist.org

پرواز گروهی سارها

فصل ۸

رفتارهای جانوران

هزاران سال است که انسان رفتارهای جانوران را مشاهده می‌کند و در پی یافتن علت این رفتارها و چگونگی بروز آنهاست. زندگی انسان به داشتن اطلاعات دربارهٔ رفتار جانوران وابسته است. دانستن دربارهٔ چگونگی زادآوری یک حشره آفت، می‌تواند به یافتن راه‌هایی برای مبارزه با آن منجر شود. دانستن دربارهٔ مهاجرت یا تغذیهٔ یک جانور در معرض خطر انقراض، می‌تواند به راه‌هایی برای حفظ آن گونه و حفاظت از تنوع زیستی بینجامد. در این فصل انواعی از رفتارهای جانوران، چگونگی انجام آنها و علت این رفتارها را از دیدگاه انتخاب طبیعی بررسی می‌کنیم.

www.mrzist.org

گفتار ۱ اساس رفتار

قمری‌های خانگی با جمع‌آوری شاخه‌های نازک درختان برای خود لانه ساخته و زادآوری می‌کنند. گوزن‌ها از شکارچی‌ها می‌گریزند. خرس‌های قطبی خواب زمستانی دارند. سارها برای زمستان‌گذرانی به مناطق گرم‌تر مهاجرت می‌کنند. اینها نمونه‌هایی از رفتارهای جانوران است. رفتار، واکنش یا مجموعه واکنش‌هایی است که جانور در پاسخ به محرک یا محرک‌ها انجام می‌دهد. محرک‌هایی مانند بو، رنگ، صدا، تغییر میزان هورمون‌ها یا گلوکز در بدن جانور، تغییر دمای محیط و تغییر طول روز موجب بروز رفتارهای گوناگون در جانوران می‌شوند.

رفتار غریزی

جوجه‌های برخی از پرندگان برای غذای مورد نیازشان به والد (یا والدین) خود متکی هستند. مثلاً جوجه کاکایی برای دریافت غذا به منقار پرنده والد نوک می‌زند و والد بخشی از غذای خورده شده را برمی‌گرداند تا جوجه آن را بخورد. دریافت غذای کافی برای بقا و رشد جوجه اهمّیت دارد. جوجه پس از بیرون آمدن از تخم، می‌تواند به منقار والد نوک بزند (شکل ۱).

شکل ۱ــ رفتار درخواست غذا در جوجه کاکایی

منشأ رفتار جوجه کاکایی چیست؟ جوجه پرنده پس از بیرون آمدن از تخم، می‌تواند رفتار درخواست غذا را انجام دهد، پس آیا این رفتار همانند ویژگی‌های بدنی جانور ژنی است؟ برای پاسخ به این سؤال یک پژوهش را بررسی می‌کنیم.

پژوهشگران ارتباط یک ژن را با رفتار مراقبت از زاده‌ها در موش ماده بررسی کرده‌اند. این ژن را **ژن B** می‌نامیم. موش ماده طبیعی اجازه نمی‌دهد بچه موش‌ها از او دور شوند؛ اگر بچه موش‌ها دور شوند، مادر آنها را می‌گیرد و به سمت خود می‌کشد (شکل ۲). موش مادر ابتدا نوزادان را وارسی می‌کند و اطلاعاتی از راه حواس به مغز آن ارسال می‌شود؛ درنتیجه ژن **B** در یاخته‌هایی در مغز موش مادر فعال

www.mrzist.org

می‌شود و دستور ساخت پروتئینی را می‌دهد که آنزیم‌ها و ژن‌های دیگری را فعال می‌کند. در مغز جانور فرایندهای پیچیده‌ای به راه می‌افتد که در نتیجهٔ آنها، موش ماده رفتار مراقبت مادری را نشان می‌دهد. پژوهشگران با ایجاد جهش در ژن **B** آن را غیر فعال کردند. موش‌های ماده‌ای که ژن‌های جهش یافته داشتند، ابتدا بچه موش‌های تازه متولد شده را وارسی کردند ولی بعد آنها را نادیده گرفتند و رفتار مراقبت نشان ندادند. به این ترتیب، مشخص شد رفتار مراقبت مادری در موش اساس ژنی دارد.

بیشتر بدانید

آنچه ما آن را ژن B نامیدیم به اختصار ژن FosB نام دارد. این ژن در بخشی از زیر نهنج (هیپوتالاموس) مغز موش مادر که در رفتار مادرانهٔ آن نقش حیاتی دارد، بیان می‌شود.

شکل ۲ـ الف) مراقبت مادری موش مادر دارای ژن طبیعی

ب) نبود مراقبت مادری در موش مادر دارای ژن جهش یافته B

بیشتر بدانید

رفتارشناسی، علم مطالعهٔ رفتارهای جانوران در آزمایشگاه و یا طبیعت است. سه دانشمند به نام های نیکولاس تین برگن[۱] هلندی، کُنراد لورنز[۲] و کارل فون فریش[۳] اتریشی در مشاهدهٔ رفتار جانوران در طبیعت نقش مهمّی ایفا کردند. این تلاش‌ها جایزهٔ نوبل رشتهٔ کار اندام‌شناسی (فیزیولوژی) و پزشکی سال ۱۹۷۳ را برای آنان به ارمغان آورد. در دهه‌های اخیر رویکرد اصلی زیست‌شناسان در بررسی رفتار جانوران، بوم‌شناسی رفتاری است. بوم‌شناسی رفتاری علم بررسی رفتار جانوران در محیط طبیعی و از دیدگاه انتخاب طبیعی است.

۱ـ Nikolaas Tinbergen
۲ـ Konrad Lorenz
۳ـ Karl Von Frisch

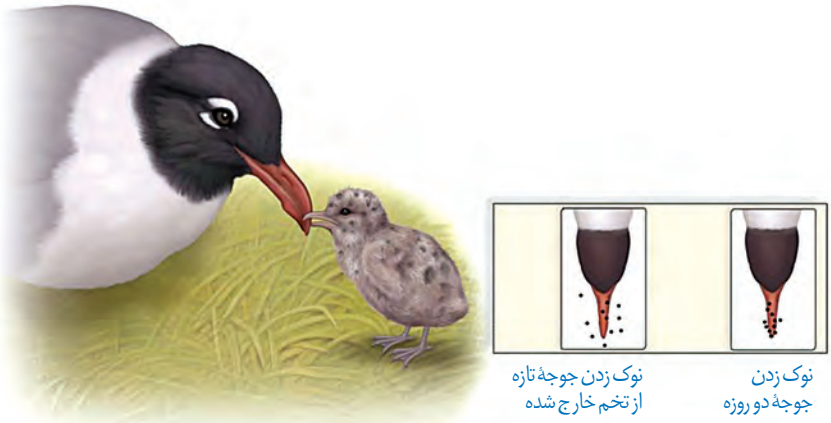
رفتار موش مادر در مراقبت از فرزندان **رفتاری غریزی**[۱] است. اساس رفتار غریزی در همهٔ افراد یک گونه یکسان است، زیرا ژنی و ارثی است. رفتار جوجه کاکایی برای به دست آوردن غذا، لانه‌سازی پرنده‌ها و رفتار مکیدن در شیرخواران نمونه‌های دیگری از رفتارهای غریزی‌اند. خواهید دید همهٔ رفتارهای غریزی به طور کامل هنگام تولّد در جانور ایجاد نشده‌اند.

یادگیری و رفتار

در رفتار درخواست غذا، نوک زدن‌های جوجه کاکایی به منقار والد در ابتدا دقیق نیست ولی به تدریج و با تمرین، این رفتار دقیق‌تر می‌شود. هرچه جوجه دقیق‌تر نوک بزند، والد سریع‌تر به درخواست آن برای غذا پاسخ می‌دهد. به این ترتیب جوجه می‌آموزد تا دقیق‌تر نوک بزند (شکل ۳). بنابراین، جوجه کاکایی تجربه به دست می‌آورد و رفتارغریزی آن تغییر می‌کند و اصلاح می‌شود.

۱- Instinctive Behavior

www.mrzist.org



شکل ۳ـ اصلاح رفتار درخواست غذا در جوجه کاکایی: پس از دو روز جوجه می‌آموزد تا دقیق‌تر نوک بزند. نقطه‌های سیاه رنگ محل نوک زدن را نشان می‌دهند.

