

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# زیست‌شناسی

دوره‌ی پیش‌دانشگاهی

رشته‌ی علوم تجربی

# محتوای این کتاب تا پایان سال تحصیلی ۹۲-۱۳۹۱ تغییر نخواهد کرد.

این کتاب در سال ۱۳۸۷ با همکاری آقایان حجة الاسلام دکتر حسین سوزنجی و دکتر علی اعظم خسروی بازبینی و اصلاح شده است.

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی

نام کتاب: زیست‌شناسی - ۲/۲۹۰

مؤلفان: محمد کرام‌الدینی، بهروز شاهسون بهبودی، وحید نیکنام، الهه علوی و سیدعلی آل‌محمد

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره‌ی ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۹۲۶۶۰۸۸۳، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت: [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

رسام: فاطمه رئیسبان فیروزآباد

صفحه‌آرا: مریم نصرتی

طراح جلد: مریم کیوان

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارویخش)

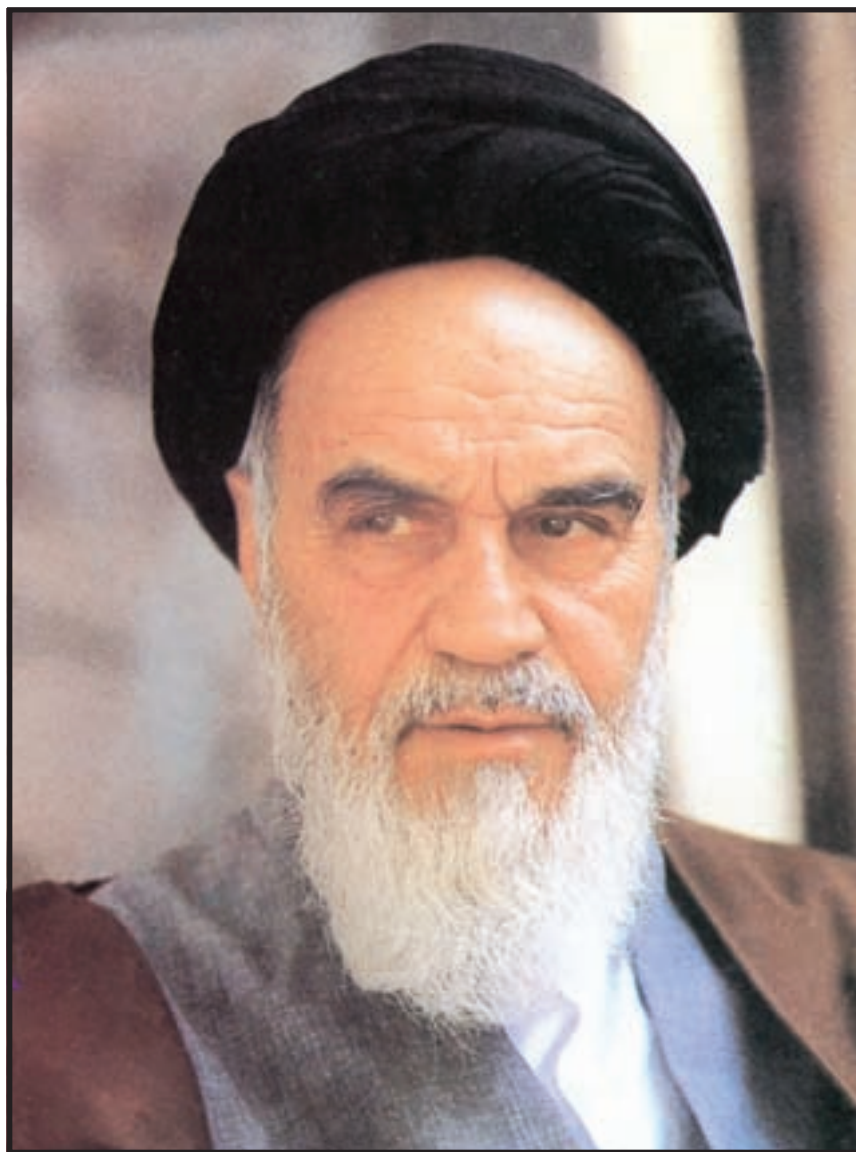
تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵/۶۸۴

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دهم ۱۳۹۰

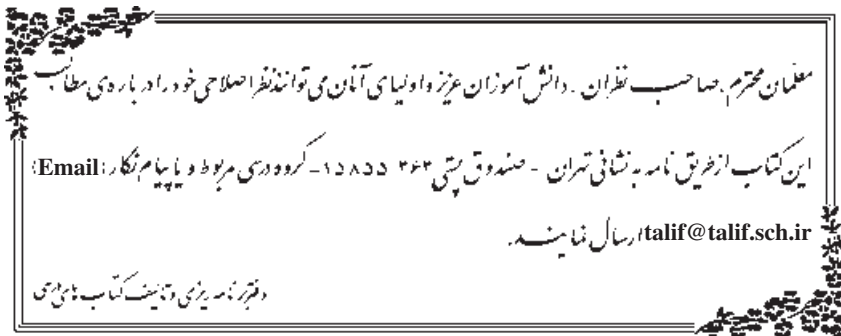
حق چاپ محفوظ است.

شابک ۷-۱۱۵۸-۵-۹۶۴-۰ ISBN 964-05-1158-7



مبارزه‌ی علمی برای جوانان، زنده کردن روح جست‌وجو و کشف  
واقعیت‌هاست.

امام خمینی



## فهرست

۱	سخنی با دانش آموزان عزیز
	بخش اول - گوناگونی و تغییر رمزهای زندگی
۴	فصل ۱: پروتئین سازی
۳۰	فصل ۲: تکنولوژی زیستی
	بخش دوم - گوناگونی و تحول جانداران
۵۵	فصل ۳: پیدایش و گسترش زندگی
۷۵	فصل ۴: تغییر و تحول گونه ها
۱۰۲	فصل ۵: ژنتیک جمعیت
۱۴۳	فصل ۶: بویایی جمعیت ها و اجتماعات زیستی
۱۷۰	فصل ۷: رفتارشناسی
	بخش سوم - گوناگونی مسیرهای زندگی
۱۹۳	فصل ۸: شارش انرژی در جانداران
۲۲۷	فصل ۹: ویروس ها و باکتری ها
۲۵۱	فصل ۱۰: آغازیان
۲۷۶	فصل ۱۱: قارچ ها
۲۹۶	بیوست ها
۳۱۶	فهرست منابع اصلی

**آموزش پنج فصل اول این کتاب برای نیمسال اول و آموزش  
بقیه‌ی آن برای نیمسال دوم تحصیلی در نظر گرفته شده است.**

### **سخنی با دانش‌آموزان عزیز**

کتابی که در دست دارید، چهارمین و آخرین کتاب از مجموعه‌ی کتاب‌های زیست‌شناسی دوره‌های متوسطه و پیش‌دانشگاهی است. هدف‌های این مجموعه‌ی چهارجلدی در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند: کسب دانستنی‌های لازم، کسب مهارت‌های لازم و کسب نگرش‌های لازم. بنابراین کسب دانستنی‌های زیست‌شناختی لازم که بی‌گمان در پژوهش‌های علمی کم‌اهمیت نیست، فقط یکی از سه گروه از هدف‌های این درس است. سعی بر این بوده است تا با درج فعالیت‌هایی در کتاب‌ها، بستری مناسب برای تقویت مهارت‌های علمی شما، در حد امکانات آموزشی، فراهم شود. بنابراین لازم است، تا آنجا که امکان دارد، این فعالیت‌ها را به نحوی که معلمتان صلاح می‌داند، انجام دهید.

موضوع اصلی این کتاب که پایان بخش نخستین دوره‌ی زیست‌شناسی شماست، گوناگونی و دگرگونی جانداران است. در بخش نخست کتاب، ابتدا به سرچشمه‌های این گوناگونی، یعنی به رمزهای زندگی می‌پردازیم و ساخت و کار ژن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم و سپس، در فصل دوم، توانایی انسان در تغییر دادن جانداران و مزایا و معایب این تغییرهای مصنوعی، با کمک روش‌های مهندسی ژنتیک را بررسی می‌کنیم.

بخش دوم را با کاوش در زمینه‌ی سرچشمه‌های زندگی در گستره‌ی تاریخ زمین آغاز می‌کنیم و به تاریخچه‌ی پیدایش و گسترش حیات می‌پردازیم. در فصل چهارم نظریه‌های مربوط به دگرگونی جانداران را از نظر می‌گذرانیم و آن‌گاه پس از بررسی اساس ژنتیک تحول گونه‌ها، به بررسی جمعیت و بویایی آن و روابط میان گونه‌ها در جوامع زیستی می‌پردازیم. اثرهای رقابت که در شکل‌گیری جوامع زیستی و بقای گونه‌ها اهمیت فراوان دارد، موضوع این فصل است. بخش دوم با بررسی انواع رفتارهای جانوران و تغییر آن در گذر زمان به پایان می‌رسد. توجه داشته باشید که مبحث رفتار محل تلاقی کلیه‌ی موضوع‌های زیست‌شناسی است که تاکنون خوانده‌اید. اگر رفتارشناسی را با نگاهی به تاریخچه‌ی تحول جانداران بررسی کنید، مفهوم هر رفتار را بهتر درک خواهید کرد.

در بخش سوم کتاب گوناگونی روش‌های زندگی جانداران را از دیدگاه چگونگی کسب و مصرف انرژی مورد توجه قرار می‌دهیم. در این مبحث، جذب و جریان انرژی در جهان زنده و روش‌های زندگی ویروس‌ها، باکتری‌ها، آغازیان و قارچ‌ها، که در کتاب‌های قبلی کم‌تر به آن‌ها پرداخته بودیم، مورد بحث قرار خواهند گرفت.

بدین ترتیب، تلاش شده است که با پایان گرفتن این کتاب موضوع‌های پایه‌ای زیست‌شناسی که شما شهروندان برای زیستن مسئولانه در جهان امروز و از سوی دیگر برای ادامه‌ی تحصیل بدان‌ها نیاز دارید، عرضه شود؛ تا بتوانید از آن‌ها برای حل مسایل زیستی خود، اطرافیان و جامعه‌تان یاری گیرید و با بهره‌گیری از توانایی‌های خود در زمینه‌های خلاقیت، حل مسئله و نیز کاربرد ابزارهای لازم در پیشبرد جامعه‌مان نقشی شایسته داشته باشید.

سایت گروه زیست‌شناسی <http://biology-dept.talif.sch.ir>

## گروه زیست‌شناسی

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

---

### توجه:

- ۱- در آزمون‌های پایانی و کنکور طرح سؤال از بخش‌های «بیش‌تر بدانید» این کتاب مجاز نیست.
- ۲- کلیه‌ی جدول‌ها و پیوست‌های این کتاب صرفاً به‌عنوان منبع اطلاعات برای دانش‌آموزان درج شده‌اند و طرح سؤال از آن‌ها در آزمون‌های پایانی و کنکوری به هیچ‌وجه مجاز نیست.

# بخش اول

گوناگونی و تغییر رمزهای زندگی



## پروتئین سازی

در سال گذشته با ساختار DNA و چگونگی همانندسازی آن آشنا شدیم و دانستیم که DNA، حاوی اطلاعات ژنتیک است. در این فصل در پی یافتن پاسخ این پرسش هستیم که در سلول از اطلاعات ژنتیک چگونه استفاده می‌شود.

### پیش نیازها

پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید:

- ساختار DNA را شرح دهید،
- چگونگی جهش را شرح دهید.



# ۱ از ژن تا پروتئین

بیماری آلکاپتونوریا<sup>۱</sup> نوعی بیماری ارثی است و بنابراین علت آن را می‌توان به ژن‌ها نسبت داد. ادرار افراد مبتلا به این بیماری در مجاورت هوا سیاه می‌شود، زیرا در آن ماده‌ای به نام هموجنتیسیک اسید<sup>۲</sup> وجود دارد. در ادرار افراد سالم این اسید وجود ندارد، زیرا آنزیم مخصوصی آن را تجزیه می‌کند. در سال ۱۹۰۹، پزشکی به نام آرچیبالد گرو<sup>۳</sup> بیان داشت که در بیماران مبتلا به آلکاپتونوریا آنزیم تجزیه‌کننده‌ی هموجنتیسیک اسید وجود ندارد. گرو در واقع توانست بین یک نقص ژنی (بیماری آلکاپتونوریا) و یک نقص آنزیمی (آنزیم تجزیه‌کننده‌ی هموجنتیسیک اسید) رابطه برقرار کند. به این ترتیب اندیشه‌های اولیه‌ی یکی از مهم‌ترین نظریه‌های زیست‌شناسی شکل گرفت. اندیشه‌ای که بیان می‌دارد «هر ژن مسئول ساختن یک آنزیم است».

در سال ۱۹۴۰ دو محقق به نام‌های جورج بیدل<sup>۴</sup> و ادوارد تیتوم<sup>۵</sup> آزمایشی انجام دادند که منجر به ارایه‌ی نظریه‌ی یک ژن – یک آنزیم شد.

این دو محقق برای بررسی عمل ژن از هاگ‌های قارچی به نام کپک نوروسپورا کراسا<sup>۶</sup> استفاده کردند. تا زمان بیدل و تیتوم بیش‌تر آزمایش‌ها روی صفات قابل مشاهده، مانند ژن‌های رنگ چشم در مگس سرکه، یا ژن‌های کنترل‌کننده‌ی رنگیزه‌ها در گیاهان انجام می‌گرفت. اما بیدل و تیتوم رویکرد جدیدی برای آزمایش‌های خود اتخاذ کردند. آنان جهش‌هایی را بررسی کردند که مربوط به ژن‌های کنترل‌کننده‌ی واکنش‌های مهم متابولیک، از قبیل تولید ویتامین‌ها و آمینواسیدها بود.

کپک نوروسپورا در لوله‌ی آزمایش حاوی مخلوط رقیقی از انواع نمک‌ها، کمی شکر و یک نوع ویتامین، به نام بیوتین، رشد می‌کند. مجموع این مواد را محیط کشت حداقل می‌نامند. این قارچ هاپلوئید است و در مدت زمان کوتاهی تعداد فراوانی هاگ تولید می‌کند. بیدل و تیتوم در آزمایش‌های خود از پرتوهای X برای ایجاد جهش در هاگ‌ها استفاده کردند. از سال گذشته به یاد دارید که هرگونه تغییر در ماده‌ی وراثتی را جهش می‌نامند. بعضی از این هاگ‌های پرتو دیده نمی‌توانستند در محیط کشت حداقل رشد کنند و فقط در صورتی رشد می‌کردند که به محیط کشت آن‌ها بعضی مواد آلی

۱\_ alkaptonuria

۲\_ homogentisic acid

۳\_ Archibald Garrod

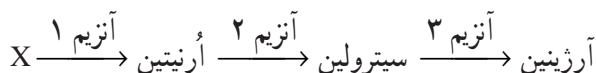
۴\_ George Beadle

۵\_ Edward Tatum

۶\_ *Neurospora crassa*

اضافه می‌شد (محیط کشت غنی شده). آنان هاگ‌هایی را که نمی‌توانستند روی محیط کشت حداقل رشد کنند جهش یافته نامیدند (شکل ۱-۱).

گروهی از این جهش یافته‌ها برای رشد نیاز به آمینواسید آرژینین<sup>۱</sup> داشتند. در سلول دو ماده‌ی آرژینین<sup>۱</sup> و سیترولین<sup>۲</sup> در مسیر سنتز آرژینین پیش ماده هستند. آرژینین خود از پیش ماده‌ی دیگری که آن را X می‌نامیم حاصل می‌شود. چون در سلول تبدیل هر ماده به ماده‌ی دیگر نیازمند نوعی آنزیم است، می‌توان ارتباط بین ماده‌ی X، آرژینین، سیترولین و آرژینین را به صورت مسیر متابولیکی زیر نشان داد:



بیدل و تیتوم مشاهده کردند که جهش یافته‌های نیازمند به آرژینین سه دسته‌اند: یک گروه از آن‌ها در صورتی رشد می‌کردند که به محیط کشت حداقل، آرژینین، سیترولین یا آرژینین اضافه شود. جهش یافته‌های گروه دوم آن‌هایی بودند که به محیط کشت آن‌ها باید سیترولین یا آرژینین اضافه می‌شد. سومین گروه از جهش یافته‌ها فقط در صورتی رشد می‌کردند که به محیط آن‌ها آرژینین اضافه می‌شد.

مسیر ساختن آرژینین با حذف هر یک از آنزیم‌ها متوقف می‌شود (چرا؟). بر همین اساس می‌توان گفت که در جهش یافته‌های گروه اول که قادر به ساختن آرژینین نیستند، آنزیم ۱ وجود ندارد. در جهش یافته‌های گروه دوم آنزیم ۲ وجود ندارد، به همین دلیل در این جهش یافته‌ها سیترولین به آرژینین تبدیل می‌شود، اما آرژینین نمی‌تواند به آرژینین تبدیل شود. در جهش یافته‌هایی که فقط در حضور آرژینین رشد می‌کنند، آنزیم ۳ به وجود نمی‌آید.

بیدل و تیتوم از این آزمایش‌ها نتیجه گرفتند که وقتی یک ژن آسیب می‌بیند، تولید یک آنزیم خاص نیز در سلول متوقف می‌شود. به عبارت دیگر هر ژن از طریق تولید یک آنزیم تأثیر خود را اعمال می‌کند.

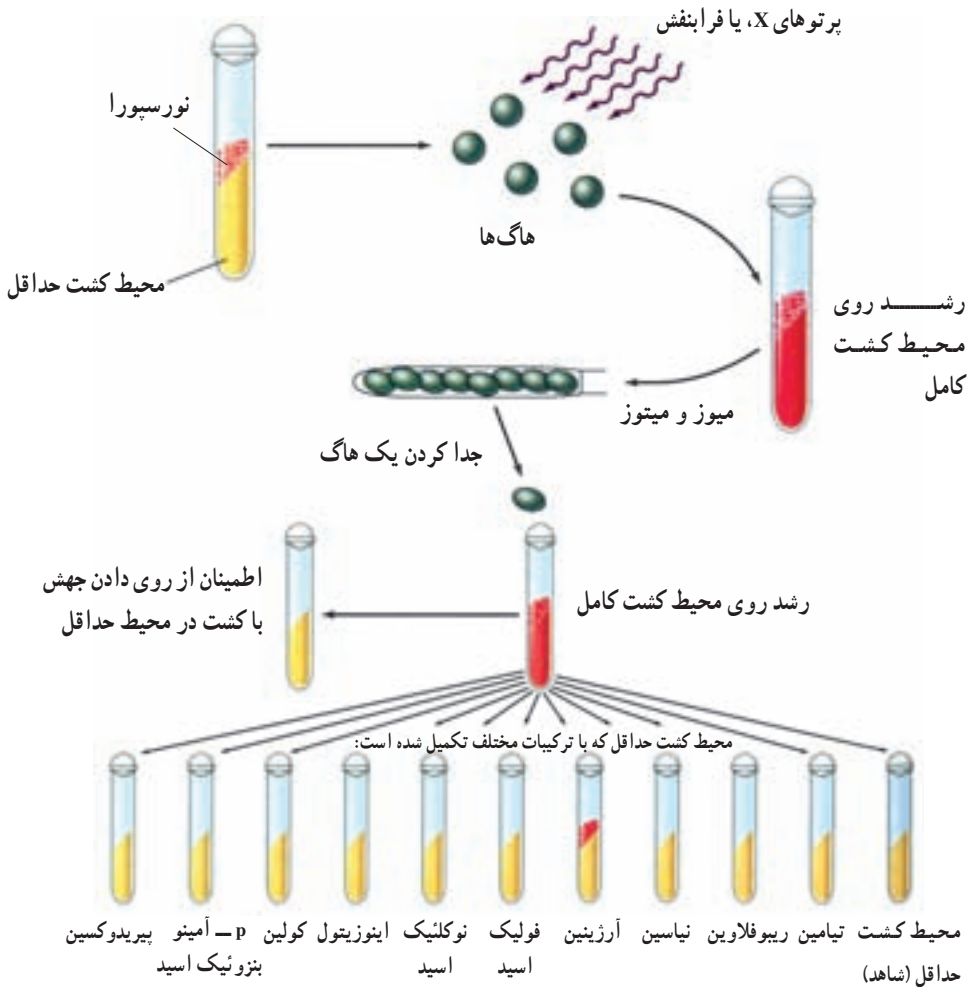
بیدل و تیتوم این ارتباط یک ژن به یک آنزیم را، نظریه‌ی یک ژن - یک آنزیم نامیدند. این عقیده که یک ژن تولید یک آنزیم را رهبری می‌کند، تا حدود یک دهه رواج داشت. تا این که مشخص شد بسیاری از ژن‌ها، پروتئین‌هایی را به رمز درمی‌آورند که آنزیم نیستند، از طرفی بعضی پژوهش‌ها مشخص کرد که بسیاری از پروتئین‌ها از چند زنجیره‌ی پلی‌پپتیدی تشکیل شده‌اند که

۱- arginine

۲- ornithine

۳- citrulline

تولید هر زنجیره را یک ژن خاص رهبری کرده است. حاصل این یافته‌ها منجر به تبدیل نظریه‌ی یک ژن - یک آنزیم به نظریه‌ی یک ژن - یک زنجیره‌ی پلی‌پپتیدی شد.



شکل ۱-۱- خلاصه‌ی آزمایش‌های بیدل و تیتوم روی کپک نوروسپورا کراسا. هنگامی که هاگ‌های هاپلوئید در معرض پروتو X قرار می‌گیرند، بعضی از آن‌ها قادر به رویش در محیط حداقل نیستند؛ بلکه فقط در محیط‌های غنی شده می‌رویند.

## رمزهای وراثتی

سال قبل دیدیم که DNA ماده‌ی ژنتیک و محل ذخیره‌ی اطلاعات است. اطلاعات در DNA به صورت رمز ذخیره شده‌اند. منظور از رمز علایمی است که از آن‌ها برای ذخیره‌سازی و انتقال

اطلاعات استفاده می‌شود. مثلاً زبان نوشتنی فارسی ۳۲ علامت رمز (حرف) دارد. می‌دانید که مولکول DNA مولکول بسیار بلندی است و در ساختار آن فقط چهار نوع نوکلئوتید به کار رفته است. بنابراین می‌توان گفت که زبان مولکول DNA به صورت یک الفبای چهار حرفی (A و C, G, T) است، که هر حرف نشان‌دهنده‌ی یک نوع نوکلئوتید است. دانستیم که از اطلاعات ژنتیک برای ساختن پروتئین استفاده می‌شود. پروتئین‌ها از ۲۰ نوع آمینواسید ساخته شده‌اند و هر پروتئین توالی آمینواسیدی مخصوص به خود را دارد. در واقع رمزهای موجود در DNA باید به نحوی تعیین‌کننده‌ی نوع و ترتیب آمینواسیدهای پروتئین‌ها باشند. اگر هر نوکلئوتید علامت رمز یک آمینواسید باشد، بازهای A, G, C و T علامت‌های رمز چهار نوع آمینواسید می‌شوند. بنابراین فقط چهار نوع آمینواسید علامت رمز خواهند داشت. بدیهی است که رمز یک حرفی جوابگوی ۲۰ آمینواسید نخواهد بود. در صورتی که رمز دو حرفی باشد فقط ۱۶ نوع آمینواسید علامت رمز خواهند داشت. بنابراین رمز دو حرفی نیز جوابگوی ۲۰ نوع آمینواسید نخواهد بود. در صورتی که رمز سه حرفی باشد، ۶۴ رمز سه حرفی به دست می‌آید که بیش‌تر از تعداد رمز لازم برای ۲۰ نوع آمینواسید است. در این صورت یک آمینواسید ممکن است بیش از یک رمز داشته باشد. در واقع رمزهای نوکلئیک اسیدها سه حرفی هستند.

### RNA رابطه‌ی بین DNA و پروتئین را برقرار می‌کند.

از اطلاعات موجود در DNA برای ساختن پروتئین‌ها استفاده می‌شود، اما جایگاه DNA در هسته و جایگاه پروتئین‌سازی در سیتوپلاسم است. بنابراین DNA نمی‌تواند مستقیماً برای ساختن پروتئین مورد استفاده قرار گیرد. به همین سبب، انتظار می‌رود نوعی مولکول میانجی، ارتباط بین DNA و ریبوزوم‌ها را برقرار کند.

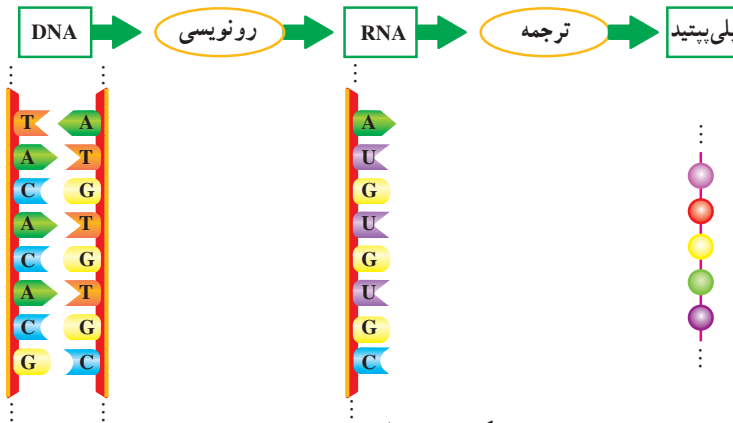
اندازه‌گیری‌های گوناگون نشان داده‌اند که در سلول‌هایی که در آن‌ها فعالیت پروتئین‌سازی شدید است، RNA فراوانی هم یافت می‌شود. برعکس، در سلول‌هایی که فرآیند پروتئین‌سازی در آن‌ها چندان شدید نیست، مقدار RNA نیز کم است. از طرف دیگر، RNA هم در هسته یافت می‌شود و هم در سیتوپلاسم. بر این اساس و نیز براساس آزمایش‌ها و مشاهدات دیگر، دانشمندان به این نتیجه رسیدند که این مولکول میانجی، RNA است. به این نوع RNA که اطلاعات را از DNA به ریبوزوم‌ها حمل می‌کند، RNA پیک می‌گویند و آن را با mRNA<sup>۱</sup> نشان می‌دهند. دو نوع RNA دیگر نیز در

<sup>۱</sup> messenger RNA

سلول وجود دارند که در فرآیند پروتئین سازی نقش های مهمی برعهده دارند. یکی RNA ناقل است که آن را با tRNA<sup>۱</sup> نشان می دهند. این مولکول آمینواسیدها را به ریبوزوم منتقل می کند، تا ریبوزوم آمینواسیدها را براساس اطلاعات موجود در mRNA کنار یکدیگر ردیف کند. دیگری RNA ریبوزومی است که آن را با rRNA<sup>۲</sup> نمایش می دهند. rRNA در ساختار ریبوزوم ها شرکت دارد.

## RNA از روی DNA ساخته می شود.

ساخته شدن RNA از روی DNA را رونویسی می گویند (شکل ۲-۱). رونویسی اولین قدم برای ساختن پروتئین هاست. رونویسی با کمک آنزیم RNA پلی مراز انجام می شود.



شکل ۲-۱- از ژن تا پلی پپتید

سلول های پروکاریوتی فقط یک نوع آنزیم RNA پلی مراز دارند. در سلول های یوکاریوتی سه نوع آنزیم RNA پلی مراز یافت شده است که آن ها را با علامت های I، II و III مشخص می کنند. RNA پلی مراز I فقط رونویسی ژن های rRNA و RNA پلی مراز II رونویسی پیش سازهای mRNA ها و نیز برخی از RNA های کوچک را انجام می دهند. RNA پلی مراز III رونویسی ژن های tRNA و نیز بعضی دیگر از RNA های کوچک را کاتالیز می کند. شکل ۳-۱ مراحل رونویسی پروکاریوت ها را به طور خلاصه نشان می دهد.

مرحله ۱: رونویسی با اتصال RNA پلی مراز به قسمتی از ژن به نام راه انداز ژن شروع می شود. راه انداز، قسمتی از DNA است که به RNA پلی مراز امکان می دهد رونویسی را از محل صحیح آغاز کند و مثلاً این کار را از وسط ژن شروع نکند. راه انداز در نزدیکی جایگاه آغاز رونویسی

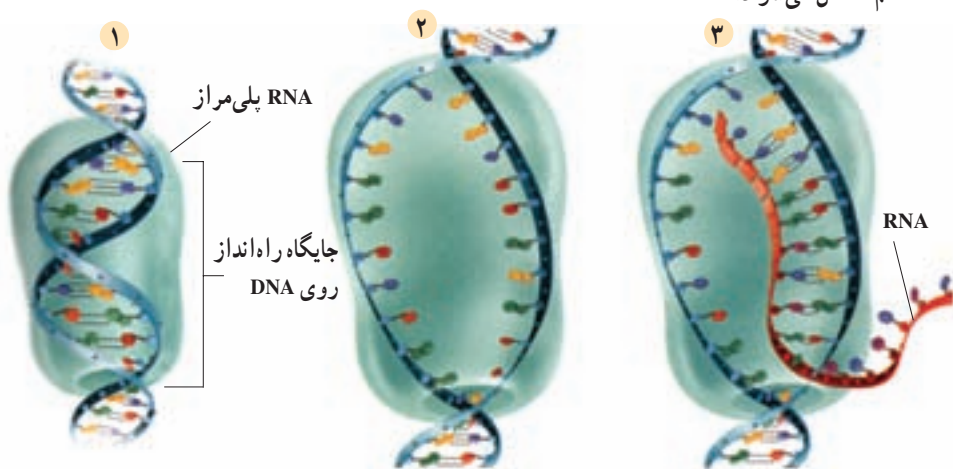
۱- transfer RNA

۲- ribosomal RNA

قرار دارد. جایگاه آغاز رونویسی، به اولین نوکلئوتیدی از DNA گفته می‌شود که رونویسی می‌شود.  
**مرحله ۲:** RNA پلی‌مراز دو رشته‌ی DNA را از یک‌دیگر باز می‌کند.

**مرحله ۳:** RNA پلی‌مراز هم‌چون قطاری که روی ریل حرکت می‌کند، در طول نوکلئوتیدهای DNA به حرکت درمی‌آید و در مقابل هر یک از دئوکسی‌ریبونوکلئوتیدهای DNA، ریبونوکلئوتید مکمل را قرار می‌دهد و به‌علاوه، هر ریبونوکلئوتید جدید را به ریبونوکلئوتید قبلی وصل می‌کند. در رونویسی نیز از همان قوانین جفت شدن بازها که در همانندسازی DNA به کار می‌رود، استفاده می‌شود. تنها تفاوت این است که در مقابل دئوکسی‌ریبونوکلئوتید A (آدنین دار) در DNA، ریبونوکلئوتید U (یوراسیل دار) در RNA قرار می‌گیرد. RNA پلی‌مراز، DNA و mRNA تازه ساخته شده، پس از رونویسی جایگاه پایان رونویسی، از یک‌دیگر جدا می‌شوند و مولکول mRNA برای مرحله‌ی بعدی یعنی ترجمه، آزاد می‌شود.

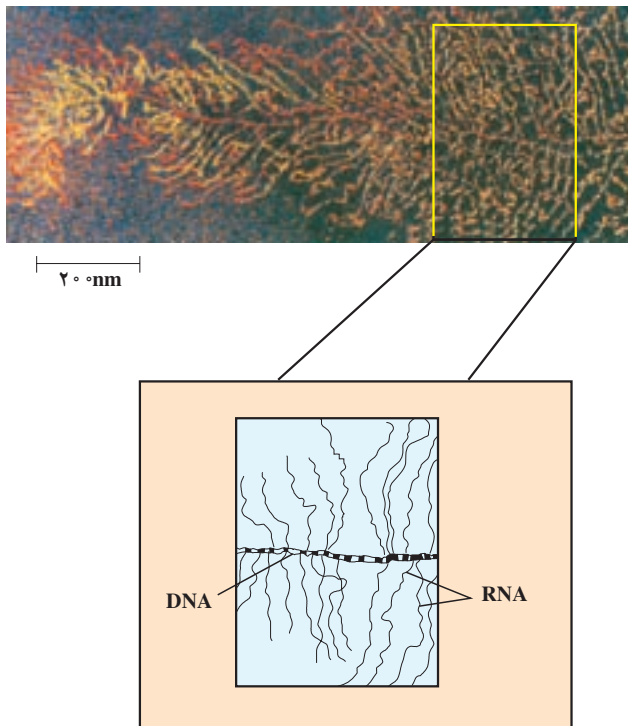
نوکلئوتیدهای مکمل در برابر	در منطقه‌ای نزدیک به راه‌انداز ژن،	RNA پلی‌مراز به راه‌انداز
یکی از رشته‌ها قرار می‌گیرند	پیچ و تاب DNA باز می‌شود و دو	ژن متصل می‌شود.
و به کمک RNA پلی‌مراز به	رشته‌ی آن از هم جدا می‌شوند.	
هم متصل می‌شوند.		



شکل ۳-۱- رونویسی. ساخته شدن mRNA براساس قسمتی از DNA.  
 RNA پلی‌مراز نوکلئوتیدهای مکمل را از روی الگوی ژن، در RNA جای می‌دهد.

چنان‌که مشاهده می‌شود رونویسی نیز، مانند همانندسازی DNA از نوکلئوتیدها به عنوان الگو برای ساختن یک مولکول جدید، بهره می‌برد. البته در همانندسازی DNA مولکول جدیدی که

ساخته می‌شود، DNA است؛ در حالی که در رونویسی مولکول ساخته شده از جنس RNA است. تفاوت دیگر این است که در همانندسازی DNA هر دو رشته، به عنوان الگو عمل می‌کنند، در صورتی که در رونویسی یکی از دو رشته‌ی DNA به عنوان الگو عمل می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، RNAهای ساخته شده از روی ژن، ساختار پرماندی را به نمایش می‌گذارند. در این شکل خط افقی میانی، DNAی است که از روی آن رونویسی در حال انجام است. رشته‌های منشعب، RNAهایی هستند که در حال ساخته شدن اند.



شکل ۴-۱- رونویسی یک ژن در سلول تخم یک دوزیست

بیش‌تر بدانید



اگر رونویسی از روی هر دو رشته‌ی DNA انجام شود چه روی می‌دهد؟ بدیهی است در این صورت دو نوع mRNA برای ساخته شدن دو نوع پلی‌پپتید مختلف به وجود می‌آید، یعنی ممکن است دو نوع پلی‌پپتید به‌طور همزمان ساخته شود.

مطابق نظریه‌ی یک ژن - یک پلی‌پپتید، این امر به وقوع نمی‌پیوندد، بلکه هر ژن فقط ساخته‌شدن یک نوع پلی‌پپتید را تنظیم می‌کند. به عبارت دیگر فقط یکی از دو رشته‌ی DNA الگوی رونویسی قرار می‌گیرد.

پژوهش‌ها نشان داده است که در بعضی مناطق DNA، رونویسی از روی یکی از رشته‌ها صورت می‌گیرد، در حالی که در منطقه‌ای دیگر از همان DNA ممکن است رشته‌ی دیگر الگوی رونویسی قرار گیرد؛ اما معمولاً در یک منطقه از DNA هر دو رشته‌ای که از یک‌دیگر فاصله گرفته‌اند، رونویسی نمی‌شوند.

## رمز DNA چگونه شناخته شد؟

نیرنبرگ<sup>۱</sup> و همکاران او اولین گروهی بودند که موفق به کشف رمز DNA شدند. آن‌ها از mRNA برای شناسایی رمز DNA استفاده کردند.

آنان انواع خاصی از مولکول‌های mRNA را ساختند. در لوله‌ی آزمایشی که آمینواسیدها و تعدادی آنزیم وجود داشته باشد، mRNA می‌تواند زنجیره‌ای از آمینواسیدها را بسازد. هر نوع mRNA با پیام رمزی که دارد باعث تولید نوع خاصی رشته‌ی پلی‌پپتیدی می‌شود. حال در صورتی که نوع mRNA و رشته‌ی پلی‌پپتیدی که ساخته شده است مشخص باشد، پیام mRNA معلوم می‌شود. نیرنبرگ و همکاران او بر این اساس رشته‌ای mRNA ساختند که فقط نوکلئوتید یوراسیل<sup>۲</sup> دار (U) داشت. مولکول RNA ساخته شده را در لوله‌ی آزمایشی قرار دادند که دارای بیست نوع آمینواسید و مایع استخراج شده از سیتوپلاسم سلولی بود. تجزیه‌ی رشته‌ی پلی‌پپتیدی ساخته‌شده، نشان داد که از بین ۲۰ نوع آمینواسید فقط یک نوع آمینواسید به نام فنیل‌آلانین در این رشته به کار رفته است. با توجه به این که از قبل به وسیله‌ی آزمایش‌هایی مشخص شده بود که رمزهای DNA و در نتیجه رمزهای RNA سه نوکلئوتیدی هستند، بنابراین نتیجه گرفته شد که UUU، رمز قرار گرفتن آمینواسید فنیل‌آلانین در یک رشته‌ی پلی‌پپتیدی است.

بعداً، محققان دیگر توانستند با انجام آزمایش‌هایی شبیه آزمایش نیرنبرگ، رمزهای هر یک از ۲۰ نوع آمینواسید را شناسایی کنند. هر رمز سه نوکلئوتیدی mRNA را یک کدون می‌نامند. کدون‌ها عمومی هستند، یعنی در جانداران یکسان‌اند.

۱- Marshall Nirenberg

۲- Uracil





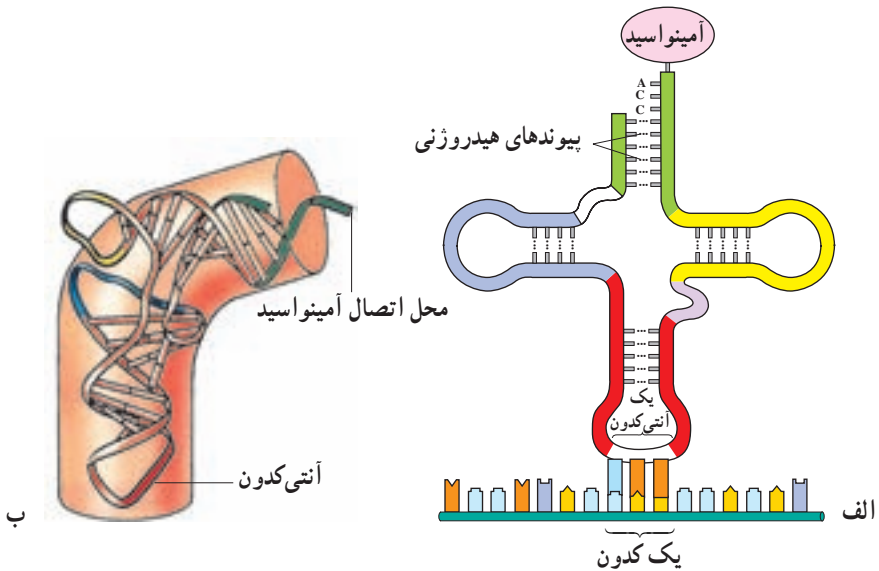
کدون های mRNA								
اولین باز	دومین باز						سومین باز	
	U	C	A	G				
U	UUU	فنیل آلانین	UCU	سیرین	UAU	تیروزین	UGU	U
	UUC		UCC		UAC		UGC	C
	UUA	لوسین	UCA	پایان	UAA	UGA	A	
	UUG		UCG		UAG	UGG	G	
C	CUU	لوسین	CCU	پرولین	CAU	هیستیدین	CGU	U
	CUC		CCC		CAC		CGC	C
	CUA		CCA		CAA		CGA	A
	CUG		CCG		CAG		CGG	G
A	AUU	ایزولوسین	ACU	ترئونین	AAU	آسپاراژین	AGU	U
	AUC		ACC		AAC		AGC	C
	AUA		ACA		AAA		AGA	A
	AUG (متیونین شروع)		ACG		AAG		AGG	G
G	GUU	والین	GCU	آلانین	GAU	آسپارتیک اسید	GGU	U
	GUC		GCC		GAC		GGC	C
	GUA		GCA		GAA		GGA	A
	GUG		GCG		GAG		GGG	G

### در فرآیند ترجمه، از روی mRNA پروتئین ساخته می شود.

در فرآیند ترجمه، توالی نوکلئوتیدها در mRNA به توالی آمینواسیدها در پروتئین ترجمه می شود. در این فرآیند، در واقع زبان نوکلئیک اسیدی که با حروف نوکلئوتیدی است به زبان پروتئین که با حروف آمینواسیدی است، ترجمه می شود.

پروتئین سازی در ریبوزومها انجام می شود. بنابراین باید آمینواسیدها به ریبوزومها آورده شوند. tRNAها آمینواسیدها را به ریبوزومها می آورند. ساختار tRNA در شکل ۱-۵ نشان داده

شده است. همان طور که می بینید، مولکول tRNA ساختاری شبیه برگ گیاه شبدر دارد. از این رو به چنین ساختاری برگ شبدری گفته می شود. دقت کنید که مولکول tRNA تک رشته ای است و بخش های دورشته ای موجود در شکل، در نتیجه ی تاخوردگی های مولکول tRNA روی خود حاصل شده اند. در برگ میانی، سه باز می بینید که با هیچ باز دیگری از tRNA جفت نشده اند. این سه باز را آنتی کدون می نامند. آنتی کدون تعیین می کند که آن tRNA چه آمینواسیدی را باید حمل کند. برای هر یک از ۲۰ آمینواسید، حداقل یک نوع tRNA وجود دارد. در آن سوی مولکول tRNA جایگاه پذیرنده ی آمینواسید قرار دارد. آمینواسید، در این جایگاه به tRNA ویژه خود متصل می شود.



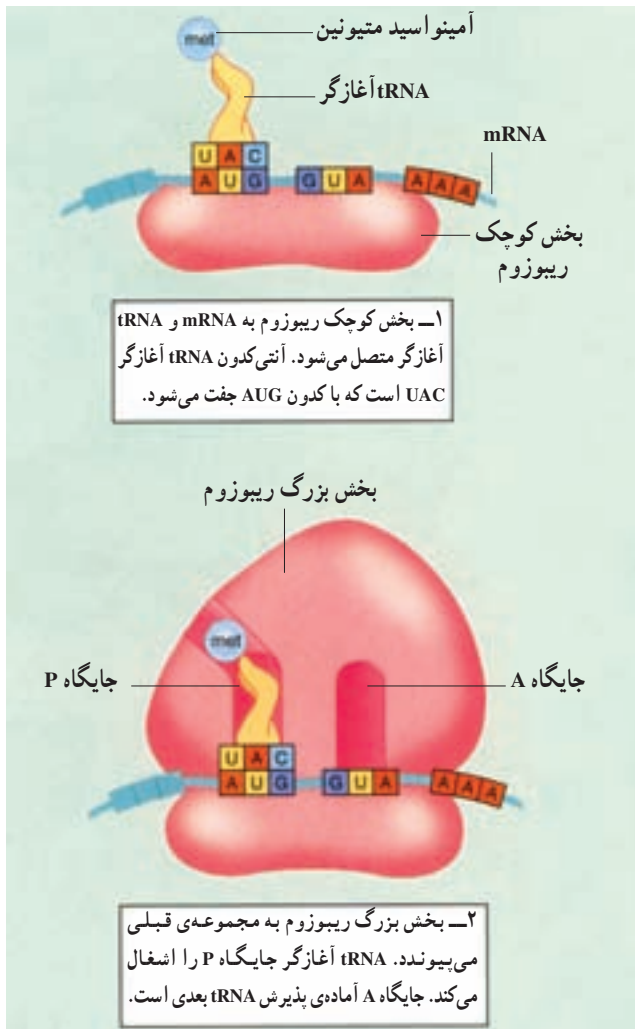
شکل ۵-۱- ساختار یک مولکول tRNA. الف- رابطه ی مکملی بین نوکلئوتیدهای موجود در این مولکول موجب ایجاد چنین ساختاری شده است. بخش آنتی کدون این مولکول که در یکی از حلقه ها قرار دارد، مکمل کدون مولکول mRNA است. دو حلقه ی دیگر به نگه داری آن روی ریبوزوم کمک می کنند. در قسمت بالایی آن جایگاه CCA، یعنی جایگاه اتصال آمینواسید اختصاصی دیده می شود. ب- ساختار سه بعدی tRNA در سلول شبیه حرف L است.

رمزهای موجود در RNA چگونه خوانده می شوند؟ هر آنتی کدون در tRNA، مکمل یکی از کدون های mRNA است. مثلاً tRNA<sub>ای</sub> که آنتی کدون GAA را دارد به کدون CUU متصل می شود و ناقل لوسین است. به این ترتیب، رمز CUU به لوسین ترجمه می شود.

ترجمه: فرآیند ترجمه را می توان در سه مرحله ی آغاز، ادامه و پایان بررسی کرد. توجه داشته باشید که فرآیند پروتئین سازی، همانند دیگر فرآیندهای سنتزی درون سلول، نیازمند انرژی است.

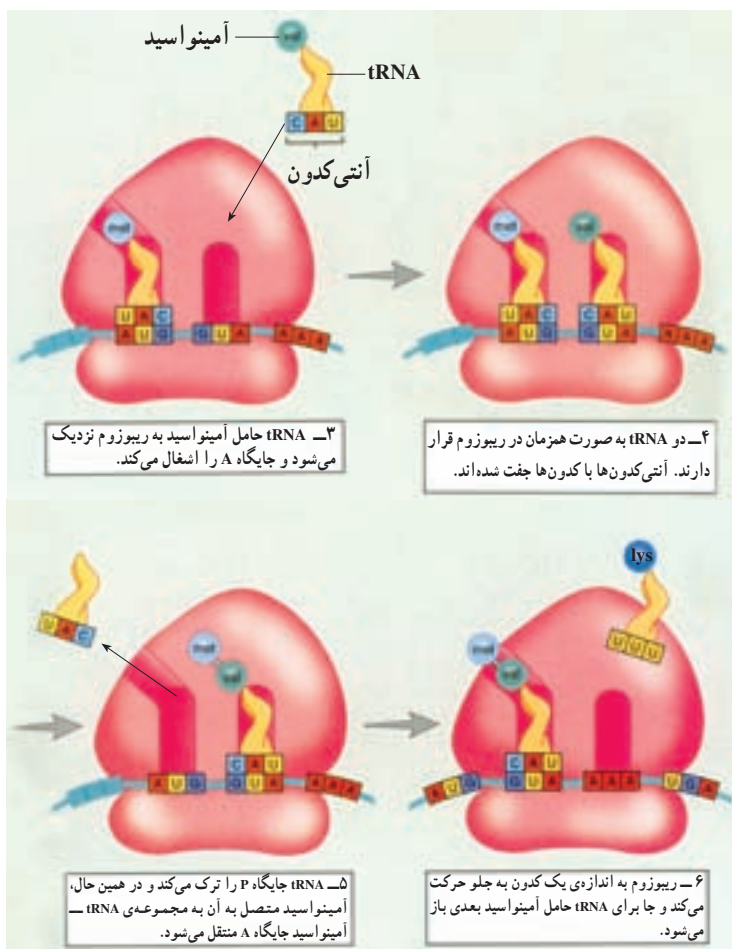
مرحله‌ی آغاز: بخش کوچک تریبوزوم در مجاورت کدون آغاز به mRNA متصل می‌شود. کدون آغاز، AUG است و متیونین را رمز می‌کند. اولین tRNA که tRNA آغازگر نام دارد، با کدون آغاز رابطه‌ی مکملی برقرار می‌کند. سپس بخش بزرگ تریبوزوم به بخش کوچک می‌پیوندد و ساختار تریبوزوم برای ترجمه کامل می‌شود.

هر تریبوزوم دو جایگاه دارد: یکی جایگاه P (برای پلی‌پپتید در حال ساخت) و دیگری جایگاه A (برای آمینواسید). در مرحله‌ی آغاز، tRNA آغازگر، که ناقل متیونین است، به جایگاه P وارد می‌شود و در آنجا با کدون آغاز رابطه‌ی مکملی برقرار می‌کند (شکل ۶-۱).



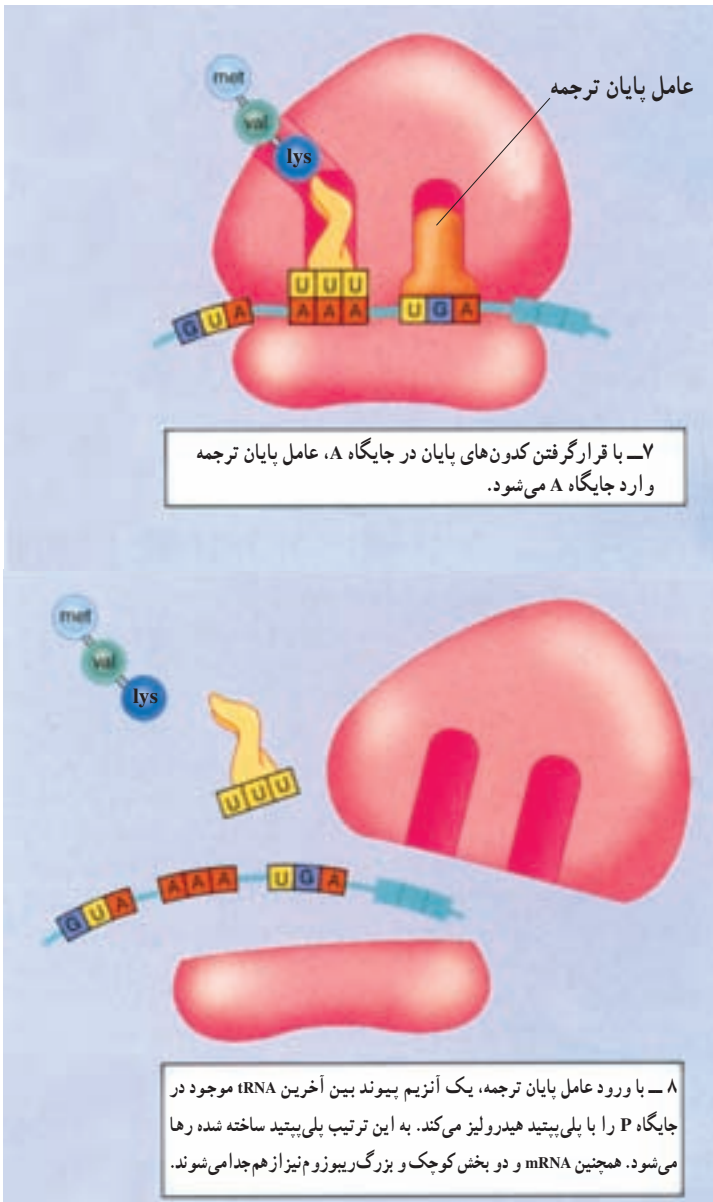
شکل ۶-۱- آغاز پروتئین‌سازی

**مرحله‌ی ادامه:** با ورود tRNA حامل دومین آمینواسید به جایگاه A، مرحله‌ی ادامه شروع می‌شود. در این مرحله، آمینواسید موجود در جایگاه P از tRNA جدا می‌شود و با آمینواسید موجود در جایگاه A پیوند پپتیدی برقرار می‌کند. به این ترتیب tRNA موجود در جایگاه P، دیگر آمینواسیدی نخواهد داشت و باید ریبوزوم را ترک کند. در این هنگام، جابه‌جایی رخ می‌دهد و ریبوزوم به اندازه‌ی یک کدون در طول mRNA به پیش می‌رود. در حین این جابه‌جایی، tRNA موجود در جایگاه P، ریبوزوم را ترک می‌کند، tRNA موجود در جایگاه A همراه با پلی‌پپتیدی که حمل می‌کند، به جایگاه P منتقل می‌شود. در نتیجه، جایگاه A که سومین کدون در آن قرار دارد، خالی می‌شود و آمادگی پذیرش tRNA حامل آمینواسید سوم را کسب می‌کند. با ورود tRNA حامل سومین آمینواسید به جایگاه A، چرخه‌ی فوق دوباره تکرار می‌شود (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- ادامه‌ی پروتئین‌سازی

مرحله‌ی پایان ترجمه: وقتی یکی از کدون‌های پایان درون جایگاه A قرار گیرد، ترجمه پایان می‌پذیرد. چون هیچ tRNA ای برای کدون‌های پایان وجود ندارد. در این حالت دو بخش ریبوزوم، mRNA و پروتئین ساخته شده از یک‌دیگر جدا می‌شوند (شکل ۸-۱).



شکل ۸-۱- پایان پروتئین‌سازی

## تفکر نقادانه

فرضیه‌ای در زیست‌شناسی وجود دارد مبنی بر این که «جهت جریان اطلاعات ژنی در سلول‌ها همیشه یک طرفه و از DNA به سوی پروتئین‌هاست.» این جریان هرگز در جهت مخالف برقرار نمی‌شود. با توجه به شکل‌های ۱-۶، ۱-۷ و ۱-۸؛ در گروه‌های ۲ یا ۳ نفری این فرضیه را مورد بحث قرار دهید و خلاصه‌ی مذاکرات خود را در کلاس مطرح کنید.

## ژن‌های یوکاریوتی، گسسته‌اند.

در یوکاریوت‌ها، RNAی که مستقیماً در نتیجه‌ی فعالیت RNA پلی‌مراز حاصل می‌شود، mRNA اولیه نام دارد. این RNA پس از تغییراتی که متحمل می‌شود، به mRNA بالغ تبدیل و برای ترجمه به سیتوپلاسم فرستاده می‌شود. یکی از تغییرات در اغلب RNAهای یوکاریوتی کوتاه‌شدن مولکول RNA اولیه است.

در mRNA اولیه مناطقی وجود دارد که در RNA بالغ وجود ندارد و بنابراین ترجمه نمی‌شوند. مناطقی از DNA که رونوشت آن‌ها در mRNA بالغ باقی می‌ماند، اگزون<sup>۱</sup> و مناطقی که رونوشت آن‌ها حذف می‌شود، اینترون<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند. در نتیجه‌ی حذف رونوشت اینترون‌ها، mRNA بالغ نسبت به mRNA اولیه کوتاه‌تر می‌شود. به این‌گونه ژن‌ها، ژن‌های گسسته می‌گویند.

## فعالیت



### آزمایش سریع

چگونه می‌توانید اینترون‌ها و اگزون‌ها را نمایش دهید؟

مواد اولیه

نوار کاغذی به طول ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، خودکار قرمز و خودکار آبی یا مداد (دو رنگ)،

خط‌کش و قیچی

روش کار

۱- نوار را روی میز قرار دهید. این نوار نماینده‌ی یک ژن است.



۲- حروف پ تل خ رغ د و از ت ص ر ط ق ی ش ن را شبیه شکل زیر با دو رنگ روی نوار، بنویسید و فواصل بین حروف را به گونه‌ای رعایت کنید که نوار همگی حروف را دربر بگیرد. حروفی که با رنگ آبی نوشته‌اید، نماینده‌ی اینترون‌ها و حروف دیگر با رنگ دوم نشانه‌ی اگزون‌هاست.

۳- نوار را بردارید و از راست به چپ حروف هم‌رنگ را قیچی کنید و در دو گروه بچسبانید و با این کار دو نوار هم‌رنگ ایجاد می‌شود که یکی مبین اینترون‌ها و دیگری مبین اگزون‌هاست. کدام یک برای شما معنی‌دارتر است؟  
پیش‌بینی کنید: پیش‌بینی کنید در صورتی که یک اینترون جدا نشود چه اتفاقی در پروتئین حاصل رخ می‌دهد.

پ تل خ رغ د و از ت ص ر ط ق ی ش ن

## فعالیت



## رمز گشایی ماده‌ی وراثتی

کراتین<sup>۱</sup> یکی از پروتئین‌های پوست. ژن این پروتئین در سلول‌های خاصی از پوست، بیان می‌شود. در شکل زیر حروف بخشی از نوکلئوتیدهای مولکول mRNA مربوط به ژن کراتین نوشته شده است. با کمک این رشته‌ی mRNA و نیز با استفاده از جدول کدون‌های RNA بعضی از آمینواسیدهای کراتین را پیدا کنید. جهت ترجمه را از چپ به راست شکل در نظر بگیرید.

۱- آمینواسیدهای مربوطه را تعیین کنید.



- ۲- آنتی کدون‌های tRNAهایی که با این کدون‌ها پیوند برقرار کرده‌اند، تعیین کنید.
- ۳- ردیف DNA ای را که این mRNA از روی آن رونویسی شده است، تعیین کنید.
- ۴- رشته‌ی مکمل این DNA را مشخص کنید.

بیشتر بدانید



### چرا بعضی از قارچ‌ها کشنده‌اند؟

یکی از سمومی که در قارچ کشنده‌ی آمانیتا فالوئیدز<sup>۱</sup> وجود دارد و آمانیتین نامیده می‌شود، یکی از RNA پلی‌مرازها را مهار می‌کند و از ساخته شدن RNA و به دنبال آن از پروتئین‌سازی جلوگیری می‌کند. این اختلال ممکن است باعث مرگ شود.

خودآزمایی



- ۱- رابطه‌ی بین DNA و آنزیم‌ها را شرح دهید.
- ۲- آزمایش‌های بیدل و تیتوم و نتایج آن‌ها را شرح دهید.
- ۳- چرا نظریه‌ی یک ژن - یک آنزیم به نظریه‌ی یک ژن - یک پلی‌پپتید تغییر یافت؟
- ۴- چرا ممکن نیست رمزهای وراثتی کم‌تر از سه حرف داشته باشند؟
- ۵- پژوهش‌های گروه نیرنبرگ و حاصل کار این گروه را شرح دهید.
- ۶- چه اطلاعات دیگری به جز رمز مربوط به آمینواسیدها روی رمزهای وراثتی DNA وجود

دارد؟

- ۷- نقش آنزیم RNA پلی‌مراز را در رونویسی شرح دهید.
- ۸- مراحل رونویسی را شرح دهید.
- ۹- نقش راه‌انداز در رونویسی چیست؟
- ۱۰- ساختار tRNA را متناسب با کاری که انجام می‌دهد، شرح دهید.
- ۱۱- گسستگی ژن‌های یوکاریوتی را توضیح دهید.



سلول‌ها از همه‌ی ژن‌های خود به‌طور همزمان استفاده نمی‌کنند. مثلاً باکتری *اشریشیا گلای*<sup>۱</sup> می‌تواند در غیاب گلوکز از لاکتوز هم به‌عنوان منبع انرژی استفاده کند. این باکتری در دستگاه گوارش ما زندگی می‌کند. وقتی یک محصول لبنی می‌خوریم، دی‌ساکارید لاکتوز (قند شیر)، در دسترس باکتری است. کلاهی قرار می‌گیرد. در این هنگام، این باکتری با ساختن آنزیم‌های لازم که برای جذب و تجزیه‌ی لاکتوز لازم هستند، از این قند به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند. توجه داشته باشید که وقتی لاکتوز در اختیار باکتری نباشد، دیگر لزومی به ساختن آنزیم‌های جذب و تجزیه‌کننده‌ی آن نیست و بنابراین از ژن‌های این آنزیم‌ها، استفاده‌ای نمی‌شود. وقتی یک ژن مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌گویند آن ژن، بیان شده و به اصطلاح روشن است. وقتی ژن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، می‌گویند آن ژن، خاموش است. این که در یک زمان مشخص، کدام ژن‌ها روشن و کدام ژن‌ها خاموش باشند، به تنظیم بیان ژن معروف است.

در یوکاریوت‌ها نیز می‌توان مثال‌های متعددی از تنظیم بیان ژن مطرح کرد. تنظیم بیان ژن علاوه بر پاسخ به تغییر شرایط محیط، مثل در دسترس بودن یا نبودن یک منبع غذایی، در نمو جاندار نقش مهمی دارد. توجه داشته باشید که بدن ما از صدها نوع سلول مختلف ساخته شده است که همگی حاصل تقسیم میتوز یک سلول اولیه – زیگوت – هستند. بنابراین ماده‌ی ژنتیک همه‌ی آن‌ها یکسان است. اگر ماده‌ی ژنتیک سلول‌های پوششی، عصبی، ماهیچه‌ای و ... بدن ما یکسان است، پس چرا شکل و کار این سلول‌ها با یکدیگر این قدر متفاوت است؟ پاسخ این است که در هر نوع سلول فقط بعضی از ژن‌ها بیان می‌شوند. مثلاً هموگلوبین که نقش انتقال گازهای تنفسی در گلبول‌های قرمز را برعهده دارد، در این سلول‌ها ساخته می‌شود و ژن آن در سلول‌های پوششی یا عصبی، که نیازی به آن ندارند، خاموش است. بنابراین، سلول‌هایی که شکل و کار متفاوتی دارند، پروتئین‌های مختلفی دارند. در واقع، آنچه که فنوتیپ را تعیین می‌کند، نوع پروتئین‌هاست.

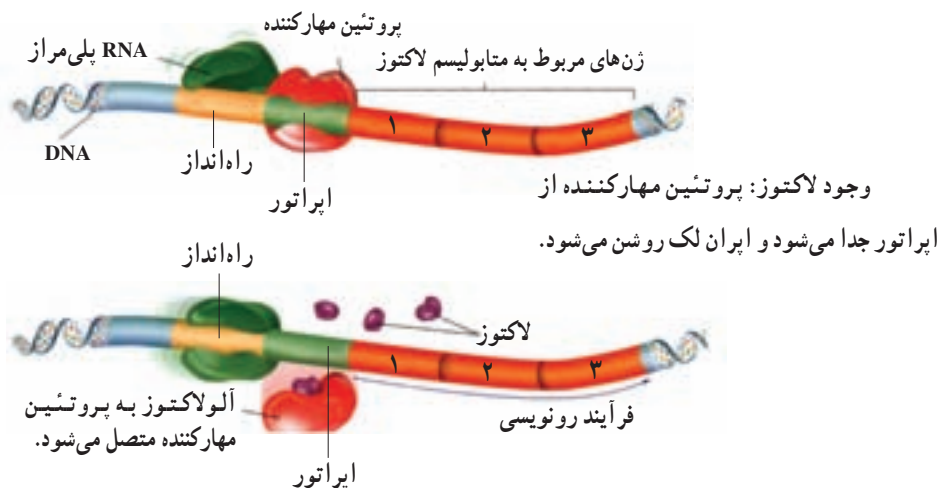
<sup>۱</sup> - *Escherichia coli*

## تنظیم بیان ژن‌ها در پروکاریوت‌ها بر عهده‌ی اپران‌هاست.

در پروکاریوت‌ها، تنظیم بیان ژن ممکن است در سطوح مختلفی از جمله رونویسی، ترجمه، یا پس از ترجمه صورت گیرد. ولی عمدتاً هنگام رونویسی انجام می‌شود، یعنی اگر نیازی به محصول ژن نباشد، از آن ژن رونویسی صورت نمی‌گیرد. چگونه می‌توان از رونویسی یک ژن جلوگیری کرد؟ به یاد بیاورید که RNA پلی‌مراز به قسمتی از DNA که راه‌انداز نام دارد، متصل و همانند قطاری که روی ریل حرکت می‌کند، رونویسی را انجام می‌دهد. بدیهی است اگر سدی بر سر راه RNA پلی‌مراز قرار بگیرد که مانع حرکت آن روی ژن شود، آن ژن رونویسی نخواهد شد. این سدها، در واقع پروتئین‌های بزرگی هستند به نام مهارکننده که به توالی‌های مخصوصی از DNA به نام اپراتور<sup>۱</sup> متصل می‌شوند. اپراتور مجاور راه‌انداز قرار دارد و بنابراین وقتی پروتئین مهارکننده به توالی اپراتور متصل می‌شود، سدی پدید می‌آید که جلوی حرکت RNA پلی‌مراز را می‌گیرد و به این ترتیب ژن را خاموش می‌کند. رمزهای پروتئین مهارکننده روی ژنی به نام ژن تنظیم‌کننده<sup>۲</sup> قرار دارد.

بیاید دوباره به مثال متابولیسم لاکتوز باکتری / کلاسی توجه کنیم. این باکتری برای آن‌که بتواند از لاکتوز استفاده کند، به سه آنزیم نیاز دارد. ژن‌های این سه آنزیم در شکل ۹-۱ با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. دانشمندان دریافته‌اند که وقتی لاکتوز در محیط نیست، غلظت هر سه آنزیم اندک است، اما پس از حضور لاکتوز در محیط غلظت هر سه آنزیم یاد شده، هماهنگ باهم افزایش می‌یابد.

نمود لاکتوز: پروتئین مهارکننده به اپراتور متصل می‌شود و اپران لک خاموش می‌شود.



شکل ۹-۱- خاموش و روشن کردن ژن‌های پروکاریوتی

در سال ۱۹۶۱ دو دانشمند فرانسوی به نام‌های ژاکوب<sup>۱</sup> و مونو<sup>۲</sup> برای توضیح نحوه‌ی بیان هماهنگ ژن‌ها در باکتری، مدل اپران<sup>۳</sup> را پیشنهاد کردند. هر اپران از یک یا چند ژن ساختاری و بخش تنظیم‌کننده ساخته شده است. منظور از ژن ساختاری قسمتی از DNA است که از روی آن RNA ساخته می‌شود. بخش تنظیم‌کننده، بیان همزمان ژن‌ها را کنترل می‌کند. برای درک بهتر مطلب، دوباره به متابولیسم لاکتوز برمی‌گردیم.

اپرانی که متابولیسم لاکتوز را تنظیم می‌کند. اپران لک<sup>۴</sup> نام دارد. اپران لک از سه ژن ساختاری به نام‌های ژن‌های ۱، ۲ و ۳ (در شکل ۹-۱)، اپراتور و راه‌انداز ساخته شده است. اپراتور و راه‌انداز بخش تنظیم‌کننده‌ی ژن را تشکیل می‌دهند. دقت کنید که هر سه ژن ۱، ۲ و ۳ تحت کنترل یک بخش تنظیم‌کننده هستند و همگی یک راه‌انداز دارند. بنابراین از روی هر سه ژن، یک mRNA ساخته می‌شود. به این نوع mRNA، mRNA چند ژنی می‌گویند. اگر اپران فقط از یک ژن ساختاری تشکیل شده باشد آنگاه mRNA حاصل تک ژنی خواهد بود.

چه چیزی روشن و خاموش‌کننده‌ی اپران لک است؟ وقتی لاکتوز در محیط نیست، مهارکننده به اپراتور متصل و بنابراین اپران خاموش است؛ اما وقتی لاکتوز در محیط باشد، درون باکتری به آلولاکتوز تبدیل می‌شود. آلولاکتوز به مهارکننده متصل می‌شود و تغییراتی در شکل آن پدید می‌آورد. بر اثر این تغییر شکل، مهارکننده دیگر نمی‌تواند به اپراتور متصل شود و بنابراین اپران روشن می‌شود. آلولاکتوز را عامل تنظیم‌کننده و مهارکننده را پروتئین تنظیم‌کننده می‌نامند.

### تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها پیچیده‌تر است.

سلول‌های یوکاریوتی، در مقایسه با سلول‌های پروکاریوتی، از DNA بیش‌تری برخوردارند و همانند آن‌ها، در پاسخ به تحریکات محیطی، بعضی ژن‌های خود را روشن و بعضی دیگر را خاموش می‌کنند. اپران‌ها در سلول‌های یوکاریوتی وجود ندارند.

در سلول‌های یوکاریوتی، به دلیل وجود غشای هسته، پدیده‌ی رونویسی از پدیده‌ی ترجمه جداست و در نتیجه فرصت بیش‌تری برای تنظیم بیان ژن وجود دارد. مثلاً، تنظیم بیان ژن ممکن است قبل از رونویسی، هنگام رونویسی، یا بعد از آن صورت گیرد. همچنین این تنظیم بعد از خروج mRNA از هسته، هنگام ترجمه یا بعد از عمل ترجمه، نیز ممکن است رخ دهد.

۱- François Jacob

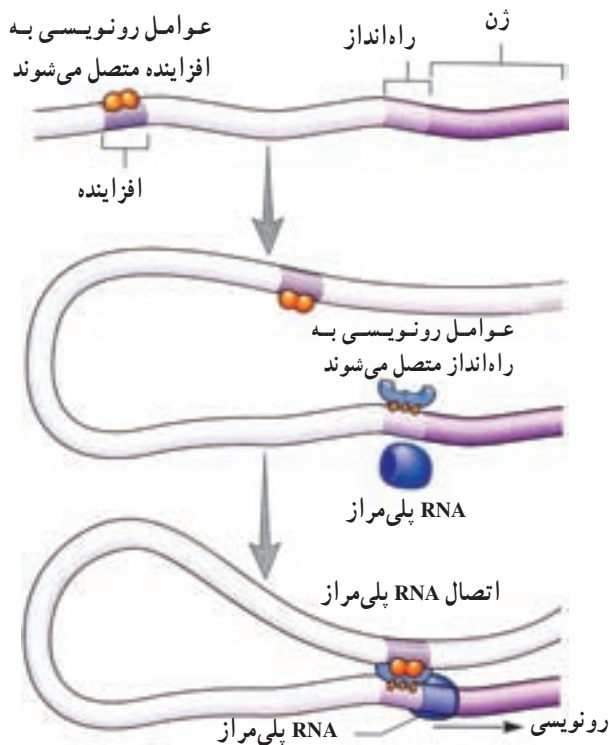
۲- Jacques Monod

۳- operon

۴- lac operon

غالباً تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها، هنگام شروع رونویسی است. در یوکاریوت‌ها، برخلاف پروکاریوت‌ها، آنزیم RNA پلی‌مراز به تنهایی نمی‌تواند راه‌انداز را شناسایی کند. شناسایی راه‌انداز به کمک پروتئین‌های مخصوصی به نام عوامل رونویسی صورت می‌گیرد. عوامل رونویسی متعدّدند و ترکیب‌های مختلفی از آن‌ها ایجاد می‌شود. این ترکیب‌ها، نقش‌های مختلفی را در تنظیم بیان ژن دارند. گروهی از عوامل رونویسی به راه‌انداز متصل می‌شوند و بعد، آنزیم RNA پلی‌مراز به آن‌ها می‌پیوندد. در یوکاریوت‌ها، علاوه بر راه‌انداز معمولاً توالی‌های دیگری از DNA نیز در رونویسی دخالت دارند که عوامل رونویسی به آن‌ها نیز متصل می‌شوند. افزاینده، بخشی از مولکول DNA است که به کمک عوامل رونویسی متصل به آن، عمل رونویسی را تقویت می‌کند. افزاینده، برخلاف راه‌انداز، ممکن است هزاران نوکلئوتید از ژن فاصله داشته باشد. در این صورت، این پرسش مطرح می‌شود که افزاینده چگونه اثر خود را بر ژن اعمال می‌کند؟

افزاینده و عوامل رونویسی متصل به آن (موسوم به فعال‌کننده) با تشکیل یک حلقه در DNA در کنار RNA پلی‌مراز و سایر عوامل رونویسی روی راه‌انداز قرار می‌گیرند. با قرار گرفتن کلیه‌ی این عوامل در کنار هم، عوامل رونویسی که به توالی افزاینده متصل هستند، می‌توانند عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز را فعال کنند (شکل ۱۰-۱).



شکل ۱۰-۱- تنظیم رونویسی در یوکاریوت‌ها، عوامل رونویسی به افزاینده و RNA پلی‌مراز متصل می‌شوند. این اتصال، عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز را فعال می‌کند.



جدولی برای سازماندهی اطلاعات مربوط به تنظیم ژن و پروتئین‌سازی تهیه کنید. در بالای جدول اختصاصات مهم پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها را بنویسید و در کنار جدول پروتئین‌هایی را بنویسید که در تنظیم ژن‌ها دخالت می‌کنند.

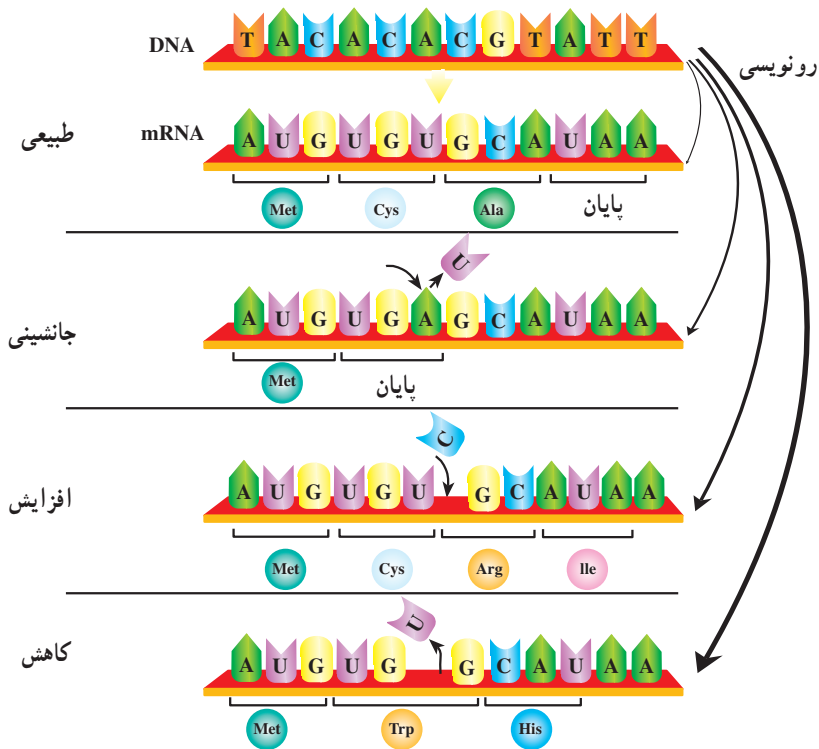
### جهش‌ها پروتئین‌های غیر طبیعی ایجاد می‌کنند.

تغییر در اطلاعات ژنتیک موجود زنده، نادر، اما انجام‌شدنی است. هرگونه تغییر در ساختار DNA را جهش می‌نامند. جهشی که در سلول‌های جنسی افراد روی می‌دهد، ممکن است به زاده‌ها منتقل شود؛ اما جهش در سلول‌های بدنی، فقط خود فردی را که در او جهش رخ داده است، متأثر می‌کند. جهش‌هایی که یک یا چند نوکلئوتید ژن را، روی یک کروموزوم، تغییر می‌دهد به جهش‌های نقطه‌ای موسوم‌اند. به‌طور عمده دو نوع جهش نقطه‌ای وجود دارد. در نوع اول یک نوکلئوتید یک ژن با نوکلئوتید نوع دیگری عوض می‌شود به چنین جهشی که از نوع نقطه‌ای است، جانشینی گفته می‌شود (شکل ۱۱-۱).

در جهش‌های نقطه‌ای نوع دوم ممکن است، افزایش، یا کاهش یک یا چند نوکلئوتید ژن رخ دهد. چون پیام ژنتیکی به شکل نوکلئوتیدهای سه‌حرفی خوانده می‌شود، افزایش، یا کاهش نوکلئوتیدها رمز سه‌حرفی‌ها را به هم می‌ریزد. تصور کنید از جمله‌ی:

ای ن م ر د ر ف ت ح ر ف م ح ذ ف ش و د . در این صورت این جمله با حفظ کلمات سه‌حرفی به این شکل: ای ن ر د ر ف ت خوانده می‌شود که بی‌معناست. چنین جهشی که باعث اشتباه خوانده شدن حروف سه‌نوکلئوتیدی می‌شود، به جهش تغییر چارچوب معروف است. زیرا، طی آن چارچوب الگوی خواندن در یک یا دو موضع جابه‌جا می‌شود.

به‌طور کلی جهش‌های نقطه‌ای ممکن است باعث شوند که پروتئین مورد نظر ساخته نشود، یا پروتئینی ساخته شود که ترتیب، تعداد، یا نوع آمینواسیدهای آن نسبت به پروتئینی که قبل از جهش ساخته می‌شده، متفاوت و در نتیجه عملکرد آن نیز متفاوت باشد. گاهی جانشینی‌ها در بیان ژن تأثیر ندارند. مثلاً، اگر کدون UGU به UGC تغییر یابد، چون هر دو کدون مربوط به آمینواسید سیستئین هستند، تأثیری در بیان ژن ایجاد نخواهد شد.



شکل ۱۱-۱- انواع جهش‌های نقطه‌ای

## خودآزمایی



- ۱- اثر یک مهارکننده را بر اُبران لک به هنگام حضور لاکتوز توضیح دهید.
- ۲- اثر عوامل رونویسی و افزایشنده‌ها را در بیان ژن‌های یوکاریوتی تشریح کنید.
- ۳- تفاوت اگزون و اینترون را توضیح دهید.
- ۴- توضیح دهید کدام یک از انواع جهش‌ها اثر شدیدتری روی ترتیب آمینواسیدهای یک پروتئین خواهد داشت: جهشی از نوع جانمایی و یا از نوع تغییر چارچوب؟

## فعالیت



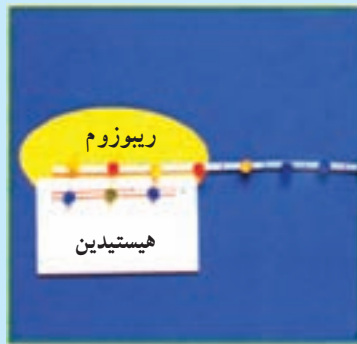
چگونه می‌توانید ساخته شدن پروتئین را مدل‌سازی کنید؟

### اهداف

- تفاوت‌ها و شباهت‌های ساختاری و عملکردی DNA و RNA را نشان دهید.
- مدلی برای ساخته شدن پروتئین بسازید.
- نشان دهید چگونه یک جهش پروتئین را تغییر می‌دهد.

### مواد لازم

- نوار چسب
- نی پلاستیکی در دو رنگ متفاوت
- گیره‌ی کاغذ
- سوزن ته‌گرد در ۵ رنگ مختلف
- مداد رنگی در ۵ رنگ مختلف (شبیه رنگ سوزن‌های ته‌گرد)
- کاغذ یادداشت (ابعاد  $7 \times 12$  سانتی‌متر)
- کاغذ به شکل بیضی
- کاغذ شفاف



می‌دانید که ماهیت هر پروتئین بستگی به آمینواسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن دارد. طی پروتئین‌سازی ردیف نوکلئوتیدهای mRNA تعیین‌کننده‌ی ماهیت آمینواسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی یک پروتئین است.

جهش تغییر در نوکلئوتیدهای DNA است. بسیاری از جهش‌ها موجب ایجاد پروتئین‌های

تغییر یافته، یا ناقص می‌شوند. مثلاً کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی‌شکل را یک جهش که در ژن هموگلوبین رخ داده، ایجاد کرده است.

در اینجا مدلی برای درک بیش‌تر پروتئین‌سازی خواهید ساخت. از این مدل برای بررسی چگونگی تأثیر جهش روی پروتئین‌ها نیز می‌توان استفاده کرد.

۱- در مورد پروتئین، سنتز پروتئین، mRNA، آمینواسیدها، جهش، کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی‌شکل، هموگلوبین، رونویسی، ترجمه، tRNA، ریبوزوم، کدون و آنتی‌کدون توضیح دهید.

۲- سه تفاوت DNA و RNA را تشریح کنید.

۳- براساس مشاهدات‌تان از این آزمایش، سؤال‌ی درباره‌ی پروتئین‌سازی مطرح کنید.

روش کار

الف: طرح یک مدل

۱- همراه با سایر افراد گروه خود مدلی برای DNA و RNA یک سلول بسازید. برای این کار از موادی که برای این آزمایش در نظر گرفته شده، استفاده کنید.

قبل از مدل‌سازی سعی کنید به سؤال‌ات زیر پاسخ دهید:

الف - چه سؤال‌ی را پاسخ می‌دهید؟

ب - چگونه نوکلئوتیدهای DNA را نشان می‌دهید؟

ج - چگونه نوکلئوتیدهای RNA را نشان می‌دهید؟

د - چگونه ۵ باز نیتروژن‌دار را نشان می‌دهید؟

ه - چگونه نوکلئوتیدها را به هم متصل می‌کنید؟

و - چگونه ارتباط tRNA را با آمینواسید نشان می‌دهید؟

ز - چگونه محل DNA و ریبوزوم‌ها را نشان می‌دهید؟

۲- طرح خود را بنویسید و نظر موافق معلم خود را قبل از ساختن مدل بگیرید.

۳- مدل DNA را بسازید و شروع آن را با بازهای زیر آغاز کنید.

TTTGGTCTCCTC

ب: مدل ساختن پروتئین‌ها

۴- از شکل‌های ۳-۱ و ۳-۶ برای نشان دادن چگونگی رونویسی و ترجمه استفاده

کنید.

۵- از این مدل برای پاسخ به سؤال‌ی که طرح کرده بودید استفاده کنید.

ج: آزمون فرضیه: به هر یک از سؤال‌ات زیر با نوشتن یک فرضیه پاسخ دهید. از مدل

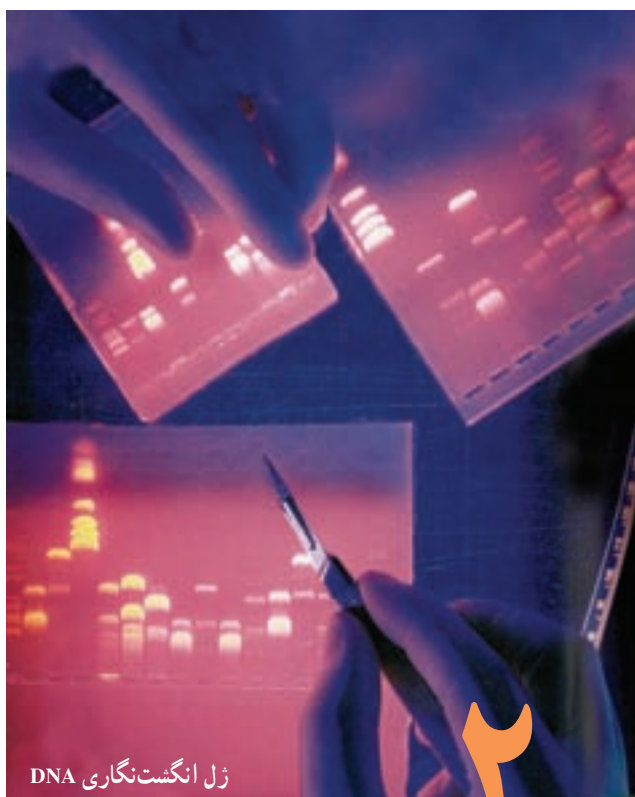


خود برای آزمودن هر فرضیه استفاده کنید و نتایج را بنویسید.

۶- مدل DNA ساخته شده در مرحله سوم بخشی از ژن هموگلوبین است. کم خونی داسی شکل ناشی از جابه‌جایی باز A با T در محل سومین کد این قطعه‌ی DNA است که در مرحله سوم نشان داده شده است. چگونه این جابه‌جایی مولکول هموگلوبین را تغییر می‌دهد؟  
۷- اضافه شدن یک نوکلئوتید به رشته‌ی DNA «افزایش» نامیده می‌شود. در صورتی که افزایش در اولین کد یک رشته DNA قبل از عمل رونویسی رخ دهد، چه اتفاقی می‌افتد؟

### بحث و نتیجه‌گیری

- ۱- مقایسه‌ی ساختارها: چگونه ردیف بازهای mRNA ای که شما ساخته‌اید با DNA ای که از روی آن رونویسی شده است قابل قیاس است؟
- ۲- شناخت ارتباطات: چگونه بازهای یک ژن مرتبط با ساختار پروتئین است؟
- ۳- شناخت الگوها: چه ارتباطی بین آنتی‌کدون یک tRNA و اسیدآمینو حمل شده توسط آن، وجود دارد؟
- ۴- نتیجه‌گیری: چگونه یک جهش در ژن پروتئین مربوطه را تحت تأثیر قرار می‌دهد؟
- ۵- تحقیق بیش‌تر: یک سؤال جدید درباره‌ی سنتز پروتئین بنویسید که مدل شما بتواند به این سؤال پاسخ دهد.



## ۲ تکنولوژی زیستی

یک قطره‌ی خون برای تعیین نقشه‌ی ژنی یک فرد کافی است. تکنولوژی ژن در همان حال که می‌تواند خدمات زیادی به جامعه‌ی بشری ارائه دهد، مشکلاتی را نیز ممکن است به دنبال داشته باشد.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- ژن را تعریف کنید،
- ساختار DNA را شرح دهید،
- زوج شدن بازهای مکمل و نقش آن‌ها را در ژنتیک بیان کنید.

تا چندی پیش، فکر استفاده از باکتری‌ها برای تولید انسولین انسانی و وارد کردن ژن به سلول‌های گوجه‌فرنگی و انسان فقط در فیلم‌ها و کتاب‌های علمی – تخیلی یافت می‌شد؛ اما اکنون روش‌های لازم برای تحقق این اندیشه‌ها به وجود آمده، توسعه یافته و کاربرد روزانه پیدا کرده است. در سال ۱۹۷۳ دو فرد به نام‌های استانلی کوهن<sup>۱</sup> و هربرت بایر<sup>۲</sup> آزمایشی طراحی و اجرا کردند که به این اندیشه‌ها جامه‌ی عمل پوشاند و پژوهش‌های ژنتیک را متحوّل کرد. آنان ژن رمزکننده‌ی RNA ریبوزومی (rRNA) را از DNA نوعی قورباغه‌ی افریقایی استخراج و به DNA باکتری اشریشیا کلای وارد کردند (شکل ۱-۲).



- ۱- این قورباغه به‌عنوان جاندار آزمایشگاهی انتخاب شد.
- ۲- ژن رمزکننده‌ی یک rRNA از یکی از کروموزوم‌های آن جدا شد.
- ۳- این ژن را به باکتری‌ها وارد کردند. باکتری‌ها rRNA قورباغه را ساختند.

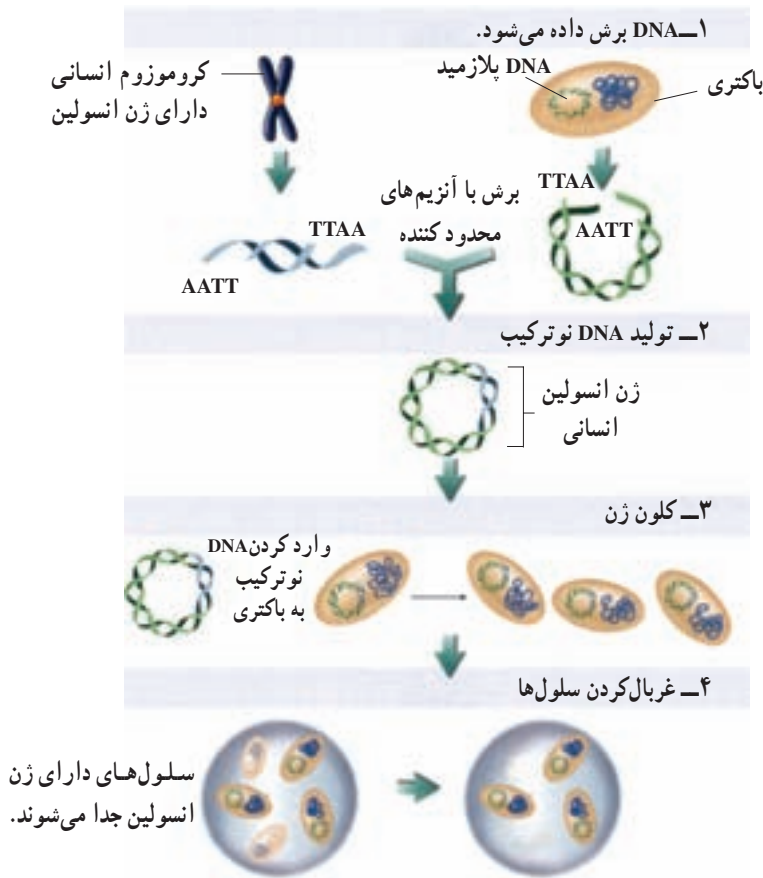
شکل ۱-۲- ایجاد تغییر در ژن‌های یک موجود زنده. کوهن و بایر اولین جاندار را که از طریق مهندسی ژنتیک تغییر یافته بود، تولید کردند.

باکتری هنگام رونویسی، rRNA قورباغه را نیز می‌سازد؛ باکتری اشریشیا کلای اولین جاندار است که با روش‌های مهندسی ژنتیک تغییر پیدا کرد و به اصطلاح تحت دست‌ورزی قرار گرفت. فرآیند دست‌ورزی در ژن‌ها، مهندسی ژنتیک نامیده می‌شود.

۱- Stanley Cohen

۲- Herbert Boyer

در مهندسی ژنتیک اهداف مختلفی دنبال می‌شود. اما یکی از مهم‌ترین آن‌ها تولید ژن یا فرآورده‌ی آن به مقدار انبوه است. برای تولید ژن به مقدار انبوه، مهندسان ژنتیک، ژن مورد نظر را از میان انبوه ژن‌های جاندار جدا و بعد آن را به جاندار ساده‌ای مثل باکتری - که تولیدمثل سریعی دارد - وارد می‌کنند. به این ترتیب، ژن مورد نظر در باکتری همانندسازی می‌کند و در نتیجه‌ی همانندسازی‌های پی‌درپی، مقدار آن زیاد می‌شود. در این فرآیند مهندسان ژنتیک به ابزارهایی نیاز دارند. آنان نخست باید بتوانند ژن مورد نظر را از بقیه‌ی DNA جاندار جدا کنند. پس به ابزارهایی نیاز دارند که بتواند DNA را ببرد. برای بریدن DNA از آنزیم‌هایی به نام آنزیم‌های محدودکننده استفاده می‌کنند که با آن‌ها آشنا خواهیم شد. آنان سپس به وسیله‌ای نیاز دارند که ژن مورد نظر را به درون باکتری حمل کند. به نظر شما، مهندس ژنتیک به چه وسایل دیگری نیاز دارد؟ (شکل ۲-۲)



شکل ۲-۲ در بسیاری از آزمایش‌های مهندسی ژنتیک یکی یا همه‌ی این مراحل اساسی انجام می‌شود.

## روش‌ها و ابزارهای مهندسی ژنتیک

**وکتورها:** بعد از آن که ژن مورد نظر را جدا کردیم، به وسیله‌ای نیاز داریم که آن را به درون سلول باکتری هدایت کند. این وسیله را حامل یا وکتور می‌نامند. از معمول‌ترین وکتورها، پلازمیدها و ویروس‌ها را می‌توان نام برد.

پلازمیدها، مولکول‌های DNA حلقوی کوچکی هستند که در بعضی از باکتری‌ها وجود دارند. پلازمیدها را کروموزوم‌های کمکی نیز می‌نامند، چون حاوی ژن‌هایی هستند که در کروموزوم اصلی باکتری وجود ندارد. مثلاً ژن مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتیک در پلازمیدها قرار دارد.

پلازمیدها می‌توانند مستقل از کروموزوم اصلی همانندسازی کنند. معنی این جمله آن است که پلازمیدها می‌توانند حتی در مواقعی که باکتری در حال تولیدمثل نیست نیز همانندسازی کنند. مهندسان ژنتیک، ژن مورد نظر را درون پلازمید قرار می‌دهند. به این ترتیب، هرگاه که پلازمید همانندسازی می‌کند، ژن مورد نظر نیز همانندسازی می‌کند و بدین ترتیب بر تعداد نسخه‌های آن دائماً افزوده می‌شود.

وقتی ژن مورد نظر، که از این پس آن را ژن خارجی می‌نامیم، درون پلازمید قرار می‌گیرد، در واقع DNA جدیدی ساخته می‌شود که از ترکیب دو DNA متفاوت، یکی ژن خارجی و دیگری پلازمید، حاصل شده است. این DNA را DNA نو ترکیب می‌نامند. ساختن DNA نو ترکیب، یکی از اصلی‌ترین مراحل مهندسی ژنتیک است. از این رو مهندسی ژنتیک را فناوری DNA نو ترکیب نیز می‌نامند.

از دیگر وکتورها می‌توان به باکتریوفاژها اشاره کرد. باکتریوفاژها، ویروس‌هایی هستند که میزبان آن‌ها باکتری است. وقتی باکتریوفاژ، باکتری را آلوده می‌کند، DNA آن در سلول میزبان شروع به همانندسازی می‌کند. با قرار دادن ژن خارجی در DNA باکتریوفاژ، امکان تکثیر ژن فراهم می‌شود.

**ساختن مولکول DNA نو ترکیب:** برای ساختن مولکول DNA نو ترکیب، به دو نوع آنزیم نیاز داریم. یکی برای بریدن پلازمید و قرار دادن ژن خارجی در آن و دیگری برای اتصال دو سر ژن خارجی به پلازمید. توجه داشته باشید که منظور از بریدن DNA یعنی قطع پیوند فسفودی‌استر و منظور از اتصال دو DNA یعنی برقراری پیوند فسفودی‌استر میان دو DNA است.

بریدن DNA، به کمک آنزیم‌های محدودکننده صورت می‌گیرد. آنزیم‌های محدودکننده آنزیم‌هایی باکتریایی هستند که توالی کوتاه و خاصی از DNA را شناسایی می‌کنند و سپس آن را برش می‌دهند.

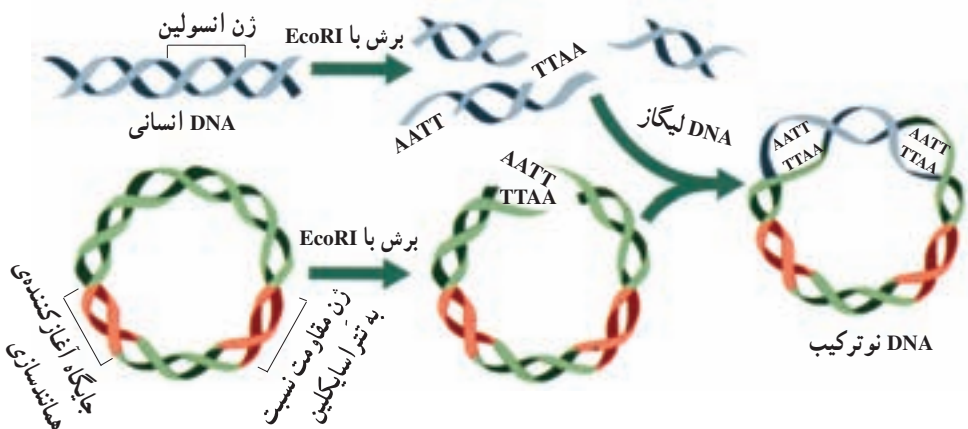
مثالی از چگونگی عمل آنزیم‌های محدودکننده در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. آنزیم محدودکننده EcoRI توالی نوکلئوتیدی GAATTC را می‌شناسد. توالی خاصی که آنزیم آن را

CTTAAG

می‌شناسد، جایگاه تشخیص آنزیم نام دارد. توجه داشته باشید که توالی دو رشته‌ی جایگاه تشخیص عکس یک‌دیگر هستند.

بیش‌تر آنزیم‌های محدودکننده، قطعاتی از DNA کوتاه تک‌رشته‌ای در هر دو انتها تولید می‌کنند که با یک‌دیگر مکمل هستند. این دو انتها انتهایی چسبیده نامیده می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، وکتورهای به کار برده شده، فقط دارای یک جایگاه تشخیص آنزیم هستند.

آنزیم محدودکننده‌ای که برای بریدن پلازمید استفاده می‌شود، باید همان آنزیمی باشد که دو سر ژن خارجی با آن بریده شده است. در این صورت، انتهایی چسبیده‌ی یکی به انتهایی چسبیده‌ی دیگری متصل می‌شود. این اتصال، توسط پیوندهای هیدروژنی صورت می‌گیرد نه پیوند فسفودی‌استر. برای برقراری پیوند فسفودی‌استر میان دو DNA، مهندس ژنتیک از آنزیمی به نام آنزیم لیگاز استفاده می‌کند (شکل ۲-۳).



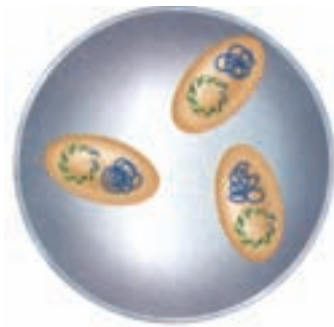
شکل ۲-۳ آنزیم‌های محدودکننده DNA را برش می‌دهند. آنزیم محدودکننده EcoRI توالی نوکلئوتیدی GAATTC را می‌شناسد و آن را برش می‌دهد. این برش بین نوکلئوتیدهای G و A است.

کلون شدن ژن: بعد از آن که DNA نو ترکیب ساخته شد، آن را در مجاورت باکتری‌ها قرار می‌دهند تا باکتری‌ها آن را جذب کنند. البته همه‌ی باکتری‌ها موفق به جذب DNA نو ترکیب نمی‌شوند، اما تعداد کمی از آن‌ها DNA نو ترکیب را جذب می‌کنند. DNA نو ترکیب بعد از ورود به باکتری، با استفاده از دستگاه همانندسازی باکتری، همانندسازی می‌کند و در نتیجه‌ی همانندسازی‌های پی‌درپی

DNA نوترکیب نسخه‌های متعددی از آن و در نتیجه ژن خارجی ساخته می‌شود. وقتی از یک ژن نسخه‌های یکسان متعدد ساخته می‌شود، می‌گویند آن ژن، کلون شده است.

**غربال کردن:** در این مرحله، مهندسان ژنتیک باید باکتری‌هایی را که DNA نوترکیب را جذب کرده‌اند از باکتری‌هایی که DNA نوترکیب را جذب نکرده‌اند، جدا کنند. این کار را غربال کردن می‌نامند. به یاد داشته باشید که پلازمید، حاوی ژن مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتیک است. بنابراین، آن‌هایی که DNA نوترکیب را جذب کرده‌اند، نسبت به یک آنتی‌بیوتیک خاص – مثلاً تتراسایکلین – مقاوم شده‌اند. به این ترتیب، می‌توان با اضافه کردن تتراسایکلین به محیط کشت باکتری‌ها، غربال‌گری را انجام داد. باکتری‌هایی که DNA نوترکیب را جذب نکرده‌اند، بعد از اضافه کردن تتراسایکلین می‌میرند و فقط آن‌هایی زنده می‌مانند که DNA نوترکیب را جذب کرده‌اند (شکل ۲-۴).

**استخراج ژن:** اکنون نوبت به استخراج ژن می‌رسد. ژن باید از DNA نوترکیب جدا شود. برای جدا کردن ژن، باز هم به آنزیم محدودکننده نیاز داریم. باید از همان آنزیمی استفاده کنیم که قبلاً برای ساختن DNA نوترکیب استفاده کردیم. با این آنزیم، پلازمید و ژن خارجی را از یک‌دیگر جدا می‌کنیم. حال در لوله‌ی آزمایش، مخلوطی داریم از دو نوع DNA: یکی پلازمید و دیگری ژن



شکل ۲-۴ – غربال کردن. فقط سلول‌هایی که وکتور را جذب کرده‌اند، نسبت به تتراسایکلین مقاوم‌اند و بنابراین وقتی تتراسایکلین به آن‌ها اضافه شود، زنده می‌مانند.

خارجی. تفکیک این دو به کمک الکتروفورز در ژل انجام می‌شود. ژل، ورقه‌ای مستطیلی شکل ژلاتینی است. در ژل، منافذ ریز بسیاری وجود دارد. در یک سمت ژل، چاهک‌هایی وجود دارد که مخلوط مولکول‌های DNA در آن قرار می‌گیرد. یک میدان الکتریکی از درون ژل می‌گذرد. از آن جا

که مولکول‌های DNA بار منفی دارند، پس از برقرار شدن میدان الکتریکی، به سمت قطب مثبت میدان حرکت می‌کنند. در حین حرکت، از منافذ موجود در ژل عبور می‌کنند. مولکول‌های کوچک‌تر، سریع‌تر از منافذ عبور می‌کنند و جلوتر از بقیه حرکت می‌کنند. به این ترتیب، DNAها از یک‌دیگر جدا می‌شوند و مولکول‌هایی که به یک اندازه هستند در یک ردیف قرار می‌گیرند و به این ترتیب موقعیت آن‌ها در ژل به صورت نوارهایی مشاهده می‌شود. بنابراین، بعد از اتمام الکتروفورز مخلوط دو نوع DNA پلازمیدی و خارجی، دو نوار در ژل خواهیم دید. نواری که به قطب مثبت نزدیک‌تر است، حاوی مولکول‌های کوچک‌تر یعنی DNA خارجی است و نوار دیگر حاوی مولکول‌های بزرگ‌تر، یعنی پلازمید است. روش الکتروفورز علاوه بر نوکلئیک اسیدها، برای پروتئین‌ها نیز کاربرد دارد. در این روش، پروتئین‌ها بر اساس اندازه، از یک‌دیگر جدا می‌شوند.

بیش‌تر بدانید



### منشأ واژه‌ها

واژه‌ی الکتروفورز از کلمه‌ی لاتین electrocus به معنی الکتریسیته و کلمه‌ی آلمانی phoresis به معنی حمل کردن گرفته شده است. دانستن این مطلب به ما کمک می‌کند که به راحتی به یاد آوریم که در الکتروفورز به کمک الکتریسیته قطعات DNA یا پروتئین از هم جدا و حمل می‌شوند.

بیش‌تر بدانید



### لکه‌گذاری سادرن<sup>۱</sup> وجود ژن مورد نظر را نشان می‌دهد.

برای شناسایی یک ژن خاص از روشی به نام لکه‌گذاری سادرن استفاده می‌شود. در این روش مولکول‌های DNA از ژل الکتروفورز به کاغذ مخصوص جذب DNA منتقل می‌شود. لکه‌برداری سادرن چهار مرحله‌ی اصلی دارد:

مرحله‌ی اول: DNA حاصل از هر کلونی که حاوی سلول‌های مشابه کلون شده‌اند،

<sup>۱</sup> southern blot



استخراج و به‌وسیله‌ی آنزیم‌های برش‌دهنده قطعه‌قطعه می‌شود.

مرحله‌ی دوم: قطعات DNA به‌وسیله‌ی ژل الکتروفورز از یک‌دیگر جدا می‌شوند. بعد از جدا شدن قطعات DNA ژل درون یک محلول شیمیایی شناور می‌شود. این محلول دو رشته‌ای را در هر قطعه، به قطعات DNA تک‌رشته‌ای تبدیل می‌کند.

