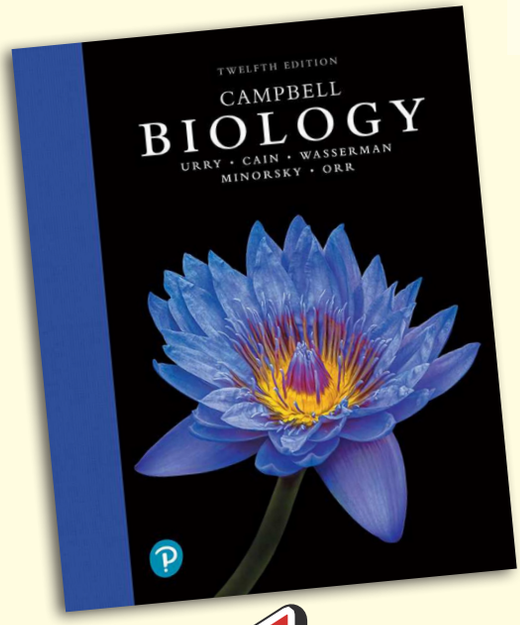
بسم الله الرحمن الرحیم



کتاب مرجع

بیولوژی کمپبل

ویرایش دوازدهم - 2020

جلد چهارم

لیزا یوری • مایکل کاین • استیون واسرمن
پیتر مینورسکای • ربکا اور

مترجمین
مصطفی پویان، شراره مستانی‌نژاد
مجید علی‌نوری، علی وفایی
محمد امین خرقانی، علیرضا تنوری
حمیدرضا نبوی ، ماهان پویان
امیرحسین شاهسوند

ویراستار علمی
مصطفی پویان

زیرنظر
دکتر سامان حسینخانی
استاد گروه زیست‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

کتاب آموزشی پیشرو

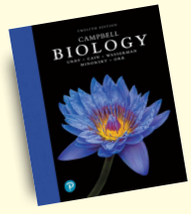
زیر ذره‌بین

خانه زیست‌شناسی

عنوان و نام پدیدآور : کتاب مرجع بیولوژی کمپبل/ لیزا یوری...[و دیگران]؛ مترجمین مصطفی پویان...[و دیگران]؛ ویراستار علمی مصطفی پویان؛ زیر نظر سامان حسینخانی.
مشخصات نشر : تهران: کتب آموزشی پیشرفته ، ۱۴۰۰-
مشخصات ظاهری : ج. : مصور(رنگی) ؛ ۲۲ × ۲۹ س م.
شابک : ۶۵۰۰۰۰ ریال: ج.۴:۱-۴-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸؛ ج.۲: ۳-۸-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸؛ ۷۵۰۰۰۰ ریال:۹-۶-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸؛ ۲۲۰۰۰۰ ریال: ج۴: ۳-۴-۹۴۵۷۴-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : لیزا یوری، مایکل کاین، استیون واسرمن، پیتر مینورسکای، ربکا اور.
یادداشت : مترجمین مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد، مجید علی نوری، علی وفایی، محمدامین خراقانی، علیرضا تنوری، حمیدرضا نبوی، ماهان پویان، امیرحسین شاهسوند.
یادداشت : مترجمین جلد دوم مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد، علی وفایی، محمدامین خراقانی، مجید علی نوری، حمیدرضا نبوی، ماهان پویان، امیرحسین شاهسوند .
یادداشت : مترجمین جلد پنجم مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد، ساره زیدآبادی نژاد، مرضیه صالحی جهرمی...
یادداشت: اصلی عنوان : Campbell biology,12th ed,2020
یادداشت : ج، ۲ ،۴، (چاپ اول: ۱۴۰۱) (فیپا)
یادداشت : ناشر جلد دوم تا پنجم کتب آموزشی پیشرو می باشد.
موضوع : زیست شناسی Biology
شناسه افزوده : اری،لیزا ا.
افزوده شناسه: Urry, Lisa A.
شناسه افزوده : پویان پهنه کلائی، مصطفی ، ۱۳۵۱ ، - مترجم، ویراستار
شناسه افزوده : حسینخانی، سامان ، ۱۳۵۰-
رده بندی کنگره : QH۳۰۸/۲
رده بندی دیویی : ۵۷۰
شماره کتابشناسی ملی : ۸۶۷۲۰۱۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

