

## پروفسور نیل کمپبل

(Neil A. Campbell)

پروفسور نیل آ. کمپبل، نویسنده کتاب معروف "Biology" و محقق برجسته دانشگاه کالیفرنیا، در ۲۱ اکتبر ۲۰۰۴ در بیمارستان "Redland" پس از تحمل رنج حاصل از نارسایی قلبی، درگذشت. وی در هنگام مرگ ۵۸ سال داشت. پروفسور کمپبل دکترایش را در شاخه علوم گیاهی و در سال ۱۹۷۵ از دانشگاه کالیفرنیا دریافت کرد. وی سپس در کالج Pomona، دانشگاه Cornell و نیز کالج San Bernardino مشغول به تدریس شد تا اینکه در سال ۱۹۸۹ به گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا پیوست. وی در تمامی این دانشگاهها و دانشکده‌ها به عنوان متخصص در آموزش زیست‌شناسی مشغول به فعالیت بود.

دکتر جودی هالت، پروفسور و رئیس دپارتمان علوم گیاهی دانشگاه کالیفرنیا می‌گوید: «دکتر کمپبل با بسیاری از دانشمندان و بزرگان زمان ما دوست بود. وی حامی سخاوتمندی برای کارکنان، دانشجویان و دپارتمان علوم گیاهی بود.»



مهارت تالیف و ایثار و از خودگذشتگی دکتر کمپبل در آموزش زیست‌شناسی، بر معروفیت گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا افزود. دکتر کمپبل یقیناً به خاطر نوشتن کتاب‌های معروف Biology در سطح بین‌المللی مشهور است. به گفته پیرسون و بنجامین کامینگز، ناشران کتاب‌های کمپبل، از زمان معرفی کتاب Biology در سال ۱۹۸۷، در حدود ۷۰٪ زیست‌شناسان، پزشکان، بیوتکنولوژیست‌ها و در حدود ۱۰۰٪ از معلمان زیست‌شناسی زیر ۴۰ سال، کتاب Biology را به عنوان کتاب درسی خود انتخاب کرده‌اند. در بخش دانش‌آموزی نیز تخمین زده می‌شود که هر ساله بیش از نیم میلیون دانش‌آموز در سراسر جهان از کتاب Biology کمپبل استفاده کنند. دکتر آنتونی هانگ، پروفسور زیست‌شناسی مولکولی و سلول گیاهی در دپارتمان زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا، در مورد تأثیر پروفسور کمپبل بر حوزه زیست‌شناسی و آموزش علوم زیستی می‌گوید:

«کتاب‌هایش چنان معروفند که ماه گذشته، زمانی که برای شرکت در سمیناری در تایوان بودم، سه ویرایش چینی مختلف از کتاب‌هایش را دیدم. هر جا که می‌روم، وقتی می‌گویم از دانشگاه کالیفرنیا هستیم، مردم از من می‌پرسند، آیا دکتر کمپبل را می‌شناسم!»

کتاب‌های بیولوژی کمپبل تا کنون به بیش از ۹ زبان زنده دنیا ترجمه شده است. پس از مرگ دکتر کمپبل، از طرف خانواده‌اش درخواست می‌شود تا به جای اهدای تاج گل، هزینه‌اش را برای کمک به بودجه تحقیقاتی دانشجویانش، به حساب دانشگاه کالیفرنیا واریز کنند. در سال ۲۰۱۱ گروه مؤلفین کتاب Biology، به پاس سال‌ها خدمات ارزشمند نیل کمپبل در زمینه آموزش زیست‌شناسی، از ویرایش نهم، عنوان کتاب را به CAMPBELL BIOLOGY تغییر داده است.

روحش شاد و راهش پر رهرو باد

## در مورد نویسندگان



- لیزا یوری (فصل ۱ و بخش‌های ۳-۱)، یک زیست‌شناس تکوینی و رئیس کنونی دپارتمان بیولوژی در کالج Mills است. لیزا پس از فارغ‌التحصیلی از دانشگاه Tufts در بیولوژی، دکترای خود را در زیست‌شناسی تکوینی و مولکولی در مؤسسه تکنولوژی ماساچوست (MIT) تکمیل کرد. وی تعدادی مقالات تحقیقی منتشر کرده است، که بیشتر آنها بر روی بیان ژن طی تکوین جنینی و لاروی در خارپوستان دریایی متمرکز هستند. لیزا همچنین عمیقاً متعهد به اعطای فرصت برای زنان در تحقیق و آموزش علوم است.

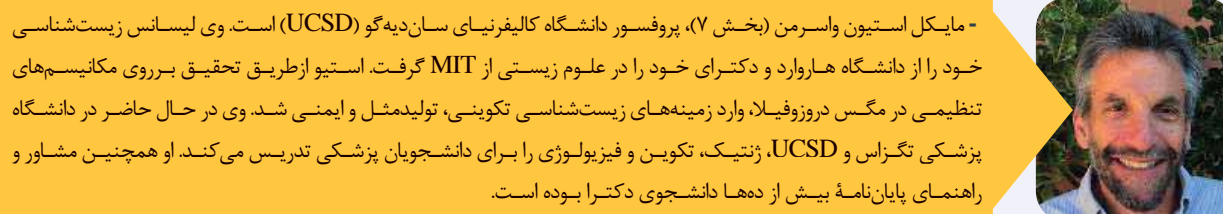


Lisa A. Urry



Michael L. Cain

- مایکل کاین (بخش‌های ۴ و ۵) یک زیست‌شناس تکاملی و اکولوژیست است که اکنون به‌طور تمام وقت مشغول تألیف می‌باشد. مایکل دارای لیسانس زیست‌شناسی و ریاضی از کالج Bowdoin، مدرک فوق‌لیسانس زیست‌شناسی از دانشگاه Brown، و دارای درجه دکترای اکولوژی و زیست‌شناسی تکاملی از دانشگاه Rose-Hulman. گستره وسیعی از دوره‌های تدریس، از جمله زیست‌شناسی عمومی، اکولوژی تکامل، و زیست‌شناسی حفظ ذخایر زیستی را تدریس می‌کرده است. مایکل کاین نویسنده ده‌ها مقاله علمی درباره موضوعاتی چون رفتار گیاه‌خواری در حشرات، پراکنش دوربرد دانه‌ها، و گونه‌زایی در جیرجیرک‌ها است. وی علاوه بر کارش در بیولوژی کمپبل، ناظر تألیف یک کتاب مرجع در زمینه اکولوژی است.



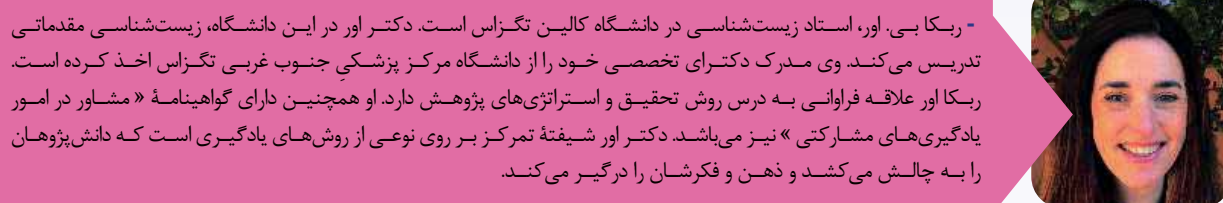
Steven A. Wasserman

- مایکل استیون واسرمن (بخش ۷)، پروفیسور دانشگاه کالیفرنیا سان‌دیگو (UCSD) است. وی لیسانس زیست‌شناسی خود را از دانشگاه هاروارد و دکترای خود را در علوم زیستی از MIT گرفت. استیو از طریق تحقیق بر روی مکانیسم‌های تنظیمی در مگس دروزوفیلا، وارد زمینه‌های زیست‌شناسی تکوینی، تولیدمثل و ایمنی شد. وی در حال حاضر در دانشگاه پزشکی تگزاس و UCSD، ژنتیک، تکوین و فیزیولوژی را برای دانشجویان پزشکی تدریس می‌کند. او همچنین مشاور و راهنمای پایان‌نامه بیش از ده‌ها دانشجوی دکترا بوده است.



Peter V. Minorsky

- پیتر مینورسکای (بخش‌های ۶ و ۸)، پروفیسور کالج Mercy در نیویورک است؛ وی در آنجا تکامل، اکولوژی گیاه‌شناسی و زیست‌شناسی عمومی را تدریس می‌کند. پیتر لیسانس زیست‌شناسی خود را از کالج Vassar و دکترای خود را در گرایش فیزیولوژی گیاهی از دانشگاه Cornell دریافت کرد. او همچنین نویسنده علمی مجله Plant Physiology است. پیتر پس از فلوشیپ فوق‌دکتر در دانشگاه ویسکانسین، در کالج Kenyon، کالج Union، دانشگاه Western Connecticut State، و کالج Vassar مشغول به تدریس شد. وی در حقیقت یک الکتروفیزیولوژیست است که پاسخ گیاهان به استرس را مطالعه می‌کند. پیتر در سال ۲۰۰۸ به‌خاطر شیوه منحصر به فردش در آموزش، جایزه ویژه بهترین روش تدریس را از آن خود کرده است.