۴- فقط آن قطعه‌ی DNA که ژن مورد نظر را دارد، به کاوشگر به آن اضافه می‌شود. کاوشگر متصل می‌شود.  
۳- DNA به صافی کاغذی منتقل  
۲- با کمک الکتروفورز ژل قطعات DNA جدا می‌شوند.  
۱- DNA باکتری‌های کلون شده با کمک آنزیم محدود کننده برش داده می‌شود.



لگه‌ی سادرن ژن مورد نظر را مشخص می‌کند.

یک کاوشگر به‌صورت DNA یا RNA می‌تواند برای شناسایی یک ژن کلون شده به‌کار رود.

مرحله‌ی سوم: نوارهای DNA مستقیماً به یک قطعه کاغذ صافی انتقال داده می‌شوند (لکه‌گذاری). کاغذ صافی به یک محلول حاوی کاوشگر آغشته می‌شود. کاوشگر<sup>۱</sup> قطعه‌ای از RNA یا DNA تک‌رشته‌ای نشان‌دار شده به‌وسیله‌ی مواد رادیواکتیو یا فلورسنت است که مکمل ژن مورد نظر ماست. وقتی مولکولی نشان‌دار باشد، می‌توانیم حضور آن را با دستگاه‌های مخصوص تشخیص دهیم.

مرحله‌ی چهارم: فقط بخشی از DNA که مکمل کاوشگر است، به کاوشگر متصل می‌شود و یک نوار قابل مشاهده را به‌وجود می‌آورد.

پژوهشگر به‌محض این‌که کلونی‌های حاوی ژن مورد نظر را شناسایی کرد، خواهد توانست باکتری‌های حاصل از مهندسی ژنتیک را به‌روش‌های مختلف دست‌ورزی کند. به‌عنوان مثال می‌تواند ژن مورد نظر را استخراج کند تا DNA خالص را برای انجام مطالعات ژنتیک در دسترس

۱- probe

داشته باشد. وجود DNA خالص شده این امکان را برای او فراهم می‌آورد که توالی نوکلئوتیدی ژن را تعیین کند. پژوهشگران با مقایسه‌ی توالی نوکلئوتیدی تعداد زیادی از جانداران متفاوت، می‌توانند تکامل یک ژن خاص را بررسی کنند.

پژوهشگر همچنین می‌تواند ژن مورد نظر را استخراج کند و به سایر جانداران انتقال بدهد. کلونی‌های باکتریایی می‌توانند برای تولید پروتئینی که ژن مورد نظر آن را رمز می‌کند، به کار برده شوند. بنابراین می‌توان این پروتئین‌ها را مورد پژوهش قرار داد، یا به‌عنوان دارو مصرف کرد، مثل انسولین.

## خودآزمایی



۱- چهار مرحله‌ی عمومی آزمایش‌های مهندسی ژنتیک را برای شرح کلون کردن یک ژن انسان، به کار ببرد.

۲- نقش «انتهای چسبنده‌ی» DNA را در ساختن DNA نو ترکیب شرح دهید.

۳- به‌طور خلاصه شرح دهید چگونه سلول‌ها در آزمایش‌های مهندسی ژنتیک غربال می‌شوند.

## تفکر نقادانه

مهارت ارائه‌ی نتیجه‌گیری: یک دانش‌آموز روی یک نمونه‌ی DNA الکتروفورز انجام داده است و معتقد است که کوچک‌ترین قطعه‌ی DNA موجود در نمونه‌اش، نزدیک‌ترین نوار به قطب منفی ژل است. آیا شما با نتیجه‌گیری او موافق هستید؟ شرح دهید.

## ۲ مهندسی ژنتیک در پزشکی

داروها و واکنش‌های حاصل از مهندسی ژنتیک امروزه در دسترس هستند. مهندسی ژنتیک می‌تواند برای مشکلاتی که بشر با آن‌ها روبه‌روست، مثل تأمین غذا و مبارزه با بیماری‌ها راه‌حل‌هایی ارائه کند. بعضی از این راه‌حل‌ها هم‌اکنون در دسترس همگان‌اند و بعضی دیگر در آینده در دسترس قرار خواهند گرفت. آینده‌ای که به گمان بسیاری از پژوهشگران بر زیست‌شناسی متکی است.

**داروها:** بسیاری از بیماری‌های ژنی به‌علت عدم توانایی بدن در ساختن یک نوع پروتئین خاص است. به این علت در سراسر جهان صدها شرکت داروسازی وجود دارد که پروتئین‌های مورد نیاز این بیماران را با به‌کار بردن روش‌های مهندسی ژنتیک در باکتری‌ها تولید می‌کنند (شکل ۵-۲). مواد ضد انعقاد خون از جمله‌ی این پروتئین‌ها هستند و برای جلوگیری از ایجاد لخته‌ی خون به‌کار می‌روند. انسولین نیز که در درمان دیابت به‌کار می‌رود، از همین جمله است.

فاکتور انعقادی شماره‌ی VIII پروتئینی است که در روند انعقاد خون دخالت دارد و فقدان آن سبب ناتوانی در انعقاد خون می‌شود و بیماری هموفیلی را به وجود می‌آورد. این پروتئین با به‌کار گرفتن روش‌های مهندسی ژنتیک ساخته می‌شود و به‌عنوان دارو به فروش می‌رسد. تا چندی پیش بیماران هموفیل فاکتوری را که از خون‌های اهدایی استخراج می‌شد، دریافت می‌کردند. متأسفانه بعضی از خون‌های اهدایی به ویروس HIV یا ویروس هپاتیت B آلوده بودند.

بیش‌تر بدانید داروهای حاصل از مهندسی ژنتیک



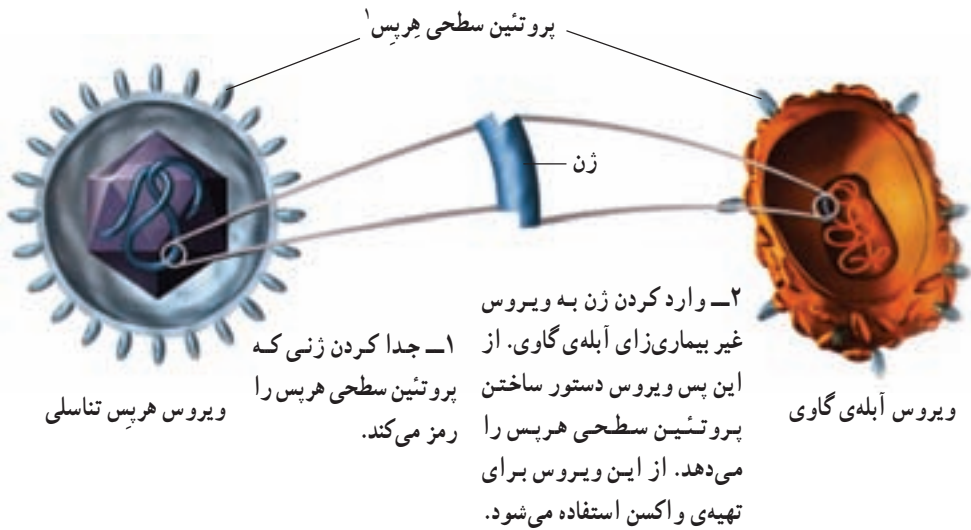
کاربرد در درمان	محصول
آنمی (کم‌خونی)	اریتروپوئین
زخم‌ها و سوختگی‌ها	فاکتورهای رشد
ناهنجاری‌های رشدی	هورمون رشد انسانی
سرطان	اینترلوکین‌ها
بیماری‌های ویروسی و سرطان	اینترفرون‌ها

واکسن‌ها: بسیاری از بیماری‌های ویروسی، مانند آبله و فلج اطفال با داروهای موجود درمان نمی‌شوند. می‌توان با این ویروس‌ها از طریق پیشگیری، یعنی به‌کار بردن واکسن، مبارزه کرد. در گذشته واکسن‌ها، یا با میکروب‌های کشته‌شده‌ی بیماری‌زا، یا با میکروب‌های ضعیف شده تهیه می‌شدند. این عمل باعث می‌شود که خود واکسن ایجاد بیماری نکند. دستگاه ایمنی بدن پس از تزریق واکسن پروتئین‌های سطحی میکروب‌ها را شناسایی می‌کند و با ساختن پروتئین‌های پادتن به آن پاسخ می‌دهد. اگر بعداً یک میکروب از همان نوع وارد بدن شود، پادتن‌ها در بدن حضور دارند و با آن میکروب مبارزه می‌کنند. مشکل این روش‌ها این است که یک خطا در کشتن و ضعیف کردن یک بیماری‌زا منجر به انتقال بیماری به افرادی می‌شود که برای جلوگیری از آن اقدام کرده‌اند. واکسن‌هایی که با روش‌های مهندسی ژنتیک ساخته می‌شوند این خطر را ندارند. با این روش‌ها می‌توان ژن مربوط به آنتی‌ژن یک بیماری‌زا را به DNA یک باکتری یا ویروس غیربیماری‌زا وارد کرد (شکل ۵-۲). باکتری یا ویروس غیر بیماری‌زا در این حالت تغییر می‌کند و یک واکسن مفید و مطمئن به‌وجود می‌آورد.

### بیش‌تر بدانید



مهندسان ژنتیک سعی می‌کنند ژن‌های بیماری‌زا را به میوه‌ها و سبزیجات وارد کنند. آن‌ها با این کار قصد دارند داروهایی خوراکی که ارزان و خوردن آن‌ها آسان باشد، تولید کنند. کاربرد چنین واکسن‌هایی در کشورهای درحال توسعه بسیار مفید خواهد بود. موز و سیب‌زمینی که از جمله‌ی این میوه‌ها و سبزی‌ها هستند، به بازار عرضه خواهند شد. امروزه تکنولوژی زیستی به عرصه‌های متفاوت و جدیدی وارد شده است. یکی از این عرصه‌ها فضا و دانش مربوط به آن است، به‌طوری که شاخه‌ای از دانش به‌نام زیست فناوری فضایی شکل گرفته است. مطالعه‌ی عملکرد باکتری‌ها در شرایط بی‌وزنی از موضوع‌های مورد علاقه‌ی محققان در این شاخه است. تحقیقات نشان داده‌اند که بیماری‌زایی بعضی از باکتری‌ها در این شرایط زیاد می‌شود. محققان امیدوارند که از این ویژگی در تولید بیش‌تر واکسن استفاده کنند.



شکل ۵-۲- ساختن یک واکسن با روش‌های مهندسی ژنتیک

واکسن ضد بیماری هپاتیت B امروزه از طریق مهندسی ژنتیک ساخته شده است. ویروس هپاتیت B باعث التهاب کبد می‌شود و ممکن است کشنده باشد. تلاش دیگری که امروزه صورت می‌گیرد تولید واکسنی است که مردم را در برابر بیماری مالاریا محافظت کند. مالاریا بر اثر آلودگی به یک تک سلولی از گروه آغازیان به وجود می‌آید و معمولاً در برابر آن حفاظت مؤثری وجود ندارد (فصل ۱۰).

بیش‌تر بدانید



### واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز (PCR)

پلیس در محل جنایت فقط یک رشته مو به‌عنوان مدرک پیدا کرد. آیا یک رشته‌ی مو مقدار کافی DNA برای بررسی در بر دارد؟ برای تهیه‌ی انگشت‌نگاری ژنی و سایر کاربردهای مهندسی ژنتیک که در این فصل مورد بررسی قرار گرفتند، مقدار معینی DNA مورد نیاز است. هرچند برخی مواقع مقدار بسیار کمی DNA در دسترس است. امروزه محققان روشی به نام واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز به کار می‌برند تا یک قطعه‌ی انتخاب شده از DNA را تکثیر کنند. پژوهشگر، در واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز، می‌تواند از یک نمونه‌ی DNA در عرض چند ساعت چند میلیون نسخه بسازد! چرخه‌های گرماده‌ی و همانندسازی: در واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز به نمونه‌ای از DNA

دو رشته‌ای که می‌خواهند آن را تکثیر کنند، حرارت می‌دهند. حرارت باعث جدا شدن دو رشته از یک‌دیگر می‌شود. این مخلوط را سپس سرد و یک قطعه‌ی کوچک از DNA به نام پرایمر به آن اضافه می‌کنند. پرایمرها را به‌طور مصنوعی می‌سازند. پرایمر به نقاطی از DNA که همانندسازی از آن‌ها آغاز می‌شود، متصل می‌شود. سپس DNA پلی‌مراز و نوکلئوتیدهای آزاد را به مخلوط می‌افزایند. DNA پلی‌مراز با افزودن نوکلئوتیدهای مکمل به پرایمر باعث طولی شدن رشته‌ی DNA می‌شود. نتیجه‌ی این فرآیند تولید دو مولکول DNA است که با یک‌دیگر و با مولکول DNA اولیه مشابه هستند. فرآیند گرمادهی و همانندسازی بارها و بارها تکرار می‌شود. هر چند دقیقه یک‌بار نمونه‌ی DNA دو برابر می‌شود. بنابراین در زمان کوتاهی تعداد زیادی نسخه از نمونه‌ی اولیه به‌وجود می‌آید.



کاربردهای واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز: می‌توان DNA موجود در پنجاه گلول سفید خون را که ممکن است در یک لکه‌ی بسیار کوچک خون یافت شوند، به‌وسیله‌ی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز تکثیر کرد. این روش برای تشخیص بیماری‌ها و ناهنجاری‌های ژنتیک و حل مسایل جنایی اهمیت خاصی دارد. PCR در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی و برای مطالعه‌ی قطعات DNA اجدادی در فسیل‌ها یا مواد حفظ‌شده نیز به‌کار می‌رود.

## ژن درمانی

بسیاری از ناهنجاری‌های ژنتیک زمانی ایجاد می‌شوند که فرد نسخه‌ی فعال یک ژن خاص را نداشته باشد. ژن درمانی یعنی قراردادن یک نسخه‌ی سالم از یک ژن، درون سلول‌های فردی که دارای نسخه‌ی ناقص از همان ژن است. در اجرای این روش سلول‌ها را از بدن بیمار

خارج و ژن سالم را وارد آن‌ها می‌کنند. سپس سلول‌های تغییر یافته را به بدن بیمار باز می‌گردانند. پس از آن ماده‌ای که در این فرد وجود نداشت، توسط سلول‌های دارای ژن جدید، ساخته می‌شود.

اولین تلاش‌ها برای انجام ژن‌درمانی در دخترچه‌ای که مبتلا به نوعی ناهنجاری دستگاه ایمنی بود صورت گرفت. این ناهنجاری را یک ژن جهش یافته ایجاد می‌کند. این ژن جهش یافته نمی‌تواند یک آنزیم مهم دستگاه ایمنی را بسازد. پزشکان سلول‌های مغز استخوان این کودک را استخراج کردند و یک ژن سالم را در آن‌ها قرار دادند. سپس این سلول‌ها را به داخل مغز استخوان دختر بازگرداندند. سلول‌ها بلافاصله شروع به ساختن آنزیم کردند. چون این نوع سلول‌های مغز استخوان دارای قدرت تقسیم هستند، نسل‌های بعدی این سلول‌های حاصل از مهندسی ژنتیک به ساختن این آنزیم ادامه دادند.

بیش تر بدانید



### تشخیص هویت

به جز دو قلوهای همسان، هیچ دونفری در جهان یافت نمی‌شوند که محتوای ژنتیک یکسانی داشته باشند. به علت وجود جهش‌های تصادفی و نوترکیبی در تولیدمثل جنسی، توالی نوکلئوتیدی DNA همه‌ی افراد باهم متفاوت است. این تفاوت‌ها در بخشی از DNA به اوج خود می‌رسد به طوری که می‌توان گفت این بخش از DNA در هر فرد منحصر به فرد است. درست مثل اثر انگشت که منحصر به فرد است و از آن برای شناسایی افراد استفاده می‌شود، می‌توان از این بخش از DNA برای تشخیص هویت استفاده کرد.

در تشخیص هویت از روش RFLP<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. در این روش آنزیم‌های محدودکننده را روی DNA اثر می‌دهند. آنزیم‌های محدودکننده DNA را می‌برند و آن را قطعه قطعه می‌کنند. طول قطعات حاصل با هم متفاوت است. علاوه بر این طول این قطعات، از فردی به فرد دیگر نیز فرق می‌کند. بنابراین، اگر آن‌ها را به وسیله‌ی الکتروفورز در ژل جدا کنیم، برای هر فرد الگویی از نوارهای DNA ایجاد می‌شود که منحصر به خود اوست و با دیگران متفاوت است. این روش را گاه «انگشت‌نگاری از DNA» نیز می‌نامند.

مقایسه‌ی الگوی نوارهای دو فرد متفاوت ارتباطات خویشاوندی آن‌ها را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> – Restriction Fragment Length Polymorphism

چون اثر انگشت DNA از نمونه‌های DNA موجود در خون، مایع حاوی اسپرم، استخوان و مو تهیه می‌شود، بنابراین این روش در پزشکی قانونی کاربرد دارد. پزشکی قانونی بررسی علمی علت جراحت یا مرگ را، به‌خصوص زمانی که در شواهد جنایی تردید وجود داشته باشد، برعهده دارد. اثر انگشت DNA در شناسایی ژن عامل بیماری‌های ژنی؛ مثل بیماری هانتینگتون و کم‌خونی داسی شکل نیز کاربرد دارد.

## توالی و جایگاه همه‌ی ژن‌های انسان مورد مطالعه قرار گرفته است.

تکنولوژی ژن توانایی‌های زیادی برای مقابله علیه بیماری‌ها دارد. یکی از مهم‌ترین شواهدی که کارایی مهندسی ژنتیک را تأیید می‌کند، پروژه‌ی ژنوم انسان است. هدف پروژه‌ی ژنوم انسان (HGP)<sup>۱</sup> تعیین توالی نوکلئوتیدی ژنوم انسان و تعیین نقشه‌ی جایگاه هر ژن روی هر کروموزوم است. واژه‌ی ژنوم به کل محتوای DNA یک جاندار گفته می‌شود. ژنوم محتوای DNA هسته‌ای و DNAهای سیتوپلاسمی (میتوکندری و کلروپلاست) را دربر می‌گیرد. ژنوم هسته‌ای انسان از ۲۲ کروموزوم غیرجنسی (اتوزوم) و دو کروموزوم جنسی X و Y تشکیل شده است. دانشمندان امیدوارند که دانش به‌دست آمده از پروژه‌ی ژنوم انسان بتواند به تشخیص، معالجه و درمان حدود ۴۰۰۰ ناهنجاری ژنتیک انسان کمک کند. دانشمندان تاکنون ژن‌های دخیل در بسیاری از ناهنجاری‌های ژنتیک، از جمله سیستیک فیبروزیز، دیستروفی عضلانی دوشن و سرطان را کشف کرده‌اند. شکل ۶-۲ تعدادی از ژن‌ها و بیماری‌های ژنتیکی موجود روی کروموزوم X انسان را نشان می‌دهد.

کروموزوم X انسان



شکل ۶-۲- نقشه‌ی کروموزوم. پروژه‌ی ژنوم انسان جایگاه بسیاری از ژن‌ها را مشخص کرده است با وجود این که بیش از ۴۵٪ ژن و ۲۰۰ ناهنجاری ژنتیکی روی کروموزوم X وجود دارند فقط تعداد کمی از آن‌ها در این شکل نشان داده شده است.



تهیه‌ی نقشه و توالی‌یابی سایر جانداران: علاوه بر ژنوم انسان، ژنوم بعضی دیگر از جانداران نیز نقشه‌برداری و توالی‌یابی شده‌اند. ژنوم بیش از پانزده موجود زنده به‌صورت کامل توالی‌یابی شده است. به‌عنوان مثال توالی ژنوم باکتری هموفیلوس آنفلوآنزا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ مشخص شد. در سال ۱۹۹۶ ژنوم مخمر نان<sup>۲</sup> توالی‌یابی شد. توالی ژنوم اولین موجودات پرسلولی مربوط به یک کرم لوله‌ای به نام سینورا بدیتیس الگانس<sup>۳</sup> بود که در سال ۱۹۹۸ انجام شد. ژنوم بسیاری از موجودات مهم آزمایشگاهی از جمله موش، مگس سرکه و گیاه آرابیدوپسیس<sup>۴</sup> توالی‌یابی و نقشه‌برداری شده‌اند.

## خودآزمایی

- ۱- بین مهندسی ژنتیک و درمان بیماری‌های انسان چه رابطه‌ای وجود دارد؟
- ۲- روش‌های مهندسی ژنتیک در تهیه‌ی واکسن‌ها را شرح دهید.
- ۳- فرآیندی که از طریق آن نسخه‌ی سالم یک ژن وارد سلول فردی می‌شود که دارای نسخه‌ی ناقص آن ژن است، چه نام دارد؟
- ۴- چرا پروژه‌ی ژنوم انسان در تحقیقات پزشکی حائز اهمیت است؟

## تفکر نقادانه

مهارت، تشخیص صحت اطلاعات: دانش‌آموزی اظهار می‌کند که مهندسی ژنتیک کاملاً «ایمن و بی‌نقص» است. به‌نظر شما چه پی‌آمدهای امنیتی و اخلاقی بر اثر استفاده از مهندسی ژنتیک ممکن است به‌وجود آید؟

۱- *Haemophilus influenzae*

۲- *Saccharomyces cerevisiae*

۳- *Caenorhabditis elegans*

۴- *Arabidopsis*

### ۳ مهندسی ژنتیک در کشاورزی و دامداری

می‌توان با انتقال ژن‌ها به گیاهان باعث اصلاح محصولات آن‌ها شد.

اولین اصلاح‌کنندگان بذر کشاورزانی بودند که بذرهای بهترین گیاه خود را انتخاب می‌کردند، آن‌ها را می‌کاشتند و بدین ترتیب به تدریج در نسل‌های متمادی گیاهان را اصلاح می‌کردند. در قرن بیستم، اصلاح‌کنندگان بذر برای انتخاب گیاهان مبانی ژنتیک را به کار بردند. امروزه مهندسان ژنتیک می‌توانند ویژگی‌های مطلوب را با دست‌ورزی ژن به گیاهان بیفزایند.

مهندسان ژنتیک می‌توانند به روش‌های، مختلف، گیاهان را تغییر دهند؛ از جمله ایجاد گیاهان مقاوم به شرایط خشکی و تولید گیاهانی که با خاک‌های مختلف، اقلیم‌های متفاوت و فشارهای محیطی سازگاری حاصل کنند، تنظیم سرعت رسیدن میوه‌ها و افزایش ارزش غذایی گیاهان. به‌عنوان مثال، با انجام روش‌های مهندسی ژنتیک روی گیاه برنج، سویه‌های دارای میزان بالای بتاکاروتن (که در بدن به ویتامین A تبدیل می‌شود) و آهن تولید شده‌اند. این دست‌آوردها در بخش‌هایی از قاره‌ی آسیا اهمیت خاصی دارند، زیرا بسیاری از مردم آن از کمبود ویتامین A و آهن رنج می‌برند.

سازندگان علف‌کش‌هایی که در طبیعت زود تجزیه می‌شوند انواعی از گیاهان زراعی مقاوم به این علف‌کش‌ها را تولید کرده‌اند. ویژگی این گیاهان زراعی باعث می‌شود که کشاورزان بتوانند با کاربرد این علف‌کش‌ها علف‌های هرز را از بین ببرند، بدون این که به گیاهان زراعی آسیب برسد. چون برای از بین بردن علف‌های هرز نیاز به شخم زدن زمین نیست، خاک‌های سطحی کم‌تر دستخوش فرسایش می‌شوند. دانشمندان با وارد کردن یک ژن درون محصولات گیاهی، گیاهانی تولید کرده‌اند که نسبت به حشرات مقاوم هستند. گیاهانی که نسبت به حشرات مقاوم‌اند، نیازی به استفاده از سموم حشره‌کش که آلوده‌کننده‌ی محیط زیست هستند، ندارند.



حداکثر ۵۰ گونه‌ی گیاه به روش‌های مهندسی ژنتیک تغییر یافته‌اند: سیب زمینی، سویا و گندم از این جمله‌اند. محقق‌ی با روش‌های مهندسی ژنتیک، گوجه‌فرنگی‌هایی تولید کرده است که میوه‌های رسیده‌ی آن‌ها نرم نیست.

**کشف یک وکتور گیاهی:** تا چندین سال، مهندسان ژنتیک وکتور مناسبی که بتواند ژن‌ها را به گیاه انتقال دهد، در دسترس نداشتند؛ تا این که آنان دریافتند که عامل گال نوعی پلازمید باکتریایی است. گال نوعی بیماری گیاهی است که باعث ایجاد تومورهای بزرگ روی گیاه می‌شود. این پلازمید، پلازمید **Ti** (الفاکننده‌ی ایجاد تومور)<sup>۱</sup> نام دارد. پلازمید **Ti** بسیاری از گیاهان زراعی مثل گوجه‌فرنگی، توتون و سویا را آلوده می‌کند. این پلازمید وارد سلول‌های گیاهی می‌شود و بدین طریق گیاه را آلوده می‌کند. محققان ژن ایجادکننده‌ی تومور را از پلازمید **Ti** خارج و یک DNA خاص را جایگزین آن می‌کنند. هم چنین می‌توان ژن را با یک «تفنگ ژنی» به سلول‌های گیاه گندم شلیک کرد.

### تکنولوژی ژن در دامداری به کار برده می‌شود.

دامداران مدت‌ها کوشیده‌اند که دام‌ها و محصولات آن‌ها را در طی نسل‌های متوالی و برنامه‌های تنظیم شده، اصلاح کنند. در گذشته، گاوهایی که شیر بیش‌تری تولید می‌کردند، به امید تولید نسل‌های با شیر بیش‌تر، باردار می‌شدند. این فرآیندهای متوالی، طولانی و کم بازده بودند. امروزه در جوامع

<sup>۱</sup> - Tumor inducing

پیشرفته، بسیاری از دامداران روش‌های مهندسی ژنتیک را برای اصلاح یا تغییر دام‌ها به کار می‌برند. برخی از دامداران برای افزایش تولید شیر به رژیم غذایی گاوها هورمون‌های رشد می‌افزایند. در گذشته هورمون‌های رشد از مغز گاوهای کشته شده استخراج می‌شد، اما امروزه ژن هورمون رشد گاوی را وارد باکتری‌ها می‌کنند. باکتری، این هورمون را با هزینه‌ای کم تولید می‌کند، بنابراین اضافه کردن آن به رژیم غذایی گاوها مقرون به صرفه خواهد بود.

**تولید پروتئین‌های مفید از نظر پزشکی:** کاربرد دیگر تکنولوژی ژن در دامداری افزودن ژن‌های انسان به دام‌ها است. هدف از این کار آن است که پروتئین‌های انسان در شیر دام‌ها ظاهر شود. این روش بیش‌تر برای پروتئین‌های پیچیده‌ی انسانی به کار می‌رود که از طریق تکنولوژی ژن در باکتری‌ها تولید نمی‌شوند.

پروتئین‌های انسان را از شیر این جانوران استخراج می‌کنند و برای اهداف دارویی به کار می‌برند. این جانوران را جانوران تراژنی<sup>۱</sup> می‌نامند. چون در سلول‌های آن‌ها DNA بیگانه وجود دارد. **کلون کردن از سلول‌های تخصص‌یافته:** در سال ۱۹۹۷، محققى به نام یان ویلموت<sup>۲</sup> با ارائه‌ی اخباری مبنی بر کلون کردن موفقیت‌آمیز یک گوسفند، با استفاده از سلول‌های تمایز یافته‌ی بدن او، توجه جهان را به خود جلب کرد.

یک بره با کلون کردن هسته‌ی سلولی از پستان گوسفند بالغ به وجود آمد. در سابق، کلون کردن فقط به وسیله‌ی سلول‌های جنینی یا نوزادی ممکن بود. محققان تصور می‌کردند نمی‌توان از سلول‌های تمایز یافته برای تولید موجود زنده‌ی کامل استفاده کنند. آزمایش ویلموت این فرضیه را رد کرد. ویلموت سلول پستان گوسفند را در اثر تحریک الکتریکی با سلول تخمک فاقد هسته‌ی یک گوسفند دیگر ادغام کرد. این سلول ادغام شده تقسیم شد و اولین سلول‌های جنین را به وجود آورد. ویلموت سلول‌های حاصل را درون رحم گوسفند ماده‌ای (مادر جانشینی) کار گذاشت. حاصل این کار در تابستان ۱۹۹۶ به صورت گوسفندی که دالی نام گرفت، بود. دالی از نظر ژنتیکی کاملاً مشابه با گوسفندی بود که سلول پستان از آن گرفته شده بود<sup>۳</sup> (شکل ۷-۲).

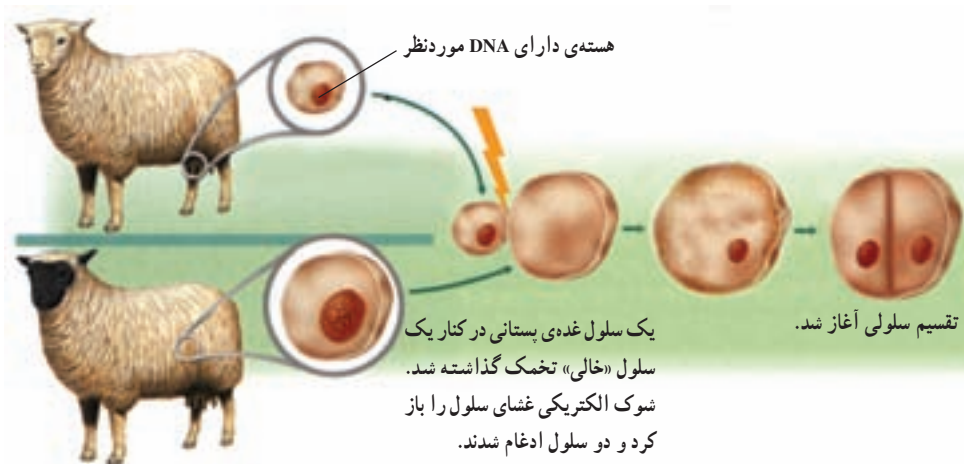
محققان دیگر آزمایش‌های مشابهی برای کلون کردن گاوها و موش‌ها به کار برده‌اند. این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که کلون کردن بدن روش در سایر پستانداران هم ممکن است. با ادامه یافتن تحقیقات، امروزه کلون کردن به وسیله‌ی سلول‌های تمایز یافته در جانوران رایج شده است.

۱- transgenic

۲- Ian Wilmut

۳- دانشمندان در زمستان سال ۱۳۸۱ به علت ابتلای دالی به بیماری پیشرفته‌ی روی، به زندگی او پایان دادند.

سلول‌های غده‌های پستانی استخراج شدند و در محیط کشت ویژه‌ای که چرخه‌ی سلولی را متوقف می‌کند، قرار داده شدند.



سلول‌های تخمک استخراج و هسته‌ی آن‌ها خارج شد.



شکل ۷-۲- کلون کردن گوسفند از سلول پستان. در سال ۱۹۹۷ محققان انجام یک کلون موفقیت‌آمیز را با استفاده از سلول‌های تمایز یافته اعلام کردند: بره‌ی حاصل از این کلون دالی نام گرفت.

تصویر کلون کردن انسان امروزه غیرممکن نیست. دلیلی بر عدم موفقیت چنین آزمایش‌هایی وجود ندارد، اما سوالات زیادی وجود دارد که باید ابتدا به آن‌ها پاسخ داد. یکی از آن‌ها قوانین اخلاقی کلون کردن انسان است.

## فعالیت



### مدل‌سازی آزمایش‌های مهندسی ژنتیک

#### مهارت‌ها

- مدل‌سازی
- مقایسه کردن

#### اهداف

- طرحی ارائه دهید که بتواند فرآیند مهندسی ژنتیک را شرح دهد.
  - چگونگی ساخته شدن DNA نو ترکیب را شرح دهید.
- وسایل مورد نیاز
- تکه‌های نی پلاستیکی به طول ۳ سانتی‌متری (۵۶ عدد)
  - سوزن ته‌گرد (۱۵ عدد قرمز رنگ، ۱۵ عدد سبز، ۱۳ عدد آبی و ۱۳ عدد زرد رنگ)
  - گیره‌ی کاغذ (۵۶ عدد)



در این آزمایش شما مدلی برای فرآیند مهندسی ژنتیک ارائه خواهید داد و ساختن یک DNA نو ترکیب را با وارد کردن یک ژن فرضی انسان به یک پلازمید مشابه‌سازی خواهید نمود.

- ۱- واژه‌های زیر را تعریف کنید و قوانین جفت شدن بازها را شرح دهید.  
مهندسی ژنتیک، وکتور، آزیم محدود کننده، انتهای چسبنده
- ۲- براساس اهداف این آزمایش یک سؤال در مورد روش‌های مهندسی ژنتیک مطرح کنید.

#### روش کار

#### مدل‌سازی فرآیند مهندسی ژنتیک

- ۱- مدلی برای یک تکه DNA ۵۶ نوکلئوتیدی بسازید. برای ساختن هر نوکلئوتید یک

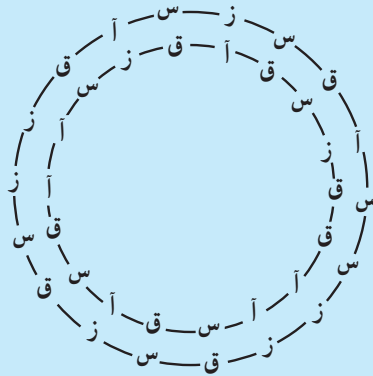
سوزن ته گرد را درون یک قطعه نی فرو کنید. در سر دیگر نی یک گیره‌ی کاغذی فرو کنید.  
 ۲- برای ساختن DNA پلازمید باکتری، نوکلئوتیدهای فوق را به صورت یک رشته DNA به ترتیب زیر درآورید:

آبی، قرمز، سبز، زرد، قرمز، قرمز، آبی، آبی، سبز، قرمز، آبی، آبی، سبز، زرد، قرمز، دو نوکلئوتید متوالی را با وارد کردن انتهای گیره‌ی کاغذی یک نوکلئوتید درون انتهای آزاد نوکلئوتید دیگر به هم وصل کنید.

۳- با استفاده از اولین رشته‌ی DNA و قوانین زوج شدن بازها رشته‌ی مکمل DNA پلازمید را بسازید.

تذکر: زرد مکمل آبی و قرمز مکمل سبز است.

۴- مدل پلازمید حلقوی را با وصل کردن دو انتهای هر رشته از DNA به هم کامل کنید. با طرح ساده‌ای توالی بازهای پلازمید خود را نشان دهید. از حروف ابتدای هر رنگ (آ، ز، س، ق) به عنوان حروف اختصار نشان‌دهنده‌ی سوزن‌های ته‌گرد استفاده کنید. طرح شما بایستی مشابه شکل زیر باشد.



۵- مدلی برای قطعه‌ای از کروموزوم انسان که بر اثر آنزیم‌های محدودکننده به وجود آمده است بسازید. نوکلئوتیدهای یک رشته از DNA را به این ترتیب مقابل به دنبال هم ردیف کنید: آآق قز س آق ز. رشته‌ی دوم را با مرتب کردن نوکلئوتیدهای باقیمانده با ترتیب آق قز س آق ز بسازید.

۶- بخش‌های مکمل دو رشته DNA را که در مرحله‌ی ۵ ساختید با هم جفت کنید. طرحی را برای نشان دادن توالی قطعه‌ی کروموزوم انسانی مدل خود رسم کنید.

۷- تصور کنید آنزیم محدودکننده‌ای که قطعه‌ی کروموزوم انسانی را در مرحله‌ی ۵ و ۶ بریده است در طول مدل DNA پلازمید حرکت می‌کند تا توالی زق ق آس و توالی مکمل آن آس س زق را بیابد. در طرح بالا که پلازمید را نشان می‌دهد این توالی را بیابید.

۸- در بخشی که در مرحله ۷ مشخص کرده‌اید، عملی مشابه با عمل آنزیم محدودکننده انجام دهید. در هر رشته نوکلئوتیدهای سبز و آبی مجاور هم را از یک‌دیگر جدا کنید. با طرحی مولکول پلازمید باز شده را نشان دهید.

۹- مدل قطعه DNA انسان را در کنار مدل مولکول پلازمید باز شده قرار دهید و تصور کنید که یک آنزیم لیگاز انتهای DNA انسان و پلازمید را به هم می‌پیوندد. طرح آخرین مولکول DNA مدل خود را هم بکشید.

### بحث و نتیجه‌گیری

۱- مقایسه‌ی ساختارها: مدل‌های DNA پلازمید و DNA انسان را باهم مقایسه کنید.

۲- ارتباط برقرار کردن بین مفاهیم: چهار قطعه نوکلئوتید جفت نشده در قطعه DNA

انسان چه چیز را نشان می‌دهند؟

۳- مقایسه‌ی ساختارها: مدل DNA پلازمید اولیه از چه نظر با مدل مولکول DNA

ایجاد شده در انتهای آزمایش متفاوت است؟

۴- نتیجه‌گیری از طرح‌ها: مولکولی که در مرحله ۹ ساختید چه چیز را نشان می‌دهد؟

۵- تحقیق بعدی: یک سؤال جدید بنویسید و یک تحقیق جدید براساس این سؤال

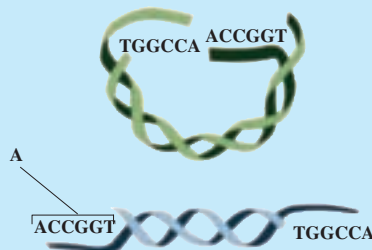
طراحی کنید.

### فعالیت



### تفسیر شکل‌ها

شکل زیر دو مولکول DNA را نشان می‌دهد. DNA بالایی یک پلازمید را نشان می‌دهد که با یک آنزیم محدودکننده بریده شده است. DNA پایینی قطعه‌ای از DNA انسان را نشان می‌دهد که از یک قطعه‌ی بزرگ‌تر از DNA انسان بریده شده است. با توجه به شکل به سؤالات صفحه‌ی بعد پاسخ دهید:





- ۱- بخشی از مولکول DNA انسان که با A مشخص شده چه چیزی را نشان می‌دهد؟
- ۲- با استفاده از رنگ‌های مختلف مولکول DNA را که از پیوستن این دو قطعه به وجود می‌آید رسم کنید.
- ۳- اگر این دو قطعه DNA به هم وصل شوند، مولکول DNA حاصل چه نامیده می‌شود؟

## خودآزمایی



- ۱- سه روشی را که محصولات غذایی از طریق مهندسی ژنتیک اصلاح شده‌اند فهرست کنید.
- ۲- چگونه پلازمید Ti برای وارد کردن ژن به سلول‌های گیاه به کار می‌رود؟
- ۳- روش کلون کردن گوسفند از طریق استفاده از سلول‌های تمایز یافته را به اختصار شرح دهید.

## تفکر نقادانه

دلایل موافقت و عدم موافقت خود را با استفاده از شیر حاصل از گاوهای تغذیه شده با هورمون رشد بیان کنید.

بخش دوم

گوناگونی و تحول جانداران



## پیدایش و گسترش زندگی

۳

برای پاسخ به این پرسش که زندگی دقیقاً چه موقع و چگونه روی زمین پدیدار شد، پژوهشگران با شواهدی که به دست می‌آورند، فرضیه‌ها و سپس نظریه‌هایی ارائه می‌دهند و بدین طریق در این باره گمانه‌زنی می‌کنند.

### پیش‌نیازها

پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :

- ساختار پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها را شرح دهید،
- سلول‌های پروکاریوتی را با سلول‌های یوکاریوتی مقایسه کنید،
- ساختارهای کلروپلاست و میتوکندری را شرح دهید،
- نقش DNA را در وراثت توضیح دهید.

## زمین در آغاز فاقد حیات بود.

دانشمندان اعتقاد دارند در حدود ۴ میلیارد سال پیش زمین پوشیده از مواد مذاب بوده است. بدیهی است که در چنین شرایطی تشکیل و تداوم حیات امکان پذیر نبوده است. اندک اندک سطح سیاره‌ی زمین سرد شد و پوسته‌ای سنگی آن را دربرگرفت. بخار آب موجود در اتمسفر متراکم شد و بارش باران، اقیانوس‌های وسیعی به وجود آورد. بسیاری از زیست‌شناسان اعتقاد دارند که حیات باید اولین بار در این اقیانوس‌ها پدیدار شده باشد. به عقیده‌ی آنان تغییر و تحول جانداران صدها میلیون سال طول کشیده است. شواهد نیز حاکی است که زمین از مدت‌ها قبل از پیدایش حیات، وجود داشته است. این شواهد را اندازه‌گیری سن زمین<sup>۱</sup> به دست می‌دهد.

## مواد شیمیایی پایه‌ای حیات چگونه تشکیل شدند؟

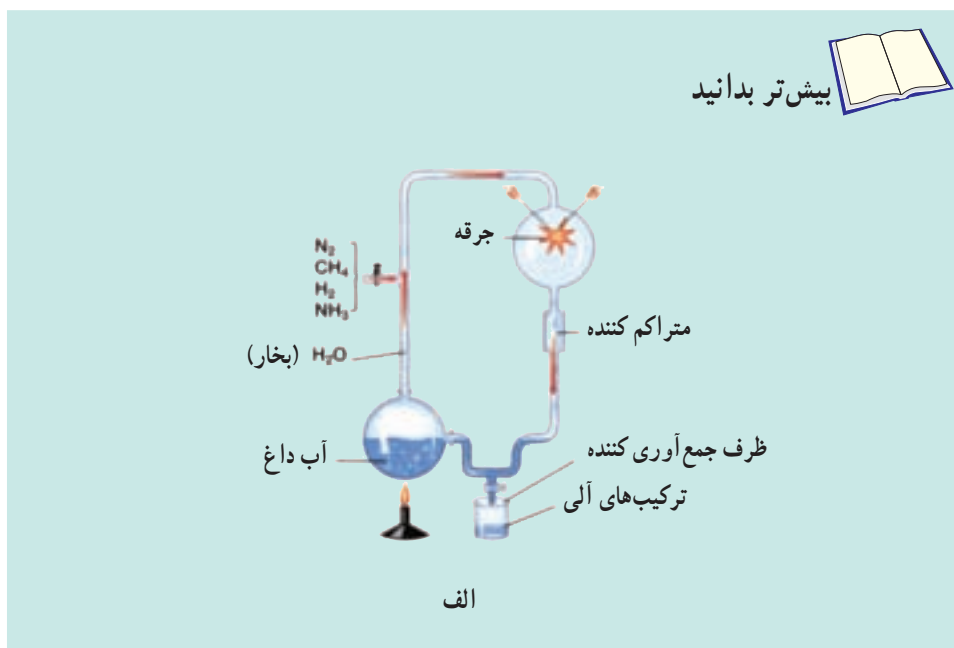
به نظر می‌رسد که در نخستین مراحل پیدایش حیات، مولکول‌های غیرزیستی با یک‌دیگر واکنش شیمیایی انجام می‌دادند. این واکنش‌ها باعث تولید تعداد و انواع زیادی مولکول‌های آلی ساده شدند. مولکول‌های ساده با استفاده از انرژی خورشید و گرمای حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی، مولکول‌های پیچیده‌تری به وجود آوردند. شاید این مولکول‌های پیچیده واحدهای سازنده‌ی اولین سلول‌ها بودند. این فرضیه که بسیاری از واحدهای آلی سازنده‌ی حیات، نخستین بار از مولکول‌های غیرزیستی تشکیل شده‌اند، مورد آزمایش قرار گرفته است.

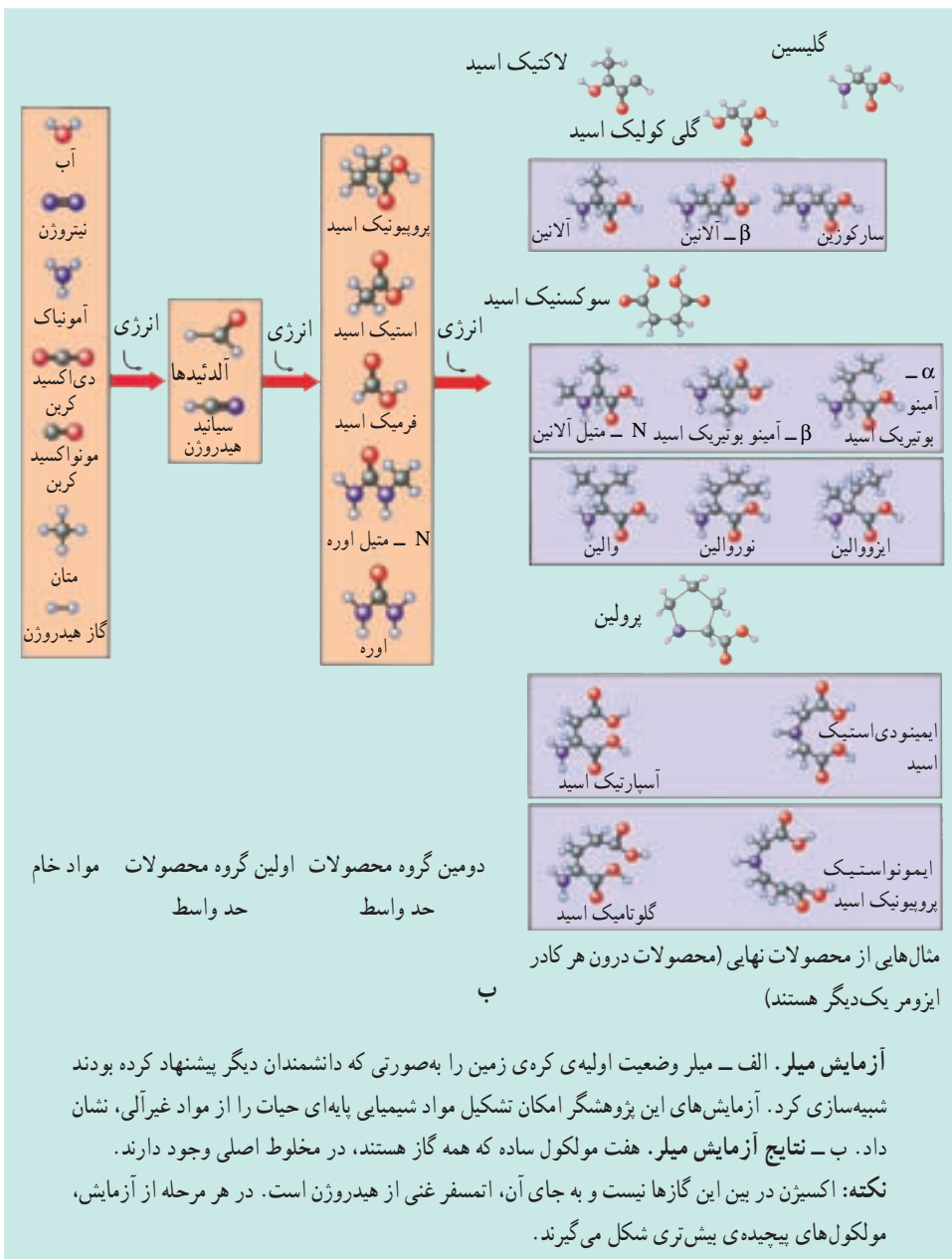
سوپ بنیادین: در دهه‌ی ۱۹۲۰ دانشمندان اظهار داشتند که در اقیانوس‌های اولیه‌ی زمین، در زمان کوتاهی مقدار زیادی مواد آلی پدید آمد. این نظریه به الگوی سوپ بنیادین مشهور شد. تصور بر این است که در آن هنگام اقیانوس‌های زمین مملو از مولکول‌های آلی مختلف بودند. این دانشمندان فرض کردند که این مولکول‌ها در اثر انرژی حاصل از تابش خورشید، انفجارهای آتشفشانی و رعدوبرق پدید آمده بودند.

۱- دانشمندان با کاربرد روشی به نام عمرسنجی، سن سنگ‌ها و آثار حیاتی را تخمین می‌زنند. برای کسب اطلاع بیشتر درباره‌ی عمرسنجی به کتاب زمین‌شناسی خود مراجعه کنید.

پس از آن گروهی دیگر از پژوهشگران، اعلام کردند که جو اولیه‌ی زمین گاز اکسیژن نداشته و در عوض غنی از نیتروژن ( $N_2$ )، هیدروژن ( $H_2$ ) و گازهای دارای هیدروژن، مانند بخار آب، آمونیاک و متان بوده است. در آن زمان انرژی خورشیدی، یا انرژی الکتریکی حاصل از رعد و برق انرژی این مولکول‌ها را افزایش می‌دهد. امروزه اکسیژن موجود در جو سریعاً الکترون‌های پراثری را جذب می‌کند، زیرا اتم اکسیژن میل بسیار زیادی به جذب چنین الکترون‌هایی دارد. هنگامی که اکسیژن موجود نباشد، الکترون‌های پراثری در انجام واکنش‌هایی دیگر، مانند واکنش با مولکول‌های هیدروژن‌دار، شرکت می‌کنند.

استانلی میلر<sup>۱</sup> در نیمه‌ی قرن بیستم، الگوی سوپ بنیادین را آزمایش کرد. او گازهای  $CH_4$ ،  $N_2$ ،  $NH_3$  و  $H_2$  را درون دستگاهی قرار داد و به منظور شبیه‌سازی رعد و برق از یک جرقه‌ی الکتریکی استفاده کرد. او پس از چند روز ترکیبات متعددی در این دستگاه پیدا کرد. این ترکیبات برخی از مولکول‌های زیستی، مانند: آمینواسیدها، اسیدهای چرب و کربوهیدرات‌ها بودند. این نتایج نشان می‌دهند که ممکن است برخی از مواد شیمیایی پایه‌ای حیات، در شرایطی مشابه شرایط آزمایشگاهی میلر، روی کره‌ی زمین پدید آمده باشند.





پژوهش های دیگر درباره ی الگوی سوپ بنیادین: اکتشافات جدید باعث ارزیابی مجدد الگوی سوپ بنیادین شد. در زمان آزمایش میلر، زیست شناسان تصور می کردند که پیدایش حیات در حدود یک میلیارد سال پیش روی داده است. اما اندازه گیری سن زمین و کشف سنگواره هایی که ۳/۵ میلیارد سال سن داشتند، نشان داد که حیات در واقع بسیار پیش تر از آن تشکیل شده بود.

امروزه می‌دانیم که مخلوطی از گازهای مورد استفاده در آزمایش میلر هنگام پیدایش حیات وجود نداشته است. چهار میلیارد سال پیش، زمین فاقد لایه‌ی محافظتی اوزون ( $O_3$ ) بود. در این صورت پرتو ماورای بنفش می‌توانست بدون لایه‌ی اوزون، همه‌ی آمونیاک و متان موجود در اتمسفر را از بین ببرد. از سوی دیگر در صورتی که گازهای آمونیاک و متان در آزمایش میلر وجود نداشته باشند، مولکول‌های زیستی پایه‌ای تشکیل نخواهند شد. این تناقض منجر به ایجاد یک سؤال اساسی شد: اگر هنگام پیدایش حیات امکان تشکیل مولکول‌های شیمیایی مورد نیاز در جو وجود نداشت، پس حیات براساس چه تبدیری پدیدار شد؟

**الگوی حباب:** چندی بعد دانشمندان اعلام کردند که فرآیندهایی اصلی که مواد شیمیایی مورد نیاز برای پیدایش حیات را به وجود آوردند، ممکن است درون حباب‌های درون اقیانوس‌ها انجام شده باشند (شکل ۱-۳). مراحل پیدایش مواد آلی، طبق این الگو، به ترتیب زیر است:

**مرحله‌ی ۱:** آمونیاک، متان و دیگر گازها از دهانه‌ی آتشفشان‌های زیردریایی خارج و در حباب‌های زیر دریا محبوس می‌شدند.

**مرحله‌ی ۲:** متان و آمونیاک مورد نیاز برای تشکیل آمینواسیدها، درون حباب‌ها در مقابل صدمات حاصل از پرتو فرابنفش محفوظ می‌ماندند. درون این حباب‌ها واکنش‌های شیمیایی با سرعت بیش‌تر انجام می‌گرفت، چون تراکم گازهای درون حباب‌ها از تراکم آن‌ها در هوا که در الگوی سوپ بنیادین مطرح شده، بسیار بیش‌تر است.

**مرحله‌ی ۳:** حباب‌ها به سطح اقیانوس می‌آمدند و پس از ترکیدن، مولکول‌های آلی ساده‌ی حاصل از واکنش‌های درون این حباب را آزاد می‌کردند.

**مرحله‌ی ۴:** مولکول‌های آلی ساده ضمن انتقال توسط باد و حرکت به سمت بالا، در معرض اشعه‌ی ماورای بنفش و رعد و برق قرار می‌گرفته‌اند و در نتیجه انرژی لازم برای واکنش‌های بعدی را کسب می‌کردند.

**مرحله‌ی ۵:** باران، بسیاری از این مولکول‌های آلی پیچیده‌تر را که به تازگی تشکیل شده بودند، همراه با مولکول‌های دیگر به درون اقیانوس می‌برد.

### مولکول‌های شیمیایی آلی پیچیده‌تر شدند.

زیست‌شناسان درباره‌ی جزئیات فرآیندهایی که منجر به تشکیل حیات شدند، اتفاق نظر ندارند. اغلب دانشمندان این مطلب را قبول دارند که مولکول‌های کوچک آلی با کسب انرژی، از طریق فرآیندهای شیمیایی ساده، تشکیل شده‌اند. می‌دانیم که بین مولکول‌های آلی و سلول‌های زنده راهی



شکل ۱-۳- الگوی حباب. مطابق این الگو گازهای آتشفشانی منشأ تشکیل مولکول آلی ساده هستند.

بسیار طولانی وجود دارد. چگونه آمینواسیدها به صورت پروتئین درآمدند؟ چگونه نوکلئوتیدها به زنجیره‌های طویل DNA تبدیل شدند؟ دانشمندان تاکنون نتوانسته‌اند در محیط آبی، در آزمایشگاه، این درشت مولکول‌ها را بدون وجود نوکلئیک اسیدهای مادری بسازند. اگرچه زنجیره‌های کوتاه RNA و DNA در محیط آبی تشکیل شده‌اند.

احتمال تبدیل میکرو سفرها به سلول‌ها: لیبیداها که از اجزای تشکیل دهنده‌ی غشاهای سلولی هستند، در محیط آبی تمایل به گردهم‌آبی دارند. اگر یک بطری محتوی روغن و سرکه را تکان دهیم، می‌توانیم چنین حالتی را مشاهده کنیم: مجموعه‌های کروی کوچکی که حاصل گردهم‌آبی مولکول‌های روغن در سرکه است، تشکیل می‌شود. در این محلول آرایش مولکول‌های چربی به صورتی است که در مجموع یک کره، مشابه غشای یک سلول را تشکیل می‌دهند. کواسروات<sup>۱</sup> مجموعه‌ای از مولکول‌های لیپیدی هستند که به علت آب‌گریز بودن، در آب به شکل کروی درمی‌آیند. این حباب‌های ریز می‌توانند مولکول‌های لیپیدی دیگر را جذب کنند و بزرگ‌تر شوند و نیز جوانه بزنند و به دو کواسروات تقسیم شوند. کواسروات‌ها ممکن است آمینواسید نیز در خود داشته باشند. اگرچه کواسروات‌ها زنده نیستند، اما شباهت زیادی به غشای سلول‌ها دارند. تجربه‌های آزمایشگاهی نیز نشان داده‌اند که بعضی دیگر از مولکول‌های آلی نیز چنین تمایلی دارند، مثلاً زنجیره‌های کوچک آمینواسیدها هم تمایل به تشکیل ریزکیسه‌هایی به نام میکروسفر<sup>۲</sup> دارند.

۱ - Coacervate

۲ - Microsphere



پژوهشگران عقیده دارند که تشکیل میکروسفرها احتمالاً اولین قدم به سمت سازماندهی سلول بوده است. طبق این فرضیه، میکروسفرها پس از تشکیل مدتی دوام داشته، اما بعد از مدتی ناپدید می‌شده‌اند. در طول میلیون‌ها سال، انواعی از میکروسفرها که با استفاده از مولکول‌های دیگر و کسب انرژی، به مدت بیش‌تری به بقای خود ادامه دادند، از فراوانی بیش‌تری برخوردار شدند. با این حال، میکروسفرهایی را که هنوز توانایی انتقال صفات به نسل آینده را کسب نکرده‌اند، نمی‌توان زنده در نظر گرفت.

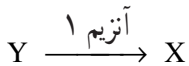
**نقش احتمالی کاتالیزورها:** در دهه‌ی ۱۹۸۰، پژوهشگران کشف کردند که برخی از مولکول‌های RNA می‌توانند شبیه آنزیم‌ها عمل کنند. ساختار سه‌بعدی RNA، سطحی را فراهم می‌کند که واکنش‌های شیمیایی می‌توانند در آن کاتالیز شوند. برخی از RNAهای امروزی نیز فعالیت‌های آنزیمی دارند؛ به نظر می‌رسد که اتصال آمینواسیدها در ریبوزوم هنگام پروتئین‌سازی را یک RNAی ریبوزومی انجام می‌دهد. یک فرضیه‌ی ساده براساس تحقیقات سچ و آلمن<sup>۱</sup> و تجربیات دیگری که درباره‌ی تشکیل مولکول‌های RNA در آب انجام شد، شکل گرفت: شاید RNA، اولین مولکول خود همانندساز بوده است. این مولکول ممکن است تشکیل اولین مولکول‌های پروتئینی را نیز کاتالیز کرده باشد. مطلب مهم‌تر این است که چنین مولکولی می‌تواند از یک نسل به نسل دیگر تغییر کند.



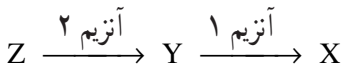
شکل ۲-۳- میکروسفر (×۱۲۵۰)

ظاهر این میکروسفرها که از جنس پروتئین‌اند، بسیار شبیه سلول‌هاست، غشای دو لایه‌ای دارند و در حال جوانه زدن هستند.

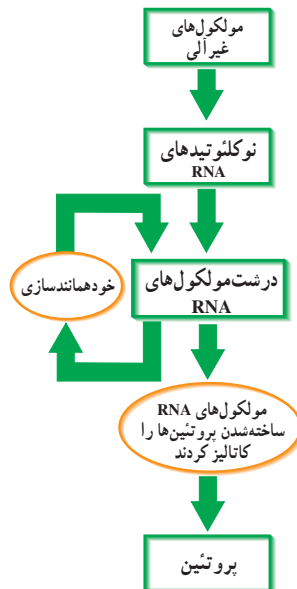
خاستگاه متابولیسم: مولکول‌های RNA، میکروسفرها و نیز ساختارهای سلول ماندنی که پس از آن‌ها به وجود آمدند، برای نگه‌داری انسجام ساختاری و نیز تکثیر خود، به مواد آلی ویژه‌ای، مانند X نیاز داشتند. با گذشت زمان، این ترکیبات در محیط کمیاب شدند. احتمال می‌رود که تغییر (جهش) در برخی RNAهای آنزیمی، سبب شد که آن‌ها بتوانند از ماده‌ی خام دیگری که در محیط فراوان‌تر بود (Y)، ماده‌ی مورد نیازشان (X) را بسازند:



پس از مدتی غلظت Y نیز در محیط کاهش یافته و آنزیم دیگری به وجود آمده که بتواند Y را از ترکیب دیگری مثل Z بسازد:



به نظر می‌رسد مسیرهای متابولیسمی اولیه که با چنین ساز و کاری به وجود آمدند به تدریج با گذشت زمان و تغییر نیازها، پیچیده‌تر شده‌اند.



شکل ۳-۳- مراحل همانندسازی RNA و سنتز پروتئین. انجام واکنش‌های شیمیایی بین مولکول‌های معدنی باعث تشکیل نوکلئوتیدهای RNA شد. نوکلئوتیدها به صورت درشت مولکول‌های RNA گردهم آمدند. این مولکول‌ها احتمالاً قادر به خود همانندسازی و کاتالیز تشکیل پروتئین‌ها بوده‌اند. چون همانندسازی با صحت کامل انجام نمی‌شده است (جهش)، در مولکول‌های RNA تنوع ایجاد شد.

**خاستگاه وراثت:** دانشمندان تصور می‌کنند که بعضی از میکروسفرها دارای RNA شدند. مولکول‌های RNA با استفاده از فرآورده‌های متابولیسمی (نوکلئوتیدها)، خود همانندسازی می‌کردند و در صورت تقسیم شدن میکروسفر به میکروسفرهای دختر منتقل می‌شدند. پس از مدتی، مولکول‌های RNA توانستند ساخته شدن آنزیم‌ها و پروتئین‌های ویژه‌ای را سازمان‌دهی و با کنترل مسیرهای متابولیسمی، ویژگی‌های میکروسفری را که در آن زندگی می‌کردند، تعیین کنند. احتمالاً به این ترتیب ساز و کار وراثت شکل گرفت.

### بیش‌تر بدانید



فرضیه‌ی مناسب بودن شرایط اقیانوس‌های اولیه برای پیدایش حیات، دانشمندان را بر آن داشته است تا نشانه‌های حیات را در محیط‌های آبی موجود در سیاره‌های دیگر منظومه‌ی شمسی نیز جست‌وجو کنند. وجود اقیانوس بزرگی از آب مایع و اکسیژن فراوان در زیر لایه‌ی ضخیم یخ در مریخ و یکی از قمرهای سیاره‌ی مشتری، ممکن است شرایط مناسبی را برای حیات جانداران میکروسکوپی فراهم آورده باشد.

### فعالیت



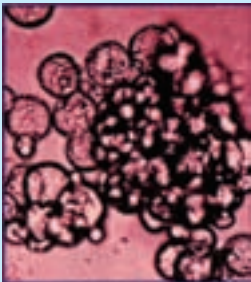
### آزمایش سریع

#### چگونه می‌توان کواسرواتها را مدل‌سازی کرد؟

شما می‌توانید با استفاده از واکنش‌های ساده‌ی شیمیایی چگونگی تشکیل اولین سلول از کواسرواتها را مشاهده کنید. مواد مورد نیاز: عینک ایمنی و روپوش آزمایشگاهی، استوانه‌ی مدرج، محلول ۱٪ زلاتین، محلول ۱٪ صمغ عربی، هیدروکلریک اسید ۱/۸<sup>o</sup> مولار، بیپت، لام، لامل و میکروسکوپ.

#### مراحل آزمایش

۱- احتیاط: هیدروکلریک اسید ماده‌ای خورنده است.



بنابراین هنگام انجام این آزمایش حتماً از عینک ایمنی و روپوش آزمایشگاهی استفاده کنید. از تنفس بخار اسید پرهیزید. اگر این محلول روی بخشی از بدن شما یا روی میز کار ریخت، هر چه سریع‌تر با مقدار زیادی آب آن را شستشو دهید و فوراً معلم خود را آگاه کنید.

۲- ۵ میلی‌لیتر محلول ۱٪ ژلاتین را با ۳ میلی‌لیتر محلول صمغ عربی در یک لوله‌ی آزمایش مخلوط کنید.

۳- چند قطره محلول ۱/۸ مولار هیدروکلریک اسید را تا زمان تیره شدن محلول، به محلول ژلاتین - صمغ اضافه کنید.

۴- چند قطره از محلول نهایی را با بزرگ‌نمایی بالای میکروسکوپ مشاهده کنید.

۵- شکلی از ساختارهای ایجاد شده رسم کنید.

### تجزیه و تحلیل

۱- توضیح دهید که پس از افزودن اسید به محلول چه روی داده است؟

۲- مشخصات ظاهری کواسروات‌ها را با مشخصات سلول‌ها مقایسه کنید.

۳- پیش‌بینی کنید که پس از افزودن محلول باز (قلیا) به محلول چه رویدادی اتفاق خواهد افتاد؟

۴- ارزیابی مهارت. براساس شواهدی که به دست آورده‌اید، درباره‌ی این فرضیه که

کواسروات‌ها سرآغاز حیات روی زمین بوده‌اند بحث کنید.

## خودآزمایی



۱- دو الگوی علمی ارائه شده در مورد منشأ حیات را با یک‌دیگر مقایسه کنید.

۲- اولین مرحله‌ای را که منجر به سازمان‌یابی سلول شد توصیف کنید.

۳- با توجه به نقش‌هایی که برای مولکول RNA در مراحل گوناگون پیدایش حیات پیشنهاد شده

است، به نظر شما در چه مرحله‌ای می‌توان گفت که RNA نقش ماده‌ی ژنتیک را بر عهده گرفته است؟

۴- تفاوت‌های ساختاری DNA و RNA را به یاد آورید. به نظر شما چرا در جانداران

پیشرفته‌ی امروزی DNA به‌عنوان ماده‌ی ژنتیک به RNA ترجیح داده شده است؟

۵- درباره‌ی ارتباط این عبارت‌ها با هم، بحث کنید :

شواهد امروزی از نقش RNAهای قدیمی، پروتئین‌سازی، ماده‌ی ژنتیک، کدون و

آنتی‌کدون، وراثت، مولکول ذخیره‌کننده‌ی اطلاعات، همانندسازی، مولکول mRNA، رمز ژنتیک،

RNA آنزیمی.

۶- آیا یک الگوی طراحی شده درباره‌ی منشأ حیات باید احتمال وجود سایر الگوها را

انکار کند؟ توضیح دهید.

## ۲ تکوین جانداران پیچیده تر

### پروکاریوت‌ها قدیمی‌ترین گروه جانداران هستند.

پژوهشگران برای نزدیک شدن به پاسخ این سؤال که نخستین جاندار در چه زمانی آفریده شد، شواهد و مدارک موجود درباره‌ی جانداران قدیمی یعنی سنگواره‌ها را مورد پژوهش قرار می‌دهند. سنگواره بقایای حفظ شده، یا معدنی شده، یا اثرات به‌جای مانده از جاندارانی است که مدت‌ها پیش زندگی می‌کرده‌اند. قدیمی‌ترین سنگواره‌ای که تاکنون کشف شده است، سنگواره‌ی میکروسکوپی پروکاریوت‌هایی است که در رسوبات سنگی ۳/۵ میلیارد ساله‌ی موجود در غرب استرالیا یافت شده‌اند. می‌دانید که پروکاریوت‌ها جاندارانی تک‌سلولی‌اند و اندامک‌های غشادار درون‌سلولی ندارند. احتمالاً نخستین جانداران تک‌سلولی که روی زمین پدیدار شدند، هتروتروف و بی‌هوازی بودند و برای کسب انرژی از مولکول‌های آلی که در اقیانوس‌ها فراوان بودند، استفاده می‌کردند. به‌دنبال کاهش غلظت مواد آلی اقیانوس‌ها، به تدریج انواعی از سلول‌ها پدیدار شدند که می‌توانستند مولکول‌های آلی مورد نیاز خود را از ترکیبات غیرآلی، بسازند. به این ترتیب نخستین سلول‌های اتوتروف پدید آمدند. به نظر می‌رسد سیانوباکتری‌ها نخستین سلول‌های فتوسنتزکننده بوده‌اند. قبل از پیدایش سیانوباکتری‌ها، اکسیژن در جو زمین وجود نداشت، اما پس از پیدایش آن‌ها و انجام فتوسنتز، به تدریج گاز اکسیژن به درون اقیانوس‌ها و جو زمین آزاد شد. این اکسیژن پس از گذشت صدها میلیون سال، در جو زمین متراکم شد، به طوری که امروزه حدود ۲۱ درصد جو زمین را اکسیژن تشکیل می‌دهد. با افزایش تراکم اکسیژن در جو زمین، سلول‌هایی پیدا شدند که به کمک اکسیژن انرژی موجود در ترکیبات غذایی را آزاد و از آن استفاده می‌کردند. این سلول‌ها نخستین سلول‌های هوازی بودند.

### اولین یوکاریوت

حدود ۱/۵ میلیارد سال پیش، اولین یوکاریوت‌ها پا به عرصه‌ی وجود گذاشتند. می‌دانید که سلول‌های یوکاریوتی دستگاهی از غشاهای درونی دارند و DNA آن‌ها در هسته محصور است. سومین ویژگی یوکاریوت‌ها حضور اندامک‌های پیچیده‌ای، تقریباً به اندازه‌ی باکتری، به نام‌های میتوکندری و کلروپلاست در سلول‌هاست. این اندامک‌ها DNA اختصاصی خود را دارند. اغلب

سلول‌های یوکاریوتی میتوکندری دارند و کلروپلاست‌ها که در فتوسنتز دخالت دارند، تنها در بعضی از آغازیان و نیز در گیاهان یافت می‌شوند.

### میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها

درباره‌ی منشأ میتوکندری‌ها، اکنون تقریباً همه‌ی زیست‌شناسان نظریه‌ی درون‌همزیستی را پذیرفته‌اند. نظریه‌ی درون‌همزیستی اظهار می‌دارد که میتوکندری‌ها خویشاوندان باکتری‌های هوازی (نیازمند اکسیژن) هستند.

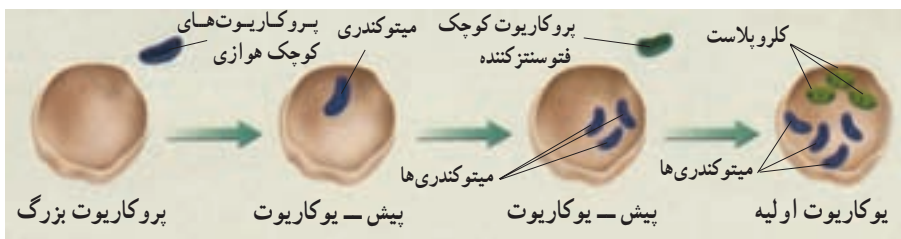
پس از آن که نخستین باکتری‌های فتوسنتزکننده وارد سلول‌های پیش-یوکاریوتی شدند، به کلروپلاست تبدیل شدند. این باکتری‌های مهاجم احتمالاً خویشاوندی نزدیکی با سیانوباکتری‌ها داشتند. طبق نظریه‌ی درون‌همزیستی، این باکتری‌ها به‌صورت انگل، یا به‌صورت شکار هضم نشده وارد سلول‌های بزرگ شده‌اند. این عوامل خارجی به‌جای این که در سلول گوارش پیدا کنند، به زندگی خود در سلول ادامه داده و تنفس سلولی و فتوسنتز را بر عهده گرفته‌اند. شواهد ذیل از این نظریه حمایت می‌کنند که میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها از باکتری‌ها حاصل شده‌اند:

۱- اندازه و ساختار: اندازه‌ی میتوکندری‌ها مشابه اندازه‌ی اغلب باکتری‌هاست. میتوکندری دو غشا دارد. غشای درونی میتوکندری‌ها تا خوردگی‌های بسیاری دارد و به‌نظر می‌رسد که شبیه غشاهای سلولی باکتری‌های هوازی باشد. پروتئین‌هایی که درون غشا قرار دارند، تنفس سلولی را برعهده دارند.

۲- ماده‌ی ژنتیک: DNA میتوکندری‌ها، مشابه DNA حلقوی باکتری‌ها است. کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها هر دو دارای ژن‌هایی متفاوت نسبت به ژن‌های موجود در هسته‌ی سلول‌های دربردارنده‌ی آن‌ها، هستند.

۳- ریبوزوم‌ها: اندازه و ساختار ریبوزوم‌های میتوکندریایی و باکتریایی مشابه است. این هر دو با سایر ریبوزوم‌های یوکاریوتی متفاوت‌اند.

۴- زادآوری: کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها مانند باکتری‌ها، از طریق تقسیم دوتایی تولیدمثل می‌کنند. این تولیدمثل مستقل از چرخه‌ی سلولی است و مراحل مختلف چرخه‌ی میتوز در آن‌ها انجام نمی‌گیرد.



شکل ۳-۴- طرحی از نظریه‌ی درون‌همزیستی

یوکاریوت‌هایی که فقط دارای میتوکنندری شدند، احتمالاً منشأ سلول‌های جانوری امروزی و آن‌ها که کلروپلاست را نیز دریافت کردند، خاستگاه جلبک‌ها و سلول‌های گیاهی شدند.

## جانداران پرسلولی

به نظر می‌رسد که آفرینش نخستین جانداران پرسلولی بین یک میلیارد تا ۶۰۰ میلیون سال پیش روی داده باشد.

موجودات تک‌سلولی توانایی بسیار اندکی برای کنترل تغییرات محیط خود دارند و عموماً تحت تأثیر محیط هستند. در جانداران پرسلولی، یک محیط درونی به وجود می‌آید که سلول‌ها را در شرایط نسبتاً پایداری قرار می‌دهد؛ تنها گروهی از سلول‌ها (اغلب سلول‌های سطحی) در تماس مستقیم با محیط هستند. قرار گرفتن سلول‌ها در محیطی که آنان را در برابر تغییرات محیطی حفظ می‌کند و منابع غذایی را در اختیارشان می‌گذارد، زمینه‌ی لازم را برای تخصصی شدن و تمایز سلول‌ها فراهم آورده است. مسلماً نقطه‌ی عطف در پیدایش پرسلولی‌ها، تکامل سیستم‌های انتقال پیام بین سلول‌های مختلف یک توده‌ی سلولی (کلونی) بوده است. در واقع، سلول‌ها آموختند که علاوه بر پاسخ دادن به تغییرات محیطی، پیام‌هایی را که از سلول‌های دیگر می‌رسد، نیز دریافت کنند و به آن‌ها پاسخ مناسب بدهند. به این ترتیب، شکل‌های نخستین تقسیم کار و تخصصی شدن پدیدار شدند. مثلاً، منشأ گروه‌های جانوری را انواعی از تاژکداران می‌دانند که کلونی تشکیل می‌دادند. احتمالاً یک تاژکدار اولیه برای تشخیص سلول‌های هم‌گونه برای تولیدمثل جنسی یا تشخیص سلول‌های هدف برای فاگوسیتوز (تغذیه) نیاز به درک علائم سلولی داشته است. این ساز و کارها سرانجام کمک کرده‌اند که نخستین مجموعه‌های پرسلولی تشکیل شوند. در کلونی‌های برخی آغازیان امروزی نیز مواردی از تقسیم کار بسیار ابتدایی دیده می‌شود.

## انقراض گروهی جانداران

اثرات سنگواره‌ای، حاکی از یک تغییر ناگهانی در حدود ۴۴۰ میلیون سال پیش است. در این زمان حدود ۸۵ درصد از جانداران روی زمین به‌طور ناگهانی منقرض شدند. این واقعه اولین مورد از پنج مورد انقراض گروهی روی زمین بوده است. انقراض گروهی یعنی مرگ تمام اعضای متعلق به بسیاری از گونه‌های مختلف که تحت تأثیر تغییرات بزرگ بوم‌شناختی انجام شده است.

انقراض گروهی دیگری تقریباً با همان ابعاد، حدود ۳۶۰ میلیون سال پیش به وقوع پیوست و ۸۳ درصد از گونه‌ها را از میان برد. سومین انقراض گروهی در حدود ۲۴۵ میلیون سال پیش، اتفاق

افتاد. در این واقعه حدود ۹۶ درصد گونه‌های جانوری موجود در آن زمان منقرض شدند. حدود ۳۵ میلیون سال بعد، چهارمین انقراض گروهی، به وقوع پیوست. در این انقراض ۸۰ درصد گونه‌ها از بین رفتند. اگرچه عوامل ویژه‌ی این انقراض‌ها هنوز شناخته نشده است، اما شواهد حاکی از دخالت تغییرات وسیع زمین‌شناختی و آب و هوایی در آن‌ها بوده است.

پنجمین انقراض گروهی ۶۵ میلیون سال پیش اتفاق افتاد و باعث انقراض حدود ۷۶ درصد گونه‌های ساکن خشکی، از جمله دایناسورها شد.

بسیاری از دانشمندان عقیده دارند انقراض گروه دیگری در عصر حاضر در حال وقوع است. این دانشمندان برای رخداد این انقراض جدید، عواملی مانند تخریب اکوسیستم‌های زمین، به‌ویژه جنگل‌های بارانی استوایی به‌دلیل فعالیت‌های انسانی را دخیل می‌دانند (شکل ۵-۳). زمین تاکنون تقریباً نیمی از جنگل‌های بارانی استوایی خود را از دست داده است و با همان سرعت در حال از دست دادن جنگل‌های باقیمانده است. پیش‌بینی می‌شود این جنگل‌ها به زودی از بین خواهند رفت. در اثر این انقراض گروهی که انسان مسبب آن است، حدود ۵۰۰۰۰ گونه‌ی گیاهی، یعنی یک چهارم کل گونه‌های موجود، همراه با ۲۰۰۰ از ۹۰۰۰ گونه پرنده‌گان و تعداد بی‌شماری از گونه‌های حشرات منقرض خواهند شد.



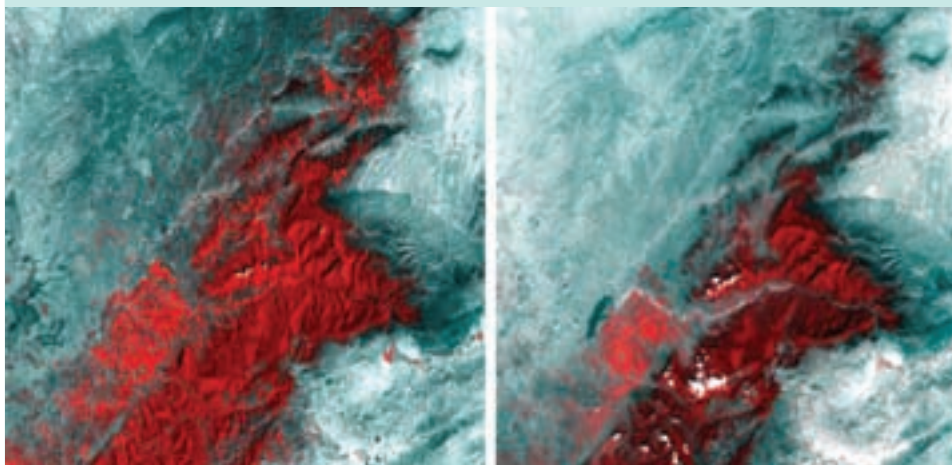
شکل ۵-۳—جنگل‌های بارانی استوایی با سرعت زیادی در حال نابودی هستند. اگرچه جنگل‌های بارانی استوایی تنها ۷ درصد سطح خشکی‌های زمین را می‌پوشانند، اما بیش از پنجاه درصد گونه‌های گیاهی و جانوری در این مناطق زندگی می‌کنند.



امروزه از تصاویر گرفته شده با ماهواره برای مطالعه و بررسی وضعیت اکوسیستم‌های متفاوت استفاده می‌شود. با استفاده از این تصاویر می‌توان تغییر در وسعت جنگل‌ها را نشان داد.



شکل‌های زیر تصاویر ماهواره‌ای از جنگل گلستان در زمان‌های متفاوت است. رنگ قرمز در این تصاویر، پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. همین‌طور که می‌بینید از وسعت جنگل گلستان کم و با به عبارتی بخشی از جنگل تخریب شده است.



تصاویر ماهواره‌ای جنگل گلستان در سال‌های ۱۳۷۷ (چپ) و ۱۳۸۰ (راست). این تصاویر را سازمان فضایی ایران تهیه کرده است.

به نظر شما چه عواملی در تخریب جنگل گلستان نقش داشته‌اند؟ تخریب این جنگل چه تأثیری در تنوع حیات وحش می‌گذارد؟

## خودآزمایی ?

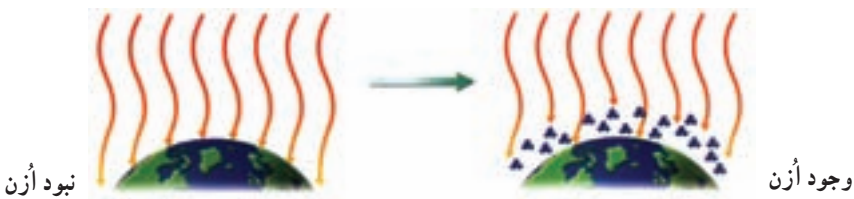
- ۱- چگونگی پیدایش یوکاریوت‌ها را شرح دهید.
- ۲- باکتری‌ها را با یوکاریوت‌ها مقایسه کنید.
- ۳- این مطلب را که «در صورت عدم وقوع انقراض گروهی، جانداران امروزی به وجود نمی‌آمدند» مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید.

## ۳ گسترش حیات به خشکی ها

لایه‌ی اُزن بقای حیات را در خشکی ها تضمین کرد.

خورشید علاوه بر فراهم کردن نور زندگی بخش، پرتوهای زیان بار نیز دارد. احتمالاً در اوایل پیدایش زمین زندگی در دریا، یعنی در جایی که جانداران اولیه از آسیب‌های پرتو فرابنفش در امان بوده‌اند، پدید آمد. این جانداران نمی‌توانستند آب را ترک کنند، زیرا پرتو فرابنفش حیات را در سطح خشکی ناامن کرده بود. چه عاملی زندگی در سطح خشکی را امکان پذیر کرد؟

تشکیل لایه‌ی محافظتی اُزن: تا میلیون‌ها سال حیات فقط در آب‌ها جریان داشت و جاننداری در خشکی زندگی نمی‌کرد. حدود ۲/۵ میلیارد سال پیش، سیانو باکتری‌ها شروع به انجام فتوسنتز کردند و با این کار اکسیژن مولکولی را به اتمسفر افزودند، اشعه‌ی خورشید باعث شد که مقداری از مولکول‌های اکسیژن ( $O_2$ ) در بالای جوّ به یکدیگر پیوندند و مولکول‌های اُزن ( $O_3$ ) را تشکیل دهند. لایه‌ی اُزن در اتمسفر فوقانی مانع از عبور پرتو فرابنفش شد (شکل ۶-۳). میلیون‌ها سال بعد، اکسیژن و اُزن کافی در جوّ برای گسترش حیات در خشکی، وجود داشت.



شکل ۶-۳- لایه‌ی اُزن از زمین محافظت می‌کند. پس از این که سیانو باکتری‌ها، اکسیژن را به سطح زمین افزودند، تشکیل اُزن آغاز شد.

بیش تر بدانید



لایه‌ی اُزن امروز هم مورد نیاز جانداران ساکن خشکی‌هاست: در طول قرن گذشته، آلودگی هوا باعث نازک شدن لایه‌ی اُزن شده است. دانشمندان اعتقاد دارند که شمار روزافزون افرادی که به سرطان پوست مبتلا می‌شوند، به علت نازک شدن لایه‌ی اُزن است. در اثر نازک شدن این لایه، مقدار بیش‌تری از پرتو فرابنفش به سطح زمین می‌رسد.

## جلبک‌ها و قارچ‌ها همزمان وارد خشکی شدند.

تصور بر این است که اولین جانداران پرسلولی که در خشکی‌ها ظاهر شدند، جلبک‌ها و قارچ‌ها بودند. این دو همزمان به خشکی آمدند. این دو گروه می‌توانستند در خشکی زندگی کنند، زیرا هر یک دارای ویژگی‌هایی بودند که مورد نیاز گروه دیگر بود.

به خاطر بیاورید که گیاهان و جلبک‌ها در فرآیند فتوسنتز از انرژی خورشید برای ساختن مواد غذایی خود استفاده می‌کنند. گیاهان مواد معدنی مورد نیاز خود را از خاک به دست می‌آورند. قارچ‌ها مواد غذایی مورد نیاز خود را با استفاده از نور خورشید تهیه نمی‌کنند، اما می‌توانند مواد معدنی را از خاک و حتی از تخته‌سنگ‌های برهنه جذب کنند.

جلبک‌های خشکی و قارچ‌ها می‌توانند نوعی مشارکت دوطرفه‌ی زیستی، به شکل گل‌سنگ تشکیل دهند. گل‌سنگ‌ها برای زیستن در زیستگاه‌های سخت، مانند سنگ‌های برهنه توانا هستند. قارچ‌ها مواد مورد نیاز جلبک‌ها را فراهم می‌کنند و جلبک‌ها مواد غذایی را برای خود و نیز برای قارچ‌ها تأمین می‌کنند. این نوع مشارکت، همیاری نامیده می‌شود. همیاری رابطه‌ای است که در آن هر دو طرف از زندگی با یکدیگر سود می‌برند.

## بندپایان از دریا به خشکی آمدند.

پس از اولین همیاری بین گیاهان و قارچ‌ها، گیاهان سطح زمین را پوشانده و جنگل‌های بزرگی تشکیل داده بودند. گیاهان خشکی منبع غذایی جانوران را تأمین و گوناگونی جانوران ساکن خشکی را امکان‌پذیر کردند.

حشرات یکی از اولین ساکنان خشکی بودند. این گروه از بندپایان فراوان‌ترین و متنوع‌ترین گروه جانوران در تاریخ زمین بوده‌اند. به احتمال زیاد موفقیت حشرات در ارتباط با توانایی پرواز آن‌ها بوده است. حشرات اولین جانورانی بودند که بال داشتند. حشرات اولیه، مانند سنجاقک‌ها دارای دو جفت بال بودند (شکل ۷-۳). توانایی پرواز برای حشرات این امکان را فراهم آورد که به نحو مؤثرتری به جستجوی غذا، جفت و آشیانه بپردازند. این امر منجر به همیاری بین حشرات و گیاهان گلدار شد.

## مهره‌داران به خشکی آمدند.

ماهی‌ها: اولین مهره‌داران ماهی‌هایی کوچک و فاقد آرواره بودند که حدود ۵۰۰ میلیون سال



شکل ۷-۳- جنگلی باتلاقی در میلیون‌ها سال پیش. در جنگل‌های باتلاقی درختان بلند بدون دانه و سرخس‌های درختی کوتاه‌تر غلبه داشته‌اند. طول بال‌های سنجاقک‌ها بیش از یک متر بود!

پیش در اقیانوس‌ها به وجود آمدند. ماهی‌های آرواره‌دار، بعدها پیدا شدند. تشکیل آرواره به ماهی‌ها این امکان را داد که به جای مکیدن غذا آن را با دهان بگیرند و بلعند. در نتیجه ماهی‌های آرواره‌دار به شکارچینی توانمند تبدیل شدند (شکل ۸-۳). به تدریج ماهی‌ها جزو فراوان‌ترین جانوران دریا شدند، و تا امروز به زیستن در آن ادامه داده‌اند. ماهی‌ها موفق‌ترین مهره‌داران زنده هستند و تعداد زیادی از گونه‌های مهره‌داران را به خود اختصاص می‌دهند.

دوزیستان: اولین مهره‌داران ساکن خشکی، حدود ۳۷۰ میلیون سال پیش از دریا بیرون آمدند. نخستین مهره‌داران خشکی، دوزیستان اولیه بودند.

به علت تغییرات ساختاری متعدد در پیکر دوزیستان، این جانداران به زیستن در خشکی سازگار شدند. دوزیستان اولیه دارای کیسه‌های هوایی مرطوب، یعنی شش بودند که به منظور جذب اکسیژن هوا مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این جانداران دستگاه حرکتی استخوانی، راه رفتن را امکان‌پذیر ساخت. این دستگاه پایه‌ای محکم برای عمل اندام‌های حرکتی در جهت عکس یک‌دیگر فراهم کرد. جثه‌ی مهره‌داران به علت وجود اسکلت توانمند و انعطاف‌پذیر می‌تواند بسیار بزرگ‌تر از حشرات باشد. دوزیستان به خوبی با محیط خود سازگاری یافتند، اما در نظام آفرینش یک گروه جدید از جانوران از آن‌ها ایجاد شدند که سازگاری بیش‌تری با محیط خشک‌تر داشتند. این گروه خزندگان بودند.



شکل ۸-۳- اسکلت سنگواره شده‌ی ماهی. در این اسکلت ماهی، ستون مهره‌ها را می‌توان دید.

**خزندگان:** خزندگان در حدود ۳۵۰ میلیون سال پیش، از تحول دوزیستان ایجاد شدند. این جانوران برای محافظت از خود در برابر از دست دادن رطوبت بدن به اتمسفر، پوستی محکم دارند که مانع تبخیر آب می‌شود. به خزندگان توانایی تخم‌گذاری در خشکی داده شده است، زیرا تخم‌های آن‌ها را پوسته‌ای محافظ می‌پوشاند (شکل ۹-۳). می‌دانید که دوزیستان امروزی هنوز نیازمند تخم‌گذاری در آب هستند، زیرا تخم‌های آن‌ها در محیط خشک قادر به حفظ آب خود نیستند.

شواهد حاکی است که در طول ۵۰ میلیون سال بعد از پیدایش خزندگان، یک دوره‌ی خشکی وسیع حاکم شده است. در این مدت، خزندگان که سازگاری بهتری نسبت به خشکی داشتند، برتری‌هایی نسبت به دوزیستان به دست آوردند. از آن زمان به تدریج تا حدود ۶۵ میلیون سال پیش، در میان مهره‌داران، خزندگان بیش‌ترین فراوانی را از آن خود کردند.



شکل ۹-۳- خزندگان. تا ۶۵ میلیون سال پیش خزندگانی از قبیل کروکودیل بزرگ‌ترین گروه جانداران ساکن خشکی بودند.

پستانداران و پرندگان: ۶۵ میلیون سال پیش، در ضمن پنجمین انقراض گروهی، اغلب گونه‌های زنده از جمله همه‌ی دایناسورها، برای همیشه ناپدید شدند، اما بعضی از خزندگان کوچک‌تر، پستانداران و پرندگان به بقای خود ادامه دادند. این انقراض باعث شد که منابع بیش‌تری در اختیار جانوران باقی‌مانده قرار گیرد. در این هنگام اقلیم جهان دچار تغییر شده بود. آب و هوا دیگر خشک نبود و لذا مزیت‌های خزندگان برای زیستن در محیط‌های خشک اهمیت خود را از دست داد. در این زمان، پرندگان و پستانداران به‌صورت غالب درآمدند.

اگرچه این انقراض‌ها گوناگونی جانداران را تحت تأثیر خود قرار داد، تغییرات زمین نیز نقش مهمی در آفرینش جانداران داشت. یکی از فرآیندهای زمین‌شناختی که تحول گونه‌ها را تحت تأثیر قرار داد، جابه‌جایی قاره‌ها بود. جابه‌جایی قاره‌ها عبارت است از حرکت خشکی‌های زمین در طول دوره‌های زمین‌شناختی. جابه‌جایی قاره‌ها منجر به پدید آمدن موقعیت کنونی قاره‌ها شد. با توجه به فرآیند حرکت قاره‌ها می‌توان توضیح داد که چرا تعداد زیادی از گونه‌های پستانداران کیسه‌دار در قاره‌های استرالیا و آمریکای جنوبی یافت می‌شود: این قاره‌ها زمانی به یک‌دیگر متصل بوده‌اند.

## خودآزمایی



- ۱- به‌طور خلاصه بیان کنید چرا لایه‌ی اُزن حیات را در خشکی امکان‌پذیر می‌کند.
- ۲- اولین جانداران پرسلولی ساکن خشکی را نام ببرید.
- ۳- اولین نوع از جانوران ساکن خشکی کدام جانوران بودند؟
- ۴- ویژگی‌های اولین نوع مهره‌داران ساکن خشکی را شرح دهید.
- ۵- درباره‌ی این مطلب که «ورود جانداران به خشکی، تا پس از پیدایش سیانوباکتری‌ها به‌وقوع نیوست» بحث کنید.



## تغییر و تحول گونه‌ها

این حشره که برگ متحرک نامیده می‌شود، همچون سربازی که در میدان جنگ سعی در مخفی ماندن و استتار دارد، خود را از دسترس دشمنان دور نگه داشته و با این کار شانس بقا و تولید مثل خود را افزایش داده است. زاده‌های این حشره نیز همین ویژگی را به ارث می‌برند.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- ساختار پروتئین‌ها را توصیف کنید،
- ارتباط توالی نوکلئوتیدهای نوکلئیک اسیدها را با توالی آمینواسیدها شرح دهید،
- توالی یابی ژنی را توضیح دهید.

# ۱ تغییر گونه‌ها و انتخاب طبیعی

اندیشه‌ی تغییر گونه‌ها را اولین بار فیلسوفان رومی ارائه کردند. در ۱۸۵۹ چارلز داروین طبیعی‌دان انگلیسی که شواهد متقاعدکننده‌ای مبنی بر تغییر گونه‌ها به دست آورده بود، ساز و کار قابل قبولی برای توضیح چگونگی این فرآیند منتشر کرد.

نظریه‌ی داروین نیز مانند سایر نظریه‌های علمی، در طول سال‌ها آزمایش و مشاهده دچار تحول شده است. اگرچه نظریه‌ی جدید تغییر گونه‌ها که در نتیجه‌ی کارهای علمی چارلز داروین شکل گرفت، امروزه متحول شده است، اما بنا بر اعتقاد بسیاری از زیست‌شناسان امروزی نظریه‌ی داروین می‌تواند مبنای گوناگونی حیات در زمین را توضیح دهد.

بیش‌تر بدانید



پدر چارلز داروین پزشک ثروتمندی بود که از او می‌خواست در رشته‌ی پزشکی، یا الهیات تحصیل کند.



۱۸۰۹	۱۸۵۹	۱۸۸۲
تولد	انتشار کتاب خاستگاه گونه‌ها از طریق انتخاب طبیعی	مرگ

شکل ۱-۴ چارلز داروین



بنابراین، او در سن ۱۶ سالگی شروع به تحصیل در رشته‌ی پزشکی کرد، اما او همواره از اعمال جراحی که در آن زمان بدون بی‌حسی انجام می‌شد، گریزان بود. پدر داروین چندی بعد او را برای تحصیل به دانشگاه کمبریج انگلستان فرستاد. او در رشته‌ی الهیات فارغ‌التحصیل شد و در عین حال بیش‌تر اوقات را با دوستان خود که به زیست‌شناسی علاقه‌مند بودند، در طبیعت سپری می‌کرد.

پس از چندی یکی از استادان داروین او را به عنوان یک زیست‌شناس غیررسمی در یک سفر دریایی با کشتی بیگل<sup>۱</sup> معرفی کرد. اگر چه کشتی موردنظر یک زیست‌شناس رسمی با خود داشت، اما کاپیتان کشتی ترجیح می‌داد تا یک زیست‌شناس دیگر نیز در کشتی داشته باشد. داروین در سن ۲۲ سالگی این سفر دریایی را آغاز کرد. این سفر زندگی او و نحوه‌ی تفکر بشریت را درباره‌ی جانداران تغییر داد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- مسیر کشتی اچ. ام. اس. بیگل. این کشتی در مسیری که در این شکل نشان داده شده است، به دور جهان گشت. هدف اصلی سفر ۵ ساله‌ی این کشتی بررسی سواحل امریکای جنوبی بود.

در گذشته بیش‌تر افراد گونه‌های جانداران را موجوداتی تصور می‌کردند که از آغاز پیدایش بدون تغییر بوده‌اند. بعضی از دانشمندان کم‌کم متوجه این مطلب شده بودند که با دیدگاه ثابت و بدون تغییر ماندن گونه‌ها نمی‌توان وجود و انتشار سنگواره‌های کشف شده را تفسیر کرد. در نتیجه برخی از آنان به منظور توضیح این امر تفسیرهای مختلفی ارائه دادند.

۱ - H.M.S. Beagle

دانشمندی فرانسوی به نام لامارک در سال ۱۸۰۹ سازوکار جدیدی برای تفسیر چگونگی رخداد تغییر گونه‌ها ارائه کرد. او احتمال داد که تغییر گونه‌ها در نتیجه‌ی استفاده، یا عدم استفاده‌ی فیزیکی افراد یک گونه از اندام‌های بدن خود، است. لامارک معتقد بود که در طول عمر یک فرد، اندازه‌ی اعضای بدن او در نتیجه‌ی استفاده‌ی بیش‌تر افزایش و در نتیجه‌ی عدم استفاده کاهش می‌یابد.

طبق نظریه‌ی لامارک، این صفات اکتسابی در طول زندگی هر فرد، از یک نسل به نسل بعد منتقل می‌شود (موروثی شدن صفات اکتسابی). اگر چه هم‌اکنون این بخش از فرضیه‌ی لامارک طرفداران چندانی ندارد، اما این نظر که علت تغییر گونه‌ها در ارتباط با تغییر شرایط فیزیکی حیات است، مورد توجه پژوهشگران بعدی، مانند داروین قرار گرفت (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- وراثت صفات اکتسابی. براساس نظریه‌ی لامارک درازی گردن زرافه به دلیل تلاش مداوم او برای رسیدن به برگ درختان بوده است. به این ترتیب که در هر نسل مقدار کمی به بلندی گردن زرافه اضافه و این صفت به نسل بعد نیز منتقل شده است.

**مشاهدات داروین در سفر دریایی: داروین در سفر خود، شواهدی بر علیه نظریه‌ی ثابت ماندن گونه‌ها کشف کرد.** او در این سفر کتاب چارلز لیل<sup>۱</sup> را که «مبانی زمین‌شناسی» نام داشت، مطالعه کرد. در این کتاب به نظریه‌ی لامارک نیز پرداخته شده است. لیل از این فرضیه حمایت کرده بود که سطح زمین در گذر زمان متحمل تغییراتی تدریجی شده است. هنگامی که داروین به مشاهده می‌پرداخت، متوجه مواردی شد که تنها براساس فرآیند تغییر تدریجی قابل تفسیر بودند. مثلاً در آمریکای جنوبی سنگواره‌هایی از نوعی جانور به نام آرمادیلو یافت. این جانوران سنگواره شده (فسیل) بسیار شبیه یک دیگر بودند، اما با نمونه‌های زنده‌ی آرمادیلو تفاوت‌هایی داشتند. داروین در جزایر گالاپاگوس<sup>۲</sup> که در حوالی ۱۰۰۰ کیلومتری ساحل اکوادور واقع است، شواهد دیگری مبنی بر تغییر تدریجی گونه‌ها کشف کرد. او از این واقعیت که گیاهان و جانوران جزایر گالاپاگوس بسیار شبیه گیاهان و جانوران سواحل نزدیک آمریکای جنوبی بودند، متعجب شده بود (شکل ۴-۴). بعدها داروین این فرضیه را پیشنهاد کرد که ساده‌ترین توضیح برای این امر آن است که نیاکان گونه‌های امروزی گالاپاگوس، سال‌های بسیار دور از آمریکای جنوبی به این جزایر مهاجرت کرده‌اند و پس از ورود به جزایر متناسب با محیط زیست، دچار تغییر شده‌اند.



شکل ۴-۴- سهره‌های داروین. داروین کشف کرد که این سهره‌های جزایر گالاپاگوس (در محیط دایره) علی‌رغم تفاوت در مواد غذایی مورد استفاده‌ی خود بسیار شبیه سهره‌های آمریکای جنوبی (در مرکز دایره) هستند.

۱- Charles Lyell

۲- Galápagos Islands



آرمادیلو پستانداری کوچک از راسته‌ی بی‌دندانان و هم‌خانواده با مورچه‌خوار است. بدن آن از صفحه‌های استخوانی به هم پیوسته پوشیده شده است و به همین علت آن را آرمادیلو یا زره‌دار کوچک

نامیده‌اند. انواع مختلف این جانور در امریکای جنوبی زندگی می‌کنند.

آرمادیلوها از گیاهان، حشرات و جانوران کوچک تغذیه می‌کنند. آن‌ها با پاهای جلویی و پنجه‌های نیرومندشان زمین را می‌کنند تا از مورچه‌ها و موربانه‌ها تغذیه کنند یا حفره‌هایی را برای لانه‌ی خود به وجود آورند. این جانوران شب‌ها برای تغذیه از لانه خارج می‌شوند و هنگام احساس خطر، بدن خود را به صورت گوله درمی‌آورند تا صفحه‌های استخوانی از بخش‌های نرم بدن محافظت کنند.

داروین به دنبال یک توضیح قابل قبول برای فرآیند تغییر تدریجی گونه‌ها بود. داروین پس از بازگشت از سفر سال‌ها به تفسیر اطلاعات حاصل از آن پرداخت. اعتقاد او مبنی بر تغییر تدریجی گونه‌ها، پس از مطالعه‌ی نتایج حاصل از این سفر قوت بیش‌تری یافت. اما او نمی‌توانست توضیحی قانع‌کننده درباره‌ی سازوکار آن ارائه دهد.

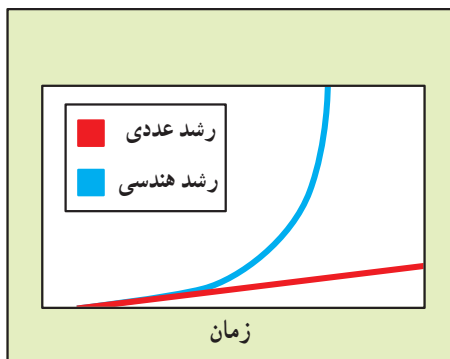
### نوشته‌های مالتوس

از نظر داروین، کلید معمای چگونگی انجام تغییر در گونه‌ها بررسی‌ای بود که یک اقتصاددان انگلیسی به نام توماس مالتوس<sup>۱</sup> انتشار داده بود. مالتوس نوشته بود که رشد جمعیت انسانی سریع‌تر از منابع غذایی است. برطبق نوشته‌های او، رشد جمعیت انسانی به صورت تصاعد هندسی است. در حالی که، منابع غذایی، در بهترین حالت خود، رشد عددی دارند (شکل ۵-۴). طبق نظریه‌ی

<sup>۱</sup> Thomas Malthus

مالتوس در صورت عدم کنترل رشد جمعیت انسان، افراد بشر در مدت کوتاهی سراسر پهنه‌ی زمین را اشغال خواهند کرد. او گفت که مرگ در اثر بیماری، جنگ و گرسنگی، رشد جمعیت انسانی را آهسته‌تر خواهد کرد.

واژه‌ی جمعیت، در زیست‌شناسی فقط به تعداد انسان‌های موجود در یک منطقه اشاره نمی‌کند، در زیست‌شناسی، یک جمعیت بیانگر گروهی از افراد یک گونه است که با همدیگر در یک زمان و در یک مکان زندگی می‌کنند.



شکل ۴-۵- رشد هندسی و عددی. نمودار آبی رنگ نشان دهنده‌ی رشد بدون کنترل جمعیت است که در آن تعداد افراد با مضربی از یک عدد ثابت افزایش می‌یابد. نمودار قرمز افزایش منابع غذایی را نشان می‌دهد که در آن مقدار غذا با افزایش یک عدد ثابت زیاد می‌شود.