کتاب مرجع

بیولوژی کمپبل



جلد چهارم: مکانیسم تکامل و تاریخچه تکاملی تنوع زیستی

نام کتاب : **کتاب مرجع بیولوژی کمپبل (جلد چهارم)**
مولفین : **لیزا یوری و همکاران**
ترجمه : **خانه زیست‌شناسی**
ناشر : **کتب آموزشی پیشرو (کاپ)**
گروه ترجمه : **مصطفی پویـان، شراره مستانی‌نژاد و همکاران**
ویراستار علمی : **مصطفی پویـان**
زیر نظر : **دکتر سامان حسینخانی**
ویرایش ادبی : **مریم مجاور**
طراح و گرافیست : **گروه تولید کاپ**
نوبت چاپ : **اول- ۱۴۰۱**
لیتوگرافی، چاپ، صحافی : **طیف‌نگار**
شابک : **۹۷۸-۶۲۲-۹۴۵۷۴-۴-۳**
شمارگان : **۱۰۰۰ نسخه**
قیمت : **۲۲۰۰۰۰ تومان**

مرکز فروش: میـــدان انقلاب- خیابان فخـــررازی- خیـــابان ومیـــدنظری غربی- پـــلاک ۸۳
۰۲۱-۶۶۴۹۳۴۹۰ ۰۲۱-۶۶۹۶۱۰۷۹ ۰۲۱-۶۶۹۶۴۷۲۳ -۵ **فروشگاه:** ۰۲۱-۶۶۹۵۳۵۱۷-۱۸
صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۱۳۹ **آدرس سایت زیرذره‌بین:** www.zirezarebinpub.ir
سایت نشر کاپ: www.cup-book.com
cupbook.pub

پروفسور نیل کمپبل
(Neil A.Campbell)

پروفسور نیل آ. کمپبل، نویسندهٔ کتاب معروف "Biology" و محقق برجستهٔ 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 شاخهٔ 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 تألیف 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 گفتهٔ 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 حوزهٔ 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 ازکتاب‌هایش را دیدم. هر جا که می‌روم، وقتی می‌گویم از دانشگاه کالیفرنیا هستم، مردم از من می‌پرسند، آیا دکتر کمپبل را می‌شناسم!»***

کتاب‌های بیولوژی کمپبل تا کنون به بیش از ۹ زبان زندهٔ 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 بودجهٔ تحقیقاتی دانشجویانش ، به حساب دانشگاه کالیفرنیا واریز کنند. در سال ۲۰۱۱ گروه مؤلفین کتاب Biology ، به پاس سال‌ها خدمات ارزشمند نیل کمپبل در زمینهٔ آموزش زیست‌شناسی، از ویرایش نهم، عنوان کتاب را به CAMPBELL BIOLOGY تغییر داده است.

روحش شاد و راهش پر رهرو باد

فهرست مطالب

فصل ۲۲
تغییر نسل‌ها: نگاه داروینی به حیات

۲۲-۱ انقلاب داروینی، نگاه‌های سنتی که زمین جوان را با گونه‌های ساکن بدون تغییر درنظر می‌گرفتند، به چالش کشید ۸
درجه‌بندی طبیعت و طبقه‌بندی گونه‌ها ۹
نظریات مختلف دربارهٔ تغییر گونه‌ها ۱۰
فرضیهٔ لامارک دربارهٔ تکامل ۱۱
۲۲-۲ ایدهٔ تغییر نسل‌ها از طریق انتخاب طبیعی می‌تواند سازگاری‌های جانداران، وحدت و گوناگونی حیات را توضیح دهد ۱۲
پژوهش‌های داروین ۱۲
سفر دریایی بیگل ۱۲
تمرکز داروین در موضوع سازگاری ۱۳
خاستگاه گونه‌ها ۱۴
تغییر نسل‌ها ۱۴
انتخاب مصنوعی، انتخاب طبیعی، و سازش ۱۵
۲۲-۳ حجم گسترده‌ای از شواهد علمی، تکامل را تأیید می‌کنند ۱۸
مشاهدهٔ مستقیم تغییرات تکاملی ۱۸
انتخاب طبیعی در پاسخ به گونه‌های گیاهی وارداتی ۱۸
تکامل باکتری‌های مقاوم به دارو ۱۹
هومولوژی ۲۰
هومولوژی‌های آناتومیک و مولکولی ۲۱
هومولوژی و درخت مجازی ۲۲
دلیل دیگر شباهت: تکامل همگرا ۲۳
آثار فسیلی ۲۴
جغرافیای زیستی ۲۵
چه چیز در مورد نگاه داروینی به حیات، نظری است؟ ۲۷