بیشتر بدانید

چندین گونه از خانوادهٔ کاکایی‌ها از جمله کاکایی پازرد(خزری) و کاکایی سر سیاه، در کشور ما زندگی می‌کنند. بیشتر آزمایش‌ها و بررسی‌های این فصل درباره کاکایی سرسیاه انجام شده است.

کاکایی سر سیاه (*Larus ridibundus*)

کاکایی خزری (*Larus cachinnans*)

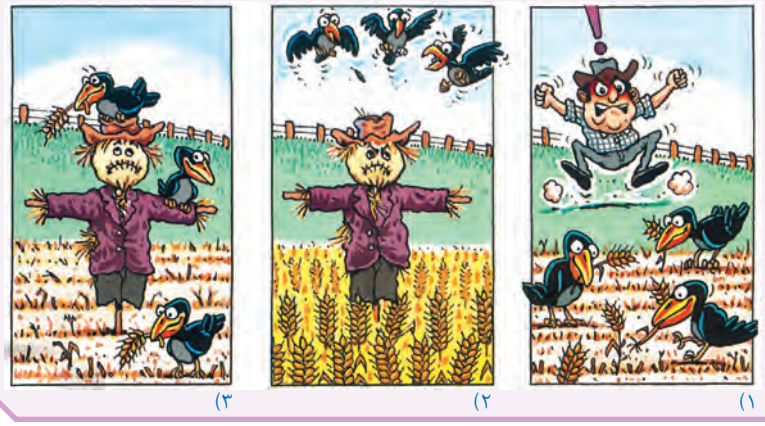
جانوران در محیط تجربه‌های گوناگونی پیدا می‌کنند که رفتارهای آنها را تغییر می‌دهد. تغییر نسبتاً پایدار در رفتار که در اثر تجربه به وجود می‌آید **یادگیری** نام دارد. یادگیری انواع گوناگونی دارد که با آنها آشنا می‌شوید.

خوگیری (عادی شدن): جوجهٔ پرندگان اجسام گوناگونی مانند برگ‌های در حال افتادن را در بالای سر خود می‌بینند. در ابتدا جوجه‌ها با پایین آوردن سر خود و آرام ماندن به این محرک‌ها پاسخ می‌دهند، امّا با دیدن مکرر اجسام در حال حرکت، یاد می‌گیرند آنها برایشان خطر یا فایده‌ای ندارند. در نتیجه، جوجه‌ها دیگر به این محرک‌ها پاسخ نمی‌دهند. این یادگیری را **خوگیری**[۱] می‌نامند. در این یادگیری، پاسخ جانور به یک محرک تکراری که سود یا زیانی برای آن ندارد، کاهش پیدا می‌کند و جانور می‌آموزد به برخی محرک‌ها پاسخ ندهد. جانوران در معرض محرک‌های متعددی قرار دارند که پاسخ به همهٔ آنها، نیازمند صرف انرژی زیادی است. خوگیری موجب می‌شود جانور با چشم پوشی از محرک‌های بی‌اهمّیت، انرژی خود را برای انجام فعالیت‌های حیاتی حفظ کند.

فعّالیت ۱

الف) شکل روبه‌رو یادگیری خوگیری را نشان می‌دهد. آن را توضیح دهید.

ب) در برخی کشتزارها قوطی‌های فلزی را به مترسک آویزان می‌کنند، این کار چه فایده‌ای دارد؟

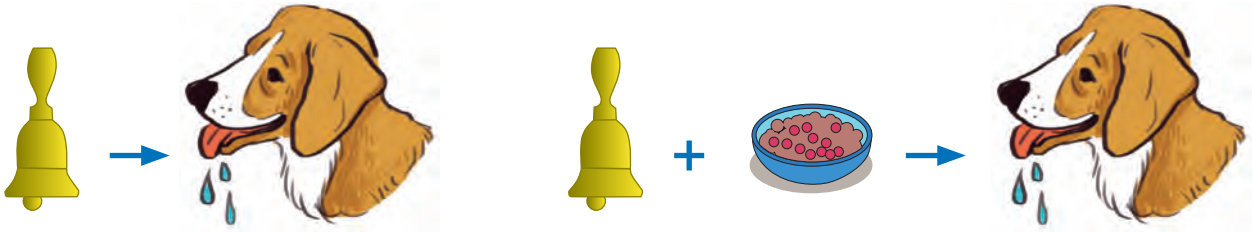


۱- Habituation

www.mrzist.org

شرطی شدن کلاسیک: وقتی جانوری مانند سگ غذا می‌بیند و یا بوی آن را احساس می‌کند، بزاق او ترشح می‌شود. غذا محرک و ترشح بزاق، پاسخی غریزی و یک بازتاب طبیعی است. دانشمندی به نام پاولوف آزمایش‌های متعددی در این باره انجام داد. او متوجه شد بزاق سگ، با دیدن فرد غذادهنده و قبل از دریافت غذا نیز ترشح می‌شود. پاولف آزمایشی طراحی کرد و در آن هم‌زمان با دادن پودر گوشت به سگ گرسنه، زنگی را به صدا درآورد. با تکرار این کار، سگ بین صدای زنگ و غذا ارتباط برقرار کرد، طوری که بزاق آن با شنیدن صدای زنگ و حتی بدون دریافت غذا نیز ترشح می‌شد. صدای زنگ در ابتدا یک محرک بی‌اثر بود ولی وقتی با محرک طبیعی یعنی غذا همراه شد، سبب بروز پاسخ ترشح بزاق شد (شکل ۴). صدای زنگ یک **محرک شرطی** است زیرا درصورتی می‌تواند موجب بروز پاسخ شود که با یک محرک طبیعی همراه شود. این نوع یادگیری **شرطی شدن کلاسیک**[1] نام دارد.

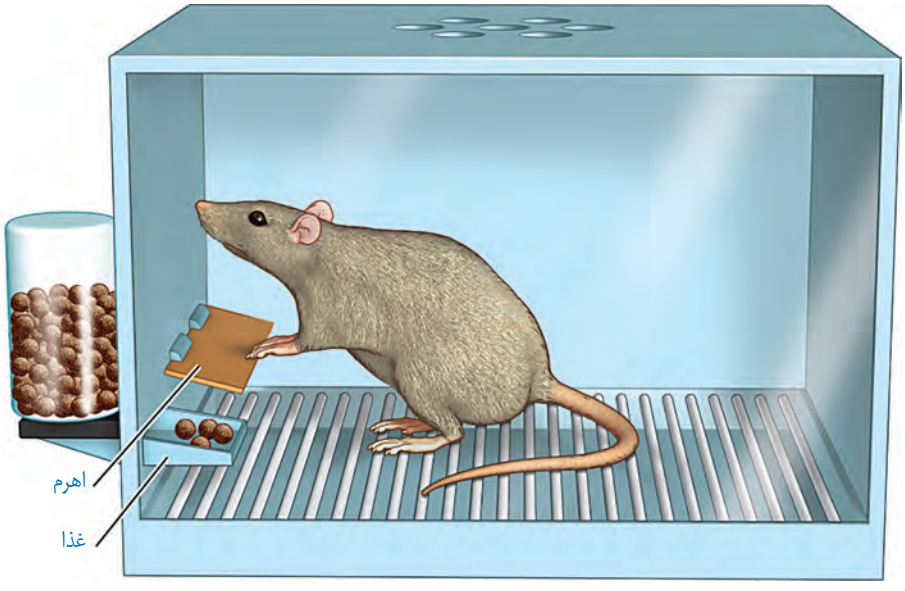
شکل ۴ـ الف) وقتی محرک شرطی (صدای زنگ) با محرک طبیعی (غذا) همراه شود.
ب) محرک شرطی به تنهایی می‌تواند سبب پاسخ ترشح بزاق شود.



الف)

ب)

شرطی شدن فعال: نوعی دیگر از شرطی شدن، **شرطی شدن فعال**[2] یا یادگیری با آزمون و خطا نام دارد. در نخستین آزمایش‌های مربوط به این نوع یادگیری، دانشمندی به نام اسکینر موش گرسنه‌ای را در جعبه‌ای قرار داد که درون آن اهرمی وجود داشت و موش می‌توانست آن را فشار دهد (شکل ۵). موش درون جعبه حرکت می‌کرد و به طور تصادفی اهرم درون جعبه را فشار می‌داد. در نتیجه، تکه‌ای



شکل ۵ـ موش در جعبه اسکینر

بیشتر بدانید

تاریخ علم

ایوان پتروویچ پاولوف (۱۹۳۶ـ۱۸۴۹) کار اندام‌شناس (فیزیولوژیست) روسی است که در سال ۱۹۰۴ برندهٔ جایزه نوبل کار اندام‌شناسی و پزشکی شد. او بیشتر به علت پژوهش دربارهٔ بازتاب شرطی مشهور است (نفر دوم از راست).