**انتخاب طبیعی:** داروین به این نتیجه رسید که اندیشه‌ی مالتوس درباره‌ی جمعیت انسانی قابل تعمیم برای همه‌ی گونه‌هاست. هر جاندار، در طول زندگی خود، توانایی تولید تعداد فراوانی زاده را دارد، اما در اغلب موارد، تنها تعداد محدودی از این زاده‌ها قادر به بقا و زادآوری هستند. داروین با اضافه کردن دیدگاه مالتوس به نتایج حاصل از سفر و دیگر تجربیات خود که در زادگیری حیوانات اهلی به دست آورده بود، به یک مطلب اساسی پی برد: افرادی که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و رفتاری با محیط خود تطابق بیش‌تر دارند، احتمال بقا و زادآوری آن‌ها نیز بیش‌تر است. داروین فرض کرد در صورتی که زمان کافی برای زادآوری افراد وجود داشته باشد، افرادی که فرصت انتقال صفت مطلوب خود را به نسل بعد دارند، با گذشت زمان آن را در جمعیت افزایش می‌دهند و به تدریج ویژگی‌های جمعیت را تغییر می‌دهند. او این فرآیند را که جمعیت‌ها در پاسخ به محیط خود

تغییر می‌کنند، انتخاب طبیعی نامید.

داروین فرض کرد که جانداران یک محل با جانداران همان‌گونه در محل‌های دیگر متفاوت هستند، زیرا زیستگاه آن‌ها از نظر فراهم کردن فرصت برای بقا و زادآوری افراد متفاوت است و هرگونه‌ای هماهنگ با محیط ویژه‌ی خود تحول می‌یابد. تغییراتی که در یک گونه، به منظور تطابق بهتر آن گونه با محیط خود انجام می‌گیرد، سازش نامیده می‌شود. داروین همچنین متوجه این امر شد که جانداران موجود در مناطق جغرافیایی نزدیک نسبت به جانداران موجود در مناطق جغرافیایی مشابه، اما دور، شباهت‌های بیش‌تری با یک‌دیگر دارند.

بیش‌تر بدانید



### در پیرامون ما

همان‌طور که در شکل ۵-۴ مشخص است جمعیت‌ها به صورت تصاعد هندسی رشد می‌کنند و از این‌رو، ممکن است در طی چند نسل به صورت چشمگیری رشد کنند. بسیاری از گونه‌ها شامل اغلب حشرات زاده‌های زیادی تولید می‌کنند و مدت زمان تولید نسل جدید در آن‌ها کوتاه است. اگر سوسک‌های منزل شما بدون محدودیت رشد کنند، به زودی کف و دیوارهای منزل شما پوشیده از سوسک خواهد شد.

کتاب‌های دیگر نیز داروین را تحت تأثیر قرار دادند: در سال ۱۸۴۴، داروین نظر خود را درباره‌ی تغییر گونه‌ها و انتخاب طبیعی نوشته بود، اما آن را تنها به افراد معتمد خود ارائه می‌کرد. در همان سال، یک کتاب به نام «اثرات تاریخ طبیعی خلقت» توسط یک مهندس اسکاتلندی منتشر شد. در یکی از فصول این کتاب نوشته شده بود که تغییر گونه‌ها، در گذشته‌ی زمین، انجام می‌شده است. این کتاب با اقبال مواجه نشد و مورد انتقاد شدید کلیسا قرار گرفت. از سوی دیگر نظریه‌ی لامارک درباره‌ی تغییر گونه‌ها از طریق وراثت صفات اکتسابی نیز شدیداً از سوی کلیسا رد شده بود. داروین به علت چنین فشارها و بحث و جدل‌ها دست نوشته‌ی خود را کنار نهاد. در طول ۱۴ سال بعد، او به بسط و گسترش افکار و نوشته‌های خود درباره‌ی تحول گونه‌ها پرداخت، اما او هرگز درباره‌ی افکار خود برای عموم مطلبی به زبان نمی‌آورد. او حتی پس از انتشار چندین کتاب در موضوعات مشابه دست نوشته‌های خود را درباره‌ی تغییر گونه‌ها منتشر نکرد.

داروین سرانجام در سال ۱۸۵۹ اندیشه‌های خود را منتشر کرد: داروین در سال ۱۸۵۸، پس از دریافت یک نامه از طبیعی‌دان جوانی به نام آلفرد راسل والاس<sup>۱</sup> تصمیم به انتشار مقاله‌ی خود گرفت. دست نوشته‌ی ارسالی والاس، حاوی شرح یک فرضیه درباره‌ی تغییر گونه‌ها براساس انتخاب طبیعی بود؛ او در این نامه به منظور انتشار فرضیه‌ی خود از داروین درخواست کمک کرده بود. در این هنگام دوست داروین او را تشویق به آماده‌کردن مقاله‌ی خود کرد و قرار شد که خلاصه‌ای از دست نوشته‌ی داروین به همراه مقاله‌ی والاس تحت عنوان نظریه‌ی داروین – والاس در یک گردهم‌آیی علمی ارائه شود. داروین و والاس هیچ کدام در این گردهم‌آیی شرکت نکردند و در آن زمان تعداد اندکی از آن دو مقاله مطلع شدند. سرانجام کتاب داروین به نام «درباره‌ی خاستگاه گونه‌ها از طریق انتخاب طبیعی»<sup>۲</sup> در سال ۱۸۵۹ منتشر شد.

### افکار داروین دچار تحول شده است.

از زمان انتشار افکار داروین، فرضیه‌ی او – تغییر گونه‌ها براساس انتخاب طبیعی – را زیست‌شناسان به دقت مورد بررسی قرار دادند. کشفیات جدید، به ویژه در زمینه‌ی ژنتیک باعث ایجاد دیدگاه‌های جدید درباره‌ی چگونگی تغییر گونه‌ها براساس انتخاب طبیعی شده است. در این جا مبانی نظری اندیشه‌های داروین با زبان علمی امروزی بیان شده است.

مطلب کلیدی نظریه‌ی داروین این است که در هر جمعیت، افرادی که تطابق بیشتری با محیط دارند بیش‌ترین تعداد زاده‌ها را تولید می‌کنند. بنابراین، فراوانی نسبی صفات این افراد در هر نسل افزایش می‌یابد.

هم‌اکنون زیست‌شناسان می‌دانند که ژن‌ها عامل بروز صفات هستند. از سوی دیگر می‌دانیم که برخی از شکل‌های یک صفت در برخی جمعیت‌ها متداول‌ترند، زیرا افراد بیش‌تری از جمعیت، الل‌های آن شکل‌ها را دارند. به عبارت دیگر، بر اثر انتخاب طبیعی فراوانی نسبی برخی الل‌ها در یک جمعیت، در طول زمان، افزایش یا کاهش می‌یابد. جهش‌ها و نوترکیبی الل‌ها که هنگام زادآوری جنسی انجام می‌شود، منابع بی‌انتهایی برای ایجاد انواع جدید، به منظور عمل انتخاب طبیعی یا مصنوعی فراهم می‌کند. در شکل ۶-۴ دامنه‌ی تغییر یک گونه‌ی گیاهی در اثر انتخاب مصنوعی نشان داده شده است.

۱ – Alfred Russel Wallace

۲ – On the Origin of Species by Means of Natural Selection



شکل ۶-۴- تغییر در گیاهان زراعی. همه‌ی این گیاهان که متعلق به گونه‌ی، *براسیکا اولراسه*، هستند، از طریق زادگیری انتخابی (انتخاب مصنوعی) ایجاد شده‌اند.

انقراض منجر به جانشینی گونه‌ها شده است: همان‌طور که در فصل ۳ خوانده‌اید، در طول دوران‌های زمین‌شناختی وقایعی از قبیل تغییر ناگهانی اقلیم و انقلاب‌های طبیعی، منجر به انقراض برخی گونه‌ها شده است. در چنین وضعیتی گونه‌هایی که سازگاری بهتری با شرایط جدید دارند، می‌توانند جانشین گونه‌های منقرض شده شوند. مثلاً، انقراض دایناسورها در میلیون‌ها سال پیش زمینه را برای تغییر و گسترش پستانداران و پرندگان فراهم کرد.

### نظریه‌ی ترکیبی انتخاب طبیعی

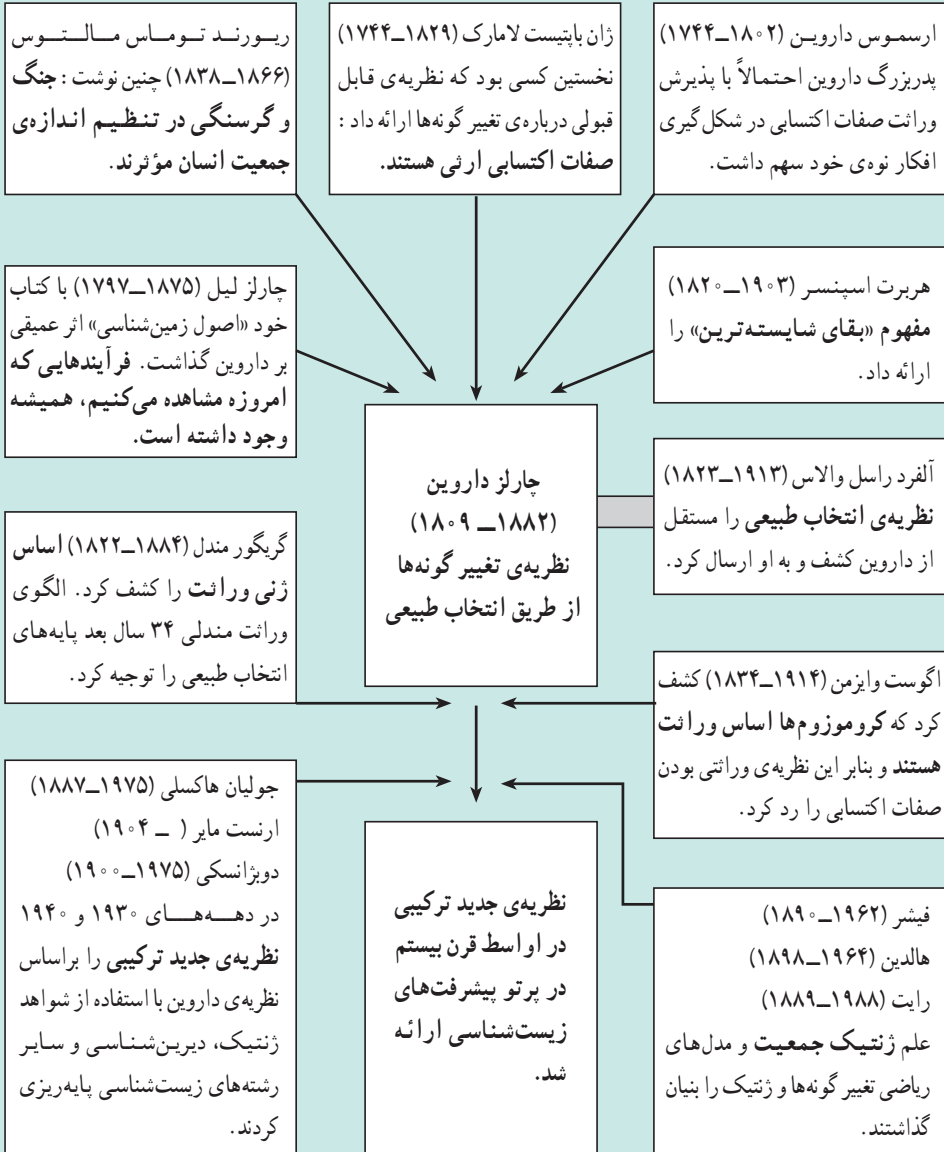
داروین و هم‌عصران او از نحوه‌ی وراثت صفات اطلاع چندانی نداشتند. آنان معتقد بودند که همواره فرزندان، حد واسط صفات والدین را نشان می‌دهند. مثلاً تصور می‌کردند از آمیزش گیاهی که گل‌های زرد دارد، با گیاهی که گل‌های آبی دارد، باید گیاهی با گل‌های سبز (مخلوط زرد و آبی)



به وجود آید. نتایج کارها و تحقیقات گریگور مندل که در سال ۱۸۸۶ ارائه شده بود، تا سال ۱۹۰۰، یعنی ۱۸ سال پس از مرگ داروین مورد بررسی قرار نگرفت. نظریه‌ای که امروزه مورد قبول زیست‌شناسان است به نظریه‌ی ترکیبی انتخاب طبیعی مشهور است. این نظریه که بر مبنای کارهای داروین و مندل قرار دارد، تکمیل شده‌ی کارهای این دو دانشمند است. طبق نظریه‌ی ترکیبی، گوناگونی ژنی در جمعیت‌ها براساس این موارد است:

– جهش (کروموزومی و ژنی)  
– تفکیک کروموزوم‌های والدین هنگام تقسیم میوز  
– مبادله‌ی قطعاتی بین کروموزوم‌های همتا که هنگام میوز صورت می‌گیرد و به کراسینگ‌اوور معروف است.

– لقاح گامت‌های نر و ماده با یکدیگر  
بر پایه‌ی این نظریه، گوناگونی ژنی منجر به این موارد می‌شود:  
– در فنوتیپ افراد ظاهر می‌شود.  
– در هر محیط بعضی از فنوتیپ‌ها سازگارترند و جانداران را قادر می‌سازند در آن محیط بیش‌تر تولیدمثل کنند.  
– بر اثر انتخاب طبیعی فراوانی نسبی صفات در جمعیت‌ها تغییر می‌کند و در نهایت گونه‌های جدید پدیدار می‌شوند.



پیدایش نظریه‌ی جدید ترکیبی



- ۱- دو مورد از مشاهدات چارلز داروین را که در طول سفر ۵ ساله‌اش باعث شد او نتیجه‌گیری کند که گونه‌های زنده از تغییر گونه‌های منقرض شده به وجود آمده‌اند، نام ببرید.
- ۲- چگونه رخداد انتخاب طبیعی را توضیح دهید.
- ۳- نظریه‌ی جدید تغییر گونه‌ها را براساس انتخاب طبیعی، خلاصه کنید.
- ۴- آیا تغییر گونه‌ها یک نظریه است یا فرضیه؟ شرح دهید.
- ۵- توضیح دهید چگونه انتخاب طبیعی باعث تغییر گونه‌ها می‌شود.

### سنگواره‌ها؛ ثبت تغییر احتمالی گونه‌ها

سنگواره‌ها ممکن است تغییرات تدریجی گونه‌ها را از نیاکان اولیه تا زاده‌های امروزی، نشان دهند. سنگواره‌ها مستقیم‌ترین شواهد تغییر گونه‌ها را ارائه می‌کنند. سنگواره‌ها، ثبت واقعی آثار جاندارانی هستند که در گذشته روی زمین زندگی می‌کرده‌اند. تغییرات مستمر و تدریجی در بعضی سنگواره‌ها ثبت شده و قابل مشاهده است. سنگواره‌های موجود در سنگ‌های قدیمی‌تر با سنگواره‌های موجود در سنگ‌های جدیدتر متفاوت‌اند (شکل ۷-۴).

داروین پس از مشاهده‌ی چنین تغییراتی، وجود حلقه‌هایی حد واسط را در زنجیره‌ی تحول تدریجی گونه‌ها پیش‌بینی کرد. پس از داروین، بسیاری از این حلقه‌ها کشف شد. مثلاً، سنگواره‌ی حلقه‌های بین ماهی‌ها و دوزیستان، حلقه‌های رابط خزندگان و پرندگان، و حلقه‌های بین خزندگان و پستانداران کشف شده است.



شکل ۷-۴ سنگواره‌ها. پتروداکتیل در تخته سنگ‌هایی به قدمت ۲۱۰ میلیون سال، کشف شده است.

با این حال آثار سنگواره‌ای یافت شده، کامل نیستند. زیست‌شناسان طرفدار نظریه‌ی تغییر گونه‌ها استدلال می‌کنند که بسیاری از گونه‌ها در محیط‌هایی زندگی می‌کرده‌اند که در آن‌جا سنگواره‌ای

تشکیل نشده است. بسیاری از سنگواره‌ها هنگامی تشکیل می‌شوند که جانداران، یا اثرهای آن‌ها به سرعت در زیر رسوباتی که توسط آب، باد و انفجارهای آتشفشانی حمل شده‌اند، مدفون شوند. محیط‌های مناسب برای تشکیل سنگواره عبارت‌اند از: زمین‌های کم ارتفاع مرطوب، جویبارها، رودخانه‌های دارای حرکت کند، دریا‌های کم عمق، و مناطق نزدیک آتشفشان‌هایی که از آن‌ها خاکستر بلند می‌شود. احتمال تشکیل سنگواره‌ی جانداران جنگل‌های مرتفع کوهستان‌ها، علفزارها و بیابان‌ها بسیار کم است. حتی اگر یک جاندار در محیط مناسب برای سنگواره‌شدن زندگی کند، احتمال مدفون شدن جسم آن زیر رسوبات، قبل از تجزیه شدن آن، ضعیف است، مثلاً، ممکن است پیکر جاندار را لاشخورها بخورند، یا پراکنده کنند. به علاوه، جسم برخی از جانداران سریع‌تر از دیگران تجزیه می‌شود. مثلاً، احتمال سنگواره شدن جانور دارای اسکلت بیرونی سخت (مانند خرچنگ)، نسبت به جانداري مانند کرم‌خاکی که بدن نرم دارد، بیش‌تر است.

ثبت‌های سنگواره‌ای هرگز کامل نبوده است، با این حال سنگواره‌ها شواهدی در رابطه با وقوع تغییر و تحول در گونه‌ها ارائه می‌کنند. دیرینه‌شناسان، یعنی پژوهشگرانی که به بررسی سنگواره‌ها می‌پردازند، با استفاده از روش عمرسنجی با دقت نسبتاً زیادی، سن سنگواره‌ها را تعیین می‌کنند. تعیین سن به روش عمرسنجی دیرینه‌شناسان را قادر ساخته است که سنگواره‌ها را در یک توالی از کهن‌ترین به جوان‌ترین مرتب کنند. پس از تهیه‌ی چنین ترتیبی، الگوهای تغییر گونه‌ها قابل مشاهده خواهد بود.

## فعالیت



سرزمین استرالیا در حدود ۱۲۰ میلیون سال پیش از سایر خشکی‌ها جدا شد. با استفاده از مطالب فصل سوم کتاب زمین‌شناسی پیش‌دانشگاهی (زمین ساخت ورقه‌ای)، فرضیه‌ای برای فراوانی جانوران کیسه‌دار، مانند کانگورو در این سرزمین بسازید.

## مولکول‌های زیستی آثار تغییر گونه‌ها را در خود ثبت کرده‌اند.

تهیه‌ی تصویرهای فرضی از تغییرات تدریجی جانداران با استفاده از آثار سنگواره‌ای، به دانشمندان این امکان را می‌دهد که به پیش‌بینی‌های علمی بپردازند. اگر گونه‌ها در طول زمان متحمل تغییراتی شده باشند، این تغییرات حاکی از تغییرات ژن‌های تعیین‌کننده‌ی صفات آن‌هاست. برای تغییر یک گونه، باید

تغییرهای بی‌دربی، بخشی از ساختار ژنتیکی آن‌ها را تغییر داده باشد. از این‌رو، در طول زمان، تغییرات بیش‌تر و بیش‌تری در توالی نوکلئوتیدی ژن‌ها ایجاد شده است. این بیش‌بینی‌ها برای اولین بار از طریق تجزیه و تحلیل توالی آمینواسیدهای پروتئین‌های مشابه در چندین گونه مورد آزمایش قرار گرفت. پروتئین‌ها: می‌دانید که ژن‌ها توالی آمینواسیدی پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند. در صورت وقوع تغییر، گونه‌هایی که در گذشته‌ی نزدیک‌تر از یک نیای مشترک ایجاد شده باشند، نسبت به گونه‌هایی که در گذشته‌های دورتر از همان نیا اشتقاق پیدا کرده‌اند، دارای تفاوت کم‌تری در توالی آمینواسیدی خود هستند. نیای مشترک گونه‌ای است که دو یا چند گونه از تغییر آن اشتقاق پیدا کرده باشند. مقایسه‌ی یک زنجیره از هموگلوبین جانوران مختلف با یک‌دیگر شباهت‌هایی را بین آن‌ها نشان می‌دهد (جدول ۱-۴).

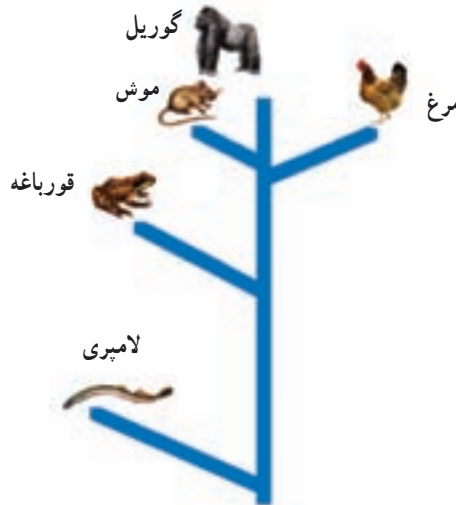
جدول ۱-۴ — تفاوت هموگلوبین‌ها. گونه‌هایی که نیای مشترک آن‌ها در گذشته‌های نزدیک‌تر قرار داشته است، از نظر توالی آمینواسیدی هموگلوبین خود دارای تفاوت کم‌تری هستند.

مقایسه‌ی هموگلوبین چند جانور مختلف	
گونه	تعداد آمینواسیدهای متفاوت
گوریل*	۰
میمون رزوس	۷
موش	۲۶
مرغ	۴۴
قورباغه	۶۶
لامپری	۱۲۴

\* مبنای مقایسه گوریل است.

نوکلئیک اسیدها: تغییرات نوکلئیک اسیدها، مثلاً جانشینی نوکلئوتید، باعث تغییراتی در توالی آمینواسیدی پروتئین‌ها می‌شود. دانشمندان با مقایسه‌ی توالی دقیق نوکلئوتیدهای ژن‌ها، می‌توانند به‌طور مستقیم تعداد تغییرات نوکلئوتیدی را حین اشتقاق یک گونه‌ی نیایی به دو گونه‌ی جدید تخمین بزنند. آنان با استفاده از اطلاعات حاصل از پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها، طرحی شبیه آن‌چه در شکل ۸-۴ نشان داده شده است به دست آورده‌اند. این گونه طرح‌ها که درخت‌های تبارزایشی نیز

نام دارند، چگونگی ارتباط تحولی جانداران را نشان می‌دهند. درخت‌های تبارزایی شواهدی برای تغییر گونه‌ها فراهم می‌آورند.



شکل ۸-۴- درخت تبارزایی که برای ژن هموگلوبین ترسیم شده است.

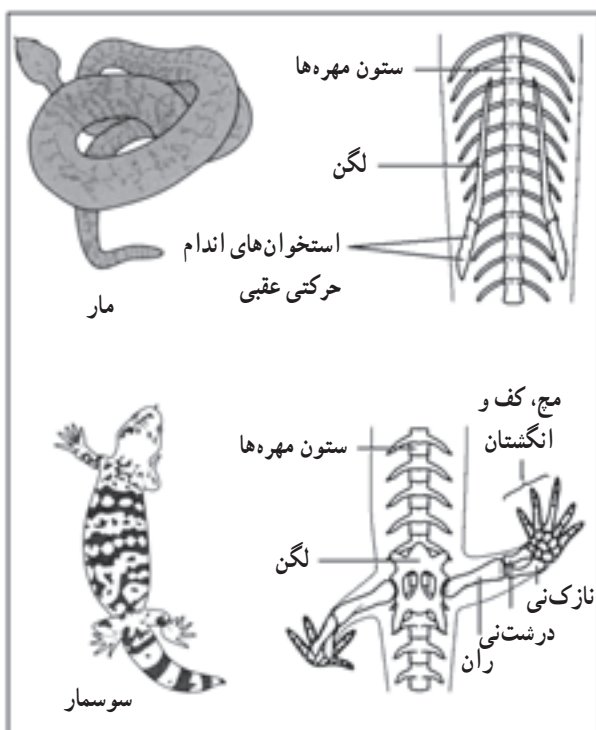
## کالبدشناسی (آناتومی) و مراحل تکوین جانداران، احتمال وجود نیاکان مشترک را تقویت می‌کنند.

مقایسه‌ی ساختارهای بدن جانداران مختلف اغلب مشابهت‌هایی اساسی نشان می‌دهد، حتی اگر این ساختارها وظایف متفاوتی داشته باشند. مثلاً، گاه ساختاری استخوانی در یک جاندار وجود دارد و وظیفه‌ای انجام می‌دهد، اما همین ساختار در جاندار دیگری به نسبت کوچک‌تر شده، فاقد نقش شناخته‌شده‌ای است، یا نقش بسیار جزئی برعهده دارد. چنین ساختارهایی که نشان‌دهنده‌ی تغییرات جاندار در گذشته هستند، اندام و ستیجیال<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند (شکل ۹-۴).

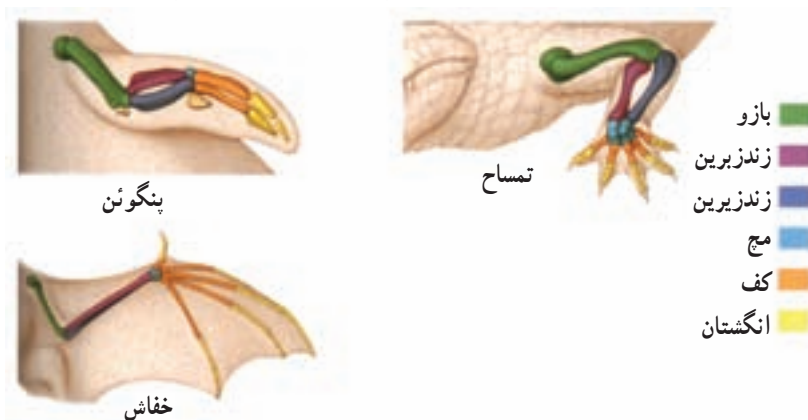
استخوان‌های مهره‌داران مختلف، متفاوتند. با این حال شباهت اساسی در ساختار استخوان‌های آن‌ها دیده می‌شود. این شباهت اساسی می‌تواند حاکی از آن باشد که مهره‌داران یک نیای مشترک داشته‌اند. همان‌طور که در شکل ۱۰-۴ ملاحظه می‌کنید، اندام‌های جلویی مهره‌داران، از

۱- vestigial واژه‌ی لاتینی vestigium به معنی رد پا گرفته شده است.

استخوان‌های اصلی یکسانی تشکیل می‌شوند. چنین ساختارهایی همولوگ نامیده می‌شوند. ساختارهای همولوگ در نیای مشترک وجود داشته‌اند.



شکل ۹-۴- استخوان‌های لگن و ران مار که بازمانده‌ی استخوان‌های لگن و ران سایر خزندگان هستند، اندامی وستیجیال را به وجود می‌آورند.



شکل ۱۰-۴- ساختارهای همولوگ. اندام‌های جلویی مهره‌داران دارای اساس یکسانی هستند. به‌چنین ساختارهایی ساختارهای همولوگ می‌گویند.



تاریخ تغییر جانداران را در طول نمو رویان نیز می‌توان دید. نمو رویان مرغ را با نمو رویان سایر مهره‌داران که در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است، مقایسه کنید. هر رویان یک دم، چهار جوانه که منشأ اندام‌های حرکتی هستند و یک حفره‌ی گلوبی (حاوی آب‌شش‌های ماهی و دوزیستان) ایجاد می‌کند. دم اکثر مهره‌داران در بلوغ نیز باقی می‌ماند. اگرچه این ساختارها در گروه‌های مختلف مهره‌داران با سرعت‌های مختلفی نمو پیدا می‌کنند، با این حال همولوگ هستند. تنها ماهی‌های بالغ و دوزیستان نابالغ حفره‌های گلوبی خود را حفظ می‌کنند.



ماهی

لاک پشت

مرغ خانگی

شکل ۱۱-۴- رویان‌های چند جانور مهره‌دار. رویان‌های مهره‌داران در مراحل اولیه‌ی نمو دارای صفت‌های مشترکی هستند. با تداوم نمو، ساختارهای مختلف تغییر می‌کنند و شکل نهایی آن‌ها ایجاد می‌شود.

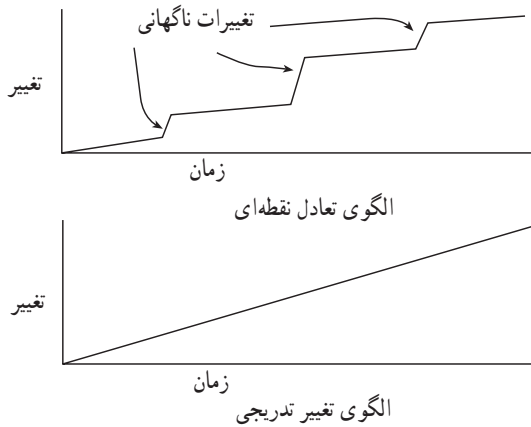


## اصلاح یک تصور نادرست

بسیاری تصور می‌کنند ساختارهایی وستیجیال نامیده می‌شوند که بدون استفاده باشند، اما در واقع بسیاری از چنین ساختارها دارای وظیفه‌ای هستند. بسیاری از ساختارهای وستیجیال که کوچک‌تر هستند وظیفه‌ی سبک‌تری برعهده دارند و یا در مقایسه با ساختارهای مشابه در نیاکان، وظیفه متفاوتی را برعهده دارند. برای مثال، کیسه‌ی رویانی که در پستانداران همولوگ کیسه‌ی زرده‌ی تخم پرندگان و خزندگان است، وستیجیال در نظر گرفته می‌شود، زیرا مواد غذایی رویان در حال رشد را فراهم نمی‌کند. لازم است توضیح داده شود که کیسه‌ی رویانی در پستانداران سلول‌های خونی تولید می‌کند.

آیا تحول گونه‌ها ناگهانی است، یا تدریجی؟ مدت‌ها بود که زیست‌شناسان طرفدار تغییر گونه‌ها، آن را پدیده‌ای تدریجی می‌دانستند. این الگوی تغییر که در آن رویدادهای تدریجی در طول زمان منجر به تشکیل گونه‌های جدید می‌شود، الگوی تغییر تدریجی نامیده می‌شود. به همین دلیل زیست‌شناسان در پی کشف جانداران حد واسط بودند تا سیر تحول گونه‌ها را به‌طور کامل توضیح دهند. اما اخیراً بعضی زیست‌شناسان این اندیشه را مطرح کرده‌اند که ممکن است یک گونه‌ی سازگار با محیط به‌علت پایداری وضعیت محیط‌زیست به مدت طولانی تغییر چندانی نداشته باشد. در حالی که همین گونه در مدت نسبتاً کوتاه در اثر تغییرات شدید و ناگهانی محیطی متحمل تغییرات ناگهانی شده است. این الگوی تغییر که در آن هر گونه پس از یک دوره‌ی طولانی، ناگهان دچار تغییر شدید شده است، الگوی تعادل نقطه‌ای یا الگوی گونه‌زایی ناگهانی نامیده می‌شود.

سرعت تغییر: چگونه تغییرات اندک محیطی باعث تغییرات تحولی ناگهانی می‌شود؟ آثار سنگواره‌ای ثبت شده نشان می‌دهند که تغییرات محیطی شدید بارها در گذشته رخ داده است. این برهه‌ها را دوره‌هایی که هر کدام ده‌ها میلیون سال به طول انجامیده است، از هم جدا می‌کنند. وقایعی مانند انفجارهای آتشفشانی، اثرات برخورد خرده سیارک‌ها، و دوره‌های یخبندان باعث تغییرات ناگهانی و شدید در اقلیم شده‌اند. چنین تغییراتی باعث انقراض بسیاری از جانداران نیز شده‌اند. در نتیجه، محیط‌هایی که زمانی زیستگاه جانداران بوده‌اند، یک‌باره خالی شده‌اند. در چنین شرایطی فرصت برای جایگزینی گونه‌هایی فراهم می‌شود که با شرایط جدید سازگار هستند (شکل ۱۲-۴).



شکل ۱۲-۴- الگوهای تغییر گونه‌ها

بیش تر بدانید



## تحول ناگهانی یا نقطه‌ای جانداران

نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای (Punctuated Equilibrium) که در واقع در برابر نظریه‌ی تحول تدریجی داروین قرار دارد، در سال ۱۹۸۱ ارائه شد.

پیش از آن تصور می‌شد که ما باید در جست‌وجوی حلقه‌هایی که سیر تحول تدریجی جانداران را نشان می‌دهند، باشیم؛ در حالی که براساس نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای، تحول جانداران ممکن است ناگهانی باشد.

این نظریه توضیح می‌دهد که پیدا نشدن فسیل‌های حد واسطه، نفی‌کننده خویشاوندی جانداران با یک‌دیگر نیست.

استفان گولد Stephen Gould متولد ۱۹۴۰ یکی از دو فردی بود که این نظریه را ارائه داد. او برای معرفی نظریه‌ی خود به انگشت شست پاندا استناد کرده است. این انگشت در واقع زائیده‌ای است از یکی از استخوان‌های میج که باعث می‌شود پاندا بتواند با کمک آن برگ‌های گیاه بامبو را که غذای اصلی آن هستند، قطع کند. او معتقد است که پدیدار شدن این زائیده محصول انتخاب طبیعی نیست، بلکه محصول جهش است. کتاب شست پاندا تألیف گولد در سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ برنده‌ی دو جایزه‌ی مهم شد. گولد پس از سال‌ها کار در زمینه‌ی تحقیقات مربوط به تحول جانداران در ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۱، پس از یک دوره‌ی طولانی تحمل بیماری سرطان درگذشت.

سنگواره‌ها بیانگر چه اطلاعاتی هستند؟ اگرچه در نتیجه‌ی فرسایش و بعضی فرآیندهای زمین‌شناختی مخرب، پیوستگی لازم در آثار سنگواره‌ای وجود ندارد ولی سنگواره‌ها ممکن است شواهدی هم‌مبنی بر تغییر تدریجی، یا تعادل نقطه‌ای فراهم کنند. بسیاری از جانداران به‌طور ناگهانی در آثار سنگواره‌ای پدیدار شده‌اند. بسیاری از این گروه‌ها نیز به مدت میلیون‌ها سال بدون تغییر باقی مانده‌اند، در حالی که برخی دیگر همانند ظهور ناگهانی خود به‌طور ناگهانی نیز ناپدید شده‌اند، به‌علاوه گروه‌های دیگر متحمل تغییرات تدریجی شده‌اند.

بررسی بیش‌تر آثار سنگواره‌ای می‌تواند شواهد دیگری را در رابطه با یکی از دو نوع تغییر یا هر دو آن‌ها و یا نظریه‌ای جدید فراهم آورد.

## خودآزمایی

- ۱- چگونه سنگواره‌ها مدارکی حاکی از رخداد تغییر در گونه‌ها را فراهم می‌کنند؟
- ۲- چگونه مقایسه‌ی توالی آمینواسیدهای یک پروتئین وقوع تغییر در گونه‌ها را نشان می‌دهد؟
- ۳- چگونه مقایسه‌ی کالبد گونه‌های زنده، شواهدی را در حمایت از وقوع تغییر گونه‌ها فراهم می‌کند؟
- ۴- الگوی تعادل نقطه‌ای تغییر گونه‌ها را با الگوی تغییر تدریجی مقایسه کنید.

## ۳ مثال‌هایی از تغییر گونه‌ها

بر اثر انتخاب طبیعی، چهره‌ی جمعیت‌ها تغییر می‌کند.

کار انتخاب طبیعی، حفظ تغییرات مطلوب است. مثال‌های شناخته شده‌ی بسیاری درباره‌ی جانداران در محیط‌های طبیعی وجود دارد. مطلب کلیدی درباره‌ی تغییر گونه‌ها این است که محیط در تعیین جهت و مقدار تغییرات نقش مهمی دارد. (شکل ۱۳-۴). براساس تدبیر نظام آفرینش، میزان موفقیت جانداران برای زیستن و تولیدمثل در شرایط طبیعی خود، تعیین‌کننده‌ی بقای جاندار و ژن‌های اوست.

**ملانینی شدن صنعتی:** یک مثال شناخته شده از انتخاب طبیعی ملانینی شدن صنعتی، یعنی تیره شدن رنگ جمعیت جاندار به علت آلودگی صنعتی است. افراد پروانه‌های گونه‌ی بیستون تولا ریا<sup>۱</sup>، یا پروانه‌ی شب پرواز فلفلی، به یکی از دو رنگ تیره یا روشن دیده می‌شود (شکل ۱۴-۴). پروانه‌های تیره‌تر دارای ال‌هایی برای تولید ملانین (رنگیزه‌ی تیره‌کننده‌ی رنگ) هستند. بنابر گزارشی، رقم تیره‌ی این گونه تا دهه‌ی ۱۸۵۰ بسیار اندک بوده است. پس از این تاریخ در مناطق صنعتی تعداد پروانه‌های تیره، بیش‌تر شد. پس از ۱۰۰ سال، تقریباً همه‌ی پروانه‌های موجود در نزدیکی مراکز صنعتی تیره‌رنگ بودند.

یک فرضیه درباره‌ی جانشینی پروانه‌های تیره به جای پروانه‌های روشن با استفاده از نظریه‌ی انتخاب طبیعی، شکل می‌گیرد. پروانه‌های تیره‌رنگ در مناطق صنعتی فراوان‌تر هستند، چون که سطح تنه‌ی درخت‌ها در اثر آلودگی هوا و از بین رفتن گل‌سنگ‌هایی که دارای رنگ روشن بوده‌اند، سیاه‌رنگ شده است. گل‌سنگ‌ها به آلودگی هوا حساس‌اند و در محیط آلوده از بین می‌روند. پروانه‌های تیره‌رنگ با استفاده از رنگ تیره‌ی تنه‌ی درخت‌ها استتار پیدا کرده‌اند و در نتیجه طعمه‌ی پرندگان نمی‌شوند. از طرف دیگر پروانه‌های دارای رنگ روشن روی تنه‌ی تیره‌رنگ درخت‌ها کاملاً پیدا هستند و در نتیجه به راحتی طعمه‌ی پرندگان می‌شوند.

**آزمون انتخاب طبیعی پروانه‌ها:** یک بوم‌شناس بریتانیایی به منظور بررسی اثر انتخاب طبیعی بر تغییر رنگ جمعیت‌های این پروانه‌های شب پرواز آزمایشی انجام داد. این محقق جمعیت‌هایی از پروانه‌های روشن و تیره را در آزمایشگاه پرورش داد. سپس به منظور تشخیص پروانه‌ها قسمت زیر

<sup>۱</sup> - *Biston betularia*



شکل ۱۳-۴- خرس قطبی. پوشش سفیدرنگ خرس قطبی به او این امکان را می‌دهد که در محیط پوشیده از برف با موفقیت شکار کند و به بقای خود ادامه دهد.

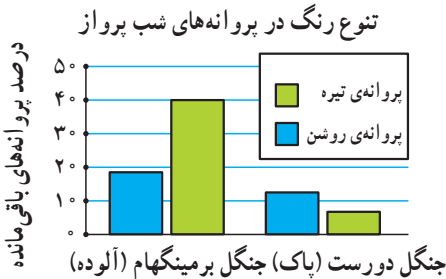
بال‌های آن‌ها را با جوهر علامت‌گذاری کرد. در مرحله‌ی بعد او پروانه‌های تیره و روشن را در دو منطقه‌ی جنگلی مجزا در انگلستان رها کرد. یکی از مناطق جنگلی در نزدیکی برمینگهام شدیداً آلوده بود. منطقه‌ی جنگلی دیگر در نواحی حاشیه‌ای و روستایی و فاقد آلودگی بود. این محقق برای گرفتن پروانه‌ها و مطالعه‌ی آن‌ها دام‌هایی پهن کرد. در هر منطقه بیش‌تر پروانه‌های هم‌رنگ با تنه‌ی درختان زنده مانده بودند (شکل ۱۴-۴). تکرار این آزمایش این نتایج را تأیید کرد. طبق بررسی‌ها در مناطق آلوده، پرنندگان پروانه‌های دارای رنگ روشن را شکار می‌کنند، ولی پروانه‌های تیره‌رنگ از شکار در امان می‌مانند.



پروانه‌های فلفل‌ی سفید و سیاه روی تنه‌ی روشن یک درخت



پروانه‌های فلفل‌ی سفید و سیاه روی تنه‌ی تیره‌ی یک درخت



شکل ۱۴-۴- پروانه‌های فلفل‌ی اروپا به یکی از دو رنگ تیره یا روشن یافت می‌شوند. نمودار مقابل نتایج آزمایش‌های انجام شده در مورد این پروانه‌ها را نشان می‌دهد. در جنگل‌های آلوده، در نزدیکی برمینگهام (انگلستان) دو سوم پروانه‌های باقی‌مانده تیره‌رنگ هستند. در حالی که در جنگل‌های دورست<sup>۱</sup> (که دارای هوای پاک است) دو سوم پروانه‌ها به رنگ روشن هستند.

گونگونی منقار سهره‌ها: داروین، هنگام بازدید از جزایر گالاپاگوس، ۳۱ نمونه سهره را از سه جزیره جمع‌آوری کرد. این سهره‌ها بسیار شبیه یک‌دیگر بودند و فقط تفاوت آن‌ها در منقارشان بود. دوگونه از سهره‌های زمینی دارای منقار بزرگ بودند و از دانه‌ها تغذیه می‌کردند و برای این کار دانه‌ها را به کمک منقار خود خرد می‌کردند، در حالی که دوگونه از سهره‌ها با منقار باریک‌تر، از حشرات تغذیه می‌کردند. یک گونه از آن‌ها میوه‌خوار بود و گونه‌ی دیگر از کاکتوس تغذیه می‌کرد. یک گونه هم با کمک نوک تیز خود از خون پرندگان دریایی تغذیه می‌کرد.

داروین فرض کرد که یک گونه‌ی نیایی پرندگان، به منظور سازش با منابع غذایی مختلف در جهات مختلفی تغییر پیدا کرده است.

بعد از داروین برای اولین بار طبیعی‌دانی به نام دیوید لاک<sup>۱</sup> به مدت پنج سال سهره‌های داروینی را از نزدیک مشاهده کرد، ولی شواهد اندکی در حمایت از فرضیه‌ی داروین به دست آورد. در این پژوهش سهره‌هایی که نوک ستبر داشتند و نیز سهره‌هایی که نوک باریک و ضعیف داشتند، هر دو از یک نوع دانه تغذیه می‌کردند.

علت نتیجه‌گیری لاک این بود که او پرندگان را در سال‌های پرباران که طی آن غذا فراوان بود، مورد آزمایش قرار داد. اندازه‌ی نوک سهره‌ها در چنین مواقعی از سال اهمیت اندکی دارد. در چنین وضعیتی هم نوک ستبر و قوی و هم نوک باریک و ضعیف، در جمع‌آوری دانه‌های کوچک و نرم که به فراوانی نیز یافت می‌شوند، با کارایی خوبی عمل می‌کنند.

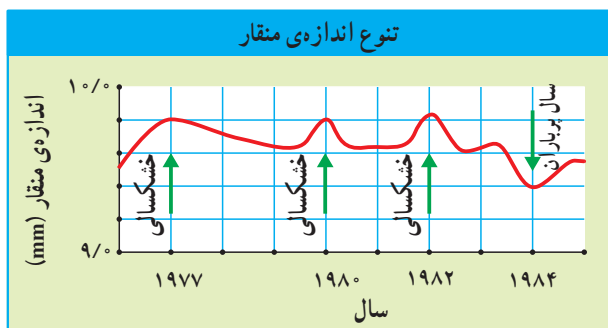
دومین پژوهش وسیع که در این مورد انجام شد، پژوهش پیترو روزماری گرانته<sup>۲</sup> بود. نتایج تحقیقات خانواده‌ی گرانته تصویر شفافی در حمایت از تفسیر داروین فراهم آورد.

گیاهان در سال‌های خشک دانه‌های اندکی تولید می‌کنند. در میان این دانه‌ها فراوانی دانه‌های کوچک اندک است و توانایی خوردن دانه‌های بزرگ‌تر و سفت‌تر موجب بقای بیش‌تر می‌شود که معمولاً در سال‌های پرباران پرندگان آن‌ها را نادیده می‌انگارند. گرانته‌ها هر سال اندازه‌ی منقار سهره‌ها را اندازه‌گیری کردند. آنان بی‌برند که پس از چند سال، سهره‌هایی که منقار بزرگ‌تر و حجیم‌تر دارند، موفقیت بیش‌تری در تغذیه دارند و بنابراین در تولیدمثل موفق‌تر هستند.

در سال‌های پرباران، منقار کوچک‌تر در بیش‌تر افراد جمعیت مشاهده می‌شود (شکل ۱۵-۴). از این پژوهش چنین برمی‌آید که براث انتخاب طبیعی اندازه‌ی منقار سهره‌ها، به تناسب غذایی که در محیط در دسترس است، تغییر می‌کند.

۱- David Lack

۲- Peter & Rosemary Grant



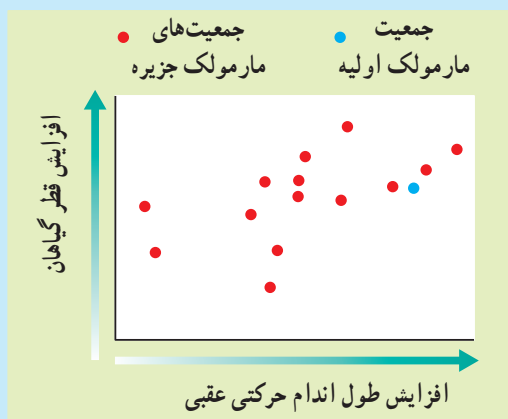
شکل ۱۵-۴- انتخاب طبیعی در بسپره‌ها. گرانت‌ها با برقراری ارتباط بین محیط و اندازه‌ی منقار، به این نتیجه رسیدند که انتخاب طبیعی تغییر گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

### فعالیت (کارگاه ریاضی)



#### تجزیه و تحلیل تغییر جمعیت مارمولک‌ها

اطلاعات مقدماتی: در سال ۱۹۹۱ یک دانشمند به نام جان اتان لوزوس<sup>۱</sup> طول اندام عقبی مارمولک‌های چند جزیره و متوسط قطر گیاهان آن جزیره را اندازه‌گیری کرد. مارمولک‌ها حدود ۲۰ سال پیش از یک جمعیت مشترک حاصل شده بودند. در این جزایر انواع مختلفی از گیاهان وجود دارند که مارمولک‌ها روی آن‌ها زندگی می‌کنند. نمودار زیر را بررسی کنید و به سوالات مربوطه پاسخ دهید.





- ۱- چرا متوسط طول اندام عقبی جمعیت هر یک از جزایر در مقایسه با جمعیت اصلی متفاوت است؟
- ۲- پیش‌بینی کنید که اگر یک جمعیت از مارمولک‌های دارای اندام عقبی کوتاه در یک جزیره با درختانی با متوسط قطر بیش‌تر نسبت به محل مبدأ آنها، زندگی کنند، چه نتیجه‌ای حاصل خواهد شد؟
- ۳- آیا به نظر شما این آزمایش از نظریه‌ی تغییر گونه‌ها از طریق انتخاب طبیعی حمایت می‌کند؟

## خودآزمایی



- ۱- سازوکارهای عامل تغییر پروانه‌های فلفل‌ی را شرح دهید.
- ۲- عوامل تغییر منقار سهره‌ها را براساس مطالعات گرانت‌ها شرح دهید.
- ۳- براساس نتایج بررسی دیوید لاک، نتیجه‌گیری شما درباره‌ی مدت زمان مورد نیاز برای پیدایش یک گونه‌ی جدید، چیست؟



## ژنتیک جمعیت

چون داروین از منشأ گوناگونی افراد جمعیت‌ها و نیز از چگونگی انتقال صفات بین نسل‌ها اطلاع چندانی نداشت، نمی‌توانست ساز و کار انتخاب طبیعی را توضیح دهد، بنابراین نظریه‌ی لامارک، یعنی «وراثتی بودن صفات اکتسابی» را پذیرفته بود. امروزه زیست‌شناسان با استفاده از پژوهش‌های حاصل از ژنتیک جمعیت به بررسی تغییر و تحول گونه‌ها می‌پردازند.

### پیش‌نیازها

پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید:

- انتخاب طبیعی را شرح دهید،
- اصول ژنتیک مندلی را بیان کنید،
- جهش را توضیح دهید.

معمولاً در هر جمعیت فاصله‌ی بین افراد به اندازه‌ای است که افراد می‌توانند با یک‌دیگر آمیزش کنند. بنابراین در صورتی که بین افراد مانعی ایجاد شود به طوری که این مانع از آمیزش آن‌ها جلوگیری کند، عملاً آن جمعیت به دو جمعیت تجزیه می‌شود. مثلاً اگر کرم‌های خاکی باغچه‌ی منزل شما عملاً نتوانند با کرم‌های خاکی باغچه‌های همسایه‌های شما آمیزش کنند، هر کدام جمعیتی جداگانه تشکیل خواهند داد. در مقابل گنجشک‌های شهر شما جمعیت بزرگی از گنجشک‌ها را تشکیل می‌دهند.

ژنتیک جمعیت به بررسی ژن‌های جمعیت‌ها می‌پردازد. در ژنتیک جمعیت به مجموع ژن‌های موجود در سلول‌های زایشی هر جمعیت خزان‌ی ژنی می‌گویند. به عبارت دیگر، چون هر ژن ممکن است الل‌های متفاوتی داشته باشد، خزان‌ی ژنی شامل مجموع الل‌های مربوط به ژن‌های همه‌ی سلول‌های زایشی (سلول‌های تولیدکننده‌ی گامت) افراد یک جمعیت است.

برای توصیف خزان‌ی ژنی به دست آوردن تعداد واقعی هر الل کاری غیرممکن است، بنابراین سعی می‌کنیم در ژنتیک جمعیت، فراوانی نسبی الل‌های هر جمعیت را به جای تعداد واقعی، مورد بررسی قرار دهیم.

در سال ۱۹۰۰، یعنی از هنگامی که اصول مندل بار دیگر مورد بررسی و تأیید قرار گرفت، زیست‌شناسان بررسی چگونگی تغییر فراوانی الل‌ها را در جمعیت‌ها آغاز کردند. آنان در ابتدا تصور می‌کردند الل‌های غالب که معمولاً نسبت به الل‌های مغلوب فراوانی بیش‌تر دارند، پس از مدتی الل‌های مغلوب را از جمعیت حذف خواهند کرد و خود جای آن‌ها را خواهند گرفت.

در سال ۱۹۰۸ هاردی<sup>۱</sup>، ریاضی‌دان انگلیسی و واینبرگ<sup>۲</sup> پزشک آلمانی که مستقل از یک‌دیگر در حال کاربرد قوانین جبر و احتمال برای محاسبه‌ی فراوانی ژنوتیپ‌ها بودند، پی بردند که در جمعیت‌های بزرگ که در آن‌ها آمیزش‌ها به صورت تصادفی صورت می‌گیرد، نسبت الل‌های غالب به مغلوب و نیز نسبت فراوانی افراد خالص به ناخالص در نسل‌های پی‌درپی ثابت است و تغییر نمی‌کند،

۱- G.H. Hardy

۲- Weinberg

مگر آن که جمعیت تحت فشار نیرو یا نیروهای تغییردهنده قرار گیرد که به نفع یا به زیان ماندگاری یک یا چند الل خاص عمل می کنند. به این امر اصل هاردی - واینبرگ می گویند. مثلاً اگر الل غالب یک ژن مرگ آور باشد، فراوانی این الل به علت غالب بودن افزایش نمی یابد، بلکه برعکس به علت مرگ آور بودن رو به کاهش می گذارد؛ چون افراد غالب بیش تر در معرض مرگ قبل از تولید مثل قرار دارند. به مثال زیر در مورد ثابت ماندن الل های جمعیت طبق اصل هاردی - واینبرگ، توجه کنید:

مرحله ی اول: در یک جمعیت ۱۰۰ تایی مگس سرکه، در آزمایشگاه، دو نوع مگس سرکه وجود دارد: نوع عادی که بدن خاکستری دارد و نوع جهش یافته که بدن آن سیاه رنگ است. الل رنگ سیاه بدن (g) مغلوب است. فراوانی ژنوتیپ های این جمعیت چنین است:

$$GG + Gg + gg$$

$$\text{فرد } 100 = 64 + 32 + 4$$

چون مگس سرکه جانداری دیپلوئید است، پس هر فرد دو الل مربوط به رنگ بدن دارد. بنابراین تعداد الل های این جمعیت ۱۰۰ نفری که مربوط به رنگ پوست هستند، ۲۰۰ است:

$$\left. \begin{aligned} G &= 128 + 32 + 0 = 160 \\ g &= 0 + 32 + 8 = 40 \end{aligned} \right\} \text{ الل } 200$$

فراوانی نسبی هر یک از الل های G و g در این جمعیت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$G = \left( \frac{160}{200} \right) \times 100 = 80\%$$

$$g = \left( \frac{40}{200} \right) \times 100 = 20\%$$

چون معمولاً فراوانی نسبی الل ها را با اعداد اعشاری نشان می دهند می توان نسبت های فوق را به این صورت نشان داد: فراوانی نسبی G و g در این جمعیت به ترتیب ۸/۰ و ۲/۰ است.

مرحله ی دوم: فراوانی گامت هایی که توسط این جمعیت تولید می شود، به صورت زیر است:

$$AG + 0/2g \text{ اسپرم}$$

$$0/8G + 0/2g \text{ تخمک}$$

اگر برای محاسبه ی نتایج آمیزش بین گامت های افراد این جمعیت از مربع پانت استفاده کنیم، حاصل چنین است:

اسیرم  
تخمک

	G	g
G	GG 0/8 × 0/8 = 0/64	Gg 0/8 × 0/2 = 0/16
g	Gg 0/8 × 0/2 = 0/16	gg 0/2 × 0/2 = 0/04

$$GG = 0/64 < 0/32G$$

$$Gg = 0/16 + 0/16 = 0/32 < 0/16G$$

$$gg = 0/04 < 0/2g$$


---


$$0/8G + 0/2g$$

بنابراین فراوانی الل های G و g در جمعیت نسل اول مساوی با فراوانی این الل ها در جمعیت مادر است.

همان گونه که ملاحظه می شود، مطابق اصل هاردی - واینبرگ چون این جمعیت تحت هیچ نیروی انتخاب کننده و متحول سازنده ای قرار نداشته، فراوانی الل ها در دو نسل تغییری نکرده است.

فرمول هاردی - واینبرگ: اگر در مثال فوق فراوانی الل غالب G را p و فراوانی الل مغلوب g را q بنامیم، با توجه به این فراوانی کل این الل ها 1 است، پس  $p + q = 1$ ؛ یعنی آمیزش بین گامت ها به این صورت درمی آید:

اسیرم تخمک	G	g
	p	q
G	GG	Gg
p	pG	pq
g	Gg	gg
q	qG	qg

$$p^2 = GG \quad \text{فراوانی افراد خالص غالب نسل بعد}$$

$$2pq = Gg \quad \text{فراوانی افراد ناخالص}$$

$$q^2 = gg \quad \text{فراوانی افراد خالص مغلوب}$$

فرمول هاردی - واینبرگ را می توان به این صورت توضیح داد: اگر فراوانی الل غالبی را در جمعیتی p و فراوانی الل مغلوب آن را q نام گذاری کنیم، هر یک از افراد آن جمعیت ممکن است  $GG$ ،  $Gg$ ،  $(p \times p = P^2)$ ، یا  $(p \times q)Gg$  یا  $(q \times q)gg$  باشند. بنابراین می توان این رابطه را برای جمعیت نوشت:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

## چگونه مسایل مربوط به تعادل هاردی - واینبرگ را حل کنیم.

در بسیاری از جمعیت‌ها دو الل هر ژن با توجه به نسبت الل مغلوب خالص ( $q^2$ ) محاسبه می‌شود؛ چون ژنوتیپ این نوع فنوتیپ را می‌توان با اطمینان تشخیص داد، اگر فقط بدانیم کدام فنوتیپ غالب است، می‌توانیم  $q^2$  را به دست آوریم (یک منهای فراوانی فنوتیپ غالب). برای حل مسایل مربوط به اصل هاردی - واینبرگ مراحل زیر توصیه می‌شود:

● به یاد داشته باشید که در همه‌ی محاسبات باید نسبت را در نظر گرفت، نه درصد را.  
۱- نخست توجه کنید چه اطلاعاتی راجع به جمعیت موردنظر در اختیار شما قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد، درصد فراوانی فنوتیپ مغلوب خالص  $q^2$  یا غالب  $p^2 + 2pq$  در اختیار ما قرار می‌گیرد.

۲- سپس مقدار  $p$  یا  $q$  را به دست آورید. در این صورت با استفاده از معادله‌ی مربوطه و محاسبه‌ای ساده، سایر مقادیر را به دست آورید.

۳- از  $q^2$  جذر بگیرید تا  $q$  به دست آید.

۴- مقدار  $q$  را از عدد ۱ کم کنید تا  $p$  به دست آید (یعنی  $p = 1 - q$ ).

۵-  $p^2$  را با ضرب کردن آن در خودش به دست آورید.

۶-  $2pq$  را به دست آورید.

۷- کنترل کنید که  $p^2 + 2pq + q^2$  مساوی با یک باشد.

مثال ۱: در یکی از جمعیت‌های انسانی ۷۰٪ از افراد می‌توانند مزه‌ی ماده‌ی شیمیایی فنیل تیوکاربامید (PTC) را تشخیص دهند (فنوتیپ غالب). فراوانی هر یک از موارد زیر را به دست آورید:

الف - فنوتیپ مغلوب خالص ( $q^2$ )

ب - الل مغلوب ( $q$ )

پ - افراد خالص غالب ( $p^2$ )

ت - افراد ناخالص

پاسخ: فراوانی فنوتیپ غالب (۷۰٪) و مغلوب (۳۰٪ = ۱ - ۷۰٪) در صورت مسأله داده شده

است.

فنوتیپ مغلوب: ۳۰٪ = (در محاسبات بنویسید ۰/۳۰)

بنابراین  $q = 0/5477$  (جذر ۰.۳٪)

چون  $q - 1 = p$ ، پس  $p = 1 - 0/5477 = 0/4523$

$$p^2 = (0/4523)^2 = 0/2047$$

$$2pq = 0/4953$$

مثال ۲: ژن A دو الل دارد (A و a). اگر فراوانی افراد AA برابر ۰/۳۶ باشد، براساس اصل هاردی - واینبرگ نسبت‌های مورد انتظار از سه نوع ژنوتیپ حاصل از این الل‌ها در جمعیت چقدر است؟

پاسخ:  $p^2 = 0/36$ ، پس  $p = 0/6$

چون  $q = 1 - p$  پس  $q = 1 - 0/6 = 0/4$

فراوانی افراد ناخالص (Aa):  $2pq = 2(0/6)(0/4) = 0/48$  و فراوانی افراد مغلوب (aa):

$$q^2 = 0/16$$

عوامل مؤثر در برقرار ماندن تعادل هاردی - واینبرگ

برای برقرار ماندن تعادل هاردی - واینبرگ در جمعیتی، باید در آن جمعیت:

۱- جهش ژنی رخ ندهد، یا این که تعداد جهش‌های رفت که الل A را به  $a \leftarrow A$  تبدیل می‌کنند، با تعداد جهش‌های برگشت  $A \leftarrow a$  برابر باشند.

۲- مهاجرت صورت نگیرد.

۳- جفت‌گیری‌ها به ژنوتیپ و فنوتیپ افراد وابسته نباشند.

۴- جمعیت به قدری بزرگ باشد که بر اثر نوسانات تصادفی، فراوانی الل‌ها تغییر نکند.

۵- انتخاب طبیعی رخ ندهد؛ یعنی، احتمال بقا و تولیدمثل برای همه‌ی افراد آن یکسان باشد.

چون در جمعیت‌های طبیعی، هیچ‌گاه همه‌ی این شرایط فراهم نیست؛ بنابراین، معمولاً خزانه‌ی

ژنی، به عبارت دیگر فراوانی الل‌های جمعیت از نسلی به نسل دیگر تغییر می‌کند. انباشته شدن این

تغییرات کوچک در گذر زمان ممکن است سبب تغییر چشمگیر خزانه‌ی ژنی شود و سیمای گونه را

تغییر دهد.

فکر می‌کنید در جمعیت کلاس شما چند نفر ناقل بیماری تالاسمی هستند؟

۱- به یاد بیاورید که ژن مربوط به بیماری تالاسمی یک ژن مغلوب اتوزومی است. افراد

مبتلا به تالاسمی مینور که از نظر این ژن ناخالص (Cc) هستند، در واقع ناقل این بیماری

محسوب می‌شوند. فراوانی افراد خالص که مبتلا به تالاسمی ماژور هستند، در جمعیت کشورمان حدود ۲۰,۰۰۰ نفر است. اگر جمعیت کشورمان را ۶۰ میلیون نفر در نظر بگیریم،  $q^2$ ، یعنی فراوانی افراد خالص، برابر  $0/000333$  و  $q$  برابر  $\sqrt{0/000333}$  یا  $0/0182$  به دست می‌آید.

۲- اگر بخواهیم فراوانی الل غالب  $C$ ، یعنی  $p$  را در جمعیت کشورمان محاسبه کنیم، به صورت زیر عمل می‌کنیم: چون  $p+q=1$  است، پس  $p=1-q$ ، بنابراین  $p=1-0/0182$  یا  $p=0/9818$ .

۳- برای تعیین فراوانی افراد ناخالص ناقل محاسبات زیر را انجام می‌دهیم:

$$2pq = 2 \times 0/9818 \times 0/0182 = 0/0357375$$

به عبارت دیگر به طور متوسط در هر ۱۰۰۰ نفر از جمعیت کشورمان ۳۶ نفر ناقل وجود دارد.

### عوامل تغییر دهنده‌ی ساختار ژنی جمعیت‌ها

هرگاه در جمعیتی شرایط لازم برای تعادل هاردی-واینبرگ برقرار باشد، آن جمعیت در حال دگرگونی و تغییر نیست. پس، عواملی را که سبب به هم خوردن تعادل می‌شوند، می‌توان نیروهای تغییر دهنده‌ی گونه‌ها نامید. این عوامل عبارت‌اند از:

۱- جهش: همانندسازی ماده‌ی ژنتیک هیچ‌گاه کاملاً بدون نقص نیست. عوامل جهش‌زای بسیاری نیز در محیط وجود دارد که سبب تغییر در ماده‌ی ژنتیک می‌شوند. بنابراین جهش همواره رخ می‌دهد و هیچ روشی برای متوقف کردن آن شناخته نشده است. تعادل جهش یعنی شرایطی که در آن تعداد جهش‌های  $a \leftarrow A$  با تعداد جهش‌های  $A \leftarrow a$  برابر باشد، نیز بسیار به ندرت پیش می‌آید. بنابراین جهش‌های دائمی همواره، اما به آهستگی، فراوانی الل‌ها را تغییر می‌دهند. مثلاً، اگر فراوانی جهش‌های  $a \leftarrow A$  بیش‌تر از جهش‌های  $A \leftarrow a$  باشد، فراوانی الل  $a$  به تدریج در جمعیت افزایش می‌یابد.

با آن‌که جهش همیشه اتفاق می‌افتد، اما معمولاً آن را به‌عنوان عامل اصلی تغییر فراوانی الل‌ها در جمعیت در نظر نمی‌گیرند چون آهنگ جهش برای بیش‌تر ژن‌ها بسیار اندک است. اگر جهش به‌تنهایی عمل کند و سایر نیروهای تغییر دهنده فعال نباشند، مدتی بسیار طولانی لازم است تا تغییر قابل توجهی در فراوانی الل‌ها رخ دهد. مهم‌ترین نقش جهش، ایجاد تنوع در جمعیت است (شکل ۱-۵).

جهش، اگر چه ماده‌ی خام تغییر گونه‌هاست، ولی جهت آن را تعیین نمی‌کند.





شکل ۱-۵- گوناگونی در جمعیت گیاه لاله‌عباسی

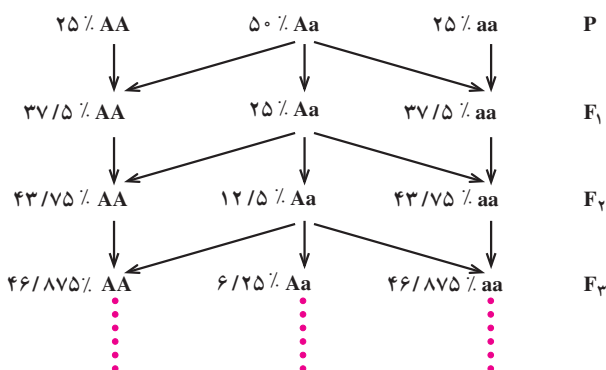
۲- شارش ژن: هنگامی که افرادی از یک جمعیت به جمعیتی دیگر مهاجرت می‌کنند، در واقع تعدادی از الل‌های جمعیت مبدأ را با خود به جمعیت مقصد وارد می‌کنند. به این پدیده، شارش ژن<sup>۱</sup> می‌گویند. شارش ژن می‌تواند باعث افزایش تنوع درون جمعیت پذیرنده (مقصد) شود. از سوی دیگر اگر روند مهاجرت در دو جهت ادامه یابد، با گذشت زمان خزانه‌ی ژنی دو جمعیت شبیه به هم می‌شود. به این ترتیب، می‌توان گفت که شارش ژن در جهت کاهش تفاوت بین جمعیت‌ها عمل می‌کند.

۳- آمیزش غیر تصادفی: منظور از آمیزش تصادفی این است که احتمال آمیزش هر فرد با هریک از افراد جنس دیگر در جمعیت برابر باشد و ارتباطی با ژنوتیپ یا فنوتیپ او نداشته باشد. در جمعیت‌های طبیعی، عموماً وضع بدین گونه نیست. حالت‌های مختلفی از آمیزش‌های غیر تصادفی در طبیعت دیده می‌شود. در این نوع آمیزش‌ها فراوانی الل‌ها تغییر نمی‌کند.

درون آمیزی: گاه آمیزش میان خویشاوندان نزدیک محتمل‌تر از آمیزش با سایر افراد است. به این حالت درون آمیزی می‌گویند. به‌عنوان مثال، اگر دانه‌های یک گیاه به خوبی در محیط پراکنده نشوند، زاده‌های آن گیاه در فواصل نزدیک به هم می‌رویند و احتمال گرده‌افشانی بین آن‌ها بیش‌تر

۱- gene flow

می‌شود. درون‌آمیزی فراوانی نسبی ال‌ها را تغییر نمی‌دهد؛ ولی سبب افزایش فراوانی افراد خالص و کاهش افراد ناخالص می‌شود. شدیدترین حالت درون‌آمیزی خودلقاحی است که در آن گامت‌های نر هر فرد، گامت‌های ماده‌ی خود او را بارور می‌کنند. اگر افراد جمعیتی که در آن سه نوع ژنوتیپ AA، Aa و aa وجود داشته باشد، شروع به خودلقاحی کنند، در هر نسل فراوانی افراد ناخالص در آن جمعیت نصف می‌شود؛ زیرا از هر آمیزش  $Aa \times Aa$ ، فقط نیمی از زاده‌ها Aa هستند و نیم دیگر AA یا aa می‌شوند. در عوض، ژنوتیپ همه‌ی زاده‌های حاصل از خودلقاحی هر فرد خالص، عیناً مانند خود او خواهد بود.



**آمیزش همسان پسندانه<sup>۱</sup>:** به حالتی گفته می‌شود که احتمال آمیزش بین افرادی که فنوتیپ یکسان دارند، بیش‌تر است. به‌عنوان مثال، ممکن است انسان‌های قدبلند تمایل بیش‌تری به ازدواج با هم داشته باشند. آمیزش همسان پسندانه در این مثال جمعیت را به دو زیرگروه فنوتیپی مثلاً گروه بلند قد و گروه کوتاه قد تقسیم می‌کند که تبادل ژن بین آن‌ها کم‌تر صورت می‌گیرد. در این حالت، ژن‌هایی که صفت مورد نظر (در این مثال قد انسان) را کنترل می‌کنند، عموماً در هر گروه به صورت خالص درمی‌آیند و فراوانی افرادی که برای این ژن‌ها ناخالص هستند، کاهش می‌یابد.

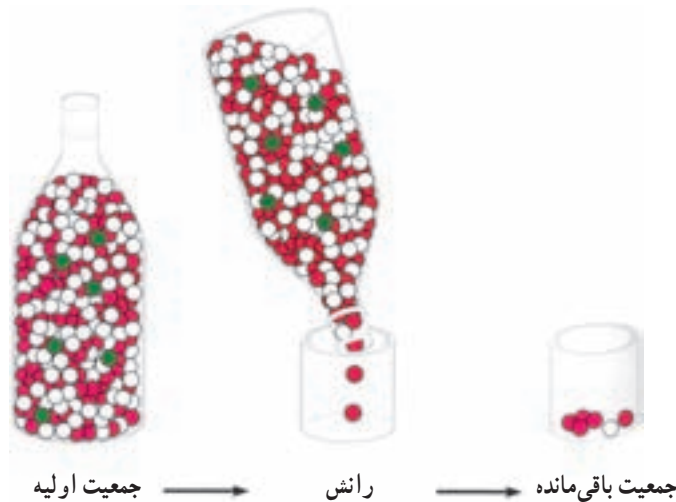
آمیزش همسان پسندانه، محدود به جانوران نیست. بسیاری از گروه‌های گیاهی بالقوه می‌توانند با هم آمیزش کنند، اما در طبیعت این کار را انجام نمی‌دهند؛ چون زمان گلدهی آن‌ها با هم متفاوت است. **آمیزش ناهمسان پسندانه:** گاه مشاهده می‌شود که افراد همانند با هم آمیزش نمی‌کنند. این نوع آمیزش غیر تصادفی آمیزش ناهمسان پسندانه نام دارد و منجر به افزایش فراوانی افراد ناخالص

<sup>۱</sup> assortative mating

می‌شود. نمونه‌ای از آمیزش‌های ناهمسان پسندانه که در گیاه شبدر یافت می‌شود، توسط یک ژن چند اللی، به نام ژن خودناسازگاری تنظیم می‌شود. هنگامی که دانه‌ی گرده‌ای روی کلاله‌ی مادگی این گل می‌نشیند، الل‌های این ژن تعیین می‌کنند که لوله‌ی گرده تشکیل خواهد شد یا نه. می‌دانید که سلول‌های کلاله‌ی مادگی دیپلوئید و دانه‌های گرده هاپلوئید هستند. اگر اللی که دانه‌ی گرده دارد، شبیه یکی از دو اللی باشد که در سلول‌های کلاله وجود دارد، لوله‌ی گرده نمی‌تواند در آن مادگی رشد کند. دانه‌های گرده‌ای که اللی متفاوت نسبت به دو الل موجود در گیاه‌پذیرنده‌ی گرده را در خود دارند، می‌توانند لوله‌ی گرده تشکیل و لقاح انجام دهند.

۴- رانش ژن: گاه فراوانی الل‌ها در خزانه‌ی ژنی جمعیت‌های کوچک به علت رخدادهایی تغییر می‌کند و حتی ممکن است بعضی از الل‌ها حذف شوند. به این پدیده رانش ژن می‌گویند. فراوانی الل‌ها در همه‌ی جمعیت‌های واقعی تغییر می‌کند، اما این تغییرات در جمعیت‌های کوچک شدیدتر است. در واقع در جمعیت‌های کوچک احتمال بیش‌تری وجود دارد که برخی از افراد دارای ژنوتیپ‌های کمیاب مثلاً به این دلیل که پیش از رسیدن به سن تولیدمثل می‌میرند، اصلاً در آمیزش شرکت نکنند.

رانش ژن در جمعیت‌های مختلف نتایج یکسانی به بار نمی‌آورد (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- الگویی از رانش ژن. به علت کاهش ناگهانی اندازه‌ی جمعیت یکی از الل‌ها (سبز) حذف شده و فراوانی نسبی دو الل دیگر (سفید و قرمز) نسبت به جمعیت مادر تفاوت بسیار پیدا کرده است.

گاهی تعداد زیادی از افراد یک جمعیت به علت حوادثی نظیر سیل، زلزله، آتش‌سوزی، افزایش ناگهانی جمعیت شکارچی و غیره، می‌میرند. در این صورت ممکن است فراوانی الل‌ها در گروه کوچکی که از بحران جان سالم به‌در برده‌اند، نسبت به جمعیت اولیه بسیار متفاوت باشد. این افراد باقی‌مانده با هم تولیدمثل می‌کنند و جمعیت جدیدی به وجود می‌آورند. فراوانی الل‌ها در جمعیت جدید، مشابه فراوانی آن‌ها در گروه کوچکی است که از جمعیت اصلی باقی‌مانده بود. مشابه همین اتفاق، زمانی رخ می‌دهد که تعداد کمی از افراد جمعیت به محیطی جدید، مثلاً یک جزیره، مهاجرت می‌کنند و در آن‌جا جمعیت تازه‌ای را بنیان می‌نهند. به چنین وضعیتی اثر بنیان‌گذار گفته می‌شود.

## فعالیت



### رانش ژن را مدل‌سازی کنید.

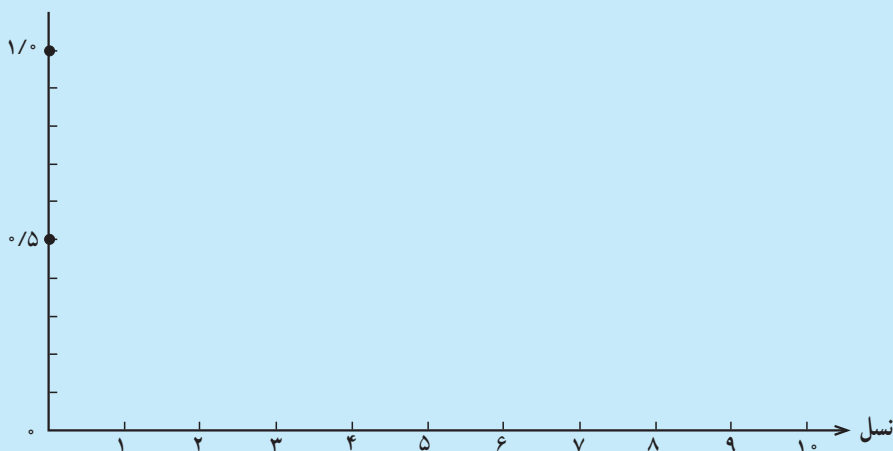
در این فعالیت شما تغییر تصادفی فراوانی الل‌های یک جمعیت ۵ نفری را در نسل‌های پیاپی بررسی خواهید کرد.

- ۱- روی ۱۰ کارت هم‌رنگ حرف A و روی ۱۰ کارت هم‌رنگ دیگر حرف a را بنویسید.
- ۲- ۵ کارت A و ۵ کارت a را درون جعبه‌ای قرار دهید. این مجموعه مدلی است از خزانه‌ی ژنی جمعیت ۵ نفری شما که در نسل اول در آن فراوانی دو الل A و a برابر است.
- ۳- جعبه را چندین بار تکان دهید تا کارت‌ها کاملاً در هم شوند. بدون این که کارت‌ها را ببینید، به صورت تصادفی یک کارت از جعبه خارج کنید. یادداشت کنید که کارت خارج شده از نوع A بوده یا a. کارت را به جعبه باز گردانید.
- ۴- مرحله‌ی ۳ را ۹ بار دیگر تکرار کنید تا ۱۰ اللی که نماینده‌ی نسل بعد هستند، انتخاب شوند.

۵- برای تشکیل خزانه‌ی ژنی نسل جدید، کارت‌های قبلی را از جعبه خارج کنید؛ به تعداد دفعاتی که در مرحله‌ی ۳ کارت A خارج کرده‌اید، در جعبه کارت A و بقیه را کارت a بگذارید تا ۱۰ الل نسل جدید در جعبه قرار گیرند. فراوانی نسبی الل A را در نسل جدید در نمودار ثبت کنید.

۶- مراحل ۳، ۴، ۵ را تا ۱۰ نسل تکرار کنید.

## فراوانی A



۷- برای این که اثر رانش ژن را در جمعیت‌های مختلف مقایسه کنید، مراحل ۲ تا ۶ را چند بار دیگر تکرار کنید و هر بار نتیجه‌ی مربوطه را روی نمودار با رنگ متفاوتی رسم کنید.  
سؤال: چرا در قسمت ۳ از شما خواسته شده است که پس از مشاهده‌ی نوع کارت آن را به جعبه برگردانید و سپس کارت بعدی را انتخاب کنید؟

رانش ژن معمولاً به کاهش تنوع درون جمعیت می‌انجامد. شباهت زیادی که در جمعیت‌های چیتاهای افریقای جنوبی<sup>۱</sup> وجود دارد، به خاطر رانش ژن است (شکل ۳-۵). علت و زمان دقیق کاهش ناگهانی جمعیت این جانوران مشخص نیست. شاید قبلاً مردم برای حفاظت از گله‌های خود تعداد زیادی از آن‌ها را کشته باشند؛ همچنین، ممکن است که یک انقراض بزرگ در سال‌ها پیش سبب اصلی این کاهش بوده باشد. به علت کوچکی جمعیت باقی‌مانده‌ی این جانوران و از بین رفتن قسمت عمده‌ای از الل‌های موجود در خزانه‌ی ژنی جمعیت بزرگ اولیه، چیتاهای امروزی بسیار شبیه هم هستند. این شباهت تا حدی است که پیوند پوست بین هر دو عضوی از جمعیت چیتاها امکان‌پذیر است!

۵- انتخاب طبیعی: پنجمین شرط برقراری تعادل هاردی-واینبرگ این است که احتمال بقا و تولیدمثل برای همه‌ی افراد برابر باشد. هنگامی که صحبت از بقا یا موفقیت تولیدمثل است

<sup>۱</sup>- *Acinonyx jubatus jubatus*



شکل ۳-۵- چیتاهای افریقایی. هزاران سال پیش جمعیت این جانور، بحرانی ناشناخته را پشت سر گذاشت که موجب کاهش ۹۰ درصد از جمعیت آن شد.

ویژگی‌های بسیار گوناگونی مطرح می‌شوند. انتخاب جفت، تعداد دفعات جفت‌گیری، تولید گامت‌های سالم، تعداد سلول‌های زیگوت که پس از هر بار جفت‌گیری تشکیل می‌شوند، درصدی از سلول‌های زیگوت که دوره‌ی نمو جنینی را با موفقیت می‌گذرانند و منجر به تولد نوزاد می‌شوند، احتمال زنده ماندن زاده‌ها تا زمانی که به سن تولیدمثل می‌رسند و حتی احتمال زنده ماندن والدین پس از تولیدمثل، به ویژه در گونه‌هایی که والدین از فرزندان خود مراقبت می‌کنند؛ از جمله عواملی هستند که تعیین می‌کنند هر فرد چه مقدار در نسل بعد سهم دارد. می‌توان با قاطعیت گفت که این ویژگی‌ها مستقل از ژنوتیپ نیستند.

نظام طبیعت همواره انواع سازگارتر نسبت به محیط را انتخاب می‌کند. در این انتخاب مجموعه‌ی عواملی که ذکر کردیم، مؤثرند. برای این که بتوانیم یک توصیف کمی درباره‌ی اثر انتخاب طبیعی داشته باشیم، کمیتی را به نام شایستگی تکاملی تعریف می‌کنیم. شایستگی هر فرد نشان می‌دهد که سهم نسبی او در تشکیل خزانه‌ی ژنی نسل بعد چقدر است. معمولاً شایستگی را برای بهترین و موفق‌ترین گروه ۱ در نظر می‌گیرند و شایستگی نسبی سایر گروه‌ها را به صورت کسری از ۱ بیان می‌کنند.

برای این که اثر انتخاب طبیعی را در بالابردن فراوانی ال‌های مطلوب (از نظر محیط‌زیست)، درک کنیم، جمعیتی از مگس‌های سرکه‌ی جوان را در نظر می‌گیریم و صفت طول بال را در آن

بررسی می‌کنیم. فرض کنید که ترکیب این جمعیت به صورت زیر است (f: فراوانی):

$$100LL + 200LI + 100II$$

$$\Rightarrow f(LL) = 0/25, f(LI) = 0/5, f(II) = 0/25$$

فراوانی دو الل L و I در این جمعیت یکسان و برابر 0/5 است.

احتمالاً مگس‌های بال کوتاه در پرواز دچار مشکل می‌شوند و نمی‌توانند به آسانی از چنگ شکارچیان بگریزند. فرض کنید که به خاطر این مشکل، نصف مگس‌های بال کوتاه تا پیش از آن‌که به سن تولیدمثل برسند، می‌میرند. در این صورت، جمعیتی که خزانه‌ی ژنی نسل بعد را تشکیل می‌دهد، چنین ترکیبی خواهد داشت:

$$100LL + 200LI + 50II$$

فراوانی دو الل در گامت‌هایی که توسط این افراد تولید می‌شوند، به آسانی قابل محاسبه است:

$$f(L) = \frac{2 \times 100 + 1 \times 200}{2 \times 350} = 0/57$$

$$f(I) = 1 - f(L) = 0/43$$

اگر آمیزش‌های انجام شده بین اعضای جمعیت بالا تصادفی باشد، می‌توانیم فراوانی هریک از ژنوتیپ‌ها را در نسل بعد به کمک جدول پانت به دست بیاوریم:

اسپریم‌ها

$$0/57L \quad 0/43I$$

	0/57L	0/325 LL	0/245 LI	f(LL) = 0/325
تخمک‌ها	0/43I	0/245 LI	0/185 II	$\Rightarrow f(LI) = 0/49$ $f(II) = 0/185$

اگر جمعیت مگس‌ها در نسل بعد هم 400 عضوی باشد، تعداد افرادی که هریک از ژنوتیپ‌ها را دارند به صورت زیر خواهد بود:

$$130LL + 196LI + 74II$$

باز هم نیمی از افراد II به سن تولیدمثل نمی‌رسند و به این ترتیب، فراوانی الل I در نسل‌های پیاپی کاهش می‌یابد.

در این مثال شایستگی تکاملی را برای ژنوتیپ‌ها LL و LI، 1 و برای ژنوتیپ II، 0/5 در نظر

گرفتیم. کاهش شایستگی افراد II به خاطر کم‌تر بودن احتمال بقای آن‌هاست. در واقع احتمال این که هر فرد II بتواند نقش خود را در تشکیل خزانه‌ی ژنی نسل بعد ایفا کند، پنجاه درصد است. گاهی اوقات کاهش شایستگی به این علت است که افرادی با ژنوتیپ خاص، گامت‌های کم‌تری تولید می‌کنند و یا بعضی از گامت‌های آن‌ها غیر طبیعی هستند و توانایی شرکت در لقاح را ندارند. در مواردی نیز، نرهای که فنوتیپ خاصی دارند، در جلب نظر ماده‌ها ناکام می‌مانند و موفق به جفت‌گیری نمی‌شوند. مثلاً، چلچله‌های ماده در هنگام جفت‌گیری نرهای دم بلند را ترجیح می‌دهند. شانس نرهای دم کوتاه برای یافتن جفت کم‌تر است. نکته‌ی مهمی که باید همواره به آن توجه داشت این است که انتخاب طبیعی بر فنوتیپ مؤثر است. در جمعیت مگس‌های سرکه افراد ناخالص هم الل خوب (L) و هم الل بد (l) را دارند؛ ولی، چون فنوتیپ مطلوب (بال بلند) را دارند، انتخاب طبیعی تفاوتی بین آن‌ها و افراد LL قائل نمی‌شود. الل‌های نامطلوب اگر مغلوب باشند، می‌توانند خود را در قالب افراد ناخالص پنهان کنند و از اثر انتخاب طبیعی در امان بمانند انتخاب طبیعی تنها زمانی می‌تواند بر این الل‌ها اثر بگذارد که در یک فرد به صورت خالص درآیند و فنوتیپ نامطلوب را ظاهر کنند. الل‌های نامطلوب مغلوب آهسته‌تر از الل‌های نامطلوب غالب از جمعیت حذف می‌شوند.

## خودآزمایی

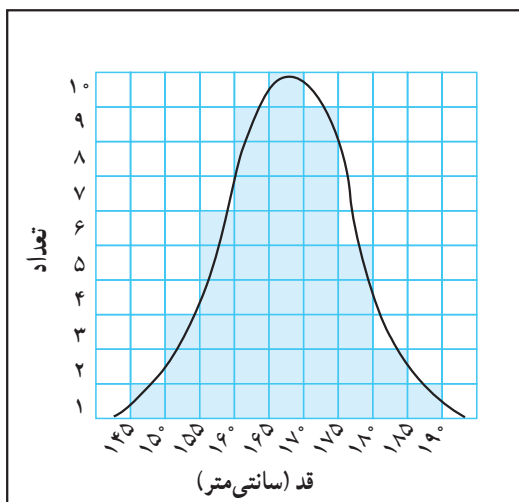


- ۱- اصطلاحات زیر را تعریف کنید:
- الف) خزانه‌ی ژنی (ب) شایستگی تکاملی
- ۲- اصل هاردی - واینبرگ را توضیح دهید.
- ۳- پنج عامل بر هم‌زننده‌ی تعادل هاردی - واینبرگ را نام ببرید.
- ۴- چرا با آن که جهش معمولاً همیشه در جمعیت‌ها رخ می‌دهد، آن‌را به‌عنوان عامل اصلی تغییردهنده‌ی جمعیت در نظر نمی‌گیرید؟
- ۵- تأثیر انتخاب همسر را در جمعیت‌های انسانی، بر تعادل هاردی - واینبرگ مورد بحث قرار دهید.
- ۶- چرا می‌گویند رانش ژن در جمعیت‌های کوچک اثر بیش‌تر دارد؟
- ۷- در مورد این عبارت توضیح دهید: شارش ژن سبب افزایش تنوع درون جمعیت‌ها و کاهش تفاوت‌ها بین جمعیت‌ها می‌شود.



## ۲ چگونه بر اثر انتخاب طبیعی جمعیت‌ها دگرگون می‌شوند؟

در نمونه‌هایی که تاکنون بررسی کردیم، هر صفت دو حالت بیش‌تر نداشت: بدن مگس‌های سرکه یا خاکستری است یا سیاه. بسیاری از صفاتی که در دنیای واقعی با آن‌ها روبه‌رو می‌شویم، این‌گونه نیستند. به‌عنوان مثال، قد انسان‌ها گسترده‌ای از مقادیر را دارد (شکل ۴-۵). همان‌گونه که می‌بینید اغلب انسان‌ها قدی متوسط دارند و تعداد افراد بسیار قدبلند یا بسیار قدکوتاه نسبتاً کم است. بنابراین اگر نمودار توزیع فراوانی را برای این صفت رسم کنیم، منحنی شکلی زنگوله‌مانند به خود می‌گیرد. این نوع توزیع را **توزیع طبیعی** (نرمال) می‌نامند. بسیاری از صفاتی که برای ما جالب توجه‌اند، توزیع طبیعی دارند، مثل وزن دانه‌های برنج، مقدار پروتئین دانه‌های سویا، غلظت قند خون انسان، رنگ پوست و حتی بهره‌ی هوشی. این‌گونه صفات را صفات پیوسته یا صفات کمی می‌گویند.

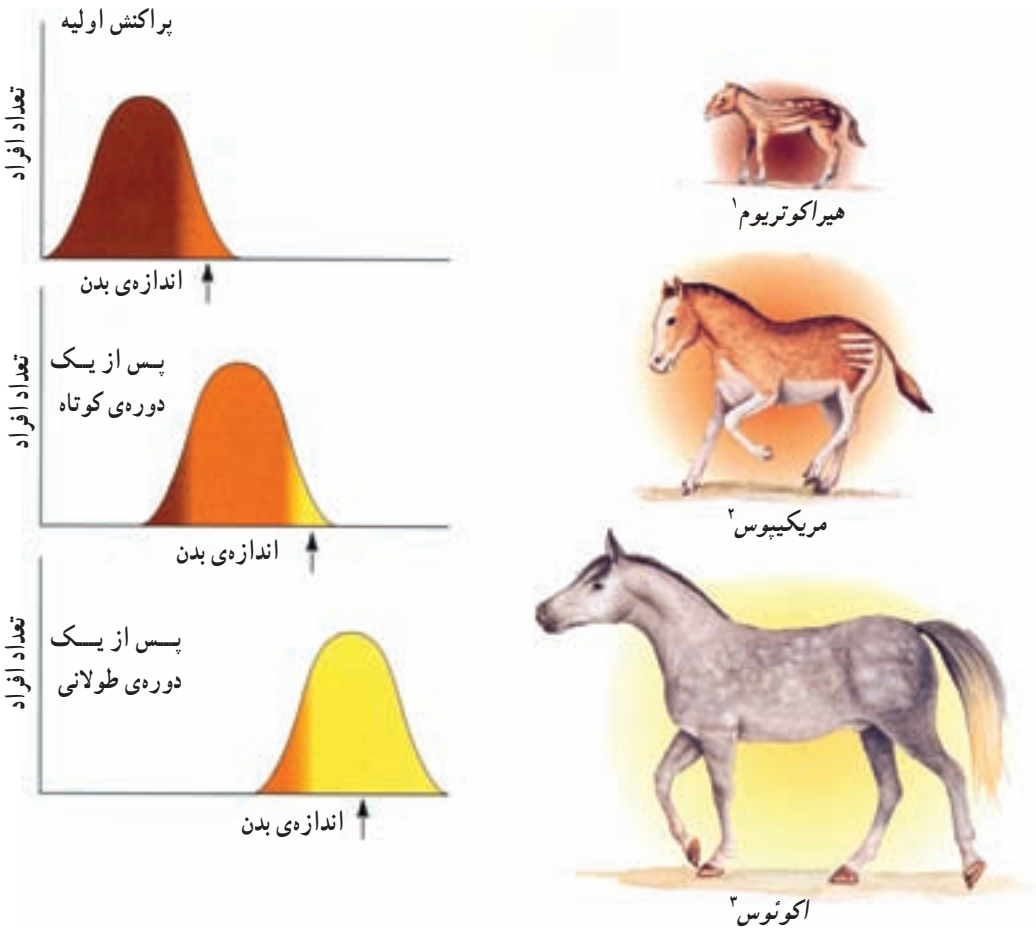


شکل ۴-۵- نمودار مربوط به گوناگونی قد در جمعیتی از بزرگسالان.

انتخاب طبیعی در مورد صفات کمی چگونه عمل می‌کند؟ اثر انتخاب طبیعی بر صفات پیوسته سه الگوی کلی را نشان می‌دهد.

## ۱- انتخاب جهت‌دار در محیط متغیر روی می‌دهد.

انتخاب جهت‌دار معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که شرایط محیط تغییر می‌کند، یا جانداران به محیط جدیدی وارد می‌شوند. در چنین وضعیتی، جاندارانی که در یکی از دو انتهای نمودار توزیع طبیعی (دور از مقدار متوسط) جای می‌گیرند و ابتدا فراوانی کمی دارند، انتخاب می‌شوند و پس از مدتی، نمودار توزیع در جهت افزایش یا کاهش مقدار صفت مورد نظر جابه‌جا می‌شود. افزایش تدریجی اندازه‌ی بدن اسب در جریان تغییر گونه‌ها، نمونه‌ای از انتخاب جهت‌دار است (شکل ۵-۵). به نظر می‌رسد که این افزایش پاسخی به تغییر در محیط زندگی اسب یعنی تبدیل جنگل به علفزار باشد.



شکل ۵-۵- انتخاب جهت‌دار. بر اثر انتخاب طبیعی یک فنوتیپ آستانه‌ای (پیکان‌ها) ترجیح داده و باعث تغییر نمودار پراکنش شده است.

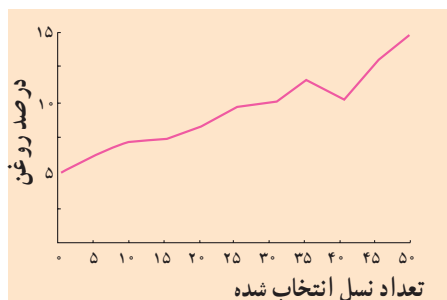
۱- *Hyracotherium*

۲- *Merychippus*

۳- *Equus*

انسان انتخاب جهت‌دار را به‌طور گسترده مورد استفاده قرار داده است. نگاه‌داری از گاو‌هایی که بیش‌تر شیر می‌دهند یا در مدت کوتاه‌تری پروارتر می‌شوند، مرغ‌هایی که بیش‌تر تخم می‌گذارند، اسب‌هایی که سریع‌تر می‌دوند و گیاهانی که محصول بیش‌تری می‌دهند، همه نمونه‌هایی از انتخاب جهت‌دار است. در یک آزمایش روی ذرت‌ها، در هر نسل گیاهانی که بیش‌ترین روغن را در دانه‌های خود ذخیره می‌کردند، انتخاب و برای به‌وجود آوردن نسل بعد آمیزش داده شدند. این کار تا ۵۰ نسل ادامه یافت. در نتیجه، متوسط مقدار روغن در دانه‌های ذرت از ۵ درصد در جمعیت اولیه به ۱۵ درصد در نسل پنجاهم رسید (شکل ۵-۶). هیچ‌یک از گیاهان اولیه، ۱۵ درصد روغن در دانه‌های خود نداشتند!

تغییر در صفات گیاهان یا جانوران را که به انتخاب انسان صورت می‌گیرد، انتخاب مصنوعی می‌نامند.



شکل ۵-۶- تغییرات جمعیت ذرت در پاسخ به انتخاب جهت‌دار به منظور انتخاب ذرت‌های دارای روغن بیش‌تر.

بیش‌تر بدانید



انتخاب مصنوعی تدبیری است که انسان می‌اندیشد تا با استفاده از قوانین طبیعت به محصولات بهتری دست یابد. انتخاب مصنوعی نوعی تقلید و الگوگیری از نظام آفرینش است. این نظام طوری طراحی شده است که دائماً به‌سوی بهتر شدن هدایت می‌شود. تدبیرهای نظام آفرینش بسیار پیچیده‌تر، دقیق‌تر و هدفمندتر از تدبیر انسان در انتخاب مصنوعی است.

## ۲- انتخاب پایدارکننده در محیط پایدار روی می‌دهد.

گاه بر اثر انتخاب طبیعی وضع موجود حفظ می‌شود؛ یعنی، افرادی که در میانه‌ی طیف قرار دارند، باقی می‌مانند و فنوتیپ‌های آستانه کاهش می‌یابند. این نوع انتخاب که انتخاب پایدارکننده نامیده می‌شود، معمولاً زمانی رخ می‌دهد که جاندار برای مدت زیادی در یک محیط نسبتاً پایدار زندگی و سازگاری‌های لازم را برای زیستن در این محیط پیدا کرده باشد. در این حالت، بروز

تغییرات قابل توجه در هر صفتی، می تواند توازن و هماهنگی اندام ها و دستگاه های گوناگون بدن را - که در مدتی طولانی حاصل شده است - برهم بزند. به همین علت تا هنگامی که تغییر شرایط محیط سازگاری های جدیدی را طلب نکند وضعیت موجود حفظ می شود.

مثال خوبی از انتخاب پایدارکننده، خرچنگ نعل اسبی<sup>۱</sup> است. شواهد فسیلی نشان می دهد که این جاندار در مدت ۲۲۵ میلیون سال بدون تغییر مانده است.



شکل ۷-۵- خرچنگ نعل اسبی (در حدود ۳۰ سانتی متر قطر دارد).

به چنین موجوداتی که بازمانده‌ی جانداران میلیون ها سال پیش هستند و شباهت فراوانی به آن ها دارند فسیل زنده می گویند. خرچنگ های نعل اسبی در ساحل دریاها زندگی می کنند. به نظر می رسد با وجود تغییر آب و هوای زمین، شرایط زیستگاه این جانوران برای آن ها تا حدود زیادی قابل تحمل بوده و بنابراین، نیازی به سازگاری های جدید نبوده است (شکل ۷-۵).

پراکنش اولیه



تعداد افراد

پس از یک دوره‌ی زمانی کوتاه



تعداد افراد

پس از یک دوره‌ی زمانی طولانی



تعداد افراد

در انسان، انتخاب پایدارکننده سبب شده است که وزن اغلب نوزادان هنگام تولد نزدیک به مقدار متوسط (۳/۲ کیلوگرم) باشد. گستره‌ی وزن نوزادان تازه به دنیا آمده، از حدود ۹۰۰ گرم تا حدود ۵ کیلوگرم گزارش شده است؛ ولی، میزان مرگ و میر برای نوزادانی که در دو آستانه‌ی این طیف هستند، بالاست و افرادی که فنوتیپ حد وسط دارند، احتمال بقای بیش تری دارند (شکل ۸-۵).

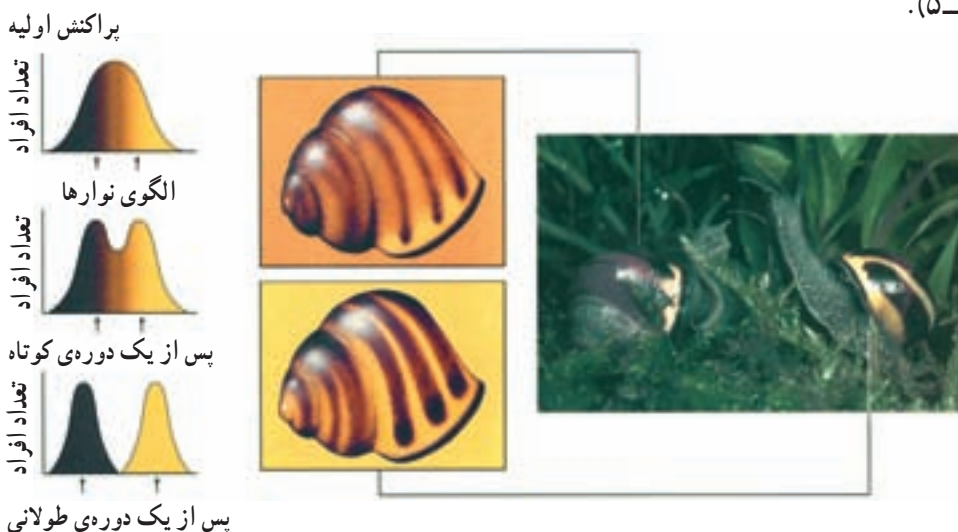


شکل ۸-۵- انتخاب پایدارکننده. بر اثر انتخاب طبیعی فنوتیپ متوسط (محل بیکان) بر حالت های آستانه‌ای ترجیح داده می شود. امروزه اکثر نوزادان انسان وزن متوسط (در حدود ۳/۲ کیلوگرم) دارند.

<sup>۱</sup> - *Limulus sp.*

### ۳- انتخاب گسلنده در محیط‌های ناهمگن روی می‌دهد.

انتخاب گسلنده هنگامی روی می‌دهد که فنوتیپ‌های آستانه‌ای بر فنوتیپ‌های حد واسط ترجیح داده شوند. معمولاً ناهمگنی شرایط محیط باعث این نوع انتخاب می‌شود. نمونه‌ی چنین انتخابی حلزون‌هایی<sup>۱</sup> هستند که در زیستگاه‌های مختلفی، از قبیل جنگل‌ها و علفزارها زندگی می‌کنند. حلزون‌هایی که در علفزارها زندگی می‌کنند، نوارهای کاملاً روشن دارند و به این ترتیب از دید دشمنان مخفی می‌مانند. برعکس حلزون‌های جنگلی باید برای استتار نوارهای تیره داشته باشند. فنوتیپ‌های میانه، در هیچ یک از دو زیستگاه استتار خوبی ندارند و بنابراین کاهش می‌یابند (شکل ۹-۵).



شکل ۹-۵- انتخاب گسلنده. با انتخاب طبیعی دو فنوتیپ افراطی (محل پیکان‌ها) ترجیح داده شده‌اند. حلزون‌های امروزی که متعلق به این گونه هستند، دو فنوتیپ متفاوت ویژه‌ی زندگی در دو زیستگاه متفاوت را نشان می‌دهند.

بررسی روی جمعیتی از سهره‌های کامرون نشان داده است که در آن‌جا دو نوع سهره‌ی کاملاً متمایز از نظر اندازه‌ی منقار وجود دارد. گروهی از اعضای گونه، منقار بزرگ و گروهی منقار کوچک دارند. افراد کوچک منقار از دانه‌های نرم تغذیه می‌کنند و بزرگ منقارها دانه‌های سخت را می‌شکنند. منقار هر یک از این دو گروه برای استفاده از غذایی که می‌خورند، بهینه شده است. افرادی که اندازه‌ی منقار متوسط دارند، نمی‌توانند از هیچ‌کدام از دانه‌های نرم یا سخت، به خوبی استفاده کنند (شکل ۱۰-۵).

۱- *Cepaea nemoralis*



شکل ۱۰-۵- در جمعیت سهره‌های کامرون دو نوع منقار یافت می‌شود. اعضای این دو گروه در تعادل و توازن قرار دارند.

در انتخاب گسلنده، عملاً جمعیت گونه به دو گروه تقسیم می‌شود که البته این دو گروه توانایی آمیزش با هم را دارند. از آمیزش افراد این دو گروه، احتمالاً برخی از زاده‌ها فنوتیپ حد واسط را دارند و لذا در رقابت حذف می‌شوند. اگر بعضی از افراد به خاطر یک تغییر ژنتیکی، صرفاً با افراد هم‌گروه خود آمیزش کنند، همه‌ی زاده‌های آن‌ها همان فنوتیپ آستانه‌ای را خواهند داشت و لذا برای بقا انتخاب می‌شوند. در طی نسل‌های پیاپی، این ویژگی، یعنی آمیزش با افراد همسان در میان اعضای جمعیت متداول می‌شود. به این ترتیب، با گذشت زمان، ممکن است خزانه‌ی ژنی دو گروه کاملاً از هم جدا شود و زمینه برای اشتقاق گونه‌ها فراهم شود.

## خودآزمایی ?

- ۱- نقش انسان را در انتخاب جهت‌دار جمعیت‌ها توضیح دهید.
- ۲- انتخاب پایدارکننده در چه محیط‌هایی روی می‌دهد و چرا؟
- ۳- یک مثال از انتخاب گسلنده بیان کنید.