فصل ۲۳
تکامل جمعیت‌ها

۲۳-۱ تنوع ژنتیکی، تکامل را امکان‌پذیر می‌سازد ۳۲
تنوع ژنتیکی ۳۳
منبع تنوع ژنتیکی ۳۴
تشکیل الل‌های جدید ۳۴
جهش‌هایی که تعداد یا جایگاه ژن را تغییر می‌دهند ۳۵
تولید مثل سریع ۳۵
تولیدمثل جنسی ۳۵
۲۳-۲ معادلهٔ هاردی - واینبرگ می‌تواند برای ارزیابی این‌که یک جمعیت در حال تکامل است یا خیر، مورد استفاده قرار بگیرد ۳۶
خزانهٔ ژنی و فراوانی اللی ۳۶
اصل هاردی – واینبرگ ۳۷
معادلهٔ هاردی – واینبرگ ۳۷
شرایط برقراری تعادل هاردی – واینبرگ ۳۹
کاربرد معادلهٔ هاردی – واینبرگ ۳۹
۲۳-۳ انتخاب طبیعی، رانش ژنتیکی و شارش ژن، می‌توانند فراوانی الل‌ها را در یک جمعیت تغییر دهند ۴۱
انتخاب طبیعی ۴۱
رانش ژنتیکی ۴۲
اثر بنیان‌گذار ۴۳
اثر گذرگاه باریک ۴۴
مطالعهٔ موردی: اثر رانش ژنتیکی بر جوجه‌های بزرگ چمنزار ۴۴
خلاصهٔ اثرات رانش ژنتیکی ۴۵
شارش ژن ۴۵
۲۳-۴ انتخاب طبیعی، تنها مکانیسمی است که به‌طور پیوسته موجب تکامل سازشی می‌شود ۴۷
نگاهی دقیق‌تر به انتخاب طبیعی ۴۷
شایستگی نسبی ۴۷
انتخاب جهت‌دار، گسلنده و پایدار کننده ۴۸
نقش کلیدی انتخاب طبیعی در تکامل سازشی ۴۸
انتخاب جنسی ۴۹
انتخاب متوازن کننده ۵۰
چرا انتخاب طبیعی نمی‌تواند جانداران کامل و بی نقصی به‌وجود آورد؟ ۵۴

فصل ۲۴
خاستگاه گونه‌ها

۲۴-۱ در تعریف زیست‌شناختی گونه، بر جدایی تولیدمثلی تأکید می‌شود ۵۸
تعریف زیست‌شناختیِ «گونه» ۵۹
جدایی تولیدمثلی ۵۹
محدودیت‌های تعریف زیست‌شناختی گونه‌ها ۵۹
تعاریف دیگر «گونه» ۶۲
۲۴-۲ گونه‌زایی می‌تواند در وجود یا نبود جدایی جغرافیایی رخ دهد ۶۳
گونه‌زایی دگرمیهنی ۶۳
روند گونه‌زایی دگرمیهنی ۶۳
شواهد مربوط به گونه‌زایی دگرمیهنی ۶۵
گونه‌زایی هم‌میهنی ۶۶
پلی‌پلوئیدی ۶۶
انتخاب جنسی ۶۸
جدایی زیستگاهی ۶۸
مرور: گونه‌زایی دگرمیهنی و هم‌میهنی ۶۹
۲۴-۳ محدوده‌های زیست دورگه‌ها، فرصت‌های زیادی را برای مطالعهٔ عواملی که موجب جدایی تولیدمثلی می‌شوند، فراهم می‌سازد ۷۰
الگوهای درون محدوده‌های دورگه‌ها ۷۰
محدوده‌های دورگه‌ها در گذر زمان ۷۲
تقویت: محکم‌تر شدن سدهای تولیدمثلی ۷۳
ترکیب: تضعیف سدهای تولیدمثلی ۷۴
پایداری: تداوم تشکیل افراد دورگه ۷۴
۲۴-۴ گونه‌زایی می‌تواند به‌سرعت و یا به آهستگی صورت گرفته و نیز می‌تواند در نتیجهٔ تغییر در چند یا تعداد زیادی ژن روی دهد ۷۵
دوره‌های زمانی گونه‌زایی ۷۵
الگوهای مشاهده‌شده در آثار سنگواره‌ای ۷۵
نرخ‌های گونه‌زایی ۷۶
مطالعهٔ ژنتیک گونه‌زایی ۷۸
از گونه‌زایی تا تکامل کلان ۷۸