Rebecca B. Orr

- ربکا بی. اور، استاد زیست‌شناسی در دانشگاه کالین تگزاس است. دکتر اور در این دانشگاه، زیست‌شناسی مقدماتی تدریس می‌کند. وی مدرک دکترای تخصصی خود را از دانشگاه مرکز پزشکی جنوب غربی تگزاس اخذ کرده است. ربکا اور علاقه فراوانی به درس روش تحقیق و استراتژی‌های پژوهش دارد. او همچنین دارای گواهینامه «مشاور در امور یادگیری‌های مشارکتی» نیز می‌باشد. دکتر اور شیفته تمرکز بر روی نوعی از روش‌های یادگیری است که دانش پژوهان را به چالش می‌کشد و ذهن و فکرشان را درگیر می‌کند.

# پیشگفتار:

اکنون که ترجمه ویرایش ۲۰۲۰ کتاب ارزشمند و منحصر به فرد بیولوژی کمپبل را تقدیم شما عزیزان می‌کنیم، نزدیک به ۱۷ سال از ورود این «کتاب سترگ» به کشور می‌گذرد. طی این مدت، بیولوژی کمپبل تبدیل به یک «فرهنگ» دوست داشتنی شده است؛ فرهنگی که حاکی از درایت، تشخیص و درک دبیران محترم، دانش‌آموزان عزیز و والدین گرامی دارد! با افتخار اعلام می‌کنیم که امروز در بسیاری از مدارس دوره اول دبیرستان، در پایه‌های هفتم، هشتم و نهم، کلاس‌های کمپبل جزء برنامه‌های اصلی دانش‌آموزان شده است؛ دانش‌پژوهان المپیادی اولین مرجعی که مطالعه می‌کنند بیولوژی کمپبل است؛ در کنکور سراسری، تقریباً محال است دانش‌آموزی در رشته‌های پزشکی، دندانپزشکی و داروسازی پذیرفته شود ولی بیولوژی کمپبل را مطالعه نکرده باشد! جالب اینجاست که علاوه بر دبیران کشور، دانشجویان رشته دبیری زیست‌شناسی در دانشگاه فرهنگیان نیز مشتاقانه این کتاب را به‌عنوان مهم‌ترین مرجع تدریس در آینده کاری خود انتخاب می‌کنند.

اتفاق جالب دیگر در این سال‌ها، مرجع تالیف قرار گرفتن کتاب بیولوژی کمپبل برای تمامی کتاب‌های علوم زیستی در حوزه آموزش و پرورش است! کتاب‌های زیست‌شناسی در دوره متوسطه دوم و کتاب‌های علوم در دوره متوسطه اول، همه و همه از روی کتاب کمپبل الگوبرداری و نوشته شده‌اند. به همین دلیل، دامنه اثرگذاری این اثر ماندگار، بسیار وسیع و قابل تأمل است. آنچه که باعث این همه اتفاقات میمون و ارزشمند شده است «جایگاه جهانی» این کتاب، شیوه نگارش و محتوای علمی آن است. پروفیسور نیل کمپبل در مهندسی تالیف این اثر فاخر، چنان استادانه عمل کرده است که به جرأت می‌توان گفت هیچ کتاب دیگری در حوزه علوم زیستی تا این اندازه تاثیرگذار نبوده است! اینکه مدیر جهانی «IBO» به صراحت اعلام می‌دارد که «بیولوژی کمپبل، انجیل زیست‌شناسی است»، حاکی از نقش مؤثر و غیرقابل انکار این کتاب در آماده‌سازی دانش‌پژوهان در این رویداد جهانی است.

«بیولوژی کمپبل» جزء معدود کتاب‌های علمی است که به تمام زبان‌های زنده دنیا ترجمه شده است. در ایران نیز از ویرایش هشتم توسط «خانه زیست‌شناسی» ترجمه و در اختیار علاقمندان قرار گرفته است. در ترجمه ویرایش‌های یازدهم و دوازدهم این کتاب، سرکار خانم «شراره مستانی‌نژاد»، نقشی بسیار ارزنده و غیرقابل انکار داشتند؛ فهم عمیق ایشان از موضوعات مختلف زیست‌شناسی، تسلط فوق‌العاده بر متون انگلیسی و از همه مهم‌تر، عشق و علاقه فراوان به کار، از او یک «مترجم چیره‌دست» ساخته است. یقیناً از این مترجم جوان در آینده‌ای نزدیک فراوان خواهیم شنید! سرکار خانم مریم مجاور، ویراستار صبور، دقیق و باحوصله گروه هستند که از ویرایش‌های اخیر به جمع ما اضافه شدند. خانم مجاور با وسواس بسیار زیاد، موجب روان‌تر شدن و شیوایی ترجمه در این اثر فاخر شده‌اند؛ از ایشان به‌خاطر زحمات ارزشمندشان سپاسگزاریم.

طراحی این اثر ماندگار نیز با خلاقیت و هنرمندی خانم‌ها سیما رائفی‌نیا و سپیده زارعی به سرانجام رسیده است. این عزیزان نهایت تلاش، حوصله و صبوری خود را برای خلق یک اثر زیبا و منحصر به فرد به کار گرفته‌اند؛ زحمات فراوان آنها بسیار جای تقدیر و تشکر دارد.

در پایان جا دارد از جناب آقای سید احمد موسوی، مدیر همیشه همراه مجموعه وزین کاپ، که در شرایط سخت و نفس‌گیر کرونایی، «جسورانه» موجبات چاپ این اثر فاخر را فراهم نموده‌اند، صمیمانه قدردانی و تشکر کنیم. توفیق روز افزون این عزیزان، آرزوی قلبی ماست.

مصطفی پویان  
مدیر خانه زیست‌شناسی



مشاوره بر پایه ژنتیک مندلی و قوانین احتمال ..... ۵۰  
 آزمایش‌هایی برای شناسایی ناقل‌ها ..... ۵۱  
 آزمایش‌های مربوط به جنین ..... ۵۲  
 غربالگری کودکان تازه متولدشده ..... ۵۲

## فصل ۱۳ میوز و چرخه‌های زندگی جنسی



**13-1** فرزندان از طریق کروموزوم‌ها ژن‌ها را از والدین دریافت می‌کنند  
 ۱۰ وراثت ژن‌ها .....  
 ۱۰ مقایسه تولیدمثل جنسی و غیرجنسی .....  
**13-2** لقاح و میوز در چرخه‌های زندگی جنسی تناوب دارند  
 ۱۱ مجموعه‌های کروموزوم‌ها در سلول‌های انسان .....  
 ۱۱ رفتار مجموعه‌های کروموزومی در چرخه زندگی انسان .....  
 ۱۳ انواع چرخه‌های زندگی جنسی .....  
**13-3** لقاح و میوز در چرخه‌های زندگی جنسی تناوب دارند  
 ۱۵ مراحل میوز .....  
 ۱۶ مقایسه میتوز و میوز .....  
**13-4** تنوع ژنتیکی حاصل از چرخه‌های زندگی جنسی در تکامل نقش دارد  
 ۲۱ منشأ گوناگونی ژنتیکی بین زاده‌ها .....  
 ۲۱ جور شدن مستقل کروموزوم‌ها .....  
 ۲۱ کراسینگ اور .....  
 ۲۲ لقاح تصادفی .....  
 ۲۲ اهمیت تکاملی تنوع ژنتیکی در جمعیت‌ها .....

## فصل ۱۵ اساس کروموزومی وراثت



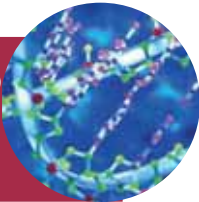
**15-1** مورگان نشان داد که اساس فیزیکی وراثت مندلی بر مبنای رفتار کروموزوم‌هاست: پژوهش علمی  
 ۶۱ جاندار آزمایشگاهی منتخب مورگان .....  
 ۶۱ ارتباط دادن رفتارِ الل‌های زن با رفتار جفت کروموزوم‌ها .....  
**15-2** ژن‌های وابسته به جنس، الگوی وراثتی منحصربه‌فردی دارند  
 ۶۳ اساس کروموزومی جنسیت .....  
 ۶۳ وراثت ژن‌های وابسته به X .....  
 ۶۵ غیرفعال شدن کروموزوم X در پستانداران ماده .....  
**15-3** ژن‌های پیوسته تمایل دارند باهم به ارث برسند زیرا آنها نزدیک به هم و بر روی یک کروموزوم واقع شده‌اند  
 ۶۷ وراثت ژن‌های پیوسته چگونه است؟ .....  
 ۶۷ نوترکیبی ژنتیکی و پیوستگی .....  
 ۶۹ نوترکیبی ژن‌های غیر پیوسته: جور شدن مستقل کروموزوم‌ها .....  
 ۶۹ نوترکیبی ژن‌های پیوسته: کراسینگ اور .....  
 ۷۲ نقشه‌یابی فاصله بین ژن‌ها با استفاده از داده‌های نوترکیبی: تحقیق علمی .....  
**15-4** تغییر در تعداد یا ساختار کروموزوم‌ها موجب برخی اختلالات ژنتیکی می‌شود  
 ۷۴ تعداد غیرطبیعی کروموزوم‌ها .....  
 ۷۴ تغییر در ساختار کروموزوم‌ها .....  
 ۷۵ اختلالات مربوط به تغییر در کروموزوم‌های انسانی .....  
 ۷۶ نشانگان داون (تری‌زومی ۲۱) .....  
 ۷۷ انیوپلوئیدی در کروموزوم‌های جنسی .....  
 ۷۷ اختلالات مربوط به تغییرات ساختاری کروموزوم‌ها .....  
**15-5** برخی از الگوهای وراثتی مغایر با وراثت استاندارد مندلی هستند  
 ۷۸ نقش‌پذیری ژنومی .....  
 ۷۸ وراثت ژن‌های اندامک‌ها .....