## ۳ استمرار گوناگونی در جمعیت‌ها

افراد جمعیت‌ها معمولاً متنوع هستند. وجود تنوع برای بقای گونه مفید است؛ زیرا تنوع توان سازگار شدن با محیط‌های جدید را به جمعیت می‌دهد. اللی که در زمان و مکان خاصی از نظر محیط نامطلوب است، با تغییر شرایط ممکن است بتواند موجب سازگاری شود، مثل رنگ سیاه در پروانه‌های شب‌پرواز فلفلی. گونه‌هایی که نتوانند خود را با محیط تطبیق دهند، منقرض می‌شوند. به یاد دارید که بر اثر انتخاب طبیعی الل‌های ناسازگار کاهش می‌یابند و فراوانی الل‌های سازگار به صد درصد نزدیک می‌شود. پس چگونه تنوع در جمعیت‌ها استمرار می‌یابد؟

نخست، باید به یاد داشته باشیم که نیروهای پدیدآورنده‌ی تنوع همواره فعال‌اند: جهش، سبب پیدایش الل‌های جدید می‌شود؛ شارش ژنی از جمعیت‌های دیگر نیز اتفاق می‌افتد. همان‌گونه که دیدیم، بر اثر انتخاب طبیعی در مواردی (انتخاب گسلنده) گوناگونی افزایش می‌یابد. علاوه بر این‌ها، عوامل دیگری نیز باعث می‌شوند که تنوع در جمعیت‌ها حفظ شود.

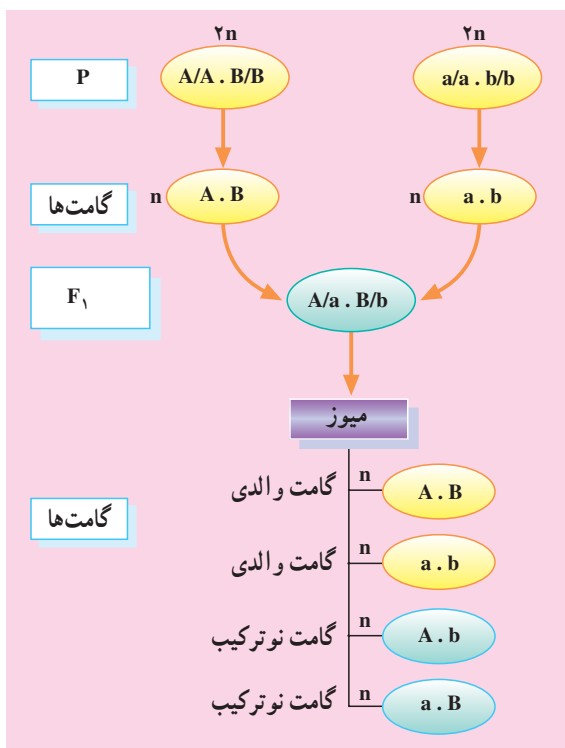
### نو ترکیبی

با تولید مثل جنسی ترکیب‌های جدیدی از الل‌های موجود در کنار هم قرار می‌گیرند؛ منظور از نو ترکیبی ژن‌ها کنار هم قرار گرفتن ترکیبی از الل‌های ژن‌های مختلف است که پیش‌تر سابقه نداشته است. به عنوان مثال، فرض کنید که دو فرد با ژنوتیپ‌های AABB و aabb با هم آمیزش می‌کنند. لقاح بین گامت‌های AB و ab انجام می‌شود و افراد نسل اول همه AaBb هستند. هنگامی که این افراد به سن تولیدمثل می‌رسند، چهار نوع گامت تولید می‌کنند که دو نوع آن‌ها (Ab و aB) جدید هستند. گامت‌هایی را که نظیر آن‌ها در گامت‌های والدین وجود داشته است، گامت‌های والدی و انواع جدید را گامت‌های نو ترکیب می‌گویند.

اگر این گامت‌ها به صورت تصادفی در لقاح شرکت کنند، در نسل دوم ژنوتیپ‌های زیر را

خواهیم داشت:

AABB, AaBB, aaBB, AABb, AaBb, aaBb, AAbb, Aabb, aabb



شکل ۱۱-۵- ردیابی نوترکیبی در جانداران دیپلوئید

از این ۹ نوع ژنوتیپ در  $F_2$ ، ۶ مورد در نسل‌های P و  $F_1$  وجود نداشته‌اند. همان‌گونه که می‌بینید (شکل ۱۱-۵)، نوترکیبی می‌تواند بدون نیاز به پیدایش الل‌های جدید بر تنوع ژنتیکی بیفزاید. اگر افراد نسل P نخودفرنگی‌های گل ارغوانی دانه زرد و گل سفید دانه سبز بوده باشند، در نسل دوم برخی از بوته‌ها گل سفید دانه زرد و بعضی دیگر گل ارغوانی دانه سبز هستند که نمونه‌ی آن‌ها پیش‌تر وجود نداشته است.

**کراسینگ اور:** آیا اگر دو ژن روی یک کروموزوم قرار داشته باشند، باز هم انتظار نوترکیبی داریم؟ برخلاف آنچه ممکن است انتظار داشته باشید، پاسخ مثبت است. بررسی‌ها نشان داده است که در هنگام جفت‌شدن کروموزوم‌ها در میوز I، گاه قطعاتی بین کروموزوم‌های هم‌تا مبادله می‌شود. اگر این قطعات حامل الل‌های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از الل‌ها به وجود می‌آید. این پدیده را کراسینگ اور<sup>۱</sup> می‌نامند.



نو ترکیبی حاصل تبادل قطعات بین کروماتیدهای غیرخواهری است.

	کروموزوم های میوزی	سلول های حاصل از میوز	
میوز بدون کراسینگ اور بین ژن ها			والدی والدی والدی والدی
میوز به همراه کراسینگ اور بین ژن ها			والدی نو ترکیب نو ترکیب والدی

شکل ۱۲-۵

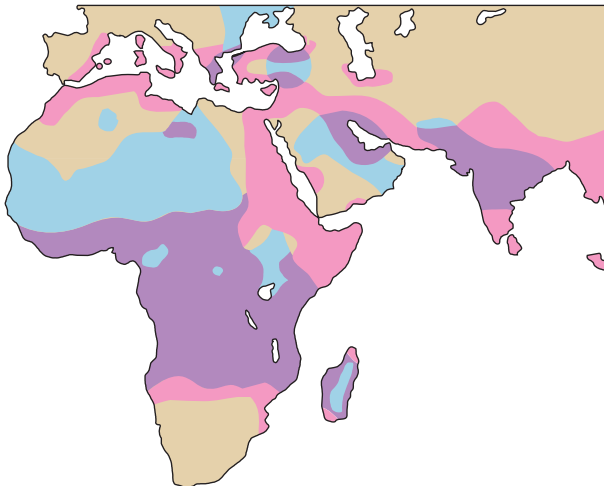
هنگامی که گامت های نو ترکیب در لقاح شرکت می کنند، ژنوتیپ های جدیدی به وجود می آورند. تنوعی که در پی نو ترکیبی پدید می آید، می تواند ماده ی خام انتخاب طبیعی باشد. انتخاب مصنوعی ذرت ها برای تولید روغن بیش تر را به یاد آورید (شکل ۵-۶). در این آزمایش مقدار متوسط روغن طی پنجاه نسل به تدریج افزایش یافت و به حدی رسید که در هیچ یک از گیاهان اولیه وجود نداشت. می توان با محاسبات ساده ای نشان داد که پیدایش این گیاهان پر روغن به علت کنار هم قرار گرفتن ترکیب های جدید اللی بوده است نه جهش. در این تجربه، ۲۰۰ تا ۳۰۰ گیاه ذرت در هر نسل پرورش داده می شد؛ بنابراین کلاً بین ۱۰ تا ۱۵ هزار گیاه مورد آزمایش قرار گرفتند. جهش پذیرترین ژن های ذرت، یک در هر ۵۰ هزار گیاه جهش پیدا می کنند. پس، وقوع حتی یک جهش هم در طی آزمایش چندان محتمل نیست. به علاوه بسیار بعید است که یک جهش ژنی تولید روغن را سه برابر کند. به نظر می رسد که پیدایش ترکیب های جدید اللی و انتخاب آن ها عامل اصلی افزایش تولید روغن بوده باشد.

### برتری افراد ناخالص

اگر شایستگی افراد ناخالص از شایستگی افراد هر دو نوع خالص (غالب و مغلوب) بیش تر باشد، هیچ کدام از دو الل از جمعیت حذف نمی شود. چون اگر هر یک از این دو الل حذف شوند،

دیگر فرد ناخالصی وجود نخواهد داشت! نمونه‌ی این گونه انتخاب در مورد الل کم خونی داسی شکل ( $Hb^S$ ) در مناطقی از آفریقا دیده می‌شود. افرادی که برای این الل مغلوب خالص ( $Hb^S Hb^S$ ) هستند، از مشکلات عدیده‌ای از جمله کم خونی شدید رنج می‌برند و معمولاً پیش از رسیدن به سن تولید مثل می‌میرند. بنابراین شایستگی آن‌ها صفر است. افراد ناخالص ( $Hb^A Hb^S$ ) عموماً مشکل حادی ندارند؛ فقط هنگامی که اکسیژن محیط کم باشد، گلبول‌های قرمز آن‌ها داسی شکل می‌شوند که البته خطر بسته شدن برخی مویرگ‌ها در این مواقع وجود دارد. با توجه به این که فشار اکسیژن در هوای اطراف ما بی دلیل کاهش پیدا نمی‌کند، افراد ناخالص برای زندگی روزمره‌ی خود مشکلی ندارند. بنابراین شایستگی افراد ناخالص و افراد خالص غالب ( $Hb^A Hb^A$ )، برابر ۱ است. به طور طبیعی انتظار می‌رود که فراوانی الل کم خونی داسی شکل در جمعیت بسیار اندک باشد. زیرا افراد خالص مغلوب هیچ شانس برای تولید مثل ندارند و فقط الل‌های  $Hb^S$  که در افراد ناخالص نهفته مانده‌اند، می‌توانند به نسل بعد منتقل شوند. در اغلب جوامع فراوانی الل  $Hb^S$  از ۰/۰۰۰۱ تجاوز نمی‌کند.

متخصصان ژنتیک که به بررسی شیوع کم خونی داسی شکل می‌پرداختند، دریافتند که در برخی مناطق آفریقا فراوانی الل  $Hb^S$  به طور غیرطبیعی بالاست (۰/۱۵ تا ۰/۴). این نکته نیز مشخص شد که عمده‌ی فراوانی الل  $Hb^S$  مربوط به مناطقی است که در آن‌ها مالاریا زیاد است (شکل ۱۳-۵).



شکل ۱۳-۵ همبستگی پراکنش بیماری کم خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل و بیماری مالاریا. مناطق صورتی رنگ مناطق شیوع بیماری مالاریا، مناطق آبی رنگ نشان دهنده‌ی مناطق شیوع بیماری کم خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل و مناطق ارغوانی رنگ مناطق ارتباطی این دو را نشان می‌دهد.

بیماری مالاریا را نوعی انگل تک سلولی<sup>۱</sup> ایجاد می کند. این انگل درون گلبول های قرمز افراد سالم ( $Hb^A Hb^A$ ) زندگی می کند و نمی تواند درون گلبول قرمز فرد ناخالص ( $Hb^S Hb^A$ ) زنده بماند. به این ترتیب افراد ناخالص در برابر مالاریا مقاومت زیادی از خود نشان می دهند و در مناطقی که شیوع مالاریا بالاست، شایستگی بیش تری نسبت به افراد سالم دارند. جدول ۱-۵ داده هایی را که از برخی نواحی آفریقا به دست آمده اند، با اطلاعات مربوط به سایر جوامع مقایسه می کند.

جدول ۱-۵. یک ال به ظاهر نامطلوب مانند  $Hb^S$  ممکن است در شرایط محیطی ویژه، سازگار کننده باشد.

	شایستگی		
	$Hb^A Hb^A$	$Hb^A Hb^S$	$Hb^S Hb^S$
مناطق مالاریا خیز	۰/۸	۱	۰
سایر مناطق	۱	۱	۰

فراوانی ال کم خونی داسی شکل را در هر منطقه، میزان و شیوع مالاریا، یعنی این که چقدر احتمال دارد هر فرد در طول زندگی خود با مالاریا روبه رو شود تعیین می کند. اگر به عنوان مثال در منطقه ای فراوانی ال  $Hb^S$ ، ۱۷٪ باشد، تنها حدود ۳ درصد افراد جمعیت بیماری کم خونی داسی شکل را خواهند داشت و در عوض نزدیک به ۳۰ درصد افراد، ناخالص و نسبت به مالاریا مقاوم خواهند بود.

بیش تر بدانید 

### بیماری کم خونی ناشی از گلبول های قرمز داسی شکل

نوع ژن: مغلوب اتوزومی که حاصل یک جهش در یک نوکلئوتید در ژن HBB است.  
ژن HBB رمزهای زنجیره ی بتای هموگلوبین را در خود دارد. این ژن روی کروموزوم شماره ی ۱۱ انسان قرار دارد.

<sup>۱</sup> - *Plasmodium falciparum*

علائم: درد که ممکن است از حالت خفیف تا بسیار شدید در سینه، مفاصل، پشت یا شکم ظاهر شود؛ تورم دست‌ها و پاها، یرقان؛ عفونت‌های مکرر، به ویژه ذات‌الریه و مننژیت؛ نارسایی کلیه، سنگ کیسه‌ی صفرا (زود هنگام)؛ سکنه‌ی مغزی (زود هنگام) و کم‌خونی.

درمان: به بیمار فولیک اسید می‌دهند و در صورت حاد شدن بیماری اکسیژن درمانی، تزریق مایعات و داروهای آنتی‌بیوتیک به درون رگ، پیوند مغز استخوان و ژن درمانی از روش‌های علمی درمان این بیماری هستند.



یک گلبول قرمز داسی شکل در کنار گلبول‌های قرمز عادی

## انتخاب و وابسته به فراوانی

در جانوران برای شکار نشدن استراتژی‌های گوناگونی طراحی شده است. بعضی از پروانه‌ها برای این که پرندگان آن‌ها را شکار نکنند، طرح و رنگی شبیه به پروانه‌های سمی پیدا کرده‌اند. اگر پرنده‌ای یک بار پروانه‌ای از یک گونه‌ی سمی را بخورد، از آن پس از خوردن هر پروانه‌ای که ظاهری شبیه به آن داشته باشد، اجتناب خواهد کرد (شکل ۱۴-۵).



ب

الف

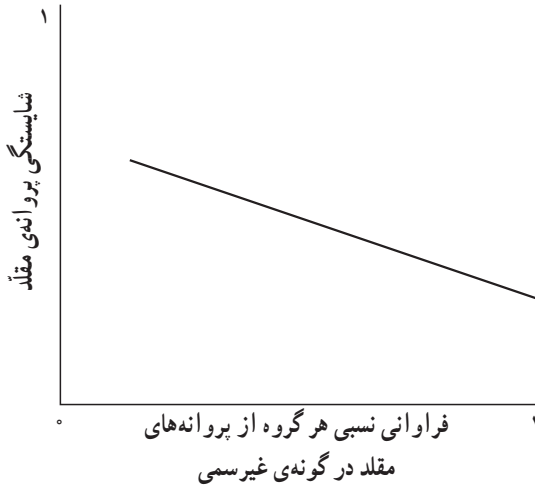
شکل ۱۴-۵ - پرنده‌ی شکل الف هرگز به پروانه‌ی سمی برخورد نکرده است، در حال خوردن یکی از آن‌هاست. در شکل ب پرنده لحظاتی پس از خوردن پروانه‌ی سمی، در حال استفراغ است. این پرنده در آینده سعی خواهد کرد چنین تجربه‌ای را تکرار نکند.

پس، اگر شکل و رنگ بال پروانه‌های غیرسمی همانند گونه‌ی سمی باشد، مورد توجه پرندگان قرار نمی‌گیرند و لذا تعداد آن‌ها در جمعیت زیاد می‌شود. به عبارت دیگر شایستگی پروانه‌های غیرسمی مقلد بیش‌تر خواهد شد.

ممکن است فکر کنیم که با انتخاب طبیعی سرانجام همه‌ی افراد مقلد جمعیت گونه‌ی غیرسمی برای بقا انتخاب خواهند شد و پروانه‌هایی که از گونه‌های سمی تقلید نمی‌کنند، از بین خواهند رفت، ولی این‌طور نیست! شایستگی پروانه‌های مقلد هنگامی بالاست که تعداد آن‌ها کم باشد با افزایش فراوانی پروانه‌های مقلد احتمال این‌که پرنده گول بخورد و از شکار آن‌ها صرف‌نظر کند، کم‌تر می‌شود (شکل ۱۴-۵). در واقع، ممکن است پروانه‌ای که اولین بار با آن طرح و رنگ ویژه توسط پرنده شکار شده است، یکی از پروانه‌های مقلد باشد که غیرسمی است! بنابراین، پرنده برای شکار بیش‌تر آن‌ها تشویق خواهد شد. سرانجام فراوانی پروانه‌های مقلد و غیرمقلد در جمعیت گونه‌های غیرسمی به تعادلی پایدار می‌رسند، یعنی هرگروه درصدی از جمعیت را به خود اختصاص خواهد داد هیچ‌یک از دو گروه نمی‌تواند دیگری را به‌طور کامل حذف کند و لذا تنوع در جمعیت این پروانه‌ها دائمی خواهد بود.

انتخاب وابسته به فراوانی هنگامی رخ می‌دهد که در آن شایستگی یک فنوتیپ به فراوانی آن در جمعیت بستگی دارد. در مثال تقلید پروانه‌ها، شایستگی پروانه‌های مقلد زمانی که فراوانی آن‌ها در جمعیت کم است، بالاست ولی با افزایش تعداد پروانه‌های مقلد، شایستگی کاهش می‌یابد.

نوعی از انتخاب طبیعی که سبب حفظ تنوع در جمعیت‌ها می‌شود، انتخاب متوازن کننده نامیده می‌شود. برتری افراد ناخالص و انتخاب وابسته به فراوانی انواعی از انتخاب متوازن کننده هستند.



شکل ۱۵-۵- شایستگی پروانه‌های مقلد بستگی به فراوانی آن‌ها دارد.

## خودآزمایی



- ۱- چه عواملی باعث حفظ تنوع در جمعیت‌ها می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۲- یک مثال درباره‌ی برتری افراد ناخالص در جمعیت‌ها بیان کنید.
- ۳- اثر فراوانی در جمعیت پروانه‌های مقلد را توضیح دهید.
- ۴- انتخاب متوازن کننده چیست؟

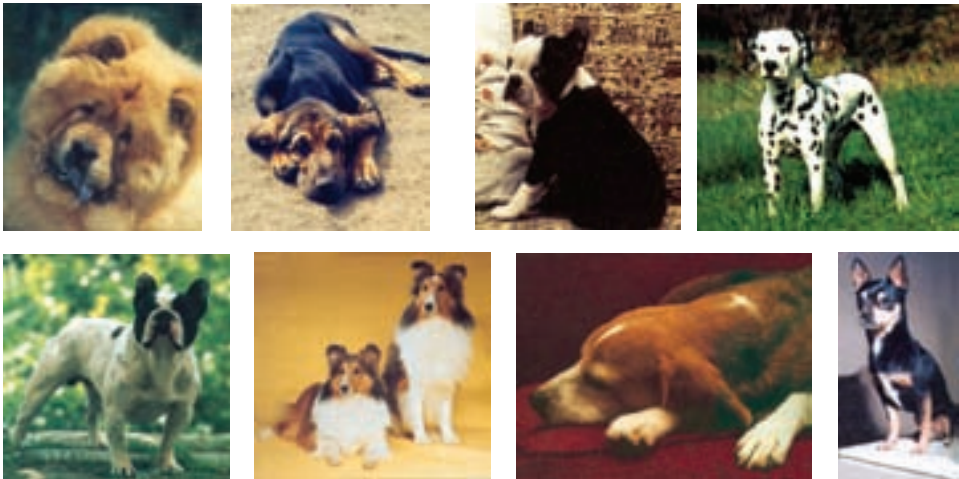
## ۴ گونه‌زایی

کارل لینه و سایر زیست‌شناسان قدیمی، گونه را به عنوان گروهی از جانداران که شباهت‌های زیادی به هم دارند و از جانداران دیگر متمایزند، تعریف کردند. به عبارت دیگر، مبنای اولیه‌ی تعریف گونه، شباهت ظاهری (فنوتیپی) گروهی از جانداران به یک‌دیگر بود. با گسترش دانش زیست‌شناسی به حوزه‌ی مولکولی، میزان شباهت در توالی نوکلئوتیدهای ژنوم و یا توالی آمینو اسیدی پروتئین‌ها نیز در مشخص کردن گونه‌ها دخالت داده شد؛ اما هنوز این تعریف یک اشکال اساسی دارد. دو جاندار باید چه قدر به هم شبیه باشند تا در یک گونه قرار گیرند؟

نمی‌توان پاسخ دقیقی به این پرسش داد و رده‌بندی بر مبنای صفات فنوتیپی تا حدود زیادی سلیقه‌ای است (شکل ۱۶-۵). پیدایش علم ژنتیک جمعیت و به ویژه مطرح شدن موضوع خزانه‌ی



الف



ب

شکل ۱۶-۵ چکاوک‌های شکل الف بسیار به هم شبیه هستند، اما به گونه‌های مختلف تعلق دارند. سگ‌های شکل ب برعکس تفاوت‌های ظاهری بسیاری با یک‌دیگر دارند، اما همه به گونه‌ی سگ اهلی تعلق دارند.

ژنی باعث شد که زیست‌شناسان نگاه دیگری به مفهوم گونه داشته باشند. در سال ۱۹۴۲، ارنست مایر مفهوم گونه‌ی زنده را به صورت زیر پیشنهاد کرد:

«گونه در زیست‌شناسی به مجموعه‌ی جاندارانی گفته می‌شود که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های زیست‌نا و زایا به وجود آورند، ولی نمی‌توانند با گونه‌های دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند.»

منظور از واژه‌ی «می‌توانند» در تعریف بالا این است که ممکن است دو جاندار به دلیل زندگی در مناطق مختلف هرگز با هم آمیزش نکنند، ولی توانایی این عمل را داشته باشند. برای نمونه، خروسی که در ایران زندگی می‌کند، با مرغی که در فرانسه زندگی می‌کند آمیزش نمی‌کند؛ ولی از دیدگاه زیست‌شناسان آمیزش بین آن‌ها امکان‌پذیر است. اگر یک جهانگرد مرغ فرانسوی را به ایران بیاورد، از آمیزش این مرغ و خروس، جوجه‌های سالم به وجود خواهند آمد که خود پس از بالغ شدن توانایی تولید مثل خواهند داشت. از تعریف گونه‌ی زنده برمی‌آید که خزانه‌ی ژنی گونه‌های مختلف از هم جداست و تبادل ژن هرگز نمی‌تواند بین آن‌ها رخ دهد. چه چیزی باعث می‌شود که خزانه‌ی ژنی گونه‌های مختلف از هم جدا بماند؟

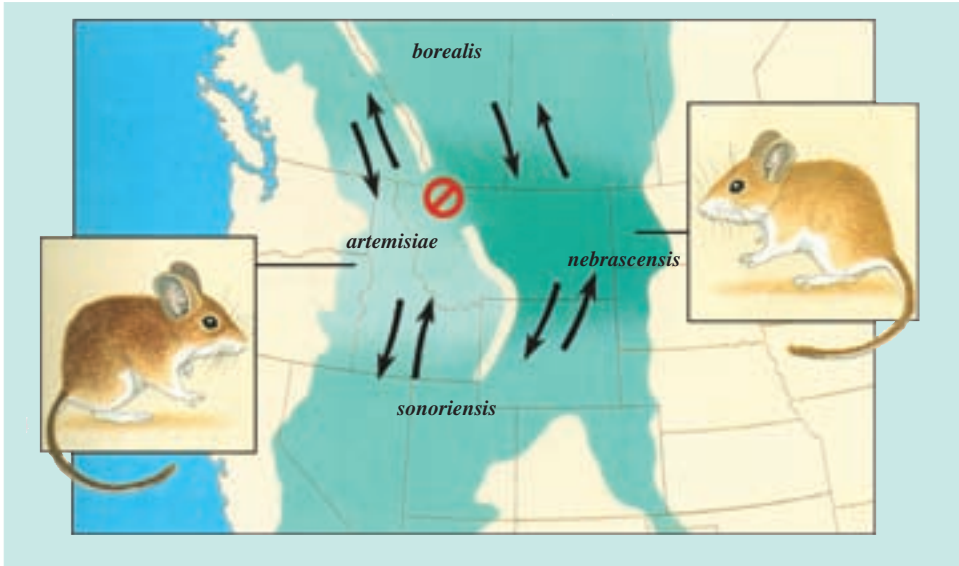
### بیش‌تر بدانید



چهار زیرگونه از موش گوزنی (*Peromyscus maniculatus*) در حوالی کوه‌های راکی در آمریکای شمالی زندگی می‌کنند (زیرگونه، یک واحد رده‌بندی پایین‌تر از سطح گونه است و به جمعیتی از جانداران اشاره می‌کند که عضو یک گونه هستند و با جمعیت‌های دیگر همان گونه تفاوت‌های جزئی دارند). زیستگاه این چهار زیرگونه در برخی مناطق همپوشانی دارد و لذا این گونه‌ها می‌توانند با هم آمیزش کنند؛ بنابراین، براساس تعریف ارنست مایر عضو یک گونه هستند. تنها استثنایی که وجود دارد، این است که دو زیرگونه‌ی *P.m. artemisiae* و *P.m. nebrascensis* نمی‌توانند با هم آمیزش کنند. البته، خزانه‌ی ژنی این دو جمعیت کاملاً از هم جدا نیست، زیرا هر یک از آن‌ها می‌تواند با دو زیرگونه‌ی دیگر آمیزش کنند و از راه خزانه‌ی ژنی آن‌ها به صورت غیرمستقیم با هم مرتبط شوند. اگر دو زیرگونه‌ی دیگر که در واقع راهروهای شارش ژنی هستند، منقرض شوند، می‌توانیم دو جمعیت فوق‌الذکر را دو گونه‌ی جداگانه بنامیم.

۱- زیستا (viable) به جاندارگی گفته می‌شود که یک زندگی طبیعی دارد. در برابر آن، نازیستا (inviable) به موجودی اشاره می‌کند که به علت نقص در ساختار یا کارکرد بخش‌هایی از بیکرش، به‌طور قابل توجهی کم‌تر از سایر افراد هم‌گونه‌اش عمر می‌کند و زود می‌میرد.





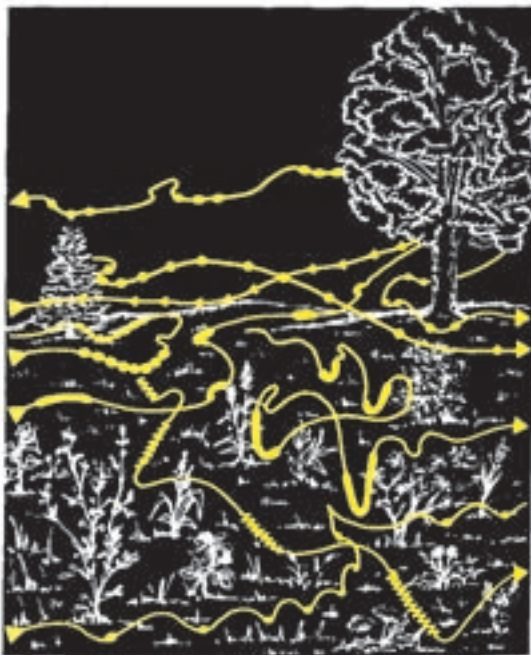
### چگونه خزانه‌های ژنی از هم جدا می‌مانند؟

عواملی را که در جدانگه‌داشتن خزانه‌ی ژنی گونه‌های مختلف مؤثرند، به دو گروه کلی تقسیم می‌کنند: برخی از آن‌ها اجازه نمی‌دهند که سلول زیگوت از لقاح سلول‌های جنسی دو گونه‌ی متفاوت به وجود آید (سدهای پیش زیگوتی) و بعضی دیگر مانع از نمو سلول زیگوت و تشکیل زاده‌ی دو رگه و یا موجب نازایی آن می‌شوند (سدهای پس زیگوتی). به مجموعه‌ی این عوامل، سازوکارهای جداکننده می‌گویند.

**جدایی بوم‌شناختی (زیستگاهی):** این نوع جدایی در مورد گونه‌هایی مطرح است که در یک منطقه، ولی در زیستگاه‌های متفاوت زندگی می‌کنند. مثلاً، دو گونه‌ی مار غیرسمی، که هر دو به یک سرده متعلق هستند، در منطقه‌ی مشابهی در امریکای شمالی زندگی می‌کنند؛ یکی از آن‌ها عموماً آبی است و دیگری در خشکی زندگی می‌کند. جدایی زیستگاهی در مورد انگل‌ها هم مطرح است که معمولاً برای میزبان ویژه‌ای اختصاصی می‌شوند. دو گونه‌ای که با میزبان‌های مختلف زندگی می‌کنند، هرگز شانس جفت‌گیری با یک‌دیگر را نخواهند داشت.

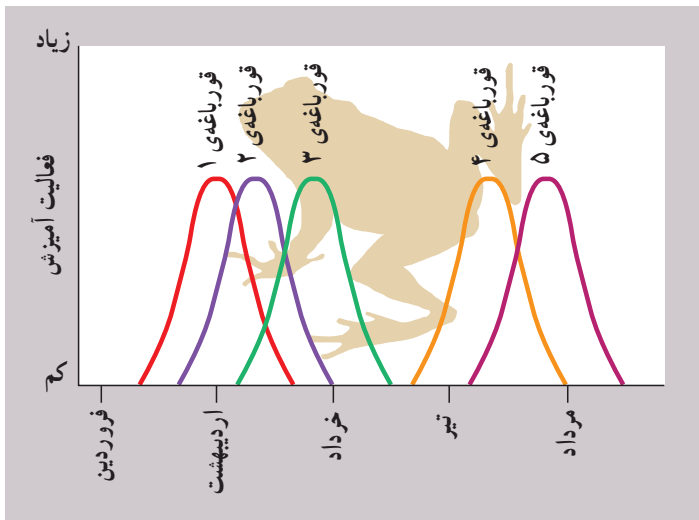
**جدایی رفتاری:** نشانه‌هایی که اعضای هرگونه برای جلب توجه جفت از خود بروز می‌دهند، ویژه‌ی همان گونه است. این عامل — که جدایی رفتاری خوانده می‌شود — از مهم‌ترین عوامل جدایی گونه‌های جانوری است و به ویژه در مورد گونه‌هایی مهم است که ظاهری شبیه به هم دارند. حشره‌های شب‌تاب نر متعلق به هرگونه، الگوی ویژه‌ای برای تاباندن نور و جلب توجه ماده‌های همان‌گونه دارند.

هر ماده فقط به رفتار تقاضای جفت‌گیری نر هم گونه‌ی خود پاسخ می‌دهد (شکل ۱۷-۵).



شکل ۱۷-۵- الگوی تابش نور، نوعی جدایی رفتاری تولید می‌کند. حشره‌ی شب‌تاب ماده فقط با حشره‌ی شب‌تاب نری آمیزش می‌کند که الگوی تابش نور آن ویژه‌ی همان گونه باشد. در این شکل الگوی تابش گونه‌های مختلف حشره‌ی شب‌تاب را مشاهده می‌کنید.

دو گونه‌ی چکاوکی که در شکل ۱۶-۵ می‌بینید، گاه در مناطق مشترکی زندگی می‌کنند؛ ولی دو گونه‌ی مجزا به شمار می‌روند. آوازهایی که پرندگان بالغ این دو گونه در فصل تولید مثل می‌خوانند، با هم متفاوت است و سبب می‌شود که هر پرندۀ جفت‌خود را از میان افراد هم‌گونه انتخاب کند. جدایی زمانی: این نوع جدایی هنگامی مطرح است که دو گونه در فصل‌های مختلفی از سال تولید مثل می‌کنند. مثلاً، دو گونه‌ی راسو از یک سرده در زیستگاه مشترکی زندگی می‌کنند، ولی با هم آمیزش نمی‌کنند؛ زیرا، یکی از آن‌ها در پایان تابستان جفت‌گیری می‌کند، اما فصل تولید مثل دیگری اواخر زمستان است. شکل ۱۸-۵ نموداری مربوط به چند گونه قورباغه را نشان می‌دهد که در زمان‌های مختلفی از سال برای آمیزش آماده می‌شوند و به این علت، جفت‌گیری بیش‌تر بین افراد هم‌گونه اتفاق می‌افتد.



شکل ۱۸-۵- جدایی زمانی. زمان فعال شدن پنج گونه قورباغه از یک سرده.

**جدایی مکانیکی:** تلاش برای جفت گیری بین افراد متعلق به گونه هایی که تفاوت های ساختاری زیادی با هم دارند، موفقیت آمیز نیست. مثلاً حشرات گرده افشان معمولاً نمی توانند گرده ها را بین گونه های مختلف انتقال دهند؛ زیرا، ساختار بدن آنها فقط برای ورود به گل های گونه ای خاص متناسب است و یا این که رنگ و مواد شیمیایی ترشح شده از گل های دیگر برای آنها جذاب نیست. این نوع جدایی را جدایی مکانیکی می نامند. نمونه ای دیگر از جدایی مکانیکی، جدایی گونه ای وزغ بزرگ با وزغ کوچک درخت بلوط است. دلیل این جدایی، تفاوت جنسی این دو گونه است (شکل ۱۹-۵).



شکل ۱۹-۵- جدایی مکانیکی. جنسی متفاوت این دو وزغ آمیزش بین آنها را ناممکن می کند.

**جدایی گامتی:** نوع دیگری از جدایی، جدایی گامتی خوانده می‌شود. منظور از جدایی گامتی این است که حتی اگر گامت‌های گونه‌های مختلف نزدیک به هم قرار گیرند، به ندرت ممکن است سلول تخم (زیگوت) را تشکیل دهند. در مورد گونه‌هایی که لقاح داخلی دارند، معمولاً اسپرم‌های یک گونه در دستگاه تناسلی ماده‌ای از گونه‌ی دیگر، زنده نمی‌مانند. بسیاری از گونه‌ها لقاح خارجی دارند و افراد نر و ماده گامت‌های خود را در آب آزاد می‌کنند. در چنین مواردی نیز اسپرم‌های هرگونه فقط تخمک‌های همان گونه را بارور می‌کنند. شناسایی گامت‌های هم‌گونه، به کمک مولکول‌های ویژه‌ای که در سطح گامت‌ها قرار دارند، انجام می‌شود. شناسایی مولکول‌های سطحی همچنین موجب می‌شود که دانه‌های گرده‌ی هر گیاه، فقط روی کلانه‌ی گل گیاهان هم‌گونه، لوله‌ی گرده تشکیل دهند.

**نازیستایی دو رگه:** لقاح گامت‌ها و تشکیل سلول تخم، به معنای قطعی شدن اختلاط ژنتیکی گونه‌ها نیست. نازیستایی دو رگه از عوامل دیگری است که به جداماندن خزانه‌های ژنی می‌انجامد. ممکن است به علت ناسازگاری در اطلاعات ژنتیکی کروموزوم‌هایی که از دو گونه‌ی مختلف آمده‌اند، جنین در مراحل اولیه‌ی نمو بمیرد. مثلاً، اگر احیاناً آمیزش بین قورباغه‌های مختلفی که در شکل ۱۸-۵ مشخص شده‌اند، انجام گیرد، مراحل نمو جنینی به درستی پیموده نمی‌شود و اگر هم زاده‌ای به وجود آید، پیش از رسیدن به سن تولید مثل خواهد مرد. از آمیزش گوسفند و بز نیز سلول تخم تشکیل می‌شود، ولی هرگز به تولد جاندار زنده نمی‌انجامد.

**نازایی دو رگه:** ممکن است جاندار دو رگه‌ای که حاصل آمیزش افراد دو گونه‌ی مختلف است، زیستا باشد. قاطر که حاصل آمیزش اسب و الاغ است، زود نمی‌میرد (شکل ۲۰-۵). این موضوع جدایی گونه‌های اسب و الاغ را به خطر نمی‌اندازد؛ زیرا، قاطر نازاست! نازایی دورگه عاملی است که اجازه نمی‌دهد تبادل ژن بین گونه‌های نزدیک، به یک روند پایدار تبدیل شود. هنگامی که دورگه نازا باشد، نمی‌تواند ماده‌ی ژنتیک خود را که مخلوطی از ژن‌های دو گونه است، به نسل بعد منتقل کند. به این ترتیب، جدایی خزانه‌های ژنی دو گونه حفظ می‌شود.



شکل ۲۰-۵- نازایی دورگه. از راست به چپ: قاطر، الاغ و اسب.

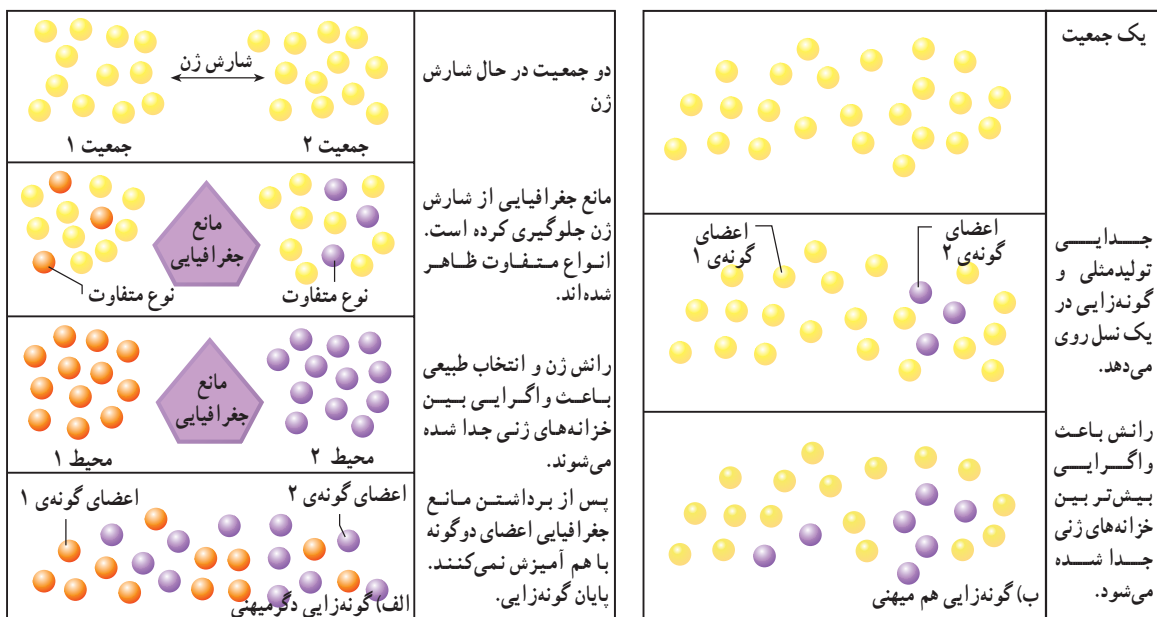
ناپایداری دودمان دو رگه: عامل دیگر جدایی تولید مثلی، ناپایداری دودمان دورگه است. در بعضی موارد، دو رگه‌های نسل اول زیستا و زایا هستند؛ ولی، هنگامی که این دورگه‌ها با هم یا با یکی از گونه‌های اولیه آمیزش می‌کنند، زاده‌های نازیستا و نازا پدید می‌آورند. مثلاً، گونه‌های مختلفی از پنبه می‌توانند با هم آمیزش کنند. اگرچه زاده‌های نسل اول آن‌ها عادی هستند؛ اما در نسل دوم مشکل بروز می‌کند و دانه‌ها پیش از جوانه‌زدن می‌میرند و یا گیاهانی ضعیف و ناقص به وجود می‌آورند.

### پیدایش گونه‌های جدید

گاه یک مانع جغرافیایی خزانه‌های ژنی جمعیت‌های مختلف یک گونه را به مدت طولانی از هم جدا می‌کند. با پیدایش یک ناحیه‌ی کوهستانی، جمعیت گونه‌هایی که فقط می‌توانند در ارتفاع‌های کم زندگی کنند، به دو زیر جمعیت تقسیم می‌شود — که هر کدام در یک سمت کوه به زندگی ادامه می‌دهند. پیشرفت یخچال‌های طبیعی ممکن است سبب چند پاره‌شدن جمعیت‌ها شود و خشکی کوچکی، مانند پاناما، محیط آبریان دو سوی خود را از هم جدا کند. همچنین، زمانی که گروهی از افراد یک جمعیت به محیط جدیدی مهاجرت می‌کنند و در آنجا مستقر می‌شوند، احتمال دارد که ارتباط خود را با جمعیت مادر به طور کامل از دست بدهند. این که سد جغرافیایی باید چقدر بزرگ باشد تا ارتباط جمعیت‌ها را قطع کند، بستگی به میزان تحرک جاندار مورد نظر دارد. ممکن است پرندگان بتوانند فواصل هزاران کیلومتری را پرواز و با جمعیت‌های دیگر از گونه‌ی خود ژن مبادله کنند، در حالی که احتمالاً یک خشکی چند صد متری برای جدا کردن دو گروه از حلزون‌ها کافی است. در مورد گیاهان نیز باید توانایی پراکنش دانه‌های گرده، هاگ‌ها و دانه‌ها را در نظر داشت.

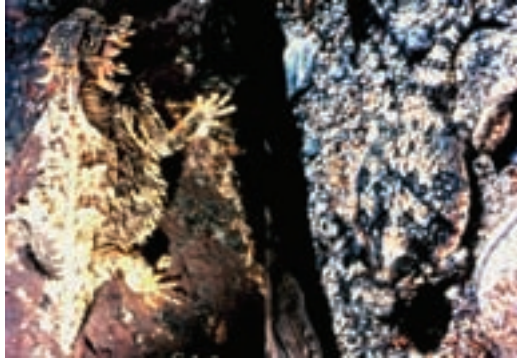
با قطع ارتباط دو جمعیت — که در ابتدا به یک گونه تعلق داشته‌اند — شارش ژن میان آن‌ها متوقف یا کُند می‌شود، در حالی که نیروهای دیگر مؤثر بر تغییر گونه‌ها مانند جهش، رانش ژن و انتخاب طبیعی فعال‌اند. در این حالت در دو جمعیت، جهش یافته‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند و چون تبادل ژن بین جمعیت‌ها صورت نمی‌گیرد، این تفاوت‌ها به تدریج زیاد می‌شود. همچنین، اگر دو جمعیت در شرایط محیطی متفاوتی قرار گیرند، اثر انتخاب طبیعی بر آن‌ها متفاوت خواهد بود، زیرا اعضای هر جمعیت سازگاری‌های ویژه‌ای برای زندگی در محیط جدید خود پیدا می‌کنند. به عنوان مثال، رنگ موش‌هایی که روی خاک‌های آتشفشانی تیره زندگی می‌کنند، به تیرگی و رنگ موش‌های ساکن نواحی ماسه‌ای به روشنی گرایش پیدا می‌کند. بالاخره، اگر گروه‌هایی که از جمعیت اصلی جدا می‌شوند، کوچک باشند، رانش ژنی در آن‌ها رخ می‌دهد. نتیجه‌ی رانش ژنی در جمعیت‌های مختلف متفاوت

است. در نبودِ شارش ژنی، با اثر جهش، انتخاب طبیعی و رانش ژنی، تفاوت میان دو جمعیت به تدریج زیاد می‌شود. ممکن است کم کم این تفاوت‌ها شامل ویژگی‌های تولید مثلی افراد نیز بشود؛ یعنی، یکی از عوامل جدایی تولید مثلی پیش زیگوتی یا پس زیگوتی تکامل پیدا کند. مثلاً، آواز جفت‌یابی دو نوع پرنده دیگر به هم شبیه نباشد یا ساختار سطحی دانه‌های گرده گروهی از گیاهان به گونه‌ای تغییر کند که نتوانند روی کلاله‌ی گل‌های گروه دیگر رویش انجام دهند. در این صورت، فرآیند جدایی کامل می‌شود و حتی اگر مانع جغرافیایی برداشته شود، دو جمعیت توان تبادل ژن با یک‌دیگر را ندارند و عملاً دو گونه‌ی مجزا هستند (شکل ۲۱-۵). به این نوع گونه‌زایی که با جدایی مکانی جمعیت‌ها شروع می‌شود، گونه‌زایی دگر میهنی<sup>۱</sup> می‌گویند.



شکل ۲۱-۵- گونه‌زایی دگر میهنی و گونه‌زایی هم میهنی. الف) گونه‌زایی دگر میهنی پس از ایجاد مانع جغرافیایی بین افراد یک جمعیت، انجام می‌شود. ب) گونه‌زایی هم میهنی هنگامی روی می‌دهد که اعضای یک جمعیت متحمل تغییرات ناگهانی و جدایی تولید مثلی می‌شوند.

دو گونه مارمولک شاخ‌دار در کالیفرنیا، امریکا زندگی می‌کنند (شکل ۲۲-۵). به نظر می‌رسد این دو گونه از یک گونه‌ی نیایی که در نواحی جنوب غربی امریکا می‌زیسته است به وجود آمده‌اند.



شکل ۲۲-۵- گونه‌زایی دگرمیهنی و پیدایش دو گونه‌ی مارمولک شاخ‌دار. اجداد این دو گونه، پس از پیش‌روی یخچال‌ها به سمت جنوب امریکا حرکت کردند و در آن‌جا از هم جدا شدند. پس از گذشت سال‌ها از این گونه‌ی نیایی، دو گونه‌ی جدید به‌وجود آمد.

حدس زده می‌شود که با پیش‌روی یک یخچال از سمت قطب شمال مارمولک‌ها به سوی جنوب حرکت کردند و هنگامی که به خلیج کالیفرنیا رسیدند، به دو گروه تقسیم شدند. اعضای دو جمعیت در مدت جدا بودن آن‌قدر متفاوت شدند که پس از عقب رفتن یخچال و بازگشت به مناطق شمالی‌تر، دیگر نتوانستند با هم آمیزش کنند. نمونه‌ی دیگر از گونه‌زایی دگرمیهنی در دو گونه سنجاب دیده می‌شود که در دو سوی یک دره زندگی می‌کنند (شکل ۲۳-۵).



شکل ۲۳-۵- این دو نوع سنجاب در دو منطقه‌ی مختلف زندگی می‌کنند، یکی از آن‌ها تیره‌تر است و دیگری رنگ روشن‌تر دارد.

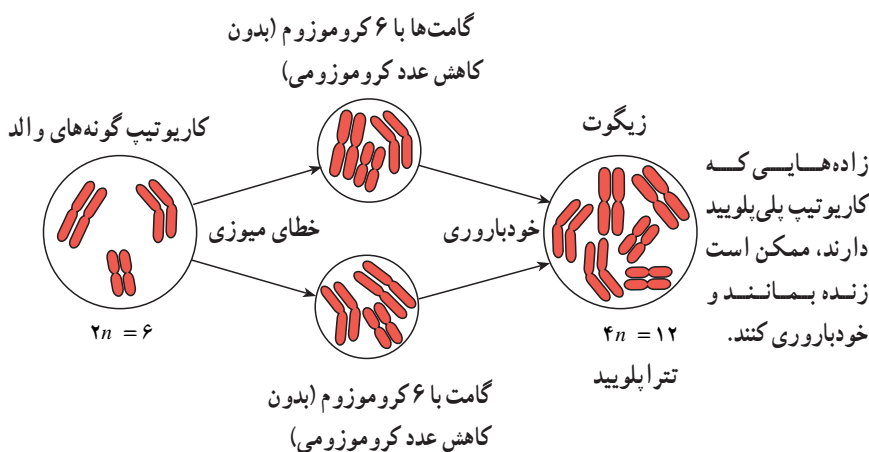
در برابر گونه‌زایی دگرمیهنی، گونه‌زایی هم‌میهنی<sup>۱</sup> مطرح می‌شود که بدون نیاز به جدایی جغرافیایی و بین جمعیت‌هایی که در یک زیستگاه به سر می‌برند، اتفاق می‌افتد (شکل ۲۱-۵).

۱ - Sympatric speciation

آشکارترین نمونه‌ی این نوع گونه‌زایی، پیدایش گیاهان پلی‌پلوئید است. این پدیده نخستین بار در اوایل دهه‌ی ۱۹۰۰ توسط هوگودووری<sup>۱</sup> کشف شد. او که با گیاهان گل مغربی<sup>۲</sup> ( $2n=14$ ) کار می‌کرد، روزی متوجه وجود گیاهی با ظاهر متفاوت در میان گیاهان مجموعه‌اش شد. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که گیاه تغییر یافته، تتراپلوئید است و ۲۸ کروموزوم دارد. تتراپلوئیدی به خاطر اشتباه در میوز و پدیده‌ی جدانشدن کروموزوم‌ها رخ می‌دهد (شکل ۲۴-۵). در بررسی‌های بعدی مشخص شد که در آمیزش این گیاه با انواع دیپلوئید، جدایی پس زیگوتی وجود دارد. وقتی که یک گیاه تتراپلوئید، مثل گل مغربی غیر طبیعی دووری میوز انجام می‌دهد، گامت‌های آن به جای  $n$  کروموزوم،  $2n$  کروموزوم دارند. اگر این گیاه با یک گیاه دیپلوئید طبیعی آمیزش کند، سلول زیگوت تریپلوئید ( $3n$ ) تشکیل می‌شود. فرد تریپلوئیدی که از نمو این سلول زیگوت حاصل می‌شود، نازاست.

اگر گیاه تتراپلوئید بتواند خودلقاحی انجام دهد، یا در نزدیکی آن، گیاه تتراپلوئید دیگری با همان تعداد کروموزوم وجود داشته باشد، سلول زیگوت تشکیل شده هم تتراپلوئید خواهد بود گیاه تتراپلوئیدی که به این ترتیب به وجود می‌آید، زایاست و می‌تواند دودمانی از گیاهان تتراپلوئید را پدید آورد (شکل ۲۴-۵).

با توجه به ناتوانی گیاهان تتراپلوئید در آمیزش با دیپلوئیدها، عملاً خزانه‌های ژنی این دو گروه از هم جدا می‌شود و لذا می‌توان آن‌ها را گونه‌های متفاوت به شمار آورد.

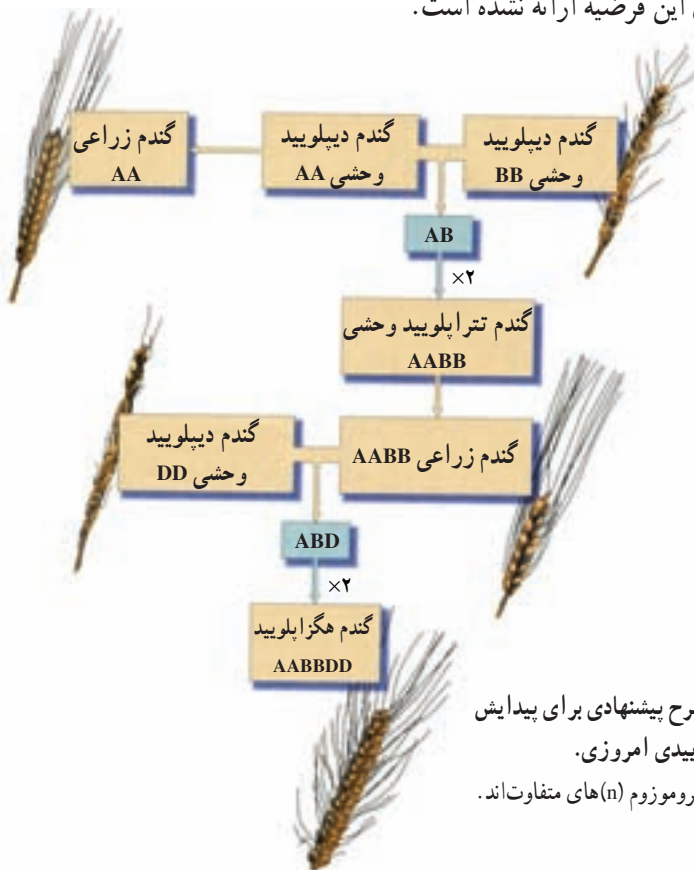


شکل ۲۴-۵- تشکیل گیاهان پلی‌پلوئید نوعی گونه‌زایی هم‌میهنی است.



برای پیدایش گیاهان پلی‌پلوئید که منجر به گونه‌زایی می‌شود، جدایی جغرافیایی لازم نیست. بنابراین می‌توان آن را نوعی از گونه‌زایی هم‌میهنی دانست. گاهی دو گیاه از دو گونه‌ی نزدیک به هم موفق می‌شوند با هم آمیزش کنند. سلول زیگوتی که از این آمیزش حاصل می‌شود، به جای دودست کروموزوم همتا، یک دست کروموزوم از هر گونه دارد. این کروموزوم‌ها در هنگام میوز خوب با هم جفت نمی‌شوند و لذا دورگ‌ی تشکیل شده غالباً نازاست. اگر کروموزوم‌های این گیاه دورگه تصادفاً دو برابر شوند، یک گیاه تتراپلوئید به وجود می‌آید که همه‌ی کروموزوم‌های دو گونه‌ی اولیه را به صورت مضاعف دارد. به این ترتیب، مشکل جفت شدن کروموزوم‌ها در میوز حل می‌شود. به این ترتیب، باز هم پلی‌پلوئیدی منجر به پیدایش گونه‌ای جدید می‌شود. در به وجود آمدن گندم زراعی امروزی، دورگ‌ی تتراپلوئید خود با یک گونه‌ی دیپلوئید دیگر آمیزش کرده و با دو برابر شدن کروموزوم‌ها، گندم هگزاپلوئید ایجاد شده است (شکل ۲۵-۵).

پیشنهاد شده است که انتخاب گسلنده هم می‌تواند سبب گونه‌زایی هم‌میهنی شود، اما هنوز شاهد محکمی برای این فرضیه ارائه نشده است.



شکل ۲۵-۵- طرح پیشنهادی برای پیدایش

گندم‌های هگزاپلوئیدی امروزی.

D و B و A دست کروموزوم (n) های متفاوت اند.



- ۱- ارنست مایر چه تعریفی از گونه ارائه داد؟ کاربرد این تعریف را در زیست‌شناسی تغییر گونه‌ها مورد بررسی و نقد قرار دهید.
- ۲- انواع جدایی بین افراد گونه‌های مختلف را نام ببرید.
- ۳- کدام یک از مکانیسم‌های جدایی پس زیگوتی و کدام یک پیش زیگوتی هستند؟
- ۴- گونه‌زایی دگرمیهنی را با گونه‌زایی هم‌میهنی مقایسه کنید.



## پویایی جمعیت‌ها و اجتماعات زیستی

جمعیت را نمی‌توان پدیده‌ای ثابت و بدون تغییر در نظر گرفت. بعضی جمعیت‌ها با سرعت زیاد و بعضی دیگر با سرعت متوسط، یا بسیار آهسته تغییر می‌کنند. اجتماع زیستی مجموعه‌ای از جمعیت‌های مختلف است که در یک محیط زندگی می‌کنند و با یکدیگر ارتباط دارند.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- نظریه‌ی انتخاب طبیعی را شرح دهید.

## ۱ ویژگی‌های جمعیت‌ها

اندازه‌ی جمعیت انسان‌های کره‌ی زمین از هفتاد سال پیش تاکنون در حدود سه برابر شده است. از حدود بیست سال پیش تا کنون اندازه‌ی جمعیت کشورمان به دو برابر افزایش یافته است. فکر می‌کنید چه عواملی سبب افزایش یا کاهش اندازه‌ی جمعیت‌ها می‌شوند؟ چه عواملی تعیین‌کننده‌ی سرعت افزایش جمعیت‌اند؟ چه تفاوتی بین تغییرات اندازه‌ی جمعیت انسان و سایر جانداران وجود دارد؟

زیست‌شناسان جمعیت را مجموع افراد هم‌گونه‌ای می‌دانند که در زمانی خاص، در یک محل معین زندگی می‌کنند: جمعیت باکتری‌های *اشریشیا کلای* روده‌ی یک انسان در این لحظه، جمعیت گنجشک‌هایی که در سال گذشته در شهر شما زندگی می‌کردند و جمعیت کنونی درختان بلوط جنگل‌های شمال ایران، همه مثال‌هایی از جمعیت هستند.

### سه ویژگی اصلی جمعیت

هر جمعیت سه ویژگی اصلی دارد: اندازه، تراکم و پراکنش (توزیع). اندازه: یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر جمعیت اندازه‌ی آن است. اندازه‌ی جمعیت، تعداد افراد تشکیل‌دهنده‌ی آن است. به‌طور کلی چهار عامل تعیین‌کننده‌ی اندازه‌ی جمعیت‌ها هستند: تولد، مرگ، مهاجرت به درون و مهاجرت به بیرون. بدیهی است تولد و مهاجرت به درون افزایش‌دهنده، اما مرگ و مهاجرت به بیرون کاهش‌دهنده‌ی اندازه‌ی جمعیت‌ها هستند. فرض کنید اندازه‌ی جمعیت یک گله‌ی فیل ۱۰۰ است. در طول یک سال ۲ مرگ و ۱۰ تولد در این گله روی می‌دهد. آهنگ مرگ در این جمعیت  $\frac{2}{100}$  یا  $\frac{2}{100}$  و آهنگ تولد  $\frac{10}{100}$  یا  $\frac{10}{100}$  فرد در سال است. اگر آهنگ مرگ را از آهنگ تولد کم کنیم، آهنگ افزایش ذاتی این جمعیت (r) به‌دست می‌آید. اگر B آهنگ تولد و D آهنگ مرگ باشد:

$$r = B - D$$

$$r = \frac{10}{100} - \frac{2}{100} = \frac{8}{100}$$

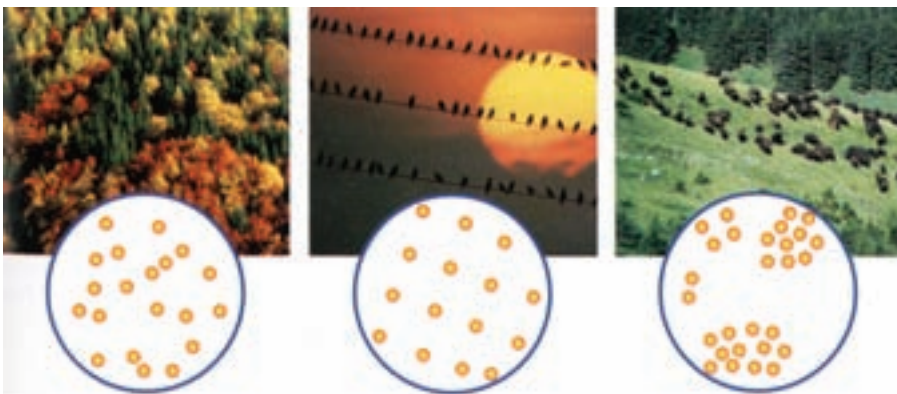
آهنگ رشد ذاتی جمعیت به ما امکان محاسبه و پیش‌بینی اندازه‌ی جمعیت را در هر واحد زمانی

می‌دهد.

اندازه‌ی جمعیت بر توان بقای جمعیت مؤثر است. مثلاً، خطر انقراض جمعیت‌های کوچک، بیش‌تر از خطر انقراض جمعیت‌های بزرگ است. رویدادهای عظیم طبیعی، مانند آتش‌سوزی، سیل، یا آلودگی محیط زیست، بقای جمعیت‌های کوچک را بیش‌تر به خطر می‌اندازند. در جمعیت‌های کوچک احتمال آمیزش بین خویشاوندان بیش‌تر است. آمیزش بین خویشاوندان از تنوع ژنی جمعیت می‌کاهد و برعکس بر همانندی ژنی آن می‌افزاید. افزایش همانندی باعث کاهش توان بقای جمعیت در برابر تغییرات محیطی می‌شود. در چنین وضعیتی افراد بیش‌تری به‌صورت خالص درمی‌آیند و صفات ناسازگار از نظر محیط را به‌صورت خالص مغلوب نمایان می‌کنند. مثلاً افراد جمعیت چیتاهای آفریقایی از نظر ژنی همانندی‌های فراوانی با یک‌دیگر دارند. به‌عقیده‌ی زیست‌شناسان رویدادهایی، مانند شیوع بیماری، ممکن است سبب انقراض این جانور شوند.

**تراکم:** تعداد افراد یک جمعیت که در یک زمان مشخص در یک واحد سطح، یا حجم زندگی می‌کنند، تراکم آن جمعیت را تشکیل می‌دهند. اگر تعداد افراد یک جمعیت کم، و فاصله‌ی بین آن‌ها زیاد باشد، یا به‌عبارت دیگر امکان تماس افراد آن با یک‌دیگر کم باشد، توان تولیدمثلی آن جمعیت نیز کم است.

**پراکنش:** چگونگی پراکندگی افراد جمعیت در محیط زیست را پراکنش آن جمعیت می‌نامند. جمعیت‌ها را از نظر پراکنش افراد آن به سه گروه تقسیم می‌کنند. پراکنش اتفاقی، پراکنش یکنواخت و پراکنش دسته‌ای (شکل ۶-۱). هر یک از این الگوهای پراکنش منعکس‌کننده‌ی انواع روابط بین جمعیت و محیط زیست است. با توجه به شکل ۶-۱ برای هر نوع پراکنش تعریفی ارائه دهید.



درختان کاج در این‌جا به‌صورت تصادفی در محیط پراکنده‌اند.

پرندگان در این شکل دارای پراکنش یک‌نواخت هستند.

بوفالوها در این حالت پراکنش دسته‌ای دارند.

شکل ۶-۱- الگوهای پراکنش جمعیت. تصادفی، یکنواخت و دسته‌ای

## خودآزمایی



- ۱- سه ویژگی اصلی جمعیت را شرح دهید.
- ۲- آهنگ افزایش ذاتی جمعیت را چگونه به دست می آورند؟
- ۳- تراکم جمعیت چگونه محاسبه می شود؟
- ۴- سه نوع پراکنش جانداران را در محیط نام ببرید و برای هر یک مثال ذکر کنید.

## ۲ الگوهای رشد جمعیت‌ها

زیست‌شناسان برای پژوهش یا پیش‌بینی درباره‌ی رشد جمعیت‌ها، از الگوهای رشد استفاده می‌کنند. الگوهای رشد جمعیت به ترتیب از ساده به پیچیده در دو گروه عمده جای داده می‌شوند: الگوی نمایی و الگوی لجیستیک.

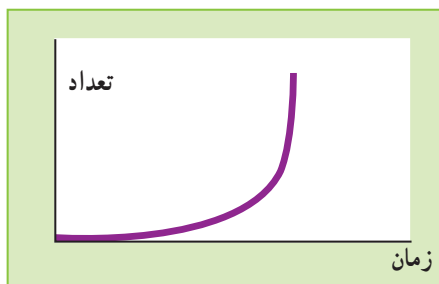
### آهنگ رشد جمعیت

هنگامی که تعداد افرادی که در جمعیت به دنیا می‌آیند از تعداد افرادی که می‌میرند بیشتر باشد، می‌گویند جمعیت در حال رشد است. بنابراین ساده‌ترین الگوی رشد جمعیت وقتی به دست می‌آید که تفاوت میان آهنگ تولد و آهنگ مرگ را محاسبه کنیم. معمولاً آهنگ تولد و مرگ را برای جمعیت انسان به صورت تولد، یا مرگ در هریک هزار نفر در سال بیان می‌کنند.

### آهنگ رشد بر اندازه‌ی جمعیت مؤثر است.

هنگامی که تغییرات اندازه‌ی یک جمعیت را به صورت نموداری که محور افقی آن نشان‌دهنده‌ی زمان و محور عمودی آن نشان‌دهنده‌ی تعداد افراد جمعیت است، رسم کنیم؛ نمودار رشد جمعیت به دست می‌آید.

بعضی جمعیت‌ها پس از تشکیل، با سرعت زیاد رشد می‌کنند. مثلاً اگر یک یا چند جاندار تک سلولی، مانند مخمر را در محیط کشت مخصوص آن کشت دهیم، اندازه‌ی جمعیت در ابتدا با سرعت افزایش می‌یابد؛ چون در ابتدا بین افراد آن جمعیت رقابت بر سر منابع محیطی وجود ندارد و این منابع به میزان کافی در اختیار همه‌ی افراد قرار دارد. چنین افرادی با حداکثر توان خود تولیدمثل می‌کنند و باعث رشد تصاعدی اندازه‌ی جمعیت می‌شوند. به چنین الگویی الگوی نمایی رشد جمعیت می‌گویند (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶ الگوی رشد نمایی به شکل «ل» است.

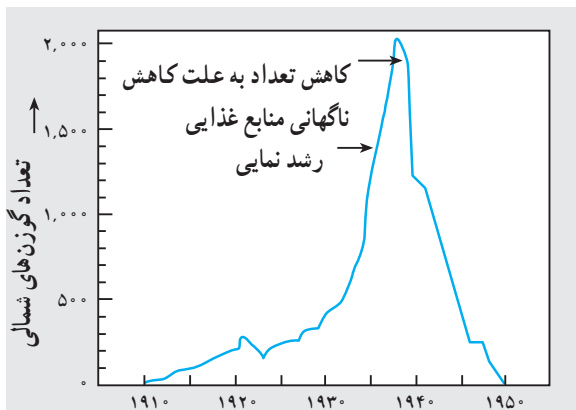
الگوی نمایی رشد در مورد جمعیت‌هایی صدق می‌کند که در آن‌ها رقابتی وجود ندارد یا خفیف است و منابع مورد نیاز جاندار (غذا، آب، نور و ...) به میزان کافی در دسترس همه‌ی افراد قرار دارد. چنین جمعیت‌هایی با حداکثر توان خود تولید مثل می‌کنند. در طبیعت معمولاً عواملی نظیر رقابت برای غذا، شیوع بیماری و شکار شدن، تعداد اعضای جمعیت را محدود می‌کند و به آن اجازه‌ی ادامه‌ی رشد، به صورت نمایی نمی‌دهد. عواملی که باعث محدود شدن آهنگ رشد جمعیت‌ها می‌شوند، عوامل وابسته به تراکم نامیده می‌شوند.

زمانی که تعداد کمی از افراد یک گونه به محیط جدیدی مهاجرت می‌کنند، ممکن است برای مدتی الگوی نمایی رشد در آن‌ها دیده شود. مثلاً در سال ۱۹۱۱، ۲۵ رأس گوزن شمالی به جزیره‌ای در آلاسکا منتقل شدند. جمعیت این جانور در ابتدا بسیار سریع (تقریباً به صورت نمایی) افزایش یافت به طوری که در سال ۱۹۳۸ تعداد آن‌ها به حدود ۲۰۰۰ رأس رسید. افزایش جمعیت سبب شد که منابع تغذیه‌ی این گوزن‌ها - که عمدتاً گل‌سنگ است - بیش از حد مصرف شود و طبیعت قادر به جایگزین کردن آن، با همان سرعتی که مصرف می‌شد، نباشد. در نتیجه، جمعیت این گوزن‌ها به شدت سقوط کرد تا حدی که در سال ۱۹۵۰ تنها ۸ رأس از آن‌ها دیده شد (شکل ۳-۶).



الف

ب



شکل ۳-۶ در طبیعت رشد نمایی مدت زیادی ادامه نمی‌یابد. الف) گوزن شمالی، ب) تغییرات جمعیت گوزن شمالی در جزیره‌ای واقع در آلاسکا

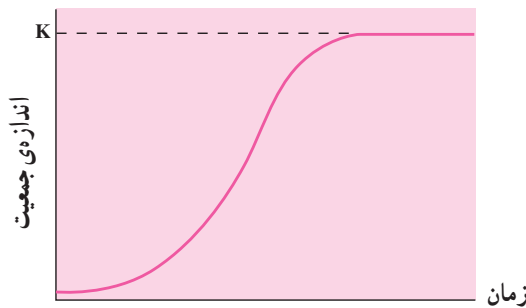


## الگوی رشد لجیستیک

الگوی نمایی رشد در توصیف جمعیت جاندارانی که بر سر غذا، آب، قلمرو و ... به رقابت می‌پردازند، ناتوان است. در جمعیت‌های واقعی، آهنگ رشد جمعیت همواره کم‌تر از حالتی است که در آن منابع مختلف به آسانی در اختیار همه قرار می‌گیرد. هرچه تراکم جانداران در محیط بیش‌تر باشد، رقابت شدیدتر و آهنگ رشد پایین‌تر خواهد بود.

مثال مربوط به کشت مخمر را به یاد آورید. فرض کنید محیط کشتی که مخمرها در آن نگهداری می‌شوند، می‌تواند منابع غذایی لازم برای زندگی حداکثر ۲۰۰۰ مخمر را تأمین کند. به عبارت دیگر، وقتی که جمعیت مخمر در این محیط به حدود ۲۰۰۰ رسید، رشد جمعیت متوقف می‌شود. در این حالت تعداد مخمرهایی که بر اثر تقسیم سلولی به وجود می‌آیند، برابر تعداد سلول‌هایی است که می‌میرند. عدد ۲۰۰۰ را **گنجایش محیط** می‌نامند و آن را با  $K$  نشان می‌دهند.

الگویی از رشد که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است، الگوی لجیستیک<sup>۱</sup> رشد جمعیت نامیده می‌شود. براساس این الگو، با شدت یافتن رقابت و نزدیک شدن اندازه‌ی جمعیت به گنجایش محیط، آهنگ رشد کند می‌شود.



شکل ۴-۶ الگوی رشد لجیستیک جمعیت‌ها

کاستی‌های الگوی لجیستیک: الگوی لجیستیک مشکل نامحدود در نظر گرفتن منابع را - که ایراد اصلی الگوی نمایی بود - با در نظر گرفتن پارامتری به نام گنجایش محیط ( $K$ ) حل می‌کند؛ اما، خود این الگو هم چندان بی‌اشکال نیست. نظام طبیعت پیچیده‌تر از آن است که با الگویی مثل الگوی لجیستیک بتوان تمام رازهای آن را شناخت! ایرادهای گوناگونی به الگوی لجیستیک و فرض‌های آن

<sup>۱</sup> Logistic

وارد است از جمله :

۱- در این الگو به تنوع افراد گونه توجهی نمی‌شود. در جمعیت‌های طبیعی، همواره جهش‌های ژنی رخ می‌دهد و جهش‌یافته‌های جدید ممکن است سریع‌تر تولیدمثل کنند؛ یعنی، آهنگ افزایش ذاتی (r) آن‌ها بالاتر از انواع پیشین باشد. همچنین، با پیدا شدن جهش‌یافته‌هایی که بازده بالاتری در استفاده از مواد غذایی داشته باشند، مقدار K افزایش می‌یابد.

۲- ممکن است طبیعت نتواند منابع غذایی را با همان سرعتی که جاندار مصرف می‌کند، بازسازی و جانشین کند. در این صورت، با رشد جمعیت مقدار K کاهش پیدا می‌کند (این همان اتفاقی است که برای گوزن‌های آلاسکا افتاد). به علاوه، تغییرات فصل و حوادث طبیعی (سیل، آتش‌سوزی و ...) می‌توانند تغییرات چشمگیری در K ایجاد کنند.

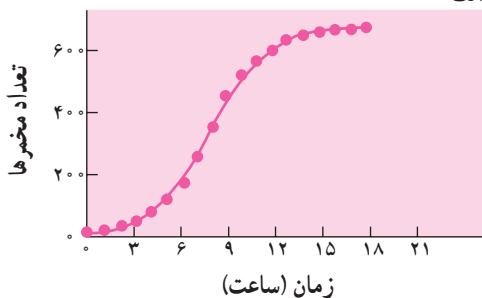
۳- همیشه کاهش تراکم به نفع افراد نیست؛ مثلاً بعضی از جانوران به صورت گروهی شکار یا از فرزندان خود مراقبت می‌کنند. در این گونه‌ها، اگر اندازه‌ی جمعیت از حد خاصی کوچک‌تر شود، شانس بقا کاهش می‌یابد. به علاوه، پایین بودن تراکم جمعیت در جاندارانی که تولیدمثل جنسی (به جز خودلقاحی) دارند، سبب کم شدن احتمال جفت‌یابی و در نتیجه کاهش آهنگ تولیدمثل می‌شود.

۴- در این الگو فرض می‌شود که رشد جمعیت پیوسته است و افزایش تعداد افراد بلافاصله موجب کاهش آهنگ رشد می‌شود. در بسیاری از جانداران، این فرض به واقعیت شبیه نیست. بسیاری از گیاهان و جانوران فقط در فصل خاصی تولیدمثل می‌کنند؛ لذا، ممکن است جمعیت آن‌ها گاهی اوقات از گنجایش محیط فراتر رود. معمولاً در این موارد به علت افزایش مرگ و میر، اندازه‌ی جمعیت پس از مدتی به حد طبیعی باز می‌گردد.

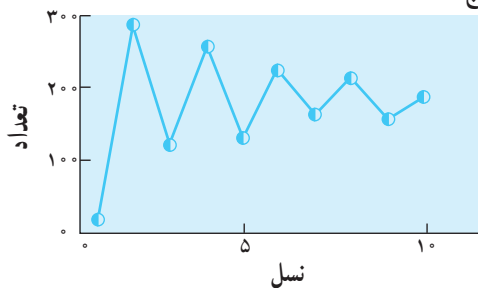
۵- در الگوی لجیستیک، برهم‌کنش گونه‌های مختلف در نظر گرفته نشده است. اصلی‌ترین عامل محدودکننده‌ی جمعیت در بسیاری از گونه‌ها، شکار شدن توسط گونه‌های دیگر است، نه منابع غذایی.

هر الگوی ریاضی زمانی ارزشمند است که با داده‌های تجربی سازگار باشد. در شکل ۵-۶ تغییرات جمعیت چند جاندار را برحسب زمان می‌بینید. سعی کنید در هر مورد، دلیل انطباق با الگوی لجیستیک یا انحراف از آن را پیدا کنید.

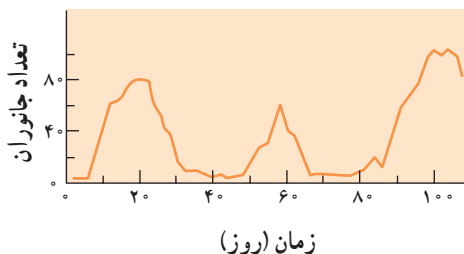
الف



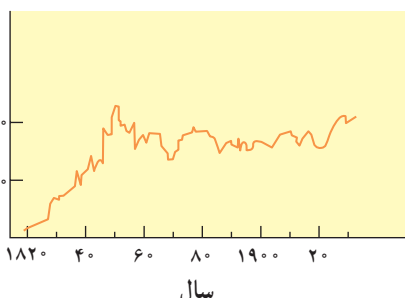
ج



هـ

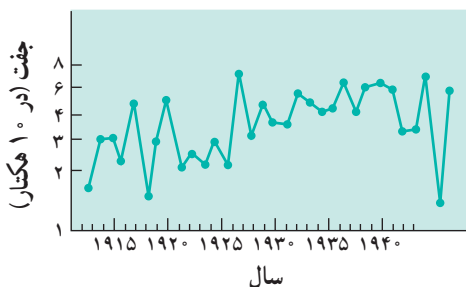


تعداد گرسفندان (x 1000)



سال

د

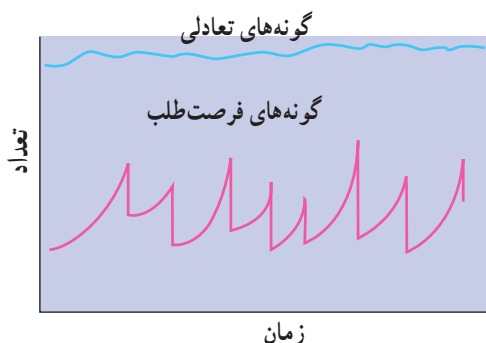


سال

شکل ۵-۶- نوسان‌های یافت شده در چند جمعیت واقعی. الف) سلول‌های مخمر، ب) گوسفند تاسمانی، ج) نوعی سوسک، د) چرخ ریسک (نوعی پرنده)، ه) دافنی.

## جمعیت‌های فرصت‌طلب و جمعیت‌های تعادلی

رخداد‌های غیرمنتظره، مانند آتش‌سوزی، خشکسالی، سیل و گردباد - که هرچندگاه در طبیعت اتفاق می‌افتند - باعث مرگ و میر شدید و ناگهانی می‌شوند. این نوع کاهش جمعیت، ارتباطی به تراکم آن و رقابت افراد باهم ندارد. به‌عنوان مثال، جمعیت حشرات و گیاهان یک ساله در بهار و تابستان - که شرایط مساعد است - با سرعت رشد می‌کند؛ ولی با بروز بحران مثلاً فرار سیدن سرما، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. چنین جمعیت‌هایی در محیط‌های متغیر و غیرقابل پیش‌بینی زندگی می‌کنند و اصطلاحاً جمعیت‌های فرصت‌طلب نامیده می‌شوند (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶- جمعیت‌های فرصت طلب و جمعیت‌های تعادلی

جمعیت طبیعی برخی از گونه‌ها، مانند اغلب مهره‌داران در طول زمان کوتاه تغییر چندانی نمی‌کند. شرایط محیط زیست این گونه‌ها نسبتاً پایدار است و حوادث ناگهانی در آن به ندرت رخ می‌دهد. این جمعیت‌ها را جمعیت‌های تعادلی می‌نامند. اندازه‌ی جمعیت‌های تعادلی معمولاً نزدیک به گنجایش محیط (K) است. رشد جمعیت‌ها پس از تساوی اندازه‌ی آن‌ها با گنجایش محیط متوقف می‌شود. جمعیت‌های فرصت طلب و جمعیت‌های تعادلی، دو حد آستانه هستند و بسیاری از گونه‌ها وضعیتی بینابین این دو دارند، یعنی شرایط محیط برای آن‌ها نه کاملاً پایدار است و نه به شدت بحرانی. پایداری یا ناپایداری محیط را باید با توجه به گونه‌ی مورد بررسی سنجید؛ مثلاً سرمای زمستان اغلب حشرات را از پای در می‌آورد، در حالی که بسیاری از جانوران بزرگ‌تر این شرایط را تحمل می‌کنند.

مهم‌ترین جنبه‌ی مقایسه‌ی جمعیت‌های تعادلی و فرصت طلب، نوع اثری است که انتخاب طبیعی روی آن‌ها می‌گذارد. در محیط‌هایی که شدیداً متغیر و غیرقابل پیش‌بینی هستند، مرگ و میر گسترده‌ی افراد ارتباط چندانی با ژنوتیپ و فنوتیپ آن‌ها، یا تراکم جمعیت ندارد. هر فردی سعی می‌کند هرچه بیش‌تر و سریع‌تر تولیدمثل کند تا حداقل تعدادی از زاده‌هایش از بحران جان سالم به‌در ببرند. در آغاز فصل تولیدمثل گونه‌های فرصت طلب، معمولاً تعداد افراد بالغی که زنده مانده‌اند، بسیار کم‌تر از حد گنجایش محیط است و رقابت چندانی وجود ندارد. در چنین شرایطی، حتی زاده‌هایی که چندان هم سالم و توانمند نباشند، می‌توانند زنده بمانند. افراد سعی می‌کنند بیش‌ترین انرژی را صرف تولیدمثل کنند و بیش‌ترین تعداد زاده‌ها را در کوتاه‌ترین زمان به‌وجود آورند. نتیجه‌ی طبیعی تعداد زیاد زاده‌ها، اندازه‌ی کوچک آن‌هاست (زیرا مقدار کل ماده و انرژی محدود است). نمونه‌ی چنین جمعیت‌هایی، نوعی پروانه است که در پاییز تخم می‌گذارد. لاروها در بهار از تخم خارج

می شوند؛ تا اوایل تابستان از برگ‌ها تغذیه می‌کنند و سپس تا فرارسیدن پاییز به صورت شفیره در خاک می‌مانند. در پاییز پروانه‌های بالغ از بیله خارج می‌شوند و جفت‌گیری می‌کنند. یک بررسی ۱۸ ساله نشان داد که بیش‌ترین مرگ و میر (در حدود ۹۱ درصد) در فصل زمستان برای تخم‌ها و نیز در فصل بهار برای لاروها اتفاق می‌افتد، زیرا بسیاری از لاروها زمانی از تخم خارج می‌شوند که درختان هنوز برگ ندارند. در محیط‌هایی که نسبتاً پایدار هستند، تراکم جمعیت نوسان کم‌تری دارد و مرگ و میر افراد تصادفی نیست. آن‌هایی که با محیط سازگارتر باشند و بهتر بتوانند در شرایط رقابتی سخت دوام بیاورند، باقی می‌مانند. در محیطی که تقریباً اشباع شده است، ( $N \cong K$ ) رقابت شدید وجود دارد. بهترین راهبرد به وجود آوردن فرزندان است که قابلیت‌های بیش‌تری در رقابت با سایر افراد داشته باشند. پرورش فرزندان سالم و قوی هزینه‌ی زیادی دارد؛ لذا، تعداد فرزندان محدود است. در بسیاری از گونه‌هایی که چنین شرایطی دارند، والدین تا مدتی از فرزندان مراقبت می‌کنند. بیر، گوریل و عقاب از این گروه‌اند. جدول ۱-۶، فهرست ویژگی‌های این دو نوع جمعیت را مشاهده می‌کنید. آیا می‌توانید هر یک از موارد مطرح شده را توجیه کنید؟

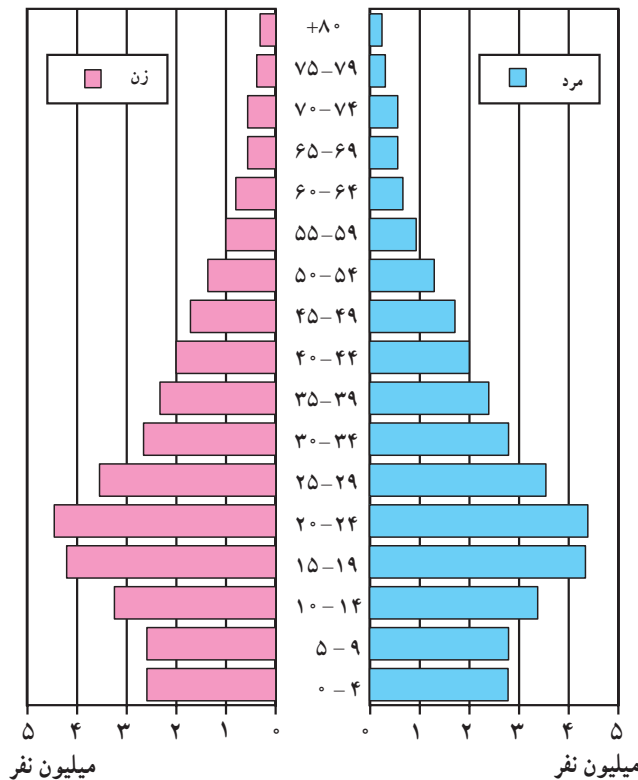
جدول ۱-۶- مقایسه‌ی خصوصیات جمعیت‌های تعادلی و فرصت طلب

عوامل	جمعیت‌های تعادلی	جمعیت‌های فرصت طلب
آب و هوای محیط	تا حدودی ثابت یا قابل پیش‌بینی	متغیر و غیرقابل پیش‌بینی
مرگ و میر	معمولاً هدفدار، وابسته به تراکم	معمولاً تصادفی، مستقل از تراکم
اندازه‌ی جمعیت	تقریباً ثابت، تعادلی؛ نزدیک به گنجایش محیط؛ محیط اشباع شده	متغیر با زمان، غیرتعادلی؛ معمولاً خیلی پایین‌تر از گنجایش محیط؛ محیط اشباع نشده
رقابت	عموماً شدید	اغلب وجود ندارد.
ویژگی‌های مطلوب در انتخاب طبیعی	۱- رشد و نمو آهسته ۲- قابلیت‌های رقابتی بالا ۳- افراد دیر به سن تولیدمثل می‌رسند. ۴- جنه‌ی بزرگ ۵- معمولاً هر فرد چند بار تولیدمثل می‌کند. ۶- تعداد کمی زاده‌ی بزرگ به وجود می‌آورند.	۱- رشد و نمو سریع ۲- تولید مثل سریع ۳- افراد زود به سن تولید مثل می‌رسند. ۴- جنه‌ی کوچک ۵- معمولاً هر فرد یک بار فرصت تولید مثل دارد. ۶- تعداد زیادی زاده‌ی کوچک به وجود می‌آورند.
طول عمر	نسبتاً طولانی، عموماً بیش‌تر از یک سال	نسبتاً کوتاه، اغلب کم‌تر از یک سال
نتیجه	سازگاری بیش‌تر با محیط	زادآوری سریع

## هرم جمعیت

می‌گویند یک تصویر گویاتر از هزار کلمه است، اما گویایی بعضی از تصاویر بسیار بیش‌تر از این است. مثلاً یک راه برای نشان دادن جمعیت بزرگ انسان نموداری است که روی آن گروه‌های سنی، روی محور  $y$ ها و تعداد افراد روی محور  $x$ ها نشان داده می‌شود. در این نمودارها گروه‌های سنی کوچک‌تر در پایین و گروه‌های مسن‌تر در بالا نشان داده می‌شوند. نموداری که به این ترتیب طراحی می‌شود معمولاً هرمی شکل است و به همین علت آن را هرم جمعیت می‌نامند (شکل ۶-۷).

پیش‌بینی نیازهای آینده: هرم جمعیت کاربردهای فراوان دارد. مثلاً هرم سنی جمعیت کشورمان را در شکل می‌بینید. این شکل نشان می‌دهد که درصد جمعیت کودکان و نوجوانان در جامعه‌ی ما نسبتاً بالاست. بنابراین برنامه‌ریزی برای سلامت، آموزش و پرورش کودکان و نوجوانان در کشور ما اهمیت خاصی پیدا می‌کند. ایجاد شغل برای این جمعیت و پیش‌بینی اثری که این گروه پس از ازدواج بر جمعیت کشور خواهند گذاشت، بر پایه‌ی این هرم صورت می‌گیرد.

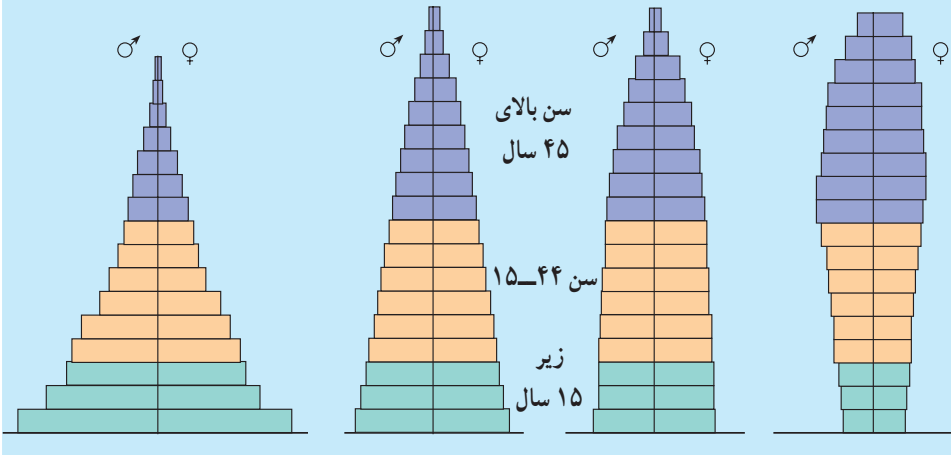


شکل ۶-۷- هرم سنی جمعیت کشور براساس سرشماری سال ۱۳۸۵

## فعالیت



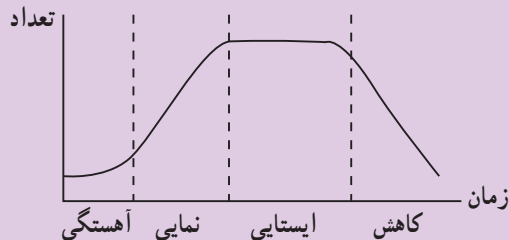
در شکل زیر انواعی از هرم‌های جمعیت انسان را که مربوط به جوامع مختلف هستند، مشاهده می‌کنید. درباره‌ی سرعت و آهنگ رشد هریک از این جمعیت‌ها بحث کنید.



## خودآزمایی



- ۱- به جز مثال‌های کتاب‌های درسی، حداقل یک مثال برای هریک از انواع پراکنش افراد جمعیت بنویسید.
- ۲- چرا در طبیعت رشد جمعیت‌ها بیش‌تر ترکیبی از الگوهای نمایی و لجیستیک است؟
- ۳- در نمودار زیر رشد جمعیت نوعی باکتری در محیط کشت مصنوعی نشان داده شده است. شرح کوتاهی درباره‌ی هریک از مراحل **آهستگی**، **نمایی**، **ایستایی** و **کاهش** بنویسید.



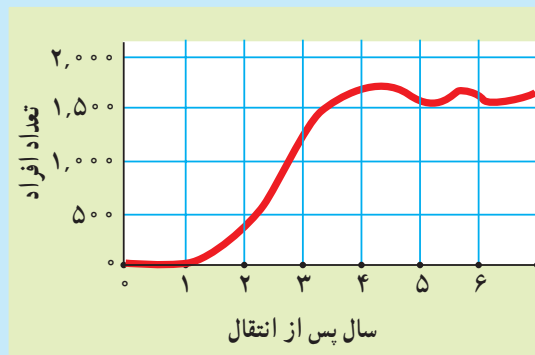
- ۴- کاستی‌های هریک از الگوهای رشد نمایی و لجیستیک را شرح دهید.
- ۵- به نظر شما چرا در تعریف جمعیت لازم است مکان مشخص جاندار را نیز تعیین کنیم؟
- ۶- پراکنش تماشاچیان بازی فوتبال در یک ورزشگاه از کدام نوع است، تصادفی، یک‌نواخت یا دسته‌ای؟ توضیح دهید.
- ۷- به هرم سنی کشور در صفحه‌ی ۱۵۴ نگاه کنید. بیش‌ترین رشد جمعیت مربوط به چه سال‌هایی بوده است؟

## فعالیت



### تفسیر داده‌ها

- ۱- زیست‌شناسان در سال‌های دهه‌ی ۱۹۳۰ تعدادی قرقاول را در جزیره‌ای که قبلاً فاقد قرقاول بود رها کردند. با استفاده از داده‌های نمودار زیر، گنجایش تحمل این جزیره را تعیین کنید. راه رسیدن به نتیجه‌ای که گرفتید را شرح دهید.



### ارزیابی

- ۲- پس از آتش‌سوزی در جنگل، بعضی گیاهان با سرعت در منطقه‌ی سوخته جایگزین می‌شوند. توضیح دهید جمعیت این نوع گیاهان تعادلی است یا فرصت‌طلب.

### پیش‌بینی

- ۳- با استفاده از شکل ۶-۷، پیش‌بینی کنید تا سال ۱۴۰۰ هـ. ش. در هرم سنی جمعیت ایران موج تولد نوزاد که در سال ۱۳۶۱ روی داد، چه وضعیتی خواهد داشت؟



### ۳ روابط میان جانداران در یک اجتماع زیستی

تحول و تغییر گونه‌ها در ارتباط با یکدیگر صورت می‌گیرد.

مهم‌ترین جاندار یک اکوسیستم کدام است؟ اگر بخواهید به این پرسش پاسخ دهید، خیلی زود درخواهید یافت که انجام چنین کاری چندان آسان نیست؛ چون نمی‌توان جانداران اکوسیستم را جدا از هم در نظر گرفت. هر جاندار در اکوسیستم جزئی از یک شبکه‌ی پیچیده است.

**روابط میان گونه‌ها:** روابط میان گونه‌های مختلف نتیجه‌ی فرایند تغییر و تحول آن‌ها در زمان‌های بسیار طولانی است. در این فرآیند، ساختار بدن و رفتار افراد هرگونه با دیگر گونه‌ها هم‌آهنگ شده است. مثلاً گرده‌افشانی بعضی از گیاهان گل‌دار، هم‌آهنگ با رفتار و ساختار بدن حشرات و سایر جانوران تغییر حاصل کرده است. جانوران گرده‌افشان صفاتی پیدا کرده‌اند که آنان را وامی‌دارد تا غذا یا سایر مواد مورد نیاز خود را از گیاهانی که گرده‌ی آن‌ها را می‌افشانند، به‌دست آورند. در شکل ۸-۶ مشاهده می‌کنید که طبیعت از طریق انتخاب طبیعی غالباً هم‌آهنگی بسیاری بین صفات جانوران گرده‌افشان و گیاهان به‌وجود آورده است. هم‌آهنگی تغییر گونه‌هایی که در یک اکوسیستم زندگی می‌کنند و با هم ارتباط نزدیک دارند، تکامل همراه<sup>۱</sup> نامیده می‌شود.

**تکامل همراه شکار و شکارچی:** صیادی نوعی رابطه‌ی بین دوگونه است که

طی آن یکی دیگری را می‌خورد. مثال‌های آشنای این نوع رابطه

شکار گورخر به‌وسیله‌ی شیر و شکار موش به‌وسیله‌ی مار

یا گربه است در شکل‌های دیگر رابطه‌ی صیادی را

می‌توان در بندپایان مشاهده کرد. عنکبوت‌ها

و انواعی از هزارپایان منحصراً

شکارچی هستند.

رابطه‌ی انگلی نوع ویژه‌ای از



شکل ۸-۶ تکامل همراه. نوعی تکامل همراه بین این گیاه و پرنده‌ی شهدخوار یافت می‌شود. این پرنده با نوک بلند خود شهد را از اعماق این گل می‌مکد و در مقابل برای آن گرده‌افشانی انجام می‌دهد.

<sup>۱</sup> - coevolution

رابطه‌ی صیادی است. انگل معمولاً روی میزبان که بزرگ‌تر از آن است، زندگی و از بدن آن تغذیه می‌کند. معمولاً انگل باعث کشته شدن میزبان نمی‌شود، چون زندگی انگل به زندگی میزبان بستگی زیاد دارد. میزبان باعث انتقال زاده‌های انگل به میزبانان جدید نیز می‌شود. بسیاری از جانوران انگل، مانند شپش بر سطح بدن میزبان زندگی می‌کنند. کنه‌ها و بعضی پشه‌ها نیز انگل خارجی هستند. انگل‌های داخلی، مانند کرم‌های انگل روده، تخصصی‌تر عمل می‌کنند و درون بدن میزبان زندگی می‌کنند.

**دفاع گیاهان در برابر گیاه‌خواران:** انتظار دارید تکامل همراه شکار و شکارچی چگونه باشد؟ به احتمال زیاد انتظار دارید که راه‌های فرار شکار از شکارچی، جلوگیری از برخورد یا مبارزه با آن، تکامل حاصل کرده باشد. اگرچه گیاهان نیز برای مبارزه با شکارچیان خود (جانوران گیاه‌خوار) تیغ و خار تولید می‌کنند؛ اما مبارزه‌ی آن‌ها با کمک مواد شیمیایی برای برحذر داشتن دشمن، یکی از پیچیده‌ترین راه‌هاست. در واقع همه‌ی گیاهان موادی دفاعی که ترکیب‌های ثانوی نام دارند، تولید می‌کنند. ترکیب‌های ثانوی، نخستین راه دفاعی اغلب گیاهان هستند.

گیاهان مختلف برای دفاع از خود ترکیب‌های شیمیایی مختلفی تولید می‌کند. مثلاً، گیاهان تیره‌ی شب‌بو گروهی از ترکیب‌های شیمیایی را که در مجموع روغن خردل نامیده می‌شوند، تولید می‌کنند.

روغن خردل بو و مزه‌ی تند دارد. مزه‌ی تند اعضای این تیره‌ی گیاهی، مانند کلم و تربچه نیز به دلیل وجود همین ترکیب‌هاست. این مواد برای حشرات سمی هستند.

**گیاه‌خواران چگونه خطوط دفاعی گیاهان را می‌شکنند:** بعضی از جانوران گیاه‌خوار می‌توانند از گیاهانی تغذیه کنند که مواد شیمیایی دفاعی تولید می‌کنند. مثلاً، نوزاد پروانه‌ی کلم روی گیاهان تیره شب‌بو زندگی و از آن‌ها تغذیه می‌کند. روغن خردل که در این گیاهان تولید می‌شود، برای بسیاری از حشرات سمی است. اما نوزاد پروانه‌ی کلم چگونه این مواد سمی را تحمل می‌کند؟ این جانور می‌تواند روغن خردل را تجزیه کند و از اثرهای سمی آن در امان بماند.

**روابط درازمدت گونه‌های هم‌زیست را به وجود آورده است.**

اگر دو یا چند جاندار از گونه‌های متفاوت در درازمدت با یک‌دیگر رابطه‌ی نزدیک داشته باشند، می‌گویند این جانداران با یک‌دیگر هم‌زیست هستند. ممکن است رابطه‌ی هم‌زیستی به نفع هر دو طرف، یا فقط به نفع یکی از آن‌ها باشد. اگرچه می‌توان به آسانی تعیین کرد که در زندگی هم‌زیستی، کدام جاندار سود می‌برد، اما تعیین این که این نوع رابطه به نفع طرف مقابل نیست، قدری

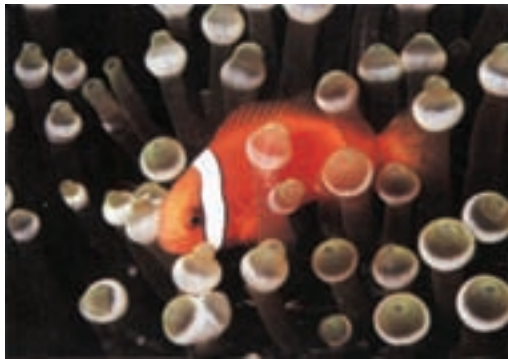
دشوار به نظر می‌رسد.

**هم‌یاری:** هم‌یاری نوعی رابطه‌ی هم‌زیستی است که در آن هر دو طرف سود می‌برند. یکی از معروف‌ترین انواع روابط هم‌یاری بین مورچه و شته در نظام آفریش یافت می‌شود (شکل ۹-۶). شته‌ها حشرات کوچکی هستند که روی شاخه‌های جوان و سبز بعضی گیاهان زندگی می‌کنند و با اندام مکندگی دهانی خود شیرهی پرورده‌ی گیاه میزبان را به فراوانی از درون آوندهای آبکش آن‌ها می‌مکند. مواد قندی موجود در شیرهی پرورده از مخرج آن‌ها به بیرون تراوش می‌کند. بعضی از انواع مورچه‌ها از این قطرات تغذیه می‌کنند و در مقابل از شته‌ها در برابر حشرات شکارچی محافظت می‌کنند (شکل ۹-۶).



شکل ۹-۶- هم‌زیستی. مورچه‌های نگهبان از شته‌های روی این ساقه حفاظت و در عین حال از شیرهی که از بدن آن‌ها خارج می‌شود، تغذیه می‌کنند.

**هم‌سفرگی:** نوع دیگر هم‌زیستی هم‌سفرگی است. در این نوع رابطه، یک طرف سود می‌برد و طرف دیگر نه سود می‌برد و نه زیان. یک نوع معروف هم‌سفرگی بین دلفک ماهی و شقایق دریایی که نوعی از کیسه‌تنان است، وجود دارد. شقایق دریایی خارهای گزنده‌ای دارد که برای سایر جانوران سمی است (شکل ۱۰-۶).



شکل ۱۰-۶- هم‌سفرگی: دلفک ماهی‌ها از نیش این شقایق دریایی در امان‌اند و در میان بازوهای آن مخفی می‌شوند.

## خودآزمایی



۱- چرا بعضی‌ها تکامل همراه شکار - شکارچی را نوعی مسابقه‌ی تسلیحاتی توصیف می‌کنند؟

۲- زنبوران عسل ژاپنی نوعی راهبرد دفاعی در برابر زنبوران سرخ از خود نشان می‌دهند. زنبورهای وارداتی اروپایی به ژاپن نمی‌توانند در برابر این زنبوران از خود دفاع کنند. این نوع تکامل همراه را توضیح دهید.

## ۴ رقابت به جوامع زیستی شکل می دهد

استفاده‌های مشترک از منابع کمیاب باعث رقابت می‌شود. هنگامی که دو گونه در یک زیستگاه از منابع مشترکی استفاده می‌کنند، می‌گویند این دو گونه در حال رقابت با یکدیگر هستند. جانداران معمولاً برای به دست آوردن غذا، مکان آشیانه، فضا برای زیستن، نور، مواد معدنی و آب، با یکدیگر رقابت می‌کنند. برای ایجاد رقابت، لازم است منابع مورد رقابت فراوان نباشند. مثلاً، در آفریقا، شیر و کفتار بر سر شکار با یکدیگر رقابت هستند. ستیزی که در نتیجه‌ی این رقابت درمی‌گیرد، معمولاً منجر به زخمی شدن هر دو طرف می‌شود. بسیاری از انواع رقابت منجر به درگیری و ستیزی نمی‌شود. بعضی از جانداران رقیب هرگز با یکدیگر برخورد نمی‌کنند. اثر آن‌ها بر رقیبان خود از طریق اثری است که بر منابع می‌گذارند.

برای قضاوت درباره‌ی نقش هر جاندار در اکوسیستم، لازم است به این پرسش‌ها درباره‌ی آن پاسخ دهید: آن جاندار چه می‌خورد، یا به عبارت صحیح‌تر آن جاندار انرژی مورد نیاز خود را از کجا تأمین می‌کند و آن جاندار کجا زندگی می‌کند؟ نقش هر جاندار را در اکوسیستم کُنام آن جاندار می‌نامند. در واقع کُنام یعنی همه‌ی راه‌های ارتباطی جاندار با محیط زیست.

کُنام هر جاندار را می‌توان با تعیین عواملی مانند فضایی که مورد استفاده قرار می‌دهد، غذایی که می‌خورد همچنین نیازهای دمایی، رطوبتی یا جفت‌گیری، تعریف کرد. کُنام را نباید با زیستگاه اشتباه گرفت. زیستگاه مکان است، در حالی که کُنام الگویی از زندگی است. در شکل ۱۱-۶ خلاصه‌ی کُنام پلنگ جاگوار را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۱-۶- کُنام پلنگ جاگوار.