فصل ۲۵
تاریخ حیات در کرهٔ زمین

۲۵-۱ شرایط موجود در زمین اولیه، پیدایش حیات را ممکن ساخت ۸۴
ساخت ترکیبات آلی در زمین اولیه ۸۴
سنتز غیر زیستی درشت‌مولکول‌ها ۸۶
پروتوسل‌ها ۸۶
خودهمانندسازی RNA و طلوع انتخاب طبیعی ۸۷
۲۵-۲ سنگواره‌ها تاریخچهٔ حیات بر روی زمین را ثبت کرده‌اند ۸۸
آثار سنگواره‌ای ۸۸
سن سنگواره‌ها و سنگ‌ها چگونه تعیین می‌شود؟ ۹۰
منشأ گروه‌های جدید جانداران ۹۲
۲۵-۳ به‌وجود آمدن جانداران تک‌سلولی و پرسلولی، و استقرار در خشکی‌ها، از جمله مهم‌ترین وقایع تاریخ حیات هستند ۹۳
نخستین جانداران تک‌سلولی ۹۵
فتوسنتز و انقلاب اکسیژنی ۹۵
نخستین یوکاریوت‌ها ۹۶
منشأ پرسلولی‌ها ۹۶
نخستین یوکاریوت‌های پرسلولی ۹۷
انفجار کامبرین ۹۷
گسترش و سکونت در خشکی ۹۸
۲۵-۴ ظهور و انحطاط گروه‌هایی از جانداران، نرخ‌های متفاوت گونه‌زایی و انقراض را نشان می‌دهند ۹۹
پی‌آمدهای جابه‌جایی قاره‌ها ۱۰۱
انقراض‌های گروهی ۱۰۳
پنج انقراض گروهی بزرگ ۱۰۳
آیا ششمین انقراض گروهی در راه است؟ ۱۰۵
پیامدهای انقراض‌های گروهی ۱۰۶
سازگاری‌های شعاعی ۱۰۷
سازگاری‌های شعاعی در مقیاس جهانی ۱۰۸
سازگارهای شعاعی منطقه‌ای ۱۰۸
۲۵-۵ ایجاد تغییرات عمده در شکل بدن می‌تواند حاصل تغییر در توالی و تنظیم ژن‌های نموی باشد ۱۰۹

اثرات تکاملی ژن‌های نموی ۱۰۹
تغییرات در نسبت و زمان‌بندی ۱۱۰
تغییر در الگوهای فضایی ۱۱۰
تکامل نمو ۱۱۱
تغییرات در تنظیم ژن‌ها ۱۱۲
۲۵-۶ تکامل هدفمند نیست ۱۱۳
صفات نوظهور تکاملی ۱۱۳
جهت‌گیری‌های تکاملی ۱۱۵

فصل ۲۶
تبارزایی و درخت حیات

۲۶-۱ درخت‌های تبارزایشی ارتباطات تکاملی را به تصویر می‌کشند ۱۲۲
نظام نام‌گذاری دونامی ۱۲۲
سلسه‌مراتب رده‌بندی ۱۲۳
ارتباط رده‌بندی و تبارزایی ۱۲۴
درخت‌های تبارزایشی چه اطلاعاتی را در اختیار ما قرار می‌دهند ۱۲۴
کاربردهای تبارزایی ۱۲۶
۲۶-۲ درخت‌های تبارزایشی بر پایهٔ داده‌های ریخت‌شناسی و مولکولی استوار هستند ۱۲۷
هومولوژی‌های ریخت‌شناسی و مولکولی ۱۲۷
تشخیص هومولوژی از آنالوژی ۱۲۷
ارزیابی هومولوژی‌های مولکولی ۱۲۸
۲۶-۳ از صفات مشترک برای ترسیم درخت‌های تبارزایشی استفاده می‌شود ۱۳۰
کلادیستیک ۱۳۰
صفات مشترک نیایی و صفات مشترک اشتقاقی ۱۳۰
ترسیم درخت‌های تبارزایشی با استفاده از صفات اشتقاقی ۱۳۰
درخت‌های تبارزایشی با شاخه‌هایی با طول متناسب ۱۳۲
حداکثر خلاصگی و احتمال بیشینه ۱۳۳
درخت‌های تبارزایشی به‌عنوان فرضیه ۱۳۴
۲۶-۴ تاریخچهٔ تکاملی یک جاندار در ژنومش ثبت شده است ۱۳۶
مضاعف شدن ژن‌ها و خانواده‌های ژنی ۱۳۶
تکامل ژنوم ۱۳۷
۲۶-۵ ساعت‌های مولکولی در تعیین زمان‌های تکاملی کاربرد دارند ۱۳۸
ساعت‌های مولکولی ۱۳۸
مشکلات ساعت مولکولی ۱۳۹
استفاده از یک ساعت مولکولی: تعیین خاستگاه HIV ۱۴۰
۲۶-۶ داده‌های جدید درک ما را از درخت حیات، پیوسته اصلاح می‌کنند ۱۴۱
گذر از دو فرمانرو به سه قلمرو ۱۴۱