۱- Classical Conditioning
۲- Operant Conditioning

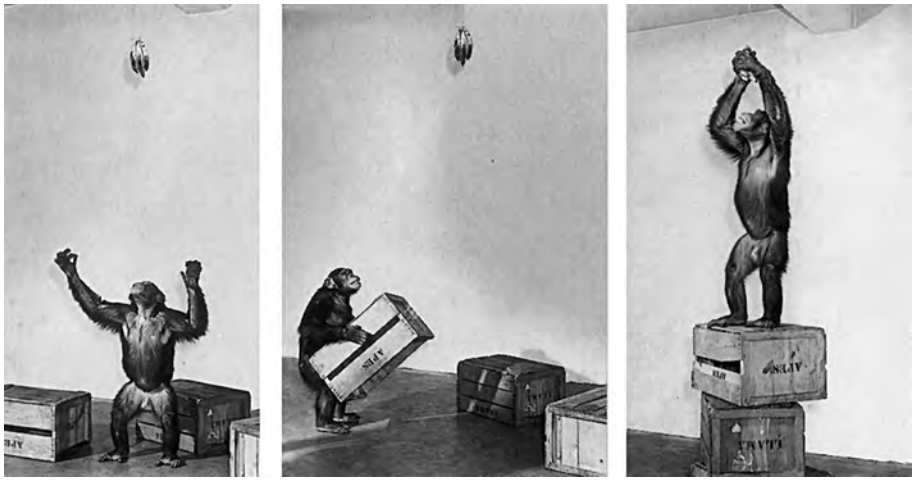
www.mrzist.org

غذا به درون جعبه می‌افتاد و موش غذا دریافت می‌کرد. پس از چندبار تکرار این رفتار، موش به ارتباط بین فشار دادن اهرم و پاداش یعنی به دست آوردن غذا پی برد. موش پس از آن به‌طور عمدی، اهرم را فشار می‌داد تا غذا به دست آورد. در شرطی شدن فعال، جانور می‌آموزد بین رفتار خود با پاداش یا تنبیهی که دریافت می‌کند، ارتباط برقرار کرده و در آینده رفتاری را تکرار یا از انجام آن خودداری می‌کند.

فعّالیت ۲

پرنده‌ای که در شکل زیر می‌بینید، پروانه مونارک را بلعیده و دچار تهوع شده است. پس از چنین تجربه‌هایی پرنده می‌آموزد، این حشره را نباید بخورد. چگونگی آموختن این رفتار را بر اساس یادگیری شرطی شدن توضیح دهید.

حل مسئله: برخی از جانوران می‌توانند از تجربه‌های قبلی خود برای حل مسئله‌ای که با آن روبه‌رو شده‌اند، استفاده کنند. در یکی از آزمایش‌های مربوط به این رفتار، شامپانزه‌ای را در اتاقی گذاشتند که تعدادی موز از سقف آن آویزان بود و چند جعبهٔ چوبی هم در اتاق وجود داشت. شامپانزه پس از چند بار بالا پریدن و تلاش ناموفق برای رسیدن به موزها، جعبه‌ها را روی هم قرار داد، از آنها بالا رفت و به موزها دست یافت (شکل ۶). در رفتار **حل مسئله**[۱]، جانور بین تجربه‌های گذشته و موقعیت جدید ارتباط برقرار می‌کند و با استفاده از آنها برای حل مسئلهٔ جدید، آگاهانه برنامه‌ریزی می‌کند.



شکل ۶ـ حل مسئله در شامپانزه

۱- Problem Solving

بیشتر بدانید

تاریخ علم

بوروس فردریک اسکینر (۱۹۰۴-۱۹۹۰) روان‌شناس آمریکایی و از بنیان‌گذاران یادگیری از دیدگاه رفتارگرایی است. دستگاهی را که او برای بررسی رفتار شرطی شدن فعال جانوران به کار می‌برد و جعبه اسکینر نام دارد، از اختراعات خود اوست.

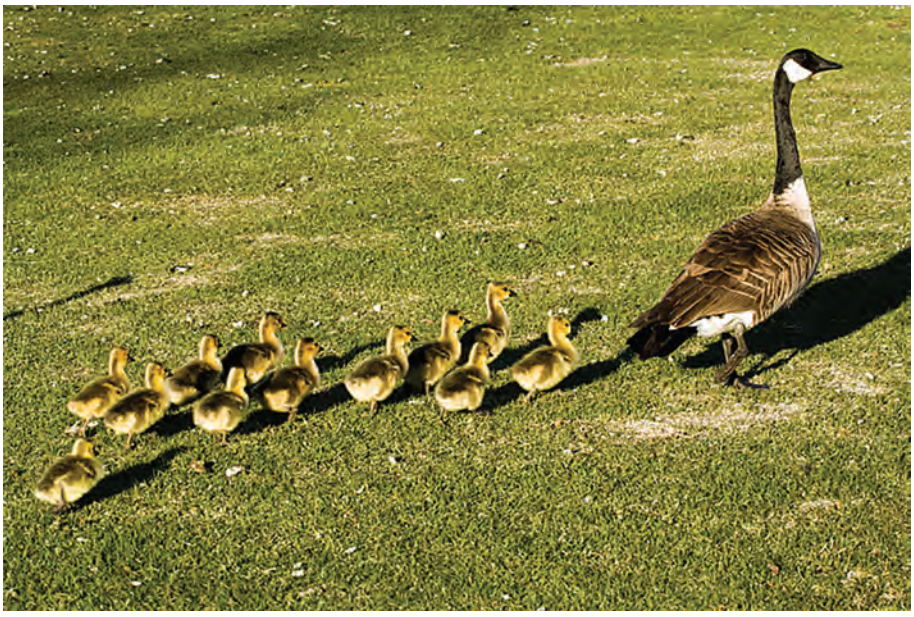
www.mrzist.org

رفتارشناسان حل مسئله جانوران را در محیط طبیعی نیز بررسی کرده‌اند. شامپانزه‌ها برگ‌های شاخهٔ نازک درختان را جدا می‌کنند و آن را درون لانهٔ موریانه‌ها فرو می‌برند تا موریانه‌ها را بیرون بیاورند و بخورند. این جانوران از تکه‌های چوب یا سنگ به شکل سندان و چکش استفاده می‌کنند تا پوستهٔ سخت میوه‌ها را بشکنند. کلاغ سیاهی که در شکل ۷ می‌بینید، کشف کرده است که چگونه تکه گوشت آویزان به انتهای نخ را به دست آورد. جانور هر بار بخشی از نخ را با منقار خود بالا می‌کشد و پنجهٔ پای خود را روی آن قرار داده و سرانجام به گوشت دست پیدا می‌کند.

شکل ۷ــ حل مسئله در کلاغ: کلاغ با جمع کردن نخ تکه گوشت را بالا می‌کشد.

نقش‌پذیری: جوجه غازها پس از بیرون آمدن از تخم، نخستین جسم متحرکی را که می‌بینند، دنبال می‌کنند. جسم متحرک معمولاً مادر آنهاست (شکل ۸). این دنبال کردن موجب پیوند جوجه‌ها با مادر می‌شود. پیوند جوجه غازها و مادرشان در نتیجهٔ نوعی یادگیری به نام **نقش‌پذیری**[۱] ایجاد می‌شود. نقش‌پذیری نوعی یادگیری است که در دورهٔ مشخصی از زندگی جانور انجام می‌شود. نقش‌پذیری جوجه غازها طی چند ساعت پس از خروج از تخم رخ می‌دهد. این زمان، دورهٔ حساسی است که در آن نقش‌پذیری با بیشترین موفقیت انجام می‌شود. جوجه غازها با نقش‌پذیری مادر خود را می‌شناسند. این شناسایی برای بقای جوجه‌ها حیاتی است، بدون آن جوجه‌ها تحت مراقبت مادر قرار نمی‌گیرند و ممکن است بمیرند. افزون بر آن، جوجه‌ها با نقش‌پذیری، رفتارهای اساسی مانند جست‌وجوی غذا را نیز از مادر یاد می‌گیرند. نقش‌پذیری در پستانداران نیز دیده می‌شود، مثلاً بره‌هایی که مادر خود را از دست داده‌اند و انسان آنها را پرورش داده است، دنبال او راه می‌افتند و تمایلی برای ارتباط با گوسفندهای دیگر نشان نمی‌دهند.