غذا: پستانداران کوچک‌تر، ماهی و لاک‌پشت  
تولیدمثل: در طول تابستان  
زمان فعالیت: هم در روز شکار می‌کند و هم در شب

کنام را اغلب از نظر تأثیری که هر جاندار بر سیر انرژی اکوسیستم می‌گذارد، توصیف می‌کنند؛ مثلاً، کنام یک گوزن که از بوته‌ها تغذیه می‌کند، به صورت گیاه‌خوار توصیف می‌شود. کنام بعضی از جانداران با یک‌دیگر هم‌پوشانی دارد. اگر در یکی از منابع مورد نیاز چنین جاندارانی کمبود وجود داشته باشد، امکان رقابت بین آن‌ها افزایش می‌یابد.

کنام گونه‌های مختلف، هم‌اندازه نیست: برای درک بهتر کنام، بهتر است کنام چند گونه‌ی مختلف را مورد بررسی قرار دهیم. سسک نوعی پرنده‌ی آوازخوان است که در جستجوی غذای خود که حشرات کوچک هستند، در درختان سرو به سر می‌برد. برای تعریف کنام این پرنده، متغیرهای مختلفی را باید در نظر گرفت: دمای مورد نیاز این پرنده، موقعی از سال که این پرنده آشیانه می‌سازد، غذای مورد علاقه‌ی آن و محلی از درخت که این پرنده غذای خود را از آن‌جا به دست می‌آورد، از جمله‌ی این متغیرها هستند. طیفی از موقعیت‌هایی که این جاندار، توان زیستن در آن‌ها را دارد، کنام بنیادی می‌نامند.

تقسیم منابع بین گونه‌ها: سسک زرد غذای خود را از حشرات ساکن بالای درختان کاج نوئل تأمین می‌کند، در حالی که این حشرات در بخش‌های دیگر درخت نیز حضور دارند (شکل ۱۲-۶). به عبارت دیگر سسک زرد تنها بخش کوچکی از درخت کاج نوئل را اشغال می‌کند.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ رابرت مک‌آرتور<sup>۱</sup> که بوم‌شناس بود پژوهشی درباره‌ی کنام این پرندگان انجام داد. پژوهش این محقق در شکل ۱۲-۶ خلاصه شده است. او رفتارهای تغذیه‌ای پنج گونه‌ی سسک را که رقیب یک‌دیگر هستند، مورد تحقیق قرار داد و پی برد که این پنج گونه هم‌زمان، اما از مناطق مختلف درخت کاج نوئل، غذای خود را کسب می‌کنند.

توجه داشته باشید که کنام بنیادی هر پنج گونه یکی است، اما مکان کسب منابع غذایی آن‌ها متفاوت است. گویی آن‌ها توافق کرده‌اند که هرگونه از بخش ویژه‌ای از درخت کاج نوئل غذای خود را به دست آورد. بخشی از کنام بنیادی که هرگونه اشغال می‌کند، کنام واقعی آن می‌نامند. بنابراین کنام واقعی سسک زرد بخش کوچکی (بخش بالایی درخت) از کنام بنیادی آن (درخت کاج نوئل به طور کلی) است.

مزیت کسب غذا از بخش کوچکی از کنام بنیادی چیست؟ این پژوهشگر اعتقاد دارد که این الگوهای تغذیه‌ای باعث کاهش رقابت بین پنج گونه‌ی سسک می‌شود. چون محل‌های کسب غذای پنج گونه‌ی سسک متفاوت است، رقابت بین آن‌ها در نمی‌گیرد. او نتیجه گرفته است که انتخاب طبیعی



شکل ۱۲-۶-کنام واقعی. اگرچه کنام بنیادی این پنج نوع سوسک که روی یک نوع درخت زندگی می کنند، یکسان است، اما کنام واقعی آن‌ها متفاوت است.

بین پنج گونه‌ی سوسک رفتارهای متفاوتی به وجود آورده است. بسیاری از بوم شناسان با این عقیده موافق اند.

## فعالیت



## آزمایشگاه داده‌ها

تغییر کنام واقعی جانداران: دو ویژگی کنام جانوران شکارچی را می توان به آسانی اندازه گرفت: اندازه‌ی شکار و محل زندگی، یعنی جایی که جاندار شکار خود را به دست می آورد. به شکل صفحه‌ی بعد توجه کنید. لکه‌هایی که در این نقشه مشاهده می کنید، اندازه‌ی شکار و محلی را نشان می دهد که پرنده‌ی گونه‌ی A بیش تر آن‌ها را مورد استفاده قرار می دهد. تیره ترین لکه که در مرکز قرار دارد، مناسب ترین شکار را نشان می دهد.

## تفسیر

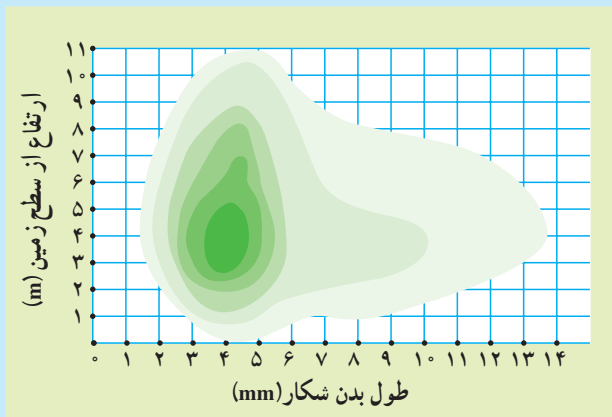
- ۱- اندازه‌ی شکاری را که پرنده‌ی گونه‌ی A بیش تر دوست دارد به دست آورید.
- ۲- حداکثر ارتفاعی که پرنده‌ی گونه‌ی A در آن تغذیه می کند، کدام است؟
- ۳- گونه‌ی B را به زیستگاه گونه‌ی A اضافه می کنیم. غذای گونه‌ی B و مکان تهیه‌ی آن مشابه گونه‌ی A است، اما گونه‌ی B در ساعتی از روز که کمی با گونه‌ی A متفاوت است به شکار

می پردازد. حضور گونه‌ی B چه اثری بر گونه‌ی A خواهد داشت؟

۴- گونه‌ی C را به زیستگاه گونه‌ی A وارد می‌کنیم. ساعت شکار گونه‌ی C مشابه ساعت شکار گونه‌ی A است؛ اما گونه‌ی C شکارهایی را ترجیح می‌دهد که ۱۰ تا ۱۳ میلی‌متر طول داشته باشند. حضور گونه‌ی C چه اثری بر گونه‌ی A خواهد داشت؟

۵- اگر گونه‌ای به زیستگاه گونه‌ی A اضافه کنیم که نیازهای غذایی آن دقیقاً شبیه گونه‌ی A باشد، نمودار زیر چه تفاوتی خواهد کرد؟

۶- کم‌رنگ‌ترین لکه‌ی موجود در این نمودار متعلق به چیست؟



بر اثر رقابت دسترسی گونه‌ها به منابع محدود می‌شود.

در سال‌های دهه‌ی ۱۹۶۰، پژوهشگری به نام ژوزف کانل<sup>۱</sup> پژوهشی درباره‌ی یک مورد رقابت انجام داد. این پژوهشگر امریکایی دو گونه کشتی چسب را که در صخره‌های همانندی در سواحل اسکاتلند زندگی می‌کنند، مورد بررسی قرار داد. کشتی چسب جانوری دریازی، از گروه سخت‌پوستان است. نوزاد این جانور که در ابتدا آزادانه در آب زندگی می‌کند، خود را به تخته سنگ‌ها می‌چسباند و بقیه‌ی عمر خود را چسبیده به آن باقی می‌ماند. در شکل ۱۳-۶ مشاهده می‌کنید که کشتی چسب گونه‌ی ۱ بر مناطق بالایی صخره‌ها که هنگام جزر از آب خارج می‌شود، زندگی می‌کند. در همین شکل نوعی دیگر کشتی چسب (گونه‌ی ۲) را مشاهده می‌کنید که روی همان نوع تخته سنگ‌ها، اما در مناطق پایین‌تر که به‌ندرت در معرض هوا قرار می‌گیرد، زندگی می‌کند.

۱- Joseph Connel



کانل در پژوهش‌های خود قسمت‌های پایینی زیستگاه این کشتی چسب‌ها را از وجود گونه‌ی ۲ پاک می‌کرد و پس از آن مشاهده می‌کرد که پس از مدتی گونه‌ی ۱ قسمت‌های پایینی تخته‌سنگ‌ها را نیز اشغال می‌کند. این نشان می‌دهد که عدم گسترش گونه‌ی ۱ در مناطق عمیق به علت عدم توانایی آن برای زیستن در آن بخش از زیستگاه نیست و در واقع مناطق کم‌عمق و عمیق تخته‌سنگ‌ها کنام بنیادی آن محسوب می‌شود. وقتی که او بار دیگر گونه‌ی ۲ را روی این تخته‌سنگ‌ها کشت می‌داد، مشاهده می‌کرد که این گونه، همواره مناطق عمیق‌تر تخته‌سنگ‌ها را انتخاب و در آن‌جا جایگزین می‌شود. به عبارت دیگر گونه‌ی ۱ نمی‌تواند در حضور گونه‌ی ۲ به مناطق عمیق تخته‌سنگ‌ها نفوذ کند (شکل ۱۳-۶). گونه‌ی ۲ در حضور یا عدم حضور گونه‌ی ۱ همواره مناطق عمیق‌تر را ترجیح می‌دهد. به نظر می‌رسد سازش گونه‌ی ۲ به مناطق کم‌عمق که مدت طولانی‌تری از آب خارج می‌شود، به پای گونه‌ی ۱ نمی‌رسد. گونه‌ی ۱ به‌علت رقابت با گونه‌ی دیگر فقط بخشی از کنام بنیادی خود را اشغال می‌کند. این پژوهش نشان می‌دهد همان گونه که در پژوهش‌های مک‌آرتور نیز مشخص شده، رقابت دسترسی گونه‌ها را به منابع محدود می‌کند.



شکل ۱۳-۶- اثر رقابت بین دو گونه کشتی چسب. کنام واقعی ۱ از کنام بنیادی آن کوچک‌تر است. چون این گونه در رقابت با گونه‌ی ۲ است.

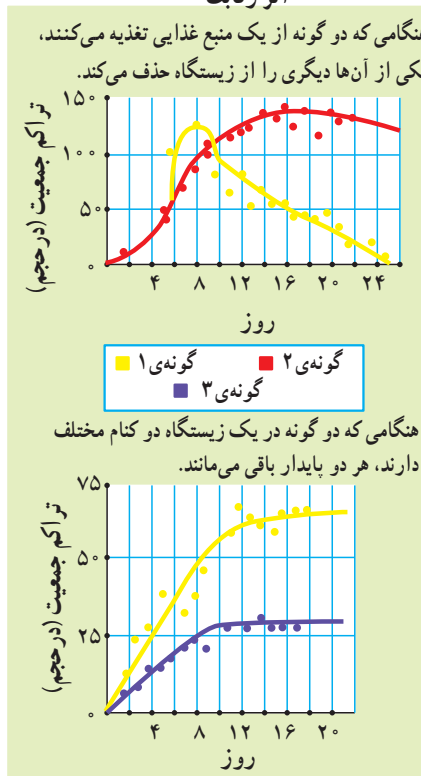
### رقابت بدون تقسیم منابع باعث انقراض می‌شود.

محدودیت و کمبود منابع در طبیعت یک قاعده است و گونه‌هایی که از منابع یکسانی استفاده می‌کنند، در معرض رقابت با یک‌دیگر قرار می‌گیرند. داروین مشاهده کرد که رقابت بین گونه‌هایی که

شباهت زیاد به یک دیگر دارند، حادثراست، چون این گونه‌ها معمولاً با روش مشابهی از منابع یکسانی استفاده می‌کنند. بنابراین آیا می‌توانیم ادعا کنیم که در رقابت بین گونه‌های شبیه به یک دیگر، یک گونه همواره از آن محیط حذف می‌شود؟ در سال‌های دهه‌ی ۱۹۳۰ پژوهشگری روسی به نام گوس<sup>۱</sup>، با انجام آزمایش‌هایی دقیق کوشش کرد به این پرسش پاسخ دهد.

گوس در آزمایش خود، دو گونه‌ی پارامسی<sup>۲</sup> (گونه‌ی ۱ و گونه‌ی ۲) را که از یک نوع باکتری تغذیه می‌کنند، در یک ظرف کشت داد. حاصل این رقابت همواره حذف گونه‌ای بود که نسبت به مواد دفعی باکتری‌ها مقاومت کم‌تر دارد (شکل ۱۴-۶). گوس نتیجه گرفت که اگر دو گونه در حال رقابت با یک دیگر باشند، گونه‌ای که با کارایی بیش‌تری می‌تواند از منابع استفاده کند، گونه‌ی دیگر را از زیستگاه حذف می‌کند. این نوع حذف در اثر رقابت را حذف رقابتی<sup>۳</sup> می‌نامند.

#### اثر رقابت



شکل ۱۴-۶- حذف رقابتی بین گونه‌های پارامسی. در آزمایش گوس معلوم شد که نتیجه‌ی رقابت به تشابه و هم‌پوشانی کنام‌های واقعی گونه‌های رقیب بستگی دارد.

۱- G.F.Gause

۲- Paramecium

۳- Competitive exclusion

رقابت‌کنندگان می‌توانند با هم سازش داشته باشند: آیا در صورت وجود منابع محدود،

همواره حذف رقابتی بین گونه‌ها روی می‌دهد؟

گوس در آزمایشی دیگر گونه‌ی دیگری از پارامسی (گونه‌ی ۳) را به محیط کشت پارامسی ۱ وارد کرد. غذای این دو پارامسی نیز یکسان است. او انتظار داشت مطابق با آزمایش قبلی، یکی از گونه‌ها از صحنه‌ی رقابت حذف شود.

اما نتیجه‌ی آزمایش جور دیگری بود. این دو گونه، مانند سسک‌های شکل ۱۲-۶ هر دو در محیط باقی ماندند. چون در واقع، این دو گونه، غذای خود را از مناطق متفاوتی کسب می‌کنند. قسمت بالایی ظرف را، که در آن‌جا غلظت اکسیژن بیش‌تر است، بیش‌تر گونه‌ی ۱ اشغال می‌کند. در قسمت پایینی ظرف که غلظت اکسیژن کم‌تر دارد، گونه‌هایی از باکتری‌ها که تنفس بی‌هوازی دارند، زندگی می‌کنند. گونه‌ی ۳ برای زندگی در قسمت‌های پایین‌تر ظرف و تغذیه از باکتری‌ها سازش بیش‌تر دارد. بنابراین کنام بنیادی هر دو گونه، همه‌ی ظرف محیط کشت است؛ اما کنام واقعی آن دو، به‌علت توانایی‌های سازشی آن‌ها، متفاوت است. در نتیجه این دو گونه در یک محیط کشت با هم زندگی می‌کنند و هیچ‌کدام دیگری را از صحنه‌ی رقابت حذف نمی‌کند.

**صیادی رقابت را کاهش می‌دهد:** پژوهش‌هایی که در اکوسیستم‌های طبیعی صورت گرفته، معلوم کرده است که صیادی اثرات رقابت را کاهش می‌دهد. یکی از پژوهش‌هایی که در این مورد صورت گرفته است، درباره‌ی تأثیر ستاره‌ی دریایی روی تعداد و نوع گونه‌هایی است که در مناطق جزر و مدی دریا زندگی می‌کنند. ستاره‌ی دریایی شکارچی جانوران دریازی، مانند صدف باریک و صدف پهن است. پژوهشگری به نام رابرت پاین<sup>۱</sup> ستاره‌های دریایی یک منطقه‌ی طبیعی را از آن خارج کرد. او مشاهده کرد که تعداد گونه‌های شکار این ستاره‌های دریایی از ۱۵ به ۸ می‌رسد. در واقع صدف‌های باریک که شکار اصلی ستاره‌ی دریایی محسوب می‌شوند، این هفت گونه را از محیط حذف کرده‌اند. ستاره‌های دریایی با شکار صدف‌های باریک، جمعیت آن‌ها را به حداقل کاهش و با این کار رقابت را نیز کاهش می‌دهند (شکل ۱۵-۶).

**تنوع زیستی و تولیدکنندگی:** در سال‌های دهه‌ی ۱۹۹۰ پژوهشی مهم درباره‌ی رابطه‌ی بین تنوع زیستی و تولیدکنندگی صورت گرفت. دیوید تیلمن<sup>۲</sup> و ۵۰ نفر از همکاران او در مجموع ۱۴۷ منطقه‌ی آزمایشی را در علف‌زارهای مینه‌سوتا، در امریکا، انتخاب کردند. هر منطقه‌ی آزمایشی آن‌ها شامل ۱ تا ۲۴ گونه‌ی خاص و بومی بود. آنان مقدار ماده‌ی زنده‌ی تولید شده در این مناطق را

۱- Robert Paine

۲- David Tilman



شکل ۱۵-۶- اثر حذف ستاره‌های دریایی از دریا. هنگامی که این ستاره‌ی دریایی از اکوسیستم دریا حذف شد، تنوع زیستی کاهش و رقابت بین گونه‌هایی که شکار آن هستند، افزایش یافت.

اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که هر قدر تنوع گونه‌های گیاهی در منطقه بیش تر باشد، به همان نسبت نیتروژن جذب‌شده از زمین در هر قطعه بیش تر است. آزمایش‌های تیلمن و همکاران او به روشنی نشان می‌دهد که افزایش تنوع گیاهان باعث افزایش تولید کنندگی می‌شود. این پژوهشگران همچنین دریافتند مناطقی که تعداد گونه‌های آن‌ها بیش تر است، در برابر خشکی‌ها و کم‌آبی‌های محیط مقاوم‌ترند، بنابراین افزایش تنوع گیاهان موجب افزایش پایداری زیستگاه‌ها و اجتماعات زیستی نیز می‌شود.

## خودآزمایی

- ۱- زیستگاه و کنام را با یک‌دیگر مقایسه کنید.
- ۲- آیا ممکن است کنام واقعی یک جاندار از کنام بنیادی آن بزرگ‌تر باشد؟ چرا؟

۳- خلاصه‌ی پژوهش‌های کانل و پابن را در مورد اثرهای رقابت در اکوسیستم‌ها، بنویسید.  
۴- آزمایش‌های تیلمن را در مورد اثر تنوع زیستی بر تولیدکنندگی، توصیف کنید.  
۵- پژوهشگری هیچ‌شاهدی دال بر رقابت در جامعه‌ی زیستی مورد تحقیق خود نیافت و نتیجه گرفت که رقابت هیچ‌گاه بر این جامعه‌ی زیستی نقشی نداشته است. آیا این نتیجه‌گیری درست است؟ توضیح دهید.

### تفکر نقادانه

۱- در آزمایش گوس پارامسی گونه‌ی ۱ توانست همراه با پارامسی گونه‌ی ۳ دوام بیاورد، در حالی که پارامسی گونه‌ی ۱ توانست در یک محیط همراه با گونه‌ی ۲ بقا داشته باشد. پیش‌بینی می‌کنید اگر گونه‌ی ۲ و گونه‌ی ۳ با هم در یک محیط کشت داده شوند، چه وضعی برای آن‌ها پیش می‌آید؟ پاسخ خود را با استدلال بیان کنید.

۲- هنگامی که نخستین ساکنان جزیره‌ی هاوایی وارد این جزیره شدند، با خود جانورانی شکارچی که جانوران محلی هرگز مشابه آن‌ها را ندیده بودند، بدانجا بردند. گربه، سگ، موش صحرايي از جمله‌ی این جانوران بودند. پس از چندی این جانوران بر جانوران محلی این جزیره پیروز شدند و آن‌ها را منقرض کردند. توضیح دهید چرا شکارهای محلی جزیره در برابر شکارچیان غیربومی آسیب پذیرتر بودند؟



## رفتارشناسی

بعضی از پرندگان، با شروع سرما به سوی مناطق گرمسیری مهاجرت می‌کنند. مورچه‌های کارگر بهار و تابستان را صرف جمع‌آوری غذا و حمل آن‌ها به لانه می‌کنند. لاک‌پشت با احساس خطر، به درون لاک خود می‌رود. بسیاری از جانوران هنگام روبه‌رو شدن با دشمن قیافه‌ی ترسناکی به خود می‌گیرند. این‌ها، مثال‌هایی از رفتارهای جانوران هستند.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- رابطه‌ی میان ژن و صفات را شرح دهید،
- رابطه‌ی میان انتخاب طبیعی و سازگاری را شرح دهید.

## ۱ رفتار و انواع آن

رفتار عملی است که در پاسخ به یک محرک انجام می‌شود.

رفتارشناسی شاخه‌ای از علوم زیستی است که به مطالعه‌ی رفتار جانوران می‌پردازد. رفتار به عمل یا مجموعه‌ای از اعمال گفته می‌شود که جانور در پاسخ به محرک از خود بروز می‌دهد. محرک‌های بروز رفتار دو نوع‌اند: محرک درونی و محرک بیرونی. گرسنگی و تشنگی از محرک‌های درونی هستند. بوی غذا، مشاهده‌ی دشمن و یا فرد دیگر از محرک‌های بیرونی رفتارند.

رفتارشناسان برای شناخت رفتار جانوران به دنبال یافتن پاسخ برای دو نوع پرسش هستند: پرسش‌های اول پرسش‌هایی که مربوط به چگونگی بروز یک رفتارند: یک رفتار چگونه بروز می‌کند؟ چه مکانیسمی آن را کنترل می‌کند؟ چه محرکی موجب شکل‌گیری و بروز یک رفتار خاص می‌شود؟ مثلاً پرندگان فرار سیدن فصل مهاجرت را چگونه تشخیص می‌دهند و مسیر را چگونه جهت‌یابی می‌کنند؟ پرسش‌های دوم، پرسش‌هایی هستند که با دلایل وجود یک رفتار ارتباط دارند. چرا یک رفتار بروز می‌کند؟ علت وجود یک رفتار چیست و چرا یک رفتار تا به امروز حفظ شده است؟ مثلاً مهاجرت چه سودی برای پرندگان دارد و این رفتار طی تغییر گونه چگونه شکل گرفته است؟

این نوع پرسش‌ها (چرایی) هستند که واقعاً مربوط به تکامل رفتار می‌شوند. رفتارشناسان با روش علمی به این سؤال‌ها پاسخ می‌دهند و سعی می‌کنند در تفسیر رفتارهای یک جانور عواطف و احساس‌های انسانی را دخالت ندهند. بنابراین در علم رفتارشناسی فقط از اطلاعات حاصل از روش علمی در مورد رفتار جانوران، صحبت می‌شود.

در بسیاری از رفتارها وراثت نقش تعیین‌کننده دارد.

کوکو پرنده‌ای است که در لانه‌ی سایر پرندگان تخم می‌گذارد. جوجه‌ی کوکو به‌طور نارس و زودتر از جوجه‌های پرنده‌ی میزبان از تخم خارج می‌شود و بلافاصله پس از خروج از تخم، تخم‌های میزبان را از لانه بیرون می‌اندازد (شکل ۱-۷). جوجه‌ی کوکو برای انجام این کار هیچ فرصتی برای آموزش نداشته است. بنابراین دستورالعمل‌ها و اطلاعات لازم برای بروز این رفتار به‌صورت اطلاعات ژنی به او به ارث رسیده است. این گونه رفتارها که متأثر از ژن‌ها و دارای برنامه‌ریزی ژنی هستند،

رفتار وراثتی یا غریزی نامیده می‌شوند.



الف شکل ۱-۷- در بسیاری از رفتارها وراثت نقش دارد.  
 الف) جوجه‌ی تازه از تخم بیرون آمده‌ی کوکو، تخم‌های میزبان را بیرون می‌اندازد.  
 ب) پرندگی میزبان به تغذیه‌ی جوجه‌ی کوکو که چند برابر اوست، ادامه می‌دهد.

### الگوی عمل ثابت رفتاری غریزی (ژنی) است.

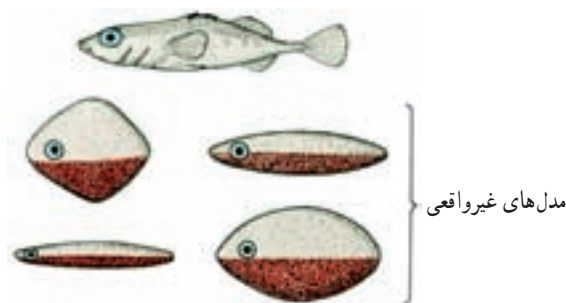


رفتارهای غریزی در افراد مختلف یک گونه به یک شکل انجام می‌شوند. این رفتارها مجموعه‌ای از حرکات‌های مشخص و ثابت است. غاز ماده‌ای که روی تخم‌های خود خوابیده است، هرچند وقت یک بار تخم‌ها را جابه‌جا می‌کند تا تخم‌ها به‌طور یکنواخت گرم شوند. غاز ماده اگر تخمی را در خارج از لانه ببیند، از جای خود بلند می‌شود، گردنش را دراز می‌کند و با منقار خود تخم را در یک مسیر زیگزاگی به لانه می‌آورد. حال اگر هنگام انجام چنین حرکتی تخم را بردارند، غاز همان حرکات را انجام می‌دهد، بدون این که به نبودن تخم توجهی داشته باشد (شکل ۲-۷). رفتار برگرداندن تخم در غازها مثالی از الگوی عمل ثابت است که همه‌ی آن‌ها به یک شکل آن را نشان می‌دهند.

شکل ۲-۷- رفتار برگرداندن تخم به درون لانه



در الگوی عمل ثابت رفتار با یک محرک شروع می‌شود، به طور کامل تا پایان پیش می‌رود و همیشه به یک شکل انجام می‌گیرد. به محرکی که باعث بروز الگوی عمل ثابت می‌شود، محرک نشانه می‌گویند. محرک نشانه اغلب یک علامت حسی ساده است. مثلاً در نوعی ماهی، رفتار حمله به سایر نرهایی که وارد قلمرو او می‌شوند، با یک الگوی عمل ثابت انجام می‌گیرد. محرک نشانه در این الگوی عمل ثابت، رنگ قرمز شکم ماهی‌های نر مزاحم است، به طوری که به ماهی نری که شکمش قرمز نیست حمله نمی‌کند؛ در صورتی که به مدل‌های مصنوعی که سطح زیرین آن‌ها قرمز است، حمله می‌کند. در این مثال رنگ قرمز تنها علامت حسی (محرک نشانه) است که ماهی به آن توجه می‌کند و سایر علائم مثل حجم یا شکل برای ماهی نر اهمیتی ندارد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- به مدل واقعی‌تر که فاقد رنگ قرمز در ناحیه‌ی شکم است، کم‌تر از مدل‌های غیر واقعی دیگر حمله می‌شود.

انواع مختلفی از محرک‌های نشانه وجود دارد. در مورد رفتار گاز ماده، محرک نشانه شکل هندسی و انحناى جسم است. محرک نشانه در مثال ماهی، قرمز بودن سطح زیرین است.

### بیش‌تر بدانید



هورمون‌ها در بروز الگوهای عمل ثابت تأثیر دارند. آزمایش نشان داده است که در پرندگان تغییر مدت روز نقش مهمی در شکل‌گیری رفتارهای مربوط به تولیدمثل مانند قلمرو بایی، لانه‌سازی، جفت‌گیری و ... دارد. غده‌ی پینه‌آل در پرندگان نقش گیرنده‌ی نوری دارد. با افزایش طول روز ترشح هورمون ملاتونین از این غده کاهش می‌یابد. این امر سبب تحریک هیپوفیز پیشین و افزایش هورمون‌های محرک غده‌های جنسی می‌شود. این هورمون‌ها با اثر روی غده‌های جنسی، موجب افزایش هورمون‌های جنسی در خون و هم‌چنین فعال شدن مدارهای عصبی

مربوط به رفتارهای تولیدمثلی، یکی پس از دیگری می‌شوند. فعال شدن این مدارهای عصبی، پرده را برای بروز رفتارهایی مثل قلمروبایی، جفت‌گیری، لانه‌سازی، خوابیدن روی تخم‌ها و مراقبت از جوجه‌ها آماده می‌کند. مثلاً غاز ماده الگوی رفتار بازگرداندن تخم به لانه را از یک هفته قبل از تخم‌گذاری تا یک هفته بعد از خارج شدن جوجه‌ها از تخم بروز می‌دهد و در سایر مواقع نسبت به محرک نشانه‌ی آن حساسیتی ندارد و واکنشی از خود بروز نمی‌دهد.

## یادگیری نقش عمده‌ای در رفتار دارد.

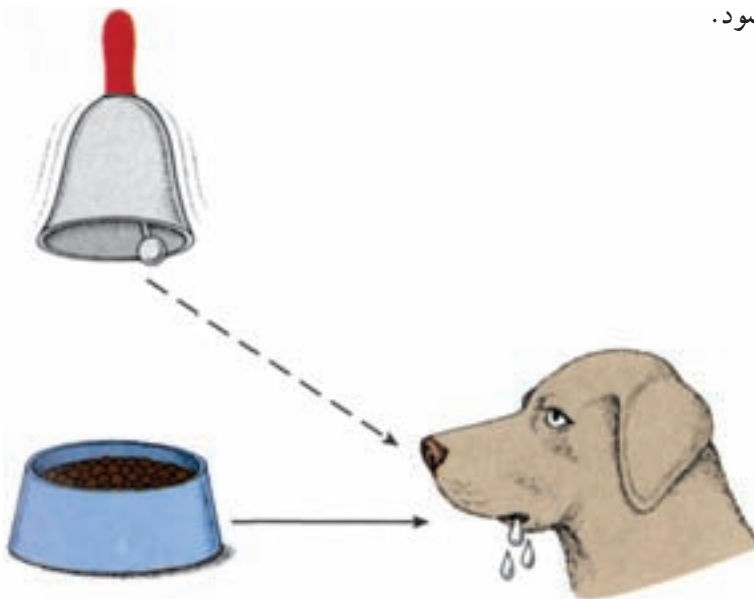
تا این‌جا دیدیم که رفتار متأثر از ژن‌هاست؛ اما تجربه تا چه میزانی یک رفتار ژنتیکی را تغییر می‌دهد. تغییر رفتار که حاصل تجربه باشد، یادگیری نامیده می‌شود. یادگیری در بسیاری از جانوران نقش مهمی در شکل‌گیری رفتار غریزی دارد. جانورانی که در سیرک، حرکات نمایشی انجام می‌دهند، هیچ‌گاه چنین رفتارهایی را در وضعیت طبیعی در زیستگاه‌های خود بروز نمی‌دهند؛ بلکه این رام‌کننده‌ی حیوانات است که انجام حرکات نمایشی را به آن‌ها یاد داده است.

**عادی شدن:** ساده‌ترین نوع یادگیری و تغییر شکل رفتار عادی شدن است. در این یادگیری ساده جانور یاد می‌گیرد که از محرک‌های دائمی که هیچ سود و زیانی برای او ندارند، صرف‌نظر کند و به آن‌ها پاسخی ندهد. مثلاً پرده برای بار اول از زمین کشاورزی که در آن یک مترسک گذاشته‌اند، دوری می‌کند؛ اما اگر جای مترسک تغییر نکند، وجود مترسک برای او عادی و بنابراین بدون ترس وارد آن زمین کشاورزی می‌شود. این نوع یادگیری حتی در مورد رفتارهای بسیار ساده، مانند انعکاس هم وجود دارد. مثلاً شقایق دریایی و یا عروس دریایی با کوچک‌ترین تحریک مکانیکی، شاخک‌های حسی خود را منقبض می‌کنند، در حالی که نسبت به حرکت مداوم آب واکنشی از خود بروز نمی‌دهند. شرطی‌شدن کلاسیک، آزمون و خطا (شرطی شدن فعال) و حل مسئله، انواع دیگر یادگیری هستند.

**شرطی شدن کلاسیک:** یکی از معروف‌ترین پژوهش‌ها در زمینه‌ی یادگیری، آزمایشی است که ایوان پاولوف<sup>۱</sup> فیزیولوژیست روسی، درباره‌ی ترشح بزاق سگ انجام داد. هنگامی که پاولوف پودر گوشت (محرک) را به سگ گرسنه می‌داد، بزاق سگ (پاسخ) ترشح می‌شد. ترشح بزاق در واقع نوعی پاسخ غریزی به غذاست. پاولوف پس از گذشت مدتی از انجام این کار متوجه شد که حتی اگر غذایی به همراه نداشته باشد، با دیدن او بزاق سگ ترشح می‌شود. پاولوف بر این اساس آزمایشی را طراحی کرد. او هم‌زمان با دادن پودر گوشت، زنگی را به صدا درمی‌آورد. صدای زنگ محرکی بود که

ارتباطی با غذا نداشت و به تنهایی برای سگ بی مفهوم بود؛ اما به دنبال تکرار این کار، سگ بین صدای زنگ و غذا ارتباط برقرار کرد؛ به طوری که با صدای زنگ، حتی بدون وجود غذا بزاق او ترشح می‌شد. در واقع سگ نسبت به محرکی که تا قبل از آن برایش بی معنی بود، پاسخ می‌داد و به عبارتی نسبت به همراه بودن صدای زنگ و پودر گوشت شرطی شده بود (شکل ۴-۷). به این نوع یادگیری شرطی شدن کلاسیک می‌گویند.

در این نوع یادگیری هرگاه یک محرک بی‌اثر (مثلاً صدای زنگ) به همراه یک محرک طبیعی (مثلاً غذا) به جانور عرضه شود، پس از مدتی محرک بی‌اثر به تنهایی سبب بروز پاسخ (مثلاً ترشح بزاق) در جانور می‌شود. به این محرک جدید، محرک شرطی می‌گویند؛ زیرا به شرطی می‌تواند سبب بروز رفتار شود که قبل از آن همراه با یک محرک طبیعی باشد. به محرک طبیعی محرک غیرشرطی نیز گفته می‌شود.



شکل ۴-۷- در این مثال، غذا محرک غیرشرطی و ترشح بزاق پاسخی غیرشرطی است که با دیدن غذا ایجاد می‌شود. زنگ محرک شرطی است که به دلیل همراه بودن با غذا موجب ترشح بزاق می‌شود. با تکرار این عمل، صدای زنگ به تنهایی موجب ترشح بزاق می‌شود.

آزمون و خطا (شرطی شدن فعال): اسکینر<sup>۱</sup> برای بررسی نقش آزمون و خطا در یادگیری، آزمایش‌هایی را طراحی و اجرا کرد. او برای انجام مطالعات خود جعبه‌ای را طراحی کرد (جعبه‌ی

اسکینر). در این جعبه اهرمی وجود داشت که با فشار دادن آن، مقداری غذا به درون جعبه می افتاد. اسکینر موشی را درون جعبه قرار داد. موش، درون جعبه به جستجو و کاوش می پرداخت و هر از گاهی به طور تصادفی اهرم درون جعبه را فشار می داد که با وارد آمدن فشار به اهرم، مقداری غذا به درون جعبه می افتاد. موش در ابتدا بدون توجه به اهرم به حرکت خود درون جعبه ادامه می داد؛ اما سرانجام یاد گرفت که اگر اهرم را فشار دهد، غذا به دست می آورد. به این نوع یادگیری آزمون و خطا یا شرطی شدن فعال گفته می شود. در این نوع یادگیری جانور یاد می گیرد که انجام یک عمل یا رفتار خاص، منجر به پاداش یا تنبیه خواهد شد. اگر انجام آن رفتار به دریافت پاداش منتهی شود، احتمال تکرار آن افزایش می یابد؛ ولی اگر با انجام آن، جانور با تنبیه روبه رو شود، احتمال بروز دوباره ی آن رفتار کاهش می یابد. با آزمون و خطا می توان به جانور یاد داد که در موقعیتی خاص، رفتار مشخصی انجام دهد و یا این که آن را انجام ندهد (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷- جعبه ی اسکینر. موش با آزمون و خطا یاد می گیرد برای به دست آوردن غذا اهرم را فشار دهد.

### تفسیر کنید

دانش آموزی بیان می کند اردک هایی که در پارک ها زندگی می کنند و افرادی که به آن ها غذا می دهند، نسبت به رفتار یک دیگر شرطی شده اند. آیا این نتیجه گیری درست است؟

**حل مسئله:** نوع پیچیده‌تری از یادگیری، رفتار حل مسئله است. این رفتار معمولاً در نخستی‌ها<sup>۱</sup> دیده می‌شود. در رفتار حل مسئله، جانور در موقعیتی جدید - که قبلاً با آن روبه‌رو نشده است - بدون استفاده از آزمون و خطا، رفتار مناسبی از خود بروز می‌دهد.

سگی را که در شکل ۶-۷-الف می‌بینید نمی‌تواند مسئله‌ای را که با آن روبه‌رو شده است، حل کند، دربارهِی موقعیتی که در آن قرار دارد فکر کند و رفتار مناسبی از خود بروز دهد. این توانایی بیش‌تر در انسان و بعضی از نخستی‌ها وجود دارد. در آزمایشی شمپانزه‌ای را در اتاقی با تعدادی جعبه قرار دادند. در این اتاق تعدادی موز از سقف آویزان بود. شمپانزه با وجود آن که قبلاً چنین موقعیتی را تجربه نکرده بود، جعبه‌ها را روی هم قرار داد تا با استفاده از آن‌ها به موزها دست یابد. این رفتار شمپانزه نوعی حل مسئله است. جانور در رفتار حل مسئله، بین تجارب گذشته ارتباط برقرار می‌کند و با استفاده از آن‌ها برای حل مسئله‌ی جدید، استدلال می‌کند (شکل ۶-۷-ب).



الف

شکل ۶-۷- رفتار حل مسئله

الف) سگ نمی‌تواند مسئله‌ای را که با آن روبه‌رو شده است، حل کند.

ب) شمپانزه‌ی گرسنه مشکل دست‌یابی به غذا را با روی هم گذاشتن تعدادی جعبه و بالا رفتن از آن‌ها حل می‌کند.

لمورها، میمون‌ها و آدمیان در رده‌بندی به گروهی از پستانداران به نام نخستی‌ها تعلق دارند. ۱- Primates

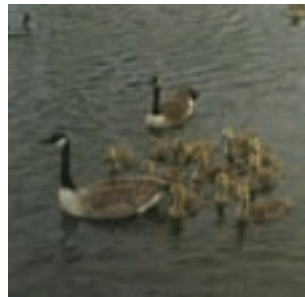
## نقش‌پذیری شکل خاصی از یادگیری است.

نقش‌پذیری شکل خاصی از یادگیری است که در دوره‌ی مشخصی از زندگی یک جانور رخ می‌دهد و ارتباط تنگاتنگی با رفتار غریزی دارد. جوجه اردک‌ها و غازها بعد از بیرون آمدن از تخم به دنبال اولین شیء متحرکی که ببینند راه می‌افتند. این شیء متحرک به‌طور معمول مادر آن‌هاست؛ اما جوجه‌ها ممکن است، تا دو سه روز بعد از تولد که دوره‌ی حساس نقش‌پذیری نامیده می‌شود، از هر شیء متحرکی مثل انسان یا یک توپ نقش‌پذیرند و آن را مادر خود تلقی کنند. از این نظر این دوره حساس نامیده می‌شود که نقش‌پذیری فقط در این زمان بروز می‌کند. این رفتار در حفظ بقا ارزش زیادی دارد و موجب می‌شود که جوجه‌ها در کنار مادرشان بمانند، همراه او به سمت آب بروند و به جستجوی غذا پردازند. هم‌چنین همراه بودن با مادر، آن‌ها را از خطر حفظ می‌کند.

کنراد لورنز<sup>۱</sup> درباره‌ی این رفتار در غازها تحقیق کرد. او تعدادی تخم را در شرایط مصنوعی قرار داد. جوجه‌هایی که از این تخم‌ها خارج شده و مادر خود را ندیده بودند، مثل این که لورنز مادر آن‌ها باشد، به دنبال او راه افتادند. این غازها بعداً نیز بیش‌تر به بودن با لورنز تمایل داشتند تا با هم‌جنسان خود (شکل ۷-۷). پاسخ به محرک بخش غریزی این فرآیند است که در این پرندگان وجود دارد. پرنده محرک‌هایی را که سبب بروز این رفتار می‌شوند در محیط شناسایی و با آن ارتباط برقرار می‌کند.



ب



الف

شکل ۷-۷- نقش‌پذیری در جوجه‌های غاز

الف) جوجه‌ها در حالت طبیعی فقط در کنار مادر خود هستند و او را دنبال می‌کنند.  
ب) این جوجه‌ها چون در هنگام خروج از تخم لورنز را دیده‌اند، به دنبال او می‌روند.

باید توجه داشت که فرآیند نقش‌پذیری پیچیده‌تر از آن است که گفته شد. مثلاً در یکی از مشاهدات که درباره‌ی نقش‌پذیری انجام شد، دیده شد، در صورتی که همراه با شیء متحرک صدا نیز باشد، تأثیر آن قوی‌تر است.

## فعالیت



نقش‌پذیری فقط مربوط به تشخیص مادر نمی‌شود. مثلاً ماهی آزاد جوان از بوی رودخانه‌ای که در آن از تخم بیرون آمده است، نقش می‌پذیرد. موارد دیگری از نقش‌پذیری را در طبیعت پیدا کنید و گزارشی را که تهیه کرده‌اید، در کلاس ارائه دهید. این فعالیت را گروهی انجام دهید.

## رفتار جانوران محصول برهم‌کنش اطلاعات ژنی و یادگیری است.

آیا می‌توان رفتارها را در دو گروه مشخص‌گریزی (ژنی) و یادگیری قرار داد؟ باید گفت که در بیش‌تر موارد هر دو عامل وراثت و محیط در شکل‌گیری رفتارهای جانوران نقش دارند و شکل نهایی رفتار محصول برهم‌کنش این دو عامل است. معمولاً هر رفتار یک بخش ژنی و یک بخش یادگیری دارد؛ البته سهم هر کدام از این دو در شکل‌گیری رفتارهای مختلف، فرق می‌کند. تشخیص این که در یک رفتار کدام بخش‌گریزی و کدام بخش حاصل یادگیری است، دشوار است.

آزمایشی که درباره‌ی آواز پرندگان انجام شد، نشان‌دهنده‌ی نقش تجربه و اطلاعات ژنی در بروز یک رفتار است. محققان با استفاده از دستگاهی آواز پرندگان را ثبت و بررسی می‌کنند. در یکی از این بررسی‌ها آواز نوعی گنجشک مورد پژوهش قرار گرفت. هرگونه، آواز خاص خود را دارد و گنجشک‌های نر یک‌گونه که در نواحی مختلف زندگی می‌کنند، لهجه‌های محلی خاص خود را دارند. آواز جوجه‌هایی که در اتاقک عایق به صدا رشد یافته‌اند، به‌طور عادی شکل نمی‌گیرد و در نهایت با آواز پرندگان بالغی که در وضعیت طبیعی رشد یافته‌اند، شباهت اندکی خواهد داشت. از طرفی اگر جوجه‌ها در بدو تولد ناشنوا می‌شدند، آوازشان به مراتب ساده‌تر و غیرمعمول‌تر از آواز پرندگانی می‌شد که در اتاقک‌های عایق صدا رشد یافته بودند. در آزمایشی دیگر جوجه‌ها را درون اتاقک‌های عایق صدا پرورش دادند و در هریک از این اتاقک‌ها نوار آواز گنجشک بالهجه‌ی محلی متفاوت پخش شد. نتیجه این بود که پرندگان با همان لهجه‌هایی که شنیده بودند، آواز می‌خواندند. این مشاهدات نشان می‌دهد که پرندگان آواز خواندن را یاد می‌گیرند؛ آیا این نتیجه‌گیری به این معنی است که اطلاعات ژنی نقشی در آواز خواندن ندارند؟ محققان برای مشخص شدن این موضوع، آزمایش دیگری را طراحی و اجرا کردند. آن‌ها برای جوجه‌های درون اتاقک‌های عایق صدا، آوازه‌های مربوط

به گونه‌های نزدیک دیگر را پخش کردند. نتیجه این بود که پرنده‌ها نمی‌توانند آوازهای گونه‌های نزدیک به خود را بخوانند. بنابراین پرنده قابلیت و توانایی یادگیری هر آوازی را ندارد و آوازی را می‌خواند که اطلاعات ژنی آن را دارد و با گوش دادن به آواز پرندگان بالغ و هم‌چنین آواز خود در الگوی اولیه‌ی آواز خویش تغییر و آن را شکل می‌دهد.

### تفسیر کنید

«رفتار یک کودک بسیار شبیه والدینش است. بنابراین می‌توان گفت بیش‌تر رفتارهای انسان اساس ژنی دارد». درباره‌ی ایراد منطقی این استدلال بحث گفت و گو کنید.

### خودآزمایی



- ۱- درباره‌ی رفتار کوکو تعدادی پرسش چرایی و چگونه‌ای بنویسید.
- ۲- الگوی عمل ثابت را تعریف کنید و یک مثال برای آن بنویسید.
- ۳- شرطی شدن کلاسیک چه تفاوتی با شرطی شدن فعال دارد؟
- ۴- آیا می‌توان رفتارهای جانوران را به‌طور مشخص در دو گروه غریزی و یادگیری قرار داد؟ توضیح دهید.



### انتخاب طبیعی به رفتار شکل می دهد.

به یاد دارید که انتخاب طبیعی فرآیندی است که طی آن جمعیت‌ها در پاسخ به محیط تغییر می کنند. انتخاب طبیعی صفاتی را برمی‌گزیند که احتمال بقا و تولیدمثل فرد را افزایش می دهند؛ به عبارتی با گذشت زمان افراد بیش‌تری از جمعیت این صفت‌ها را خواهند داشت. شکل‌های مختلف رفتار جانوران نیز مانند سایر صفت‌ها متنوع‌اند. بنابراین انتخاب طبیعی دربارہی بروز رفتارهای مختلف نیز همانند سایر صفت‌ها نقش دارد.

فهم و درک انتخاب طبیعی در پاسخ به پرسش‌های چرایی کمک می کند. رفتار شیرهای شرق افریقا مثال خوبی در این باره است. این شیرها در گروه‌های کوچکی که اصطلاحاً گله گفته می شوند، زندگی می کنند. هر گله از چند ماده‌ی بالغ و بچه شیر و یک یا چند تایی نر بالغ تشکیل می شود. نرهای بالغ پدر همه‌ی بچه شیرها هستند و از گله در برابر سایر شیرهای نر محافظت می کنند. اما نرها معمولاً فقط به مدت دو سال رهبری گله را برعهده دارند و بعد از این مدت نرهای جوان تر آن‌ها را کنار می زنند و خود رهبر گله می شوند. در این زمان، غالباً، نرهای جوان بچه شیرهای کوچک گله را می کشند (شکل ۷-۸- الف)، گرچه این‌ها معمولاً آسیبی به بچه‌های خود نمی‌رسانند و با ملایمت با آن‌ها برخورد می‌کنند (شکل ۷-۸- ب).



ب



الف

شکل ۷-۸- رفتار شیرهای جوان.

الف) شیرهای نر جوان بعد از آن که رهبر گله شدند، بچه شیرهای گله را می‌کشند.

ب) همین شیرها با فرزندان خود با ملایمت رفتار می‌کنند.

برای درک این رفتار باید فهمید که نرهای جوان چه سودی از این رفتار می‌برند. گفته شد که هر نر فقط دو سال برای رهبری گله فرصت دارد، بنابراین فرصت آن‌ها برای تولیدمثل کوتاه و محدود

است. این در حالی است که شیرهای ماده‌ی بچه‌دار، تا بزرگ شدن بچه‌هایشان زاد و ولد نمی‌کنند که این زمان ممکن است بیش از دو سال باشد. حال اگر بچه‌ی یک شیر ماده بمیرد، آن شیر تقریباً بلافاصله جفت‌گیری می‌کند.

چرا زنده‌ی بچه‌ها را می‌کشند؟ یک فرضیه این است که زنده‌ی جوان با این کار می‌توانند بچه‌های بیش‌تری داشته باشند.

همان‌طور که در مثال شیرهای افریقایی دیدیم انتخاب طبیعی صفاتی را برمی‌گزیند که در بقا و تولیدمثل افراد و نه گونه، دخالت دارند. کشتن بچه‌شیرها به معنی افزایش مرگ و میر در میان بچه‌شیرهاست که احتمال بقای گونه را پایین می‌آورد؛ اما رفتار شیر نر جوان به نحوی است که به نفع خودش باشد و نه به نفع گونه.

### بعضی جانوران رفتارهای مشارکتی نشان می‌دهند.

بعضی از رفتارهای جانوران را نمی‌توان براساس فرضیه‌ی «انتخاب فرد» تفسیر کرد. زنبورهای کارگر برای دفاع از کندو، مهاجمان را نیش می‌زنند. با این کار نیش در بدن مهاجم باقی می‌ماند و همراه با آن محتویات شکم زنبور نیز بیرون می‌آید و می‌میرد.

مثال دیگر، رفتار زنبورهای عسل ماده است. این زنبورها خود تولیدمثل نمی‌کنند. آن‌ها انرژی خود را صرف نگهداری و تغذیه‌ی زاده‌های ملکه (که مادر خود آن‌ها هم است) می‌کنند. در نوعی عنکبوت به نام بیوه‌ی سیاه، عنکبوت نر پس از جفت‌گیری وارد دهان عنکبوت ماده می‌شود و عنکبوت ماده آن را می‌خورد. علت وجود چنین رفتارهای فداکارانه (برخلاف شیرهای افریقایی) چیست؟ برای این که صفتی به نسل بعد انتقال یابد، ژن مربوط به آن باید منتقل شود. بسیاری از ژن‌های افراد خویشاوند مشترک است. هر فرد نیمی از ژن‌های خود را از مادر و نیم دیگر را از پدر دریافت می‌کند و بنابراین با هر یک از والدین در ۵۰ درصد از ژن‌های خود مشترک است. هم‌چنین فرزندان نیز تعدادی از ژن‌ها را کاملاً یکسان دریافت می‌کنند. بر این اساس در رفتارهای فداکارانه (زنبورهای عسل) به جای این که ژن‌های خود فرد مستقیماً به نسل بعد منتقل شود، جانور به افراد خویشاوند خود کمک می‌کند تا زاده‌های بیش‌تری به وجود آورند و از این طریق ژن‌های مشترک آن‌ها بیش‌تر به نسل بعد منتقل می‌شود. در مثال عنکبوت بیوه‌ی سیاه، عنکبوت ماده با تغذیه از عنکبوت نر، انرژی لازم برای پرورش تخم‌ها را به دست می‌آورد و این درحالی است که ژن‌های عنکبوت نر نیز به نسل بعد منتقل شده است.

در واقع هر رفتار جانور که به نظر می‌رسد انجام آن به نفع دیگر افراد است، به طور مستقیم یا غیرمستقیم بقای ژن‌های خود فرد را تضمین می‌کند.

### بیش تر بدانید



رفتار جانوران نیز مانند سایر صفات طی فرآیند تغییر گونه تغییر کرده‌اند؛ اما رفتارها مانند صفات ظاهری (مثل شکل جمجمه) فسیلی از خود به جای نگذاشته‌اند. بنابراین تنها راه بی‌بردن به تغییر رفتارهای جانوری در طی تغییر گونه‌ها، بررسی یک رفتار خاص در گونه‌های نزدیک به هم با جد مشترک است. در گونه‌ای پشه، پشه‌ی نر قبل از جفت‌گیری، یک گلوله‌ی ابریشمی به ماده می‌دهد. این رفتار چه اهمیتی دارد؟ در برخی گونه‌های نزدیک به این گونه گاهی مواقع، حشره‌ی ماده هنگام جفت‌گیری به حشره‌ی نر حمله می‌کند و آن را می‌خورد. در بعضی گونه‌های جدیدتر، پشه‌ی نر حشره‌ای را شکار می‌کند و برای حشره‌ی ماده می‌آورد تا هنگامی که او مشغول خوردن حشره است، با او جفت‌گیری کند. در بعضی گونه‌های دیگر حشره‌ی نر، شکار خود را درون پیله‌ای ابریشمی می‌پیچد، به این ترتیب حشره‌ی ماده وقت بیشتری را برای خوردن غذا صرف خواهد کرد و در نتیجه حشره‌ی نر فرصت بیشتری خواهد داشت. در جدیدترین گونه‌های این حشرات، حشره‌ی نر فقط بخش کوچکی از حشره را با ابریشم بسته‌بندی می‌کند و گاهی فقط یک گلوله‌ی ابریشمی خالی را به حشره‌ی ماده می‌دهد. در این حالت حشره‌ی نر بدون صرف هزینه‌ی بیشتری با حشره‌ی ماده جفت‌گیری می‌کند و در ضمن از خورده شدن نیز در امان می‌ماند.

### خودآزمایی



- ۱- نقش انتخاب طبیعی در بروز رفتار چیست؟
- ۲- رفتار شیر جوان را براساس فرضیه‌ی انتخاب فرد توضیح دهید.

## ۳ رفتارهای جانوری

جانوران رفتارهای متنوعی از خود نشان می‌دهند.

سریع‌ترین راه برقراری ارتباط بین جانور و محیط پیرامونش رفتارهایی است که جانور از خود نشان می‌دهد. محیطی که جانور در آن زندگی می‌کند، بسیار پیچیده و متشکل از عوامل مختلفی است؛ به همین دلیل بیش‌تر جانوران رفتارهای متفاوتی را متناسب با موقعیت‌های خاص از خود نشان می‌دهند. مثلاً سنجاب وقتی فندقی را پیدا می‌کند برای زیر خاک کردن آن زمین را می‌کند؛ اما وقتی یک مار را می‌بیند، رفتار متفاوتی از خود بروز می‌دهد. در این هنگام برای یافتن یک پناهگاه می‌دود. در چنین موقعیتی کندن زمین به فرار او از مار کمک نمی‌کند.

افراد نوعی گاو وحشی که در قطب زندگی می‌کنند، رفتار دفاعی خاصی از خود نشان می‌دهند. این گاوها با دیدن شکارچی‌ها – که معمولاً گرگ هستند – حلقه‌ای دفاعی به دور جوان‌ترها تشکیل می‌دهند. این رفتار مشارکتی و گروهی مانع از حمله‌ی موفقیت‌آمیز شکارچی‌ها می‌شود (شکل ۹-۷).



شکل ۹-۷- حلقه‌ی دفاعی. این گاوها پس از احساس خطر، برای حمایت از بچه‌های خود حلقه‌ی دفاعی تشکیل داده‌اند.

اگرچه رفتارهای جانوری به شکل‌های متفاوتی بروز می‌کنند، اما همه‌ی آن‌ها در جهت کاهش هزینه‌های مصرفی و افزایش سود خالص، انتخاب شده‌اند. جانوری که اقتصادی‌تر و بهینه‌تر عمل

کند، نسبت به جانوری که انرژی خود را هدر می‌دهد، در حفظ بقای خود موفقیت بیشتری دارد. رفتارشناسان رفتارهای متنوع جانوران را براساس نقشی که در زندگی جانور دارند و هدفی که دنبال می‌کنند به چند دسته تقسیم می‌کنند. مثال‌هایی از این رفتارها را در شکل ۱-۷ مشاهده می‌کنید.

دفاع	جفت‌گیری	مراقبت از فرزندان
<p>حفاظت در برابر شکارچی‌ها</p>  <p>این مار هنگام خطر، به پشت می‌افتد و حالت یک مار مرده را به خود می‌گیرد.</p>	<p>جلب جفت</p>  <p>در فصل جفت‌گیری در پشت ماهی‌خاردار رنگ درخشانی ظاهر می‌شود. این ماهی برای جلب جفت لانه‌ی بزرگی می‌سازد.</p>	<p>اطمینان از بقای فرزندان</p>  <p>این سینه‌سرخ به جوجه‌های خود حشره می‌خوراند.</p>
تعیین قلمرو	مهاجرت	تغذیه
<p>حفاظت از منابع و جلوگیری از استفاده‌ی دیگران از این منابع</p>  <p>این چیتای جوان با چنگ انداختن روی تنه‌ی درختان و برجای گذاشتن بوی خود، مرزهای قلمرو خود را تعیین می‌کند.</p>	<p>مهاجرت</p>  <p>پروانه‌های مونارک هزاران کیلومتر را از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر مهاجرت می‌کنند.</p>	<p>تغذیه</p>  <p>ذخیره، جمع‌آوری و مصرف غذا</p> <p>راکون در رودخانه‌ها و آبگیرها به جست‌وجوی ماهی، قورباغه و خرچنگ می‌پردازد.</p>

شکل ۱-۷

همه‌ی این رفتارها به هدف موفقیت در حفظ بقا و تولیدمثل انجام می‌گیرند. در این جا به بررسی بعضی از این رفتارها می‌پردازیم.

رفتار غذایابی: جانوران را براساس انواع غذایی که مصرف می‌کنند، در دو گروه عمده جای می‌دهند. گروهی از جانوران منحصراً از یک نوع غذا استفاده می‌کنند. بعضی از گونه‌های مورچه فقط

تخم عنکبوت می‌خورند، بعضی از حشره‌ها برگ گیاهان را می‌خورند. در عوض گروهی دیگر که همه چیز خوار نامیده می‌شوند به یک نوع غذا بسنده نمی‌کنند. این جانوران در واقع نمی‌توانند نیازهای غذایی خود را از یک منبع غذایی تأمین کنند. گروهی که منحصراً از یک نوع غذا استفاده می‌کنند، هنگامی که یک نوع منبع غذایی فراوان‌تر است، موفق‌ترند؛ اما هنگامی که هیچ‌یک از منابع غذایی فراوان‌تر نباشد، همه چیزخوارها غذای بیش‌تری برای خوردن پیدا می‌کنند؛ زیرا این امتیاز را دارند که می‌توانند از منابع غذایی بیش‌تری استفاده کنند.

برای جانوران شکارچی اندازه‌ی غذا مهم است. طعمه‌های بزرگ‌تر، انرژی بیش‌تری دارند؛ اما شکار این طعمه‌ها سخت‌تر است و معمولاً کم‌تر یافت می‌شوند. بنابراین غذایی بستگی به موازنه‌ی بین محتوای انرژی غذا و سهل‌الوصول بودن آن دارد. جانوران تمایل دارند که بیش‌ترین انرژی را به‌ازای کم‌ترین زمان، به‌دست آورند. این رویکرد، غذاییابی بهینه نامیده می‌شود. اگرچه انتخاب طبیعی در جهت شکل‌گیری این نوع غذاییابی بوده است اما به هر حال باید توجه داشت که بعضی مواقع جانوران غذاهایی را می‌خورند که انرژی کم‌تری دارند؛ زیرا آن‌ها مواد غذایی مهمی دارند. از طرفی محل منبع غذایی نیز مهم است. جانوران برای یافتن غذا به محل‌هایی می‌روند که احتمال خطر روبه‌رو شدن با شکارچی کم‌تر باشد (حفظ بقا).

### بیش‌تر بدانید



مهاجرت وال‌ها، پرندگان، پروانه‌ها، خفاش‌ها و دیگر جانوران، مثال‌های جالبی از رفتار جانوران هستند. بعضی از جانوران هر سال هزاران کیلومتر فاصله را بین دو مکان مشخص طی می‌کنند. زیست‌شناسان برای دنبال کردن جانوران در مسیرهای مهاجرت از ماهواره‌ها استفاده می‌کنند. یک فرستنده‌ی کوچک که دارای مدار الکترونیکی، یک باتری و یک آنتن است به جانور وصل می‌شود. ماهواره‌ها علائم رادیویی فرستنده را می‌گیرند، تقویت می‌کنند و به یک پایگاه اطلاعاتی روی زمین می‌فرستند. کامپیوتری که در این پایگاه اطلاعاتی وجود دارد با تجزیه و تحلیل این اطلاعات، موقعیت جانور را تعیین می‌کند. زیست‌شناسان و از جمله رفتارشناسان اطلاعات مربوط به جانوران مورد علاقه‌ی خود و مسیر مهاجرت آن‌ها را از این پایگاه و از طریق اینترنت جمع‌آوری می‌کنند.

### خودآزمایی



- ۱- رفتارهای جانوری متفاوت برای چه هدفی انجام می‌شوند؟
- ۲- غذاییابی بهینه را تعریف کنید.

## ۴ ارتباط جانوران با هم دیگر

جانوران با راه‌های متفاوتی با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

معمولاً هر جانور، نه تنها با افراد هم‌گونه‌ی خود ارتباط دارد، بلکه به دلایل مختلف و در موقعیت‌های متفاوت با جانوران گونه‌های دیگر نیز ارتباط برقرار می‌کند. جانوران در این ارتباط‌ها از علائم متفاوتی مانند صدا، رنگ، بو، حرکت و حالت چهره و بدن استفاده می‌کنند. گرچه این علائم متفاوت هستند، اما همه‌ی آن‌ها در دو ویژگی مشترکند: باید به گیرنده‌ی خود برسند و پاسخ لازم را ایجاد کنند. به عبارتی یک علامت باید بتواند از فرستنده به گیرنده منتقل شود و برای گیرنده قابل تشخیص باشد، در غیر این صورت، تأثیری روی رفتار جانور مقابل نخواهد داشت. به همین دلیل نظام خلقت با مکانیسم انتخاب طبیعی متناسب با هر گونه و موقعیت‌هایی که جانور در آن قرار می‌گیرد، این علائم را انتخاب کرده است. مثلاً برای قورباغه‌ی نر، صدای بلند در فصل تولیدمثل بهترین راه برقراری ارتباط است؛ زیرا این صدا در شب به دورترین قورباغه‌های ماده نیز می‌رسد. بدیهی است که در این مثال علائم بینایی مانند رنگ، حرکت و یا حالت بدن برای جلب توجه جفت کارآمد و مناسب نیستند.

ارتباط با کمک مواد شیمیایی یکی از ابتدایی‌ترین راه‌هاست. در بعضی از جانوران، مواد شیمیایی به نام فرومون ترشح می‌شود که بر رفتار سایر افراد گونه، اثر می‌گذارد. در پروانه‌های شب پرواز، فرومون‌های جنسی سبب جلب جنس مخالف از فاصله‌های بسیار دور می‌شوند؛ اما نقش فرومون‌ها در جانوران پیشرفته‌تر مثل نخستی‌ها کم‌رنگ شده است. نخستی‌ها بیش‌تر از طریق علائم

صوتی با هم‌دیگر ارتباط برقرار می‌کنند. بسیاری از نخستی‌ها علائم صوتی ویژه‌ای برای آگاه کردن افراد دیگر از وجود شکارچی‌هایی مانند: عقاب، مار و پلنگ دارند (شکل ۱۱-۷). شمپانزه‌ها و گوریل‌ها می‌توانند تعدادی



شکل ۱۱-۷. ارتباط بین نخستی‌ها. این

میمون با جیغ کشیدن، علائمی را به دیگر

میمون‌ها می‌فرستد.

نماد صوتی را برای تبادل مفاهیم ساده و کوتاه یاد بگیرند و از آن‌ها استفاده کنند؛ اما نمی‌توانند این نمادها را در ایجاد یک جمله‌ی جدید و با معنای متفاوت به کار برند.

بیش تر بدانید



## آیا ماهی‌ها صدا دارند؟

محققان دریافته‌اند که ماهی‌ها نیز صدا دارند گرچه ما نمی‌توانیم آن‌ها را بشنویم. نوعی ماهی هنگام دیدن شکارچی، با تولید صدا، دیگران را آگاه می‌کند.

### انتخاب جفت به همراه رفتارهای زیادی است.

جانوران در فصل تولیدمثل برای ارتباط با جفت، علائم خاصی از خود بروز می‌دهند. معمولاً علائم جفت‌یابی هرگونه، خاص همان گونه است؛ بنابراین افراد یک گونه با افرادی از گونه‌های دیگر جفت‌گیری نخواهند کرد. مثلاً هر یک از گونه‌های کرم شب‌تاب، الگوی تابش خاص خود را دارند و کرم شب‌تاب ماده، نرهای گونه‌ی خود را براساس تعداد تابش‌های آن‌ها شناسایی می‌کند و به نری که الگوی تابشی متفاوتی دارد، توجهی نمی‌کند. بسیاری از حشرات، دوزیستان و پرندگان صداها و یا آوازهای ویژه‌ای برای جلب جفت تولید می‌کنند.

جانوران راهبردهای تولیدمثلی متفاوتی در فصل تولیدمثل دارند. مهم‌ترین عامل در تعیین این راهبردها هزینه‌ای است که والدین برای تولیدمثل و نگهداری از فرزندان باید بپردازند. مثلاً تولیدمثل در پرندگان پرهزینه است. آن‌ها باید آشیانه بسازند، و روی تخم‌های خود بخوابند و جوجه‌ها را بعد از بیرون آمدن از تخم مرتب غذا بدهند. معمولاً یک پرندۀ نمی‌تواند به‌تنهایی تمام این کارها را انجام دهد، به همین دلیل همکاری دو والد برای نگهداری و مراقبت از جوجه‌ها لازم است. بر این اساس بیش‌تر پرندگان نر سیستم تک‌همسری دارند. در پستانداران بیش‌تر هزینه‌های لازم برای پرورش نوزادان برعهده‌ی والد ماده است. پرورش جنین و تغذیه‌ی او پس از تولد را والد ماده انجام می‌دهد و والد نر نقش کم‌تری دارد. به همین دلیل در پستانداران نرها سیستم چندهمسری دارند.

**انتخاب جفت:** همان‌طور که دیدیم والد ماده، انرژی بیش‌تری برای تولیدمثل صرف می‌کند و محدودیت بیش‌تری در تولیدمثل دارد؛ بنابراین منطقی است که جانور ماده در انتخاب جفت دقت داشته باشد و بهترین جفت ممکن را برای خود انتخاب کند تا انرژی را که صرف می‌کند، به هدر نرود.



بنابراین معمولاً این افراد ماده هستند که جفت خود را انتخاب می‌کنند و با هر نری جفت‌گیری نمی‌کنند. به بیانی دیگر ماده‌ها ابتدا نرها را ارزیابی می‌کنند. این رفتار که انتخاب جفت گفته می‌شود در بسیاری از بی‌مهرگان و مهره‌داران مشاهده شده است. مثلاً قورباغه‌ی ماده در میان نرهایی که می‌خوانند، گردش می‌کند. او وقتی در کنار یک نر می‌نشیند چند دقیقه‌ای به صدایش گوش می‌دهد، سپس به سمت قورباغه‌ی دیگر می‌رود و به صدایش گوش می‌دهد. قورباغه‌ی ماده ممکن است قبل از انتخاب جفت چند بار این کار را تکرار کند و در نهایت جفت خود را انتخاب می‌کند.

**ماده‌ها براساس چه خصوصیتی جفت خود را انتخاب می‌کنند؟** داروین بیش از یک قرن قبل در تلاش به پاسخگویی به این سؤال موفق به کشف مهمی در مورد تغییر گونه‌ها شد. داروین متوجه شد که نرها اغلب خصوصیات چشمگیری دارند که نقش مهمی در رفتار جفت‌گیری دارند. مثلاً پرنده‌ی نر مرغ جولا در فصل تولیدمثلی دارای دم بلندی می‌شود که اندازه‌ی آن حدود ۵ برابر دم ماده‌هاست (شکل ۱۲-۷).



شکل ۱۲-۷- مرغ جولا. دم پرنده‌ی نر در فصل جفت‌گیری گاهی تا بیش از ۳ برابر طول بدن او می‌شود. در مواقع دیگر از سال اندازه‌ی دم نر همانند اندازه‌ی دم ماده است.

چرا چنین تفاوت‌هایی بین نرها و ماده‌ها ایجاد شده است؟ دم بلند پرنده‌ی نر برای بقای جانور الزامی نیست. استدلال داروین این بود که خصوصیات چشم‌گیر نرها به این دلیل پدید آمده‌اند که به نرها در جلب توجه ماده‌ها و به‌دست آوردن جفت کمک می‌کند و به این دلیل که این صفات احتمال تولیدمثل را افزایش می‌دهند، در طی تغییر گونه‌ها انتخاب شده‌اند؛ اگرچه در بعضی مواقع وجود این

صفات، احتمال بقای جانور را کاهش می دهند و برای جانور پرهزینه اند. از طرفی چون این صفات احتمال جفت گیری را افزایش می دهند موجب می شوند که جانور نتواند ژن های خود را به نسل بعد هم منتقل کند و از این راه هزینه ای که صرف شده است، جبران می شود و اثر منفی این صفات به دلیل افزایش احتمال تولیدمثل جبران می شود. این فرآیند که بر اثر آن یک صفت به خاطر افزایش احتمال تولیدمثل انتخاب می شود، انتخاب جنسی نامیده می شود.

ماده ها معمولاً جفت خود را بر اساس خصوصیات فیزیکی انتخاب می کنند. به همین دلیل آن ها نرهایی را ترجیح می دهند که دارای صفات چشمگیر هستند. همان طور که گفته شد، صفات چشمگیر، صفات هزینه بری هستند، بنابراین نری که دارای چنین صفاتی است، ژن های مفید دیگری نیز دارد که توانایی پرداخت این هزینه های اضافی را به او می دهد.

نرها برای جفت گیری با ماده ها با هم رقابت می کنند. وجود صفات چشمگیر مثل شاخ در قوچ، انشعابات شاخ در گوزن و یال شیر نه تنها در جلب نظر ماده ها مؤثراند، بلکه در کاهش رقابت بین نرها نیز نقش دارند (شکل ۱۳-۷). نرهایی که صفات فیزیکی برتری ندارند، کم تر خود را درگیر نزاع های جدی می کنند. به همین دلیل صفات چشمگیر در واقع موجب کاهش نزاع بین نرها می شوند.



شکل ۱۳-۷- این قوچ ها برای اثبات برتری خود با هم می جنگند.

## فعالیت



۱- محقق انتخاب جنسی را در مرغ های جولا مطالعه کرد. این محقق چند پرندگی نر را می گیرد و قسمتی از دم آن ها را قیچی می کند و بعد آن ها را رها می کند. اطلاعات جمع آوری شده،

نشان داد که تعداد نرهای با دم کوتاه که با ماده‌ها جفت‌گیری کردند نصف نرهای است که دم بلند دارند. این محقق نتیجه گرفت که پرده‌های جولای ماده، نرهای را ترجیح می‌دهند که دم درازتری دارند. چه تفسیر دیگری می‌شود برای این مشاهده ارائه داد؟ این محقق با چه آزمایش‌هایی می‌تواند درستی هر یک از این تفسیرها را بررسی کند؟

۲- با رسم یک نقشه‌ی مفهومی رفتار جانوری را شرح دهید. در رسم نقشه از این کلمه‌ها استفاده کنید:

رفتار، محرک، رفتار ذاتی، الگوی عمل ثابت، یادگیری، شرطی شدن، حل مسئله، نقش‌پذیری، انتخاب جنسی.

## خودآزمایی

۱- علایم چه نقشی در ارتباط جانوران دارند؟

۲- وجود سیستم تک‌همسری و یا چندهمسری در جانوران به چه عواملی بستگی دارد؟ توضیح دهید.

۳- چرا ماده‌ها در فصل جفت‌گیری به خصوصیات چشمگیر توجه دارند؟

۴- مکانیسم انتخاب طبیعی را به‌طور خلاصه بیان کنید و بگویید چرا رفتارهای تولیدمثلی و حفظ بقا دقیقاً به اندازه‌ی خصوصیات فیزیکی ظاهری، اهمیت دارند؟

۵- مکانیسم انتخاب جنسی چگونه موجب بروز صفت‌های چشمگیر در نرهای بعضی گونه‌ها شده است؟

۶- در بسیاری از گونه‌های پرندگان، نرها رنگ‌های درخشان‌تر و پرهای زینتی بیش‌تری از پرده‌های ماده دارند. اهمیت این موضوع را با توجه به انتخاب جنسی و تغییر گونه‌ها توضیح دهید.

۷- عملکرد هر یک از شش رفتار جانوری را شرح دهید.

۸- هر یک از دو مفهوم زیر چه تفاوتی با هم دارند؟

الف) پرسش چرایی و چگونه‌ای.

ب) رفتار غریزی، رفتار حاصل از یادگیری.

ج) شرطی شدن کلاسیک، شرطی شدن فعال

۹- هر یک از مثال‌های زیر نشان‌دهنده‌ی چه نوع رفتاری هستند؟

الف) ساختن تار عنکبوت

ب) آشیانه‌سازی

۱۰- توانایی تجزیه و تحلیل یک مشکل و سعی در یافتن راه‌حل ممکن چه نامیده می‌شود؟

بخش سوم

گوناگونی مسیرهای زندگی



## شارش انرژی در جانداران

چند برگ درخت ممکن است به نظر شما چندان خوشمزه نباشند، اما غذای عمده‌ی این گوزن برگ است. همه‌ی جانداران برای ادامه‌ی زندگی به انرژی نیاز دارند.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- پیوندهای شیمیایی مولکول‌ها را شرح دهید،
- ترازهای انرژی را در یک اتم یا مولکول تعریف کنید،
- ویژگی‌های مواد آلی را نام ببرید،
- میتوکندری و کلروپلاست را با یک‌دیگر مقایسه کنید،
- انواع انتقال (ترابری) را از غشای سلولی بیان کنید.

# ۱ انرژی و جانداران

## انرژی بین جانداران جریان دارد.

در نظام خلقت جانداران تقریباً همه‌ی انرژی مورد نیاز خود را، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، از خورشید به‌دست می‌آورند (شکل ۱-۸). گیاهان، جلبک‌ها و بعضی باکتری‌ها نور خورشید را جذب و از آن برای ساخت ترکیب‌های آلی استفاده می‌کنند. انرژی خورشید در این ترکیب‌ها به شکل انرژی شیمیایی ذخیره می‌شود. این ترکیب‌ها به مصرف‌غذای دیگر موجودات زنده می‌رسد.



- |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ۱- گیاهان انرژی نوری را  | ۲- جانوران گیاه‌خوار     | ۳- جانوران گوشت‌خوار با  |
| به انرژی شیمیایی تبدیل   | انرژی را با خوردن گیاهان | خوردن گیاه‌خواران انرژی  |
| می‌کنند و سپس از بخشی از | به‌دست می‌آورند.         | لازم را به‌دست می‌آورند. |
| آن برای تنفس سلولی       |                          |                          |
| استفاده می‌کنند.         |                          |                          |

شکل ۱-۸- شارش انرژی. انرژی از نور خورشید به اتوتروف‌ها و از آن‌ها به هتروتروف‌ها منتقل می‌شود.

ساخت مولکول‌های ذخیره‌کننده‌ی انرژی: متابولیسم مجموعه‌ای از فرآیندهای شیمیایی است که در بیش‌تر آن‌ها با صرف انرژی، مولکول‌هایی جدید ساخته می‌شود و در بعضی از آن‌ها مولکول‌ها شکسته می‌شوند و انرژی ذخیره شده در آن‌ها آزاد می‌شود. فتوسنتز فرآیندی است که

طی آن با استفاده از انرژی نور خورشید، مولکول‌های آلی ساخته می‌شود. جاندارانی را که از انرژی نور خورشید یا انرژی موجود در مواد معدنی برای ساخت ترکیبات آلی استفاده می‌کنند، اتوتروف<sup>۱</sup> می‌نامند. بیش‌تر اتوتروف‌ها فتوسنتزکننده‌اند (گیاهان). انواعی از باکتری‌ها از انرژی مواد معدنی، برای ساخت مواد آلی استفاده می‌کنند. باکتری‌هایی که در اعماق اقیانوس‌ها و مجاور دهانه‌ی آتشفشان‌ها زندگی می‌کنند، همیشه در تاریکی هستند، زیرا نور خورشید به این اعماق نمی‌رسد؛ این باکتری‌ها انرژی لازم برای ساخت مولکول‌های آلی را از مواد معدنی خارج شده از دهانه‌ی آتشفشان‌ها، به‌دست می‌آورند.

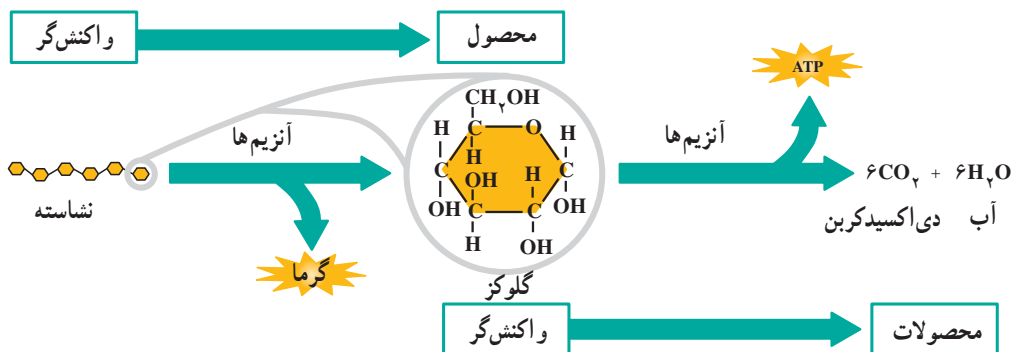
**تجزیه‌ی غذا برای کسب انرژی:** انرژی شیمیایی موجود در ترکیب‌های آلی، از یک ترکیب به دیگر ترکیب‌های آلی، یا به جاندارانی که از این ترکیب‌ها تغذیه می‌کنند، منتقل می‌شود. جاندارانی که انرژی مورد نیاز خود را به‌جای این که از خورشید یا مواد معدنی به‌دست آورند، از مواد غذایی می‌گیرند، هتروتروف<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند. انسان و دیگر جانوران انرژی مورد نیاز خود را با فرآیندی به‌نام تنفس سلولی از مواد غذایی به‌دست می‌آورند. تنفس سلولی فرآیندی مشابه سوختن چوب، یا سایر سوخت‌هاست که درون سلول‌های زنده انجام می‌شود.

اگرچه در یک نگاه کلی، سوختن غذاها در سلول با سوختن چوب مشابه است، اما این دو فرآیند به‌گونه‌ای متفاوت انجام می‌گیرند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، هنگام سوختن چوب انرژی ذخیره شده در آن به‌طور سریع و به شکل گرما و نور آزاد می‌شود؛ اما انرژی شیمیایی ذخیره شده در مولکول‌های مواد غذایی طی زنجیره‌ای از واکنش‌های آنتیمی به‌تدریج آزاد می‌شود. در این واکنش‌ها، محصول واکنش قبلی، واکنش بعدی را به راه می‌اندازد (شکل ۲-۸). وقتی مولکول‌های مواد غذایی در سلول‌ها شکسته می‌شوند، مقداری از انرژی آن‌ها به شکل گرما آزاد می‌شود؛ اما بخش دیگر انرژی آن‌ها به شکل مولکول‌های ATP ذخیره می‌شود. ATP شکل ارزشمند و رایج انرژی درون سلول‌هاست و انرژی را به هر جایی از سلول که لازم باشد، می‌رساند. از انرژی حاصل از ATP برای انجام واکنش‌های شیمیایی دیگر، مانند واکنش‌هایی که طی آن‌ها مولکول‌های مورد نیاز سلول‌ها ساخته می‌شوند، نیز استفاده می‌شود.

**ذخیره و آزادسازی انرژی توسط ATP:** به یاد دارید که ATP (آدنوزین تری فسفات) نوکلئوتیدی است که دو گروه فسفات به آن اضافه شده است. در مولکول ATP، سه گروه فسفات زنجیره‌ای تشکیل می‌دهند که به قند پنج کربنی ریبوز وصل می‌شود (شکل ۳-۸). این دنباله‌ی

<sup>۱</sup>- autotroph

<sup>۲</sup>- heterotroph



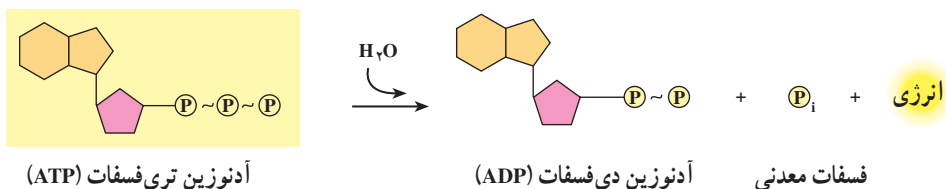
شکل ۲-۸- تجزیه‌ی نشاسته. انرژی ذخیره شده در نشاسته با انجام تعدادی واکنش آنزیمی آزاد می‌شود.

فسفاتی ناپایدار است، زیرا گروه‌های فسفات بار منفی دارند و بنابراین هم‌دیگر را دفع می‌کنند. انرژی در پیوندهای بین گروه‌های فسفات ذخیره شده است. هنگام شکستن پیوند بین دو گروه فسفات این انرژی آزاد می‌شود.

شکستن پیوند خارجی‌ترین گروه فسفات نیاز به مقداری انرژی دارد؛ اما انرژی آزاد شده از این واکنش بسیار بیش‌تر از انرژی مصرفی است. پس از برداشت یک گروه فسفات از ATP، این مولکول به آدنوزین دی فسفات یا ADP تبدیل می‌شود (شکل ۳-۸). این واکنش انرژی را به گونه‌ای که برای سلول قابل استفاده باشد، آزاد می‌کند. این واکنش به شکل معادله‌ی زیر خلاصه می‌شود:



سلول‌ها از این انرژی برای متابولیسم استفاده می‌کنند. در بعضی از واکنش‌ها به‌جای یک گروه فسفات دو گروه فسفات از ATP جدا می‌شود. این واکنش برگشت‌ناپذیر است زیرا پیوند بین دو گروه فسفات که از ATP جدا شده‌اند، سریعاً شکسته می‌شود و دو گروه فسفات جدا می‌شوند. ادامه‌ی این بخش خواهید دید که چگونه ATP در هتروتروف‌ها و اتوتروف‌ها تولید می‌شود.



شکل ۳-۸- آزاد شدن انرژی از ATP



## خودآزمایی



- ۱- متابولیسم اتوتروفها را با متابولیسم هتروتروفها مقایسه کنید.
- ۲- چگونگی آزاد شدن انرژی از ATP را شرح دهید.

فتوسنتزکنندگان از انرژی نور خورشید استفاده می‌کنند.

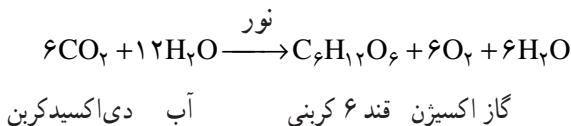
گیاهان، جلبک‌ها و بعضی باکتری‌ها حدود یک درصد از انرژی نور خورشید را که به زمین می‌رسد، به دام می‌اندازند و آن را در فرآیند فتوسنتز به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند. در نگاهی کلی، فتوسنتز سه مرحله‌ی اصلی دارد (شکل ۴-۸-ب):

مرحله‌ی ۱: انرژی نور خورشید به دام می‌افتد.

مرحله‌ی ۲: انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود و به‌طور موقت در  $ATP^*$  و  $NADPH^*$  ذخیره می‌شود.

مرحله‌ی ۳: انرژی شیمیایی ذخیره شده در  $ATP$  و  $NADPH$  تشکیل ترکیب‌های آلی را از  $CO_2$  ممکن می‌سازد.

محل انجام فتوسنتز در سلول‌های گیاهی و جلبک‌ها در کلروپلاست (شکل ۴-۸-الف) و در باکتری‌های فتوسنتزکننده، غشای سلولی است. خلاصه‌ی فرآیند فتوسنتز به شکل موازنه‌ی زیر است:



این موازنه چیزی از چگونگی فرآیند و رخداد فتوسنتز نشان نمی‌دهد، بلکه صرفاً نشان می‌دهد که چه موادی مصرف و چه موادی تولید می‌شوند. گیاهان از ترکیب‌های حاصل از فتوسنتز برای انجام فرآیندهای حیاتی خود استفاده می‌کنند. مثلاً بعضی از این قندها برای ساخت ترکیب‌های دیواره‌ی سلولی و بعضی برای ساخت نشاسته مصرف می‌شوند. گیاه در صورت نیاز، نشاسته‌ی ذخیره شده در ساقه، یا ریشه را تجزیه و از آن برای ساخت  $ATP$  مورد نیاز متابولیسم سلولی، استفاده می‌کند. همه‌ی پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و دیگر مولکول‌هایی که در سلول هستند، حاصل تجمع

\* آدنوزین تری فسفات

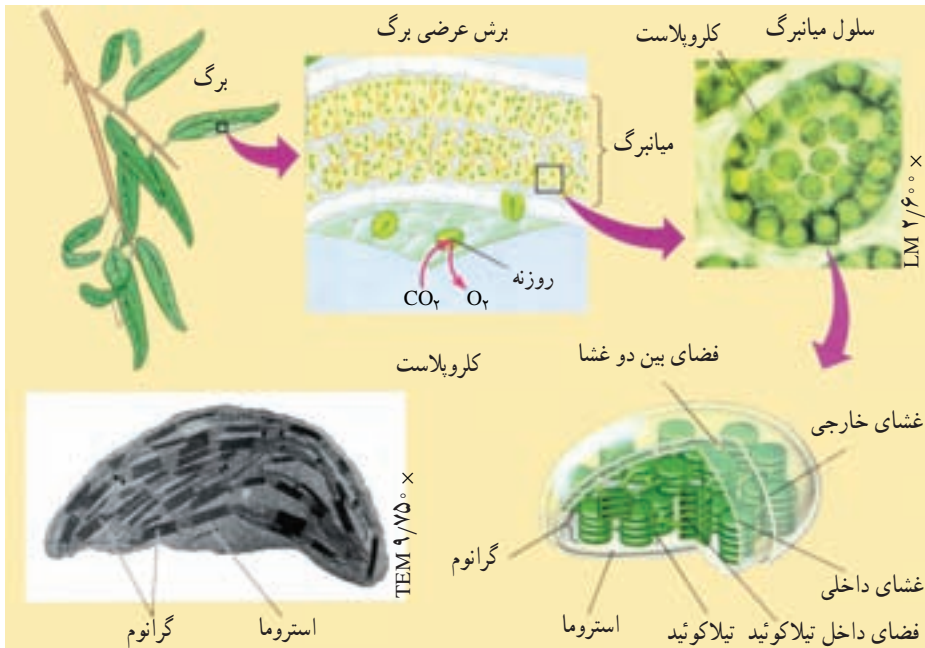
\*\* نیکوتین آمید آدين دی‌نوکلئوتید فسفات

و تغییر بخش‌هایی از قندهای ساخته شده در گیاه هستند.

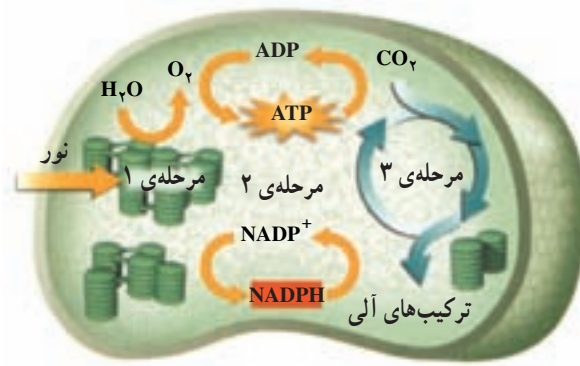
بیش‌تر بدانید



به موازنه‌ی فتوسنتز دقت کنید. اکسیژنی که در فتوسنتز تولید می‌شود از شکستن مولکول آب حاصل می‌شود یا  $CO_2$ ؟ تا مدت‌ها دانشمندان تصور می‌کردند که اکسیژنی که در فتوسنتز آزاد می‌شود، از تجزیه‌ی دی‌اکسیدکربن به‌وجود می‌آید. گروهی از دانشمندان با انجام فتوسنتز در جلبک تک‌سلولی کلرلا، با استفاده از دی‌اکسیدکربن نشاندار شده با ایزوتوپ رادیواکتیو اکسیژن، مشخص کردند که اکسیژن تولیدی در فتوسنتز از تجزیه‌ی مولکول‌های آب حاصل می‌شود و نه دی‌اکسیدکربن. زیرا اتم‌های تشکیل‌دهنده‌ی گاز اکسیژن تولید شده در این آزمایش، نشاندار نبودند.



شکل ۴-۸-الف - موقعیت و ساختار کلروپلاست‌ها



شکل ۴-۸-ب - فتوسنتز - فرآیند فتوسنتز در ۳ مرحله انجام می‌شود.

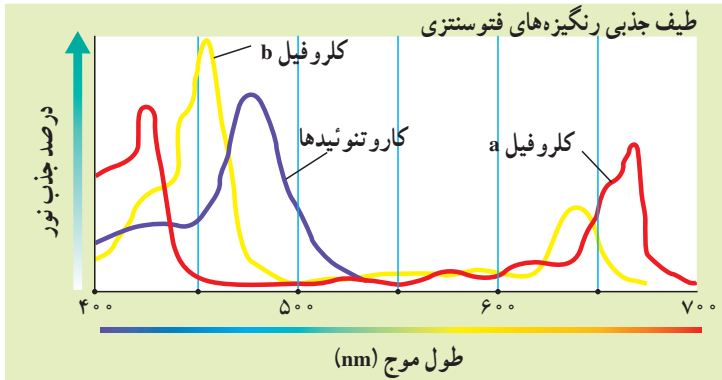
### انرژی نوری در مرحله ۱ جذب می‌شود.

واکنش‌هایی که در مراحل ۱ و ۲ رخ می‌دهند، واکنش‌های نوری یا واکنش‌های وابسته به نور نامیده می‌شوند. این واکنش‌ها بدون نور انجام نمی‌شوند. پرتوهای نور خورشید از طول موج‌های مختلفی تشکیل شده‌اند. ما فقط قادر به دیدن طول موج‌های مرئی نور خورشید هستیم (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸ - طیف نور مرئی. نور خورشید همه‌ی طول موج‌های مرئی را دارد. اگر نور خورشید را از منشور عبور دهیم، به رنگ‌های مختلف تجزیه می‌شود.

رنگیزه‌ها طول موج‌های مختلف نور را جذب می‌کنند: چگونه چشم انسان و یا یک برگ، نور را جذب می‌کنند؟ این ساختارها موادی دارند که نور را جذب می‌کنند. به این مواد رنگیزه گفته می‌شود. رنگیزه‌ها بعضی از طول موج‌ها را جذب و بعضی دیگر را منعکس می‌کنند. کلروفیل که اولین رنگیزه‌ی مؤثر در فتوسنتز است، بخش اعظم نور آبی و قرمز را جذب و نور سبز و زرد را منعکس می‌کند. انعکاس نور سبز و زرد موجب می‌شود که گیاهان، به خصوص برگ‌های آن‌ها، سبز دیده شوند. گیاهان و جلبک‌های سبز دو نوع کلروفیل دارند: کلروفیل a و کلروفیل b. هر دو نوع کلروفیل در فتوسنتز گیاه نقش مهمی دارند. کاروتنوئیدها گروهی دیگر از رنگیزه‌ها هستند که موجب پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی در برگ‌های پاییزی، میوه‌ها و گل‌ها می‌شوند. طول موج‌هایی که کاروتنوئیدها جذب می‌کنند با طول موج‌هایی که کلروفیل‌ها جذب می‌کنند متفاوت است؛ به همین علت استفاده از این دو گروه رنگیزه موجب می‌شود تا میزان جذب انرژی نوری هنگام فتوسنتز، توسط گیاه بیش‌تر شود. در شکل ۶-۸ طیف جذبی کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها را در طول موج‌های مختلف نور مشاهده می‌کنید.



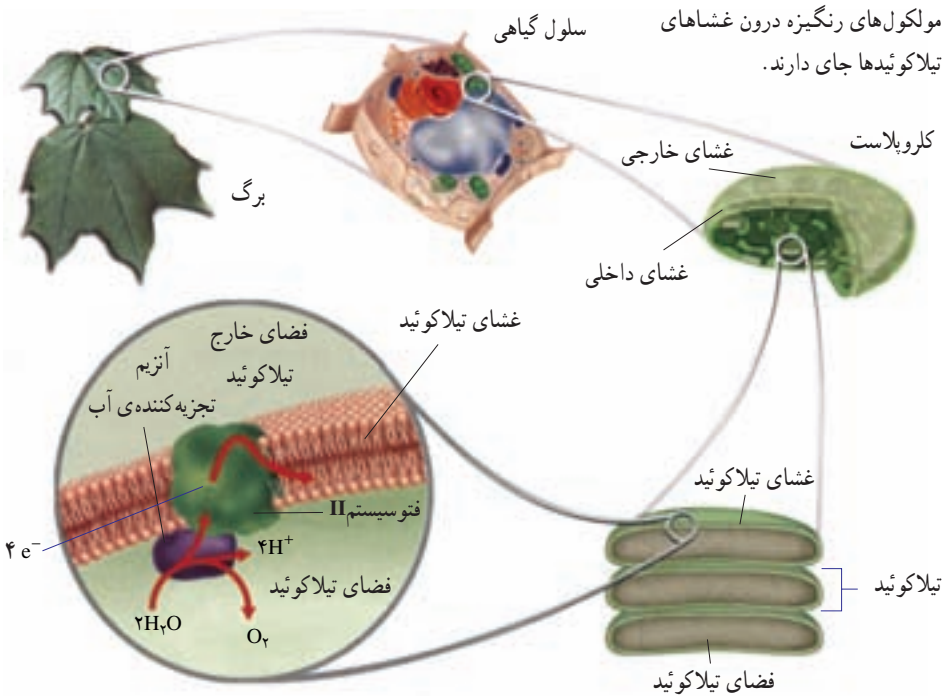
شکل ۶-۸- نور هنگام فتوسنتز جذب می‌شود. کلروفیل‌ها نور قرمز و آبی و بنفش را بیش‌تر جذب می‌کنند. درحالی که کاروتنوئیدها نور آبی و سبز را بیش‌تر جذب می‌کنند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی درون کلروپلاست قرار دارند: درون کلروپلاست ساختارهای کیسه‌ای شکل و پهنی به نام تیلاکوئید<sup>۱</sup> وجود دارند. تیلاکوئیدها در واقع ساختارهایی از جنس غشای سلولی‌اند. دسته‌های رنگیزه درون غشای تیلاکوئیدها جای گرفته‌اند (شکل ۷-۸). این

۱- Pigment

۲- Thylakoid

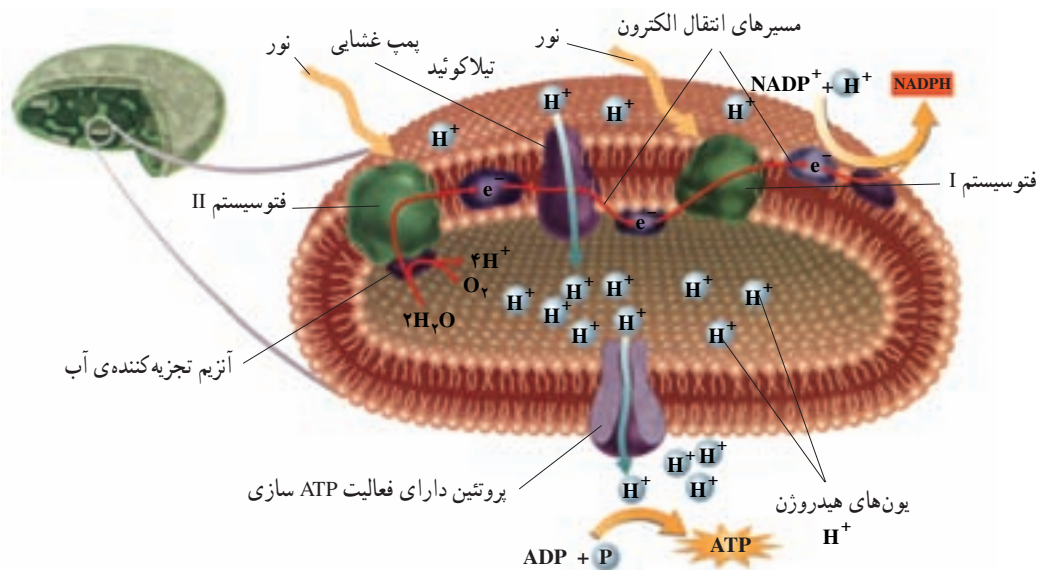
رنگیزه‌ها به همراه تعدادی پروتئین دو گروه ساختاری به نام فتوسیستم I و II را درون غشای تیلاکوئید سازمان می‌دهند. در هر فتوسیستم نوع خاصی از کلروفیل a وجود دارد. حداکثر جذب نوری کلروفیل a در فتوسیستم I،  $700$  و در فتوسیستم II،  $680$  نانومتر است؛ به همین دلیل به این کلروفیل‌ها  $P700$  و  $P680$  گفته می‌شود. مولکول‌هایی به نام حامل الکترون دو فتوسیستم را به هم وصل می‌کنند. انرژی نوری که به تیلاکوئیدها برخورد کرده است با فعالیت هم‌زمان کلروفیل‌ها و رنگیزه‌های دیگر، جذب، متمرکز و به کلروفیل‌های  $P700$  و  $P680$  منتقل می‌شود. این انرژی، الکترون‌ها را به تراز بالاتر می‌برد. چنین الکترون‌هایی را که دارای انرژی اضافی شده‌اند، الکترون‌های برانگیخته می‌نامند. الکترون‌های برانگیخته‌ی کلروفیل  $P700$  و  $P680$  فتوسیستم‌ها را ترک می‌کنند. این فتوسیستم‌ها کمبود الکترونی خود را چگونه جبران می‌کنند؟ الکترون‌هایی که فتوسیستم I از دست می‌دهد با الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم II و الکترون‌هایی که از فتوسیستم II خارج شده‌اند با الکترون‌های حاصل از تجزیه‌ی آب، جانشین می‌شوند. در واقع اتم‌های هیدروژن حاصل از تجزیه‌ی آب، الکترون‌های خود را به کلروفیل می‌دهند که نتیجه‌ی آن تشکیل یون‌های مثبت هیدروژن است. اکسیژن‌های حاصل نیز با هم ترکیب می‌شوند و گاز اکسیژن ( $O_2$ ) را تولید می‌کنند.



شکل ۷-۸- کلروپلاست درون سلول

در مرحله‌ی دوم، انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود.

الکترون‌های برانگیخته که مولکول‌های کلروفیل را ترک کرده‌اند، صرف تولید مولکول‌هایی می‌شوند که انرژی را به‌طور موقت ذخیره می‌کنند (مانند ATP). الکترون برانگیخته در غشای تیلاکوئید از یک مولکول به مولکول مجاور می‌رود، در واقع الکترون برانگیخته، گروه‌های مولکولی واقع در غشای تیلاکوئید را یکی پس از دیگری پشت سر می‌گذارد. برای درک این مطلب در نظر بگیرید به همراه چند نفر از دوستانتان در یک ردیف ایستاده‌اید و تویی را دست به دست رد می‌کنید. در این مثال توپ نقش الکترون برانگیخته و هر یک از شما نقش مولکول‌هایی را بازی می‌کند که در غشای تیلاکوئید قرار دارند و الکترون برانگیخته را دریافت می‌کنند. این مولکول‌ها در غشای تیلاکوئید، زنجیره‌های انتقال الکترون را تشکیل می‌دهند. مسیر عبور الکترون‌های برانگیخته را در زنجیره‌ی انتقال الکترون در شکل ۸-۸ مشاهده می‌کنید.



شکل ۸-۸- زنجیره‌های انتقال الکترون در فتوسنتز. زنجیره‌های انتقال الکترون انرژی نوری را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند.

عملکرد زنجیره‌های انتقال الکترون: چگونه از زنجیره‌های انتقال الکترون برای ایجاد مولکول‌های ذخیره‌کننده انرژی استفاده می‌شود؟ یکی از اجزای زنجیره‌های انتقال الکترون در

غشای تیلاکوئیدی دارای پروتئینی است که همانند یک پمپ غشایی عمل می‌کند (شکل ۸-۸). الکترون‌های برانگیخته از فتوسیستم II هنگام عبور از این پمپ مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهند. این پمپ از انرژی الکترون‌ها برای تلمبه کردن یون‌های هیدروژن  $H^+$  از استروما به درون تیلاکوئید استفاده می‌کند. به یاد دارید که هنگام شکستن مولکول آب نیز مقداری  $H^+$  درون تیلاکوئید تولید می‌شود. با ادامه‌ی این روند تراکم یون‌های هیدروژن درون تیلاکوئید، نسبت به بیرون افزایش می‌یابد. در نتیجه یک شیب غلظت هیدروژن بین دوسوی غشای تیلاکوئید به وجود می‌آید. بنابراین یون‌های هیدروژن، بر اساس شیب غلظت خود، تمایل دارند به بیرون از تیلاکوئید انتشار یابند. هیدروژن‌ها از طریق پروتئین‌هایی که در غشای تیلاکوئید قرار دارند، از تیلاکوئید خارج می‌شوند. این پروتئین‌ها از این نظر که هم کانال یونی هستند و هم عمل آئیمی دارند منحصر به فردند، یعنی در حال عبور دادن یون‌های هیدروژن از بخش کانال خود، به ADP گروه فسفات می‌افزایند و ATP تولید می‌کنند. به تولید ATP در فتوسنتز ساخته شدن نوری ATP می‌گویند، زیرا انرژی نور عامل اولیه‌ی روند تولید ATP در کلروپلاست‌هاست.

در حالی که یک زنجیره‌ی انتقال الکترون انرژی لازم برای ساخت ATP را فراهم می‌کند، زنجیره‌ی انتقال الکترون دیگری انرژی مورد نیاز برای ساخت NADPH را تأمین می‌کند. NADPH یک مولکول ناقل الکترون است که الکترون‌های پراانرژی را برای ساخت پیوندهای کربن-هیدروژن در مرحله‌ی سوم فتوسنتز، فراهم می‌کند. برای ساخت NADPH الکترون‌های برانگیخته در این زنجیره‌ی انتقال الکترون، به یون‌های هیدروژن می‌پیوندند و موجب تبدیل یک گیرنده‌ی الکترونی به نام  $NADP^+$  به مولکول NADPH می‌شوند (شکل ۸-۸).

خلاصه‌ی واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز به شرح زیر است :

مولکول‌های رنگیزه‌ی درون غشای تیلاکوئید انرژی نور را جذب می‌کنند. الکترون‌های این رنگیزه‌ها با تأثیر نور برانگیخته می‌شوند و حلقه‌های زنجیره‌ی انتقال الکترون (درون غشای تیلاکوئیدها) را پشت سر می‌گذارند. الکترون‌های حاصل از آب جانشین این الکترون‌ها می‌شوند. اتم‌های اکسیژن مولکول آب، گاز اکسیژن تولید می‌کنند. یون‌های هیدروژن درون تیلاکوئیدها تجمع می‌یابند و یک شیب غلظت ایجاد می‌کنند. این شیب غلظت انرژی لازم برای ساخت ATP را فراهم می‌کند. حرکت الکترون‌ها در طول زنجیره‌های انتقال الکترون علاوه بر این که انرژی لازم را برای تلمبه کردن پروتون‌ها از استرومای کلروپلاست به فضای درون تیلاکوئید فراهم می‌کند، سبب تشکیل NADPH از  $NADP^+$  نیز می‌شود.