فصل ۲۷
باکتری‌ها و آرکئا

۲۷-۱ سازگاری‌های ساختاری و عملکردی در موفقیت پروکاریوت‌ها نقش دارند ۱۵۰
ساختارهای سطح سلول ۱۵۰
منشأ تکاملی تاژک‌های باکتریایی ۱۵۳
سازمان‌دهی درونی و DNA ۱۵۴
تکثیر و سازگاری ۱۵۵
۲۷-۲ تولیدمثل سریع، جهش و نوترکیبی ژنتیکی موجبات تنوع ژنتیکی پروکاریوت‌ها را فراهم ساخته است ۱۵۵
تولیدمثل سریع و جهش ۱۵۵
نوترکیبی ژنتیکی ۱۵۶
ترانسفورماسیون و ترانس داکشن ۱۵۷
هم‌یوغی و پلازمیدها ۱۵۷
۲۷-۳ سازگاری‌های تغذیه‌ای و متابولیسمی متنوعی در پروکاریوت‌ها تکامل یافته‌است ۱۶۰
نقش اکسیژن در متابولیسم ۱۶۰
متابولیسم نیتروژن ۱۶۱
مشارکت متابولیسمی ۱۶۱
۲۷-۴ رده‌بندی‌های مولکولی، تبارزایی پروکاریوت‌ها را روشن می‌سازد ۱۶۲
باکتری‌ها ۱۶۳
آرکئا ۱۶۶
۲۷-۵ پروکاریوت‌ها، نقش بسیار مهمی را در زیست کُره بازی می‌کنند ۱۶۷
بازیافت شیمیایی ۱۶۷
برهم‌کنش‌های اکولوژیک ۱۶۸
۲۷-۶ پروکاریوت‌ها، هم اثرات مفید و هم اثرات زیان‌آوری در زندگی انسان‌ها دارند ۱۶۹
باکتری‌های هم‌یار ۱۶۹
باکتری‌های بیماری‌زا ۱۶۹
کاربرد پروکاریوت‌ها در پژوهش و فن‌آوری ۱۷۱

فصل ۲۸
آغازیان

۲۸-۱ بیشتر یوکاریوت‌ها جاندارانی تک‌سلولی هستند ۱۷۸
تنوع ساختاری و عملکردی در آغازیان ۱۷۸
نقش درون‌هم‌زیستی در تکامل یوکاریوت‌ها ۱۷۹
۲۸-۲ اکس‌کاویت‌ها (Excavates) شامل آغازیانی با میتوکندری‌های تغییرشکل یافته و آغازیانی دارای تاژک‌های منحصربه‌فرد هستند ۱۸۴
دیپلومونادها و پاراباسالیدها ۱۸۴
اوگلنوزوآن ۱۸۶
کینتوپلاستیدها ۱۸۶
اوگلنیدها ۱۸۶
۲۸-۳ SAR گروه بسیار متنوعی از آغازیان هستند که بر اساس تشابهات DNA تعریف و دسته‌بندی شده‌اند ۱۸۶
استرامینوپیل‌ها ۱۸۷
دیاتوم‌ها ۱۸۷
جلبک‌های قهوه‌ای ۱۸۸
تناوب نسل‌ها ۱۹۰
۲۸-۴ جلبک‌های قرمز و سبز نزدیک‌ترین خویشاوندان گیاهان خشکی هستند ۱۹۶
جلبک‌های قرمز ۱۹۶
جلبک‌های سبز ۱۹۶
۲۸-۵ یونی‌کونت‌ها (Unikonts) شامل آغازیانی هستند که خویشاوندی نزدیکی با قارچ‌ها و جانوران دارند ۱۹۸
آمیبوزوآن‌ها ۱۹۹
کپک‌های مخاطی ۲۰۰
کپک‌های مخاطی پلاسمودیومی ۲۰۰
کپک‌های مخاطی سلولی ۲۰۰
انت آمیب‌ها ۲۰۲
اُپیستوکونت‌ها ۲۰۲
۲۸-۶ آغازیان نقشی کلیدی در روابط اکولوژیک ایفا می‌کنند ۲۰۲
آغازیان هم‌زیست ۲۰۲
آغازیان فتوسنتز کننده ۲۰۳