امروزه پژوهشگران می‌کوشند از نقش‌پذیری در حفظ گونه‌های جانوران در خطر انقراض استفاده کنند. مثلاً آنها برای پرورش جوجه پرنده‌هایی که والدین خود را از دست داده و تحت مراقبت انسان به دنیا آمده‌اند، صدای پرندگان همان گونه را پخش می‌کنند. افرادی که از این جوجه‌ها نگهداری می‌کنند، ظاهر خود را شبیه آن پرنده کرده و مانند آنها رفتار می‌کنند.



شکل ۸ــ نقش‌پذیری جوجه غازها نسبت به مادر خود

۱- Imprinting

www.mrzist.org

برهم کنش غریزه و یادگیری

بیشتر رفتارهای جانوران محصول برهم کنش ژن‌ها و اثرهای محیطی است که جانور در آن زندگی می‌کند. همان‌طور که در رفتار درخواست غذای جوجه کاکایی دیدیم، این رفتار غریزی به‌طور کامل در جوجه‌ای که از تخم بیرون می‌آید، بروز پیدا نمی‌کند. برای شکل‌گیری کامل آن، برهم کنش جوجه و والدین و کسب تجربه لازم است. جانور اساس ژنی لازم برای انجام این رفتار را دارد و همچنان که رشد می‌کند از آموخته‌های خود از محیط تجربه به‌دست می‌آورد و آنها را برای تغییر و اصلاح رفتار قبلی به کار می‌برد. یادگیری برای بقای جانوران لازم است، زیرا محیط جانوران همواره در حال تغییر است. برای آنکه جانوران بتوانند در این شرایط در حال تغییر زندگی کنند، باید بتوانند به تغییرات پاسخ‌های مناسبی بدهند. به این ترتیب، برهم کنش ژن‌ها و یادگیری امکان سازگار شدن جانور با این تغییرات را فراهم می‌آورد.

بیشتر بدانید

تاریخ علم

بررسی نقش‌پذیری در غازها از پژوهش‌های کنراد لورنز اتریشی (۱۹۸۹ــ۱۹۰۳) است. لورنز در آزمایش خود جوجه غازهایی را در دستگاه جوجه‌کشی پرورش داد، لورنز نخستین جسمی بود که جوجه‌ها پس از بیرون آمدن از تخم دیدند. آنها او را دنبال کردند و نسبت به او نقش‌پذیر شدند.

فعّالیت ۳

الف) شقایق دریایی با تحریک مکانیکی (تماس)، بازوهای خود را منقبض می‌کند اما به حرکت مداوم آب پاسخی نمی‌دهد. چرا؟

ب) رام‌کنندگان جانوران چگونه انجام حرکات نمایشی در سیرک را به آنها می‌آموزند؟

www.mrzist.org

گفتار ۲ انتخاب طبیعی و رفتار

پژوهشگران در بررسی یک رفتار تلاش می کنند به دو نوع پرسش پاسخ دهند. پرسش نوع اول اینکه جانور چگونه رفتاری را انجام می دهد؟ برای پاسخ به این پرسش پژوهشگران فرایندهای ژنی، رشد ونمو و عملکرد بدن جانور را بررسی می کنند. پرسش نوع دوم این است که چرا جانور رفتاری را انجام می دهد؟ پرسش دوم به دیدگاه انتخاب طبیعی مربوط است. مثال زیر را بخوانید.

پرنده کاکایی پس از آنکه جوجه هایش از تخم بیرون می آیند، پوسته های تخم را از لانه خارج می کند. جوجه ها و تخم های کاکایی در میان علف های اطراف آشیانه به خوبی استتار می شوند (شکل ۹). البته رنگ سفید داخل پوسته تخم های شکسته بسیار مشخص است.

الف)

ب)

شکل ۹ـ الف) جوجه های کاکایی
ب) تخم های کاکایی

چرا کاکایی پوسته های تخم را از لانه خارج می کند؟ برای یافتن پاسخ این پرسش، پژوهشگری آزمایشی را طراحی کرد. او تخم های مرغ خانگی را شبیه تخم های کاکایی رنگ آمیزی کرد و آنها را در محل آشیانه سازی کاکایی ها، قرار داد. پژوهشگر در کنار تعدادی از این تخم ها، پوسته تخم های شکسته کاکایی را نیز قرار داد. او مشاهده کرد کلاغ ها بیشتر تخم مرغ هایی را که کنار پوسته های تخم کاکایی قرار داشتند، پیدا کرده و آنها را خوردند. رنگ سفید داخل پوسته تخم های شکسته، راهنمای کلاغ ها بود. پژوهشگر نتیجه گرفت کاکایی ها رفتار دور انداختن پوسته تخم های شکسته از لانه را برای کاهش احتمال شکار شدن و افزایش احتمال بقای جوجه ها انجام می دهند. کاکایی ها زمان بسیار کوتاهی را برای بیرون بردن پوسته تخم ها صرف می کنند اما این رفتار در بقای زاده های آنها نقشی حیاتی دارد. این رفتارِ کاکایی ها سازگارکننده است زیرا احتمال دسترسی شکارچی به زاده ها کاهش و احتمال بقای آنها را افزایش می دهد و به سود پرنده و زاده های آن است. رفتارهای سازگارکننده با سازوکار انتخاب طبیعی، برگزیده می شوند.

در رفتارشناسی با دیدگاه انتخاب طبیعی، پژوهشگران برای پاسخ به پرسش چرایی رفتارها و اثر انتخاب طبیعی در شکل دادن به آنها پژوهش می کنند. آنها نقش سازگارکنندگی رفتارهای گوناگون و به عبارتی نقش رفتارها را در بقا و زادآوری بیشتر جانوران بررسی می کنند. این کار با بررسی سود و هزینهٔ رفتار برای جانور، انجام می شود.

www.mrzist.org

فعّالیت ۴

در پژوهش دربارهٔ رفتار بیرون انداختن پوسته تخم در کاکایی‌ها:
الف) پژوهشگر چه فرضیه‌ای را دنبال می‌کرد؟
ب) چرا پژوهشگر فقط در کنار تعدادی از تخم مرغ‌های رنگ‌آمیزی شده، پوسته تخم کاکایی قرار داد؟

بیشتر بدانید

تاریخ علم

بررسی رفتار بیرون انداختن پوسته‌های تخم در کاکایی از پژوهش‌های نیکولاس تین برگن (۱۹۸۸ـ۱۹۰۷) است.

زادآوری (تولیدمثل)

داشتن بیشترین تعداد زاده‌های سالم، معیاری برای موفقیت زادآوری در جانوران است. جانوران برای دستیابی به موفقیت در زادآوری (تولید مثل)، رفتارهای زادآوری انجام می‌دهند. **انتخاب جفت** یکی از این رفتارهاست. در رفتار انتخاب جفت، جانور ابتدا ویژگی‌های جفت را بررسی می‌کند و بعد تصمیم می‌گیرد با آن جفت‌گیری کند یا نه. برای مثال انتخاب جفت را در طاووس بررسی می‌کنیم. ویژگی‌های ظاهری طاووس‌های نر و ماده متفاوت است. در فصل زادآوری دم طاووس نر، پرهای پرنقش و نگاری پیدا می‌کند. طاووس نر برای جلب جفت، دم خود را مانند بادبزن می‌گستراند تا بهتر در معرض دید جانور ماده قرار گیرد. طاووس ماده دم طاووس‌های نر را بررسی می‌کند و نری را به‌عنوان جفت انتخاب می‌کند که رنگ درخشان و لکه‌های چشم مانند بیشتری روی پرهای دم خود داشته باشد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰ـ لکه‌های چشم مانند دم طاووس نر

در جانوران، ماده‌ها بیشتر از نرها رفتار انتخاب جفت را انجام می‌دهند. چرا چنین است؟ در جانوران هر یک از والدین باید انرژی و مدت زمانی را برای زادآوری و پرورش زاده‌ها صرف کنند. جانوران ماده معمولاً زمان و انرژی بیشتری صرف می‌کنند. برای مثال نگهداری از تخم‌ها و جوجه‌ها در پرندگان و بارداری و شیردادن به نوزادان در پستانداران فعالیت‌های پرهزینه‌ای هستند که جانوران ماده آنها را انجام می‌دهند. بنابراین، تولیدمثل برای آنها هزینهٔ بیشتری دارد. پس جانوران ماده باید جفت انتخاب کنند تا موفقیت تولیدمثلی آنها تضمین شود.