## فصل ۱۴ مندل و ایده ژن



**14-1** مندل با داشتن رویکردی علمی توانست دو قانون وراثت را کشف کند  
 ۲۸ رویکرد تجربی و کمی مندل .....  
 ۲۸ قانون تفکیک ژن‌ها .....  
 ۳۰ مدل مندلی .....  
 ۳۰ واژه‌های کاربردی ژنتیک .....  
 ۳۲ آمیزش آزمون .....  
 ۳۳ قانون جور شدن مستقل ژن‌ها .....  
**14-2** وراثت مندلی تابع قوانین احتمالات است  
 ۳۵ قوانین ضرب و جمع مربوط به آمیزش‌های مونوهیبریدی .....  
 ۳۶ حل مسائل پیچیده ژنتیکی توسط قوانین احتمالات .....  
**14-3** الگوهای وراثتی، اغلب پیچیده‌تر از آن هستند که توسط ژنتیک ساده مندلی قابل پیش‌بینی باشند  
 ۳۸ بسط ژنتیک مندلی در مورد صفات تک‌ژنی .....  
 ۳۸ درجه‌های غالبیت .....  
 ۳۹ رابطه بین غالبیت و فنوتیپ .....  
 ۴۰ فراوانی الل‌های غالب .....  
 ۴۰ چندللی .....  
 ۴۰ چندشکلی (پلی‌تروپی) .....  
 ۴۱ بسط ژنتیک مندلی به صفات دو یا چند ژنی .....  
 ۴۱ اپی‌ستازی .....  
 ۴۱ وراثت چندژنی .....  
 ۴۲ طبیعت و تربیت: اثر محیط بر فنوتیپ .....  
 ۴۲ ترکیب دیدگاه مندلی وراثت با تنوع .....  
**14-4** بسیاری از صفات انسان از الگوهای وراثتی مندلی پیروی می‌کنند  
 ۴۵ بررسی دودمانه .....  
 ۴۵ اختلالات وراثتی مغلوب .....  
 ۴۶ رفتار الل‌های مغلوب .....  
 ۴۶ سیستمیک فابریوزیس .....  
 ۴۷ گلبول قرمز داسی‌شکل .....  
 ۴۸ اختلالات وراثتی غالب .....  
 ۴۹ اختلالات چندعاملی .....  
 ۵۰ آزمایش و مشاوره ژنتیک .....

## فصل ۱۶ اساس مولکولی وراثت



**16-1** DNA ماده ژنتیک است  
 ۸۶ جستجوی ماده ژنتیک: تحقیق علمی .....  
 ۸۶ شواهدی برای این موضوع که DNA می‌تواند باکتری‌ها را ترانسفورم کند .....  
 ۸۸ شواهدی که نشان می‌دهد DNA ویروسی می‌تواند برای سلول‌ها برنامه‌ریزی کند .....  
 ۸۸ شواهد بیشتر مبنی بر اینکه DNA ماده ژنتیک است .....  
 ۸۹ ساختن یک مدل ساختاری برای DNA: تحقیق علمی .....  
**16-2** پروتئین‌های متعددی در همانندسازی و ترمیم DNA نقش دارند  
 ۹۳ اصل اساسی: جفت شدن بازها با یک رشته اللگو .....  
 ۹۳ همانندسازی DNA در یک نگاه دقیق‌تر .....  
 ۹۴ محل آغاز همانندسازی .....  
 ۹۴ ساخت یک رشته DNA تازه .....  
 ۹۶ طول شدن ناهمسو .....  
 ۹۷ کمپلکس همانندسازی DNA .....  
 ۱۰۰ ویرایش و ترمیم DNA .....  
 ۱۰۰ همانندسازی دو انتهای مولکول DNA .....  
**16-3** یک کروموزوم شامل یک مولکول DNA است که توسط پروتئین‌ها بسته‌بندی شده است  
 ۱۰۴





## فصل ۱۷

### از ژن تا پروتئین



تنظیم ساختار کروماتین	۱۵۴
تغییر هیستون‌ها و متیلاسیون DNA	۱۵۵
توارث اپی‌ژنتیک	۱۵۵
تنظیم شروع رونویسی	۱۵۶
ساختار یک ژن یوکاریوتی معمولی	۱۵۶
نقش عوامل رونویسی عمومی و اختصاصی	۱۵۶
تنظیم ترکیبی فعال‌سازی ژن	۱۵۹
کنترل هماهنگ ژن‌ها در یوکاریوت‌ها	۱۶۰
معماری هسته‌ای و بیان ژن	۱۶۱
مکانیسم‌های مربوط به تنظیم بعد از رونویسی	۱۶۱
پردازش RNA	۱۶۲
آغاز و تجزیه RNA پیک	۱۶۲
پردازش و تجزیه پروتئین‌ها	۱۶۳

### 18-3 RNA های غیررمزکننده، نقش‌های متعددی در تنظیم

بیان ژن دارند	۱۶۴
اثرات میکرو RNAها و RNAهای کوچک مداخله‌گر، بر روی mRNAها	۱۶۴
بازارایی کروماتین و خاموش‌سازی رونویسی توسط RNAهای کوچک	۱۶۵
اهمیت تکاملی ncRNAهای کوچک	۱۶۶

### 18-4 برنامه‌ای که موجب بیان متفاوت ژن‌ها می‌شود باعث به‌وجود آمدن انواع مختلف سلول‌ها در یک موجود پرسلولی می‌گردد

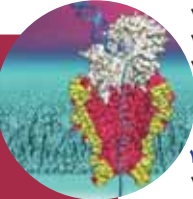
یک برنامه ژنتیکی برای تکوین جنین	۱۶۷
عوامل تعیین‌کننده سیتوپلاسمی و پیام‌های القاگر	۱۶۸
تنظیم ترتیبی بیان ژن در طول تمایز سلولی	۱۶۹
قالب‌بندی: ساختن طرح بدنی	۱۷۱
چرخه زندگی دروزوفیلا	۱۷۱
آنالیز ژنتیکی تکوین اولیه: تحقیق علمی	۱۷۲
استقرار محور	۱۷۳
بی‌کوتید: یک ژن ریخت‌زا که ساختار سر را تعیین می‌کند	۱۷۴

### 18-5 سرطان از تغییرات ژنتیکی که کنترل چرخه سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ناشی می‌شود

انواعی از ژن‌ها که با سرطان در ارتباطند	۱۷۶
تداخل با مسیرهای طبیعی پیام‌رسانی سلولی	۱۷۸
مدل چند مرحله‌ای ایجاد سرطان	۱۷۹
زمینه وراثتی و دیگر عوامل مستعدکننده سرطان	۱۸۲

## فصل ۱۹

### ویروس‌ها



### 19-1 مندل با داشتن رویکردی علمی توانست دو قانون وراثت را کشف کند

کشف ویروس‌ها: تحقیق علمی	۱۹۰
ساختار ویروس‌ها	۱۹۱
ژنوم‌های ویروسی	۱۹۱
کپسیده‌ها و پوشش‌ها	۱۹۲

### 19-2 ویروس‌ها فقط در سلول‌های میزبان تولیدمثل می‌کنند

خصوصیات کلی چرخه تولید مثل ویروسی	۱۹۳
چرخه تولیدمثلی فاذا	۱۹۴
چرخه لیفتیک	۱۹۴
چرخه لیژوژنیک	۱۹۵
چرخه تولید مثل ویروس‌های جانوران	۱۹۸
پوشش‌های ویروسی	۱۹۸
ماده ژنتیکی ویروس	۱۹۸
تکامل ویروس‌ها	۲۰۱

### 19-3 ویروس‌ها، ویروئیدها و پرین‌ها بیماری‌زاهای خطرناکی برای جانوران و گیاهان هستند

۲۰۲

### 17-1 ژن‌ها از طریق رونویسی و ترجمه، پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند

شاهدی از مطالعات اختلالات متابولیکی	۱۱۲
انواع جهش‌یافته‌های غذایی در نوروسپورا: تحقیق علمی	۱۱۲
محصولات بیان ژن: یک داستان ناتمام	۱۱۳
اصول اساسی رونویسی و ترجمه	۱۱۵
رمزگان ژنتیکی	۱۱۶
کدون‌ها: بازهای سه‌گانه	۱۱۶
رمزگشایی کد ژنتیکی	۱۱۸
تکامل رمزگان ژنتیکی	۱۱۹

### 17-2 نگاهی دقیق‌تر به رونویسی: فرایند ساخت RNA از روی DNA

عوامل مولکولی رونویسی	۱۲۰
ساخت یک رونوشت RNA	۱۲۰
اتصال RNA پلی‌مراز و آغاز رونویسی	۱۲۱
طولیل شدن رشته RNA	۱۲۲
پایان رونویسی	۱۲۲