## در مرحله‌ی سوم انرژی در ترکیب‌های آلی ذخیره می‌شود.

حاصل مرحله‌ی اول و دوم فتوسنتز تولید مولکول‌های ATP و NADPH است. این مولکول‌ها به‌طور موقت انرژی ذخیره می‌کنند. در مرحله‌ی سوم یا مرحله‌ی پایانی فتوسنتز از اتم‌های کربن‌گاز دی‌اکسیدکربن جو برای ساخت ترکیب‌های آلی استفاده می‌شود. این ترکیب‌ها انرژی شیمیایی در خود ذخیره دارند. استفاده از دی‌اکسیدکربن برای ساخت ترکیب‌های آلی، تثبیت دی‌اکسیدکربن نامیده می‌شود. واکنش‌هایی را که منجر به تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شوند، واکنش‌های تاریکی یا واکنش‌های مستقل از نور می‌نامند.

موجودات فتوسنتزکننده به چند روش دی‌اکسیدکربن را تثبیت می‌کنند:

**چرخه‌ی کالوین:** چرخه‌ی کالوین رایج‌ترین روش تثبیت  $CO_2$  در جانداران کلروفیل‌دار است. طی این چرخه مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی در نهایت منجر به تولید قند سه‌کربنی می‌شوند (شکل ۹-۸).

**گام ۱:** هر مولکول دی‌اکسیدکربن با کمک یک آنزیم به یک ترکیب پنج‌کربنی اضافه می‌شود و یک ترکیب شش‌کربنی ناپایدار تولید می‌کند.

**گام ۲:** ترکیب شش‌کربنی حاصل به دو ترکیب سه‌کربنی شکسته می‌شود. از افزودن انرژی گروه‌های فسفات ATP و الکترون‌های NADPH به این ترکیب‌ها قندهای سه‌کربنی تشکیل می‌شود.

**گام ۳:** تعدادی از قندهای سه‌کربنی حاصل برای ساخت ترکیب‌های آلی، مانند نشاسته و ساکارز، به مصرف می‌رسند.

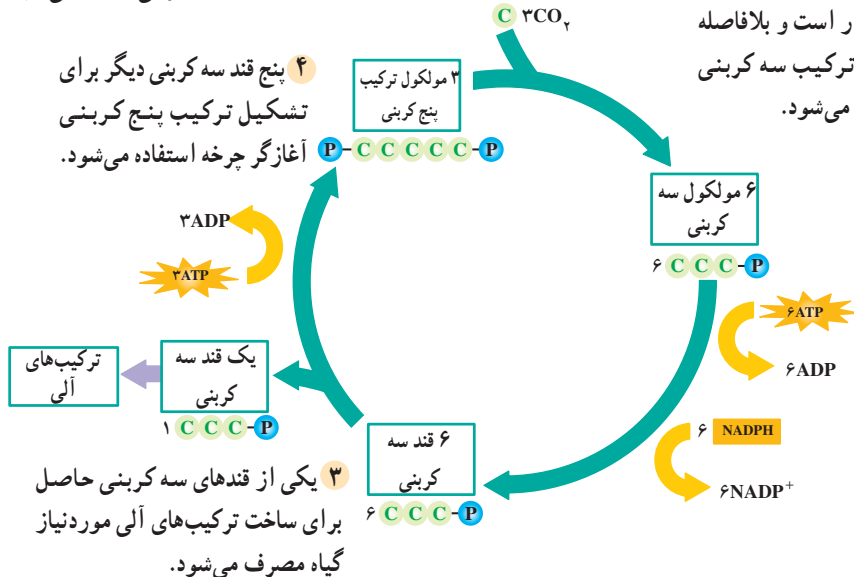
**گام ۴:** از تعدادی دیگر از قندهای سه‌کربنی برای تولید مجدد ترکیب پنج‌کربنی اولیه، استفاده می‌شود. در نتیجه‌ی آن چرخه یک بار دیگر آغاز می‌شود.

این واکنش‌ها به‌طور چرخه‌ای انجام می‌گیرند، زیرا ترکیب پنج‌کربنی را بازسازی می‌کنند. در مجموع برای تشکیل هر مولکول قند سه‌کربنی، سه مولکول دی‌اکسیدکربن وارد چرخه می‌شود، به عبارتی با سه بار گردش متوالی چرخه‌ی کالوین یک قند سه‌کربنی ساخته و از چرخه خارج می‌شود. ATP و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری، انرژی و هیدروژن مورد نیاز چرخه‌ی کالوین را فراهم می‌کند.

۱  $\text{CO}_2$  به ترکیب پنج کربنی اضافه می‌شود.

۳ مولکول دی‌اکسیدکربن

۲ ترکیب شش کربنی ناپایدار است و بلافاصله به دو ترکیب سه کربنی تجزیه می‌شود.



شکل ۹-۸- چرخه‌ی کالوین. چرخه‌ی کالوین رایج‌ترین روش تثبیت دی‌اکسیدکربن است.

بیش‌تر بدانید



### چگونه چرخه‌ی کالوین کشف شد؟

در سال ۱۹۵۴ گروهی از پژوهشگران به سرپرستی «ملوین کالوین»، با استفاده از ایزوتوپ رادیواکتیو کربن در واکنش‌های فتوسنتزی به این نتیجه رسیدند که در کلروپلاست‌ها، دی‌اکسیدکربن پس از انجام مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی چرخه‌ای به قند تبدیل می‌شود. آنان جلیبک کلرلا را در معرض دی‌اکسیدکربن نشاندار قرار دادند و با جداسازی و شناسایی ترکیب‌های حاصل، دریافتند که پس از حدود پنج ثانیه، یک ترکیب سه کربنی نشاندار در جلیبک به وجود آمده است. با استفاده از این روش، پژوهشگران چرخه‌ی کالوین را کشف کردند.

**عوامل مؤثر بر فتوسنتز:** عوامل محیطی مختلفی بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارند. محسوس‌ترین عامل نور است. به‌طور کلی سرعت فتوسنتز با افزایش شدت نور، تا حدی که همه‌ی رنگیزه‌ها مورد استفاده قرار گیرند، زیاد می‌شود. در این حالت فتوسنتز به نقطه‌ی اشباع خود می‌رسد، زیرا رنگیزه‌ها در این حالت نمی‌توانند نور بیش‌تری جذب کنند. افزایش تراکم گاز دی‌اکسیدکربن تا حدی معین نیز موجب افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود.

فتوسنتز مانند سایر فرآیندهای متابولیکی، مرتبط با بسیاری از واکنش‌های آنزیمی دیگر است. به یاد دارید که دامنه‌ی دمایی خاصی برای فعالیت آنزیم‌ها مناسب است. به همین دلیل فتوسنتز در دامنه‌ای خاص از دماهای محیطی، بیش‌تر انجام می‌شود. دماهای خارج از این دامنه ممکن است موجب غیرفعال شدن بعضی از این آنزیم‌ها شوند. سطح بهینه‌ی فتوسنتز هر گیاه خاص، به شدت نور، تراکم دی‌اکسیدکربن و دما بستگی دارد.

**تنفس نوری مانع فتوسنتز است:** تنفس نوری فرآیندی وابسته به نور است که طی آن اکسیژن جذب و دی‌اکسیدکربن آزاد می‌شود. این فرآیند در برخی گیاهان همراه با فتوسنتز انجام می‌شود. تنفس نوری مانع از وارد شدن دی‌اکسیدکربن به چرخه‌ی کالوین می‌شود و به همین دلیل به‌عنوان فرآیندی مخالف با تولیدکنندگی فتوسنتز در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد هر مولکول دی‌اکسیدکربن که وارد چرخه‌ی کالوین می‌شود ابتدا با یک مولکول ۵ کربنی ترکیب می‌شود. آنزیمی که این واکنش را کاتالیز می‌کند روییسکو<sup>۱</sup> نام دارد. در ادامه‌ی این واکنش نیز دو اسید سه کربنی تشکیل می‌شود. آنزیم روییسکو می‌تواند با اکسیژن نیز واکنش دهد، به عبارتی این آنزیم نه تنها موجب کربوکسیله شدن ترکیب ۵ کربنی (ترکیب آن با  $CO_2$ ) می‌شود، بلکه واکنش اکسیژناسیون (ترکیب با  $O_2$ ) آن را نیز کاتالیز می‌کند. به همین دلیل این آنزیم به روییسکو (ریبولوزیسی فسفات کربوکسیلاز- اکسیژناز) مشهور شده است. بنابراین مقادیر نسبتاً بالای  $CO_2$  به نفع فرآیند فتوسنتز و مقادیر نسبتاً بالای اکسیژن به نفع فرآیند تنفس نوری است.

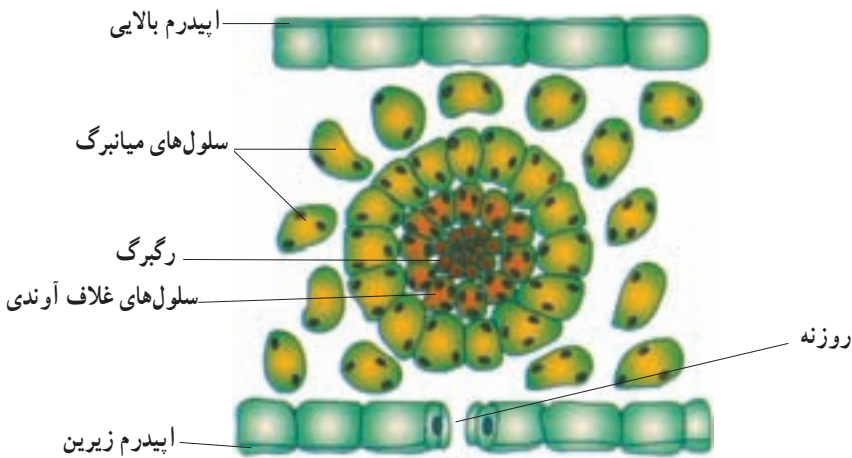
در تنفس نوری، مولکول ۵ کربنی که با اکسیژن ترکیب شده است، تجزیه و از آن یک مولکول ۳ کربنی و یک مولکول ۲ کربنی حاصل می‌شود. مولکول ۲ کربنی از کلروپلاست خارج و با واکنش‌هایی که بخشی از آن‌ها در میتوکندری انجام می‌شود، از آن یک مولکول  $CO_2$  آزاد می‌شود. توجه داشته باشید که در فرآیند تنفس نوری، برخلاف تنفس سلولی مولکول ATP تولید نمی‌شود (فرآیند تنفس سلولی را در ادامه‌ی این فصل می‌خوانید).

سازگاری‌های ویژه‌ای تنفس نوری را کاهش می‌دهند: هوای گرم و خشک، تعرق گیاه را افزایش می‌دهد. از طرفی افزایش تعرق باعث می‌شود تا گیاه آب را از راه روزنه‌ها از دست بدهد. به همین دلیل روزنه‌های بسیاری از گیاهان در هوای گرم و خشک بسته می‌شوند. بسته بودن روزنه‌ها ممکن است دی‌اکسیدکربن برگ را به حدی پایین آورد که وضع را برای انجام تنفس نوری مناسب سازد، زیرا  $CO_2$  نه فقط وارد برگ نمی‌شود، بلکه با انجام فتوسنتز مصرف نیز می‌شود. این وضع سبب کاهش نسبت  $CO_2$  به  $O_2$  در برگ و در نتیجه مناسب شدن شرایط لازم برای فعالیت اکسیژنازی آنزیم روپیسکو می‌شود. برای مقابله با این وضع چه سازگاری‌هایی در گیاهان انجام شده است؟

## گیاهان $C_4$

بیشتر گیاهان برای تثبیت دی‌اکسیدکربن فقط از چرخه‌ی کالوین استفاده می‌کنند. به این گیاهان، گیاهان  $C_3$  می‌گویند زیرا اولین مولکول پایداری که در آن‌ها تشکیل می‌شود یک اسید ۳ کربنی است. در بعضی گیاهان، مانند نیشکر، ذرت و بعضی دیگر از گیاهان که نسبت به گرما مقاوم‌اند، قبل از چرخه‌ی کالوین واکنش‌های دیگری انجام می‌گیرد. حاصل تثبیت دی‌اکسیدکربن در این واکنش‌ها یک اسید ۴ کربنی است. به همین دلیل این گیاهان را گیاهان  $C_4$  می‌نامند. سلول‌های میانبرگ این گیاهان به دو شکل یافت می‌شوند:

۱- لایه‌ای از سلول‌های فشرده و کلروپلاست‌دار به نام سلول‌های غلاف آوندی که دور تا دور هر رگبرگ را احاطه می‌کند (شکل ۱۰-۸).



شکل ۱۰-۸- آناتومی برگ یک گیاه  $C_4$

۲- سلول‌های میانبرگ که در تماس با فضاهای هوادار برگ هستند و در اطراف سلول‌های غلاف آوندی قرار دارند.

گیاهان C<sub>4</sub> برای تثبیت CO<sub>2</sub> از مسیری دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند. در این مسیر دو سیستم آنزیمی متفاوت و مجزا درگیر هستند. اولین سیستم در سلول‌های میانبرگ عمل می‌کند. این سیستم آنزیمی در واکنش‌های مربوط به ترکیب دی‌اکسیدکربن با یک اسید ۳ کربنی شرکت می‌کند. اسید ۴ کربنی حاصل به سلول‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. دومین سیستم آنزیمی در سلول‌های غلاف آوندی عمل می‌کند. در این سلول‌ها دی‌اکسیدکربن از اسید ۴ کربنی آزاد و وارد چرخه‌ی کالوین می‌شود و همانند چرخه‌ی کالوین در گیاهان C<sub>3</sub> قند سه کربنی را می‌سازد.

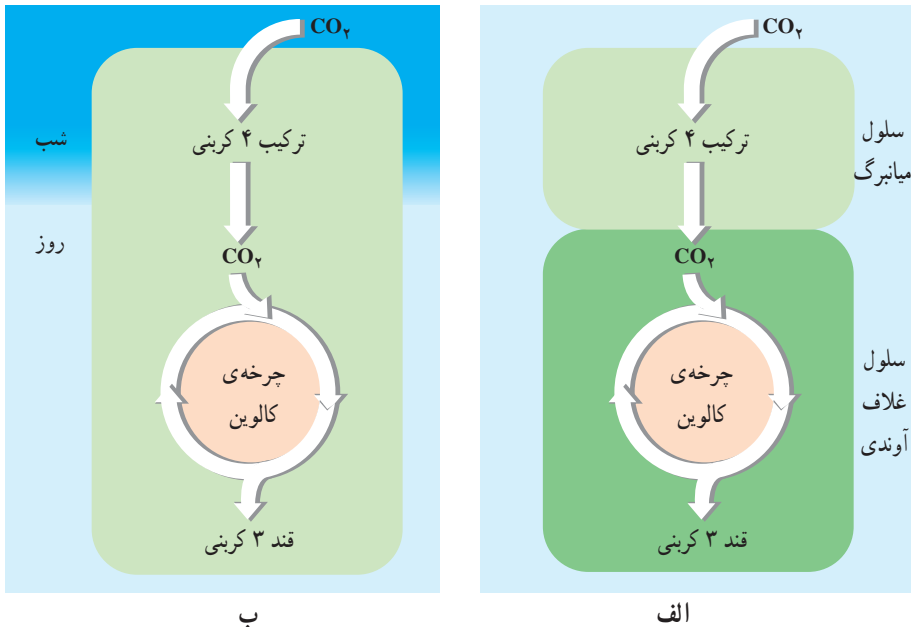
سیستم آنزیمی که در سلول‌های میانبرگ وجود دارد به‌طور مؤثری منجر به انتقال دی‌اکسیدکربن به درون سلول‌های غلاف آوندی می‌شود. بنابراین تراکم CO<sub>2</sub> درون سلول‌های غلاف آوندی در مقایسه با جو بیش‌تر است. این حالت وضع را برای انجام فتوسنتز مناسب می‌کند و مانع از انجام تنفس نوری می‌شود. وجود تراکم بالای دی‌اکسیدکربن در اطراف آنزیم رویسکو در گیاهان C<sub>4</sub> سبب شده است که حتی با وجود دماهای بالا و شدت‌های زیاد نور (عوامل مناسب برای تنفس نوری)، این گیاهان بر تنفس نوری غلبه کنند. بنابراین گیاهان C<sub>4</sub> می‌توانند در حالی که روزنه‌های آن‌ها تقریباً بسته است در دماهای بالا و شدت‌های زیاد نور با بیش‌ترین کارایی عمل کنند و هم‌چنین مانع از افزایش دفع آب شوند. به همین دلیل گیاهان C<sub>4</sub> در آب و هوای گرم سریع‌تر از گیاهان C<sub>3</sub> رشد می‌کنند. کارایی گیاهان C<sub>4</sub> در دمای بالا، شدت زیاد نور، یا کمبود آب تقریباً دو برابر گیاهان C<sub>3</sub> است.

## گیاهان CAM

نوعی دیگر از اختصاصی شدن فتوسنتز در گیاهان بیابانی، مانند کاکتوس وجود دارد. این نوع فتوسنتز را متابولیسم اسید کراسولاسه یا CAM<sup>۱</sup> می‌نامند. این نوع فتوسنتز، سازشی مهم برای گیاهان ساکن اکوسیستم‌های خشک، یا در وضعیت‌های بسیار خشک است. روزنه‌های گیاهان CAM برخلاف گیاهان C<sub>3</sub> و C<sub>4</sub> در شب باز می‌شود. شب هنگام دی‌اکسیدکربن در واکنش‌های این گیاهان به صورت اسیدهای آلی تثبیت می‌شود. طی روز که دما بالا و رطوبت کم است، روزنه‌ها بسته‌اند، تا از انجام تعرق که می‌تواند برای گیاه مرگ‌آور باشد، ممانعت کنند. اسیدهای آلی که در شب تشکیل

<sup>۱</sup>-Crassulacean acid metabolism

شده‌اند، در روز دی‌اکسیدکربن آزاد می‌کنند. دی‌اکسیدکربن به درون کلروپلاست‌ها انتشار می‌یابد و وارد چرخه‌ی کالوین می‌شود که مولکول‌های پراترزی مورد نیاز خود را از واکنش‌های نوری فتوسنتز گرفته است. کارایی فتوسنتز نوع CAM چندان بالا نیست. گیاهانی که این نوع فتوسنتز را انجام می‌دهند، گرچه قادر به حفظ بقای خود در گرمای شدیدند، اما معمولاً به کندی رشد می‌کنند.



شکل ۱۱-۸- تثبیت کربن در گیاهان  $C_4$  (الف) و CAM (ب)

## فعالیت

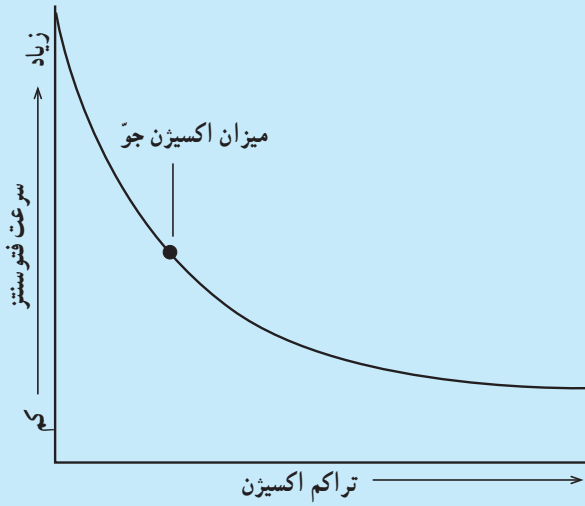


- ۱- بعضی گیاهان گلدانی در نور کم رشد می‌کنند، اما بعضی دیگر از آن‌ها به نور شدید نیاز دارند. چند گونه از گیاهان گلدانی را که در گلخانه‌ها، یا گل‌فروشی‌ها موجودند از این نظر بررسی کنید. گیاهان گلدانی که در خانه‌ها نگهداری می‌شوند بیش‌تر در کدام دسته قرار می‌گیرند؟
- ۲- همان‌طور که در شکل ۱۰-۸ مشاهده می‌کنید، بین سلول‌های غلاف آوندی فضای سلولی یافت نمی‌شود و این سلول‌ها به هم فشرده‌اند. آیا می‌توانید دلیلی برای این به هم فشردگی سلول‌های غلاف آوندی ارائه دهید؟

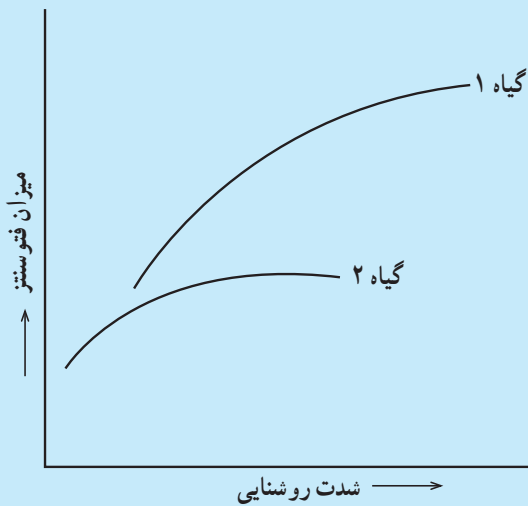
## فعالیت



۱- نمودار زیر را تفسیر کنید.



۲- با توجه به نمودار زیر درباره‌ی نوع فتوسنتز گیاهان ۱ و ۲ بحث کنید.



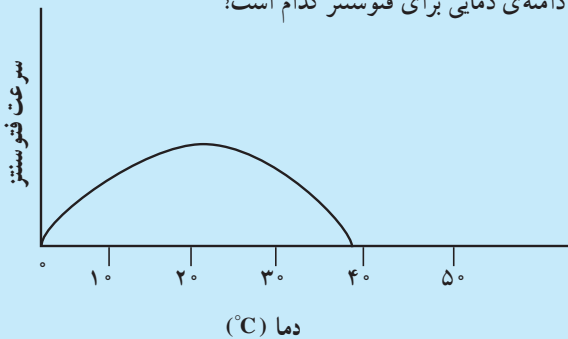
## فعالیت



نمودار زیر اثر دما را بر سرعت فتوسنتز نشان می‌دهد. با توجه به نمودار به این سؤال‌ها پاسخ دهید.

۱- اثر دماهای بالا و پایین را بر فتوسنتز شرح دهید.

۲- بهترین دامنه‌ی دمایی برای فتوسنتز کدام است؟



## خودآزمایی



۱- تنفس نوری را توضیح دهید و تأثیر آن را بر فتوسنتز بنویسید.

۲- ویژگی فتوسنتز گیاهان CAM چیست؟

۳- به‌طور خلاصه بگویید که موجودات فتوسنتزکننده چگونه انرژی نور را به دام می‌اندازند؟

۴- نقش مولکول‌های آب و یون‌های هیدروژن را در زنجیره‌های انتقال الکترون مقایسه

کنید.

۵- نقش چرخه‌ی کالوین را در سومین مرحله از فتوسنتز شرح دهید.

۶- نقش هر یک از موارد زیر را در فتوسنتز بیان کنید.

نور، آب، رنگیزه‌ها، ATP، NADPH و دی‌اکسیدکربن

۷- عوامل محیطی مؤثر بر فتوسنتز را نام ببرید.

۸- NADPH و ATP در چه بخشی از کلروپلاست تشکیل می‌شوند؟

۹- اکسیژن حاصل از فتوسنتز از چه واکنشی منشأ می‌گیرد؟

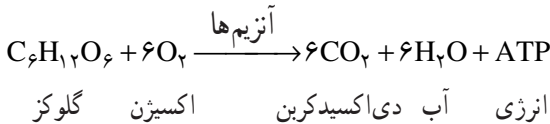


### تنفس سلولی ATP تولید می‌کند.

غذاهایی که می‌خوریم دارای انرژی هستند. انرژی غذاها در بدن ما به ATP تبدیل می‌شود. سلول‌های بدن ما و بیش‌تر موجودات زنده از طریق فرآیندی به‌نام تنفس سلولی که مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی است، انرژی موجود در ترکیب‌های آلی، مخصوصاً قند را به ATP تبدیل می‌کنند. اکسیژن هوای تنفسی کارآیی تولید ATP را افزایش می‌دهد، البته بدون حضور اکسیژن نیز مقداری ATP ساخته می‌شود. فرآیندهای متابولیسمی را که نیازمند اکسیژن هستند، فرآیندهای هوازی<sup>۱</sup> می‌نامند. فرآیندهای متابولیسمی که نیاز به اکسیژن ندارند، فرآیندهای بی‌هوازی<sup>۲</sup> نام دارند.

تولید مولکول‌های ATP : ATP به دو راه در سلول‌ها تشکیل می‌شود. یک راه تولید ATP در سطح پیش ماده است. به این مفهوم که از انتقال یک گروه فسفات از مولکولی فسفات‌دار به ADP، مولکول ATP ساخته می‌شود (همان‌طور که خواهید دید مقداری از ATP حاصل از گلیکولیز به این شکل ساخته می‌شود). راه دیگر تشکیل ATP، زنجیره‌ی انتقال الکترون در میتوکندری‌هاست. ATP در این راه با استفاده از فسفات معدنی و انرژی حاصل از انتقال الکترون‌ها (از دهنده‌ی الکترون با سطح انرژی بالاتر به گیرنده‌ی الکترون با سطح انرژی پایین‌تر) ساخته می‌شود.

نگاهی کلی به تنفس سلولی: بخشی از انرژی ترکیب‌های آلی، به‌ویژه گلوکز، هنگام تنفس سلولی آزاد می‌شود. رابطه‌ی زیر خلاصه‌ای از مجموع واکنش‌های شکستن گلوکز را در تنفس سلولی نشان می‌دهد:



تنفس سلولی در دو مرحله‌ی کلی رخ می‌دهد (شکل ۱۲-۸):

مرحله‌ی ۱: گلوکز به پیرووات تبدیل و مقدار کمی ATP و NADH\* تولید می‌شود. این

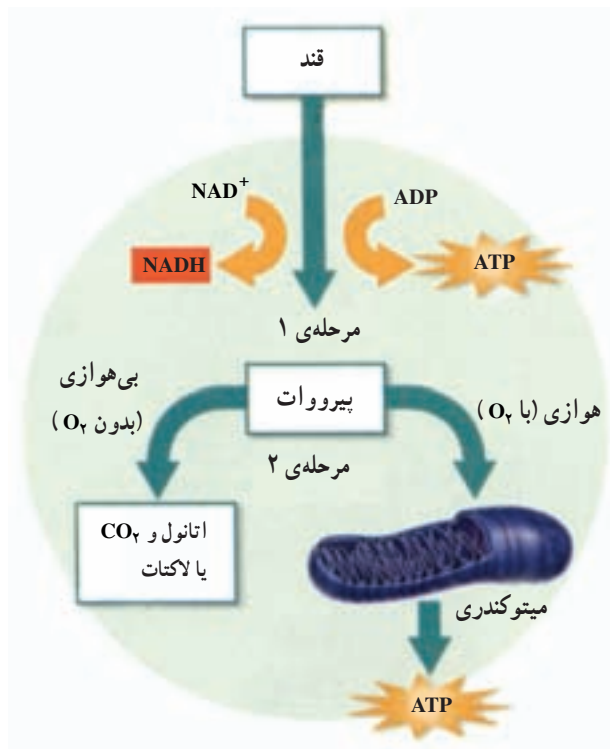
۱\_aerobic

۲\_anaerobic

\* نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید

مرحله گلیکولیز نامیده می‌شود و مرحله‌ی بی‌هوازی تنفس را تشکیل می‌دهند.  
**مرحله‌ی ۲:** در حضور اکسیژن، از پیرووات و گیرنده‌های الکترونی، مانند NADH و  $FADH_2^*$  برای ساختن مقادیر فراوانی ATP استفاده می‌شود (مرحله‌ی هوازی تنفس). محل این مرحله از تنفس در سلول‌های یوکاریوتی، میتوکندری‌ها و در سلول‌های پروکاریوتی، غشای سلولی است. پیرووات در نبود اکسیژن به لاکتات یا اتانول و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود.  
 در مرحله‌ی ۱ گلوکز در فرآیند گلیکولیز شکسته می‌شود.

گلوکز سوخت اولیه برای تنفس سلولی است و از تجزیه‌ی قندهای پیچیده‌ای مانند نشاسته، حاصل می‌شود. اگر میزان کربوهیدرات‌ها به قدری کم باشد که پاسخ‌گوی نیاز موجود زنده نباشد، آن‌گاه مولکول‌های دیگری، مانند چربی‌ها شکسته می‌شوند و برای ساخت ATP به مصرف می‌رسند.



شکل ۸-۱۲- فرآیند تنفس سلولی. فرآیند تنفس سلولی در دو مرحله انجام می‌شود.  
 ۱- گلوکز در مرحله‌ی اول به پیرووات شکسته می‌شود. ۲- در مرحله‌ی دوم حضور اکسیژن تعیین‌کننده‌ی ادامه‌ی فرآیند است که آیا هوازی باشد یا بی‌هوازی.

\* فلاوین آدنین دی‌نوکلئوتید

پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها نیز برای ساخت ATP به کار می‌روند؛ گرچه سلول‌ها به‌طور معمول از آن‌ها برای ساخت بخش‌های مهم خود استفاده می‌کنند. گلیکولیز<sup>۱</sup> اولین مرحله‌ی تنفس سلولی است. این فرآیند درون ماده‌ی زمینه‌ی سیتوپلاسم سلول رخ می‌دهد. گلوکز در این فرآیند به دو مولکول سه‌کربنی به‌نام پیرووات تبدیل می‌شود.

پیرووات، شکل یونی یک اسید سه‌کربنی آلی، به‌نام پیروویک اسید است (یون به مولکولی گفته می‌شود که الکترون گرفته یا از دست داده باشد).

در ضمن شکسته شدن گلوکز تعدادی از اتم‌های هیدروژن آن به یک گیرنده‌ی الکترون به‌نام  $NAD^+$  منتقل می‌شود. حاصل این واکنش تشکیل نوعی ناقل الکترون به‌نام NADH است. برای این که تنفس سلولی ادامه یابد، الکترون‌های NADH به دیگر ترکیبات آلی داده می‌شود که در نتیجه‌ی آن گیرنده‌های الکترون یعنی  $NAD^+$  تشکیل می‌شود.  $NAD^+$  با گرفتن الکترون مجدداً به NADH تبدیل می‌شود. خلاصه‌ی گلیکولیز را در شکل ۱۳-۸ مشاهده می‌کنید. گلیکولیز را می‌توان در چهار گام و به شرح زیر بیان کرد:

گام ۱: دو گروه فسفات از دو مولکول ATP به یک مولکول گلوکز منتقل می‌شوند.

گام ۲: ترکیب حاصل به دو مولکول ۳ کربنی فسفات‌دار شکسته می‌شود (هر مولکول سه‌کربنی یک گروه فسفات دارد).

گام ۳: دو مولکول NADH حاصل می‌شود و به هر مولکول ۳ کربنی فسفات‌دار، یک گروه فسفات دیگر نیز منتقل می‌شود.

گام ۴: هر مولکول ۳ کربنی حاصل در گام ۳، به پیرووات تبدیل می‌شود. در این فرآیند ۴ مولکول ATP تولید می‌شود.

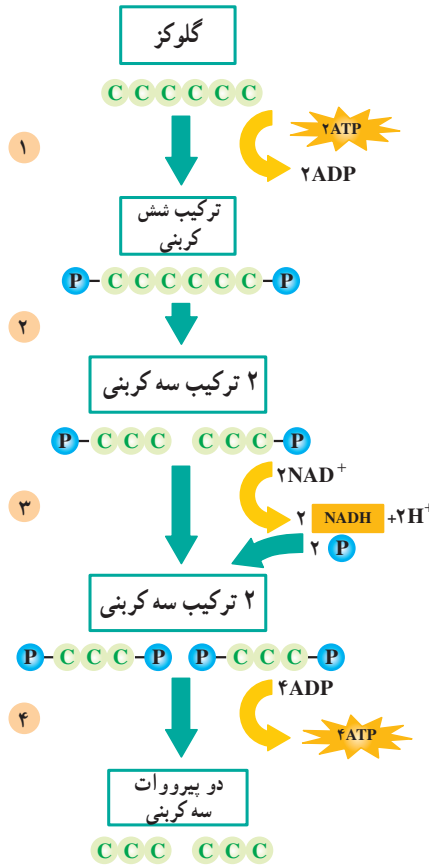
در آغاز مسیر گلیکولیز دو مولکول ATP به کار می‌رود و در پایان این مسیر ۴ مولکول ATP تولید می‌شود؛ بنابراین بازده خالص گلیکولیز دو مولکول ATP است؛ هم‌چنین با انجام واکنش‌هایی انرژی ذخیره شده در مولکول NADH آزاد و از آن برای تولید ATP بیش‌تر استفاده می‌شود.

در دو مین مرحله‌ی تنفس سلولی، ATP بیش‌تری ساخته می‌شود.

پیرووات حاصل از گلیکولیز در صورت وجود اکسیژن وارد میتوکندری‌ها می‌شود و در آنجا

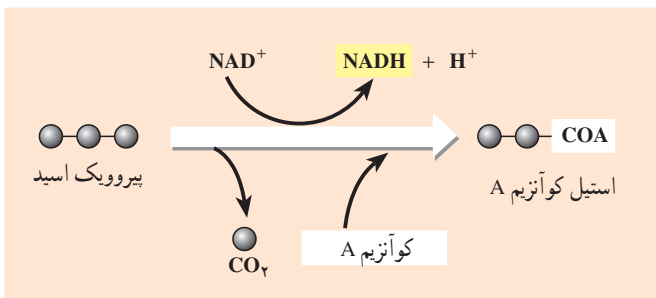
---

<sup>۱</sup>glycolysis



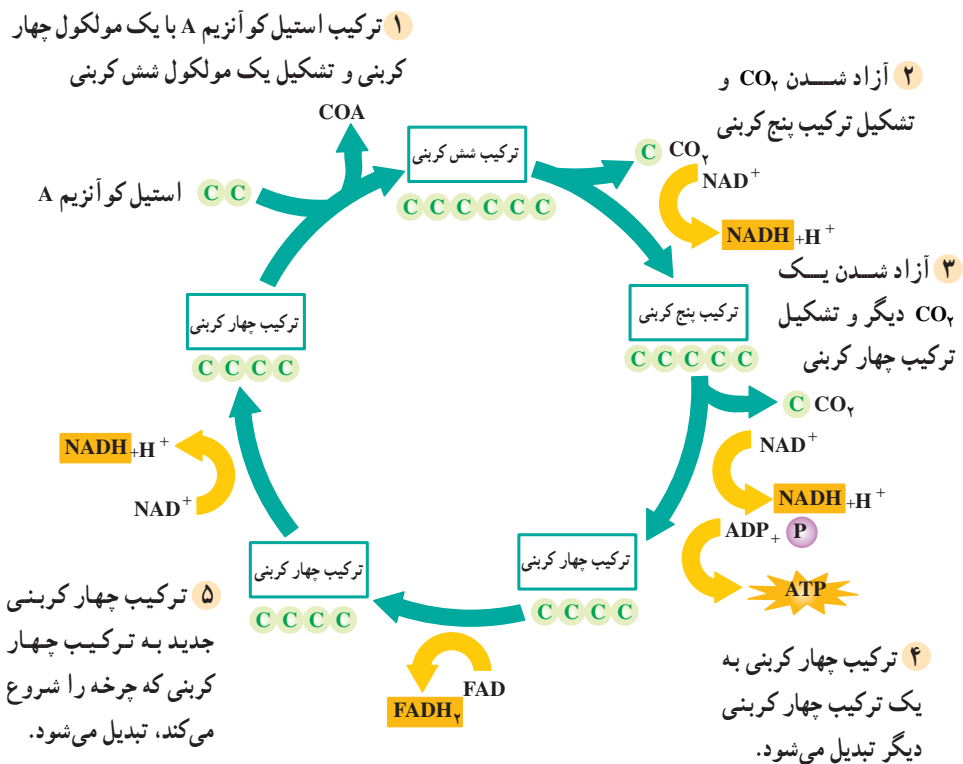
شکل ۱۳-۸- گلیکولیز. در گلیکولیز به صورت مستقیم دو مولکول ATP تشکیل می‌شود.

به یک ترکیب دو کربنی به نام بنیان استیل تبدیل می‌شود. هم‌چنین در این واکنش یک مولکول دی‌اکسیدکربن و یک مولکول NADH نیز تولید می‌شود. بنیان استیل به مولکولی به نام کوآنزیم A (COA) می‌پیوندد و ترکیبی به نام استیل کوآنزیم A را تشکیل می‌دهد. این ترکیب سپس وارد چرخه‌ای به نام چرخه‌ی کربس می‌شود.



شکل ۱۴-۸- تشکیل استیل کوآنزیم A

چرخه‌ی کربس: چرخه‌ی کربس با ترکیب استیل کوآنزیم A با یک مولکول ۴ کربنی، به نام اگزوالوآستات شروع می‌شود. محصول این واکنش تشکیل مولکولی شش کربنی، به نام سیتریک اسید است. همراه با تشکیل سیتریک اسید، کوآنزیم A نیز جدا می‌شود. در ادامه‌ی چرخه‌ی کربس با انجام مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی و طی مراحل مختلف دو مولکول  $\text{CO}_2$  آزاد می‌شوند. هم‌چنین ATP و مولکول‌های پرا انرژی NADH و  $\text{FADH}_2$  تولید می‌شوند. با خروج دو مولکول  $\text{CO}_2$  از چرخه، مجدداً مولکول چهار کربنی اگزوالوآستات تشکیل می‌شود (شکل ۱۵-۸).



شکل ۱۵-۸- چرخه‌ی کربس

همان‌طور که در شکل ۱۵-۸ می‌بینید، چرخه‌ی کربس در پنج گام به شرح زیر انجام می‌شود:

گام ۱: استیل کوآنزیم A به یک مولکول چهار کربنی می‌پیوندد و یک مولکول شش کربنی تولید می‌کند. کوآنزیم A نیز جدا می‌شود.

گام ۲: با جدا شدن  $\text{CO}_2$  از مولکول ۶ کربنی، یک مولکول ۵ کربنی تولید می‌شود. الکترون‌های حاصل نیز به  $\text{NAD}^+$  منتقل می‌شوند و مولکول NADH را می‌سازند.

گام ۳: با خروج  $\text{CO}_2$  از مولکول پنج کربنی، مولکول چهار کربنی ساخته می‌شود؛ هم‌چنین یک مولکول ATP و یک مولکول NADH تولید می‌شود.

گام ۴: ترکیب چهار کربنی به مولکول چهار کربنی دیگری تبدیل می‌شود. الکترون‌های حاصل از این تبدیل به یک پذیرنده‌ی الکترونی به نام FAD منتقل می‌شوند و یک مولکول  $\text{FADH}_2$  تولید می‌کنند.  $\text{FADH}_2$  نوعی مولکول حامل الکترون است.

گام ۵: مولکول چهار کربنی حاصل از گام ۴ به اگزالواستات تبدیل و NADH دیگری نیز تولید می‌شود.

در چرخه‌ی کربس نه تنها مولکول‌های NADH و  $\text{FADH}_2$  که پرا انرژی هستند، ایجاد می‌شوند، بلکه مولکول آغازگر چرخه نیز مجدداً تولید می‌شود. چرخه با ورود یک مولکول دیگر استیل کوآنزیم A، مجدداً آغاز می‌شود.

### تفکر نقادانه

آنزیمی که در تبدیل پیرووات به استیل کوآنزیم A کمک می‌کند به ویتامین B<sub>1</sub> (تیامین) نیاز دارد. تیامین در بدن انسان ساخته نمی‌شود. بر این اساس چه استدلالی در مورد نیازهای تغذیه‌ای انسان می‌کنید؟ کمبود تیامین در سلول‌ها چگونه بر کار آن‌ها تأثیر می‌گذارد؟

### بیش‌تر بدانید



### چگونه یک دانشمند موفق باشیم؟

قبلاً اشاره کردیم که در پدیده‌ی تنفس سلولی، گلوکز طی مجموعه‌ای از مراحل شیمیایی اُکسید می‌شود. بسیاری از این مراحل را دانشمندی آلمانی، به نام «هانس کربس» کشف کرد و به همین دلیل نیز موفق به کسب جایزه‌ی نوبل در سال ۱۹۵۳ شد. او پیشنهادهای مفید و جالبی راجع به خصوصیات یک دانشمند موفق دارد که چند مورد از آن‌ها را در این جا به اختصار می‌آوریم:

- از شرایط لازم برای موفقیت در کار علمی، دارا بودن مهارت‌های فنی و علمی است.
- مهارت‌های فنی و علمی شخص را یاری می‌دهند تا با امکانات موجود موفقیت بیش‌تری کسب کند.
- پژوهشگر باید در راه رسیدن به هدفش سختی‌ها را تحمل کند و نتایج به‌دست آمده را صریح و روشن بیان کند.

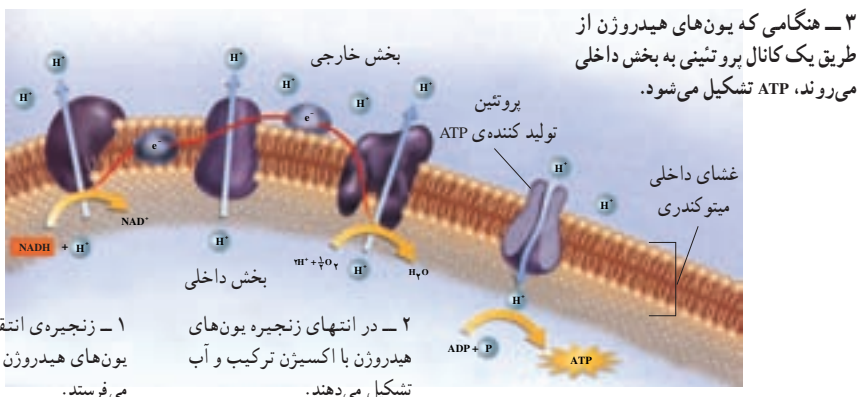
– شاید مهم‌ترین خصوصیت یک پژوهشگر، تواضع و فروتنی او باشد. این خصوصیت شخص را به استقلال در تفکر و تحلیل می‌رساند و او را در ادامه‌ی تحقیقاتش ثابت قدم می‌کند.

– هدف اولیه از تحقیق باید رسیدن به قوانین ارزشمند و اصول صحیح و بنیادی مطلب مورد مطالعه باشد.

علاوه بر ویژگی‌هایی که کریس برشمرده است، توجه به جنبه‌های اخلاقی و کاربرد درست یافته‌های علمی از موارد مهمی است که دانشمندان و پژوهشگران باید آن را در نظر داشته باشند. چنین ضرورتی سبب شده است تا دانشمندان و صاحب‌نظران با تلفیق علم و اخلاق، شاخه‌های جدیدی از علم مانند اخلاق زیستی، اخلاق پزشکی و اخلاق نانو فناوری را شکل دهند.

### زنجیره‌ی انتقال الکترون: در تنفس هوازی الکترون‌های مولکول‌های $NADH$ و $FADH_2$

از زنجیره‌ی انتقال الکترون می‌گذرند (شکل ۱۶–۸). زنجیره‌ی انتقال الکترون سلول‌های یوکاریوتی در غشای داخلی میتوکندری‌ها قرار دارد. انرژی الکترون‌هایی که از این زنجیره می‌گذرند، برای تلمبه کردن یون‌های هیدروژن از بخش داخلی میتوکندری به بخش خارجی آن (فضای بین دو غشای میتوکندری)، مصرف می‌شود. با تجمع یون‌های هیدروژن در بخش خارجی میتوکندری، یک شیب غلظت بین دو سوی غشای داخلی تولید می‌شود. به همین دلیل یون‌های هیدروژن تمایل دارند که وارد بخش درونی میتوکندری شوند. یون‌های هیدروژن از طریق نوعی پروتئین، به بخش درونی میتوکندری می‌روند. این پروتئین هنگام عبور یون‌های هیدروژن با افزودن گروه فسفات به  $ADP$ ، مولکول  $ATP$  می‌سازد. در زنجیره‌ی نقل و انتقال الکترون‌ها به ازای هر مولکول  $NADH$ ، سه مولکول  $ATP$  و به ازای هر مولکول  $FADH_2$ ، دو مولکول  $ATP$  تولید می‌شود. در انتهای زنجیره‌ی انتقال الکترون، یون‌های هیدروژن و الکترون‌ها به مولکول‌های اکسیژن می‌پیوندند و مولکول‌های آب تولید می‌کنند. بنابراین در زنجیره‌ی انتقال الکترون نقش آخرین پذیرنده‌ی الکترون را دارد.



شکل ۱۶–۸ – زنجیره‌ی انتقال الکترون در تنفس هوازی. زنجیره‌ی انتقال الکترون در غشای

درونی میتوکندری  $ATP$  می‌سازد.



## بهداشت و زیست‌شناسی

یکی از کارهای خون، حمل اکسیژن از شش‌ها به سلول‌های بدن است. حدود ۱/۵ درصد اکسیژن خون محلول در پلاسماست. اما حجم عمده‌ی اکسیژن خون را که حدود ۹۸/۵ درصد می‌شود، گلبول‌های قرمز حمل می‌کنند. اکسیژن با هموگلوبین گلبول‌های قرمز می‌پیوندد. مونواکسید کربن: مونواکسید کربن (CO) گاز بی‌رنگ و بویی است که از سوخت ناقص نفت یا چوب تولید می‌شود. این گاز با اکسیژن بر سر پیوند با هموگلوبین رقابت می‌کند. پیوند بین مونواکسید کربن و هموگلوبین ۲۰۰ بار پایدارتر از پیوند هموگلوبین و اکسیژن است. با تنفس مونواکسید کربن، این گاز جایگاه‌های پیوند اکسیژن را در مولکول هموگلوبین اشغال می‌کند و چون پیوند پایدارتری تشکیل می‌دهد، گاز مونواکسید کربن حتی در تراکم‌های بسیار کم جانشین گاز اکسیژن در هموگلوبین می‌شود و ادامه‌ی این روند، موجب کاهش مقدار اکسیژن خون در نتیجه مسمومیت می‌شود.

نشانه‌های مسمومیت با مونواکسید کربن: این گاز در تراکم‌های کم موجب سر درد، تهوع و خواب‌آلودگی و در تراکم‌های بالا موجب عدم تعادل، بی‌هوشی و حتی مرگ می‌شود. بیش‌تر خطر مسمومیت با مونواکسید کربن ناشی از کاهش اکسیژن مغز است. کمبود اکسیژن ممکن است سبب مرگ سلول‌های مغزی شود.

تأثیر مونواکسید کربن بر تنفس سلولی: تنفس هوازی بدون حضور اکسیژن انجام نمی‌شود، زیرا اکسیژن پذیرنده‌ی نهایی الکترون‌های زنجیره‌ی انتقال الکترون است. به همین دلیل سلول‌های مغز در نبود اکسیژن نیاز خود به ATP را فقط از مسیر گلیکولیز تأمین می‌کنند که این مقدار ATP، نیاز سلول‌های مغزی را تأمین نمی‌کند.

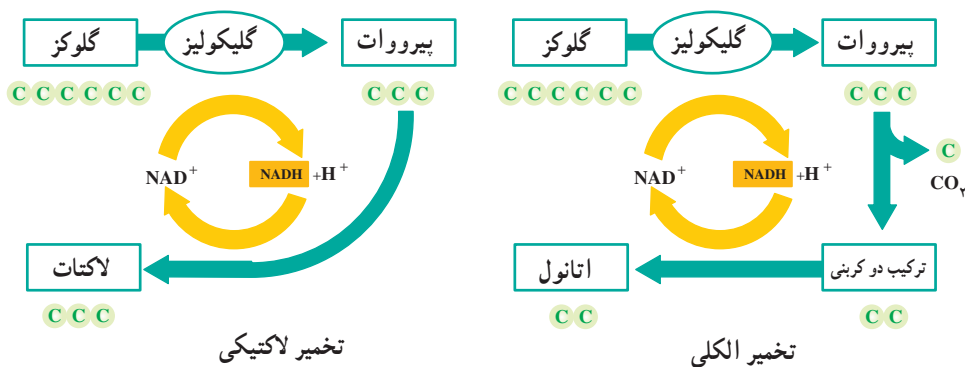
بعد از گلیکولیز در نبود اکسیژن، تخمیر رخ می‌دهد: اگر اکسیژن کافی برای انجام تنفس هوازی نباشد چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ چون آخرین پذیرنده‌ی الکترون یعنی اکسیژن وجود ندارد، زنجیره‌ی انتقال الکترون کارآمد نیست. بنابراین الکترون‌ها از NADH منتقل نمی‌شوند و  $NAD^+$  بازسازی نمی‌شود. به همین علت وقتی اکسیژن نباشد  $NAD^+$  به طریق دیگری بازسازی می‌شود. در نبود اکسیژن الکترون‌هایی که NADH حمل می‌کند به پیرووات حاصل از گلیکولیز یا یک پذیرنده‌ی آلی دیگر منتقل می‌شوند و آن را احیا می‌کنند که در نتیجه  $NAD^+$  نیز بازسازی می‌شود. این فرآیند،



یعنی بازسازی  $NAD^+$  با استفاده از یک پذیرنده‌ی آلی هیدروژن، تخمیر نامیده می‌شود. به عبارت دیگر تخمیر تجزیه‌ی گلوکز در عدم حضور اکسیژن است. باکتری‌ها بیش از ۱۲ نوع تخمیر انجام می‌دهند و از پذیرنده‌های آلی مختلفی برای بازسازی  $NAD^+$  استفاده می‌کنند. تخمیر لاکتیک اسید و تخمیر الکلی دو نوع مهم تخمیر هستند. از تخمیر لاکتیک اسید که بعضی از باکتری‌ها و قارچ‌ها انجام می‌دهند، برای تولید ماست و انواعی از پنیرها استفاده می‌شود.

**تخمیر لاکتیک/اسید:** بعضی از موجودات زنده با استفاده از تخمیر لاکتیک اسید، پیرووات ۳ کربنی را به لاکتات که آن نیز ۳ کربنی است، تبدیل می‌کنند (شکل ۱۷-۸). لاکتات یون لاکتیک اسید است. مثلاً هنگام ورزش شدید، پیروواتی که در ماهیچه‌های ما وجود دارد، در صورت کمبود اکسیژن در سلول‌های ماهیچه‌ای، به لاکتات تبدیل می‌شود. تخمیر موجب می‌شود در صورت کمبود اکسیژن نیز تا موقعی که گلوکز در سلول وجود دارد، فرآیند گلیکولیز انجام و ATP تولید شود. لاکتات اضافی با جریان خون از سلول‌های ماهیچه‌ای دور می‌شود. در صورتی که لاکتات از سلول‌های ماهیچه‌ای خارج نشود، مقدار آن افزایش می‌یابد و موجب درد ماهیچه‌ای می‌شود.

پیرووات در تخمیر الکلی به اتانول تبدیل می‌شود و گاز  $CO_2$  تولید می‌کند. پیرووات در تخمیر لاکتیک به لاکتات تبدیل می‌شود.

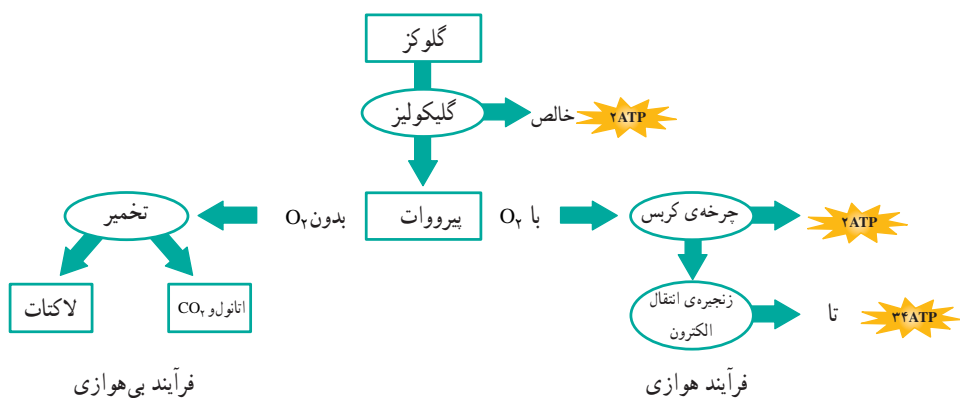


شکل ۱۷-۸: دو نوع تخمیر. در نبود اکسیژن با انجام تخمیر  $NAD^+$  بازسازی می‌شود.

**تخمیر الکلی:** در جاندارانی که تخمیر الکلی رخ می‌دهد، پیرووات سه کربنی به اتانول دو کربنی تبدیل می‌شود. در این فرآیند  $CO_2$  آزاد می‌شود. تخمیر الکلی یک فرآیند دو مرحله‌ای است (شکل ۱۷-۸): نخست پیرووات با آزاد شدن  $CO_2$  به ترکیبی دو کربنی تبدیل می‌شود، سپس

الکترون‌های یک مولکول NADH به این ترکیب دو کربنی منتقل و اتانول تولید می‌شود. در این نوع تخمیر نیز مولکول  $NAD^+$  بازسازی می‌شود و بنابراین با انجام گلیکولیز تولید ATP ادامه می‌یابد. مخمرها از جاندارانی هستند که تخمیر الکلی انجام می‌دهند و در نانوائی کاربرد دارند. دی‌اکسیدکربن حاصل از عمل مخمرها موجب ورآمدن خمیر می‌شود. الکل برای مخمرها سمی و کشنده است. مخمرها تا غلظت حدود ۱۲ درصد الکل را می‌توانند تحمل کنند.

مقایسه‌ی فرآیندهای تنفس بی‌هوازی با تنفس هوازی: مقدار کلی ATP که سلول می‌تواند از مولکول قند وارد شده به گلیکولیز برداشت کند، به وجود یا نبود اکسیژن بستگی دارد. سلول‌ها در حضور اکسیژن از بیش‌ترین مقدار انرژی بهره‌مند می‌شوند (شکل ۱۸-۸). گلوکز در اولین مرحله از تنفس سلولی (گلیکولیز) به مولکول پیرووات شکسته می‌شود. گلیکولیز فرآیندی بی‌هوازی است. در این مرحله بازده خالص ATP دو مولکول است. در مرحله‌ی دوم تنفس سلولی، پیرووات یا از مسیر هوازی، یا از مسیر بی‌هوازی (تخمیر) عبور می‌کند. وقتی اکسیژن موجود باشد، تنفس هوازی رخ می‌دهد و اگر اکسیژن موجود نباشد تخمیر صورت می‌گیرد.  $NAD^+$  که در تخمیر تولید می‌شود، تولید مداوم ATP را ممکن می‌سازد. بنابراین در تخمیر نیز مقدار کمی ATP تولید می‌شود؛ اگرچه بیش‌ترین مقدار ATP سلولی حاصل تنفس هوازی است. به ازای هر مولکول گلوکزی که شکسته می‌شود ۲ مولکول ATP به‌طور مستقیم در چرخه‌ی کربس تولید می‌شود و حدود ۳۴ مولکول ATP بعداً در زنجیره‌ی انتقال الکترون تولید می‌شوند.



شکل ۱۸-۸ اثر اکسیژن بر تولید ATP

## فعالیت



- ۱- تفاوت‌های اساسی بین تنفس هوازی و بی‌هوازی را شرح دهید.
- ۲- سرنوشت اتم‌های کربن حاصل از تنفس چیست؟
- ۳- توضیح دهید چرا تخمیر فقط تا مدت زمان مشخصی ادامه دارد؟
- ۴- در چه موقعیت‌هایی در گیاهان و سلول‌های جانوری به مدت کوتاهی تنفس بی‌هوازی رخ می‌دهد؟

## فعالیت



- ۱- درباره‌ی مواردی که در آن‌ها از تخمیر برای تهیه‌ی غذا استفاده می‌کنند و میکروارگانیسم‌هایی که این کار را انجام می‌دهند، تحقیق کنید.
- ۲- درباره‌ی نقش تخمیر الکلی در تهیه‌ی نان تحقیق کنید.
- ۳- گزارشی از یافته‌های خود بنویسید و در کلاس ارائه دهید.

## تفکر نقادانه

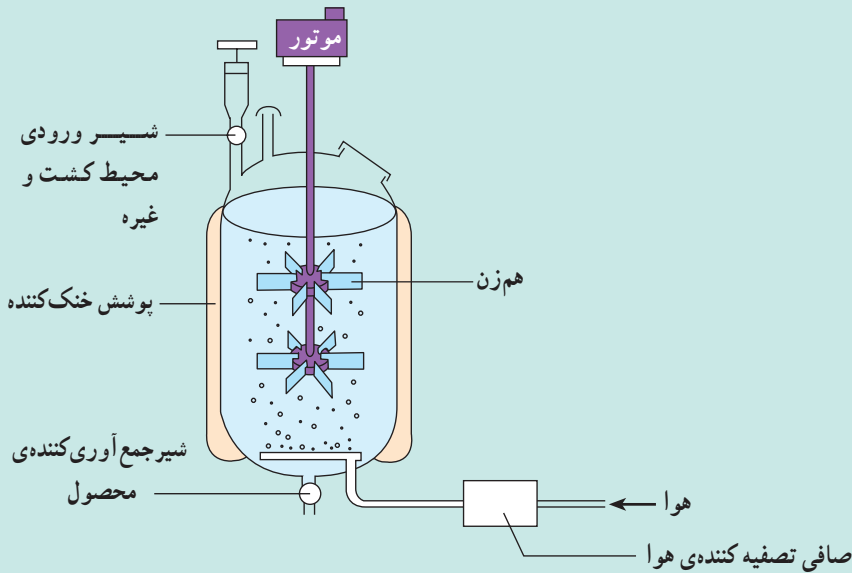
گلوکز اضافی خون در کبد به صورت گلیکوژن ذخیره می‌شود. بدن چگونه می‌فهمد که چه موقع باید گلوکز را به گلیکوژن و چه موقع گلیکوژن را به گلوکز تبدیل کند؟

## بیش تر بدانید



## تخمیر صنعتی

میکروب‌هایی، مانند باکتری‌ها و مخمرها قادر به تولید انواع مختلفی مواد مفید برای انسان‌ها هستند. پنی‌سیلین، انسولین و آنزیم‌های پودرهای شست‌وشو، تنها سه مورد از این مواد



مفید هستند. برای دستیابی به مقدار زیاد این محصولات، باید میکروب‌ها را در مقادیر زیاد کشت داد.

### تخمیرکننده‌های صنعتی

یکی از انواع تخمیرکننده‌ها (فرمانتورها) در شکل بالا نشان داده شده است. بدنه‌ی تخمیرکننده از فولاد ضدزنگ و به شکل یک ظرف بزرگ طراحی شده است. درون ظرف نیز از یک محیط کشت پایه‌ی مناسب پُر می‌شود. این محیط کشت نوعی مایع غذایی و قند همراه با برخی مواد دیگر که به رشد و تکثیر سریع میکروب‌ها کمک می‌کنند، است.

برخی میکروب‌ها فقط نیازمند کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی هستند و برخی دیگر به پروتئین‌ها و ویتامین‌ها نیز نیازمندند. اغلب قارچ‌ها برای رشد و تکثیر سریع نیازمند کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند، در حالی که مخمرها فقط به قند و مواد معدنی نیاز دارند. نوع خاصی میکروب به این محیط کشت پایه اضافه می‌شود، تا میکروب‌ها در آن به رشد و تکثیر بپردازند.

درون تخمیرکننده، برای به گردش درآمدن محیط کشت و ساکن نبودن آن، هم‌زن‌های پره‌مانندی وجود دارد که توسط یک موتور به چرخش درمی‌آیند.

درحین تخمیر میکروبی انرژی زیادی ایجاد می‌شود. این انرژی باعث گرم شدن محیط کشت می‌شود. بنابراین بدنه‌ی دستگاه باید خنک شود.

پس از اتمام کار، مخلوط درون ظرف توسط شیری که در پایین ظرف است جمع‌آوری

می‌شود. سپس محصول را از کل مخلوط جدا و آن را خالص می‌کنند.

- ۱- دلایلی ذکر کنید که چرا باید محتویات درون دستگاه مُدام در حال گردش باشد.
- ۲- چرا جلوگیری از ورود میکروب‌های مزاحم و جانبی به درون دستگاه تخمیرکننده مهم است؟

۳- به نظر شما اگر بدنه‌ی تخمیرکننده خنک نشود، چه رخ می‌دهد؟

### روش‌های «کشت بسته» و «کشت پیوسته»

پس از گذشت مدت زمان لازم جهت رشد و تکثیر میکروب‌ها و تولید محصول، باید محصول را از مخلوط موجود درون تخمیرکننده جدا کرد. برای این کار دو روش عمده وجود دارد.

اگر پس از استخراج محصول، دستگاه را بشوئیم و کلیه‌ی مراحل را، برای کشت بعدی، از اول آغاز کنیم، این روش را «کشت بسته» می‌گویند. این روش قدیمی است.

روش جدید و پیشرفته‌تر استفاده از یک لوله یا مجرای تخلیه‌کننده در دستگاه تخمیرکننده است. یعنی یک بار دستگاه را آماده می‌کنند تا، پس از گذشت زمان لازم، محصول تولید شود، سپس محتویات درون دستگاه مُدام توسط لوله‌ی تخلیه‌کننده به بیرون هدایت می‌شود و محصول نیز به‌طور مداوم استخراج می‌شود. به همان سرعتی که محتویات از دستگاه تخلیه می‌شود، باید محیط کشت جدید به دستگاه اضافه شود تا حجم کلی ثابت باقی‌بماند. به این روش «کشت پیوسته» گفته می‌شود. این سیستم به‌طور کامل خودکار است و شبانه‌روز فعالیت دارد.

نمونه‌هایی از سیستم پیوسته را به‌طور طبیعی در بدن جانداران نیز می‌توان مشاهده کرد. به‌عنوان مثال، میکروب‌های هضم‌کننده‌ی سلولز (بیش‌تر باکتری‌ها) در سیرابی معده‌ی گاو و گوسفند زندگی می‌کنند. این میکروب‌ها امکان هضم مقادیر عمده‌ی علف‌های خورده‌شده را فراهم می‌کنند.

۱- مزیت‌های استفاده از «کشت پیوسته» نسبت به «کشت بسته» کدام‌اند؟

۲- به نظر شما چرا اگر به سیرابی گاو و گوسفند بگوییم «سیستم پیوسته» صحیح‌تر است تا اینکه بگوییم «سیستم بسته». و اگر این سیستم از نوع بسته باشد، چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

### تولید صنعتی پنی‌سیلین نمونه‌ای از «کشت بسته» است.

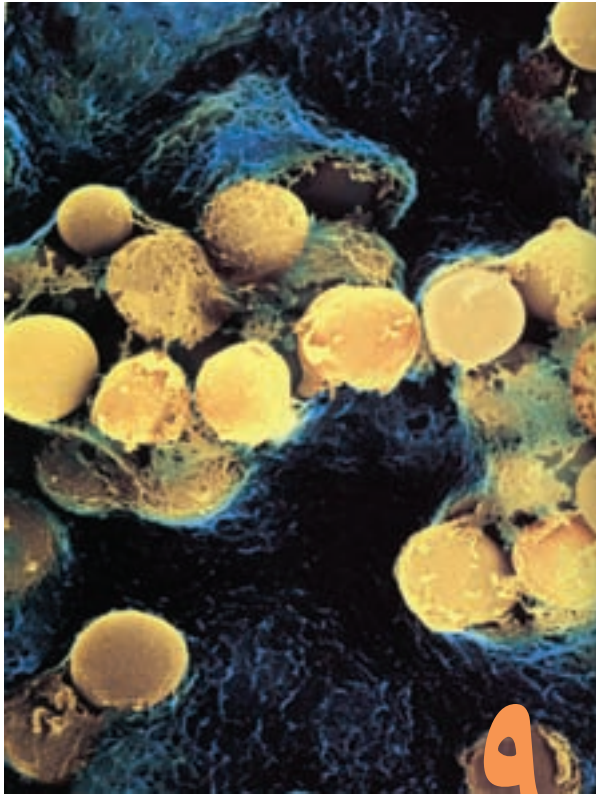
یک مقدار اولیه از قارچ پنی‌سیلیوم به محیط کشت مایع در دستگاه تخمیرکننده اضافه می‌شود. این محیط کشت حاوی انواع مختلف قندهاست. دمای محیط نیز همواره باید ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد ثابت باشد. تراکم و میزان اکسیژن محیط نیز باید با دقت کنترل شود. محصول پنی‌سیلین بستگی به دو عامل دارد: یکی به تراکم اکسیژن و دیگری به غلظت قندهای مختلف موجود در محیط کشت.

پس از طی ۲۴ ساعت اول، قارچ‌ها سریع رشد می‌کنند. سپس غلظت قندهای موجود در محیط کشت کاهش می‌یابد و در این حالت قارچ‌ها پنی‌سیلین تولید می‌کنند. پس از حدود یک هفته غلظت پنی‌سیلین در محیط کشت به حداکثر می‌رسد. سپس محصول جمع‌آوری و تصفیه می‌شود. محیط کشت مایع را از فیلترهای مخصوص عبور می‌دهند و قارچ‌ها پشت فیلتر می‌مانند و سپس پنی‌سیلین نیز از محیط کشت استخراج می‌شود.

## خودآزمایی



- ۱- محصولات گلیکولیز را نام ببرید. نقش هریک از آن‌ها در تنفس سلولی چیست؟
- ۲- نقش چرخه‌ی کربس و زنجیره‌های انتقال الکترون را در تنفس هوازی به‌طور خلاصه بیان کنید.
- ۳- نقش تخمیر را در دومین مرحله‌ی تنفس سلولی شرح دهید.
- ۴- تخمیر لاکتیک اسید و تخمیر الکلی را با هم مقایسه کنید.
- ۵- چرا تنفس سلولی با حضور اکسیژن کارآیی بیش‌تری دارد؟



باکتری‌های  
استرپتوکوکوس  
( $\times 10200$ )

## ۹ ویروس‌ها و باکتری‌ها

گلودرد ممکن است در اثر عفونت بافت‌های گلو با نوعی باکتری «استرپتوکوکوس» باشد. اگرچه بعضی باکتری‌ها و ویروس‌ها بیماری‌زایند، اما امروزه در آزمایشگاه‌های مهندسی ژنتیک از ویروس‌ها و باکتری‌ها به فراوانی استفاده می‌شود. باکتری‌ها امروزه منبع مهم تولیدکننده‌ی غذا، دارو و بعضی محصولات صنعتی به شمار می‌روند.

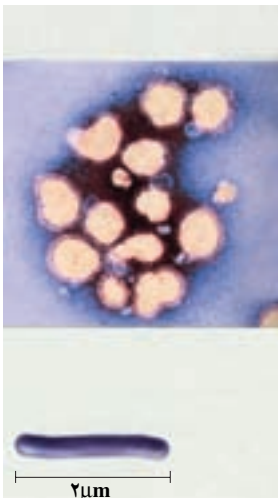
### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- ویژگی‌های جانداران را شرح دهید،
- ویژگی‌های پروکاریوت‌ها را فهرست کنید،
- DNA را با RNA مقایسه کنید.

## آیا ویروس زنده است؟

در کتاب علوم زیستی و بهداشت سال اول دبیرستان، با ویژگی‌های جانداران آشنا شدیم. آموختیم که همه‌ی جانداران از سلول ساخته شده‌اند و فعالیت هر سلول تحت کنترل اطلاعاتی است که در ماده‌ی وراثتی آن ذخیره شده است. هم‌چنین دانستیم که جانداران قادر به رشد و تولیدمثل‌اند. کوچک‌ترین جاندارى که این ویژگی‌ها را دارد، باکتری است.

ویروس، قطعه‌ای از نوکلئیک اسید است که درون پوششی از پروتئین قرار دارد. ویروس‌ها از باکتری‌ها بسیار کوچک‌ترند (شکل ۹-۱). بیش‌تر ویروس‌ها فقط با میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده‌اند. ویروس‌ها همگی برای تولید مثل وارد سلول‌ها می‌شوند و با آلوده کردن سلول میزبان و استفاده از امکانات آن، تولیدمثل می‌کنند. منظور از «آلوده کردن»، وارد شدن ویروس یا ماده‌ی ژنتیک آن به درون سلول است. چون ویروس‌ها همه‌ی ویژگی‌های حیات را ندارند، زیست‌شناسان آن‌ها را زنده نمی‌شمارند. ویروس‌ها رشد نمی‌کنند، هم‌مستازی (حالت پایدار) ندارند و متابولیسمی درون آن‌ها رخ نمی‌دهد؛ اما در بسیاری از جانداران باعث بروز بیماری می‌شوند و بنابراین تأثیر مهمی بر دنیای زنده برجای می‌گذارند.



شکل ۹-۱- ویروس آنفلوآنزا. اگر ۱۰۰ ویروس آنفلوآنزا در کنار یکدیگر قرار بگیرند، طول آن‌ها برابر طول یک باکتری می‌شود.



**کشف ویروس‌ها:** در اواخر قرن نوزدهم میلادی دانشمندان به دنبال یافتن عامل نوعی بیماری به نام موزاییک تنباکو بودند. آنان دریافتند که اگر از گیاه آلوده‌ی تنباکو عصاره‌ای تهیه کنند و این عصاره را با صافی‌هایی که از عبور باکتری‌ها جلوگیری می‌کند، تصفیه کنند، عصاره‌ی تصفیه شده باز هم می‌تواند در گیاهان سالم، بیماری تولید کند. بنابراین، دانشمندان چنین نتیجه گرفتند که عامل بیماری هرچه باشد، باید اندازه‌ای کوچک‌تر از باکتری داشته باشد. به همین علت، این عامل بیماری‌زا را ویروس نامیدند. ویروس در زبان لاتینی به معنی سم است.

زیست‌شناسان تا سال‌ها پس از این اکتشاف، ویروس‌ها را سلول‌هایی بسیار ریز می‌پنداشتند. در سال ۱۹۳۵ زیست‌شناسی به نام وندل استنلی<sup>۱</sup> توانست ویروس موزاییک تنباکو (TMV)<sup>۲</sup> را تخلیص کند. ویروس خالص شده، اگرچه به شکل بلور بود، اما می‌توانست گیاهان سالم را بیمار کند. چون تبلور، یکی از ویژگی‌های مواد شیمیایی است، بنابراین استنلی نتیجه گرفت که TMV یک ماده‌ی شیمیایی است نه یک موجود زنده.

TMV از RNA و پروتئین ساخته شده است. دانشمندان RNA را از ویروس جدا کردند و مشاهده کردند که باقیمانده‌ی ویروس، نمی‌تواند گیاهان سالم را بیمار کند. فکر می‌کنید آنان از این آزمایش چه نتیجه‌ای گرفتند؟

## ویروس‌ها شکل‌های مختلف دارند.

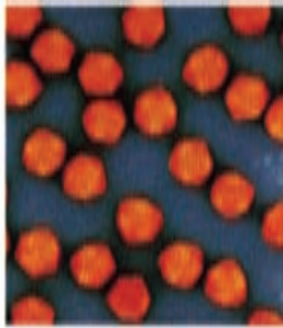
پوشش پروتئینی ویروس، کپسید نام دارد. درون کپسید ممکن است DNA یا RNA وجود داشته باشد (اما نه هر دو). از ویروس‌های RNA دار می‌توان به ویروس نقص ایمنی اکتسابی (HIV)<sup>۳</sup> که باعث ایدز می‌شود، ویروس آنفلوآنزا و ویروس‌های اشلر کرد. از ویروس‌های DNA دار می‌توان ویروس آبله مرغان و زگیل را نام برد. بسیاری از ویروس‌ها، نظیر ویروس آنفلوآنزا که در شکل ۲-۹ نشان داده شده است، غشایی دارند که پوشش نامیده می‌شود و کپسید را احاطه می‌کند. پوشش، ویروس را در ورود به سلول یاری می‌کند و از پروتئین، لیپید و گلیکو پروتئین ساخته شده است. این مولکول‌ها از سلول میزبان قبلی تأمین شده‌اند. بعضی از ویروس‌ها ممکن است آرنیم‌های مخصوصی نیز همراه داشته باشند.

بیش‌تر ویروس‌ها به یکی از این دو شکل اند: ماریچی یا چند وجهی. ویروس‌های ماریچی شکل، مثل TMV، ظاهری میله مانند دارند و پروتئین‌های سازنده‌ی کپسید آن‌ها ماریچیوار اطراف

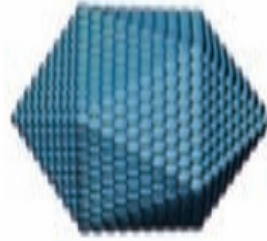
۱- Wendell Stanley

۲- Tobacco Mosaic Virus

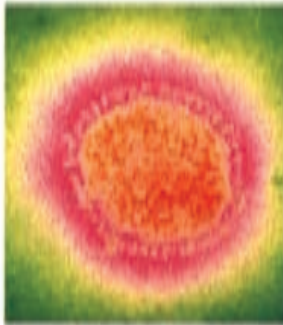
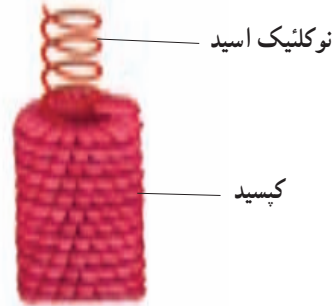
۳- Human Immunodeficiency Virus



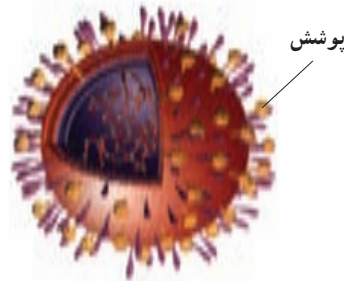
( $\times 135000$ ) آدنو ویروس (چند وجهی)



( $\times 125000$ ) موزاییک تنباکو (مارپیچی)



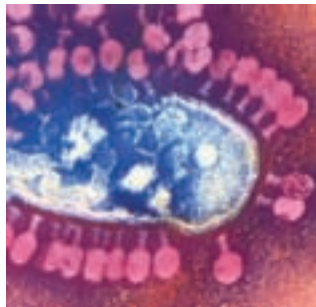
( $\times 202500$ ) آنفلوآنزا (پوشش دار)



شکل ۹-۲ ساختار ویروس. ویروس ممکن است کروی، مارپیچی، یا چند وجهی باشد. بعضی از ویروس ها پوشش هم دارند.

نوکلئیک اسید را فرا گرفته اند. ویروس چندوجهی، مانند آدنو ویروس وجوه متعددی دارد و کروی به نظر می رسد. در بیش تر ویروس های چند وجهی، کپسید از  $20^\circ$  وجه مثلثی شکل تشکیل شده است. این شکل، کارآمدترین شکل کپسید، برای گنجاندن ژنوم ویروس است (شکل ۹-۲).

ویروس‌هایی که باکتری‌ها را آلوده می‌کنند، باکتریوفاژ نامیده می‌شوند. باکتریوفاژها ساختار پیچیده‌ای دارند. کپسید آن‌ها چندوجهی است و یک دم مارپیچی به آن متصل است. مولکول طویل نوکلئیک اسید آن قدر بیچ و تاب خورده است که توانسته درون کپسید چندوجهی آن‌ها جای بگیرد.



شکل ۳-۹- باکتریوفاژهایی که یک باکتری را آلوده کرده‌اند. ابتدا باکتریوفاژها به باکتری متصل می‌شوند بعد نوکلئیک اسید خود را به درون سلول تزریق می‌کنند و سرانجام سلول را وادار می‌کنند ویروس را تکثیر کند.

### ویروس‌ها درون سلول‌های زنده همانندسازی می‌کنند.

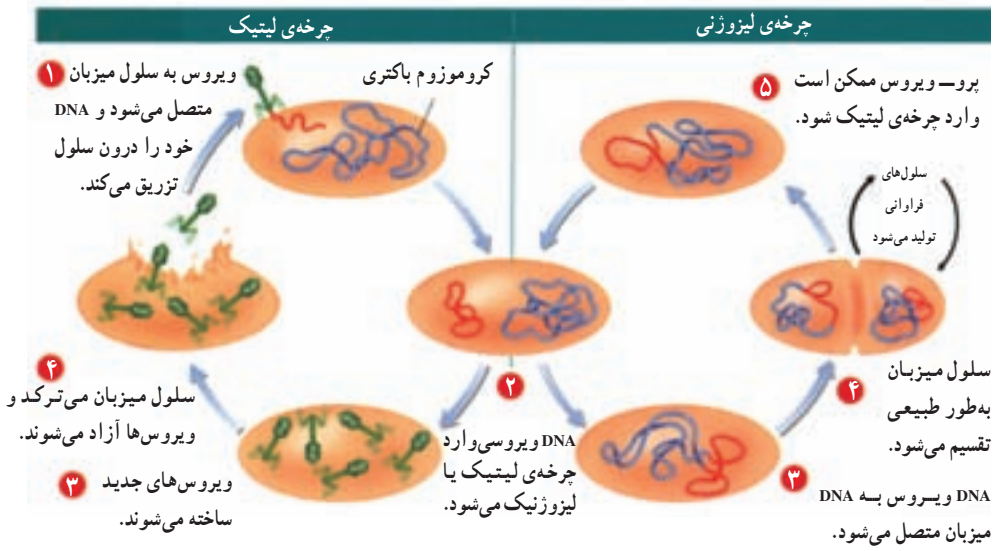
ویروس‌ها آزیم‌های لازم برای متابولیسم و نیز ساختارهای لازم برای پروتئین‌سازی را ندارند. بنابراین مجبورند برای همانندسازی به سلول‌های زنده (سلول‌های میزبان) متکی شوند. بنابراین قبل از آن که ویروس بتواند همانندسازی کند، باید سلول زنده‌ای را آلوده کرده باشد.

ویروس‌ها، سلول‌ها را از راه‌های گوناگون آلوده می‌کنند. باکتریوفاژها دیواره‌ی سلولی باکتری را سوراخ و بعد نوکلئیک اسید خود را به درون آن تزریق می‌کنند. ویروس‌های گیاهی، مثل TMV، از طریق شکاف‌های کوچکی که در دیواره‌ی سلولی ایجاد شده است، به سلول وارد می‌شوند. ویروس‌های جانوری از طریق آندوسیتوز به سلول وارد می‌شوند.

زیان ویروس‌ها وقتی آشکار می‌شود که درون سلول‌ها همانندسازی خود را آغاز می‌کنند. ورود ویروس به درون سلول به خودی خود مضر نیست، اما بعد از چند صد مرتبه همانندسازی، تعداد ویروس‌ها آن قدر زیاد می‌شود که سلول می‌ترکد و از بین می‌رود. آسیب سلول‌ها ممکن است در نهایت به آسیب اندام‌ها منجر شود به شرطی که تعداد بافت‌هایی که از بین می‌روند، برای از کار افتادن یک اندام کافی باشد.

گاهی ویروس بلافاصله بعد از آن که سلولی را آلوده کرد، شروع به همانندسازی می‌کند و ویروس‌های جدیدی را می‌سازد. به این مسیر، چرخه‌ی لیتیک می‌گوییم. اما گاهی ویروس تا مدتی درون سلول باقی می‌ماند و همانندسازی نمی‌کند. این مسیر را چرخه‌ی لیزوژنی می‌نامیم.

**چرخه‌ی لیتیک:** مراحل آلوده‌سازی سلول، همانندسازی ویروس همراه با تخریب سلول را چرخه‌ی لیتیک می‌نامیم. ژن‌های ویروسی، بعد از آن که وارد سلول شدند، امکانات سلول میزبان را در اختیار می‌گیرند و به تولید ژن‌های ویروسی و نیز پروتئین‌های ویروسی، مثل کپسید می‌پردازند. سپس پروتئین‌ها و ژن‌های ویروسی – در واقع نوکلئیک اسید ویروس – با آرایش مخصوصی کنار هم قرار می‌گیرند و ویروس کامل را پدید می‌آورند. این چرخه در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۹- همانندسازی ویروس در باکتری. ویروس‌ها در باکتری‌ها می‌توانند از طریق چرخه‌ی لیتیک یا لیزوژنی همانندسازی کنند.

**چرخه‌ی لیزوژنی:** گاهی ویروس‌ها بعد از آن که سلولی را آلوده کردند، تا مدتی درون سلول میزبان باقی می‌مانند، اما ویروس جدیدی نمی‌سازند. ژن‌های ویروسی به جای آن که به تولید ذرات ویروسی جدید بپردازند، خود را درون کروموزوم میزبان جای می‌دهند. در این حالت به آن‌ها

پرو- ویروس<sup>۱</sup> گفته می‌شود. با هر بار تقسیم سلول، پرو- ویروس نیز تقسیم می‌شود و در نتیجه سلول‌های حاصل نیز به ویروس آلوده‌اند. در این چرخه، که چرخه‌ی لیزوژنی نام دارد، ژنوم ویروسی همانندسازی می‌کند، بدون آن که سلول میزبان تخریب شود (شکل ۴-۹). در بعضی از ویروس‌های لیزوژنی، بروز تغییر در محیط ممکن است سبب شود تا پرو- ویروس چرخه‌ی لیتیک را آغاز کند. بدیهی است در این صورت سلول میزبان تخریب می‌شود.

در سلول‌های جانوری، ویروس‌ها می‌توانند آن قدر آهسته همانندسازی کنند که سلول میزبان تخریب نشود. مثلاً ویروس مولد تبخال آدمی، در اعصاب صورت پنهان می‌شود. وقتی شرایط بدن برای فعالیت ویروس مناسب شد، مثلاً وقتی که در فشار روحی هستیم یا تب می‌کنیم، ویروس موجب آسیب بافتی می‌شود و ما آن را به صورت تبخال مشاهده می‌کنیم.

ویروس‌ها میزبان‌های ویژه دارند: مثلاً TMV گیاه تنباکو و گیاهان خویشاوند آن را آلوده می‌کند و نمی‌تواند جانوران را آلوده کند. براساس فرضیه‌ای علت این ویژگی به منشأ ویروس‌ها برمی‌گردد. طرفداران این فرضیه بر این باورند که ویروس‌ها هنگامی پدید آمدند که قطعاتی از نوکلئیک اسید سلول‌ها به خارج از سلول راه پیدا کردند.

**HIV می‌تواند در سلول‌های انسان همانندسازی کند:** نشانگان نقص ایمنی اکتسابی (ایدز) نوعی بیماری است که در آن فرد توانایی دفاع علیه عوامل بیماری‌زا را از دست می‌دهد و به عفونت‌هایی مبتلا می‌شود که معمولاً در افراد سالم رخ نمی‌دهند.

افرادی که با HIV آلوده شده‌اند ممکن است تا سال‌ها علائم ایدز را نشان ندهند. بنابراین، فردی که با HIV آلوده شده است احساس تندرستی می‌کند و همین امر موجب انتشار ویروس از او به دیگران می‌شود.

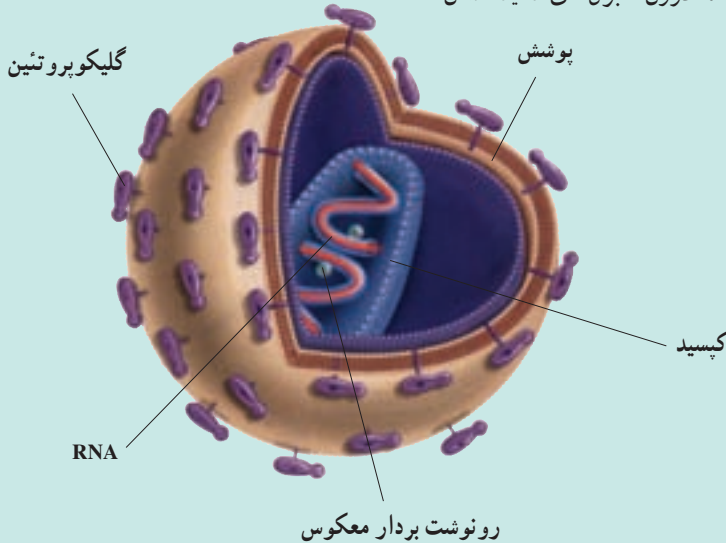
HIV طی تماس‌های عادی روزمره از فرد آلوده به فرد سالم منتقل نمی‌شود. HIV در مایعات بدن (مثل مایع محتوی اسپرم، مایع واژینال و خون) یافت می‌شود. بنابراین از طریق روابط جنسی، تزریق با سوزن آلوده یا انتقال خون، از فرد آلوده به فرد سالم منتقل می‌شود. همچنین طی دوران بارداری یا شیردهی، HIV از مادر به کودک منتقل می‌شود.



بیش تر بدانید

## ویروس ایدز در نمای نزدیک

- نام: ویروس نقص ایمنی اکتسابی آدمی (HIV)
- اندازه: ۱۲۵ nm
- زیستگاه: درون گلبول‌های سفید انسان



## ویژگی‌ها

پروتئین‌های ویروسی: گلیکوپروتئین‌ها در پوشش HIV جای گرفته‌اند. این مولکول‌ها، ویروس را قادر می‌سازند که گلبول‌های سفید آدمی را شناسایی کند و به درون آن‌ها وارد شود. پوشش: پوشش خارجی از یک لایه‌ی دوگانه‌ی لیپیدی، که از غشای سلول‌های میزبان مشتق شده است، تشکیل می‌شود. زیر پوشش، لایه‌ای پروتئینی به نام کپسید قرار دارد. ماده‌ی ژنتیکی: ژنوم HIV از دو مولکول RNA تک رشته‌ای، به طول ۹۰۰۰ نوکلئوتید، ساخته شده و حاوی ۹ ژن است. ۳ ژن از این ۹ ژن در دیگر ویروس‌ها نیز یافت می‌شود. همانندسازی: HIV به آتریم رونوشت بردار معکوس<sup>۱</sup> مجهز شده است. درون سلول، این آتریم از RNA ویروس، مولکول DNA می‌سازد. سپس با استفاده از دستگاه پروتئین‌سازی سلول، به تولید هزاران ویروس جدید می‌پردازد. ویروس‌های تولید شده از طریق جوانه‌زدن یا ترکاندن سلول، از آن خارج می‌شوند.

<sup>۱</sup> Reverse transcriptase

پریون‌ها و ویروئیدها: در سال ۱۹۸۲، استانیلی پروزینر<sup>۱</sup>، ذرات عفونی جدیدی را کشف کرد. این ذرات که پریون نام دارند از پروتئین ساخته شده‌اند و نوکلئیک اسید ندارند. بیماری‌زایی پریون‌ها بر پایه‌ی تغییر شکل پروتئین‌ها استوار است. شکل و ساختار پریونی که باعث بیماری می‌شود، به گونه‌ای تغییر می‌کند که قادر به کار نیست و بنابراین بیماری‌زاست. این پریون می‌تواند بر اثر تماس با پریونی که به‌طور طبیعی در بدن وجود دارد، شکل آن را نیز تغییر دهد و آن را به پریون بیماری‌زا تبدیل کند.

پریون‌ها اولین بار به یک بیماری گوسفندی نسبت داده شدند. بعد، دانشمندان دریافتند که عامل بیماری‌های جنون گاوی نیز پریون است. اگر کسی از گوشت آلوده به پریون بیماری‌زا بخورد، بیمار می‌شود.

ویروئید تک رشته‌ای از RNA است که کپسید ندارد. ویروئیدها از عوامل مهم بیماری‌زایی در گیاهان‌اند.

## خودآزمایی

- ۱- ویژگی‌های ویروس‌ها را با جانداران مقایسه کنید.
- ۲- آزمایش استنلی را روی TMV توضیح دهید.
- ۳- اجزای مختلف ویروس را نام ببرید.
- ۴- مراحل همانندسازی ویروس را فهرست‌وار بیان کنید.

## تفکر نقادانه

در مورد این گفته بحث کنید: «ویروس‌هایی مانند HIV جدید هستند».

<sup>۱</sup> Stanley Prusiner

ساختار باکتری‌ها از ساختار یوکاریوت‌ها ساده‌تر است.

باکتری‌ها حداقل در هفت مورد با یوکاریوت‌ها تفاوت دارند.

۱- هسته: باکتری‌ها پروکاریوت‌اند و برخلاف یوکاریوت‌ها ماده‌ی وراثتی آن‌ها درون هسته سازمان نیافته است.

۲- اندازه‌ی سلول: بیش‌تر باکتری‌ها در حدود  $1\mu\text{m}$  قطر دارند. سلول‌های یوکاریوتی به‌طور متوسط  $10^\circ$  برابر بزرگ‌تر از باکتری‌ها هستند.

بیش‌تر بدانید



### بزرگ‌ترین باکتری چه اندازه است؟

در سال ۱۹۹۹ دانشمندان اعلام کردند که موفق به کشف نوعی باکتری شده‌اند که بزرگ‌ترین باکتری کشف شده تا آن زمان است. این باکتری که تیومارگاریتا نامیبین سیس<sup>۱</sup> نام دارد، در نامیبیا یافت شده و  $0.5\text{mm}$  قطر دارد.

۳- پرسلولی بودن: باکتری‌ها تک سلولی‌اند. گاهی بعضی از باکتری‌ها به هم می‌چسبند و ساختارهای رشته‌مانندی را پدید می‌آورند. اما نمی‌توان چنین ساختارهایی را پرسلولی نامید، چون برخلاف جانداران پرسلولی واقعی سیتوپلاسم آن‌ها ارتباط مستقیمی با یک‌دیگر ندارد.

۴- کروموزوم: کروموزوم باکتری از DNA حلقوی تشکیل شده است، اما کروموزوم یوکاریوتی حاوی DNAی خطی است که پروتئین‌هایی به آن متصل است.

۵- تولیدمثل: باکتری‌ها از طریق تقسیم دوتایی تولیدمثل می‌کنند، اما سلول‌های یوکاریوتی به سبب داشتن هسته تولیدمثل پیچیده‌تری دارند. تولیدمثل این سلول‌ها هم تقسیم هسته را شامل می‌شود و هم تقسیم سیتوپلاسم را.

۶- تاژک و پیلی: تاژک باکتری ساختار ساده‌ای دارد و از یک تار پروتئین تشکیل شده

۱- *Thiomargarita namibiensis*



است که با حرکات خود، باکتری را به جلو می‌راند. بعضی از باکتری‌ها برآمدگی‌های کوتاه‌تر، اما ضخیم‌تری به نام پیلی دارند. پیلی به باکتری کمک می‌کند که به سطوح مختلف یا دیگر سلول‌ها بچسبد (شکل ۵-۹) و باکتری‌ها را قادر می‌سازد تا ماده‌ی ژنتیک خود را طی فرایندی به نام هم‌یوگی<sup>۱</sup> مبادله کنند. در پروکاریوت‌ها، پیلی یک باکتری به باکتری دیگر می‌چسبد و ماده‌ی ژنتیک، از باکتری دارای پیلی به باکتری بدون پیلی منتقل می‌شود. هم‌یوگی به باکتری‌ها امکان می‌دهد تا ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها را از سرده‌ای به سرده‌ی دیگر منتشر کنند.

۷- گوناگونی متابولیسمی: باکتری‌ها توانایی‌های متابولیسمی متعددی دارند که یوکاریوت‌ها از آن‌ها بی‌بهره‌اند. مثلاً باکتری‌ها قادر به انجام چند نوع فرایند بی‌هوازی و هوازی هستند، حال آن‌که یوکاریوت‌ها عمدتاً جاندارانی هوازی‌اند.



شکل ۵-۹- تازک و پیلی. باکتری‌ها با داشتن تازک می‌توانند حرکت کنند و با داشتن پیلی می‌توانند به سطوح مختلف بچسبند.

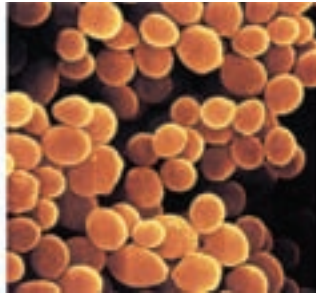
### ساختار سلول باکتری منحصر به فرد است.

سلول باکتری معمولاً به یکی از این سه شکل اصلی دیده می‌شود (شکل ۶-۹): باسیلوس، که میله‌ای شکل است، کوکوس که کروی شکل است و اسپیریلیوم که مارپیچی است. تعداد اندکی از انواع باکتری‌ها می‌توانند به یک‌دیگر متصل شوند و ساختارهایی رشته‌ای پدید آورند. اگر اجتماع باکتری‌ها به صورت رشته‌ای باشد، آن‌ها را با پیشوند استرپتو و اگر به صورت خوشه‌ای باشد، آن‌ها را با پیشوند استافیلو مشخص می‌کنند.

<sup>۱</sup>- Conjugation



باسیلوس (میله‌ای شکل)



کوکوس (کروی شکل)



اسپیریلیوم (مارپیچی شکل)

شکل ۶-۹- شکل‌های باکتری‌ها. باکتری‌ها معمولاً به یکی از سه شکل بالا هستند.

باکتری‌ها را براساس نوع دیواره‌ی سلولی آن‌ها به دو گروه تقسیم می‌کنند: گرم مثبت و گرم منفی. این دو گروه را برپایه‌ی پاسخی که به روش رنگ آمیزی گرم می‌دهند، از یک‌دیگر تشخیص می‌دهند.

رنگ آمیزی گرم در پزشکی از اهمیت فراوان برخوردار است، چون باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی با آنتی‌بیوتیک‌های متفاوتی نابود می‌شوند.

بعضی باکتری‌ها وقتی در شرایط سخت، از جمله کمبود مواد غذایی، خشکی و دمای زیاد، فرار می‌گیرند، دیواره‌ی ضخیمی دور تا دور کروموزوم خود می‌سازند. این ساختار، که اندوسپور نام دارد، علاوه بر کروموزوم، مقدار کمی سیتوپلاسم نیز در خود جای داده است. اندوسپور نسبت به تنش‌های محیطی مقاوم است و می‌تواند سال‌ها بعد از تشکیل، رویش خود را از سر گیرد و باکتری فعالی تولید کند.

### رده‌بندی باکتری‌ها

فرمانرو پروکاریوت‌ها شامل دو گروه مهم از باکتری‌ها است: یوباکتری‌ها و آرکی باکتری‌ها.

#### الف. یوباکتری‌ها

باکتری‌هایی که رو، یا درون بدن ما زندگی می‌کنند، از یوباکتری‌ها هستند. بعضی از آن‌ها بیماری ایجاد می‌کنند. از بعضی از آن‌ها برای پردازش غذا استفاده می‌کنند. تولید ماست از آن

۱- به افتخار Christian Gram ابداع کننده‌ی این روش رنگ آمیزی.

جمله است. کنترل حشرات آفت محصولات کشاورزی، تولید مواد شیمیایی مختلف و کاربرد در مهندسی ژن از دیگر موارد استفاده‌ی یوباکتری‌هاست. زیست‌شناسان یوباکتری‌ها را بر پایه‌ی شکل، مواد موجود در دیواره‌ی سلولی و نوع متابولیسم آن‌ها، رده‌بندی می‌کنند.

بعضی یوباکتری‌ها از ترکیب‌های غیرآلی، مانند سولفید هیدروژن و آمونیاک انرژی به دست می‌آورند. بعضی از آن‌ها فتوسنتزکننده هستند و در آب‌های دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند و بنابراین نخستین تولیدکنندگان این اکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند. بعضی دیگر از آن‌ها مصرف‌کننده‌اند. گروهی از یوباکتری‌های مصرف‌کننده بی‌هوازی و گروهی دیگر هوازی هستند. یوباکتری‌های مصرف‌کننده، تجزیه‌کنندگان اصلی اکوسیستم‌ها هستند و در چرخه‌ی موادی مانند کربن، نیتروژن و فسفر نقش مهمی دارند.

### ویژگی‌های یوباکتری‌ها

**دیواره‌ی سلولی:** یوباکتری‌ها دیواره‌ی محکم از جنس ماده‌ای به نام پپتیدوگلیکان دارند. پپتیدوگلیکان نوعی کربوهیدرات است که پل‌هایی عرضی و کوتاه از جنس پروتئین در آن یافت می‌شود. ساختار ژنی: ژن‌های یوباکتری‌ها اینترون ندارند.

**دستگاه ترجمه‌ی ژن:** توالی آمینواسیدهای موجود در پروتئین‌های ریبوزومی و RNA پلی‌مراز موجود در یوباکتری‌ها با مولکول‌های مشابه در آرکی باکتری‌ها و نیز یوکاریوت‌ها، تفاوت‌های بسیار دارند. از این توالی‌ها برای معلوم کردن روابط خویشاوندی بین یوباکتری‌ها و آرکی باکتری‌ها استفاده می‌کنند.

### ب. آرکی باکتری‌ها

آرکی باکتری‌ها پروکاریوت‌هایی هستند که اگر چه شامل انواع بسیاری هستند، اما همگی ویژگی‌های مشترک خاصی دارند. حداقل سه گروه عمده از آرکی باکتری‌ها موجود است که در محیط‌های افراطی زندگی می‌کنند.

متانوزن‌ها با تولید گاز متان ( $\text{CH}_4$ ) از مواد آلی انرژی به دست می‌آورند. چنین پروکاریوت‌هایی در محیط‌هایی همچون مرداب‌ها زندگی می‌کنند.

ترموفیل‌ها در آب‌های بسیار داغ که دمای آن‌ها معمولاً بین  $60^\circ\text{C}$  تا  $80^\circ\text{C}$  است، مانند آب‌های نزدیک محل‌های خروج مواد آتشفشانی در میان اقیانوس‌ها، زندگی می‌کنند. بسیاری از ترموفیل‌ها از مواد گوگرددار انرژی کسب می‌کنند.

هالوفیل‌ها<sup>۱</sup> در آب‌های بسیار شور زندگی می‌کنند. این آرکی باکتری‌ها می‌توانند شوری ۱۵ تا ۲۰ درصد نمک را تحمل کنند.

آرکی باکتری‌ها را می‌توان به فراوانی در خاک و آب دریاها نیز یافت. این جانداران از نخستین تولیدکننده‌ها هستند.

ویژگی‌های آرکی باکتری‌ها: تفاوت‌های آرکی باکتری‌ها با یوباکتری‌ها در متابولیسم و ساختار آن‌هاست.

دیواره و غشای سلولی: در دیواره‌ی آرکی باکتری‌ها، برخلاف دیواره‌ی یوباکتری‌ها پپتید و گلیکان وجود ندارد. نوع لیپیدهای موجود در آرکی باکتری‌ها با مواد مشابه در یوباکتری‌ها و یوکاریوت‌ها بسیار متفاوت است.

ساختار و ترجمه‌ی ژن: در ژن‌های آرکی باکتری‌ها، همانند ژن‌های یوکاریوت‌ها، قطعات اینترون وجود دارد. پروتئین‌های ریبوزومی آرکی باکتری‌ها بسیار شبیه مولکول‌های مشابه در یوکاریوت‌هاست و آن‌ها از این نظر با یوباکتری‌ها تفاوت‌های بسیار دارند.

## خودآزمایی



- ۱- تفاوت‌های یوباکتری‌ها و آرکی باکتری‌ها را بنویسید.
- ۲- بعضی از زیست‌شناسان آرکی باکتری‌ها را در فرمانرویی جداگانه قرار می‌دهند و معتقدند که شش فرمانرو از جانداران در زمین زندگی می‌کنند. فکر می‌کنید دلایل آن‌ها چیست؟

## بیش‌تر بدانید



## واکنش گرم

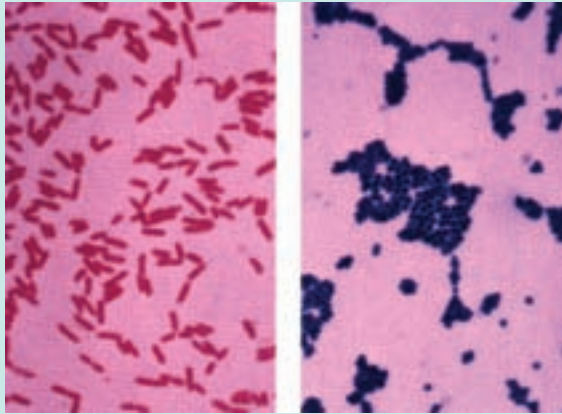
وقتی با یک عفونت باکتریایی بیمار می‌شویم، یکی از اولین مواردی که پزشک درباره‌ی باکتری مسبب بیماری می‌خواهد بداند، واکنش گرم آن‌هاست. دانستن واکنش گرم مهم

<sup>۱</sup> - Halophiles

است، چون حساسیت باکتری‌های گرم – مثبت و گرم – منفی نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها متفاوت است.

× ۱۳۲۵

× ۱۳۲۵



اختلاف باکتری‌های گرم – منفی و گرم – مثبت در این است که باکتری‌های گرم – مثبت نسبت به باکتری‌های گرم – منفی، لایه‌ی پپتیدوگلیکانی ضخیم‌تری دارند.

### رنگ‌آمیزی گرم چگونه انجام می‌شود؟

باکتری‌ها ابتدا با رنگ ویوله (بنفش) رنگ‌آمیزی می‌شوند و سپس برای نگه داشتن رنگ در سلول‌ها، یک محلول یدی اضافه می‌شود. بعد سلول‌ها با الکل شسته می‌شوند. الکل، رنگ ویوله را از باکتری‌هایی که نمی‌توانند رنگ را نگه دارند، می‌شوید. سپس باکتری‌ها با یک رنگ صورتی روشن رنگ‌آمیزی می‌شوند. باکتری‌های گرم – مثبت نسبت به رنگ‌بری با الکل مقاوم‌اند و رنگ بنفش را نگه می‌دارند. باکتری‌های گرم منفی نمی‌توانند این رنگ را نگه دارند و صورتی رنگ می‌شوند. این اختلافات در شکل بالا نشان داده شده است.

در نتیجه‌ی رنگ‌آمیزی گرم، پزشک می‌تواند آنتی‌بیوتیک مؤثرتری را علیه باکتری مسبب بیماری تشخیص دهد.