فصل ۲۹
تنوع گیاهی ۱: چگونگی سکونت گیاهان در خشکی‌ها

۲۹-۱ گیاهان خشکی‌زی از جلبک‌های سبز تکامل یافته‌اند ۲۱۰
شواهد ریخت‌شناسی و مولکولی ۲۱۰
سازگاری‌هایی که انتقال به خشکی را ممکن می‌کنند ۲۱۰
صفات اشتقاقی گیاهان ۲۱۱
خاستگاه و تنوع گیاهان ۲۱۴
۲۹-۲ مرحلهٔ گامتوفیت در چرخهٔ زندگی خزه‌ها و سایر گیاهان بدون آوند، غالب است ۲۱۶
گامتوفیت بریوفیت‌ها ۲۱۷
اسپوروفیت بریوفیت‌ها ۲۱۸
اهمیت اکولوژیک و اقتصادی خزه‌ها ۲۲۰
۲۹-۳ سرخس‌ها و سایر گیاهان آوندی بدون دانه نخستین گیاهانی بودند که قد برافراشتند ۲۲۳
خاستگاه‌ها و صفات گیاهان آوندی ۲۲۴
چرخه‌های زندگی با غالبیت دورهٔ اسپوروفیت ۲۲۴
انتقال در آوندهای چوب و آبکش ۲۲۴
تکامل ریشه‌ها ۲۲۵
تکامل برگ‌ها ۲۲۵
تنوع اسپوروفیل‌ها و هاگ‌ها ۲۲۵
طبقه‌بندی گیاهان آوندی بدون دانه ۲۲۵
شاخهٔ لیکوفیتا: پنجه‌گرگیان، خزه‌های سنبله‌ای و علف‌های شهپر ۲۲۷
شاخهٔ مونیلوفیتا: سرخس‌ها، دم اسبیان و سرخس‌های جارویی و خویشاوندان آنها ۲۲۷
اهمیت گیاهان آوندی بدون دانه ۲۲۸

فصل ۳۰
تنوع گیاهی ۲ : تکامل گیاهان دانه‌دار

۳۰-۱ بذرها و دانه‌های گرده، سازگاری‌های کلیدی برای زندگی در خشکی هستند ۲۳۲
مزایای گامتوفیت‌های کوچک‌شده ۲۳۲
تخمک‌ها و تولید تخمزا (گامت ماده) ۲۳۳
دانهٔ گرده و تولید اسپرم ۲۳۳
مزیت تکاملی دانه‌ها ۲۳۴
۳۰-۲ دانه‌های «برهنهٔ» بازدانگان عموماً در مخروط‌ها تشکیل می‌شوند ۲۳۵
۳۰-۳ تشکیل گل و میوه جزء سازگاری‌های تولیدمثلی نهان‌دانگان است ۲۴۰

ویژگی‌های نهان‌دانگان ۲۴۰
گل‌ها ۲۴۰
میوه‌ها ۲۴۱
چرخهٔ زندگی نهان‌دانگان ۲۴۲
تکامل نهان‌دانگان ۲۴۴
تبارزایی نهان‌دانگان ۲۴۶
تنوع نهان‌دانگان ۲۴۸
۳۰-۴ رفاه بشر تا حد زیادی وابسته به گیاهان دانه‌دار است ۲۴۹
محصولات گیاهان دانه‌دار ۲۴۹
تنوع گیاهی در معرض خطر ۲۵۰

فصل ۳۱
قارچ‌ها

۳۱-۱ قارچ‌ها هتروتروف‌هایی هستند که با جذب مواد غذایی تغذیه می‌کنند ۲۵۴
تغذیه و اکولوژی ۲۵۴
ساختار بدن ۲۵۵
نخینه‌های تخصص‌یافته در قارچ‌های میکوریزایی ۲۵۶
۳۱-۲ قارچ‌ها در چرخه‌های زندگی جنسی یا غیرجنسی خود هاگ تولید می‌کنند ۲۵۷
تولیدمثل جنسی ۲۵۸
تولیدمثل غیرجنسی ۲۵۹
۳۱-۳ قارچ‌ها از یک آغازی تک‌سلولی تاژک‌دار آبزی به‌وجود آمده‌اند ۲۶۰
خاستگاه قارچ‌ها ۲۶۰
حرکت به‌سوی خشکی‌ها ۲۶۱
۳۱-۴ قارچ‌ها به دودمان‌های گوناگونی انشعاب یافته‌اند ۲۶۳
کیتریدها ۲۶۳
زیگومیست‌ها ۲۶۴
گلومرومیست‌ها ۲۶۵
آسکومیست‌ها ۲۶۵
بازیدیومیست‌ها ۲۶۷
۳۱-۵ قارچ‌ها نقش به‌سزایی در چرخهٔ عناصر غذایی، برهم‌کنش‌های اکولوژیک و زندگی انسان دارند ۲۶۹
قارچ‌های تجزیه‌کننده ۲۶۹
هم‌یاری گیاه - قارچ ۲۷۰
هم‌زیستی جانور - قارچ ۲۷۰
گلسنگ‌ها ۲۷۱
قارچ‌های بیماری‌زا ۲۷۲