### 17-3 سلول‌های یوکاریوتی، RNA را پس از رونویسی تغییر می‌دهند

تغییرات نواحی انتهایی RNA پیک	۱۲۳
ژن‌های گسسته و پیرایش RNA	۱۲۴
ریبوزیم‌ها	۱۲۵
اهمیت عملکردی و تکاملی اینترون‌ها	۱۲۶

### 17-4 نگاهی دقیق‌تر به ترجمه: فرایند ساخت پلی‌پپتید از روی RNA

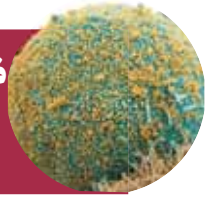
اجزای مولکولی ترجمه	۱۲۷
ساختار و عملکرد ریبوزوم‌ها	۱۲۷
ساخت یک پلی‌پپتید	۱۲۹
اتصال ریبوزوم و آغاز ترجمه	۱۳۰
طولیل شدن رشته پلی‌پپتیدی	۱۳۲
پایان ترجمه	۱۳۲
تکمیل و هدف‌گیری پروتئین فعال	۱۳۴
تاخوردگی پروتئین و تغییرات پس از ترجمه	۱۳۴
هدف‌گیری پلی‌پپتید به یک مکان اختصاصی	۱۳۴

### 17-5 جهش در یک یا چند نوکلئوتید می‌تواند عملکرد و ساختار پروتئین را تحت تأثیر قرار دهد

انواع جهش‌های کوچک مقیاس	۱۳۸
جانمایی‌ها	۱۳۸
حذف و اضافه	۱۴۱
عوامل جهش‌زا	۱۴۲

## فصل ۱۸

### تنظیم بیان ژن



### 18-1 باکتری‌ها اغلب از طریق تنظیم رونویسی، به تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند

ابران: مفهوم پایه	۱۴۸
ابران‌های قابل سرکوب و القاپذیر: دو روش تنظیم منفی ژن	۱۴۹
تنظیم مثبت ژن	۱۵۱
تنظیم مثبت ژن	۱۵۲

### 18-2 بیان ژن‌های یوکاریوتی در مراحل متعددی قابل تنظیم است

بیان ژنی متفاوت	۱۵۳
-----------------	-----

## فصل ۲۱ ژنومها و تکامل آنها



**21-1** پروژه ژنوم انسان، موجب توسعه روش‌های توالی‌یابی سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر شد  
۲۴۸

**21-2** دانشمندان از بیوانفورماتیک برای آنالیز ژنومها و عملکرد آنها استفاده می‌کنند  
۲۴۹

منابع متمرکز برای آنالیز توالی‌های ژنوم ..... ۲۴۹  
تشنخیص ژن‌های رمزکننده پروتئین و درک عملکرد آنها ..... ۲۵۰  
شناخت ژن‌ها و محصولات آنها در سطح سیستمها ..... ۲۵۲  
زیست‌شناسی سیستمها ..... ۲۵۳  
کاربرد بیولوژی سیستمها در پزشکی ..... ۲۵۳

**21-2** ژنومها از نظر اندازه، تعداد و تراکم ژن‌ها با یکدیگر متفاوتند  
۲۵۴

اندازه ژنوم ..... ۲۵۵  
تعداد ژن‌ها ..... ۲۵۵  
تراکم ژن و DNA غیررمزکننده ..... ۲۵۶

**21-4** یوکاریوت‌های پرسلولی، DNA غیررمزگذار و خانواده‌های چندژنی زیادی دارند  
۲۵۷

قطعات قابل جابه‌جایی و توالی‌های مرتبط ..... ۲۵۸  
حرکت ترانسپوزون‌ها و رترو ترانسپوزون‌ها ..... ۲۵۹  
توالی‌های مرتبط با قطعات قابل جابه‌جایی ..... ۲۵۹  
سایر DNAهای تکراری، شامل DNA با توالی ساده ..... ۲۵۹  
ژن‌ها و خانواده‌های چندژنی ..... ۲۶۰

**21-5** مضاعف‌شدگی، بازآرایی و جهش DNA به تکامل ژنوم کمک می‌کنند  
۲۶۲

همانندسازی کل مجموعه کروموزومها ..... ۲۶۲  
تغییر ساختار کروموزوم ..... ۲۶۲  
مضاعف‌شدگی و واگرایی مناطق به اندازه ژن در DNA ..... ۲۶۳  
تکامل ژن‌های دارای عملکرد مرتبط: ژن‌های گلوبین انسانی ..... ۲۶۴  
تکامل ژن‌های دارای عملکرد جدید ..... ۲۶۵  
بازآرایی قسمت‌های مختلف ژن‌ها: مضاعف‌شدن آگزون‌ها و بر خوردن آگزون‌ها ..... ۲۶۵  
قطعات قابل جابه‌جایی چگونه به تکامل ژنوم کمک می‌کنند ..... ۲۶۶

**21-6** مقایسه توالی‌های ژنومی، سرخ‌هایی از تکامل و تکوین به دست می‌دهد  
۲۶۹

مقایسه ژنومها ..... ۲۶۹  
مقایسه گونه‌های با نسبت دور ..... ۲۶۹  
مقایسه گونه‌های با نسبت نزدیک ..... ۲۷۰  
مقایسه ژنومها در یک گونه ..... ۲۷۲  
حفظ همه‌جانبه ژن‌های مربوط به نمو در بین جانوران مختلف ..... ۲۷۳

بیماری‌های ویروسی در جانوران ..... ۲۰۲  
ویروس‌های نوظهور ..... ۲۰۳  
بیماری‌های ویروسی در گیاهان ..... ۲۰۷  
پروبیون‌ها عامل عفونی پروتئینی ..... ۲۰۷

## فصل ۲۰ فن‌آوری زیستی



**20-1** توالی‌یابی DNA و کلون‌سازی آن ابزارهای ارزشمند در مهندس ژنتیک و تحقیقات زیست‌شناسی هستند  
۲۱۲

توالی‌یابی DNA ..... ۲۱۲  
استفاده از آنزیم‌های محدودکننده برای ساخت DNA نوترکیب ..... ۲۱۴  
تکثیر DNA، واکنش زنجیره ای پلی مرز (PCR) و کاربردهای آن ..... ۲۱۷  
در کلون کردن DNA ..... ۲۱۷  
بیان ژن‌های یوکاریوتی کلون‌شده ..... ۲۱۹  
سیستم‌های بیان باکتریایی ..... ۲۱۹  
سیستم‌های کلون کردن و بیان یوکاریوتی ..... ۲۲۰  
بیان ژن بین گونه‌ای و دودمان تکاملی ..... ۲۲۰

**20-2** زیست‌شناسان از فناوری DNA برای مطالعه بیان و عملکرد ژن‌ها استفاده می‌کنند  
۲۲۱

آنالیز بیان ژن ..... ۲۲۱  
مطالعه بیان ژن‌های منفرد ..... ۲۲۱  
مطالعه بیان گروه‌هایی از ژن‌های برهمکنش‌کننده ..... ۲۲۴  
تعیین عملکرد ژن ..... ۲۲۵

**20-3** موجودات زنده کلون شده و سلول‌های بنیادی در تحقیقات سودمند هستند و کاربردهای دیگری نیز دارند  
۲۲۸

کلون کردن گیاهان: کشت‌های تک‌سلولی ..... ۲۲۸  
کلون کردن جانوران، پیوند هسته‌ای ..... ۲۲۸  
کلون کردن تولیدمثلی پستانداران ..... ۲۲۹  
سلول‌های بنیادی جانوران ..... ۲۳۱  
سلول‌های بنیادی جنینی و بالغ ..... ۲۳۱

**20-4** کاربردهای عملی فن‌آوری DNA به شیوه‌های بسیاری زندگی ما را متأثر می‌سازد  
۲۳۴

کاربردهای پزشکی ..... ۲۳۴  
تشخیص و درمان بیماری‌ها ..... ۲۳۴  
ژن‌درمانی انسان و ویرایش ژن ..... ۲۳۵  
محصولات دارویی ..... ۲۳۷  
ساخت مولکول‌های کوچک برای استفاده به‌عنوان دارو ..... ۲۳۷  
تولید پروتئین در کشت‌های سلولی ..... ۲۳۷  
تولید پروتئین به‌وسیله جانوران دارویی ..... ۲۳۸  
شواهد جنایی و پروفایل ژنتیکی ..... ۲۳۸  
پاکسازی محیطی ..... ۲۴۰  
کاربردهای کشاورزی ..... ۲۴۰  
مسائل اخلاقی و ایمنی که با استفاده از فن‌آوری DNA بروز می‌یابند ..... ۲۴۱

# 13 Meiosis and Sexual Life Cycles

## میوز و چرخه‌های زندگی جنسی



▲ شکل ۱-۱۳ اعضای خانواده‌ای که در این شکل می‌بینید، برخی خصوصیات مشابه دارند. فرزندان، بیشتر به والدین خود شباهت دارند تا افراد غیرخویشاوند.