شاید برای شما این پرسش مطرح شده باشد که پرهای زینتی دم طاووس نر با موفقیت زادآوری جانور ماده چه ارتباطی دارد؟ پژوهش‌ها نشان داده‌اند، جانوران ماده در انتخاب جفت به ویژگی‌های ظاهری نرها توجه می‌کنند. درخشان بودن رنگ پرنده یکی از این ویژگی‌هایی است که نشانهٔ سلامت و

www.mrzist.org

کیفیت رژیم غذایی آن است. جفت‌گیری با نری که این نشانه را دارد، سلامت جانور ماده و زاده‌هایش را تضمین می‌کند. ویژگی‌های ظاهری جانور نر نشانه‌ای از داشتن ژن‌های مربوط به صفات سازگارکننده نیز هستند؛ یعنی گرچه دم بلند و زینتی طاووس نر ممکن است حرکت جانور را دشوار و آن‌را در مقابل شکارچی‌ها آسیب‌پذیرتر کند و احتمال بقای آن را کاهش دهد، اما بقای جانوری با این ویژگی هنگام تولیدمثل، سازگارتر بودن آن را نشان می‌دهد. در نتیجه در صورت انتخاب آن، زاده‌ها علاوه بر ویژگی ظاهری، ژن‌های صفات سازگارتر را نیز به ارث می‌برند. ویژگی‌های ظاهری مانند دم زینتی طاووس نر یا شاخ گوزن نر از صفات ثانویهٔ جنسی جانوران نر هستند که هنگام جفت یابی و رقابت با نرهای دیگر به‌کار می‌روند.

البته در گونه‌های مختلف جانوران، انتخاب جفت را فقط جانوران ماده انجام نمی‌دهند. در نوعی جیرجیرک، جانور نر هزینهٔ بیشتری در تولیدمثل می‌پردازد و بنابراین جفت را انتخاب می‌کند. جیرجیرک نر زامه‌های خود را درون کیسه‌ای به همراه مقداری مواد مغذی به جانور ماده منتقل می‌کند. جانور ماده هنگام تشکیل تخم و برای رشدونمو جنین به مواد مغذی درون کیسه نیاز دارد (شکل ۱۱). این کیسه بخش قابل‌توجهی از وزن بدن جانور نر را تشکیل می‌دهد. جانور نر، جیرجیرک ماده‌ای را انتخاب می‌کند که بزرگ‌تر باشد، زیرا بزرگ‌تر بودن جیرجیرک ماده نشانهٔ آن است که تخمک‌های بیشتری دارد و می‌تواند زاده‌های بیشتری تولید کند. در این جانوران جیرجیرک‌های ماده برای انتخاب شدن رقابت می‌کنند.

شکل ۱۱ــ جیرجیرک ماده‌ای که کیسه دارای اسپرم و مواد مغذی (بخش سفیدرنگ) را دریافت کرده است.

رفتار تولیدمثلی دیگر در جانوران، نوع **نظام جفت‌گیری** آنهاست. طاووس نر نظام جفت‌گیری **چند همسری** دارد.در این نظام یکی از والدین پرورش و نگهداری زاده‌ها را انجام می‌دهد. طاووس نر در نگهداری زاده‌ها نقشی ندارد، البته می‌تواند با نگهداری از قلمرو، منابع غذایی، محل لانه و پناهگاه ایمن از شکارچی‌ها، به‌طور غیرمستقیم به ماده‌ها کمک کند. در نتیجه، موفقیت تولیدمثلی هر دو جانور

www.mrzist.org

نر و ماده افزایش می‌یابد. بیشتر پستانداران نظام چندهمسری دارند و بیشتر پرندگان مثل قمری خانگی **تک‌همسر**اند. در این نظام هر دو والد هزینه‌های پرورش زاده‌ها را می‌پردازند. همچنین، در این نظام جانور نر و ماده در انتخاب جفت سهم مساوی دارند.

غذایابی

رفتار **غذایابی**[1] مجموعهٔ رفتارهای جانور برای جست‌وجو و به دست آوردن غذاست. غذاهایی که جانوران می‌خورند معمولاً اندازه‌های متفاوتی دارند. غذاهای بزرگ‌تر انرژی بیشتری دارند امّا ممکن است فراوانی آنها کمتر و به‌دست آوردن آنها دشوارتر باشد. بنابراین، برای جانوران میزان سود یعنی میزان انرژی موجود در غذا و هزینهٔ به‌دست آوردن غذا و مصرف آن اهمیت دارد. موازنه بین محتوای انرژی غذا و هزینهٔ به‌دست آوردن آن، **غذایابی بهینه**[2] نام دارد. براساس انتخاب طبیعی، رفتار غذایابی‌ای برگزیده می‌شود که از نظر میزان انرژی دریافتی کارآمدتر باشد یعنی اینکه جانور در هر بار غذایابی، بیشترین انرژی خالص را دریافت کند. برای مثال خرچنگ‌های ساحلی صدف‌های با اندازه متوسط را ترجیح می‌دهند زیرا آنها بیشترین انرژی خالص را تأمین می‌کنند. صدف‌های بزرگ‌تر انرژی بیشتری دارند امّا برای شکستن آنها باید انرژی بیشتری صرف شود.

هنگام غذایابی ممکن است جانور خود در خطر شکار شدن یا آسیب دیدن قرار گیرد. بنابراین رفتار برگزیده باید موازنه‌ای بین کسب بیشترین انرژی و کمترین خطر را نیز نشان دهد. به همین علت است که هنگام وجود شکارچی یا رقیب، جانوران رفتارهای غذایابی خود را تغییر می‌دهند و در حالتی آماده و گوش به زنگ به غذایابی مشغول می‌شوند.

گاهی جانوران غذایی را مصرف می‌کنند که محتوای انرژی چندانی ندارد اما مواد موردنیاز آنها را تأمین می‌کند. برای مثال طوطی‌هایی که در شکل ۱۲ می‌بینید خاک رس می‌خورند تا مواد سمی حاصل از غذاهای گیاهی را در لولهٔ گوارش آنها خنثی کند.

شکل ۱۲ـ تغذیه طوطی‌ها از خاک رس

۱- Foraging
۲- Optimal Foraging

www.mrzist.org

شکل ۱۳ـ قلمروخواهی در قو ، سرخرود مازندران

قلمروخواهی: قلمرو یک جانور، بخشی از محدودهٔ جغرافیایی است که جانور در آن زندگی می‌کند. جانوران در برابر افراد هم‌گونه یا افراد گونه‌های دیگر از قلمرو خود دفاع می‌کنند. این رفتار **قلمروخواهی**[۱] نام دارد. جانور با رفتارهایی مانند اجرای نمایش و یا تهاجم به جانوران دیگر اعلام می‌کند که قلمرو متعلق به آن است. مثلاً یک پرنده با آواز خواندن سعی می‌کند از ورود پرندهٔ مزاحم به قلمرو خود جلوگیری کند. اگر آواز مؤثر نباشد، ممکن است پرندهٔ صاحب قلمرو برای بیرون راندن مزاحم به آن حمله کند (شکل ۱۳). این فعالیت‌ها نیازمند صرف زمان و مصرف انرژی است. تهاجم ممکن است به آسیب دیدن پرندهٔ صاحب قلمرو هم بینجامد. آواز خواندن ممکن است موقعیت پرنده را برای شکارچی آشکار کند. چرا پرنده هزینه‌های دفاع از قلمرو را می‌پذیرد؟ قلمروخواهی برای جانوران فایده‌هایی دارد: استفادهٔ اختصاصی از منابع قلمرو می‌تواند غذا و انرژی دریافتی جانور را افزایش دهد. امکان جفت‌یابی جانور و دسترسی به پناهگاه برای در امان ماندن از شکارچی نیز افزایش می‌یابد.

مهاجرت: هر ساله با آغاز فصل پاییز پرندگان مهاجر از سیبری و اروپا به تالاب‌ها و آبگیرهای شمال ایران مهاجرت می‌کنند. این پرنده‌ها پس از زمستان‌گذرانی، در اوایل بهار به سرزمین خود باز می‌گردند.