فصل ۳۲
مقدمه‌ای بر تنوع جانوری

۳۲-۱ جانوران، یوکاریوت‌های پرسلولی هتروتروف، با بافت‌های نمو یافته از لایه‌های جنینی هستند ۲۷۸
روش تغذیه ۲۷۸
ساختار سلولی و تخصص‌یابی ۲۷۸
تولیدمثل و نمو ۲۷۸
۳۲-۲ جانوران تاریخی طولانی‌تر از یک میلیارد سال دارند ۲۷۹
دوران نئوپروتروزوئیک (۱ میلیارد تا ۵۴۱ میلیون سال قبل) ۲۸۱
دوران پالئوزوئیک (۵۴۱-۲۵۲ میلیون سال قبل) ۲۸۲
دوران مزوزوئیک (۲۶۶-۲۵۲ میلیون سال قبل) ۲۸۴
دوران سنوزوئیک (۲۶۶ میلیون سال قبل تا به امروز) ۲۸۴
۳۲-۳ جانوران را می‌توان براساس «طرح‌های بدنی» متمایز کرد ۲۸۵
تقارن ۲۸۵
بافت‌ها ۲۸۶
نمو پروتوستوم و دوتروستوم ۲۸۸
تسهیم ۲۸۸
تشکیل سلوم ۲۸۸
سرنوشت بلاستوپور ۲۸۸
۳۲-۴ دیدگاه‌های جدیدی دربارهٔ تبارزایی جانوران از داده‌های مولکولی به دست آمده است ۲۸۹
جهت‌گیری های سیستماتیک جانوری در آینده ۲۹۱

فصل ۳۳
مقدمه‌ای بر بی‌مهرگان

۳۳-۱ اسفنج‌ها جانورانی ابتدایی و فاقد بافت‌های حقیقی هستند ۲۹۶
۳۳-۲ کیسه‌تنان شاخه‌ای قدیمی از یومتازوآن‌ها هستند ۳۰۱
آنتوزوآ ۳۰۳
۳۳-۳ لوفوتروکوزآن‌ها -کلادی که براساس داده‌های مولکولی تعریف شده‌اند- متنوع‌ترین طرح‌های بدن جانوران را دارند ۳۰۵
کرم‌های پهن ۳۰۵
گونه‌های آزادزی ۳۰۷
گونه‌های انگل ۳۰۸
روتیفرها ۳۰۹
لوفوفورات‌ها: اکتوپروکت‌ها و بازوپایان ۳۱۰
نرم‌تنان ۳۱۱
کیتون‌ها ۳۱۲
شکم‌پایان ۳۱۲
دوکفه‌ای‌ها ۳۱۴
سرپایان ۳۱۴
۳۳-۴ اکدیسوزوآن‌ها به لحاظ تعداد گونه، جزء غنی‌ترین گروه‌های جانوری هستند ۳۱۹
نماتودها ۳۱۹
بندپایان ۳۲۱
ویژگی‌های عمومی بندپایان ۳۲۱
کلیسرداران ۳۲۴
میریاپودها ۳۲۵
سخت‌پوستان ۳۲۵
۳۳-۵ خارپوستان و طناب‌داران دو تروستوم هستند ۳۳۰
خارپوستان ۳۳۱
ستاره‌آساها: ستاره‌های دریایی و میناهای دریایی ۳۳۱
مارسانان: ستاره‌های شکننده ۳۳۱
خاردران: توتیای دریایی و Sand Dollars ۳۳۲
طناب‌داران ۳۳۳