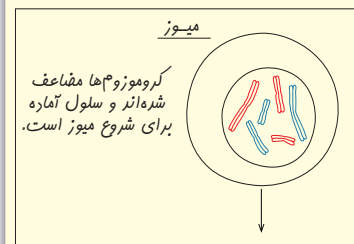
### مفاهیم کلیدی

- ۱-۱۳ فرزندان از طریق کروموزوم‌ها ژن‌ها را از والدین دریافت می‌کنند
- ۲-۱۳ لقاح و میوز در چرخه‌های زندگی جنسی تناوب دارند
- ۳-۱۳ میوز، تعداد مجموعه‌های کروموزومی را از دیپلوئید به هاپلوئید کاهش می‌دهد
- ۴-۱۳ تنوع ژنتیکی حاصل از چرخه‌های زندگی جنسی در تکامل نقش دارد

### روش مطالعه

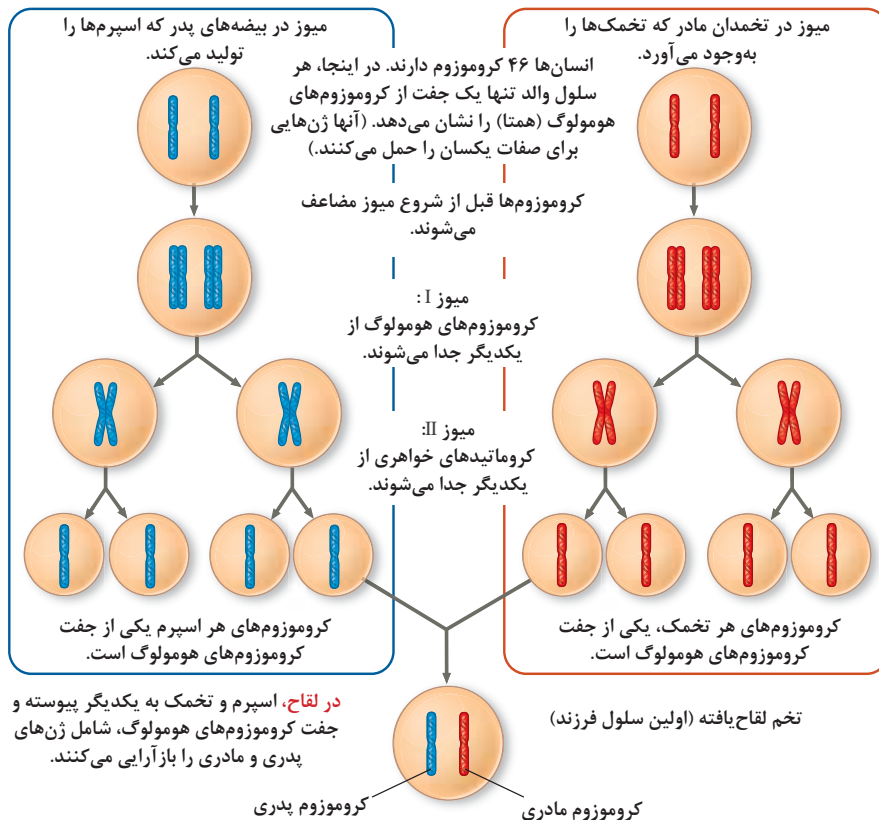
راهنمای مطالعه تصویری بسازید:

شکل ۱-۱۳ وقایع میوز را به صورت یک نمودار ساده نشان می‌دهد. با یادگیری بیشتر درباره وقایع میوز، یک نمودار از وقایع میوز با جزئیات بیشتری بکشید، با طرح زیر شروع کنید. از برچسب‌های توضیحی برای هر فرآیند استفاده کنید. راهنمای تصویری میوز خود را (که در فصل ۱۲ رسم کردید) با میوز مقایسه کنید. شباهت‌ها و تفاوت‌های آنها را لیست کنید.



### کدام مکانیسم‌های زیستی، شباهت بین والدین و فرزندان را توضیح می‌دهد؟

میوز: نوع خاصی از تقسیم سلولی است که سلول‌هایی با نصف کروموزوم‌های سلول والد به وجود می‌آورد. این تقسیم تنها در سلول‌های خاصی مانند سلول‌های بیضه و تخمدان در انسان اتفاق می‌افتد.



در لقاح، اسپرم به تخمک به یکدیگر پیوسته و جفت کروموزوم‌های هومولوگ، شامل ژن‌های پدری و مادری را بازآرایی می‌کنند.



## فرزندان از طریق کروموزوم‌ها ژن‌ها را از والدین دریافت

## می‌کند

ممکن است دوستی به شما بگوید که شما بینی مادرتان یا چشمان پدرتان را دارید. ولی والدین واقعاً بینی، چشم‌ها، موها یا هر ویژگی اختصاصی دیگر را به فرزندان خود نمی‌دهند. پس عملاً چه چیزی انتقال می‌یابد؟ انتقال صفت از یک نسل به نسل بعدی، وراثت نامیده می‌شود. فرزندان دختر و پسر، با والدین یا خواهر و برادر خود کاملاً یکسان نیستند؛ با وجود شباهت‌های وراثتی، تنوع نیز وجود دارد. علم مطالعهٔ وراثت و تنوع وراثتی، ژنتیک نام دارد.

## وراثت ژن‌ها

والدین، اطلاعات به رمز درآمده به شکل واحدهای وراثتی، تحت عنوان ژن<sup>۱</sup> را به فرزندان خود انتقال می‌دهند. این ارتباط ژنتیکی با والدین، دلیل شباهت‌های خانوادگی مانند رنگ چشم یا خال‌ها است. همچنان‌که ما از تخم لقاح‌یافته تا بزرگسالی نمو پیدا می‌کنیم، ژن‌های ما ویژگی‌های اختصاصی معینی را که پدیدار می‌شوند، برنامه‌ریزی می‌کنند. برنامهٔ ژنتیکی به زبان DNA نوشته می‌شود، شما در سر فصل‌های ۱-۱ و ۵-۵ آموختید که DNA، پلیمری از چهار نوع مونومر مختلف به‌نام نوکلئوتید است. همان‌طور که اطلاعات چاپ‌شده، به شکل توالی‌های معنی‌داری از حروف هستند، اطلاعات وراثتی نیز به شکل توالی خاصی از نوکلئوتیدهای هر ژن انتقال می‌یابند. زبان، یک سری علائم نمادی است. مغز، کلمات و جملات را به تصاویر و عقاید ذهنی ترجمه می‌کند. برای مثال، هنگام خواندن «سیب» آنچه را که شما تصور می‌کنید هیچ شباهتی به شکل کلمهٔ سیب ندارد. به‌طور مشابهی، سلول‌ها «جملات» ژنتیکی را به خال‌ها و ویژگی‌های دیگری ترجمه می‌کنند که هیچ شباهتی به خود ژن‌ها ندارند. بیشتر ژن‌ها ساختن آنزیم‌های معین و پروتئین‌های دیگری را در سلول برنامه‌ریزی می‌کنند که این پروتئین‌ها صفات وراثتی جاندار را ایجاد می‌کنند. برنامه‌ریزی این صفات به‌شکل DNA، یکی از موضوعات وحدت‌بخش در زیست‌شناسی است.



یک اسپرم در حال بارور کردن یک تخمک

اساس مولکولی انتقال صفات وراثتی، در مضاعف شدن دقیق DNA نهفته است که نسخه‌هایی از ژن‌ها را تولید می‌کند و این ژن‌ها می‌توانند از والدین به فرزندان منتقل شوند. در گیاهان و جانوران، سلول‌های تولیدمثلی به‌نام گامت‌ها<sup>۲</sup>، انتقال‌دهندهٔ ژن‌ها از یک نسل به نسل بعد هستند. طی لقاح، گامت‌های نر و ماده (اسپرم و تخمک) به هم می‌پیوندند و در نتیجه ژن‌های هر دو والد به فرزندان می‌رسند.

به‌جز مقادیر بسیار جزئی DNA در میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها، DNAی یک سلول یوکاریوت به‌صورت کروموزوم‌هایی در هسته قرار دارد. هریک از گونه‌های موجودات زنده، تعداد معینی کروموزوم دارند. برای مثال، انسان‌ها در تمام سلول‌های پیکری خود (همهٔ سلول‌های بدن به‌جز گامت‌ها و پیش‌سازهایشان) ۴۶ کروموزوم دارند. هر کروموزوم شامل یک مولکول DNAی طویل است که به‌طور دقیقی در اتصال با پروتئین‌های گوناگون پیچ خورده است. یک کروموزوم شامل چندصد تا چند هزار ژن است که هر ژن توالی خاصی از نوکلئوتیدها را در مولکول DNA دارد. موقعیت معین ژن در طول یک کروموزوم، لوکوس<sup>۳</sup> ژن نامیده می‌شود. دارایی ژنتیکی ما شامل ژن‌های روی کروموزوم‌هایی است که از والدین خود به ارث برده‌ایم.