شکل ۱۴ـ پرندگان مهاجر به پناهگاه حیات‌وحش میانکاله مازندران

جابه‌جایی طولانی و رفت و برگشتی جانوران **مهاجرت** نام دارد. تغییر فصل و نامساعد شدن شرایط محیط و کاهش منابع موردنیاز، جانوران را وا می‌دارد به سوی زیستگاه‌های مناسب‌تر برای تغذیه، بقا و زادآوری مهاجرت کنند. مهاجرت رفتاری غریزی است که یادگیری نیز در آن نقش دارد. بررسی مهاجرت سارها نشان داده است سارهایی که تجربهٔ مهاجرت دارند بهتر از آنهایی که برای نخستین بار مهاجرت می‌کنند، مسیر مهاجرت را تشخیص می‌دهند.

در مسیر مهاجرت بسیاری از جانوران از جاهایی عبور می‌کنند که قبلاً در آنجاها نبوده‌اند. پس آنها چگونه در این محیط‌های ناآشنا، راه خود را پیدا می‌کنند؟ جانوران برای جهت‌یابی از نشانه‌های محیطی استفاده می‌کنند. مثلاً جهت‌یابی هنگام روز با استفاده از موقعیت خورشید و در شب با استفاده از موقعیت ستاره‌ها در آسمان انجام می‌شود.

وقتی هوا ابری است جانوران چگونه مسیر حرکت را تشخیص می‌دهند؟ آیا میدان مغناطیسی زمین در جهت‌یابی جانوران نقش دارد؟ برای پاسخ به این پرسش، پژوهشگران در یک روز ابری آهنربای کوچکی را روی سر کبوتر خانگی قرار دادند. با وجود این آهنربا، پرنده نتوانست مسیر درست را بیابد و به لانه باز گردد. پژوهشگران نتیجه گرفتند کبوتر خانگی می‌تواند موقعیت خود را نسبت به میدان مغناطیسی زمین احساس و با استفاده از آن جهت‌یابی کند. پژوهشگران در سر بعضی از پرنده‌ها ذرات

۱- Territorial Behavior

www.mrzist.org

آهن مغناطیسی‌شده نیز یافته‌اند. لاک‌پشت‌های دریایی ماده پس از طی مسافت‌های طولانی، برای تخم‌گذاری به ساحل دریا می‌آیند و پس از تخم‌گذاری دوباره به دریا باز می‌گردند. به‌نظر می‌رسد میدان مغناطیسی زمین در جهت‌یابی لاک‌پشت‌ها نیز نقش دارد.

خواب زمستانی و رکود تابستانی

برخی جانوران برای بقا، در زمستان، **خواب زمستانی**[1] دارند. در این حالت جانور به خواب عمیقی فرو می‌رود و یک دورهٔ کاهش فعالیت را طی می‌کند که در آن دمای بدن، مصرف اکسیژن، تعداد تنفس جانور و نیاز جانور به انرژی کاهش می‌یابد. پیش از ورود به خواب زمستانی، جانور مقدار زیادی غذا مصرف می‌کند و در بدن آن چربی لازم به مقدار کافی ذخیره می‌شود تا هنگام خواب به مصرف برسد. **رکود تابستانی**[2] نیز یک دورهٔ کاهش فعالیت است که در آن سوخت‌وساز جانور کاهش پیدا می‌کند. رکود تابستانی در جانورانی دیده می‌شود که در جاهای به‌شدت گرم مانند بیابان زندگی می‌کنند. این جانوران در پاسخ به نبود غذا یا دوره‌های خشک‌سالی، رکود تابستانی انجام می‌دهند.

بیشتر بدانید

خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در ایران زندگی می‌کند. برخی از این جانوران حالتی شبیه خواب زمستانی دارند و گاهی وقتی هوا گرم‌تر است از خواب بیدار می‌شوند. این خرس‌ها معمولاً از انسان دوری می‌کنند ولی خرس‌هایی که از خواب بیدار شده‌اند، ممکن است رفتاری تهاجمی داشته باشند..

عکس از حسین خادمی

خرس قهوه‌ای در پناهگاه حیات‌وحش دودانگه و چهاردانگه مازندران

فعّالیت ۵

لاک‌پشتی که در شکل روبه‌رو می‌بینید، حتی وقتی در آزمایشگاه قرار دارد و غذا و آب کافی دریافت می‌کند، رکود تابستانی را نشان می‌دهد. چرا رکود تابستانی را رفتاری ژنی می‌دانند؟

بیشتر بدانید

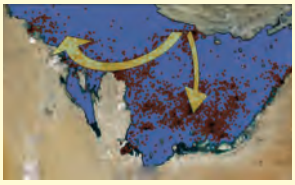
لاک‌پشت‌های دریایی منقار عقابی (*Eretmochelys imbricata*) به شدت در خطر انقراض قرار دارند. این جانوران در طول فصل زادآوری یعنی از اسفند تا تیرماه برای تخم‌گذاری به آب‌های منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان مهاجرت می‌کنند. پناهگاه حیات وحش و تالاب بین‌المللی شیدور و جزیرهٔ هندورابی در استان هرمزگان و جزایر ام‌الکرم و نخیلو در استان بوشهر مهم‌ترین مناطق لانه‌سازی این جانور است.

پروژهٔ ردیابی ماهواره‌ای مهاجرت لاک‌پشت‌های دریایی در منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان به پیشنهاد و حمایت مالی دفتر منطقه‌ای صندوق جهانی حیات‌وحش و بنیاد تحقیقات دریایی آژانس حفاظت محیط‌زیست ابوظبی و با مشارکت کشورهای ایران، قطر، امارات و عمان در فروردین سال ۱۳۸۹ با نصب پنج ردیاب روی لاک‌پشت‌های منقار عقابی در جزیره شیدور در ایران انجام شد.

عکس از اصغر مبارکی

لاک‌پشت منقار عقابی با ردیاب رادیویی

علائم دریافتی از ردیاب ماهواره‌ای ضمن کمک در شناسایی مسیرهای مهاجرت و مکان‌های تغذیه این جانوران، اطلاعات بسیار مهمی دربارهٔ رفتارهای تولیدمثلی و مهاجرتی آنها فراهم می‌سازد.



نمای کلی از مسیر حرکت لاک‌پشت‌های ایران و نقاط تجمع و تغذیهٔ لاک‌پشت‌های ردیابی شده

۱- Hibernation
۲- Aestivation

www.mrzist.org

گفتار ۳ ارتباط و زندگی گروهی

برخی از جانوران زندگی گروهی دارند. برای زندگی در گروه، جانوران باید بتوانند با هم ارتباط برقرار کنند.

ارتباط بین جانوران

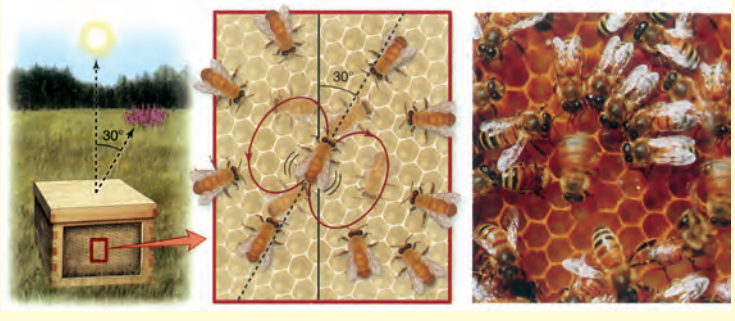
می‌دانید بعضی جانوران مانند زنبورها با استفاده از فرومون با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. جوجه کاکایی با لمس منقار والد با او ایجاد ارتباط و غذا درخواست می‌کند. جانوران از راه‌های گوناگون مانند تولید صدا، علامت‌های دیداری، بو و لمس کردن با یکدیگر ارتباط برقرار ساخته و اطلاعات مبادله می‌کنند. در نتیجهٔ این ارتباط، رفتار آنها تغییر می‌کند. صدای جیرجیرک نر، اطلاعاتی مانند گونه و جنسیت را به اطلاع جیرجیرک ماده می‌رساند. برقراری ارتباط برای یافتن غذا را در زنبورهای عسل بررسی می‌کنیم.