**باکتری‌ها بر حسب شیوه‌ی کسب انرژی نیز گروه‌بندی می‌شوند.**

باکتری‌ها در زیستگاه‌های بسیار متعدد و گوناگون زندگی می‌کنند و هر جا که یافت شوند از نظر بوم‌شناسی، نقشی کلیدی در زیستگاه خود برعهده دارند.

گروه‌بندی باکتری‌ها براساس شیوه‌ی به‌دست آوردن غذا به ما کمک می‌کند تا گوناگونی باکتری‌ها

را بهتر درک کنیم. باکتری‌ها را می‌توان برحسب روابط تبارزایی آن‌ها نیز گروه‌بندی کرد. باکتری‌های فتوسنتزکننده: بخش مهمی از فتوسنتزی که در دنیای زنده رخ می‌دهد، باکتری‌ها انجام می‌دهند. باکتری‌های فتوسنتزکننده براساس نوع رنگیزه‌ی فتوسنتزی به چهار گروه عمده تقسیم می‌شوند. باکتری‌های غیرگوگردی ارغوانی، باکتری‌های گوگردی سبز، باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سیانوباکتری‌ها. باکتری‌های گوگردی سبز و باکتری‌های گوگردی ارغوانی در محیط‌های بی‌هوازی (بدون اکسیژن) رشد می‌کنند. این باکتری‌ها نمی‌توانند از آب، به‌عنوان منبع الکترون برای فتوسنتز استفاده کنند و به‌جای آن از ترکیبات گوگردی، مثل هیدروژن سولفید ( $H_2S$ )، سود می‌جویند. باکتری‌های غیرگوگردی ارغوانی برای فتوسنتز از ترکیبات آلی مثل اسیدها و کربوهیدرات‌ها، به‌عنوان منبع الکترون استفاده می‌کنند. سیانوباکتری‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. به یاد بیاوریم که اکسیژن موجود در جو زمین، به‌وسیله‌ی سیانوباکتری‌ها ساخته شده است. سیانوباکتری‌ها غالباً به یک‌دیگر می‌چسبند و رشته‌هایی پدید می‌آورند. هر رشته زنجیره‌ای از سلول‌هاست که در کپسول ژله مانند پیوسته‌ای جای گرفته‌اند. بسیاری از سیانوباکتری‌ها، از قبیل 'آنابنا' می‌توانند نیتروژن را تثبیت کنند (شکل ۹-۷).



شکل ۹-۷- باکتری‌های فتوسنتزکننده. آنابنا، یک سیانوباکتری فتوسنتزکننده است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، سلول‌ها به یک‌دیگر چسبیده‌اند و ساختاری رشته مانند را ایجاد کرده‌اند. درون دو سلول نارنجی رنگ بزرگی که در شکل می‌بینید تثبیت نیتروژن رخ می‌دهد.

## باکتری‌های شیمیواتوتروف

باکتری‌های شیمیواتوتروف انرژی خود را از طریق برداشتن الکترون‌ها از مولکول‌های غیرآلی، مانند آمونیاک ( $NH_3$ )، هیدروژن سولفید ( $H_2S$ ) به‌دست می‌آورند. باکتری‌های شیمیواتوتروفي که در خاک زندگی می‌کنند، مثل نیتروزوموناس<sup>۲</sup> و نیتروباکتر<sup>۳</sup> از نظر کشاورزی و حفظ محیط بسیار حائز اهمیت‌اند، چون نقش شوره‌گذاری را در چرخه‌ی نیتروژن برعهده دارند. چنان‌که می‌دانید، شوره‌گذاری فرایندی است که طی آن آمونیاک به‌وسیله‌ی اکسیداسیون به نیترات تبدیل می‌شود.

۱- Anabaena

۲- Nitrosomonas

۳- Nitrobacter

نیترات، رایج‌ترین شکل نیتروژن است که گیاهان از آن استفاده می‌کنند.

## باکتری‌های هتروتروف

بیش‌تر باکتری‌ها هتروتروف‌اند، یعنی از غذایی که به‌وسیله‌ی جانداران دیگر ساخته شده است تغذیه می‌کنند. باکتری‌های هتروتروف، همراه با قارچ‌ها، از تجزیه‌کنندگان اصلی دنیای زنده‌اند. تجزیه‌کنندگان، پیکر موجودات مرده را تجزیه می‌کنند و مواد غذایی آن را در دسترس سایر جانداران قرار می‌دهند. بیش‌تر بویی که از خاک استشمام می‌شود ناشی از باکتری‌های هتروتروف است. بیش‌تر باکتری‌ها هوازی هستند و در حضور اکسیژن زندگی می‌کنند؛ بعضی دیگر می‌توانند در حضور یا در نبود اکسیژن زندگی کنند.

فعالیت‌های باکتری‌های هتروتروف، ممکن است برای انسان مفید یا مضر باشد. مثلاً بیش از نیمی از آنتی‌بیوتیک‌هایی که در اختیار داریم به‌وسیله‌ی گونه‌های متعددی از استرپتومایسز<sup>۱</sup> ساخته می‌شوند. استرپتومایسز، نوعی باکتری رشته‌ای است که در خاک یافت می‌شود.

از سوی دیگر، یکی از گونه‌های استافیلوکوکوس می‌تواند با ترشح سم خود به درون مواد غذایی باعث تهوع، استفراغ و اسهال در افرادی شود که غذای آلوده به استافیلوکوکوس را خورده‌اند.

ریزوبیوم‌ها، مهم‌ترین جانداران تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن‌اند. این باکتری‌ها، که هتروتروف‌اند، معمولاً در غده‌های روی ریشه‌ی گیاهان (مانند سویا، لوبیا، بادام‌زمینی، یونجه و شبدر) زندگی می‌کنند (شکل ۸-۹). کشاورزان از توانایی ریزوبیوم‌ها در تثبیت نیتروژن استفاده مهمی می‌کنند. آنان هر چند سال یک بار در زمین‌های کشاورزی خود گیاهانی از خانواده پروانه‌واران را می‌کارند تا خاک را از ترکیبات نیتروژن‌دار دوباره غنی سازند.

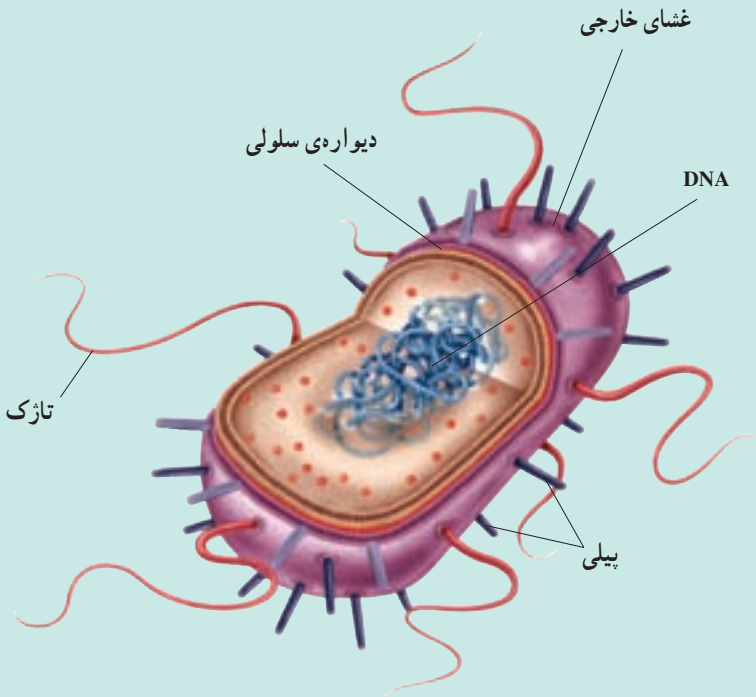


شکل ۸-۹- باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن. باکتری‌های موجود در غده‌های روی ریشه‌ی این لوبیا، حاوی گونه‌ای از باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن، متعلق به سرده‌ی ریزوبیوم هستند.



## اشریشیا کُلائی در نمای نزدیک

- نام علمی: اشریشیا کُلائی *Escherichia coli*
- اندازه: تا  $1\mu\text{m}$
- زیستگاه: روده‌ی بسیاری از پستانداران
- روش تغذیه: هتروتروفی



## ویژگی‌ها

ساختار سلولی: اشریشیا کُلائی، سلولی پروکاریوتی است. دیواره‌ی سلولی سختی دارد که از پپتیدوگلیکان ساخته شده است. روی پپتیدوگلیکان، غشای خارجی قرار گرفته که متشکل از لیپید و پلی ساکارید است. ا.کُلائی، یوباکتری گرم - منفی است.



## ماده‌ی ژنتیک

DNA / کلاهی مانند DNA تمام باکتری‌ها، مولکولی حلقوی است که در حدود ۵۰۰۰ ژن را در خود جای داده است. قبل از تقسیم سلولی، DNA همانندسازی می‌کند و دو مولکول DNA یکسان پدید می‌آورد.

## تحرك

/ کلاهی به کمک تاژک‌های باریکی که دارد، خود را در محیط به جلو پیش می‌برد.

## تولیدمثل

بیش‌تر باکتری‌ها با تقسیم دوتایی تولیدمثل می‌کنند. در تقسیم دوتایی یک سلول به دو سلول جدید یکسان تقسیم می‌شود. / کلاهی می‌تواند تقریباً در هر ۲۰ دقیقه یک بار تقسیم شود.

## چسبندگی

/ کلاهی مانند بسیاری از باکتری‌های گرم – منفی پیلی دارد. پیلی، برآمدگی‌های کوتاه، باریک و مومانندی است که در سطح باکتری یافت می‌شود. پیلی دو کار مهم را برعهده دارد. اول، چسبیدن به سطوح مختلف مثل سطح جدار روده و دوم، اتصال دو سلول باکتری به یک‌دیگر قبل از فرایند هم‌یوغی است.

## باکتری‌ها به دو روش اساسی بیماری ایجاد می‌کنند.

باکتری‌ها ممکن است از میزبان خود به‌عنوان منبع غذا استفاده کنند: باکتری‌های هتروتروف، غذای خود را از طریق ترشح آنزیم‌های گوارشی و تجزیه‌ی مواد آلی موجود در محیط به‌دست می‌آورند. اگر محیط‌زیست باکتری‌ها گلو یا شش‌های شما باشد، تغذیه‌ی باکتری‌ها نتایج خطرناکی در پی خواهد داشت. مثلاً سل، که یکی از بیماری‌های شش است، توسط مایکوباکتریوم توبرکلوسیز<sup>۱</sup> ایجاد می‌شود. سل، روزگاری از شایع‌ترین علل مرگ و میر بود. در بیش‌تر موارد، عفونت از طریق تنفس قطره‌های ریز آلوده به باکتری منتقل می‌شود. اگر سل درمان نشود، ممکن است منجر به مرگ شود.

<sup>۱</sup> - *Mycobacterium tuberculosis*

همه‌ی باکتری‌های بیماری‌زا کشته نمی‌شوند. مثلاً بعضی از باکتری‌ها عارضه‌هایی را سبب می‌شوند که ما به‌طور روزمره ممکن است با آن‌ها برخورد کنیم، مثل جوش صورت. جوش صورت در ۸۵ درصد نوجوانان یافت می‌شود. بعضی باکتری‌ها، مثل پروپیونی باکتریوم آکسس<sup>۱</sup>، در غده‌های چربی موجود در پوست رشد می‌کنند. این باکتری‌ها، نوع خاصی از مواد چربی را که در این غده‌ها تولید می‌شوند، متابولیزه می‌کنند. طی بلوغ، غده‌های چربی، مقدار بیش‌تری چربی تولید می‌کنند. بنابراین تعداد باکتری‌ها به مقدار بسیار زیادی افزایش می‌یابد. در نتیجه منافذی که چربی با عبور از آن‌ها به سطح پوست ترشح می‌شود، مسدود می‌گردند و بنابراین چربی در پوست تجمع می‌یابد و به این ترتیب جوش پدید می‌آید.

### توکسین‌های باکتریایی

دومین روش بیماری‌زایی باکتری‌ها، ترشح ترکیبات شیمیایی است. این مواد شیمیایی – که توکسین نامیده می‌شوند – برای سلول‌های یوکاریوتی سمی هستند. توکسین‌ها ممکن است به‌درون بدن فرد یا غذای آلوده به باکتری ترشح شوند. مثلاً کورینه باکتریوم دیفتریا<sup>۲</sup>، که گرم مثبت است و باعث بیماری دیفتری می‌شود، در گلو رشد می‌کند، اما توکسین آن بر قلب، اعصاب، کبد و کلیه‌ها اثر می‌کند. دیگر باکتری‌ها، مثل باکتری‌های گرم منفی، نوعی توکسین را که اندوتوکسین نام دارد ترشح می‌کنند. اندوتوکسین باعث تب، درد عضلانی و لرز می‌شود.

وقتی باکتری‌ها در غذا رشد و توکسین ترشح می‌کنند، توکسین‌های تولید شده ممکن است در افرادی که از آن غذا می‌خورند، بیماری ایجاد کنند. این نوع بیماری را مسمومیت می‌نامند. مثلاً استفیلوکوکوس اورئوس<sup>۳</sup> شایع‌ترین نوع مسمومیت غذایی را باعث می‌شود. از علائم آن می‌توان به حالت تهوع، استفراغ و اسهال اشاره کرد. این نوع مسمومیت، به ندرت مرگ‌آفرین است.

نوع دیگری از مسمومیت، که کشنده است، در غذاهای کنسرو شده‌ای دیده می‌شود که به‌خوبی کنسرو نشده‌اند (شکل ۹-۹). گاهی اوقات غذاهای بسته‌بندی شده آن‌قدر حرارت نمی‌بینند که باکتری‌های اندوسپوردار آن‌ها کشته شوند. کلستریدیوم بوتولینیم<sup>۴</sup> یکی از این باکتری‌هاست و توکسین آن که بر دستگاه عصبی انسان اثر می‌کند، بسیار مهلک است. کسی که غذای آلوده به این توکسین را بخورد، به بیماری بوتولیسم<sup>۵</sup> مبتلا می‌شود. از علائم آن می‌توان به دید دوتایی (دوبینی)

۱- *Propionibacterium acnes*

۲- *Corynebacterium diphtheria*

۳- *Staphylococcus aureus*

۴- *Clostridium botulinum*

۵- botulism

و فلج‌شدگی اشاره کرد. مبتلایان به این بیماری ممکن است بر اثر ناتوانی در تنفس، بمیرند.



شکل ۹-۹- رشد بی‌هوازی. باکتری‌هایی که اندوسپور می‌سازند می‌توانند در محیط‌های فاقد هوا، درون قوطی‌های کنسرو رشد کنند. در نتیجه‌ی این متابولیسم مقدار زیادی گاز تولید می‌شود که باعث برآمدن درب قوطی می‌شود.

### می‌توان با بیماری‌های باکتریایی مبارزه کرد.

بیش‌تر باکتری‌ها در آب جوش یا با مواد شیمیایی مخصوص کشته می‌شوند. استفاده از آب داغ و مواد شوینده از آلوده شدن ظروف آشپزخانه و در نتیجه انتشار بیماری جلوگیری می‌کند. مواد ضدباکتری زیادی نیز به‌طور تجاری تهیه شده‌اند که استفاده از آن‌ها یکی از راه‌های پیشگیری از ابتلا به بیماری است.

### آنتی‌بیوتیک‌ها

در سال ۱۹۲۸، باکتری‌شناسی به نام الکساندر فلمینگ<sup>۱</sup> متوجه شد که قارچی از سرده‌ی پنی‌سیلیوم روی محیط کشتی از استافیلوکوکوس اورئوس رشد کرده است. وی دید که در نزدیکی قارچ، باکتری‌ها رشد نکرده‌اند. فلمینگ از این مشاهده نتیجه گرفت که قارچ ماده‌ای ترشح کرده است که باکتری‌ها را می‌کشد (شکل ۱۰-۹). فلمینگ این ماده را جداسازی کرد و آن را پنی‌سیلین نام نهاد. در اوایل دهه‌ی ۱۹۴۰ دانشمندان دریافتند که پنی‌سیلین در درمان بیماری‌های باکتریایی، مثل ذات‌الریه، مؤثر است.

۱- Alexander Fleming



شکل ۱۰-۹- آنتی بیوتیک‌ها به طور طبیعی تولید می‌شوند. ظرفی که الکساندر فلمینگ دیده بود، شبیه ظرف آگاهی است که در شکل مقابل نشان داده شده است. دقت کنید که باکتری‌های مجاور قارچ‌ها، رشد نکرده‌اند.

آنتی بیوتیک‌ها با فرایندهای سلولی تداخل دارند و چون فرایندهای سلولی در ویروس‌ها رخ نمی‌دهد، بر ویروس‌ها مؤثر نیستند. بعضی از آنتی بیوتیک‌ها مثل تتراسایکلین و آمپی‌سیلین در طبیعت کشف شده یا به‌طور شیمیایی ساخته شده‌اند.

## فعالیت



### تشخیص باکتری‌های بیماری‌زا

برای تشخیص باکتری‌ها، از آزمایش‌هایی استفاده می‌کنند که فیزیولوژی، واکنش گرم و شکل باکتری‌ها را آشکار می‌سازند. در یک آزمایشگاه، نوعی باکتری از فرد بیماری جدا شده است. با استفاده از جدول زیر و اطلاعات موجود در متن درس، این باکتری را، که یکی از بیماری‌زاهای متداول است، شناسایی کنید و به سؤالات آن پاسخ دهید.

آزمایش			جاندار
B	A	واکنش گرم	
+	+	-	ا. کُلائی
-	+	-	سالمونلا اینتریتیدیس
+	-	-	کلبسیلا نومونیا
+	-	+	استافیلوکوکوس اورئوس
-	-	+	استرپتوکوکوس پیوجنز
+	-	+	نامعلوم

- ۱- نام باکتری نامعلوم را پیدا کنید.
- ۲- آیا نمونه‌ی مورد آزمایش ممکن است نمونه‌ای از غذایی باشد که فرد احتمالاً با خوردن آن بیمار شده است؟
- ۳- اگر نمونه‌ی نامعلوم، از غذایی گرفته شده باشد که قبلاً کاملاً پخته شده است، آیا آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند در بهبود فرد مؤثر باشند؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

## اهمیت‌های باکتری‌ها

با این که بعضی باکتری‌ها آدمی را بیمار و غذای او را فاسد می‌کنند، اما فواید بسیار مهمی هم دارند.

### فراورده‌های غذایی و شیمیایی

بسیاری از غذاهایی که می‌خوریم، به وسیله‌ی انواع خاصی از باکتری‌ها پردازش شده‌اند. مثلاً غذاهای تخمیری به کمک باکتری‌ها تولید می‌شوند. از مواد غذایی تخمیری می‌توان ماست، پنیر و سرکه را نام برد.

آدمی قادر است باکتری‌ها را برای تولید مواد شیمیایی به منظور مصارف صنعتی به خدمت بگیرد. مثلاً، انواع مختلفی از سرده‌ی کلستریدیوم<sup>۱</sup> می‌توانند استون و بوتانول بسازند. بسیاری از ترکیبات مهم شیمیایی از این دو ماده‌ی اولیه ساخته می‌شوند.

شرکت‌های مهندسی ژنتیک برای تولید فراورده‌های خود، نظیر داروها و مواد پیچیده‌ای که در پژوهش‌های علمی مورد نیازند، از باکتری‌هایی استفاده می‌کنند که به روش مهندسی ژنتیک، تغییر داده شده‌اند.



شکل ۱۱-۹- دستگاه تخمیر کننده‌ی (فرمانتور) صنعتی. باکتری‌ها برای تولید مواد شیمیایی مفید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱- Clostridium

استفاده از باکتری‌ها در استخراج معادن و پاکسازی محیط: شرکت‌های بهره‌بردار از معدن از باکتری‌ها برای تخلیص کردن عنصر مورد نظر از سنگ معدن‌هایی که عیار پایین دارند، استفاده می‌کنند. این سنگ معدن‌ها که مقدار کمی از عنصر مورد نظر را در خود جای داده‌اند، حاوی گوگردند. باکتری‌های شیمیواتروف می‌توانند گوگرد را به ترکیبات محلول تبدیل کنند. سنگ معدن را با آب شستشو می‌دهند. آب، ترکیبات محلول گوگردی را می‌شوید و از سنگ معدن جدا می‌کند. آنچه باقی می‌ماند، عنصر مورد نظر است. از این روش برای استخراج مس و اورانیوم نیز استفاده می‌شود.

بعضی از باکتری‌ها می‌توانند مواد آلی مختلفی را متابولیزه کنند. از این باکتری‌ها برای پاکسازی آلودگی‌های نفتی و شیمیایی استفاده می‌کنند. برای پاکسازی لکه‌های نفتی، از پودرهایی که حاوی باکتری‌های متابولیزه‌کننده نفت‌اند استفاده می‌شود.

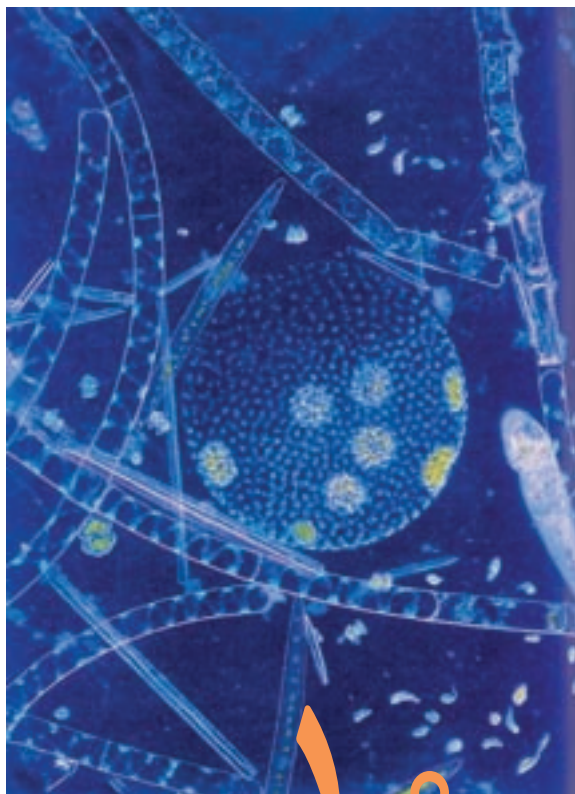
### تفکر نقادانه

پیدایش باکتری‌های مقاوم نسبت به آنتی‌بیوتیک چگونه می‌تواند نقش انتخاب طبیعی را در تغییر گونه‌ها تأیید کند؟

### خودآزمایی



- ۱- هفت تفاوت باکتری‌ها را با یوکاریوت‌ها نام ببرید.
- ۲- چه رابطه‌ای بین متابولیسم، سم، باکتری و بیماری وجود دارد؟
- ۳- رابطه‌ی بین فتوسنتز، متابولیسم هتروتروفی و متابولیسم شیمیواتروفی را توضیح دهید.
- ۴- سه راه استفاده از باکتری‌ها را بنویسید.



## آغازیان

در فرمانروی آغازیان جانداران بسیار گوناگونی جای دارند. بسیاری از آن‌ها تک‌سلولی، اما گروهی هم پرسلولی‌اند. چون این جانداران ابتدایی‌ترین، قدیمی‌ترین و آغازی‌ترین یوکاریوت‌ها هستند، به آن‌ها آغازی می‌گوییم.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید :
- ساختار سلول‌های یوکاریوتی را توضیح دهید،
- اهمیت تولیدمثل جنسی را شرح دهید،
- اهمیت پرسلولی‌بودن را بیان کنید.

## ۱ ویژگی‌های آغازیان

آغازیان یکی از متنوع‌ترین و قدیمی‌ترین گروه‌های جانداران اند. آغازیان که یکی از قدیمی‌ترین گروه‌های جانداران اند، بیش‌تر تک‌سلولی و میکروسکوپی هستند. پارامسی و آمیب از نمونه‌های آشنای آغازیان هستند. کلب‌ها<sup>۱</sup> بزرگ‌ترین آغازیان هستند که پرسلولی اند، طول آن‌ها به چند متر می‌رسد و در اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند.

### ویژگی‌ها

اعضای فرمانروی آغازیان بسیار متنوع‌اند و بنابراین ویژگی‌های بسیار متفاوتی دارند. مثلاً، بعضی از آن‌ها فتوسنتزکننده‌اند، بعضی انگل و بعضی دیگر شکارچی هستند.

بعضی از آغازیان تاژک و مژک دارند و از آن‌ها برای حرکت کردن یا حرکت دادن مواد پیرامونی استفاده می‌کنند. بسیاری از آغازیان ساکن آب‌اند و در دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند. در آن‌جا به‌صورت پلانکتون در آب‌ها سرگردان‌اند یا به سنگ‌ها چسبیده باقی می‌مانند. خاک‌ها، به‌ویژه خاک‌های مرطوب زیستگاه بسیاری از آن‌هاست. به‌ویژه در پیرامون مواد در حال تجزیه‌ی حاصل از بدن جانداران انواعی از آغازیان زندگی می‌کنند.

بعضی از آغازیان بخش‌هایی در بدن خود دارند که با کمک آن‌ها به تحریک‌های محیطی عکس‌العمل نشان می‌دهند. مثلاً بعضی از آن‌ها لکه‌ی چشمی دارند. در این لکه‌ها رنگیزه‌های حساس به نور وجود دارد که باعث می‌شوند جاندار با کمک آن‌ها تغییرات شدت و کیفیت نور را تشخیص دهد.

### نخستین یوکاریوت‌ها

نخستین یوکاریوت‌ها در حدود ۱/۵ میلیارد سال پیش ظاهر شدند. این یوکاریوت‌ها که در اثر درون‌همزیستی به وجود آمدند، در واقع نخستین آغازیان بودند. اعضای سه فرمانروی قارچ‌ها، گیاهان و جانوران از تغییر و تحول اعضای فرمانروی آغازیان به وجود آمده‌اند. دو ویژگی اصلی جانداران یوکاریوت که نخستین بار در آغازیان ظاهر شدند، عبارت‌اند از:



تولید مثل جنسی و پرسلولی بودن. بسیاری از آغازیان فقط به روش غیرجنسی تولید مثل می کنند و برای این منظور با تقسیم میتوز تقسیم می شوند. بعضی دیگر در محیط های نامساعد با تقسیم میوز تولید مثل جنسی انجام می دهند. سایر آغازیان بیش تر تولید مثل جنسی انجام می دهند.

### چه شباهتی میان آغازیان وجود دارد؟

جانداران فرمانروی آغازیان همگی یوکاریوت هایی هستند که نمی توان آن ها را در فرمانروهای دیگر جای داد. آغازیان بافت های تمایز یافته ای، مانند آن چه در اعضای پرسلولی سایر فرمانروها یافت می شود، ندارند. آن ها برخلاف گیاهان و جانوران جنین، یا رویان تشکیل نمی دهند و ساختارهای تولید مثل پرسلولی به وجود نمی آورند. شاخه های این فرمانرو بسیار با یک دیگر متفاوت اند. این شاخه ها در جدول ۱-۱۰ نشان داده شده اند.

زیست شناسان در سال های گذشته آغازیان را به دو گروه تقسیم می کردند: آغازیان هتروتروف را پروتوزوئر و آغازیان فتوسنتز کننده را جلبک می نامیدند. امروزه این رده بندی تغییر کرده است.

جدول ۱-۱۰- مهم ترین شاخه های فرمانروی آغازیان

شاخه	ویژگی	نوع تغذیه
۱ آمیب ها	با پاهای کاذب حرکت می کنند	هتروتروف
۲ روزن داران		
۳ دیاتوم ها	پوسته ای دوگانه از جنس سیلیس دارند	فتوسنتز کننده
۴ جلبک های سبز	کلروفیل دارند و بعضی پرسلولی هستند	فتوسنتز کننده
۵ جلبک های قرمز		
۶ جلبک های قهوه ای		
۷ تاژکداران چرخان	با کمک تاژک حرکت می کنند	بعضی فتوسنتز کننده و بعضی هتروتروف
۸ تاژکداران جانورمانند		
۹ اوگلناها		
۱۰ مژک داران	با کمک مژک حرکت می کنند	هتروتروف
۱۱ کپک های مخاطی سلولی	کپک مانندند	هتروتروف
۱۲ کپک های مخاطی پلاسمودیومی		
۱۳ هاگ داران	هاگ های مقاوم تولید می کنند	هتروتروف

## آغازیان تولیدمثل غیرجنسی و جنسی دارند.

تولیدمثل در جلبک سبز کلامیدوموناس<sup>۱</sup> نمونه‌ای از تولیدمثل در آغازیان تک‌سلولی است. کلامیدوموناس می‌تواند کلنی‌هایی از انواع مختلفی سلول تولید کند، هرچند این تنوع در سلول‌ها به تنوع سلول‌های آغازیان پرسلولی نمی‌رسد.

کلامیدوموناس سلولی هاپلوئید است و هنگام تولیدمثل غیرجنسی با روش میتوز تقسیم می‌شود که در اثر آن مجموعه‌ای از دو تا هشت سلول هاپلوئید جدید به وجود می‌آید. هریک از این سلول‌ها را یک زئوسپور می‌نامند. زئوسپورها نخست درون دیواره‌ی سلول مادر می‌مانند و پس از رسیدن دیواره را پاره می‌کنند و آزاد می‌شوند.

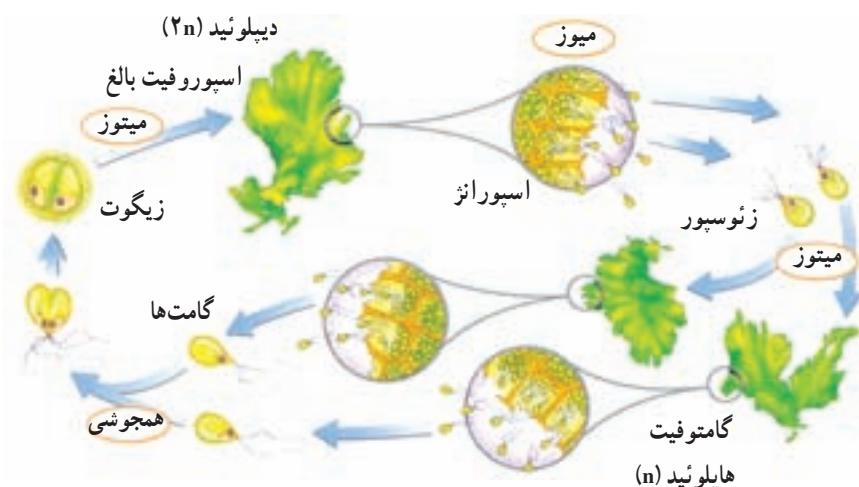
تولیدمثل جنسی در آغازیان تک‌سلولی: کلامیدوموناس در محیط‌های نامساعد، مثلاً هنگام تجمع مواد زاید در محیط؛ تولیدمثل جنسی را ترجیح می‌دهد. برای این کار نخست سلول هاپلوئید میتوز انجام می‌دهد و تعدادی سلول هاپلوئید که در واقع گامت هستند، به وجود می‌آورد. سپس دو گامت با هم لقاح انجام می‌دهند و زیگوسپور به وجود می‌آورند. زیگوسپور می‌تواند محیط نامساعد را در مدتی طولانی تحمل کند و در انتظار مساعد شدن محیط باقی بماند. درون زیگوسپور در محیط مساعد با تقسیم میوز سلول‌های هاپلوئید تولید می‌شود. این سلول‌ها دیواره‌ی زیگوسپور را پاره می‌کنند و رها می‌شوند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- تولیدمثل کلامیدوموناس. این جاندار تولیدمثل جنسی و غیرجنسی انجام می‌دهد.

تولید مثل جنسی در آغازیان پرسلولی: تولید مثل جنسی در آغازیان به چند روش انجام می‌شود:

تناوب نسل: کاهوی دریایی یکی از جلبک‌های سبز دریازی است. تولید مثل این جاندار را در شکل ۲-۱۰ مشاهده می‌کنید. این نوع تولید مثل تناوب نسل نام دارد. در تناوب نسل دو ساختار مجزا در چرخه‌ی زندگی فرد مشاهده می‌شود: ساختار گامتوفیت که سلول‌های هاپلوئید دارد و گامت تولید می‌کند و ساختار اسپوروفیت که سلول‌های آن دیپلوئید هستند و هاگ تولید می‌کنند (شکل ۲-۱۰).

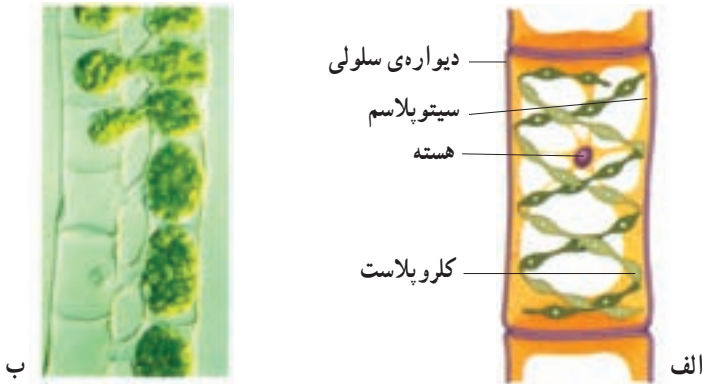


شکل ۲-۱۰- چرخه‌ی زندگی کاهوی دریایی. در چرخه‌ی زندگی این جاندار مراحل اسپوروفیتی و گامتوفیتی یکی پس از دیگری تکرار می‌شوند.

اسپوروفیت بالغ کاهوی دریایی ساختارهایی تولید مثلی به نام اسپورانژ دارد. این سلول‌ها میوز انجام می‌دهند و زئوسپور تولید می‌کنند. اگر هر کدام از زئوسپورها رشد کنند، به یک ساختار پرسلولی گامتوفیتی تبدیل می‌شوند. گامتوفیت بالغ گامت تولید می‌کند. دو گامت با هم ادغام و به یک اسپوروفیت جدید تبدیل می‌شوند.

هم یوغی: جلبک سبز اسپیروژیر که به صورت رشته‌هایی باریک در آب زندگی می‌کند، با روش هم یوغی تولید مثل جنسی انجام می‌دهد. در روش هم یوغی دو جاندار با هم ترکیب می‌شوند و مواد ژنی

خود را به اشتراک می‌گذارند. برای این کار نخست دو رشته در مجاور هم قرار می‌گیرند و سپس از هر سلول مجاور زائده‌هایی به سمت یک دیگر می‌فرستند. این زائده‌ها به هم می‌رسند و دیواره‌ی سلولی در محل تماس از بین می‌رود. سپس هسته‌ی یکی وارد سلول دیگر می‌شود و زیگوت به وجود می‌آورد. زیگوت‌ها در محیط مناسب می‌رویند و از آن‌ها رشته‌های هاپلوئید خارج می‌شود (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- تولیدمثل جنسی به روش هم‌یوگی در اسپیروژیر. الف- اسپیروژیر جلبک سبز رشته‌ای است که کلروپلاست آن نواری شکل است. ب- هنگام هم‌یوگی محتویات سلولی یک رشته به رشته‌ی دیگر وارد و سلول زیگوت تشکیل می‌شود.

## خودآزمایی



- ۱- سه ویژگی آغازیان را بنویسید.
- ۲- آغازیان در چه محیط‌هایی زندگی می‌کنند؟
- ۳- چرا آغازیان را در گروه‌های دیگر جانداران یوکاریوت جای نمی‌دهند؟
- ۴- تولیدمثل غیرجنسی کلامیدوموناس را خلاصه کنید.
- ۵- دو روش تولیدمثل جنسی را در آغازیان پرسلولی شرح دهید.

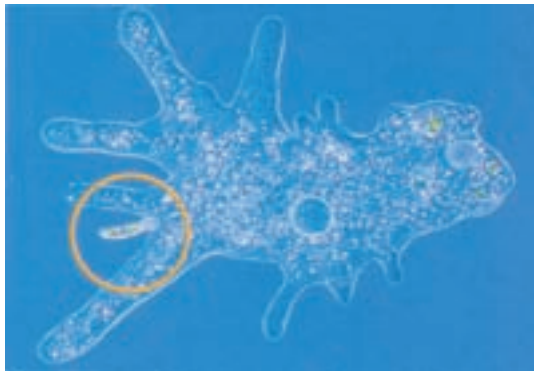
## ۲ گوناگونی آغازیان

بعضی از آغازیان می‌توانند با استفاده از برآمدگی‌های سیتوپلاسمی خود حرکت کنند.

آمیب یکی از آشنا ترین آغازیان است. آمیب‌ها و روزن‌داران که هتروتروف هستند، نوع ویژه‌ای حرکت از خود نشان می‌دهند.

### آمیب‌ها

آمیب‌ها با کمک پاهای کاذب حرکت می‌کنند. پاهای کاذب برآمدگی‌هایی سیتوپلاسمی دارای قابلیت انعطاف هستند. چون این جاندار دیواره‌ی سلولی ندارد، پاهای کاذب ممکن است از هر بخشی از سلول آمیب بیرون بزنند در این هنگام بقیه‌ی محتوای سلولی آمیب وارد پای کاذب می‌شود و جاندار را به آن سمت می‌کشاند. آمیب‌ها برای گرفتن و بلعیدن غذا نیز از پاهای کاذب استفاده می‌کنند (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰ پاهای کاذب در آمیب

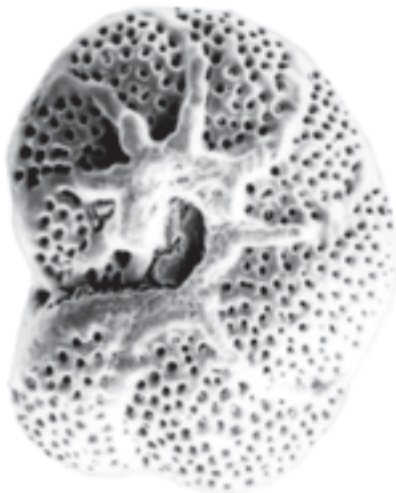
اعضای گروه آمیب‌ها، هم در آب‌های شیرین و هم در آب‌های شور زندگی می‌کنند. آمیب‌ها در خاک‌های مرطوب نیز به فراوانی یافت می‌شوند. میوز و تولیدمثل جنسی در آمیب‌ها مشاهده نمی‌شود و روش تولیدمثل آن‌ها تقسیم میتوز است. بیش‌تر آمیب‌ها زندگی آزاد دارند و انگل

نیستند. آمیب اسهال خونی که موجب بیماری در انسان می‌شود از راه آب‌ها و غذاهای آلوده به بدن انسان می‌رسد.

## روزن‌داران

روزن‌داران آغازیانی دریازی هستند که در ماسه‌های دریاها، یا به صورت چسبیده به بدن جانداران دیگر، یا به صخره‌ها زندگی می‌کنند. روزن‌داران پوسته‌ای محکم و سوراخ‌دار از جنس آهک دارند، این جانداران در ظاهر به شکل حلزون بسیار ریزی دیده می‌شوند. برآمدگی‌های سیتوپلاسمی آن‌ها از سوراخ‌های پوسته‌ی آهکی آن‌ها بیرون آمده و جاندار برای حرکت و تغذیه از آن‌ها استفاده می‌کند. بعضی از روزن‌داران از جلبک‌هایی که به صورت هم‌زیست در زیر پوسته‌ی آن‌ها زندگی می‌کنند، مواد غذایی به دست می‌آورند.

از انباشته شدن پوسته‌های آهکی روزن‌داران، نوعی سنگ آهکی به وجود می‌آید.



شکل ۵-۱۰- پوسته‌ی آهکی روزن‌داران

## دیاتوم‌ها پوسته‌ی دو قسمتی دارند.

دیاتوم‌ها، آغازیان تک‌سلولی فتوسنتزکننده و متعلق به شاخه‌ای به همین نام هستند. دیواره‌ی سلولی دیاتوم‌ها دو قسمتی و سیلیسی است. این لایه اغلب دارای تزئینات خاصی است. پوسته‌ی دیاتوم‌ها مانند جعبه‌ی کوچکی است که یک نیمه‌ی آن درون دیگری جای می‌گیرد. دیاتوم‌ها که

به فراوانی در اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها یافت می‌شوند، مهم‌ترین تولیدکننده‌های زنجیره‌های غذایی هستند. پوسته‌های خالی دیاتوم‌ها رسوبات ضخیمی را تشکیل می‌دهند. این رسوبات که ارزش اقتصادی دارند، نوعی سنگ‌های سیلیسی را تشکیل می‌دهند. از این سنگ‌ها برای ساخت سنگ سمباده استفاده می‌کنند.

دیاتوم‌ها روی موادی شیمیایی که از منافذ پوست آن‌ها ترشح می‌شود، سُر می‌خورند و درون آب حرکت می‌کنند.

دیاتوم‌ها دیپلوئید هستند و معمولاً تولیدمثل غیرجنسی دارند. برای این کار دو نیمه‌ی پوسته از هم جدا می‌شوند و هر نیمه، نیمه‌ی کوچک‌تر متناسب با اندازه‌ی خود را می‌سازد. نتیجه‌ی این الگوی تولیدمثل، تولید دیاتوم‌هایی است که اندازه‌ی بدن آن‌ها نسل به نسل کوچک‌تر می‌شود. دیاتوم‌هایی که بسیار کوچک شده‌اند، از پوسته‌ی خود بیرون می‌آیند و با تشکیل گامت تولیدمثل جنسی انجام می‌دهند. سلول حاصل از تولیدمثل جنسی بعد از این که به اندازه‌ی کافی بزرگ شد، به دور خود یک دیواره‌ی سلولی می‌سازد.



شکل ۶-۱۰. چند نوع دیاتوم

بسیاری از جلبک‌ها پرسلولی هستند.

جلبک‌ها گروهی از آغازیان فتواتوتروف هستند. بعضی از آن‌ها تک‌سلولی و بسیاری دیگر پرسلولی هستند. جلبک‌ها براساس نوع رنگیزه‌ی فتوسنتزی و شکل سلول یا پیکرشان شناسایی می‌شوند.

جلبک‌های سبز: بسیاری از جلبک‌های سبز تک‌سلولی هستند و در آب شیرین زندگی می‌کنند؛ اما بعضی دیگر از جلبک‌های سبز بزرگ و پرسلولی هستند و در آب شور زندگی می‌کنند (شکل ۷-۱۰).



شکل ۷-۱۰ سه نوع جلبک

بسیاری از پلانکتون‌های میکروسکوپی آب شور از جلبک‌های سبز هستند. جلبک‌های سبز میکروسکوپی در خاک‌های مرطوب و حتی درون سلول‌های موجودات دیگر به صورت هم‌زیست زندگی می‌کنند. رنگیزه‌های فتوسنتزی جلبک‌های سبز همانند رنگیزه‌های کلروپلاستی گیاهان است. بیش‌تر جلبک‌های سبز هر دو نوع تولیدمثل جنسی و غیرجنسی را دارند.

بیش‌تر بدانید



### جلبک‌ها ممکن است در فضا مفید باشند.

جلبک‌های سبز در برنامه‌هایی که برای کاهش محموله‌های مورد نیاز در سفرهای فضایی طولانی مدت اجرا شده‌اند، بررسی می‌شوند. جلبک‌ها می‌توانند منبع غذایی برای میگو که غذای مناسبی برای فضانوردان است، باشند. هم‌چنین می‌توانند از  $CO_2$  استفاده و  $O_2$  آزاد کنند. از آنجایی که جلبک‌ها به‌طور مداوم تولید می‌شوند نسبت به سایر منابع متداول غذا و هوا، جای کم‌تری را اشغال می‌کنند.

**جلبک‌های قرمز:** جلبک‌های قرمز موجوداتی پرسلولی هستند که درون آب‌های گرم اقیانوس زندگی می‌کنند. رنگیزه‌ی قرمز این جلبک‌ها برای جذب امواج نوری که به درون آب‌های عمیق نفوذ می‌کند، مناسب است. در دیواره‌ی سلولی بعضی از جلبک‌های قرمز، کربنات کلسیم وجود دارد. از بعضی جلبک‌های قرمز برای تهیه‌ی آگار استفاده می‌شود. چرخه‌ی زندگی جلبک‌های قرمز پیچیده



و معمولاً از نوع تناوب نسل است.

**جلبک‌های قهوه‌ای:** جلبک‌های قهوه‌ای پرسلولی هستند و در دریاها زندگی می‌کنند. کلپ بزرگ‌ترین جلبک قهوه‌ای شناخته شده است که در نواحی ساحلی رشد می‌کند. این جلبک‌ها غذا و محل زیست انواع مختلفی از جانوران را فراهم می‌کنند. کلپ‌ها از طولی‌ترین موجودات روی زمین هستند. چرخه‌ی زندگی جلبک‌های قهوه‌ای دارای تناوب نسل است.

بیش تر بدانید



جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای علاوه بر رنگیزه‌هایی که موجب رنگ قهوه‌ای و قرمز می‌شود، کلروفیل نیز دارند، اما رنگ سبز کلروفیل به وسیله دیگر رنگیزه‌ها پوشیده می‌شود.

**بعضی از آغازیان با استفاده از تاژک حرکت می‌کنند.**

تاژکداران آغازیانی هستند که با استفاده از تاژک حرکت می‌کنند. تاژکداران چرخان، تاژکداران جانورمانند و اوگلناها سه شاخه‌ی عمده‌ی تاژکداران هستند.

**تاژکداران چرخان، آغازیانی تک‌سلولی‌اند.**

انواع کمی از این تاژکداران در آب شیرین و بیش‌تر آن‌ها در دریاها زندگی می‌کنند و از پلانکتون‌ها هستند. بیش‌تر تاژکداران چرخان یک پوشش حفاظتی از جنس سلولز دارند که اغلب با لایه‌ای از سیلیس پوشیده شده است. این وضع اغلب شکل‌های غیرمتعارفی به آن‌ها می‌دهد (شکل ۸-۱۰).

بیش‌تر تاژکداران چرخان دو تاژک دارند. یکی از تاژک‌ها در شیاری طولی قرار دارد و انتهای آن آزاد است. تاژک دیگر در یک شیار عرضی است و دور تا دور سلول را احاطه می‌کند. تاژک طولی موجب حرکت به جلو می‌شود و تاژک عرضی موجب چرخش تاژکدار در هنگام حرکت به جلو می‌شود. تعداد کمی از تاژکداران چرخان سم‌های قوی تولید می‌کنند. تکثیر تاژکداران چرخان غیرجنسی و از طریق فرآیند میتوز است.

تاژکداران جانورمانند: این آغازیان هتروتروف‌های تک‌سلولی هستند که تعداد تاژک در آن‌ها از یک تا هزاران تاژک در بعضی از گونه‌ها است. در حالی که بیش‌تر آن‌ها فقط تولیدمثل



الف - تاژکدار چرخان. این تاژکدار یک جفت تاژک دارد. ب - تاژکدار جانور مانند هم زیست لوله‌ی گوارش موربانه

#### شکل ۸-۱۰- انواع تاژکداران

غیرجنسی دارند، بعضی دیگر گامت تولید می‌کنند و تولیدمثل جنسی دارند. بعضی از تاژکداران جانور مانند به صورت هم‌زیست درون لوله‌ی گوارش موربانه‌ها زندگی و آنزیم‌های موردنیاز برای هضم چوب را فراهم می‌کنند (شکل ۸-۱۰- ب). بعضی از آن‌ها برای انسان و جانوران اهلی بیماری‌زا هستند.

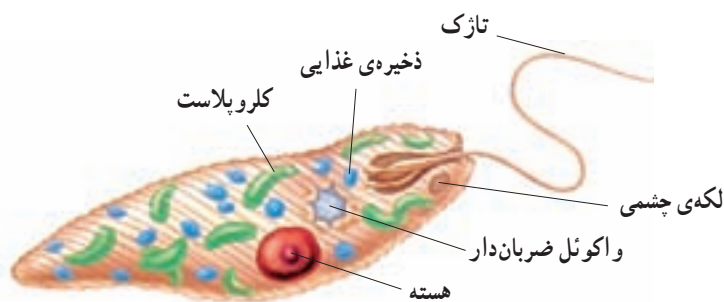
اوگلناها: افراد این شاخه، آغازیان آب‌های شیرین هستند و دو تاژک دارند. این گروه مثال خوبی برای بیان نقص‌های رده‌بندی آغازیان به دو گروه جانوری و گیاهی هستند.

حدود  $\frac{1}{3}$  از هزار گونه‌ی شناخته شده‌ی این آغازیان کلروپلاست دارند و فتوسنتزکننده هستند

و بقیه‌ی گونه‌ها کلروپلاست ندارند و هتروتروف‌اند. اوگلناها ارتباط خویشاوندی آشکاری با تاژکداران جانوری دارند به همین دلیل بعضی از زیست‌شناسان این دو شاخه را یک شاخه می‌دانند. شکل ۹-۱۰ یک اوگلنا را نشان می‌دهد.

اوگلنا دو تاژک دارد یکی از آن‌ها بلند و دیگری کوتاه است. در کنار تاژک بلند، اندام حساس

به نوری به نام لکه‌ی چشمی قرار دارد. این اندام به جهت گیری اوگلنا به سوی نور کمک می‌کند. تولیدمثل این شاخه با تقسیم میتوز است.



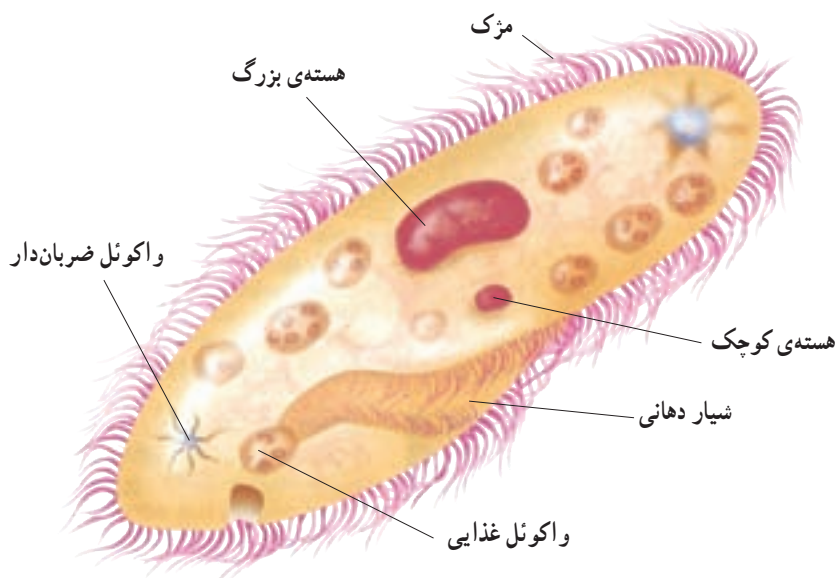
شکل ۹-۱۰- اوگلنا. اگرچه اوگلنا کلروپلاست دارد و فتوسنتز می‌کند؛ اما می‌تواند بدون حضور نور نیز به صورت هتروتروف زندگی کند.

### مژکداران، آغازیانی هستند که با استفاده از مژک شنا می‌کنند.

مژکداران پیچیده‌ترین و غیر معمول‌ترین آغازیان هستند. آن‌ها به قدری با سایر آغازیان تفاوت دارند که بعضی از زیست‌شناسان معتقدند باید آن‌ها را در فرمانرو کاملاً جداگانه‌ای قرار داد. همه‌ی افراد شاخه‌ی مژکداران تعداد فراوانی مژک در ردیف‌های متراکم دارند، که با استفاده از آن‌ها حرکت می‌کنند. مژکداران تک‌سلولی و هتروتروف هستند. دیواره‌ی پیکر مژکداران سخت، اما انعطاف‌پذیر است که امکان فشردن شدن موجود و عبور از موانع را برای آن فراهم می‌کند.

مژکداران دو نوع واکوئل دارند یکی برای گوارش مواد غذایی و دیگری برای تنظیم آب. بیش‌تر مژکداران دو هسته دارند: هسته‌ی کوچک و هسته‌ی بزرگ. کروموزوم‌ها در هسته‌ی کوچک قرار دارند که در فرآیند میتوز تقسیم می‌شوند. هسته‌ی بزرگ دارای قطعه‌ی کوچک DNAی است که از هسته‌ی کوچک آمده است (شکل ۱۰-۱۰).

مژکداران معمولاً با میتوز تولیدمثل می‌کنند و به این ترتیب یک سلول به دو سلول تقسیم می‌شود. تولیدمثل غیرجنسی حدوداً تا ۷۰ نسل ادامه پیدا می‌کند و آن‌گاه اگر تولیدمثل جنسی انجام نگیرد موجود می‌میرد. بیش‌تر مژکداران می‌توانند از طریق هم‌یوخی و مبادله‌ی مواد ژنی تولیدمثل جنسی انجام دهند.



شکل ۱۰-۱۰- پارامسی. نمونه‌ی معروف مژکداران

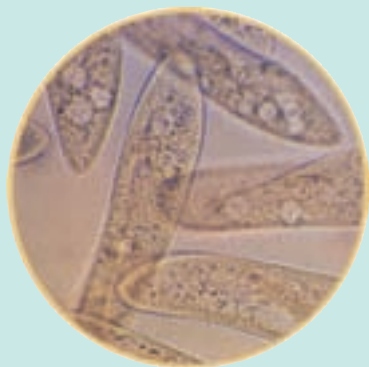
بیش تر بدانید



### نمای نزدیک

پارامسی

- نام علمی: *Paramecium Caudatum*
- اندازه: حداکثر تا ۱ میلی‌متر طول
- زیستگاه: حوضچه‌ها و رودخانه‌های آب شیرین
- غذا: باکتری‌ها، آغازیان کوچک و مواد آلی



×۱۲۰۰

**هسته:** اعضای این سرده دو هسته دارند. هسته‌ی بزرگ قطعاتی از کروموزوم دارد و نقش آن در فعالیت‌های معمول سلول است. این هسته به دو قسمت تقسیم می‌شود. هسته‌ی کوچک دارای کروموزوم‌های سلولی است و با میتوز تقسیم می‌شود.

**سطح سلول:** در سطح پارامسی هزاران مژک وجود دارد. زئش این مژک‌ها موجب حرکت پارامسی درون آب می‌شود. سطح سلول پارامسی با لایه‌ای پروتئینی پوشیده می‌شود. تثبیت مقدار آب درونی: پارامسی همانند سایر آغازیان آب شیرین آب را از طریق اسمز جذب می‌کنند. این موجودات برای عملکرد طبیعی خود باید آب اضافی را به طریقی دفع کنند. پارامسی با استفاده از واکوئل ضربان‌دار این کار را انجام می‌دهد. آب اضافی درون این واکوئل جمع و با انقباض آن از سلول دفع می‌شود.

**تغذیه:** مژک‌هایی که در شیار دهانی قرار دارند با چرخش آب، گردابی را در این ناحیه ایجاد می‌کنند. این گرداب در به دام انداختن ذره‌های غذایی کمک می‌کند. غذا از شیار قیف‌مانند حرکت و با آندوسیتوز وارد واکوئل غذایی می‌شود. آنزیم‌های گوارشی همراه با حرکت واکوئل غذایی در سلول وارد آن می‌شوند. غذاهای هضم‌نشده از طریق اگزوسیتوز از سلول دفع می‌شوند. **تنوع ژنی:** پارامسی معمولاً از طریق تقسیم دوتایی میتوز به‌طور غیرجنسی تولیدمثل می‌کند. ادغام ژن‌ها در فرآیند جنسی و هم‌یوگی انجام می‌شود. در هم‌یوگی دو پارامسی هسته‌های هاپلوئید مبادله می‌کنند این هسته‌ها با هسته‌های هاپلوئید باقی مانده درون سلول یکی می‌شوند و به این ترتیب هسته‌های دیپلوئید تشکیل می‌شود. هسته‌ی دیپلوئید نیمی از هسته‌ی هر فرد را دارد.

## تفکر نقادانه

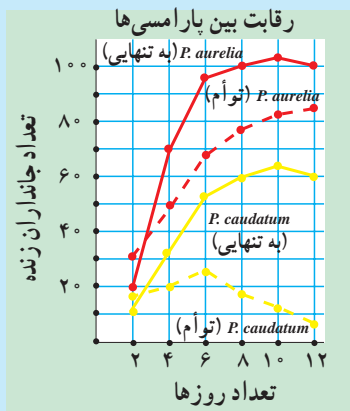
فرض کنید یکی از همکلاسی‌های شما می‌گوید «اوگلنا جلبک جانور مانند است.» آیا شما با او موافق هستید؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

## فعالیت



آغازیان نیز مانند سایر موجودات زنده برای کسب غذا و دیگر احتیاجاتشان با یک‌دیگر رقابت می‌کنند. آن‌ها راهبردهای متنوعی برای رقابت دارند. برای بررسی رقابت بین دو گونه‌ی پارامسی، تعداد مساوی از هر پارامسی در دو حالت با هم و جدای از هم رشد داده شد. نمودار

را مطالعه کنید و با استفاده از آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.



- ۱- کدام پارامسی به تنهایی بهتر رشد می‌کند؟
- ۲- در این آزمایش چه متغیرهایی وجود دارد؟
- ۳- چگونه تفاوت منحنی‌های رشد را در گروهی که هر دو پارامسی را داشته است، شرح می‌دهید؟
- ۴- در وضعیت طبیعی انواع گونه‌ها بسیار بیش تر است. پیش‌بینی کنید که دیگر گونه‌ها چه تأثیری بر رشد این دو گونه پارامسی دارند؟

## آغازیان کپک‌مانند، قارچ نیستند.

آغازیان کپک‌مانند، هتروتروف‌اند و تا حدی قابلیت حرکت دارند. زمانی تصور می‌شد که این کپک‌ها قارچ هستند؛ چون ظاهر و چرخه‌ی زندگی آن‌ها مشابه قارچ‌هاست؛ اما معلوم شد اختلافاتی میان آن دو وجود دارد. در دیواره‌ی سلولی آغازیان کپک‌مانند برخلاف دیواره‌ی سلولی قارچ‌ها کیتین وجود ندارد. علاوه بر این، میتوز در آغازیان کپک‌مانند متفاوت با میتوز در قارچ‌هاست. قارچ‌ها را در فصل آینده بررسی خواهیم کرد.

**کپک‌های مخاطی سلولی:** کپک‌های مخاطی سلولی به آمیب شباهت دارند، اما از ویژگی‌های متمایزی برخوردارند. هر یک از این جانداران به تنهایی همانند یک آمیب رفتار می‌کند؛ در خاک حرکت می‌کند و باکتری‌ها را می‌بلعد. هنگام تنش‌های محیطی، تعدادی از این آمیب‌ماندها به دور یک‌دیگر جمع می‌شوند، از حرکت بازمی‌ایستند و یک کلنی پرسلولی می‌سازند. هر کلنی یک پایه و

یک ساقه با نوکی متورم پدید می‌آورد. نوک متورم هاگ‌ها را می‌سازد (شکل ۱۱-۱°). هر یک از این هاگ‌ها، وقتی رها می‌شوند، به سلول آمیب‌مانند جدیدی نمو می‌یابند. سلول آمیب‌مانند جدید به نوبه‌ی خود می‌تواند تغذیه کند و چرخه‌ی زندگی را تکرار کند.



شکل ۱۱-۱°- کپک مخاطی سلولی. سلول‌های آمیب‌مانند کپک‌های مخاطی سلولی (چپ) ساختارهایی پدید می‌آورند که حاوی هاگ هستند (راست).

**کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی:** کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی، در واقع گروهی از جانداران هستند که در مجموع یک پلاسمودیوم تولید می‌کنند. پلاسمودیوم، توده‌ای سیتوپلاسمی است که تعداد زیادی هسته دارد. این کپک‌ها در حین حرکت، باکتری‌ها و دیگر مواد آلی را می‌بلعند (شکل ۱۲-۱°). کپک مخاطی پلاسمودیومی هسته‌های متعدد دارد؛ اما این هسته‌ها به وسیله‌ی دیواره‌های سلولی از یک‌دیگر جدا نشده‌اند. اگر پلاسمودیوم تحت خشکی یا گرسنگی قرار گیرد، به توده‌های متعددی تقسیم می‌شوند. هر توده ساقه‌ای تولید می‌کند که در نوک آن کپسولی است که در آن، هاگ‌های هاپلوئید نمو می‌یابند. هاگ‌ها نسبت به شرایط سخت محیطی بسیار مقاوم‌اند. ولی در شرایط مساعد می‌رویند و به سلول‌های هاپلوئیدی تبدیل می‌شوند که ممکن است آمیبی شکل یا

تاژکدار باشند. این سلول‌های هاپلوئید قادرند به یک‌دیگر ملحق شوند و زیگوت‌های دیپلوئید ایجاد کنند. این زیگوت‌ها به نوبه‌ی خود با تقسیم میتوز، پلاسمودیوم‌های جدیدی ایجاد می‌کنند.



شکل ۱۲-۱۰- کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی.

بعضی از آغازیان ساختارهایی مقاوم پدید می‌آورند.

آغازیان انگل که در طی چرخه‌ی تولیدمثلی خود هاگ تولید می‌کنند، هاگ‌داران نامیده می‌شوند. این آغازیان غیرمتحرک، انگل و تک‌سلولی هستند. همه‌ی هاگ‌داران انگل هستند و بیماری‌هایی را سبب می‌شوند. مالاریا، که توسط هاگ‌داران تولید می‌شود، در مقایسه با دیگر بیماری‌های عفونی قربانیان بیش‌تری می‌گیرد. هاگ‌داران جانوران را مبتلا می‌کنند و از میزبانی به میزبان دیگر منتقل می‌شوند. در این گروه حدود  $4500$  گونه‌ی شناخته شده وجود دارد.

هاگ‌داران چرخه‌ی زندگی پیچیده‌ای دارند که طی آن هر دو نوع تولیدمثل جنسی و غیرجنسی را انجام می‌دهند. در تولیدمثل جنسی، گامت ماده که اندازه‌ای بزرگ دارد با گامت نر تاژک‌دار و کوچک، لقاح انجام می‌دهد. زیگوت حاصل، ساختاری با دیواره‌ی ضخیم می‌سازد که آن را نسبت به خشکی و سایر شرایط دشوار و نامطلوب محیطی، مقاوم می‌کند.

بسیاری از هاگ‌داران به وسیله‌ی حشراتی مانند پشه‌ها که از خون تغذیه می‌کنند، از میزبانی به میزبان دیگر منتقل می‌شوند. بعضی دیگر از هاگ‌داران در مدفوع جانور آلوده یافت می‌شوند. وقتی جانوری از آب یا غذای آلوده شده به مدفوع عفونی تغذیه می‌کند، به این انگل مبتلا می‌شود.



## خودآزمایی



- ۱- آمیب را توصیف کنید.
- ۲- ویژگی‌های دیاتوم‌ها را شرح دهید.
- ۳- با رسم جدولی سه نوع جلبک را با هم مقایسه کنید.
- ۴- اوگلنا را با دو شاخه‌ی دیگر تاژکداران مقایسه کنید.
- ۵- ویژگی‌های پارامسی را شرح دهید.
- ۶- چرخه‌ی زندگی کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی را شرح دهید.

## ۳ آغازیان و سلامتی

یکی از بزرگ‌ترین تأثیراتی که آغازیان بر انسان دارند، اثر بیماری‌زایی آن‌هاست. این اثر را می‌توان از نقطه نظر بیماری و درد، مرگ و هزینه‌های پیشگیری و درمان بیماری‌ها بررسی کرد. بعضی از بیماری‌هایی که توسط آغازیان ایجاد می‌شوند، عبارت‌اند از: مالاریا، توکسوپلاسموز و اسهال خونی آمیبی.

آغازیان می‌توانند از طریق بیمار کردن دام‌های اهلی نیز بر انسان تأثیر بگذارند. هزینه‌ی درمان دام‌های بیمار بر مشتری تحمیل می‌شود، چون او باید بهای بیش‌تری برای خریدن گوشت بپردازد. آغازیان مفید: آغازیان همزیست در لوله‌ی گوارشی انسان و نیز لوله‌ی گوارشی جانورانی که انسان از آن‌ها تغذیه می‌کند، زندگی می‌کنند. گاو، بدون کمک آغازیان موجود در لوله‌ی گوارشی خود، نمی‌تواند سلولزی را که می‌خورد، تجزیه کند.

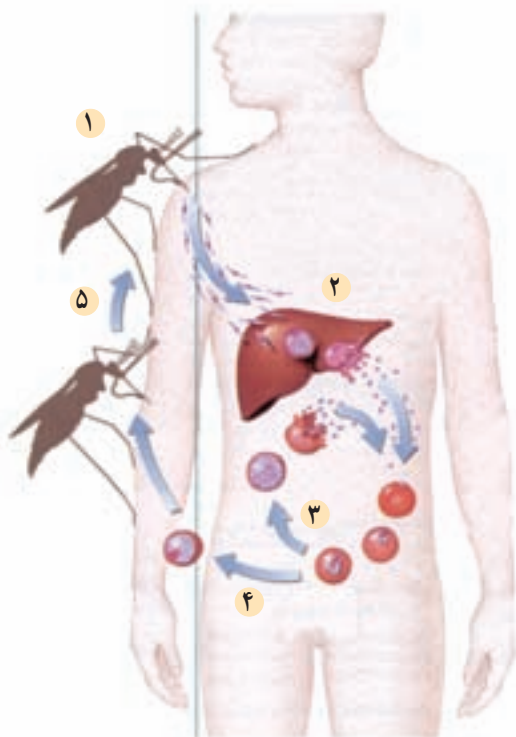
پلانکتون‌های اقیانوس‌ها، به تقویت زنجیره‌ی غذایی کمک می‌کنند. آغازیان، بزرگ‌ترین گروه فتوسنتزکننده‌ی کره‌ی زمین هستند. چون همه‌ی ما از اکسیژن تنفس می‌کنیم. همه‌ی ما از این گاز که آغازیان تولید کرده‌اند، بهره می‌جوییم. بسیاری از آغازیان، جزء تجزیه‌کنندگان‌اند و بنابراین به بازگردانی مواد شیمیایی مهم، مثل نیتروژن، کربن و فسفر به محیط کمک می‌کنند.

### مالاریا را چندین گونه از پلاسمودیوم‌ها تولید می‌کنند.

مالاریا یکی از مهلک‌ترین بیماری‌های انسانی است. در هر سال، حدود سه میلیون نفر – که عمدتاً کودک هستند – به علت دسترسی نداشتن به دارو و درمان بر اثر این بیماری می‌میرند. علائم مالاریا عبارت‌اند از: لرز شدید، تب، عرق و عطش شدید. قربانیان این بیماری بر اثر کم‌خونی، نارسایی کلیه و کبد و آسیب‌های مغزی جان می‌بازند.

چرخه‌ی زندگی عامل مالاریا: مالاریا به‌وسیله‌ی چندین گونه جاندار که پلاسمودیوم نامیده می‌شوند، تولید می‌شود و با نیش پشه‌ی مخصوصی انتشار می‌یابد. در چرخه‌ی زندگی پلاسمودیوم پنج مرحله دیده می‌شود (شکل ۱۳-۱۰). وقتی که پشه‌ی آلوده، انسانی را نیش می‌زند تا از خون او تغذیه کند، ابتدا مقداری از بزاق خود را که حاوی ماده‌ای برای جلوگیری از انعقاد خون است، تزریق می‌کند. اگر آن پشه آلوده به پلاسمودیوم باشد، آن‌گاه همراه با بزاق آن، پلاسمودیوم‌ها وارد خون

انسان می‌شوند. در این مرحله، پلاسمودیوم‌های آلوده‌کننده، اسپوروزوئیت<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. اسپوروزوئیت‌ها، جگر را آلوده می‌کنند. در جگر، اسپوروزوئیت‌ها به سرعت تقسیم می‌شوند و میلیون‌ها سلول را که هر یک مروزوئیت<sup>۲</sup> نام دارند، پدید می‌آورند. مروزوئیت‌ها گلبول‌های قرمز خون را آلوده می‌کنند و در آن‌جا به سرعت تقسیم می‌شوند. طی حدود ۴۸ ساعت گلبول قرمز می‌ترکد و مروزوئیت‌ها و مواد سمی آزاد می‌شوند. این رویداد منجر به بروز تب و لرز می‌شود که از مشخصات مالاریاست. این چرخه هر ۴۸ تا ۷۲ ساعت (برحسب نوع گونه‌ی آلوده‌کننده) تکرار می‌شود. در مرحله‌ی بعد، بعضی از مروزوئیت‌های موجود در خون به گامتوسیت نمو می‌یابند. گامتوسیت‌ها بعد از آن‌که به‌وسیله‌ی پشه خورده شدند، ابتدا به گامت و سپس به زیگوت تبدیل می‌شوند. در نهایت تعداد زیادی اسپوروزوئیت تشکیل می‌شود که به غدد بزاقی پشه می‌روند. انگل مالاریا قبل از آن‌که بتواند انسان دیگری را آلوده کند باید در بدن پشه بالغ شود.



- ۱- وقتی پشه‌ی آلوده، انسان را نیش می‌زند، اسپوروزوئیت‌ها را به خون او تزریق می‌کند.
- ۲- اسپوروزوئیت‌ها، سلول‌های جگر را آلوده می‌کنند و به مروزوئیت نمو می‌یابند.
- ۳- مروزوئیت‌ها سلول‌های قرمز خون را آلوده می‌سازند، در آن‌جا تکثیر می‌یابند و سلول‌های قرمز دیگر را آلوده می‌کنند.
- ۴- بعضی از مروزوئیت‌ها به گامتوسیت نمو می‌یابند. وقتی پشه انسان آلوده‌ای را نیش می‌زند، گامتوسیت‌ها به بدن پشه منتقل می‌شوند.
- ۵- گامتوسیت‌ها درون بدن پشه به گامت تبدیل و به یک‌دیگر ملحق می‌شوند و زیگوت را تشکیل می‌دهند. از تقسیم زیگوت اسپوروزوئیت‌ها تشکیل می‌شوند.

شکل ۱۳-۱۰- چرخه‌ی زندگی پلاسمودیوم. پلاسمودیوم چرخه‌ی زندگی پیچیده‌ای دارد که پشه و انسان را دربر می‌گیرد.

۱- sporozoite

۲- Merozoite

درمان و پیشگیری از مالاریا: در اواسط قرن هفدهم، ماده‌ی شیمیایی کینین<sup>۱</sup> که از پوست نوعی درخت گرفته می‌شد، کشف شد و به‌عنوان ماده‌ای برای درمان مالاریا مورد استفاده قرار گرفت. مشتقات کینین هم‌اکنون نیز در درمان مالاریا استفاده می‌شود. کنترل مالاریا از طریق کاهش اندازه‌ی جمعیت پشه‌ها قابل اجراست. این امر با کمک پاشیدن حشره‌کش‌ها و زدودن محل‌های زاد و ولد پشه‌ی ناقل مالاریا یا با وارد کردن جانورانی که از لارو این پشه تغذیه می‌کنند انجام می‌شود.

## خودآزمایی



۱- به‌طور خلاصه بیان کنید که آغازیان چگونه بر سلامتی انسان اثر می‌گذارند (دو راه را نام ببرید).

۲- مالاریا چگونه منتشر می‌شود؟

۳- کنترل مالاریا چگونه ممکن است؟

## تفکر نقادانه

بعضی از دانشمندان بیان می‌دارند که رابطه‌ی بین بعضی از آغازیان انگل با میزبان آن‌ها مثل رابطه‌ی اندامک‌های سلولی و سلول است که در نظریه‌ی «درون همزیستی» خواندید. نظر شما در این باره چیست؟

## بیش‌تر بدانید



## ساختن واکسن مالاریا

تب بالای  $40^{\circ}\text{C}$  و لرز شدید، از علائم مالاریاست. مالاریا در هر سال، حدود سه میلیون قربانی می‌گیرد. در سال‌های اخیر، انگل مالاریا نسبت به داروهای متعارفی که از آن‌ها برای درمان مالاریا استفاده می‌شوند، روند مقاوم شدن را پیش گرفته است. بنابراین، انتشار جهانی مالاریا و مقاوم شدن انگل آن، دانشمندان را نگران ساخته است. از این‌رو آنان به فکر تهیه‌ی واکسنی علیه بیماری مالاریا هستند.

<sup>۱</sup>- quinine

## واکسن مالاریا

برای آن که واکسن بر علیه انگل کار کند، باید بتواند دستگاه ایمنی بدن را برای شناسایی و حمله به مولکول‌های سطحی انگل، تحریک کند. اما پلاسمودیوم، مراحل مختلفی را در بدن انسان طی می‌کند و در هر مرحله ممکن است مولکول‌های سطحی متفاوتی داشته باشد. بنابراین، دستگاه ایمنی ممکن است بر اثر تحریک واکسن، فقط به یکی از این مراحل حمله کند. اگر فقط چند انگل زنده بمانند، تعداد زیادی انگل جدید تولید خواهد شد. مشکل دوم این است که پلاسمودیوم بیش‌تر عمر خود را درون سلول‌های جگر و گلبول‌های قرمز طی می‌کنند و بنابراین دستگاه ایمنی قادر به یافتن آن‌ها نیست.

## رویکرد فعلی

دانشمندان پروتئین‌های سطحی اسپوروزوئیت و مروزوئیت را شناسایی کرده‌اند و قادرند که آن‌ها را در مقادیر انبوه تولید کنند. آنان بر این امیدند که تزریق این پروتئین‌ها به افراد داوطلب، به دستگاه ایمنی آنان فرصت شناسایی این پروتئین‌ها را خواهد داد و دستگاه ایمنی آنان خواهد توانست خود را برای مقابله با آلودگی آماده کند. اگر این افراد بعدها تحت نیش پشه قرار گیرند، دستگاه ایمنی قادر خواهد بود پلاسمودیوم را قبل از آن‌که وارد سلول‌های جگر شود، نابود کند. تلاش‌های فراگیر جهانی در راه تهیه‌ی واکسن مالاریا، تا به امروز با شکست مواجه شده‌اند و فقط در پاره‌ای از موارد، موفقیت‌هایی در بعضی از مراحل کار حاصل شده است اما دانشمندان به خوبی می‌دانند که در راه پژوهش، باید صبور بود و بنابراین سرسختانه به فعالیت خود برای یافتن واکسن مؤثری بر علیه مالاریا ادامه می‌دهند.

– چرا ساختن واکسن مالاریای مؤثر بسیار مشکل است؟

– اگر پشه ناقل مالاریا آب و هوای گرم را ترجیح می‌دهد، نتیجه‌گیری کنید که اگر اثر

گل‌خانه‌ای معکوس نبود، شیوع مالاریا در جهان به چه صورت می‌شد؟

## فعالیت



## درک و کاربرد مفاهیم

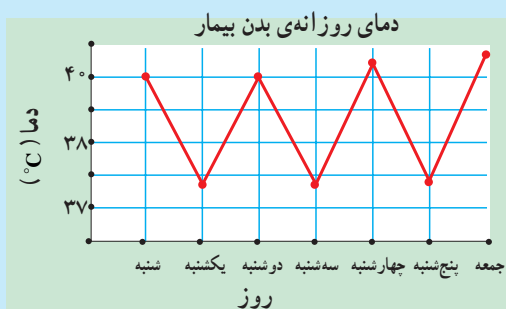
نقشه‌ای مفهومی برای آغازیان بسازید و سعی کنید در آن موارد صفحه‌ی بعد را بگنجانید :

جلبک قرمز، مالاریا، آغازی، کپک مخاطی، اتوتروف‌ها، گیاهان، بیماری‌ها، هتروتروف‌ها و جانوران. اگر لازم بود موارد دیگر را نیز اضافه کنید.

## فعالیت



**تفسیر نمودارها:** نمودار زیر نوسان دمای بدن شخص بیماری را که به تازگی از آفریقا برگشته است، نشان می‌دهد. پس از بررسی نمودار به سؤالات زیر پاسخ دهید.



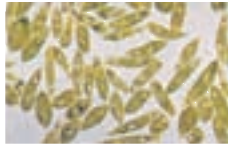
- شرح حالی از بیماری بنویسید و حدس بزنید که کدام آغازی عامل این بیماری بوده است؟
- چگونه بر تشخیص خود صحنه می‌گذارید؟
- اگر بیمار در تابستان به بیمارستان مراجعه کرده باشد، شما در این رابطه چه نگرانی برای بهداشت عمومی احساس می‌کنید؟
- اگر هنگام گرفتن خون از بیمار، مقداری از خونش روی دست شما بریزد، آیا ممکن است که شما این بیماری را بگیرید؟
- مهارت‌های کار و زندگی:** با استفاده از کتب مرجع و یا اینترنت، اطلاعات بیش‌تری در رابطه با این که چگونه کپک‌های مخاطی گیاهان را آلوده می‌کنند، به دست آورید.
- کسب اطلاعات:** اطلاعاتی را در رابطه با تاریخچه‌ی تحقیقات روی بیماری‌های گیاهی که توسط کپک‌های مخاطی ایجاد شده است، جمع‌آوری کنید.
- دانشمندان قدیم چه روش‌هایی برای کنترل این بیماری‌ها به کار می‌بردند؟ آیا هنوز این روش‌ها مؤثر واقع می‌شوند؟
- انتخاب تکنولوژی: گزارشی مبنی بر این که «چگونه دانشمندان توانستند پس از فهمیدن چرخه‌ی زندگی کپک‌ها راهبرد جدیدی برای جلوگیری از این بیماری پیدا کنند» تهیه کنید.

### تفکر نقادانه

دانشمندان توانستند با دادن خون آلوده به پشه‌ها و سپس در معرض قرار دادن این پشه‌ها با افراد داوطلب غیرآلوده، چرخه‌ی زندگی مالاریا را بررسی کنند. چه خطاهایی ممکن است در کاربرد این روش وجود داشته باشد؟

### تفکر نقادانه

دانشمندی دو اوگلنای متفاوت پیدا کرد و این‌طور نتیجه گرفت که گونه الف هتروتروف است اما گونه‌ی ب این‌طور نیست (شکل زیر). نتایج او را استدلال کنید.



ب



الف



## قارچ‌ها

شاید واژه‌ی قارچ، شما را به یاد قارچ‌های خوراکی بیندازد. اما همه‌ی قارچ‌ها، این‌گونه نیستند، مثلاً کپک نان، نوعی قارچ است. قارچ‌ها، بسیار گوناگون‌اند. بعضی‌ها تک‌سلولی و بعضی‌ها پر سلولی هستند. دانشمندان بر این عقیده‌اند که اولین قارچ‌ها احتمالاً تک‌سلولی بودند. قدمت قارچ‌ها به حدود ۴۰۰ میلیون سال می‌رسد.

### پیش‌نیازها

پیش از مطالعه‌ی این فصل باید بتوانید:

- میتوز و میوز را با هم مقایسه کنید،
- اهمیت قارچ – ریشه‌ای‌ها را شرح دهید،
- همزیستی را تعریف کنید،
- اثر قارچ‌ها را در درمان عفونت‌های باکتریایی شرح دهید.



# ۱ ویژگی های قارچ

قارچ‌ها، خود یک فرمانرو هستند.

تا مدت‌ها، زیست‌شناسان قارچ‌ها و گیاهان را در یک گروه قرار می‌دادند. چون قارچ‌ها هم مثل گیاهان، متحرک نیستند، دیواره‌ی سلولی دارند و بعضی از آن‌ها در خاک اندام‌هایی مانند «ریشه» می‌دوانند (شکل ۱-۱۱). اما قارچ‌ها، ویژگی‌های منحصر به فردی دارند که باعث شده است آنان را در فرمانروی جداگانه‌ای قرار دهند. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از:



شکل ۱-۱۱- قارچ‌های چتری

۱- قارچ‌ها هتروتروف هستند: ساقک و کلاهک قارچ چتری، بر خلاف ساقه و برگ گیاهان، سبز نیست. قارچ‌ها کلروفیل ندارند و بنابراین قادر به انجام فتوسنتز نیستند. از آنجایی که قارچ‌ها هتروتروف هستند، انرژی خود را از تجزیه‌ی مولکول‌های آلی موجود در محیط خود، به‌دست می‌آورند.

۲- قارچ‌ها بدن رشته‌ای دارند: گیاهان از سلول‌ها و بافت‌های مختلفی ساخته شده‌اند، اما قارچ‌ها از رشته‌های باریک و بلندی ساخته شده‌اند که ممکن است محکم به دور یک‌دیگر ببینند و پیکر قارچ و ساختارهای تولیدمثلی آن را پدید آورند.

۳- سلول‌های قارچ، کیتین دارند: دیواره‌ی سلولی قارچ از جنس کیتین است. کیتین، پلی‌ساکارید سختی است که در پوشش خارجی حشرات نیز به‌کار رفته است. در حالی که دیواره‌ی سلولی گیاهان از جنس سلولز است.

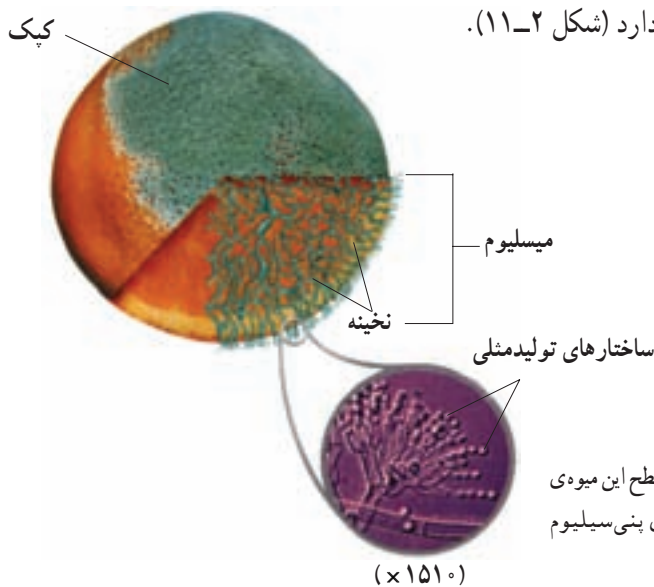
۴- قارچ‌ها، میتوز هسته‌ای دارند: تقسیم میتوز در قارچ‌ها با تقسیم میتوز در گیاهان و دیگر

یوکاریوت‌ها متفاوت است. در بیش‌تر یوکاریوت‌ها، پوشش هسته‌ای در پروفاز ناپدید و در تلوفاز دوباره ظاهر می‌شود. اما در سلول‌های قارچ چتری، پوشش هسته از پروفاز تا تلوفاز حفظ می‌شود. در نتیجه، دوک تقسیم درون هسته شکل می‌گیرد. رشته‌های دوک، کروموزوم‌ها را به سوی دو قطب هسته (نه سلول) می‌کشند و میتوز، با نفوذ پوشش هسته به درون و تقسیم هسته، پایان می‌پذیرد.

### ساختار قارچ برای جذب مواد غذایی مناسب است.

در شکل ۲-۱۱ قارچ پنی‌سیلیوم<sup>۱</sup> را که روی پرتقال رشد کرده است، مشاهده می‌کنید. پرزهای سبز و سفیدی که به‌عنوان کپک می‌شناسیم، در واقع ساختارهای تولیدمثل قارچ هستند. پیکر قارچ در لابه‌لای بافت‌های میوه‌ی پرتقال جای دارد. پیکر همه‌ی قارچ‌ها، به‌جز مخمرها، از رشته‌های باریکی به نام نخینه<sup>۲</sup> تشکیل شده است. وقتی نخینه رشد می‌کند، منشعب می‌شود و توده‌ای درهم‌پیچیده و گره‌خورده می‌سازد که میسلیوم<sup>۳</sup> نام دارد. یک میسلیوم، ممکن است از نخینه‌هایی به طول چندین متر تشکیل شده باشد. این نحوه‌ی سازمان‌بندی، موجب افزایش نسبت سطح به حجم می‌شود. بنابراین ساختار قارچ، سازگاری مناسبی برای جذب مواد غذایی از محیط پیدا کرده است.

هر نخینه، رشته‌ی سلولی طولی است که در بعضی از گونه‌ها سلول‌های آن به‌وسیله‌ی دیواره‌ی عرضی ناقصی از یک‌دیگر جدا شده‌اند. بعضی از گونه‌ها، دیواره‌ی عرضی ندارند و سیتوپلاسم آن‌ها آزادانه در سراسر نخینه جریان دارد (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱- کپک پنی‌سیلیوم. سطح این میوه‌ی پرتقال از نوعی قارچ متعلق به سرده‌ی پنی‌سیلیوم پوشیده شده است.

(× ۱۵۱۰)

۱- *Penicillium*

۲- hyphae

۳- mycelium

قارچ‌ها چگونه غذای خود را به دست می‌آورند: همه‌ی قارچ‌ها با ترشح آنزیم‌های گوارشی، مواد آلی موجود در محیط را به مولکول‌های قابل جذب تجزیه می‌کنند و با جذب این مولکول‌ها، غذای خود را به دست می‌آورند. بسیاری از قارچ‌ها، مواد آلی غیرزنده، مثل شاخه و برگ بر زمین ریخته‌ی گیاهان، اجساد جانوران و مواد دفعی آن‌ها را تجزیه می‌کنند. این گروه از قارچ‌ها نقش مهمی در بازیافت مواد و برگرداندن آن‌ها به چرخه‌ی مواد دارند. بعضی قارچ‌ها انگل هستند و بنابراین غذای خود را از میزبان‌های زنده تأمین می‌کنند.

قارچ‌ها اغلب در به دست آوردن مواد غذایی، با آدمی رقابت می‌کنند. نان، میوه، سبزی، یا گوشت هیچ کدام از گزند قارچ‌ها در امان نیستند. قارچ‌ها به مواد غیرغذایی مثل کاغذ، مقوا، لباس، رنگ و چرم نیز حمله می‌کنند. بعضی قارچ‌ها سبب بروز بیماری می‌شوند، مثل قارچی که لای انگشتان پا - به خصوص در ورزشکاران - می‌روید.

توانایی قارچ‌ها در زندگی کردن در شرایط متفاوت، آنان را از نظر اقتصادی ارزشمند ساخته است. مخمر، که قارچی تک سلولی است، در تولید نان به کار گرفته می‌شود. گروهی از قارچ‌ها، طعم و بوی بعضی از پنیرها را باعث می‌شوند. بسیاری از انواع آنتی‌بیوتیک‌ها مانند پنی‌سیلین، توسط قارچ‌ها ساخته می‌شوند.

### قارچ‌ها تولید مثل جنسی و غیرجنسی دارند.

قارچ‌ها با راه‌سازی هاگ‌هایی که به طریقه‌ی جنسی یا غیرجنسی در ساختارهای تولیدمثلی موجود در نوک نخینه پدید آمده‌اند، تکثیر می‌شوند. ساختارهای تولیدمثلی روی سطح منابع غذایی به سرعت رشد می‌کنند. این سازگاری، امکان انتقال هاگ‌ها را به زیستگاه جدید، توسط جریان هوا فراهم می‌کند. هاگ‌های قارچ آن قدر کوچک و سبک‌اند که تا مدت‌ها در هوا معلق می‌مانند و بنابراین باد می‌تواند آن‌ها را تا مسافت‌های طولانی جابه‌جا کند (شکل ۳-۱۱).

هاگ‌های قارچ، هاپلویدند. بیش‌تر آن‌ها توسط میتوز و طی تولیدمثل غیرجنسی ساخته می‌شوند. در تولیدمثل جنسی، نخینه‌های دو قارچ به یک‌دیگر ملحق می‌شوند. نخینه‌های الحاق‌شده، ساختار تولیدمثل جنسی را پدید می‌آورند. در این ساختار، قارچ با الحاق هسته‌هایی که مواد ژنتیک متفاوتی دارند، هاگ‌های جنسی را می‌سازند.



شکل ۳-۱۱- قارچ پفکی. صدها هزار هاگ را از طریق یک شکاف کوچک رها می‌سازند.



## فعالیت

### آزمایش سریع



### برخی از ویژگی‌های کپک نان

همان‌گونه که هر رشته‌ی نخ، از تارهای به هم تابیده‌ی پنبه ساخته شده است، پیکر قارچ نیز از تارهای سلولی تشکیل شده است.

مواد: نان کپک زده، ذره‌بین، تیغ و تیغک شیشه‌ای، میکروسکوپ، قطره‌چکان، حوله کاغذی، بشر ۵۰ ml و خلال دندان.

### روش

- ۱- قطعه‌ای نان کپک زده را با ذره‌بین مشاهده کنید.
- ۲- آن‌چه را که با بزرگ‌نمایی ذره‌بین می‌بینید، در دفتر خود رسم کنید.
- ۳- از تکه‌ی ریزی از نان کپک زده، اسلاید مرطوب بسازید.
- ۴- اسلاید مرطوب را با بزرگ‌نمایی کم میکروسکوپ مشاهده کنید.
- ۵- آن‌چه را که می‌بینید در دفتر خود رسم کنید.

## تجزیه و تحلیل

- ۱- وجود ساختارهای برافراشته‌ی قارچ بر سطح نان چه مزیتی دارد؟
- ۲- با استفاده از شکل ۱۱-۲ شکل‌هایی را که رسم کرده‌اید نام‌گذاری کنید.
- ۳- کار هر یک از ساختارهایی را که نام‌گذاری کرده‌اید، بیان کنید.

## خودآزمایی



- ۱- ویژگی‌های قارچ‌ها و گیاهان را با هم مقایسه کنید.
- ۲- ساختار نخینه و میسلیم را با هم مقایسه کنید.
- ۳- روش‌های به‌دست آوردن غذا توسط قارچ‌ها را به‌طور خلاصه بیان کنید.
- ۴- قارچ‌ها چه نقشی در محیط برعهده دارند؟
- ۵- روش‌های مختلف تولیدمثل قارچ‌ها را به‌طور خلاصه بیان کنید.

## ۲ گوناگونی قارچ‌ها

قارچ‌ها بر اساس ساختارهای تولیدمثلی گروه‌بندی می‌شوند. اگر ساختارهای تولیدمثلی قارچ‌ها را بررسی کنید، خواهید دید که قارچ‌ها چقدر گوناگون‌اند. بر اساس نوع ساختارهای تولیدمثلی - که طی تولیدمثل جنسی پدید می‌آیند - قارچ‌ها را به سه شاخه گروه‌بندی می‌کنند. جدول ۱-۱۱ فهرستی از ویژگی‌های این سه شاخه را ارائه می‌دهد.

جدول ۱-۱۱ - شاخه‌هایی از فرمانروی قارچ‌ها که تولیدمثل جنسی دارند.

مثال	ویژگی‌ها	شاخه
کپک سیاه نان	هاگ‌های جنسی در زیگوسپوراتژ تولید می‌شوند. نخینه فاقد دیواره‌ی عرضی است.	زیگومیکوتا <sup>۱</sup>
مخمر و قارچ فنجانی	هاگ‌های جنسی در آسک تولید می‌شوند. نخینه دیواره‌ی عرضی دارد.	آسکومیکوتا <sup>۲</sup>
قارچ چتری، قارچ پفکی، زنگ‌ها	هاگ‌های جنسی در بازیدیوم تولید می‌شوند. نخینه دیواره‌ی عرضی دارد.	بازیدیومیکوتا <sup>۳</sup>

تولیدمثل غیرجنسی: چهارمین گروه قارچ‌ها که نام آن در جدول ۱-۱۱ نیامده است، دئوترومیست‌ها<sup>۴</sup>، مشتمل بر قارچ‌هایی است که در آن‌ها تولیدمثل جنسی دیده نمی‌شود. مرسوم

۱- Zygomycota

۲- Ascomycota

۳- Basidiomycota

۴- Deuteromycetes

است که این گروه را به عنوان یک شاخه در نظر می گیرند. اما زیست شناسان بر اساس روش های مولکولی، بیش تر این قارچ ها را که به طور غیر جنسی تولید مثل می کنند، در شاخه ی آسکومیکوتا قرار می دهند.

انواع زیادی از قارچ ها شناسایی شده اند که تولید مثل جنسی ندارند. بسیاری از آن ها از نظر اقتصادی حائز اهمیت اند. مثلاً بعضی از گونه های پنی سیلیوم، آنتی بیوتیک پنی سیلین تولید می کنند. گونه ی آسپرژیلوس در تخمیر سس سویا و تولید سیتریک اسید به کار می رود. بعضی از دئوترومیست ها طعم ویژه ی بعضی از پنیرها را سبب می شوند. قارچ هایی که سبب بیماری های پوستی (مثل قارچ لای انگشتان پا) می شوند نیز از دئوترومیست ها هستند.

### ساختارهای تولید مثل زیگومیست ها دیواره های ضخیم می سازند.

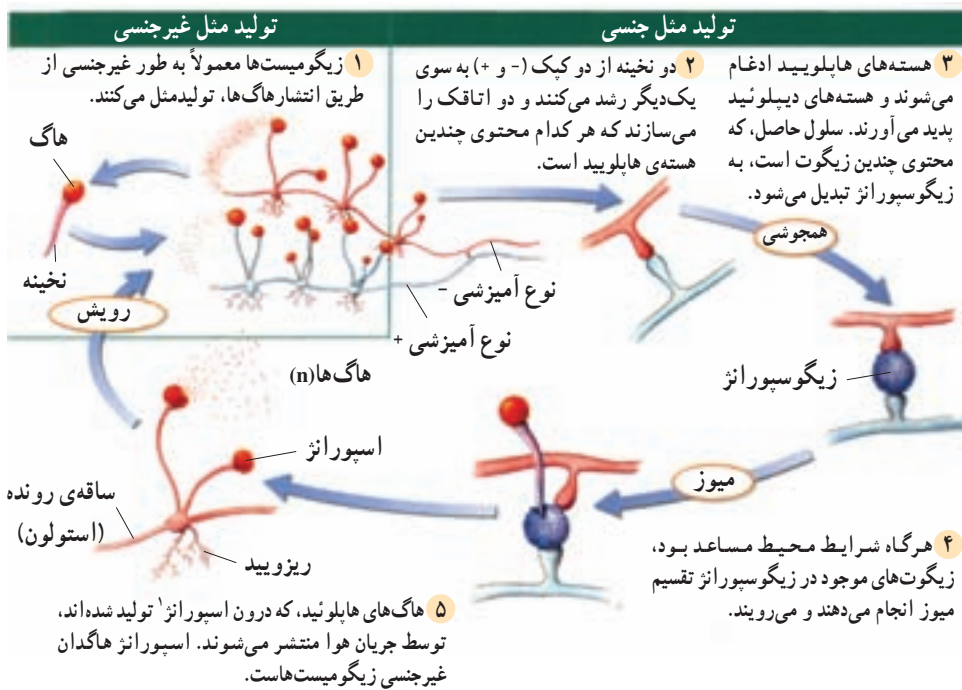
کپک سیاه نان، ریزوپوس استولونيفر<sup>۱</sup>، عضوی از شاخه ی زیگومیکوتا است. زیگومیکوتا از آن جهت به این نام خوانده می شود که ساختارهایی تولید مثل با دیواره ی ضخیم به نام زیگوسپورانثر به وجود می آورند.

گونه ی ریزوپوس و سایر زیگومیست ها، در خاک زندگی می کنند و از مواد جانوری و گیاهی در حال تجزیه، تغذیه می کنند. میسلیوم هایی که روی سطح نان رشد می کنند، «استولون» نام دارند. نخینه هایی که توسط آن ها قارچ درون نان نفوذ می کنند، ریزوئید نامیده می شوند. نخینه ی زیگومیست ها معمولاً دیواره ی عرضی ندارد.

تولید مثل غیر جنسی در زیگومیست ها بسیار شایع تر از تولید مثل جنسی است. طی تولید مثل غیر جنسی، هاگ های هاپلوئید در اسپورانژیوم تولید می شوند. هاگ ها بعد از بالغ شدن رها و بعد توسط جریان هوا به مکان های جدید برده می شوند. در مکان های جدید، هاگ ها می رویند و رشد میسلیوم جدیدی را آغاز می کنند. در تولید مثل جنسی دو نخینه از دو نوع آمیزشی مختلف که آن ها را با + و - نشان می دهیم؛ به سوی یک دیگر رشد می کنند و به هم می رسند.

---

<sup>۱</sup> - *Rhizopus stolonifer*



شکل ۴-۱۱- چرخه‌ی زندگی زیگومیسیت‌ها. زیگومیسیت‌ها تولیدمثل جنسی و غیرجنسی دارند.

### آسکومیسیت‌ها، کیسه‌های هاگ‌دار می‌سازند.

آسکومیسیت‌ها، ساختارهای تولیدمثل و ویژه‌ای به نام آسک تولید می‌کنند. آسک، کیسه‌ای میکروسکوپی است که در آن هاگ‌های هاپلوئید تشکیل می‌شوند. آسک‌ها، معمولاً درون نخینه‌های به هم بافته‌ی فنجانی شکلی، به نام آسکوکارپ تشکیل می‌شوند. شکل ۵-۱۱ تولیدمثل را در نمونه‌ای از آسکومیسیت‌ها نشان می‌دهد.

آسکومیسیت‌ها، معمولاً به‌طریقه‌ی غیرجنسی تولیدمثل می‌کنند. هاگ‌های غیرجنسی در نوک نخینه‌ها تشکیل می‌شوند. هاگ‌ها درون کیسه یا ساختار بخصوصی قرار ندارند. وقتی هاگ‌ها رها می‌شوند، جریان هوا آن‌ها را به نقاط جدید می‌برد. هاگ‌ها در محل جدید می‌رویند و میسلیم‌های جدید تشکیل می‌دهند.

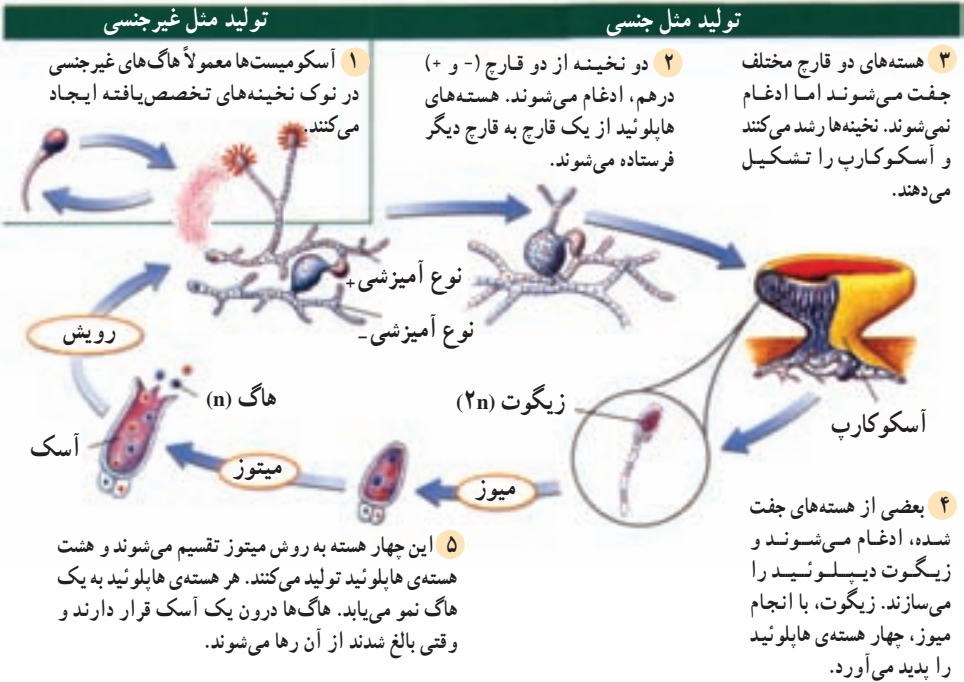
مخمر، نامی عمومی است که به آسکومیسیت‌های تک‌سلولی اطلاق می‌شود. ساکارومیسز سرویزیه<sup>۲</sup> یا مخمر نان سال‌هاست که برای تولید نان مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعضی از مخمرها

۱- Sporangium

۲- *Saccharomyces cerevisiae*



مثل کاندیدا آلیکنز<sup>۱</sup> برای انسان بیماری‌زا هستند. این مخمرها عامل بیماری برفک دهان‌اند. در این بیماری، زخم‌های سفید یا شیری‌رنگی در دهان، لب‌ها و گلو شکل می‌گیرد. بیش‌تر مخمرها با جوانه‌زدن تولید مثل می‌کنند. در جوانه‌زدن، سلولی کوچک از سلول بزرگ تولید می‌شود به آن چسبیده می‌ماند، یا از آن جدا می‌شود.



شکل ۵-۱۱- چرخه‌ی زندگی آسکومیست‌ها. آسکومیست‌ها ممکن است به طریقه‌ی جنسی یا غیرجنسی تولید مثل کنند.

### بازیدیومیست‌ها هاگ‌های جنسی خود را روی بازیدی می‌سازند.

قارچی که احتمالاً شما با آن آشنایی بیش‌تری دارید، قارچ چتری است. قارچ چتری، متعلق به شاخه‌ی بازیدیومیکوتاست. دیگر بازیدیومیست‌ها عبارت‌اند از: قارچ ژله‌ای و قارچ صدفی. بازیدیومیست‌ها به سبب آن که بازیدیوم تولید می‌کنند، به این نام خوانده

می‌شوند. بازیدیوم ساختار تولیدمثلی گرزمانندی است که هاگ‌ها روی آن تشکیل می‌شوند. شما می‌توانید این هاگ‌ها را در یکی از صفحه‌های بعد، در بخش «قارچ چتری در نمای نزدیک» مشاهده کنید. تولیدمثل غیرجنسی در میان بازیدیومیست‌ها نادر است و فقط در بعضی از زنگ‌ها و سیاهک‌ها به فراوانی روی می‌دهد. این دو گروه، از بیماری‌زاهای مهم گیاهان هستند (شکل ۶-۱۱). شکل ۷-۱۱ تولیدمثل جنسی بازیدیومیست را نشان می‌دهد. بسیاری از قارچ‌های چتری بی‌ضررند، اما بعضی نیز مثل آمیتا موسکاریا<sup>۱</sup> ممکن است کشنده باشند.



شکل ۶-۱۱- زنگ گندم. زنگ، بازیدیومیستی است که به غلات حمله می‌کند و آن‌ها را برای انسان نامطلوب می‌سازد.

<sup>۱</sup> *Amanita muscaria*



شکل ۲-۱۱- چرخه‌ی زندگی بازیدیومیست‌ها. بازیدیومیست‌ها معمولاً به‌روش جنسی تولیدمثل می‌کنند.