## مقایسهٔ تولیدمثل جنسی و غیر جنسی

فقط موجوداتی که تولیدمثل غیرجنسی دارند فرزندان کاملاً شبیه خودشان (نظیر هم) تولید می‌کنند. در تولیدمثل غیرجنسی<sup>۴</sup>، یک فرد (مانند یک سلول مخمر یا یک آمیب، شکل ۲a-۱۲ را ببینید)، تنها والد است و کپی تمام ژن‌های خود را به فرزندش منتقل می‌کند. برای مثال، موجودات یوکاریوتی تک‌سلولی می‌توانند به‌طور غیرجنسی از طریق تقسیم سلولی میتوز تولیدمثل کنند که در آن، DNA کپی شده و به‌طور مساوی به دو سلول دختر می‌رسد. ژنوم فرزندان واقعاً کپی‌های دقیق ژنوم والدین است. بعضی موجودات زندهٔ پرسلولی نیز قادرند تولیدمثل غیرجنسی داشته باشند (شکل ۲-۱۳). چون سلول‌های فرزند از طریق میتوز در والد حاصل شده‌اند، معمولاً از نظر ژنتیکی مشابه والد خود هستند. فردی که به‌صورت غیرجنسی تولیدمثل می‌کند، یک کلون<sup>۵</sup> ایجاد می‌نماید. کلون، یک گروه از افرادی است که از نظر ژنتیکی مشابه یکدیگرند. گاهی در تولیدمثل غیرجنسی موجودات زنده، تفاوت‌های ژنتیکی بر اثر تغییر در DNA که جهش نام دارد، ایجاد می‌شوند. جهش در فصل ۵-۱۷ مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

در تولیدمثل جنسی<sup>۶</sup>، دو والد، فرزندان را به‌وجود می‌آورند که هریک مقدار یکسانی ژن را از دو والد خود

2- Gametes

3- Locus (Loci, جمع)

4- Asexual reproduction

5- Clone

6- Sexual reproduction

## مبحث 2-13

## لقاح و میوز در چرخه‌های زندگی جنسی تناوب دارند

یک چرخه زندگی<sup>۱</sup>، توالی نسل به نسل از مراحل در تاریخچه تولیدمثلی یک موجود زنده است که از لقاح (تشکیل تخم) شروع می‌شود و تا تولید فرزندان خود ادامه می‌یابد. در این بخش، ما انسان را به‌عنوان یک مثال برای پیگیری رفتار کروموزوم‌ها در چرخه‌های زندگی به‌کار می‌بریم. ما این مبحث را با توجه به تعداد کروموزوم‌ها در سلول‌های پیکری و گامت‌های انسان آغاز می‌کنیم. سپس خواهید دید که چگونه رفتار کروموزوم‌ها با چرخه زندگی انسان و انواع دیگر چرخه‌های زندگی ارتباط دارد.

## مجموعه‌های کروموزوم‌ها در سلول‌های انسان

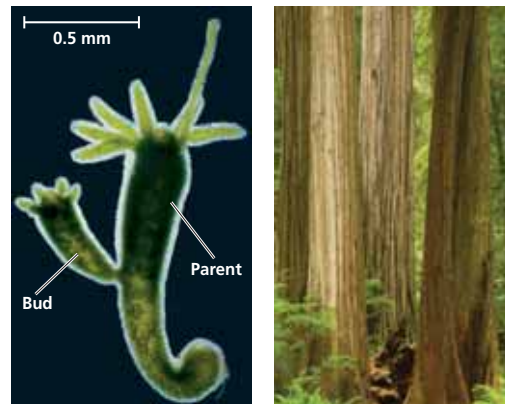
در انسان، هر سلول پیکری<sup>۲</sup> ۴۶ کروموزوم دارد. طی میتوز، کروموزوم‌ها به‌قدر کافی فشرده می‌شوند، به‌طوری‌که زیر میکروسکوپ نوری قابل مشاهده هستند. از آنجایی‌که کروموزوم‌ها از نظر اندازه، موقعیت سانترومر و الگوی نوارهای رنگی که به‌وسیله رنگ‌های اختصاصی تولید می‌کنند با یکدیگر متفاوت هستند، هنگامی‌که به مقدار کافی متراکم شدند، می‌توانند از طریق بررسی‌های میکروسکوپی از یکدیگر تشخیص داده شوند.

بررسی دقیق ریزنگار<sup>۳</sup> ۴۶ کروموزوم انسان در یک سلول در حال میتوز، نشان می‌دهد که از هر نوع کروموزوم، دو عدد وجود دارند. این موضوع وقتی آشکار می‌شود که تصاویر کروموزوم‌ها به‌صورت جفت جفت و از طویل‌ترین کروموزوم به کوچک‌ترین آنها، مرتب می‌شوند. نمایش این کروموزوم‌های مرتب‌شده، کاریوتیپ<sup>۴</sup> نامیده می‌شود (شکل ۳-۱۳). هر جفت کروموزوم، دارای طول مساوی، موقعیت مشابه سانترومر و الگوی رنگ‌آمیزی مشابه هستند. این کروموزوم‌ها، کروموزوم‌های هومولوگ<sup>۴</sup> یا هم‌تا نامیده می‌شوند. هر یک جفت کروموزوم، ژن‌های کنترل‌کننده صفات وراثتی مشابهی را دربردارند. برای مثال، اگر یک ژن برای رنگ چشم در یک لوکوس خاص روی یک کروموزوم معین قرار داشته باشد، پس همتای این کروموزوم نیز یک ژن تعیین‌کننده رنگ چشم در همان لوکوس خواهد داشت.

برای الگوی عمومی کروموزوم‌های هم‌تا در سلول پیکری انسان، یک استثنای مهم وجود دارد که دو کروموزوم متفاوت

می‌گیرد. برخلاف یک کلون، فرزندان حاصل از تولیدمثل جنسی از نظر ژنتیکی با هر دو والد و نیز خواهر و برادرهای خود متفاوت هستند. آنها علی‌رغم داشتن شباهت، با یکدیگر تفاوت دارند و دقیقاً نسخه مشابه یکدیگر نیستند. تنوع ژنتیکی همانند آنچه در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده، یک نتیجه بسیار مهم تولیدمثل جنسی است. چه مکانیسم‌هایی این تنوع ژنتیکی را تولید می‌کنند؟ پاسخ این سؤال در رفتار کروموزوم‌ها طی چرخه زندگی جنسی نهفته است.

شکل ۲-۱۳ تولیدمثل غیرجنسی در دو جاندار پرسلولی. (a) این جانور پرسلولی نسبتاً ساده (هیدر) از طریق جوانه‌زدن تولیدمثل می‌کند. جوانه (یک توده از سلول‌های در حال تقسیم میتوز) به‌شکل یک هیدر کوچک تکوین می‌یابد، به‌طوری‌که از والد جدا می‌شود (LM). (b) کلیه درختان در این حلقه به طریق غیر جنسی از یک درخت والدی واحد به‌وجود آمده‌اند که کُنده آن در مرکز حلقه قرار دارد.



(a) هیدر

(b) درخت سکویا

## پرسش‌های مبحث ۱-۱۳

- ۱- ارتباط دهید < با استفاده از دانش خود درباره بیان ژن در یک سلول، توضیح دهید که علت بروز خصوصیات والدی (مانند رنگ مو) در فرزندان چیست؟ (سر فصل ۵-۵ را ببینید).
- ۲- توضیح دهید علت اینکه زاده‌های حاصل از تولیدمثل غیرجنسی دارای تشابه ژنتیکی با یکدیگر و والد خود هستند، چیست؟
- ۳- چه می‌شد اگر؟ < یک گیاه‌شناس به پرورش گل ارکیده پرداخته است و سعی دارد برخی صفات موردنظر خود را در آن ایجاد کند. پس از گذشت سال‌ها وی موفق به انجام این کار شد، حال برای تولید انبوه این گیاه بهتر است از دانه گیاه استفاده کند یا آن را کلون کند؟ چرا؟

برای ملاحظه پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمه A مراجعه کنید.

1- Life cycle  
2- Somatic cell  
3- Karyotype  
4- Homologous chromosomes

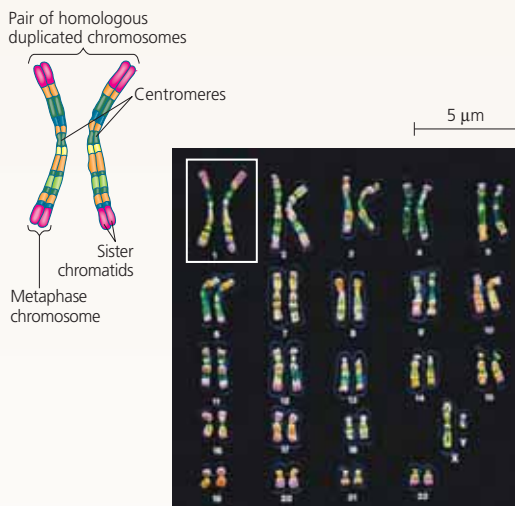
▼ شکل ۳-۱۳ روش تحقیق

آماده‌سازی یک کاربوتیپ

**کاربرد:** کاربوتیپ، نشان دادن کروموزوم‌های متراکم مرتب‌شده به صورت جفت جفت است. تهیه کاربوتیپ می‌تواند برای نشان دادن ناهنجاری در تعداد کروموزوم‌ها یا نقص‌های کروموزومی مربوط به اختلالات وراثتی خاص مانند سندرم داون مفید باشد.