ارتباط در زنبورهای عسل: زنبورهای کارگر شهد و گردهٔ گل‌ها را جمع‌آوری کرده و به کندو می‌آورند. وقتی زنبور کارگر منبع غذایی جدیدی پیدا می‌کند و به کندو باز می‌گردد، خیلی طول نمی‌کشد که تعداد زیادی زنبور کارگر در محل آن منبع غذایی دیده می‌شوند. چرا چنین است؟

زنبور یابنده پس از بازگشت، اطلاعات خود دربارهٔ منبع غذایی را به زنبورهای دیگر ارائه می‌کند. این زنبور با انجام حرکات ویژه‌ای اطلاعات خود را به زنبورهای دیگر نشان می‌دهد. زنبورهای کارگر با مشاهدهٔ این حرکات، فاصلهٔ تقریبی کندو تا محل منبع غذا و جهتی را که باید پرواز کنند، درمی‌یابند. برای مثال هرچه این حرکات طولانی‌تر باشد، منبع غذایی دورتر است. افزون بر آن هنگام انجام حرکات، زنبور یابنده صدای وز وز متفاوتی نیز دارد. زنبورهای کارگر با استفاده از اطلاعات کلی که از زنبور یابنده دربارهٔ منبع غذایی دریافت کرده‌اند، به سمت آن پرواز و به کمک بویایی خود، محل دقیق غذا را پیدا می‌کنند. این روش برقراری ارتباط چه مزیتی برای زنبورها دارد؟ وقتی زنبورهای کارگر قبل از جست‌وجو دربارهٔ محل منبع غذا اطلاعات داشته باشند، با صرف انرژی کمتر و در زمان کوتاه‌تری محل دقیق آن را پیدا می‌کنند.

بیشتر بدانید

زنبور یابنده با انجام حرکات در زاویه‌ای مشخص با خط عمود، زاویهٔ بین منبع غذا، کندو و خورشید را نشان می‌دهد. مثلاً همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، منبع غذا در سمت راست خورشید با زاویه‌ای ۳۰ درجه قرار دارد.



بیشتر بدانید

کشف روش ارتباط در زنبورهای عسل از پژوهش‌های کارل فون فریش (۱۹۸۲ـ۱۸۸۶) است.

www.mrzist.org

زندگی گروهی

برخی جانوران مانند مورچه و گرگ به شکل گروهی زندگی می‌کنند و با هم همکاری دارند. زندگی گروهی برای این جانوران چه فایده‌ای دارد؟ جانوران از زندگی گروهی سود می‌برند. برای مثال احتمال شکار شدن جانور در گروه کمتر است زیرا نگهبان‌های گروه، محیط اطراف را زیر نظر می‌گیرند. دسترسی به منابع غذایی نیز ممکن است افزایش یابد زیرا همان‌طور که در زنبورهای عسل دیدید، جانور می‌تواند دربارهٔ محل منبع غذا از جانوران دیگر گروه اطلاعات کسب کند. شکار گروهی نیز موفقیت بیشتری دارد زیرا افراد یک گروه می‌توانند شکار بزرگ‌تری را به دام بیندازند.

اجتماع مورچه‌ها از گروه‌هایی تشکیل شده است که در اندازه، شکل و کارهایی که انجام می‌دهند تفاوت دارند. مثلاً در اجتماع مورچه‌های برگ‌بُر، کارگرها اندازه‌های متفاوتی دارند. تعدادی از آنها برگ‌ها را برش می‌دهند و به لانه حمل می‌کنند و گروهی دیگر کار دفاع را انجام می‌دهند (شکل ۱۵). این مورچه‌ها قطعه‌های برگ را به‌عنوان کود برای پرورش نوعی قارچ که از آن تغذیه می‌کنند، به‌کار می‌برند.

شکل ۱۵ــ مورچهٔ بزرگ‌تر کارگری است که برگ را به لانه حمل و مورچه‌های کوچک‌تر از آن دفاع می‌کنند.

رفتار دگرخواهی

در بین جانورانی که زندگی گروهی دارند، افراد نگهبانی هستند که با تولید صدا حضور شکارچی را به دیگران هشدار می‌دهند تا به موقع فرار کنند. البته آنها با این کار توجه شکارچی را به خود جلب کرده، احتمال بقای خود را کاهش می‌دهند (شکل ۱۶). زنبورهای عسل کارگر، نازا هستند و نگهداری و پرورش زاده‌های ملکه را انجام می‌دهند. جانوران نگهبان و زنبورهای عسل کارگر رفتار **دگرخواهی**[۱] دارند. دگرخواهی رفتاری است که در آن یک جانور بقا و موفقیت تولیدمثلی جانور دیگری را با هزینهٔ کاسته شدن

۱- Altruism

www.mrzist.org

از احتمال بقا و تولیدمثل خود، افزایش می‌دهد.

چرا جانوران رفتار دگرخواهی انجام می‌دهند؟

افراد نگهبان در گروه جانوران و یا زنبورهای عسل، رفتار دگرخواهی را نسبت به خویشاوندان خود انجام می‌دهند. آنها با خویشاوندانشان، ژن‌های مشترکی دارند. بنابراین اگرچه این جانوران خود زاده‌ای نخواهند داشت، ولی خویشاوندان آنها می‌توانند زادآوری کرده و ژن‌های مشترک را به نسل بعد منتقل کنند. به همین علت است که براساس انتخاب طبیعی، رفتار دگرخواهی برگزیده شده است.

شکل ۱۶ــ این دم عصایی (meerkat) درحال نگهبانی است. او در هنگام احساس وجود شکارچی دیگران را با فریاد آگاه می‌کند.

در نمونه‌ای دیگر از دگرخواهی جانوران با یکدیگر گروه همکاری تشکیل می‌دهند. برای مثال خفاش‌های خون‌آشام به‌طور گروهی درون غارها یا سوراخ درختان زندگی می‌کنند. غذای آنها خون پستانداران بزرگ مثل دام‌هاست (شکل۱۷). این خفاش‌ها خونی را که خورده‌اند با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند. خفاشی که غذا خورده است کمی از خون خورده شده را برمی‌گرداند تا خفاش گرسنه آن را بخورد. در غیر این‌صورت خفاش گرسنه خواهد مرد. خفاشی که غذا دریافت کرده، کار خفاش دگرخواه را در آینده جبران می‌کند. اگر جبران انجام نشود، این خفاش از اشتراک غذا کنار گذاشته می‌شود.

شکل ۱۷ــ خفاش خون‌آشام از خون پستانداران تغذیه می‌کند.

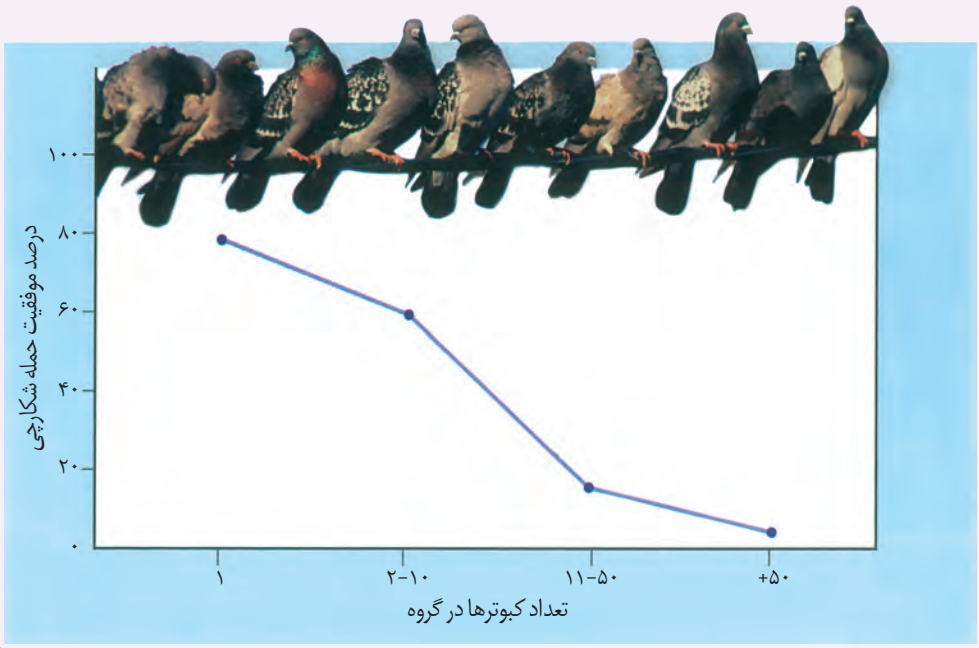
www.mrzist.org

خفاش‌هایی که دگرخواهی انجام می‌دهند، لزوماً خویشاوند نیستند. در واقع، رفتار دگرخواهی که در اثر انتخاب طبیعی برگزیده شده، به بقای آنها منجر می‌شود.