## خودآزمایی



- ۱- به‌طور خلاصه بیان کنید که قارچ‌ها چگونه گروه‌بندی می‌شوند.
- ۲- دو مورد از کاربردهای اقتصادی قارچ‌ها را بیان کنید.
- ۳- ویژگی‌های هر سه شاخه‌ی فرمانروی قارچ‌ها را به‌طور خلاصه بیان کنید.
- ۴- ساختار قارچ چتری را توضیح دهید.
- ۵- تولیدمثل مخمر را توضیح دهید.

## بیش‌تر بدانید



### قارچ چتری در نمای نزدیک

- نام علمی: آمانیتا موسکاریا
- اندازه: ۱۰-۱۵cm
- زیستگاه: خاک دارای مواد آلی و مرطوب
- تغذیه: هتروتروف

## ویژگی‌ها



### ساختار سلولی

دیواره‌ی سلولی آمانیتا موسکاریا و دیگر قارچ‌ها، از کیتین ساخته شده است. کیتین، پلی‌ساکاریدی است که در اسکلت خارجی حشرات نیز یافت می‌شود. در بعضی از قارچ‌ها، نخینه به سلول‌های جداگانه تقسیم نشده است، اما تعداد بسیاری هسته در سیتوپلاسم وجود دارد. در دیگر قارچ‌ها، نخینه توسط دیواره‌های منفذداری به نام تیغه (دیواره‌ی عرضی) به سلول‌ها تقسیم شده است.

### ساختار بدن

پیکر پرسلولی قارچ، اساساً رشته‌ای است و از رشته‌های سلولی طولی به نام نخینه تشکیل شده است. از به هم تابیدن نخینه‌ها، شبکه‌ای تشکیل می‌شود که میسلیم نام دارد. معمولاً بیش‌تر میسلیم در ماده‌ای که قارچ روی آن رویده است، مثلاً درون خاک، پنهان شده است.

## تولید مثل

نخینه‌های زیر خاک در شرایط مناسب، به‌سوی بالا رشد می‌کنند، به‌هم می‌تابند و سرانجام آنچه را که ما به‌عنوان «کلاهک قارچ» می‌شناسیم، تولید می‌کنند. «کلاهک قارچ» در واقع ساختار تولیدمثلی آمانیتا موسکاریا است. در زیر کلاهک قارچ برآمدگی‌هایی وجود دارد که هزاران سلول گریزشکل به نام بازیدی روی آن‌ها ساخته می‌شوند. طی ادغام و میوز هر بازیدی هاگ‌هایی تولید می‌کند که پس از پراکنده شدن در محیط می‌تواند نخینه‌های جدیدی تولید کند.

## شیوه‌ی تغذیه

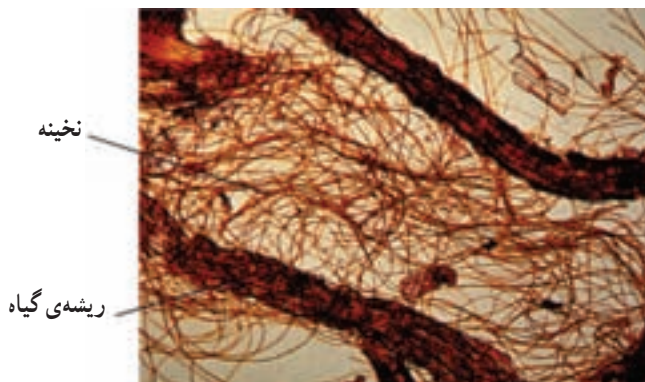
قارچ‌ها هتروتروف‌اند. آمانیتا موسکاریا نیز مثل سایر قارچ‌ها با ترشح آنزیم‌های گوارشی، مواد آلی موجود در محیط را به مولکول‌های ساده‌ی قابل جذب تجزیه می‌کند. قارچ‌ها مثل جانوران، کربوهیدرات‌ها را به‌صورت گلیکوژن ذخیره می‌کنند.

#### قارچ‌ها با فتوسنتزکننده‌ها روابط همزیستی دارند.

قارچ‌ها روابط همزیستی مختلفی با جلبک‌ها و گیاهان دارند. این روابط از نظر بوم‌شناختی بسیار حائز اهمیت‌اند. همزیستی یک هتروتروف (قارچ) با یک فتوسنتزکننده (گیاه سبز یا جلبک) از نوع همیاری است. قارچ مواد معدنی موردنیاز را از محیط جذب می‌کند و در اختیار گیاه قرار می‌دهد، گیاه با استفاده از انرژی خورشید به ساختن مولکول‌های آلی موردنیاز خود و قارچ می‌پردازد.

**قارچ — ریشه‌ای:** قارچ — ریشه‌ای نوعی رابطه‌ی همیاری است که بین قارچ و ریشه‌ی برخی گیاهان آوندی برقرار می‌شود. نخینه به انتقال فسفر و دیگر مواد معدنی از خاک به ریشه‌ی گیاهان کمک می‌کند و گیاه کربوهیدرات موردنیاز خود و نخینه را می‌سازد.

در قارچ — ریشه‌ای، نخینه ممکن است به درون ریشه نفوذ کند یا به دور آن پیچد. در شکل ۸-۱۱ نخینه‌هایی را می‌بینید که به درون ریشه رشد کرده‌اند. مطالعه‌ی فسیل‌ها نشان داده است که ساختارهای ریشه‌مانند گیاهان ابتدایی، غالباً قارچ — ریشه‌ای بوده‌اند. دانشمندان براین باورند زمانی که گیاهان به خشکی وارد شدند، خاک فاقد هرگونه ماده‌ی آلی بود، اما گیاهان ابتدایی به کمک قارچ — ریشه‌ای‌ها توانستند در خاک غیرحاصل‌خیز رشد کنند. بعضی از گیاهان آوندی، همکاری خود را با قارچ در قالب قارچ — ریشه‌ای ادامه داده‌اند و توانسته‌اند بقای خود را تا امروز حفظ کنند.



شکل ۸-۱۱ — قارچ — ریشه‌ای. هر دو جاندار از این همزیستی سود می‌برند.

قارچ - ریشه‌ای‌های پیرامون بسیاری از ریشه‌های گیاهی، به درون آن نفوذ نمی‌کنند. چنین نوع همزیستی معمولاً بین نوع خاصی قارچ که بیش‌تر از بازیدیومیست‌هاست، با نوع خاصی از گیاهان برقرار می‌شود. بسیاری از گیاهان، مانند کاج، بلوط و بید از این همزیستی برخوردارند.

## گل‌سنگ

گل‌سنگ، جاندار استثنایی و حاصل همزیستی بین یک قارچ و یک فتوسنتزکننده، مثل جلبک سبز، سیانوباکتری یا هر دو است. جزء فتوسنتزکننده، کریوهیدرات‌ها را می‌سازد و جزء قارچی، علاوه بر تأمین مواد معدنی، از جزء فتوسنتزکننده، محافظت می‌کند. در بیش‌تر گل‌سنگ‌ها، جزء قارچی یک آسکومیست است. وقتی به یک گل‌سنگ، مثل گل‌سنگ شکل ۹-۱۱ نگاه می‌کنید، در واقع جزء قارچی گل‌سنگ را می‌بینید. جزء فتوسنتزکننده در لایه‌های نخینه پنهان شده است. نور خورشید از لایه‌های نخینه عبور می‌کند و به جزء فتوسنتزکننده می‌رسد.

ساختار مستحکم قارچ، همراه با توانایی فتوسنتزی جلبک یا سیانوباکتری، به گل‌سنگ امکان می‌دهد تا در شرایط سخت نیز به حیات خود ادامه دهد. در بیابان‌های بایر، در قطب‌شمال، روی خاک بدون گیاه، روی صخره‌های داغ آفتاب‌خورده و روی تنه‌ی درختان، گل‌سنگ‌ها را می‌توان یافت. به یاد بیاوریم که گل‌سنگ‌ها اولین جانداران اکوسیستم‌ها هستند که در محل جدید، جایگزین می‌شوند و اکوسیستم را بنیان می‌نهند. گل‌سنگ‌ها با خرد کردن سنگ‌ها، محیط را برای ورود دیگر جانداران مهیا می‌کنند. گل‌سنگ‌ها نقشی کلیدی در ایجاد اکوسیستم‌ها دارند؛ چون قادرند نیتروژن را تثبیت کنند و آن را به صورتی که برای جانداران قابل استفاده باشد، به محیط وارد کنند.

گل‌سنگ‌ها می‌توانند در برابر خشکی و انجماد مقاومت کنند. در چنین شرایطی آنان به خواب می‌روند. وقتی که رطوبت و گرما دوباره به محیط باز می‌گردد، گل‌سنگ‌ها رشد خود را از سر می‌گیرند. در شرایط سخت، گل‌سنگ‌ها ممکن است به آهستگی رشد کنند. بعضی از آن‌ها که در کوهستان می‌رویند، چند هزار سال عمر دارند اما سطحی را که می‌پوشانند، بیش‌تر از سطح کف دست نیست. این گل‌سنگ‌ها جزء کهن‌ترین جانداران روی کره‌ی زمین‌اند. گرچه گل‌سنگ‌ها می‌توانند در دماهای زیاد یا کم زندگی کنند، اما نسبت به تغییرات شیمیایی محیط، حساس‌اند. به همین سبب، آنان ابزارهای زنده‌ای برای سنجش کیفیت هوا به شمار می‌روند.



شکل ۹-۱۱- گل‌سنگ‌ها، جلبک‌ها، سلول‌های سبزی که در ریزنگار می‌بینید، جزء فتوسنتزکننده‌ی گل‌سنگ هستند.

## فعالیت



### اثر قارچ - ریشه‌ای بر رشد گیاه

- دو گروه از گیاهان، یکی در خاک سترون و دیگری در خاک غیرسترون کاشته می‌شوند. بقیه‌ی شرایط آزمایش برای هر دو گروه یکسان است. بعد از ۱۸ هفته، وضعیت رشد گیاهان به صورتی بوده است که در شکل می‌بینید. با توجه به این شکل، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.
- ۱- رشد دو گروه را با یکدیگر مقایسه کنید. کدام یک رشد سریع‌تری داشته است؟
  - ۲- توضیح دهید که چرا یک گروه نسبت به گروه دیگر رشد بهتری داشته است؟
  - ۳- علت رشد کم‌تر در گیاه کوچک‌تر چه بوده است؟
  - ۴- برای جبران کاهش رشد گیاهان کوچک‌تر چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟





## گل‌سنگ‌ها، دیده‌بانان محیط زیست

از دهه‌ی ۱۹۵۰ به بعد، دانشمندان دریافتند که بیش‌تر گل‌سنگ‌ها برای رشد کردن به هوای پاکیزه نیاز دارند. مثلاً مشاهده کرده‌اند که افزایش مه - دود موجب ناپدید شدن گل‌سنگ‌ها می‌شود. علاوه بر این، در جاهایی که هوای پاکیزه وجود دارد، گل‌سنگ‌ها فراوانی بیش‌تری دارند. به همین سبب، دانشمندان از گل‌سنگ‌ها برای نشان دادن آلودگی هوا استفاده می‌کنند.

### چرا گل‌سنگ‌ها ابزارهای خوبی برای نشان دادن آلودگی هوا هستند؟

گل‌سنگ‌ها ریشه ندارند بنابراین مواد غذایی موردنیاز خود را باید از هوا جذب کنند. باران، مه و شبنم، سطح گل‌سنگ را مرطوب می‌کند. در نتیجه گل‌سنگ می‌تواند ماده‌ی غذایی و هر نوع ماده‌ی آلوده‌کننده‌ای را که در هوا وجود دارد، جذب کند. گل‌سنگ‌ها می‌توانند قرن‌ها زندگی کنند. به همین سبب برای مطالعه‌ی تغییرات آلودگی هوا طی دوره‌های زمانی طولانی، بسیار مناسب‌اند. بسیاری از گونه‌های گل‌سنگ پراکندگی جغرافیایی وسیعی دارند. بنابراین، می‌توان برای نشان دادن کیفیت هوا در فواصل مختلفی نسبت به منبع آلودگی، مثل کارخانه یا نیروگاه، تنها از یک گونه گل‌سنگ استفاده کرد.

### چگونه از گل‌سنگ‌ها برای نشان دادن آلودگی هوا استفاده می‌کنند؟

برای نشان دادن کیفیت هوای یک منطقه به وسیله‌ی گل‌سنگ‌ها، دانشمندان اغلب از پراکندگی گل‌سنگ‌ها در منطقه‌ی مورد نظر نقشه برداری می‌کنند سپس تعداد گونه‌ها و فراوانی هریک را شمارش و بعد مجموع سطح اشغال شده به وسیله‌ی هرگونه از گل‌سنگ‌ها را محاسبه می‌کنند. اگر نقشه برداری طی سال‌های متمادی انجام شود، امکان نشان دادن تغییرات درازمدت فراهم می‌شود. دانشمندان با اندازه‌گیری غلظت فلزات و سایر آلاینده‌ها در گل‌سنگ‌ها، می‌توانند اطلاعات کامل‌تری درباره‌ی آلودگی هوا به دست آورند. همچنین آنان می‌توانند با اندازه‌گیری میزان کلروفیل موجود در گل‌سنگ از آهنگ فتوسنتز و از میزان سلامتی آن آگاه شوند. برای بررسی آلودگی هوا در منطقه‌ای که در آن هیچ گل‌سنگی نیست، دانشمندان گل‌سنگ‌ها را از منطقه‌ای که به‌طور طبیعی گل‌سنگ دارد به منطقه‌ی بدون گل‌سنگ منتقل می‌کنند. سپس آنان گل‌سنگ‌ها را از نظر مواد آلاینده مورد بررسی قرار می‌دهند و هرگونه تغییر در سلامت گل‌سنگ‌ها را ثبت می‌کنند. آنان همچنین به اثرات ناشی از جابه‌جا کردن گل‌سنگ‌ها توجه دارند.

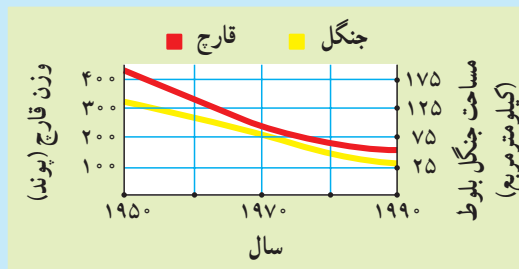
## فعالیت



- ۱- ساختار زیگوسپوراثر ریزوپوس استولونینفررا توصیف کنید و توضیح دهید این ساختار چه نقشی در بقای گونه ایفا می کند.
- ۲- توضیح دهید که چرا و چگونه از گلسنگ ها برای نشان دادن کیفیت هوا استفاده می کنند؟
- ۳- بگویید هریک از شکل های زیر به کدام گروه از قارچ ها متعلق اند و نحوه ی تولیدمثل هر کدام چگونه است؟



- ۴- نمودار زیر، مقدار قارچ های خوراکی برداشت شده را در یک جنگل طی یک دوره ی زمانی خاص و نیز مساحت جنگل درختان بلوط را طی همان دوره ی زمانی، نشان می دهد.



قارچ دنبلان در جنگل بلوط

- الف - چه رابطه ای بین میزان قارچ های برداشت شده و جنگل زدایی وجود دارد؟
- ب - اگر کشاورزان منطقه بخواهند مقدار برداشت قارچ در سطح فعلی خود ثابت بماند، به آنان چه پیشنهادی می کنید؟

۵- با توجه به نوع متابولیسم گل‌سنگ‌ها، فکر می‌کنید که گل‌سنگ‌ها ابتدا در چه نوع محیطی تکامل یافته باشند؟

## خودآزمایی



- ۱- دو نوع همزیستی را که در آن‌ها قارچ شرکت دارد، توضیح دهید.
- ۲- قارچ - ریشه‌ای چه فایده‌ای برای گیاه دارد؟
- ۳- گل‌سنگ از چه اجزایی تشکیل شده است؟
- ۴- توانایی به خواب رفتن گل‌سنگ‌ها چه ارتباطی با عمر طولانی آن‌ها دارد؟

توجه مطالب بخش پیوست (از این جا تا انتهای کتاب) جزء مطالب «بیش‌تر بدانید» است و برای ارجاع و اطلاع بیش‌تر دانش‌آموزان آورده شده است.

## نظام طبقه‌بندی پنج فرمانرویی

این نظام شامل فرمانروهای باکتری‌ها، آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران است. البته در مورد تعداد فرمانروها و تعداد گونه‌های جانداران، در بین زیست‌شناسان اختلاف نظر وجود دارد. حتی برخی از آن‌ها - به تازگی نظام طبقه‌بندی با شش فرمانرو را پذیرفته‌اند. در نظام شش فرمانرویی، فرمانرو آرکی‌باکتری‌ها را از فرمانرو باکتری‌ها جدا کرده‌اند.

### ۱- فرمانرویی باکتری‌ها

شاخه‌ی یوباکتری‌ها (Eubacteria): این شاخه بیش‌تر از ۴۰۰۰ گونه دارد؛ بدن آن‌ها از یک سلول تشکیل شده است؛ پروکاریوت هستند؛ اندامک‌های غشایی ندارند؛ روش تغذیه‌ی آن‌ها اساساً از طریق هتروتروفی (از طریق جذب غذا) است اما در میان آن‌ها انواع فتوسنتزکننده و شیمیوسنتزکننده هم دیده می‌شود؛ تولیدمثل آن‌ها معمولاً از طریق تقسیم (دوتایی) یا جوانه‌زدن است.

سیانوباکتری‌ها (Cyanobacteria): فتوسنتزکننده‌اند، با یک پوشش رنگدانه‌دار احاطه شده‌اند؛ معمولاً روی خشکی یا در اقیانوس‌ها دیده می‌شوند؛ احتمالاً اجداد کلروپلاست‌های برخی از آغازیان بوده‌اند.

نمونه: آناپنا (Anabaena)، اسیلاتوریا (Oscillatoria) و اسپیرولینا (Spirulina)

اتوتروف‌های شیمیوسنتزکننده (Chemoautotrophs): باکتری‌های باستانی هستند که بدون نیاز به نور خورشید یا سایر موجودات زنده، قادر به زندگی‌اند؛ انرژی را از گازهای احیاشده‌ی آمونیاک ( $\text{NH}_3$ )، متان ( $\text{CH}_4$ ) و سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) به‌دست می‌آورند؛ در چرخه‌های نیتروژن زمین نقش حساسی دارند و شامل نیتروباکتری‌ها و سولفوباکتری‌ها هستند.

نمونه: نیتروزوموناس (Nitrosomonas) و نیتروباکتر (Nitrobacter).

انتروباکتری‌ها (Enterobacteria): باکتری‌های میله‌ای شکل، بدون انعطاف و هتروتروف‌اند؛ ممکن است هوازی یا بی‌هوازی باشند؛ تاژک دارند؛ عامل بسیاری از بیماری‌های شدید گیاهی و انسانی هستند.

نمونه: اشریشیاکولی (Escherichia coli) و سالمونلاتیفی موریوم (Salmonella typhimurium)

سودومونادها (Pseudomonads): باکتری‌های میله‌ای راست یا خمیده با تاژکی در یک انتهای خود هستند؛ کاملاً هوازی‌اند؛ معمولاً در خاک دیده می‌شوند و بسیاری از آن‌ها در گیاهان تولید بیماری می‌کنند.

نمونه: سودوموناس آئروژینوزا (Pseudomonas aeruginosa)

اسپیروکت‌ها (Spirochaetes): سلول‌هایی مارپیچی و دراز هستند که در هر انتهای خود تاژک دارند؛ عامل

ایجاد بیماری‌های شدیداند.

**نمونه:** تریونما پالیدوم (*Treponema pallidum*) و بورلیا بورگدورفری (*Borrelia burgdorferi*)  
**اکتینومیست‌ها** (*Actinomycetes*): باکتری‌های رشته‌ای شکل که اغلب با قارچ‌ها اشتباه گرفته می‌شوند. هاگ تولید می‌کنند؛ منابع تولید آنتی‌بیوتیک‌هایی مانند: استرپتومایسین، تتراسایکلین و کلرامفنیکل هستند؛ موجب بیماری‌هایی نظیر پلاک دندانی، جذام و سل می‌شوند.

**نمونه:** مایکوباکتریوم توبرکلوسیس (*Mycobacterium tuberculosis*)  
**ریکتسیاها** (*Rickettsias*): باکتری‌های انگل هستند که درون سلول‌های مهره‌داران و بندپایان زندگی می‌کنند.  
**نمونه:** ریکتسیا ریکتسیی (*Rickettsia rickettsii*)  
**باکتری‌های لیز و لزوج که جوانه می‌زنند:** دارای سلول‌های میله‌ای شکل‌اند؛ پلی‌ساکاریدهای لیز و لزوج‌کننده ترشح می‌کنند؛ اغلب به صورت توده‌های لزوج مجتمع می‌شوند و اساساً در خاک زندگی می‌کنند.

**نمونه:** میکسوباکتری‌ها (*Myxobacteria*)  
**شاخه‌ی آرکی‌باکتری‌ها** (*Archaeobacteria*): این شاخه کم‌تر از ۱۰۰ گونه را تشکیل می‌دهد؛ شامل باکتری‌های هوازی و غیرهوازی‌اند که با محیط‌های افراطی سازگار شده‌اند؛ پروکاریوت‌اند؛ از نظر ساختار دیواره و غشای سلول با سلول‌های یوکاریوت متفاوت‌اند؛ شباهت‌های آن‌ها به یوکاریوت‌ها این نظریه را ایجاد می‌کند که آرکی‌باکتری‌ها در مقایسه با یوکاریوت‌ها، وابستگان بسیار نزدیک‌تریوکاریوت‌ها هستند؛ فقط به طریقه‌ی غیرجنسی تولیدمثل می‌کنند و به سه گروه بزرگ تقسیم می‌شوند؛ اگرچه شواهدی وجود دارد که به‌طور آزاد در اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند اما هنوز در آزمایشگاه‌ها کشت داده نشده‌اند.

**متانوژن‌ها** (*Methanogens*): تولیدکنندگان بی‌هوازی متان هستند؛ بیش‌تر گونه‌های آن‌ها، دی‌اکسیدکربن را به‌عنوان منبع کربن به‌کار می‌برند؛ در خاک و باتلاق‌ها سکونت دارند و از بقایای جانوران، به‌خصوص پستانداران علف‌خوار مثل گاو، تغذیه می‌کنند؛ سالانه نزدیک به دو تریلیون کیلوگرم گاز متان تولید می‌کنند.

**نمونه:** متانو بروی باکتر روماناتیوم (*Methanobrevibacter ruminantium*)  
**ترمواسیدوفیل‌ها** (*Thermoacidophiles*): در محیط‌های داغ اسیدی سکونت دارند؛ می‌توانند حرارت‌های بالا را تحمل کنند؛ به‌گوگرد نیاز دارند؛ اغلب غیرهوازی‌اند.

**نمونه:** سولفولوبوس سولفاتاریکوس (*Sulfolobus solfataricus*)  
**هالوفیل‌های افراطی** (*Extreme halophiles*): در محیط‌های محتوی نمک با غلظت بسیار بالا (شوری ۱۵ تا ۲۰ درصد) مثل بحرالمت و دریاچه‌های نمک سکونت دارند؛ بسیاری از آن‌ها هوازی و گرم منفی‌اند.

**نمونه:** هالوباکتریوئیدز هولوبیوس (*Halobacteroides holobius*)

## ۲- فرمانروای آغازیان

در حدود ۴۳۰۰۰ گونه یوکاریوت هستند که گیاه، قارچ یا جانور نیستند؛ فرمانروایی است که از نظر ساختاری بیش‌ترین گوناگونی را دارد؛ موجودات آن تک‌سلولی یا پرسلولی‌اند؛ هسته‌ی آن‌ها غشا دارد؛ تقریباً همه دارای کروموزوم، میتوکندری و سازمان غشایی درون سلولی‌اند؛ بسیاری از آن‌ها دارای کلروپلاست‌اند و اکثریت آنان دیواره‌ی سلولی دارند؛ به‌روش جنسی و غیرجنسی تولیدمثل می‌کنند؛ آبی‌زی یا انگل‌اند؛ بسیاری از آن‌ها نیز در خاک زندگی می‌کنند.

شاخه‌ی ریزوپودا (Rhizopoda) (آمیپ‌ها): حدود ۳۰۰ گونه را شامل می‌شوند؛ تک‌سلولی و هتروتروف‌اند؛ سلول‌های بی‌شکلی هستند که به کمک برآمدگی‌های سیتوپلاسمی به نام پای کاذب، حرکت می‌کنند و شامل آمیپ‌ها هستند. شاخه‌ی فورامینی‌فرا (روزن‌داران) (Foraminifera): حدود ۳۰۰ گونه را تشکیل می‌دهند؛ تک‌سلولی و هتروتروف و دریازی‌اند؛ پوسته‌ای از جنس مواد آلی دارند و دارای منافذی هستند که از آن‌ها رشته‌های سیتوپلاسمی بیرون زده‌اند.

نمونه: هتروستجینا دپرسا (*Heterostegina depressa*)

شاخه‌ی باسیلاری‌فیتا (دیاتوم‌ها) (Bacillariophyta): بیش از ۱۱۵۰۰ گونه هستند که تک‌سلولی و فتوسنتزکننده‌اند؛ پوسته‌ی منحصر به فردی از جنس سیلیس شیری رنگ ترشح می‌کنند که شبیه جعبه‌ای با یک درپوش است؛ کلروپلاست‌های آن‌ها شبیه به کلروپلاست‌های جلبک‌های قهوه‌ای است و محتوی کلروفیل‌های نوع *a* و *c* و فوکوگزانتین است؛ این شاخه شامل دیاتوم‌هاست.

شاخه‌ی کلروفیتا (جلبک‌های سبز) (Chlorophyta): این شاخه حدود ۷۰۰۰ گونه دارد؛ در این شاخه، اشکال تک‌سلولی، کلونی و پرسلولی دیده می‌شود؛ فتوسنتزکننده و محتوی کلروفیل‌های *a* و *b* هستند؛ کلروپلاست‌های شبیه گیاهان دارند؛ دانشمندان فکر می‌کنند که گیاهان از این گروه مشتق شده‌اند؛ این شاخه شامل جلبک‌های سبز است.

نمونه: کلایدموناس (*Chlamydomonas*)، کلرلا (*Chlorella*)، اودوگونیم (*Oedogonium*)، اسپروژیر (*Spirogyra*)، اولوا (کاهوی دریایی) (*Ulva*)، ولوکس (*Volvox*).

شاخه‌ی رودوفیتا (جلبک‌های قرمز) (Rhodophyta): حدود ۴۰۰۰ گونه‌اند؛ تقریباً همه‌ی آن‌ها پرسلولی و فتوسنتزکننده‌اند؛ بیش‌تر آن‌ها دریازی‌اند؛ دارای کلروفیل *a* و فیکوبلین‌ها هستند؛ کلروپلاست‌های آن‌ها احتمالاً از سیانوباکتری‌های هم‌زیست به دست آمده‌اند. این شاخه شامل جلبک‌های قرمز است.

نمونه: پورفیرا (*Porphyra*)

شاخه‌ی فوفوفیتا (جلبک‌های قهوه‌ای) (Phaeophyta): حدود ۱۵۰۰ گونه‌اند؛ پرسلولی و فتوسنتزکننده‌اند؛ تقریباً همه‌ی آن‌ها دریازی‌اند؛ دارای کلروفیل‌های *a* و *c* و فوکوگزانتین هستند و به همین دلیل رنگ آن‌ها مایل به قهوه‌ای است؛ این شاخه شامل جلبک‌های قهوه‌ای است.

نمونه: فوکوس (*Fucus*)، لامیناریا (*Laminaria*)، پوستلایا (*Postelsia*)، سارگاسوم (*Sargassum*)

شاخه‌ی دینوفلاژلاتا (تازکداران چرخان) (Dinoflagellata): این شاخه بیش‌تر از ۲۱۰۰ گونه‌ی تک‌سلولی دارد و شامل گونه‌های هتروتروف و اتوتروف است؛ بیش‌تر آن‌ها دریازی‌اند؛ بدنشان با دو صفحه‌ی سلولزی محصور شده است؛ دارای کلروفیل‌های *a* و *c* و کاروتنوئیدها هستند؛ این شاخه شامل دینوفلاژلاتاهاست.

نمونه: گونیولاکس (*Gonyaulax*)، نوکتیلوکا (*Noctiluca*)

شاخه‌ی زئوماستی‌جینا (تازکداران جانورمانند) (Zoomastigina): حدود ۳۰۰۰ گونه دارد؛ بیش‌تر آن‌ها تک‌سلولی و هتروتروف‌اند؛ همه‌ی آن‌ها حداقل یک تازک دارند؛ این شاخه شامل زئوماستی‌جیناهاست.

نمونه: ژاریدیا (*Giardia*)، لیشمانیا (*Leishmania*)، تریپانوزوما (*Trypanosoma*)

شاخه‌ی اوگلنوفیتا (اوگلناها) (Euglenophyta): این شاخه حدود ۱۰۰۰ گونه دارد؛ تک‌سلولی‌اند، شامل گونه‌های فتوسنتزکننده و هتروتروف است؛ تولیدمثل غیرجنسی دارند؛ بیش‌تر آن‌ها در آب شیرین زندگی می‌کنند؛ کلروپلاست‌های آن‌ها شبیه جلبک‌های سبز است و تصور می‌شود که از باکتری‌های هم‌زیست مشابه نتیجه شده باشند؛ این شاخه شامل اوگلنویدها است.

نمونه: اوگلنا (*Euglena*)

شاخه‌ی سیلیوفورا (مژکداران) (*Ciliophora*): در این شاخه حدود ۸۰۰۰ گونه وجود دارد؛ دارای سلول‌های منفرد بسیار پیچیده‌اند؛ هتروتروف‌اند؛ ردیف‌هایی از مژک دارند و دو نوع هسته در سلول آن‌ها وجود دارد؛ این شاخه شامل مژکداران است.

نمونه: دیدینیوم (*Didinium*)، پارامسیوم (*Paramecium*)، استنتور (*Stentor*)، ورتیسیلا (*Vorticella*).  
شاخه‌ی آکرازایومیکوتا (کپک‌های مخاطی سلولی) (*Acrasiomycota*): این شاخه حدود ۷۰ گونه دارد؛ هتروتروف‌اند؛ سلول‌های آمیبی‌شکلی دارند که وقتی از غذا محروم می‌شوند به صورت یک توده‌ی متحرک مجتمع می‌شوند؛ سلول‌های درون این توده، غشاهای خود را حفظ می‌کنند و آمیخته نمی‌شوند و هاگ‌هایی تولید می‌کنند که آمیبی‌شکل‌های جدیدی را در جای دیگر تشکیل می‌دهند؛ این شاخه شامل کپک‌های مخاطی است.

نمونه: دیکتیوستلیوم (*Dictyostelium*)

شاخه‌ی میکسومیکوتا (کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی) (*Myxomycota*): این شاخه حدود ۵۰۰ گونه دارد که هتروتروف‌اند؛ یک توده‌ی سیتوپلاسمی چندهسته‌ای شناوراند؛ آن‌ها می‌توانند هاگ‌هایی را به وجود آورند که در یک محیط مناسب‌تر، فرد جدیدی را پدید آورد؛ این شاخه شامل کپک‌های مخاطی پلاسمودیال است.

نمونه: فیزاروم (*Physarum*)

شاخه‌ی ائومیکوتا (*Oomycota*): این شاخه حدود ۵۸۰ گونه‌ی هتروتروف دارد؛ انگل یا تجزیه‌کننده‌اند؛ دیواره‌ی سلولی آن‌ها از سلولز تشکیل شده است و مانند قارچ‌ها کیتینی نیست؛ این شاخه شامل کپک‌های آبی، زنگ‌های سفید و میلدیوهای کرک‌دار است.

نمونه: فیتوفتورا (*Phytophthora*)

شاخه‌ی آپی‌کمپلکسا (هاگ‌داران) (*Apicomplexa*): حدود ۳۹۰۰ گونه‌ی تک‌سلولی، هتروتروف و غیرمتحرک دارد؛ انگل‌هایی هاگ مانند در جانوران هستند و چرخه‌های پیچیده‌ای در طول دوره‌ی زندگی خود دارند؛ به دو روش جنسی و غیرجنسی تولیدمثل می‌کنند؛ این شاخه شامل اسپوروزوئن (*Sporozoon*) هاست.

نمونه: پلاسمودیوم (*Plasmodium*)، توکسوپلازما (*Toxoplasma*)

### ۳- فرمانروی قارچ‌ها

حدود ۷۷۰۰۰ گونه هستند؛ یوکاریوت‌های هتروتروف با تغذیه از راه جذب، همگی به جز مخمرها پرسلولی‌اند؛ تقریباً همگی خاک‌زی‌اند؛ بدن برخی از آن‌ها از رشته‌هایی به نام هیف تشکیل شده است و چندهسته‌ای است که بین سلول‌ها دیواره‌بندی ناقصی وجود دارد که سپتوم (دیواره‌ی عرضی) نام دارد؛ دیواره‌ی سلول‌ها از کیتین ساخته شده است؛ حدود ۱۷۰۰۰ گونه از آن‌ها (دوترومیست‌ها) (*Deuteromycetes*) فاقد مرحله‌ی جنسی‌اند.

شاخه‌ی زیگومیکوتا (*Zygomycota*): حدود ۶۶۵ گونه هستند؛ معمولاً فاقد سپتوم (دیواره‌ی عرضی)‌اند؛ ترکیب هیف‌ها منجر به تشکیل تخم می‌شود که هنگام رویش، به‌روشن میوز تقسیم می‌شود؛ خاک‌زی یا انگل‌اند؛ این شاخه شامل کپک‌های نان است.

نمونه: پیلوبولوس (*Pilobulus*)، ریزوبوس (*Rhizopus*)

شاخه‌ی آسکومیکوتا (*Ascomycota*): حدود ۳۰۰۰۰ گونه هستند؛ هیف‌ها معمولاً دارای دیواره‌های عرضی

سوراخ‌داراند؛ ترکیب هیف‌ها، منجر به تشکیل توده‌ی درهم‌بافته‌ی متراکمی می‌شود که دارای ساختارهای تولیدمثلی مشخص که آسک نامیده می‌شود؛ بسیاری از قارچ‌هایی که از نظر شکل با عنوان قارچ‌های ناقص طبقه‌بندی شده بودند، اکنون در این شاخه قرار گرفته‌اند؛ این شاخه دارای گونه‌های خاک‌زی، دریازی یا ساکن در آب شیرین است؛ این شاخه شامل مخمرنان و مخمر آب‌جو، کپک‌ها و بعضی قارچ‌های خوراکی است.

نمونه: نوروسپورا (*Neurospora*)، ساکارومیسس (*Saccharomyces*)

شاخه‌ی بازیدیومیکوتا (*Basidiomycota*): حدود ۱۶۰۰۰ گونه هستند؛ هیف‌ها معمولاً دیواره‌های عرضی ناقص دارند؛ تولیدمثل نوعاً به طریقه‌ی جنسی است. ترکیب هیف‌ها، منجر به تشکیل ساختارهای تولیدمثلی درهم‌بافته‌ی متراکمی (قارچ چتری) می‌شود که در زیر میکروسکوپ دارای ساختارهای مشخص است و بازیدی نام دارد؛ این شاخه شامل قارچ‌های چتری، قارچ‌های چتری سمی، زنگ‌ها و سیاهک‌هاست.

همزیستی قارچی: حدود ۲۰۰۰۰ گونه از قارچ‌ها با گروه‌های دیگر همزیستی دارند؛ این قارچ‌ها با گیاهان، جلبک‌های سبز و سیانوباکتری‌ها همکاری‌هایی را به شکل همزیستی به وجود می‌آورند.

گلسنگ‌ها: حدود ۱۵۰۰۰ گونه‌اند؛ در این گروه، ارتباط‌های همزیستی بین قارچ‌ها (تقریباً همیشه آسکوسیت‌ها) و سیانوباکتری‌ها، جلبک‌های سبز یا هر دوی آن‌ها وجود دارد. جزء فتوسنتزکننده در بین هیف‌های قارچ زندگی می‌کند. قارچ انرژی مورد نیاز خود را از جزء فتوسنتزکننده‌ی خود کسب می‌کند.

قارچ ریشه‌ها (*Mycorrhizae*): حدود ۵۰۰۰۰ گونه‌اند. در این گروه، ارتباط‌های همزیستی بین قارچ‌ها و ریشه‌های گیاهان برقرار می‌شود؛ ۸۰ درصد گیاهان، قارچ-ریشه‌هایی دارند که با ریشه‌ی آن‌ها در ارتباط است؛ گیاه قندهای مورد نیاز را برای قارچ فراهم می‌کند و قارچ نیز به نوبه‌ی خود، به عنوان ریشه‌های کمکی به گیاه خدمت می‌کند؛ به طوری که سطح منطقی قابل دسترس برای جذب مواد معدنی را به مقدار زیاد افزایش می‌دهد.

#### ۴- فرمانروای گیاهان

حدود ۲۸۰,۰۰۰ گونه‌اند؛ پرسلولی، یوکاریوت، اغلب اتوتروف و خشکی‌زی، دارای بافت‌ها و اندام هستند؛ دیواره‌ی سلولی سلولزی دارند؛ پلاستیدهای آن‌ها محتوی کلروفیل‌های *a* و *b* است؛ چرخه‌ی زندگی آن‌ها دارای تناوب نسل‌هاست. شاخه‌ی خزه‌ای‌ها: حدود ۱۰,۰۰۰ گونه‌اند؛ گیاهانی بدون آوند هستند؛ گامتوفیت آن‌ها بزرگ‌تر از اسپوروفیت است؛ اسپوروفیت‌ها روی گامتوفیت‌ها رشد می‌کنند؛ بافت‌های هادی ساده‌ای دارند؛ فاقد ریشه، ساقه و برگ هستند؛ این شاخه شامل خزه‌هاست.

نمونه: اسفاگونوم (*Sphagnum*)

شاخه‌ی هپاتوفیتا (جگرواش‌ها) (*Hepatophyta*): حدود ۶۰۰۰ گونه‌اند؛ گیاهانی بدون آوند هستند؛ گامتوفیت آن‌ها بزرگ‌تر از اسپوروفیت‌هاست و اسپوروفیت‌ها روی گامتوفیت‌ها رشد می‌کنند؛ فاقد روزنه، ریشه، ساقه و برگ هستند. این شاخه شامل جگرواش‌ها هستند.

نمونه: مارکانسیا (مارچانتیا *Marchantia*)

شاخه‌ی آنتوسروفتیتا: حدود ۱۰۰ گونه‌اند؛ گیاهانی بدون آوند هستند؛ گامتوفیت آن‌ها بزرگ‌تر از اسپوروفیت‌هاست و اسپوروفیت‌ها روی گامتوفیت‌ها رشد می‌کنند؛ اسپوروفیت‌ها روزنه‌دارند؛ فاقد ریشه، ساقه و برگ‌اند؛ شامل شاخ‌واش‌ها هستند.



نمونه: آنتوسروز (*Anthoceros*)

شاخه‌ی پتروفیتا (*Pterophyta*): حدود ۱۱۰۰۰ گونه‌اند؛ گیاهان آونددار بدون دانه‌اند؛ اسپوروفیت آن‌ها بزرگ‌تر از گامتوفیت‌هاست؛ اسپوروفیت‌ها ریشه، ساقه و برگ دارند که در سطوح زیرین خود هاگ تولید می‌کنند؛ گامتوفیت‌ها کوچک، مسطح و مستقل‌اند؛ شامل سرخس‌ها هستند.

نمونه: سالوینیا (*Salvinia*)

شاخه‌ی پنجه‌گرگیان: حدود ۱۰۰۰ گونه‌اند. گیاهان آونددار بدون دانه‌اند؛ اسپوروفیت آن‌ها بزرگ‌تر از گامتوفیت‌هاست. اسپوروفیت‌ها در مخروط‌هایی شبیه گامتوفیت‌های خزه، هاگ تولید می‌کنند؛ دارای ریشه، ساقه و برگ‌اند؛ گامتوفیت‌ها کوچک، مسطح و مستقل هستند؛ این شاخه شامل پنجه‌گرگ‌هاست.

نمونه‌ها: پنجه‌گرگ و علف خوک

شاخه‌ی دم‌اسبیان: حدود ۱۵ گونه‌اند. گیاهان آوندی بدون دانه‌اند؛ اسپوروفیت آن‌ها بزرگ‌تر از گامتوفیت‌هاست؛ اسپوروفیت‌ها، هاگ‌ها را در مخروط‌ها تولید می‌کنند؛ دارای ریشه، برگ و ساقه‌های متصل به هم هستند؛ گامتوفیت‌ها کوچک، مسطح و مستقل‌اند؛ این شاخه شامل دم‌اسب‌هاست.

نمونه: دم‌اسب

شاخه‌ی برهنه‌رست‌ها: تنها حدود چند گونه‌اند؛ گیاهان آوندی بدون دانه‌اند؛ اسپوروفیت آن‌ها بزرگ‌تر از گامتوفیت‌هاست؛ اسپوروفیت‌ها، هاگ‌ها را در اسپورات‌های (هاگدان‌های) واقع در نوک ساقه‌ها، تولید می‌کنند؛ دارای ریشه و ساقه هستند ولی برگ ندارد؛ گامتوفیت‌ها کوچک، مسطح و مستقل‌اند.

نمونه: پسیلوتوم (*Psilotum*)

شاخه‌ی مخروط‌داران: حدود ۵۵۰ گونه‌اند؛ بازدانه‌اند؛ گیاهان دانه‌دارند که دانه‌های برهنه تولید می‌کنند؛ اسپوروفیت‌ها اغلب درختان یا بوته‌های همیشه‌سبز با برگ‌های سوزنی یا فلسی شکل است؛ گامتوفیت‌های نر و ماده میکروسکوپی‌اند و از هاگ‌هایی که درون مخروط‌هایی بر روی اسپوروفیت‌ها تولید می‌شوند، به‌وجود می‌آیند. این شاخه شامل کاج‌ها، سروها، صنوبرها، کاج‌های سیاه، سرخدارهاست.

نمونه: کاج، سرخدار و سرو

شاخه‌ی سیکادوفیتا (*Cycadophyta*): حدود ۱۰۰ گونه‌اند؛ بازدانه‌اند؛ گیاهان دانه‌داری هستند که دانه‌های برهنه تولید می‌کنند؛ اسپوروفیت‌ها بوته‌ها و درختان همیشه‌سبز با برگ‌هایی شبیه نخل هستند؛ گامتوفیت‌های نر و ماده میکروسکوپی‌اند و از اسپورهای تولیدی در درون مخروط‌هایی بر اسپوروفیت‌های جدا، به‌وجود می‌آیند. این شاخه شامل سیکادهاست.

نمونه: سیکاس (*Cycas*)

شاخه‌ی ژینگوفیتا (*Ginkgophyta*): یک گونه است؛ بازدانه است؛ گیاه دانه‌داری است که دانه‌های برهنه تولید می‌کند؛ اسپوروفیت درختی خزان‌پذیر با برگ‌های بادبزن‌شکل و دانه‌های آبدار (گوشتی) است؛ گامتوفیت نر و ماده میکروسکوپی است و از هاگ‌های تولیدشده به‌وسیله‌ی اسپوروفیت‌های جدا، به‌وجود می‌آید؛ این شاخه شامل ژینگوبیلوبا (*Ginkgo biloba*) است.

شاخه‌ی گنتوفیتا (*Gnetophyta*): حدود ۷۰ گونه‌اند؛ بازدانه‌اند؛ گیاهان دانه‌داری هستند که دانه‌های برهنه تولید می‌کنند؛ اسپوروفیت‌ها بوته‌ها یا پیچک‌هایی با برخی خصوصیات گیاهان نهان‌دانه است؛ گامتوفیت‌های نر و

ماده‌ی میکروسکوپی‌اند و از اسپورهای تولیدی در درون مخروط‌های روی اسپوروفیت‌ها، به‌وجود می‌آیند؛ این شاخه شامل گنتوفیت‌هاست.

نمونه: اِفدرا (*Ephedra*)، ولویچیا (*welwitschia*)

شاخه‌ی گیاهان نهان‌دانه (گلدار): حدود ۲۵۰,۰۰۰ گونه‌اند؛ گیاهان دانه‌داری هستند که دانه‌هایی درون یک میوه تولید می‌کنند؛ اسپوروفیت‌ها درخت‌ها، بوته‌ها، علف‌ها یا پیچک‌هایی هستند که گل تولید می‌کنند؛ گامتوفیت‌های نر و ماده‌ی میکروسکوپی هستند و از اسپورهای تولید شده درون ساختارهای تولیدمثلی یک گل به‌وجود آمده‌اند؛ این شاخه شامل گیاهان گلدار است.

نمونه: گل‌مینا، گوجه، بلوط، ذرت.

رده‌ی تک‌لپه‌ای‌ها: حدود ۷۰,۰۰۰ گونه‌اند؛ در این شاخه، جنین‌ها یک لپه دارند؛ بخش‌های گل‌مضربی از سه است. رگبرگ‌های برگ‌ها موازی است و دسته‌های آوندی در بافت ساقه پراکنده‌اند؛ این شاخه شامل گندمیان، جگن‌ها، لاله‌ها، زنبق‌ها، نخل‌ها و ارکیده‌هاست.

رده‌ی دولپه‌ای‌ها: حدود ۱۸۰,۰۰۰ گونه‌اند؛ در این شاخه، جنین‌ها دو لپه دارند؛ بخش‌های گل‌مضربی از دو، چهار یا پنج است؛ برگ‌ها رگبرگ‌های مشبک دارند؛ دسته‌های آوندی در ساقه‌ها به‌صورت حلقه‌هایی آرایش پیدا کرده‌اند؛ این شاخه شامل گل‌های آفتاب‌گردان، رُزها، افراها و نارون‌هاست.

## ۵- فرمانروی جانوران

بیش از یک میلیون گونه‌اند؛ پرسلولی، یوکاریوت و موجودات هتروتروفی‌اند؛ تغذیه‌ی آن‌ها عمدتاً به‌وسیله‌ی بلعیدن است؛ بیش‌تر آن‌ها بافت‌های تخصص‌یافته دارند و بسیاری نیز اندام‌ها و دستگاه‌های پیچیده دارند؛ دیواره‌ی سلولی یا کلروپلاست ندارند؛ تولیدمثل جنسی آن‌ها نسبت به روش غیرجنسی برتری دارد؛ در میان این فرمانرو آشکال آب‌زی و خاک‌زی - هردو - دیده می‌شود.

شاخه‌ی اسفنج‌ها: حدود ۹,۰۰۰ گونه‌اند؛ این شاخه، تقارنی ندارند، فاقد بافت و اندام‌اند؛ دیواره‌ی بدن آن‌ها شامل دو لایه سلول است که منافذ متعددی دارد؛ حفره‌ی داخلی به‌وسیله‌ی سلول‌های ویژه‌ی تصفیه‌کننده‌ی غذا پوشیده شده است؛ در آن‌ها تولیدمثل جنسی و غیرجنسی دیده می‌شود؛ بیش‌تر آن‌ها دریازی‌اند؛ این شاخه شامل اسفنج‌هاست. شاخه‌ی کیسه‌تَنان: حدود ۱,۰۰۰ گونه‌اند؛ تقارن شعاعی دارند؛ بیش‌تر آن‌ها بافت‌های متمایز دارند؛ بدن آن‌ها کیسه‌مانند و ژلاتینی است و از دو لایه سلول تشکیل شده است؛ در این شاخه، گونه‌های دریازی و ساکن آب شیرین دیده می‌شود.

رده‌ی هیدروزوا (*Hydrozoa*): حدود ۲۷,۰۰۰ گونه‌اند؛ بیش‌تر آن‌ها دو مرحله‌ی مدوز و پولیپ را در چرخه‌ی زندگی خود دارند؛ این رده شامل هیدرهاست.

نمونه: هیدر (*Hydra*)، اوبلیا (*Obelia*)، فیزالیا (*Physalia*)

رده‌ی سیفوزوا (*Scyphozoa*): حدود ۲۰۰ گونه‌اند. فقط ساکن دریا هستند؛ مرحله‌ی مدوز در آن‌ها غالب است؛ این رده شامل عروس‌های دریایی است.

نمونه: اُریلیا (*Aurelia*)

رده‌ی آنتوزوا (*Anthozoa*): حدود ۶۲,۰۰۰ گونه‌اند؛ دریازی‌اند؛ به‌صورت منفرد یا کلونی زندگی می‌کنند؛ فاقد

مرحله‌ی مدوزاند؛ این رده شامل: شقایق‌های دریایی، مرجان‌ها و بادبزنی‌های دریایی است.  
شاخه‌ی شانه‌داران: حدود ۱۰۰ گونه‌اند؛ دارای تقارن شعاعی‌اند؛ بدن آن‌ها شفاف است و مانند عروس‌های دریایی بدن ژله‌ای دارند؛ دریازی‌اند.

شاخه‌ی کرم‌های پهن: حدود ۲۰۰۰۰ گونه‌اند. فاقد حفره‌ی عمومی و دارای تقارن دو طرفی‌اند؛ بدن پهن و نواری شکل و بدون قطعه‌های واقعی‌اند؛ اندام دارند؛ سه پرده‌ی جنینی دارند؛ این شاخه شامل کرم‌های پهن است.  
رده‌ی توربلاریا (*Turbellaria*): بیش از ۳۰۰۰ گونه‌اند. بیش‌تر آن‌ها اشکال آب‌زی یا خاک‌زی آزاد دارند؛ این شاخه شامل پلاناریاهاست.

نمونه: دوجسیا (*Dugesia*)

رده‌ی سستودها (*Cestoda*): حدود ۱۵۰۰ گونه‌اند؛ انگل‌های تخصص‌یافته‌ی درونی‌اند؛ دستگاه گوارش ندارند؛ دارای اسکولکس قلاب‌دار برای حمله به میزبان‌اند؛ این رده شامل کرم‌های نواری است.

نمونه: کرم کدوی گاوی (*Taenia Saginata*)

رده‌ی ترماتودها (*Trematoda*): حدود ۶۰۰۰ گونه‌اند؛ انگل‌های درونی‌اند؛ در انتهای پیشین دارای دهان هستند؛ اغلب دارای چرخه‌ی زندگی پیچیده با تناوب میزبان‌ها هستند. موجب بیماری در انسان‌ها و جانوران می‌شوند؛ این رده شامل کرم‌های کبد است.

نمونه: شیشتوزوما (*Schistosoma*)، کلونورکیس سنین‌سبز (*Chlonorchis sinensis*)

شاخه‌ی کرم‌های لوله‌ای: بیش از ۱۲۰۰۰ گونه‌اند؛ کرم‌های کوچک، انگل، بدن آن‌ها بدون قطعه، دراز و باریک است؛ دارای حفره‌ی عمومی کاذب‌اند؛ این شاخه شامل کرم‌های گرد (لوله‌ای) است.

نمونه: آسکاریس، تریشینلا اسپیرالیس (*Trichinella spiralis*)، نکاتور (*Necator*)، توگزوکارا کانیس (*Toxocara canis*)، توگزوکارا کاتی (*Toxocara cati*).

شاخه‌ی نرم‌تنان: حدود ۱۱۰۰۰۰ گونه‌اند؛ جانورانی با بدن نرم و یک حفره‌ی بدنی واقعی‌اند؛ بدنی سه بخشی دارند که از پا، توده‌ی احشایی و جبهه تشکیل شده است؛ دارای دهان هستند و بیش‌تر آن‌ها زبانی منحصر به فرد دارند که مثل سوهان عمل می‌کند و رادولا نام دارد؛ خشکی‌زی، دریازی و ساکن در آب شیرین‌اند؛ این شاخه شامل رده‌های زیر است:  
رده‌ی پلی‌پاکوفورا (*Polyplacophora*): حدود ۶۰۰ گونه‌اند؛ بدنی طویل و سری کوچک دارند؛ این رده شامل کیتون‌هاست.

رده‌ی شکم‌پایان: حدود ۸۰۰۰۰ گونه‌اند؛ توده‌ی احشایی آن‌ها در دوره‌ی رشد تاب برمی‌دارد؛ یک سر با چشمان مشخص دارند و معمولاً دارای شاخک هستند؛ این رده شامل شکم‌پاهایی مانند: حلزون‌ها و حلزون‌های بدون صدف (لیسه‌ها) است.

رده‌ی دوکفه‌ای‌ها: حدود ۱۰۰۰۰ گونه‌اند؛ دارای دو صدف هستند که به وسیله‌ی یک مفصل (لوله) به یک‌دیگر متصل شده‌اند؛ رادولا ندارند؛ پاهای بزرگ به شکل تبر دارند؛ این رده شامل دوکفه‌ای‌هایی مانند: اویسترها (*Oysters*) و صدف مروارید است.

رده‌ی سرپایان: بیش از ۶۰۰ گونه‌اند؛ پای آن‌ها به بازو تبدیل شده است؛ این رده شامل سرپاهایی مانند: اختاپوس‌ها و نرم‌تن مرکب است.

شاخه‌ی کرم‌های حلقوی: حدود ۱۲۰۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها از قطعات دنبال هم تشکیل شده است؛ تقارن دو

طرفی دارند؛ دارای دهان هستند؛ این شاخه شامل رده‌های زیر است:  
رده‌ی پُر تاران: حدود ۸۰۰۰ گونه‌اند؛ برآمدگی‌هایی گوشتی به نام پاراپودیا، از قطعات بدنی آن‌ها بیرون زده است؛ تارهای زیادی دارند؛ دریازی‌اند.

نمونه: نرئیس (*Nereis*)

رده‌ی کم تاران: حدود ۳۱۰۰ گونه‌اند؛ سر آن‌ها خوب رشد نکرده است؛ پاراپودیا ندارند؛ تارهای کمی دارند؛ اشکال خاکستری و ساکن در آب شیرین دارند؛ شامل کرم‌های خاکی هستند.

رده‌ی زالوها: حدود ۶۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها پهن شده است؛ پاراپودیا ندارند؛ معمولاً در دو انتهای بدن بادکش‌هایی دارند؛ بسیاری از آن‌ها انگل‌های خارجی‌اند؛ شامل زالوها هستند.

شاخه‌ی بندپایان: حدود یک میلیون گونه‌اند. بدن قطعه‌قطعه دارند که به آن ضمایم زوج متصل است؛ تقارن دو طرفی دارند؛ اسکلت آن‌ها کیتینی است؛ دارای دهان هستند؛ اشکال پروازکننده، خشکی‌زی و آب‌زی دارند.

زیر شاخه‌ی کلسیرداران: این گروه شاخک ندارند ولی کلسیر دارند؛ تمام ضمایم آن‌ها بدون انشعاب هستند و چهار جفت آن‌ها باهای حرکتی‌اند؛ بدن از دو قسمت سر - سینه و شکم تشکیل شده است؛ غالباً خشکی‌زی‌اند.

رده‌ی عنکبوتیان: حدود ۵۷۰۰۰ گونه‌اند؛ خاک‌زی هستند؛ برای تنفس، نای و شش‌های کتابی دارند؛ چهار جفت پا دارند. شامل: عنکبوت‌ها، عقرب‌ها، کنه‌ها و رطیل‌ها هستند.

رده‌ی مروستوماتا (*Merostomata*) (خرچنگ‌های نعل اسبی): حدود ۵ گونه‌اند؛ سر - سینه‌ی آن‌ها به وسیله‌ی صدف حفاظت‌کننده پوشیده شده است؛ در انتهای بدن بخش نیزه‌ای شکل دارند؛ این رده شامل خرچنگ‌های نعل اسبی است.

رده‌ی پیکنوگونیدا (*Pycnogonida*): حدود ۱۰۰۰ گونه‌اند؛ شکارچی‌ها یا انگل‌های کوچک دریایی معمولاً چهار جفت پا دارند؛ شامل عنکبوت‌های دریایی می‌شوند.

زیر شاخه‌ی سخت‌پوستان: حدود ۳۵۰۰۰۰ گونه‌اند؛ دو جفت شاخک حسی دارند؛ دارای ماندیبول (آرواره)‌اند؛ ضمایم آن‌ها دارای دو انشعاب است؛ غالباً آب‌زی هستند؛ شامل رده‌ی زیراند:

رده‌ی مالاکوستراکا (*Malacostraca*): حدود ۲۰۰۰۰۰ گونه‌اند؛ نوعاً ۵ جفت پای حرکتی و دو جفت شاخک حسی دارند؛ اغلب آب‌زی‌اند؛ مثل: خرچنگ آب شیرین، خرچنگ دریایی، خرچنگ گرد، میگو، خرخاکی، کریل.

زیر شاخه‌ی یونی رامیا (*Uniramia*): دارای شاخک حسی، آرواره و ضمایم برون انشعاب‌اند؛ شامل رده‌های زیراند:

رده‌ی حشرات: حدود ۷۵۰،۰۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها دارای سه قسمت سر و سینه و شکم است؛ سه جفت پا دارند که همگی به سینه متصل شده است و معمولاً دو جفت بال دارند؛ شامل راسته‌های زیراند:

راسته‌ی قاب‌بالان؛ شامل: سوسک‌ها، کفش‌دوزک و شیشه‌ی گندم

راسته‌ی دوبالان؛ شامل: مگس‌ها و پشه‌ها

راسته‌ی پولک‌بالان؛ شامل: پروانه‌ها و بیدها

راسته‌ی نازک‌بالان؛ شامل: زنبورهای عسل، مورچه‌ها و زنبورهای سرخ

راسته‌ی نیم‌بالان؛ شامل: عنکبوت‌های آبی و انواع ساس‌ها

راسته‌ی هم‌بالان (هموپترا (*Homoptera*)): شامل: زنجره‌ها، شته‌ها و حشرات فلس‌دار

راسته‌ی راست‌بالان؛ شامل: ملخ‌ها، سوسک‌های حمام، مانتیس‌ها و جیرجیرک‌ها

راسته‌ی سنجاقک‌ها؛ شامل: سنجاقک‌ها و ...

راسته‌ی توربالان (رگ‌بالان)؛ شامل: مورچه‌گیرها (شیرموران)

راسته‌ی موی‌دمان (تیزانورا)؛ شامل: سیلورفیش، بریستل‌تیل و فایر‌براک‌ها

راسته‌ی شپش‌ها؛ شامل: شپش‌های مکنده

راسته‌ی جوربالان؛ شامل: موریانه‌ها

راسته‌ی زودمیران؛ شامل: می‌فلای‌ها

راسته‌ی لوله‌بالان؛ شامل: کک‌ها

راسته‌ی پوست‌بالان؛ شامل: گوش‌خزها

رده‌ی صد پایان: حدود ۲۵۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها پهن است و شامل ۱۷- ۱۵ قطعه یا بیش‌تر است؛ یک جفت پا به هر قطعه متصل می‌شود؛ این رده شامل صد پاهاست.

رده‌ی دیپلوپودها (Diplopoda): حدود ۱۰۰۰۰ گونه‌اند؛ بدن درازی دارند که شامل ۲۰۰- ۱۵ قطعه است و در هر قطعه دو جفت پا دارند؛ علف‌خوارند؛ این رده شامل هزار پایان‌اند.

شاخه‌ی خارپوستان: حدود ۶۰۰۰ گونه‌اند؛ دو تروستوم (دارای دو سوراخ دهانی و مخرجی) هستند؛ موجود بالغ آن‌ها دارای تقارن شعاعی با طرح بدن پنج قسمتی است؛ بیش‌تر اشکال آن‌ها دارای سیستم‌های لوله‌ای آب با پاهای لوله‌ای برای حرکت از محلی به محل دیگر هستند؛ دریازی‌اند.

رده‌ی آستروئیده (Asteroidea): حدود ۱۵۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها معمولاً پنج بازو دارد که در هر بازو ردیف‌های دوتایی پاهای لوله‌ای است؛ دهان در سطح زیرین قرار گرفته است؛ این رده شامل ستاره‌های دریایی است.

رده‌ی اُفیورئیده (Ophiuroidea): حدود ۲۰۰۰ گونه‌اند؛ پنج بازو یا شعاع‌های شکننده و ظریف دارند؛ شامل: ستاره‌های شکننده و ستاره‌ی زنبیلی (Basket Star) هستند.

رده‌ی کرینوئیده (Crinoidea): حدود ۶۰۰ گونه‌اند؛ سطح دهانی آن‌ها بالاست و با بازوهای بسیاری احاطه شده است، این رده شامل لاله‌های دریایی و ستاره‌های پر مانند است.

رده‌ی اِکینوئیده (Echinoidea): حدود ۹۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها کروی، تخم‌مرغی یا صفحه‌ای شکل است؛ بازو ندارند ولی طرح پنج قسمتی بدن هنوز آشکار است؛ این رده شامل توتیاهای دریایی است.

رده‌ی هولوتورئیده (Holothuroidea): حدود ۱۵۰۰ گونه‌اند؛ بدنی قطور (ضخیم) و دراز با بازوهای دور دهان دارند؛ این رده شامل خیارهای دریایی است.

شاخه‌ی طنابداران: حدود ۴۲۵۰۰ گونه‌اند؛ تقارن دو طرفی دارند؛ دارای سوراخ دهانی و مخرجی‌اند؛ حفره‌ی عمومی، نوتوکورد، طناب عصبی پستی، شکاف‌های حلقی و دم دارند. آب‌زی و خشکی‌زی‌اند.

زیر شاخه‌ی اوروکورداتا (Urochordata): حدود ۱۲۵۰ گونه‌اند؛ جانوران بالغ آن‌ها پوشش کیسه مانند یا تونیک دارند؛ لاروهای آن‌ها شناگران آزاد هستند و دارای طناب عصبی و نوتوکورداند؛ همه‌ی آن‌ها دریازی‌اند؛ این زیر شاخه شامل تونیکیت‌ها (Tunicates) است.

زیر شاخه‌ی سفالوکورداتا (Cephalochordata): حدود ۲۳ گونه‌اند؛ جانورانی کوچک و شبیه ماهی با نوتوکورد دایمی هستند که از طریق تصفیه کردن مواد غذایی آب تغذیه می‌کنند؛ این زیر شاخه شامل لانسلت‌ها (Lancelets) است.

زیر شاخه‌ی مهره‌داران: حدود ۴۰۰۰۰ گونه‌اند؛ در بیش‌تر آن‌ها ستون فقرات متشکل از مهره‌ها جانشین

نوتوکورد شده است و از طناب عصبی پشتی محافظت می‌کند؛ سر مشخصی دارند که در آن مغز قرار گرفته است.  
ماهی‌های بدون آرواره: حدود ۶۳ گونه‌اند؛ مارماهی‌هایی دریازی یا ساکن در آب شیرین هستند که آرواره‌ی حقیقی، فلس و باله‌های زوج ندارند؛ اسکلت آن‌ها غضروفی است؛ شامل لامپری‌هاست.

ماهی‌های غضروفی: حدود ۸۵۰ گونه‌اند؛ ماهی‌های دارای آرواره و باله‌های زوج و آبشش، فاقد بادکنک شنا و اسکلت غضروفی هستند؛ شامل کوسه‌ها، سفره ماهی‌هاست.

ماهی‌های استخوانی: حدود ۱۸۰۰۰ گونه‌اند؛ ماهی‌هایی دریازی و ساکن در آب شیرین با آبشش‌های متصل به کمان آبششی هستند؛ دارای آرواره و باله‌های زوج، اسکلت استخوانی‌اند؛ بیش‌تر آن‌ها بادکنک شنا دارند؛ شامل باله شعاعی‌ها مانند ماهی‌تون، اسب‌ماهی، قزل‌آلا، ماهی خاردار است.

رده‌ی دوزیستان: حدود ۴۲۰۰ گونه‌اند؛ ساکن در آب شیرین یا خشکی هستند؛ در مرحله‌ای از زندگی آبشش دارند؛ پوست آن‌ها اغلب لزج و فاقد فلس است؛ تخم‌ها نوعاً در آب رها می‌شوند و لقاحشان خارجی است.

راسته‌ی بی‌دمان؛ شامل: قورباغه‌ها و وزغ‌ها

راسته‌ی دم‌داران؛ شامل: سمندرهای آب

راسته‌ی بدون پاها؛ شامل: سیسی‌لین‌ها (Caecilians)

رده‌ی خزندگان: حدود ۷۰۰۰ گونه‌اند؛ مهره‌دارانی خشکی‌زی یا نیمه‌آب‌زی هستند؛ در همه مراحل زندگی با شش تنفس می‌کنند؛ بدن آن‌ها با فلس پوشیده شده است؛ بیش‌تر گونه‌ها تخم‌های آمیوتیک که با پوسته‌ی محافظ پوشیده شده است، می‌گذارند؛ لقاح آن‌ها داخلی است.

راسته‌ی اسکواماتا (Squamata)؛ شامل: مارمولک‌ها و مارها

راسته‌ی کلونیا (Chelonia)؛ شامل: لاک‌پشت‌های دریایی و خشکی

رده‌ی پرندگان: حدود ۹۰۰۰ گونه‌اند؛ بدن آن‌ها با پر پوشیده شده است؛ اندام حرکتی جلویی به بال تبدیل شده است؛ قلب چهار حفره‌ای است؛ خون گرم‌اند؛ تخم‌گذارند و تخم‌ها دارای پرده‌ی آمیوتیک و نیز پوسته‌ای سخت است؛ شامل راسته‌های زیر است:

راسته‌ی گنجشک‌سانان؛ شامل: سینه‌سرخ‌ها، پرنده‌ی آبی، گنجشک‌ها و بلبل‌ها

راسته‌ی آپودیفورم‌ها (Apodiformes)؛ شامل: پرنده‌ی شهدخوار

راسته‌ی دارکوب‌شکلان؛ شامل: دارکوب‌هاست.

راسته‌ی طوطی‌شکلان؛ شامل: طوطی‌ها، طوطی نغمه‌سرا، ماکاوا (Macaws) و کوکانوها (Cockatoos)

راسته‌ی آبچلیکان؛ شامل: کاکایی‌ها، پرستوی دریایی، و...

راسته‌ی کبوترشکلان؛ شامل: کبوترها و قمری‌ها

راسته‌ی عقاب‌شکلان؛ شامل: قوش‌ها، عقاب‌ها، بازها و کرکس‌ها

راسته‌ی غواص‌سانان؛ شامل: مرغ‌های غواص

راسته‌ی کلنگیان؛ شامل: درناها و چنگرها

راسته‌ی غازشکلان؛ شامل: مرغابی‌ها، غازها و قوها

راسته‌ی جغدشکلان؛ شامل: جفدها

راسته‌ی لک‌لک‌شکلان؛ شامل: حواصیل‌ها، بوتیمارها، لک‌لک‌ها و منقار قاشقی‌ها

راسته‌ی سقاشکلان ؛ شامل : مرغ سقا، آبقمیل‌ها (قره‌غازها)

راسته‌ی ماکیان‌سانان ؛ شامل : قراول‌های معمولی، بوقلمون‌ها، بلدرچین‌ها، کبک‌ها و باقرقره‌ها

راسته‌ی مرغ‌های طوفان ؛ شامل : آلباتروس‌ها و مرغ طوفان

راسته‌ی کوکوشکلان ؛ شامل : کوکوها

راسته‌ی شبانگردان ؛ شامل : شکارچی‌ان شب

راسته‌ی کوراسی‌فورم‌ها (Coraciiformes) : (مرغان ماهی‌خوار) ؛ شامل : ماهی‌خورک

راسته‌ی پنگوئن‌سانان ؛ شامل : پنگوئن‌ها

راسته‌ی شترمرغان ؛ شامل : شترمرغ‌ها

راسته‌ی بی‌پروازان ؛ شامل : کیوی‌ها

رده‌ی پستانداران : حدود ۴۴۰۰ گونه‌اند ؛ حداقل در بخشی از بدن مو دارند ؛ بچه‌های آن‌ها با شیر که از غددهای شیری ترشح می‌شود، تغذیه می‌شوند ؛ خون گرم‌اند ؛ به وسیله‌ی شش‌ها تنفس می‌کنند ؛ شامل راسته‌های زیراند :

راسته‌ی جونندگان ؛ شامل : سنجاب‌ها، موش خرما، موش‌های خانگی و صحرایی، موش‌آبی (کر‌موش) و سگ‌های آبی

راسته‌ی خفاش ؛ شامل : خفاش‌ها

راسته‌ی حشره‌خواران ؛ شامل : موش کور‌ها و موش‌های پوزه‌دراز (Shrews)

راسته‌ی کیسه‌داران ؛ شامل : آپوسوم‌ها، کانگوروها و کوالاها

راسته‌ی گوشت‌خواران ؛ شامل : خرس‌ها، راسوها، سمور، گربه‌ی آبی، راسوی بدبو، شیرها، ببرها و گرگ‌ها

راسته‌ی نخستی‌ها ؛ شامل : میمون‌ها، لمورها، ژیبون‌ها، اورانگوتان‌ها، گوریل‌ها و شامپانزه‌ها

راسته‌ی جفت‌سمان ؛ شامل : اسب‌های آبی، شترها، شترهای بدون کوهان (لاماها)، گوزن‌ها، زرافه‌ها، گاو، گوسفند و بزها

راسته‌ی آب‌بازان ؛ شامل : بالنها و دلفین‌ها

راسته‌ی خرگوش‌ها ؛ شامل : خرگوش‌های خانگی و خرگوش‌های صحرایی

راسته‌ی باله‌داران ؛ شامل : فوک‌های دریایی و شیرهای دریایی

راسته‌ی بی‌دندانان، شامل : آرمادیلوها، حیوان تنبل و مورچه‌خوارها

راسته‌ی ماکرواسکیده‌ها (بزرگ‌پاها) ؛ شامل : فیل شرو

راسته‌ی فردسمان ؛ شامل : خوک‌های خرطوم‌دار، کرگدن‌ها، اسب‌ها، گورخرها

راسته‌ی اسکن‌دنتیا (Scandentia) ؛ شامل : موش‌های پوزه‌بلند درختی (Treeshrews)

راسته‌ی هیدراکوئیده (Hyracoidea) ؛ شامل : هیراکس (خرگوش‌های کوهی)

راسته‌ی مورچه‌خواران فلس‌دار ؛ شامل : پانگولین‌ها (مورچه‌خوار فلس‌دار)

راسته‌ی شیران دریایی ؛ شامل : گاوهای دریایی

راسته‌ی پستانداران تخم‌گذار ؛ شامل : پلاتی‌پوس (نوک اردکی)، مورچه‌خوار خاردار

راسته‌ی پوست‌بالان ؛ شامل : لمورها، پرنده

راسته‌ی خرطوم‌داران ؛ شامل : فیل‌ها

راسته‌ی مورچه‌خواران ؛ شامل : آردوارک (Aardvark)

## واژه‌نامه‌ی توصیفی

که بعضی از آن‌ها باعث گلو درد‌های چرکی می‌شود. آسک: ساختارهای کیسه‌مانندی در قارچ‌های آسکومیست که در آن هاگ‌ها تشکیل می‌شوند. آسکومیکوتا: شاخه‌ای از قارچ‌ها که در آن‌ها هاگ‌های جنسی در آسک تولید می‌شوند.

اگزوالواستات: اسید آلی ۴ کربنی است که در چرخه‌ی کربس با استیل کوآنزیم A ترکیب می‌شود. اگزون: قسمت‌هایی از DNA (یا mRNA اولیه) یوکاریوتی که رونوشت آن‌ها در RNA بالغ باقی می‌ماند.

آلکاپتونوریا: بیماری ژنتیکی که در آن ادرار افراد مبتلا در مجاورت هوا سیاه می‌شود.

الکتروفورز: روشی است برای جدا کردن قطعات DNA از یکدیگر براساس اندازه و بار آن‌ها.

الگوی تعادل نقطه‌ای: نوعی الگوی تغییر گونه‌ها که طی آن افراد گونه در دوره‌های زمانی طولانی تغییرات چندانی ندارند، اما در دوره‌های کوتاه بین آن‌ها تغییرات شدید می‌کنند.

الگوی تغییر تدریجی: الگویی از تغییر گونه‌ها که در آن رویدادهای تدریجی در طول زمان‌های طولانی منجر به تشکیل گونه‌های جدید می‌شود.

الگوی رشد لجیستیک: الگویی از رشد جمعیت که طی آن به دلیل محدودیت منابع، رشد جمعیت محدود می‌شود.

الگوی سوپ بنیادین: نظریه‌ی پیدایش حیات در اقیانوس‌های پر از مواد آلی حاصل از واکنش‌های درون جو.

الگوی عمل ثابت: الگوی رفتار غریزی جانوران، که در همه‌ی افراد یک‌گونه به یک شکل انجام می‌شود.

آبله‌ی گاوی: نوعی بیماری سرپستان گاو که توسط گروهی از ویروس‌ها ایجاد می‌شود و انسان بیش‌تر مواقع با دوشیدن گاو آلوده به آن مبتلا می‌شود. اپران لک: اپرانی که آنزیم‌های لازم را برای تجزیه‌ی قند لاکتوز، گد می‌کند.

اُپران: مجموعه‌ای از چند ژن که همه به‌وسیله‌ی یک راه‌انداز رونویسی می‌شوند. اپران ویژه‌ی باکتری‌هاست و ممکن است گاهی تک‌ژنی هم باشد. اتوتروف: جانداري که می‌تواند از ترکیبات معدنی، ترکیبات آلی بسازد.

آرکی‌باکتری‌ها: گروهی از پروکاریوت‌ها و از نخستین تولیدکننده‌های روی زمین هستند که دیواره‌ی آن‌ها فاقد پپتیدوگلیکان است.

آرمادیلو: پستانداری است که پوست او از صفحات استخوانی پوشیده شده است و پنجه‌ها و ناخن‌هایش برای حفر زمین بسیار مناسبند.

اریتروپویتین: هورمونی که سلول‌های کلیه ترشح می‌کنند و محرک تولید گلبول‌های قرمز است (فاکتور خونسازی کلیوی).

آزمون و خطا (شرطی شدن فعال): رفتار یادگیری که جانور در آن براساس پاداش یا تنبیه، رفتار خاصی از خود نشان می‌دهد.

اسپوراژیوم: ساختاری که با تقسیم میوز تعدادی هاگ در آن تشکیل شده است.

استافیلو: پیشوندی برای نشان دادن اجتماع خوشه‌ای شکل باکتری‌ها.

استرپتو: پیشوندی برای نشان دادن اجتماع رشته‌ای شکل باکتری‌ها.

استرپتوکوکوس: گروهی باکتری‌های کروی رشته‌ای



الگوی نمایی رشد: رشد جانداران در محیط‌های دارای منابع فراوان و بدون رقابت و محدودیت که به صورت تصاعد هندسی است.

آمانیتا موسکاریا: یک نوع قارچ چتری سمی و کشنده.

آمیب: تک‌یاخته‌ی هتروتروف که با ایجاد پای کاذب حرکت می‌کند.

آمیزش تصادفی: آمیزی که در آن احتمال آمیزش بین افراد جنس مقابل ارتباطی با فنوتیپ یا ژنوتیپ آن‌ها ندارد.

آمیزش ناهمسان‌پسندانه: آمیزش بین افراد ناهمسان یک‌گونه که منجر به فراوانی افراد ناخالص می‌شود. آمیزش همسان‌پسندانه: آمیزی که در آن احتمال آمیزش بین افراد با ژنوتیپ یا فنوتیپ یکسان بیش‌تر است.

انتخاب جنسی: فرایندی که در آن یک صفت به‌خاطر افزایش شانس تولیدمثل انتخاب می‌شود.

انتخاب جهت‌دار: تغییر و تحول گونه‌ها به سمت سازگار شدن بیش‌تر آن‌ها با محیط متغیر.

انتخاب طبیعی: فرایند تغییر گونه‌ها در پاسخ به محیط خود.

انتخاب گسلنده: تغییر و تحول جانداران در محیط‌های ناهمگن که موجب حذف فتوتیپ‌های حد واسط بین دو فتوتیپ افراطی می‌شود.

انتهای چسبنده: قطعه‌ای تک‌رشته‌ای که در انتهای یک قطعه DNA دوررشته‌ای قرار دارد و مکمل قطعه‌ی تک‌رشته‌ای دیگری است.

آنتی‌کدون: توالی سه نوکلئوتیدی در مولکول tRNA، که مکمل توالی کدون در mRNA است.

اندام وستیجیال: اندام و یا ساختاری که در بدن یک جاندار نقش خاصی داشته باشد ولی همان ساختار

در بدن جاندار دیگر، به نسبت کوچک‌تر شده و فاقد نقش خاصی باشد.

آنزیم‌های محدودکننده: گروهی از آنزیم‌های باکتریایی که توالی‌های کوتاه و خاصی از DNA را شناسایی می‌کنند، به آن‌ها وصل می‌شوند و سپس DNA را برش می‌دهند.

آنسولین: هورمون پایین آورنده‌ی قند خون جانوران. آنقراض گروهی: مرگ تمام اعضای متعلق به تعداد زیادی از گونه‌ها که تحت تأثیر تغییرات بزرگ بوم‌شناختی انجام شده است.

mRNA اولیه: RNA ای که به‌وسیله‌ی، RNA پلی‌مراز II ساخته می‌شود و هنوز پردازش نشده است. اوگلنا: شاخه‌ای از آغازیان آب‌های شیرین با دو تاژک.

ایدز (HIV): نشانگان نقص ایمنی اکتسابی که در آن، به دلیل آسیب به سیستم ایمنی بدن توانایی دفاع علیه عوامل بیماری‌زا از دست می‌رود و فرد به عفونت‌های مختلف مبتلا می‌شود.

اینترفرون‌ها: پروتئینی ضد ویروسی که به‌وسیله‌ی سلول‌های آلوده به ویروس تولید می‌شود و از آلوده شدن سلول‌های دیگر جلوگیری می‌کند.

اینترون: به قسمت‌هایی از ژن یوکاریوتی (با رونوشت اولیه‌ی ژن) گفته می‌شود که در mRNA، tRNA یا rRNA بالغ وجود ندارد.

mRNA بالغ: mRNA ای که در نتیجه‌ی پردازش mRNA اولیه حاصل می‌شود.

بازیدی: ساختار تولیدمثلی گرز مانند در قارچ‌های بازیدیومیکوتا که هاگ‌ها روی آن تشکیل می‌شوند. بازیدیومیکوتا: شاخه‌ای از قارچ‌ها که در آن‌ها هاگ‌های جنسی روی بازیدی تولید می‌شوند.

باکتری‌های شیمیواتوتروف: باکتری‌هایی که انرژی

خود را از گازهای احیا شده‌ی آمونیاک ( $\text{NH}_3$ )، سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) و یا متان ( $\text{CH}_4$ ) به دست می‌آورند.

باکتریوفاژ: ویروس‌هایی که باکتری‌ها را آلوده می‌کنند.

بوتولیسم: بیماری کشنده‌ای که در اثر خوردن کنسروهای آلوده به سم باکتری کستریدیوم بوتولینم ایجاد می‌شود و موجب ناتوانی در تنفس می‌شود.

پارامسی: نوعی تک‌یاخته‌ی مژک‌دار که با مژک‌هایش قادر به حرکت و تغذیه است.

پاهای کاذب: برآمدگی‌های سیتوپلاسمی و قابل انعطافی که عامل حرکت در آمیب‌اند.

پراکنش: الگوی پراکندگی افراد جمعیت در محیط زیست.

پرایمر - آغازگر: توالی نوکلئوتیدی کوچکی که آنزیم DNA پلی‌مراز کار خود را با اتصال نوکلئوتیدها به آن، آغاز می‌کند.

پرو-ویروس: ویروسی که ژنوم خود را درون ژنوم سلول میزبان گنجانده است.

پروتئین تنظیم‌کننده: پروتئینی که با قرار گرفتن روی توالی‌های تنظیم‌کننده در DNA بر میزان بیان ژن‌ها اثر می‌گذارد.

پروژه‌ی ژنوم انسان (HGP): پروژه‌ی تعیین توالی نوکلئوتیدی ژنوم انسان و تعیین نقشه‌ی جایگاه هر ژن روی هر کروموزوم.

پریون‌ها: پروتئین‌هایی که می‌توانند بیماری‌زا شوند و اولین بار استانیلی پروزیر آن‌ها را در سال ۱۹۸۲ کشف کرد.

RNA پلی‌مراز: آنزیمی که واکنش RNA سازی را کاتالیز می‌کند.

پلازمید Ti: پلازمید الفاکتنده تومور در گیاهان.

پلازمید: مولکول DNA حلقوی که درون باکتری‌ها حضور دارد و می‌تواند مستقل از کروموزوم اصلی باکتری همانندسازی کند.

RNA پیک (mRNA): RNAی که از روی DNA ساخته می‌شود.

پیرووات: ترکیبی سه کربنی که طی فرایند گلیکولیز حاصل می‌شود.

پیلی: برآمدگی کوتاه و ضخیمی در سطح سلول باکتری که به چسبیدن باکتری به سطوح مختلف و یا سلول‌های دیگر نقش دارد.

پیوند فسفودی‌استر: پیوندی کووالان در نوکلئیک اسیدها که در آن گروه هیدروکسیل قند یک نوکلئوتید به گروه فسفات نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.

تازک باکتری: ساختار رشته مانندی از جنس پروتئین که از سطح سلول بیرون می‌آید و به سلول توان حرکت می‌دهد.

تازک‌داران چرخان: گروهی از آغازیان تک‌سلولی و فتوسنتزکننده‌ی ساکن دریاها و آب‌های شیرین که از پلانکتون‌ها هستند.

تخمیر اسیدلاکتیک: نوعی تخمیر، که طی آن پیرووات حاصل از گلیکولیز به اسید لاکتیک تبدیل می‌شود.

تخمیر: فرایندی بی‌هوازی که طی آن پیرووات حاصل از گلیکولیز وارد چرخه‌ی کربس نمی‌شود بلکه به مولکول‌هایی مانند اتانول، لاکتات و... تبدیل می‌شود.

تراکم جمعیت: تعداد افراد یک گونه در واحد سطح، یا حجم در یک زمان مشخص.

ترموفیل‌ها: گروهی از آرکی‌باکتری‌ها که در آب‌های بسیار داغ زندگی می‌کنند و بسیاری از آن‌ها از مواد گوگردار انرژی کسب می‌کنند.

تکامل همراه: سازگاری‌های تکاملی متقابل بین

افرادی که در یک اکوسیستم با هم در ارتباط نزدیک هستند.

تنفس سلولی: فرایندی که طی آن از انرژی ترکیبات آلی برای تولید ATP استفاده می‌شود.

تنفس نوری: فرایندی وابسته به نور در گیاهان که طی آن اکسیژن جذب و دی‌اکسیدکربن آزاد می‌شود.

توکسین‌های باکتریایی: ترشحات باکتری‌ها که برای ساخته‌های یوکاریوتی سمی هستند.

تیلاکوئید: ساختارهای کیسه‌ای شکل و پهن از جنس غشای سلولی که محل قرارگیری رنگیزه‌های فتوسنتزی هستند.

جانداران تراژن: جاندارانی که محتوای ژنی‌اش، شامل ژن، یا ژن‌های گونه‌های دیگر است.

جاننشینی: نوعی جهش نقطه‌ای که در آن یک نوکلئوتید از یک ژن با نوکلئوتید نوع دیگری عوض می‌شود.

جایگاه تشخیص آنزیم: محدودکننده‌ی توالی خاص از DNA که آنزیم آن را شناسایی می‌کند.

جدایی بوم‌شناختی (زیستگاهی): جدایی تولیدمثلی بین افراد یک گونه در اثر موانع بوم‌شناختی.

جدایی تولیدمثلی: عدم توانایی تولید زاده‌های بارور در گروه‌هایی از جانداران که قبلاً دارای این توانایی بوده‌اند.

جدایی رفتاری: جدایی تولیدمثلی بین افراد یک گونه در اثر رفتارهای متفاوت.

جدایی زمانی: جدایی تولیدمثلی در اثر فعال شدن جانداران از نظر تولیدمثلی در زمان‌های مختلف.

جدایی گامتی: جدایی تولیدمثلی بین افراد گونه‌های مختلف.

جدایی مکانیکی: ناتوانی آمیزش در افرادی که به گونه‌های نزدیک به هم تعلق دارند.

جهش: هرگونه تغییر در توالی نوکلئوتیدهای DNA.

جهش تغییر چهارچوب: جهش‌هایی که در نتیجه

اضافه یا حذف شدن تعدادی نوکلئوتید پدید می‌آیند و باعث اشتباه خوانده شدن حروف سه نوکلئوتیدی

می‌شوند. به شرطی که تعداد نوکلئوتیدهای اضافه یا حذف شده، مضرب ۳ نباشد.

جهش‌های نقطه‌ای: جهش‌هایی که یک یا چند نوکلئوتید ژن را، روی یک کروموزوم تغییر می‌دهند.

چرخه‌ی کربس: بخشی از فرآیند تنفس هوازی که طی آن پیرووات حاصل از گلیکولیز وارد میتوکندری‌ها و تا تشکیل  $CO_2$  تجزیه می‌شود.

چرخه‌ی لیتیک: چرخه‌ای که در آن ویروس همانندسازی می‌کند و سلول میزبان را تخریب می‌کند.

چرخه‌ی لیزوژنی: چرخه‌ای که طی آن، ژنوم ویروس به صورت پروویروس همانندسازی می‌کند، بدون آن که سلول میزبان تخریب شود.

mRNA چند ژنی: mRNA ای که از روی اپران چندژنی رونویسی شده است.

حذف رقابتی: نوعی حذف در اثر رقابت که در آن گونه‌ای که کارایی بیش‌تر دارد، از منابع محیط بیش‌تر استفاده و گونه‌ی دیگر را از زیستگاه حذف می‌کند.

خزانه‌ی ژنی: مجموع ال‌های موجود در سلول‌های زایشی جمعیت.

دئوترومیست‌ها: گروهی از قارچ‌ها که در آن‌ها تولیدمثل جنسی دیده نشده است.

درخت‌های تبارزایشی: طرح‌هایی برای نشان دادن ارتباط‌های خویشاوندی بین چند جاندار.

درون همزیستی: نظریه‌ای که بیان می‌کند میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها از نسل باکتری‌های هوازی همزیست هستند.

درون‌آمیزی: آمیزش میان خویشاوندان نزدیک که

موجب تغییر کم تر فراوانی نسبی آلل‌ها می‌شود. دیاتوم: گروهی از آغازیان تک سلولی فتوسنتزکننده که دارای دیواره‌ی سلولی دوقسمتی و سیلیسی هستند.

دیرینه‌شناسان: پژوهشگرانی که با استفاده از روش پرتوسنجی به بررسی سنگواره‌ها می‌پردازند.

**RFLP**: قطعات DNA حاصل از برش آنزیم‌های محدودکننده که طول متفاوت دارند.

رابطه‌ی انگلی: رابطه‌ی بین دو جاندار که در آن یکی سود و دیگری زیان می‌برد.

رائش ژن: تغییر فراوانی نسبی الل‌های جمعیت در اثر رویدادهای تصادفی.

راه‌انداز: مکانی از DNA که آنزیم RNA پلی‌مراز با قرار گرفتن روی آن، رونویسی را از جایگاه صحیح آغاز می‌کند.

رفتار: عمل یا مجموعه‌ای از اعمال که جانور در پاسخ به محرک از خود بروز می‌دهد.

رفتار حل مسئله: رفتار یادگیری که در آن جانور می‌تواند مسئله‌ای را که قبلاً با آن روبه‌رو نشده است بدون آزمون و خطا، حل کند.

رفتار وراثتی (ژنی): رفتاری که منشأ ژنی دارد.

رنگ آمیزی گرم: نوعی رنگ‌آمیزی دیواره‌ی سلولی باکتری‌ها که از آن برای شناسایی سلول‌های باکتری استفاده می‌کنند.

روبیسکو: آنزیمی که در واکنش‌های فتوسنتزی، واکنش ترکیب  $CO_2$  با ترکیب ۵ کربنی را کاتالیز می‌کند.

روزداران: آغازیانی دریازی که پوسته‌ای محکم و سوراخ‌دار از جنس آهک دارند.

رونویسی: عمل ساخته شدن مولکول RNA از روی DNA.

ریبوزوم: از اجزای سلول که در سیتوپلاسم، میتوکندری و کلروپلاست وجود دارد و از rRNA و پروتئین تشکیل شده است.

**rRNA**: مولکول RNA که در ساختار ریبوزوم به کار رفته است.

ریزوتئید: ریشه‌هایی که از سلول‌های بعضی از قارچ‌ها و خزگیان خارج می‌شوند و نقش ریشه‌ی گیاهان را دارند.

زنجیره‌ی انتقال الکترون: مجموعه‌ای از مولکول‌های ناقل الکترون که از انرژی آزادشده‌ی الکترون‌ها در واکنش‌های اکسید و احیاء برای تشکیل ATP و سایر مولکول‌های پرانرژی استفاده می‌کنند.

این مولکول‌ها در غشای داخلی میتوکندری، غشای تیلاکوئیدی کلروپلاست و غشای پلاسمایی پروکاریوت‌ها قرار دارند.

زیگوسپور: زیگوت‌دیپلوئیدی که از جفت شدن گامت‌های دارای جنسیت‌های مختلف تشکیل می‌شود.

زیگوسپورانژ: ساختارهای تولیدمثلی با دیواره‌ی ضخیم که وجود آن‌ها از ویژگی‌های افراد شاخه‌ی زیگومیکوتا است.

زیگومیکوتا: شاخه‌ای از قارچ‌ها که در آن‌ها هاگ‌های جنسی در زیگوسپورانژ تولید می‌شوند.

ژن تنظیم‌کننده: ژن مربوط به پروتئین مهارکننده‌ی رونویسی ایران.

ژن خودناسازگار: نوعی ژن چند آللی که مانع از آمیزش بین گیاهان همسان می‌شود.

ژن درمانی: قرار دادن یک نسخه‌ی سالم از یک ژن، درون سلول‌های فردی که دارای نسخه‌ای ناقص از آن ژن است.

ژنوم: همه‌ی محتوای DNA یک جاندار را گویند.

ساختار برگ شبدری: ساختاری که مدل دوبعدی مولکول tRNA از خود نشان می‌دهد.

سنگواره: بقایای حفظ شده، یا معدنی شده، یا اثرات به جای مانده از جاندارانی که مدت‌ها پیش زندگی می‌کرده‌اند.

سیانوباکتری: نوعی باکتری که از نظر آزاد کردن اکسیژن در فتوسنتز و هم‌چنین وجود کلروفیل a و سایر رنگیزه‌ها با جلبک‌ها و گیاهان عالی، اما از نظر ساختار سلولی، ریبوزوم و گرم منفی بودن با پروکاریوت مشابهت دارند.

شارش ژن: ورود یا خروج آلل‌ها از یک جمعیت به جمعیتی دیگر به دلیل مهاجرت افراد.

شایستگی تکاملی: توانایی گونه‌ها برای زیستن در محیط و تولیدمثل.

شرطی شدن کلاسیک: رفتار یادگیری که جانور در آن به محرک بی‌اثری که با یک محرک طبیعی همراه شده است، پاسخ می‌دهد.

عامل تنظیم‌کننده: عاملی است که به مهارکننده‌ی ایران متصل می‌شود و اتصال آن را به اپراتور ممکن یا غیرممکن می‌کند.

عوامل رونویسی: پروتئین‌های تنظیم‌کننده‌ی عمل رونویسی در یوکاریوت‌ها.

غذایابی بهینه: راهبرد جانوران برای به‌دست آوردن بیش‌ترین انرژی در کم‌ترین زمان.

غربال کردن: فرایند جدا کردن سلول‌های دارای ژن خاص از سایر سلول‌ها (در مهندسی ژنتیک).

فاکتور رشد: پروتئینی که توسط برخی از سلول‌های بدن ترشح می‌شود و سایر سلول‌ها را وادار به تقسیم می‌کند.

فتوسیستم: مجموعه‌ای از رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین در غشای تیلاکوئید که انرژی نور خورشید

را مهار می‌کند.

فتوسیستم II: فتوسیستمی که حداکثر جذب نوری آن در طول موج ۶۸۰ نانومتر است.

فتوسیستم I: فتوسیستمی که حداکثر جذب نوری آن در طول موج ۷۰۰ نانومتر است.

فرومون: گروهی از مواد شیمیایی که در بعضی جانوران ترشح می‌شود و بر رفتار سایر افراد اثر می‌گذارد.

قارچ - ریشه‌ای: قارچ‌های همزیست با ریشه‌ی بعضی گیاهان.

کاتالیزور: ماده‌ای است که باعث تسریع واکنش‌های شیمیایی می‌شود ولی در آخر، دست نخورده باقی می‌ماند.

کاروتنوئیدها: رنگیزه‌ای وابسته به ویتامین A که موجب پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی و قرمز در گیاهان می‌شود.

کاندیدا آلبیکنز: نوعی مخمر که عامل بیماری برفک دهان است.

کاشگر: قطعه‌ای از RNA یا DNA تک‌رشته‌ای نشان‌دار شده به وسیله‌ی مواد رادیواکتیو یا فلورسنت که مکمل ژن موردنظر است.

کراسینگ‌اُور: مبادله‌ی قطعات DNA بین کروموزوم‌های همتا در تترادهای میوز I.

کلامیدوموناس: نوعی جلبک سبز تک‌سلولی.

کلروپلاست: نوعی پلاست که در آن رنگیزه‌ی کلروفیل وجود دارد و محل انجام فتوسنتز در سلول‌های گیاهی است.

کلیستریدیوم بوتولینم: نوعی باکتری بی‌هوازی که در غذاهای کنسرو شده‌ای که به‌خوبی سترون نشده‌اند، سمی مهلک ترشح می‌کند و باعث بیماری بوتولیسم می‌شود.

کلون کردن: تکثیر قطعه‌ای خاص از DNA در سلول میزبان.

کنام: همه‌ی راه‌های ارتباطی جاندار با محیط زیست و به‌طور خلاصه نقش هر جاندار در محیط.

کنام بنیادی: طیف‌های گوناگونی از موقعیت‌ها که یک جاندار بالقوه توان زیستن در آن‌ها را دارد.

کنام واقعی: بخشی از کنام بنیادی که یک گونه‌ی آن را اشغال کرده است.

کواسروات: ریز کیسه‌هایی از جنس لیپید، آمینواسیدها و قندهای متصل به آن‌ها.

کیتین: پلی‌ساکارید سختی که در پوشش خارجی حشرات و دیواره‌ی سلولی قارچ‌ها به کار رفته است.

گامت‌های نوترکیب: گامت‌هایی که ترکیب کروموزومی آن‌ها شبیه والدین نیست.

گل‌سنگ: نوعی جاندار که حاصل همزیستی بین یک قارچ و یک فتوسنتزکننده مثل جلبک سبز است.

گلیکولیز: اولین مرحله‌ی متابولیسم گلوکز که در سیتوسل سلول انجام می‌شود.

گنجایش محیط: تعداد معینی از جانداران هر جمعیت که هر محیط می‌تواند آن‌ها را در خود جای دهد و در حد تعادل نگه دارد.

گونه‌زایی دگرمیهنی: نوعی گونه‌زایی که با جدایی زیستگاه جمعیت‌ها شروع می‌شود.

گونه‌زایی هم‌میهنی: نوعی گونه‌زایی در جمعیت‌هایی که در یک زیستگاه به سر می‌برند.

گیاهان CAM: نوعی فتوسنتز اختصاصی که اولین بار در گیاهان تیره‌ی کراسولاسه کشف شد.

گیاهان C<sub>۳</sub>: گیاهانی که در آن‌ها قبل از چرخه‌ی کالوین واکنش‌های دیگری انجام می‌گیرد و حاصل تثبیت دی‌اکسیدکربن در این واکنش‌ها یک اسید

۴ کربنی است.

گیاهان C<sub>۳</sub>: گیاهانی هستند که برای تثبیت دی‌اکسیدکربن فقط از چرخه‌ی کالوین استفاده می‌کنند و اولین مولکول پایدار که در آن‌ها تشکیل می‌شود یک اسید ۳ کربنی است.

لگه‌ی سادرن: روشی برای انتقال DNA از ژل الکتروفورز به کاغذ مخصوص جذب DNA.

DNA لیگاز: آنزیمی که پیوند فسفودی‌استر را میان دو DNA که هر دو دارای انتهای چسبنده هستند، برقرار می‌کند.

مایکوباکتریوم توپرکلوزیس: باکتری مولد بیماری سل. ابتلا به این بیماری از طریق دستگاه تنفسی است.

متانوژن‌ها: گروهی از آرکی‌باکتری‌ها که ضمن کسب انرژی از بقایای جانوران گاز متان (CH<sub>۴</sub>) تولید می‌کنند.

محرک نشانه: محرکی که باعث بروز رفتار با الگوی عمل ثابت می‌شود.

ملانینی شدن صنعتی: تیره شدن رنگ جمعیت جاندار به علت آلودگی صنعتی در سال‌های پس از انقلاب صنعتی.

مولکول ATP: نوکلئوتید سه‌فسفاته‌ای که انرژی لازم برای فرآیندهای سلولی را فراهم می‌کند.

مهارکننده: پروتئین‌های بزرگی که به توالی خاصی از DNA (آپراتور) در ایران متصل شده و مانع عمل رونویسی می‌شوند.

مهندسی ژنتیک: استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی برای ساخت مولکول DNAی که حاوی ژن‌های جدید یا ترکیب جدیدی از ژن‌هاست.

میسلیوم: توده‌ی حاصل از رشد و انشعاب نخینه‌های قارچ‌ها.

میکروسفر: ریزکیسه‌ای که از زنجیره‌های کوتاه آمینو

ویروئیدها: گروهی از عوامل مهم بیماری‌زای گیاهی و شبیه ویروس که جنس آن‌ها از RNA تک‌رشته است و کپسید ندارند.

ویروس: قطعه‌ای از نوکلئیک اسید که درون پوششی از پروتئین قرار دارد.

هالوفیل‌ها: گروهی از آرکی‌باکتری‌ها که در آب‌های بسیار شور زندگی می‌کنند.

هتروتروف: جانداري که نمی‌تواند از ترکیبات معدنی، ترکیبات آلی بسازد.

هرم جمعیت: نوعی نمودار هرمی شکل برای جمعیت آدمی است که در آن گروه‌های سنی کوچک‌تر در پایین و گروه‌های مسن‌تر در بالا نشان داده می‌شوند. هم‌زیست: دو یا چند جاندار از گونه‌های متفاوت که در درازمدت با یکدیگر رابطه‌ی نزدیک داشته باشند.

هم‌سفرگی: رابطه‌ی میان دو جاندار که در آن یکی سود می‌برد و دیگری نه سود می‌برد و نه زیان.

هم‌یوغی: عمل مبادله‌ی ژن در باکتری‌ها.

همه‌چیزخوار: گروهی از جانوران که می‌توانند از منابع غذایی مختلف گیاهی و جانوری استفاده کنند. همیاری: رابطه‌ای که در آن هر دو طرف از زندگی با یکدیگر سود می‌برند.

یادگیری: تغییر رفتار جاندار که حاصل تجربه باشد. یک ژن — یک آنزیم: نظریه‌ای که هر ژن را مسئول ساختن یک آنزیم می‌داند.

یوباکتری‌ها: گروه عمده‌ای از باکتری‌ها که دیواره‌ی آن‌ها دارای پپتید و گلیکان است. دیواره‌ی سلولی آن‌ها با آرکی‌باکتری‌ها فرق می‌کند.

اسیدی تشکیل شده است.

RNA ناقل (tRNA): از مولکول‌های RNA کوچک که آمینواسیدها را به ریبوزوم منتقل می‌کند.

نازایی دورگه: نازا بودن افراد حاصل از آمیزش دو گونه‌ی مختلف در اثر ناسازگاری کروموزومی.

نازیستایی دورگه: مرگ جنین حاصل از لقاح گامت‌های گونه‌های مختلف به علت ناسازگاری ژنی.

نخینه: رشته‌های لوله‌ای شکلی که از اجتماع آن‌ها میسلوم قارچ‌ها تشکیل می‌شود.

نقش‌پذیری: شکل خاصی از یادگیری که در دوره‌ی مشخصی از زندگی یک جانور رخ می‌دهد و ارتباط تنگاتنگی با رفتار غریزی دارد و در شکل‌گیری ارتباط اجتماعی بعدی افراد مؤثر است.

DNA نو ترکیب: مولکولی است که از DNA دو یا چند فرد مختلف ساخته شده است.

نو ترکیبی: آرایش کروموزوم‌ها طی میوز I که به ایجاد گامت‌های نو ترکیب می‌انجامد.

نیتروباکتر: باکتری شیمیواتروفی که در خاک زندگی می‌کند و از نظر کشاورزی و حفظ محیط‌زیست حائز اهمیت است و در تثبیت نیتروژن نقش دارد.

واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR): روشی برای تکثیر قطعه‌ای از DNA.

واگرایی (اشتقاق): انباشته شدن تفاوت‌ها بین گروه‌های جانداران که منجر به گونه‌زایی می‌شود.

وکتور: عاملی برای انتقال ژن مورد نظر به سلول‌های میزبان در مهندسی ژنتیک.

ویتامین B<sub>۱</sub> (تیامین): ویتامینی محلول در آب که در تبدیل پیرووات به استیل COA نقش دارد.

## فهرست منابع اصلی

1. **BSCS Biology An Ecological Approach**; Kendall / Hunt pub.; 1998.
2. Fairbanks; D.J.& Andersen W.R., **Genetics The Countinuity of Life**; Wadsworth Publishing Company, 1999.
3. Campbell, N.A.; et al. **Biology**; Addison Wesley Longman Inc. 1999.
4. Raven P.H et al. **Biology**, 5th Edition, McGraw - Hill, 1999.
5. Clegg ej, **Genetics & Evoluation**, John Murray, 1999.
6. Griffith, A.J.F, et al.; **An Introduction to Genetic Analysis**; W.H.Freeman; 2000.
7. Campbell, N.A.; **Biology, Concepts & Connections**; Addison Wesley Longman inc; 2000.
8. Johnson G.B.; **Biology, Principles & Explorations**; Holt, Rinehart & Winston; 2001.
9. Johnson G.B; **Biology, Priciples & Explorations - Annotated Teacher's Edition**; Holt, Rinehart & Winston; 2001.
10. Mader, S.S. **Biology**; McGraw – Hill Companies; 2001.
11. Allan, R.et al. **Advanced Biology 2-2002**; Biozone International Ltd.; 2002.
12. Starr & Taggart, **Biology, The unity and Diversity of life**, 10th Edition, Thomson, 2004.