**تکنیک:** کاربوتیپ‌ها از سلول‌های پیکری جداشده‌ای تهیه می‌شوند که با یک دارو برای انجام میتوز تحریک می‌گردند و سپس برای چند روز در محیط کشت رشد داده می‌شوند. یک اسلاید از سلول‌های متوقف‌شده در متافاز، رنگ‌آمیزی می‌شود و سپس با میکروسکوپ مجهز به یک دوربین دیجیتال مشاهده می‌گردد. یک ریزنگار دیجیتال از کروموزوم‌ها در یک کامپیوتر وارد می‌شود و کروموزوم‌ها براساس اندازه و شکل به صورت جفت‌جفت به‌طور الکترونیکی مرتب می‌شوند.



**نتایج:** این کاربوتیپ، کروموزوم‌های یک مرد طبیعی را نشان می‌دهد. اندازه کروموزوم، موقعیت سانترومر و الگوی نوارهای رنگ‌شده به شناسایی کروموزوم‌های خاص کمک می‌کنند. اگرچه در کاربوتیپ مشکل تشخیص داده می‌شود، ولی هر کروموزوم متافازی شامل دو کروماتید خواهری است که به یکدیگر متصل هستند (نمودار را مشاهده کنید).

به‌نام‌های X و Y هستند. زنان یک جفت کروموزوم هم‌تای X دارند (XX) اما مردان یک کروموزوم X و یک کروموزوم Y دارند (XY) (شکل ۳-۱۳). فقط قسمت‌های کوچکی از X و Y هم‌تای یکدیگرند. بیشتر ژن‌هایی که روی کروموزوم X هستند، هم‌تایی روی کروموزوم کوچک Y ندارند و کروموزوم Y ژن‌هایی را دارد که روی X هم‌تایی ندارند. از آنجایی که کروموزوم‌های X و Y جنسیت یک فرد را تعیین می‌کنند، این کروموزوم‌ها، کروموزوم‌های جنسی<sup>۱</sup> و سایر کروموزوم‌ها، اتوزوم<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند.

جفت بودن کروموزوم‌های هم‌تا در هر سلول پیکری انسان، نتیجه منشأ جنسی ماست. ما از هریک از والدین خود یک کروموزوم از هر جفت را می‌گیریم. بنابراین ۴۶ کروموزوم سلول پیکری ما در واقع دو مجموعه<sup>۳</sup> ۲۳ کروموزومی هستند که یک مجموعه، مادری (از مادر) و مجموعه دیگر پدری (از پدر) است. تعداد کروموزوم‌ها در هر مجموعه به صورت  $n$  نشان داده می‌شود. هر سلول که دارای دو مجموعه کروموزوم باشد، سلول دپلوئید<sup>۴</sup> نامیده می‌شود و یک عدد کروموزومی دپلوئید دارد که به اختصار  $2n$  گفته می‌شود. برای انسان، عدد دپلوئید، ۴۶ ( $2n = 46$ ) است که تعداد کروموزوم‌ها را در هر سلول پیکری ما نشان می‌دهد. در سلولی که سنتز DNA صورت می‌گیرد، تمام کروموزوم‌ها مضاعف می‌شوند و بنابراین هر کروموزوم شامل دو کروماتید خواهری مشابه می‌شود. شکل ۴-۱۳ به توضیح بخش‌های گوناگونی که ما در توصیف کروموزوم‌های مضاعف‌شده در یک سلول دپلوئید به کار می‌بریم، کمک می‌کند. برای درک تفاوت‌های بین کروموزوم‌های هم‌تا، کروماتیدهای خواهری، کروماتیدهای غیرخواهری و مجموعه‌های کروموزومی، این شکل را مطالعه کنید.

برخلاف سلول‌های پیکری، گامت‌ها (سلول‌های اسپرم و تخمک) دارای یک مجموعه کروموزوم هستند. هریک از این سلول‌ها، سلول هاپلوئید<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند و هریک تعداد کروموزوم هاپلوئید ( $n$ ) دارند. برای انسان‌ها، عدد هاپلوئید ۲۳ ( $n = 23$ ) است که تعداد کروموزوم‌های موجود در هر گامت می‌باشد. مجموعه<sup>۳</sup> ۲۳ کروموزومی، شامل ۲۲ اتوزوم به‌اضافه یک کروموزوم جنسی است. یک سلول تخمک (که اووم نیز نامیده می‌شود) دارای یک کروموزوم X است، ولی یک اسپرم ممکن است یک کروموزوم X یا یک کروموزوم Y داشته باشد. توجه داشته باشید که هرگونه‌ای که تولیدمثل جنسی

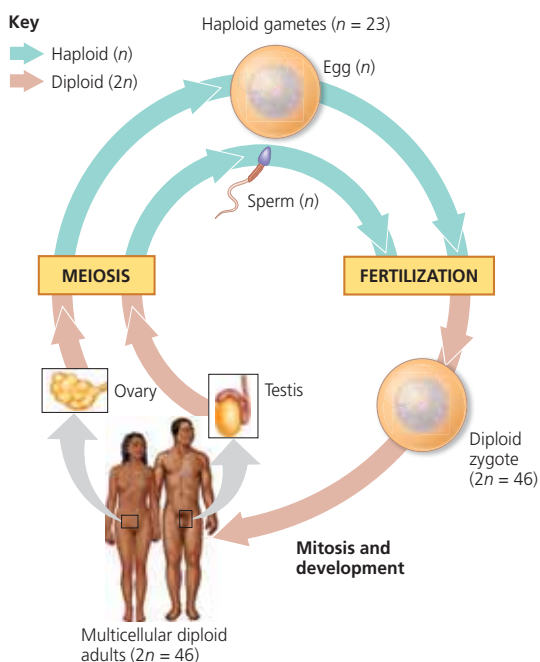
- 1- Sex chromosomes
- 2- Autosomes
- 3- Diploid cell
- 4- Haploid cell



همان‌طور که یک انسان از یک زیگوت به یک انسان بالغ از نظر جنسی نمو پیدا می‌کند، میتوز تمام سلول‌های بدن را به وجود می‌آورد. هر دو مجموعه کروموزومی موجود در زیگوت و همه ژن‌هایی که این کروموزوم‌ها حمل می‌کنند، به‌طور دقیق به سلول‌های پیکری ما انتقال می‌یابند.

تنها سلول‌هایی از بدن ما که با میتوز تولید نمی‌شوند، گامت‌ها هستند که در گنادها (تخمدان‌ها در زنان و بیضه‌ها در مردان) نمو می‌یابند (شکل ۵-۱۳). تصور کنید اگر گامت‌های انسان با میتوز به‌وجود می‌آمدند چه اتفاقی می‌افتاد؟ آنها همانند سلول‌های پیکری دیپلوئید می‌شدند. در دور بعدی لقاح، وقتی دو گامت به هم می‌پیوستند، تعداد طبیعی ۴۶ کروموزوم، دوباربر (۹۲ کروموزوم) شده و به‌همین ترتیب در هر نسل، تعداد کروموزوم‌ها دو برابر می‌شد.

▼ شکل ۵-۱۳ چرخه زندگی انسان. در هر نسل، دو برابر شدن تعداد مجموعه‌های کروموزومی روی می‌دهد که حاصل لقاح است و به‌وسیله نصف شدن تعداد مجموعه‌های کروموزومی از طریق میوز، جبران می‌شود. در انسان، تعداد کروموزوم‌ها در یک سلول هاپلوئید ۲۳ است که یک مجموعه کروموزومی می‌باشد ( $n = 23$ ). تعداد کروموزوم‌ها در زیگوت دیپلوئید و تمام سلول‌های پیکری، ۴۶ است که شامل دو مجموعه کروموزومی می‌باشد ( $2n = 46$ ).

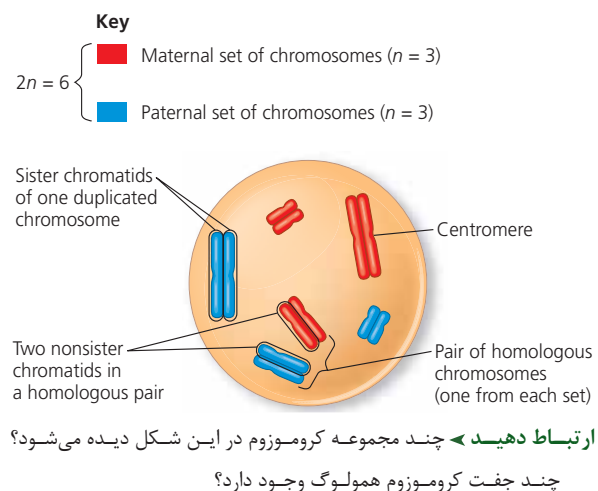


در این شکل کدهای رنگی به‌کار رفته که برای سایر چرخه‌های زندگی که بعداً در این کتاب می‌آیند نیز مطرح می‌شود. بیکان‌های سبزرنگ، مراحل هاپلوئید چرخه زندگی و بیکان‌های قهوه‌ای روشن، مراحل دیپلوئید آن را نشان می‌دهند.

دارد، یک عدد هاپلوئید و یک عدد دیپلوئید خاص دارد. به عنوان مثال، مگس سرکه، دروزوفیلا ملانوگاستر، عدد دیپلوئید ( $2n$ ) ۸ و عدد هاپلوئید ( $n$ ) ۴ دارد، در حالی که سگ‌ها دارای عدد دیپلوئید ۷۸ و عدد هاپلوئید ۳۹ هستند. تعداد کروموزوم‌ها معمولاً ارتباطی با اندازه یا میزان پیچیدگی ژنوم یک گونه ندارد و تعداد قطعات DNA خطی که ژنوم را می‌سازند را تعیین می‌کند که این موضوع به تاریخچه تکاملی آن گونه برمی‌گردد.