گاهی دگرخواهی، رفتاری به نفع خود فرد است. در میان پرندگان، افراد یاریگری هستند که در پرورش زاده‌ها به والدین آنها یاری می‌رسانند. مشخص شده است وجود این یاریگرها احتمال بقای زاده‌ها را افزایش می‌دهد. یاریگرها اغلب پرنده‌های جوانی‌اند که با کمک به والدین صاحب لانه، تجربه کسب می‌کنند و هنگام زادآوری می‌توانند از این تجربه‌ها برای پرورش زاده‌های خود استفاده کنند یا با مرگ احتمالی جفت‌های زادآور، قلمرو آنها را تصاحب و خود زادآوری کنند.

فعّالیت ۶

نمودار زیر مزیت زندگی گروهی را نشان می‌دهد، آن را تفسیر کنید.



www.mrzist.org

فهرست منابع

- Mason Kenneth, Duncan Tod, Johnson George, Losos Jonathan, Singer Susan, Understanding Biology, 2end Edition, McGraw-Hill, 2018.
- Raven Peter, Mason Kenneth, Losos Jonathan, Singer Susan, Biology, 11th Edition, McGraw-Hill,2017.
- Neil. Campbell Urry Lisa , Reece Jane, Cain Michael, Wasserman Steven, Minorsky Peter, Campbell, Biology, 11 th Edition , Pearson, 2017.
- Benjamin A. Pierce , Genetics: A Conceptual Approach, 6th Edition, Freeman, W. H. & Company, 2016.
- Solomon Eldera ,Berg Linda, Martin Diana, Biology, 10 Th Edition, Thomson, 2015.
- Mader Sylvia &Windelspecht Michael, Biology,11Th Edition,McGraw-Hill, 2013.
- Russel Hertz Mcmillan, Biology The Dynamic Science, 2end Edition, Broks/Cole, Cengage Learning, 2011.
- D. Peter Snustad , Michael J. Simmons,Principles of Genetics,6 th Edition, John Wiley and Sons, 2011.
- Alison M.Smith & et.al,plant Biology,Garland Science, 2010.
- Bernard R.Glick,Jack J. Pasternak ,Cheryl L. Patten, Molecular Biotechnology Principles and Applications of Recombinant DNA, 4 Th Edition, ASM Press, 2010
- Linda Berg,Introductory Botany ,Plants , People and Environment.Thomson Brooks, 2008.
- James D. Watson, Tania A. Baker, Stephen P. Bell, Alexander Gann, Michael Levine, Richard Losick. Molecular biology of the gene, 5th Edition, Pearson/Benjamin Cummings, 2004.
- Taiz & Zeiger, Plant Physiology, 3th Edition, Sinauer Association, 2003.
- Alcock John,Animal Behavior:An Evolutionary Approach, 7th Edition, sinauer associates Inc, 2001.

www.mrzist.org

واژه های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در کتاب زیست شناسی (۳) پایهٔ دوازدهم		
واژه بیگانه	واژه مصوب	واژه به انگلیسی
اگزون	بیانه	Exon
الل	دِگَره	Allele
اینترون	میانه	Intron
آنتی کدون	پادرمزه	Anticodon
پروکاریوت	پیش‌هسته ای	Prokaryote
پلازمید	دیسَک	Plasmid
پلی پلوئیدی	چندلادی	Polyploidy
تتراد	چهارتایه	Tetrad
دیجیتال	رقمی	Digital
دیمر	دوپار	Dimer
ریبوزوم	رِناتن	Ribosome
ژنوتیپ	ژن‌نمود	Genotype
ژنوم	ژنگان	Genome
سانتریفوژ	گریزانه	Centrifuge
فعالیت پلی‌مرازی	فعالیت بسپارازی	Polymerization
فنوتیپ	رخ‌نمود	Phenotype
فیزیولوژی	کاراندام شناسی	Physiology
کپسول	پوشینه	Capsule
کدون	رَمزه	Codon
کراسینگ اور	چلیپایی شدن	Crossing over
کروموزوم	فام‌تن	Chromosome
گلیکولیز	قند کافت	Glycolysis
یوکاریوت	هوهسته ای	Eukaryote

www.mrzist.org

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت کننده در اعتبارسنجی کتاب زیست شناسی ۳ ـ کد ۱۱۲۲۱۶

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	بتول جلیلی	خراسان جنوبی	۳۲	علی محمد نوری	کرمانشاه
۲	حسن توانایی بلوکی	هرمزگان	۳۳	خدیجه صوفیان	مرکزی
۳	پرویز بصیری	همدان	۳۴	مجتبی سیاوشی	همدان
۴	پروین غفاری	کردستان	۳۵	مهرزاد یزدانپناه	کهگیلویه وبویراحمد
۵	علی افتخاری	قزوین	۳۶	ناهید منور	خراسان شمالی
۶	مهران داوری فر	گلستان	۳۷	ملیحه رجب پور	سیستان وبلوچستان
۷	گیتی علیزاده مقدم	اصفهان	۳۸	حسن باقری	قم
۸	حمیده ملیخان	قزوین	۳۹	سکینه طبیبی	البرز
۹	سیده سحر سلیمانیان	گلستان	۴۰	فاطمه گورکانی	سمنان
۱۰	مجید اخلاصی	چهارمحال وبختیاری	۴۱	محمدحسین محمدی آبندانکشی	مازندران
۱۱	زهرا ضیاء	فارس	۴۲	آزاده اسراری	قم
۱۲	علیرضا تیموری	اصفهان	۴۳	مختار حیدری	چهارمحال وبختیاری
۱۳	فریبا زرابی	شهرتهران	۴۴	غلامحسن ویسکرمی	لرستان
۱۴	ابوالفضل یاسائی	کردستان	۴۵	عارفه منظمی	زنجان
۱۵	ابراهیم نبئی	مرکزی	۴۶	مهرانوش صفارپور	شهرستان‌های تهران
۱۶	علی اکبر رحیملوی مرجانی	آذربایجان شرقی	۴۷	مریم قاسم زاده دهکردی	خوزستان
۱۷	علی اصغر صفدری	خوزستان	۴۸	فرهاد حیدری	اردبیل
۱۸	فرانک نصیرپور	آذربایجان شرقی	۴۹	مهرداد فرخی	کرمانشاه
۱۹	شیوا خیرجوئی	آذربایجان غربی	۵۰	سیدرضا جعفری	کرمان
۲۰	علی صدق آمیز	گیلان	۵۱	مریم خدادادی	مازندران
۲۱	علی مقدم	گیلان	۵۲	مهدیه تقدیسی سیار	یزد
۲۲	مسعود پارسامجد	قزوین	۵۳	جعفر پوراکرمی	یزد
۲۳	ملیحه نظام دوست	خراسان جنوبی	۵۴	ثریا جلیلیان	اردبیل
۲۴	راضیه دانا	بوشهر	۵۵	آرش یار محمدی	شهرتهران
۲۵	شهرام سلطانی	فارس	۵۶	مریم ستوده	کهگیلویه وبویراحمد
۲۶	نجف سزاوار	کرمانشاه	۵۷	ماشاالله درویشی	بوشهر
۲۷	فاطمه مالکی	خراسان رضوی	۵۸	مهناز شفیعی زرنه	ایلام
۲۸	پریسا جاویدمهر	خوزستان	۵۹	مریم نبی زاده	هرمزگان
۲۹	مریم کاملی	شهرتهران	۶۰	الهه صفاریه	سمنان
۳۰	آیت الله رستمی	ایلام	۶۱	محمد باراج	سیستان وبلوچستان
۳۱	شبنم کیاکجوری	البرز	۶۲	علی اکبر عابدی	خراسان رضوی

www.mrzist.org

معلمـــان محتـــرم، صاحب‌نظـــران، دانش‌آمـــوزان عزیـــز و اولیـــای آنـــان می‌توانند نظر اصلاحـــی خود را دربـــارهٔ مطالب ایـــن کتـــاب از طریق نامـــه به نشـــانی تهران، صندوق پســـتی ۱۵۸۷۵/۴۸۷۴، گروه درســـی مربوطه و یا پیام‌نگار (Email) talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطهٔ نظری

www.mrzist.org