حال که مفهوم اعداد دیپلوئید و هاپلوئید کروموزوم‌ها را آموخته‌اید، رفتار کروموزوم‌ها را طی چرخه زندگی جنسی بررسی می‌کنیم. از چرخه زندگی انسان به عنوان یک مثال استفاده می‌کنیم.

▼ شکل ۴-۱۳ توصیف کروموزوم‌ها. در اینجا یک سلول با عدد کروموزومی دیپلوئید در مرحله  $G_1$  اینترفاز نشان داده شده است که این مرحله پس از ضاعف شدن کروموزوم‌هاست (کروموزوم‌ها به‌طور مصنوعی متراکم شده‌اند). هریک از ۶ کروموزوم مضاعف‌شده، شامل دو کروماتید خواهری است که در سانترومر به هم متصل هستند. هر جفت کروموزوم همتا، شامل یک کروموزوم از مجموعه کروموزوم مادری (قرمز) و یک کروموزوم از مجموعه پدری (آبی) است. هر مجموعه کروموزوم شامل ۳ کروموزوم است. کروماتیدهای غیرخواهری، کروماتیدهای یک جفت کروموزوم همتا هستند که با یکدیگر خواهر نیستند.



### رفتار مجموعه‌های کروموزومی در چرخه زندگی انسان

چرخه زندگی انسان از زمانی آغاز می‌شود که یک اسپرم هاپلوئید از پدر با یک اووم هاپلوئید از مادر به هم می‌پیوندند (شکل ۵-۱۳). این به‌هم پیوستن گامت‌ها که در ملحق شدن هسته‌هایشان به اوج خود می‌رسد، لقاح<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. بنابراین تخم لقاح‌یافته یا زیگوت<sup>۲</sup>، دیپلوئید است، زیرا دارای دو مجموعه کروموزومی هاپلوئید می‌باشد و شامل ژن‌های موجود در خطوط خانوادگی پدری و مادری است.

1- Fertilization  
2- Zygote

تقسیم‌بندی شوند. در چرخه زندگی انسان و بیشتر جانوران، گامت‌ها تنها سلول‌های هاپلوئید هستند (شکل ۶a-۱۳). طی تولید گامت‌ها، تقسیم میوز در سلول‌های زایشی که تا قبل از لقاح، هیچ تقسیم سلولی را انجام نمی‌دهند، روی می‌دهد. زیگوت دیپلوئید از طریق میتوز تقسیم می‌شود و یک جاندار پرسلولی را که دیپلوئید است به وجود می‌آورد.

گیاهان و بسیاری از گونه‌های جلبک‌ها نوع دیگری از چرخه زندگی به نام تناوب نسل‌ها<sup>۱</sup> را نشان می‌دهند (شکل ۶b-۱۳). این نوع چرخه زندگی، هم شامل مرحله دیپلوئید پرسلولی و هم هاپلوئید پرسلولی است. مرحله دیپلوئید پرسلولی، اسپوروفیت<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در اسپوروفیت، با تقسیم میوز سلول‌های هاپلوئیدی به نام اسپور<sup>۳</sup> (هاگ) تولید می‌شوند. برخلاف گامت، هاگ بدون آنکه با سلول دیگری ترکیب شود به یک فرد پرسلولی تبدیل می‌گردد. هاگ با میتوز تقسیم می‌شود و یک موجود پرسلولی به نام گامتوفیت<sup>۴</sup> را تولید می‌کند. گامتوفیت هاپلوئید از طریق میتوز، گامت‌ها را به وجود می‌آورد. نتیجه لقاح بین گامت‌های هاپلوئید، ایجاد یک زیگوت دیپلوئید است که با نمو آن، نسل بعدی اسپوروفیت تشکیل می‌شود.

بنابراین در این نوع چرخه زندگی، نسل اسپوروفیت به عنوان زاده خود، یک گامتوفیت را تولید می‌کند و نسل گامتوفیت، نسل اسپوروفیت بعدی را به وجود می‌آورد (شکل ۶b-۱۳).

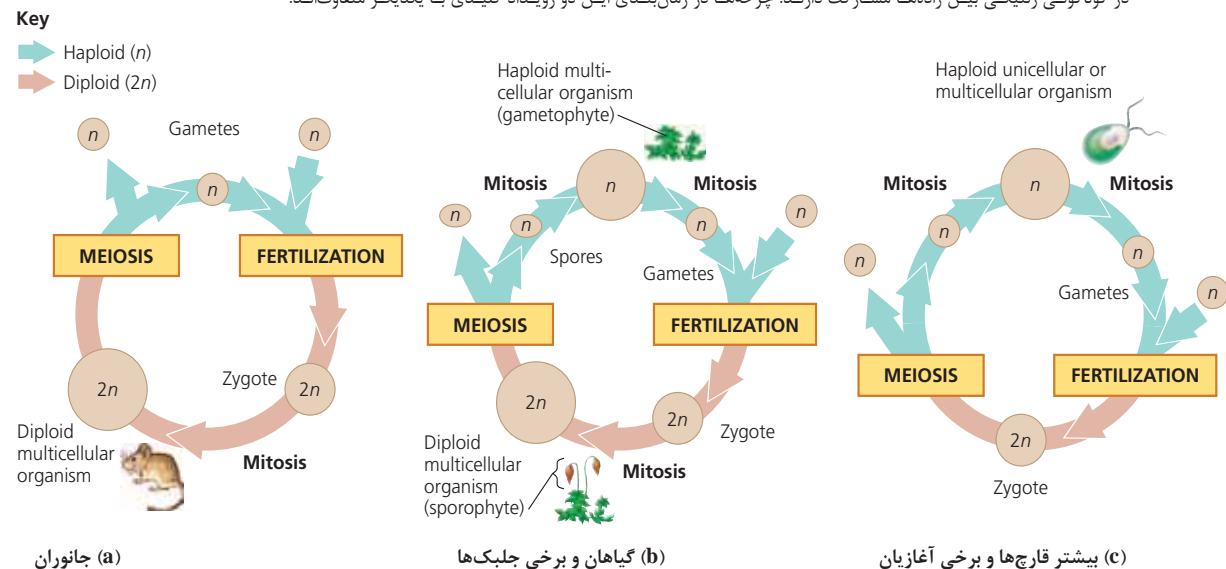
اما این وضعیت رخ نمی‌دهد، زیرا در جانداران دارای تولیدمثل جنسی، گامت‌ها با نوعی از تقسیم سلولی به نام میوز تشکیل می‌شوند. میوز، نوعی تقسیم سلولی است که تعداد مجموعه کروموزوم‌ها در گامت‌ها را از دو به یک کاهش داده و دو برابر شدن کروموزوم‌ها را که در لقاح روی می‌دهد، جبران می‌کند. در جانوران، میوز فقط در تخمدان‌ها یا بیضه‌ها رخ می‌دهد. در نتیجه، تمام اسپرم‌ها و تخمک‌های انسان هاپلوئید هستند (n = ۲۳). لقاح از طریق ترکیب دو مجموعه هاپلوئید کروموزوم‌ها، دوباره شرایط دیپلوئید را ایجاد می‌کند و چرخه زندگی انسان نسل به نسل تکرار می‌شود (شکل ۵-۱۳ را ببینید).

به‌طور کلی، مراحل چرخه زندگی انسان برای بسیاری از جانداران نیز عمومیت دارد. در واقع، فرایندهای لقاح و میوز ویژگی‌های تولیدمثل جنسی در گیاهان، قارچ‌ها، آغازیان و نیز جانوران هستند. لقاح و میوز که در چرخه زندگی جنسی به‌طور متناوب تکرار می‌شوند، اثرات یکدیگر را روی تعداد کروموزوم‌ها خنثی می‌کنند، بنابراین عدد کروموزومی هرگونه را ثابت نگه می‌دارند.

### انواع چرخه‌های زندگی جنسی

اگرچه تناوب میوز و لقاح در تمام موجوداتی که تولیدمثل جنسی دارند مشترک است، زمان‌بندی این دو رویداد در چرخه زندگی، بسته به نوع گونه، متفاوت است. این تفاوت‌ها می‌توانند در سه گروه اصلی چرخه‌های زندگی

شکل ۶-۱۳ سه نوع چرخه زندگی جنسی. جنبه‌های مشترک هر سه نوع چرخه آن است که لقاح و میوز به‌طور متناوب انجام می‌شوند. این دو رویداد کلیدی در گوناگونی ژنتیکی بین زاده‌ها مشارکت دارند. چرخه‌ها در زمان‌بندی این دو رویداد کلیدی با یکدیگر متفاوت‌اند.



- 1- Alternation of generations
- 2- Sporophyte
- 3- Spore
- 4- Gametophyte

مهارت‌های بصری « برای هریک از انواع چرخه زندگی، تعیین کنید که آیا سلول‌های هاپلوئید میتوز انجام می‌دهند؟ و اگر چنین است، سلول‌هایی که شکل می‌گیرند را توصیف کنید.