فصل ۳۴
خاستگاه و تکامل مهره‌داران

۳۴-۱ طنابداران، دارای نوتوکورد و یک طناب عصبی پشتی تو خالی هستند ۳۳۸
صفات اشتقاقی طنابداران ۳۳۸
نوتوکورد ۳۳۹
تکامل طنابداران اولیه ۳۴۱
۳۴-۲ مهره‌داران، جمجمه‌دارانی هستند که ستون فقرات دارند ۳۴۲
صفات اشتقاقی مهره‌داران ۳۴۲
لامپری‌ها ۳۴۴
۳۴-۳ آرواره‌داران، مهره‌داران دارای آرواره هستند ۳۴۶
صفات اشتقاقی آرواره‌داران ۳۴۶
آرواره‌داران سنگوار‌ه‌ای ۳۴۷
ماهیان غضروفی (کوسه‌ها، ماهیان پهن و خویشاوندان آنها) ۳۴۷
ماهیان باله شعاعی و باله‌گوشتی ۳۴۹
۳۴-۴ تتراپودها، آرواره‌دارانی هستند که دست و پا دارند ۳۵۲
صفات اشتقاقی تتراپودها ۳۵۲
منشأ تتراپودها ۳۵۳
دوزیستان ۳۵۴
۳۴-۵ آمنیون‌داران، تتراپودهایی هستند که تخم‌های سازگار با خشکی دارند ۳۵۷
صفات اشتقاقی آمنیون‌داران ۳۵۸
آمنیون‌داران اولیه ۳۵۹
خزندگان ۳۵۹
لپیدوسورها ۳۶۱
لاک‌پشت‌ها ۳۶۲
سوسمارها و کروکودیل‌ها ۳۶۳
پرندگان ۳۶۳
۳۴-۶ پستانداران، آمنیون‌دارانی هستند که مو داشته و شیر تولید می‌کنند ۳۶۷
صفات اشتقاقی پستانداران ۳۶۷
تکامل اولیهٔ پستانداران ۳۶۷
مونوترم‌ها ۳۶۹
کیسه‌داران ۳۶۹
جفت‌داران (پستانداران دارای جفت) ۳۷۳
پریمات‌ها (نخستی‌ها) ۳۷۳
۳۴-۷ انسان‌ها، پستاندارانی هستند که دارای یک مغز بزرگ بوده و بر روی دوپا راه می‌روند ۳۷۶
صفات اشتقاقی انسان‌ها ۳۷۶
ابتدایی‌ترین هومینین‌ها ۳۷۷
استرالوپیت‌ها ۳۷۸
دوپاگرایی ۳۸۰
انسان اولیه ۳۸۱
نئاندرتال‌ها ۳۸۳
هومو ساپینس (انسان بِخرَد) ۳۸۳

22 Descent with Modification: Darwinian View of Life

تغییر نسل‌ها: نگاه داروینی به حیات

▲ شکل ۱- ۲۲ در تصویر بالا، یک آخوندک ارکیدهٔ مالزیایی (*Hymenopus coronatus*) را مشاهده می‌کنید که بسیار شبیه به گلی است که روی آن نشسته و در انتظار شکاری است که در چنگش بیافتد. آخوندک‌های دیگر دارای رنگ‌ها و اشکال متنوعی هستند که هرکدام در محیطی متفاوت تکامل یافته‌اند. با این وجود، آخوندک‌ها در بعضی صفات ویژه مشترک هستند؛ مانند اندام‌های حرکتی جلویی که توانایی به چنگ گرفتن دارند، چشم‌های درشت و داشتن شش پا.

مفاهیم کلیدی

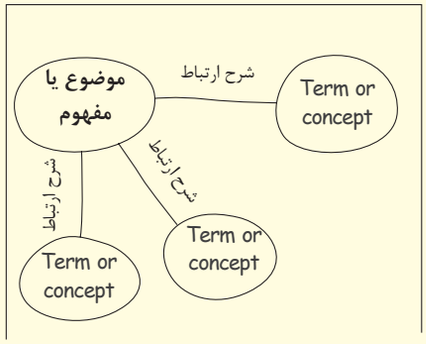
۲۲-۱ انقلاب داروینی، نگاه‌های سنتی که زمین جوان را با گونه‌های ساکن بدون تغییر در آن در نظر می‌گرفتند، به چالش کشید

۲۲-۲ ایدهٔ تغییر نسل‌ها از طریق انتخاب طبیعی می‌تواند سازگاری‌های جانداران، وحدت و گوناگونی حیات را توضیح دهد

۲۲-۳ حجم گسترده‌ای از شواهد علمی، تکامل را تأیید می‌کند

روش مطالعه

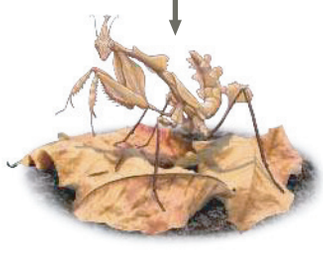
نموداری مانند طرح زیر رسم کنید: فصل ۲۲، به برخی موضوعات مهم در تکامل می‌پردازد؛ موضوعاتی مثل اصلاح نسل‌ها، ویژگی‌های وراثتی، انتخاب طبیعی، سازگاری، تکامل همگرا، هومولوژی و یکپارچگی در حیات. برای هر یک از این موضوعات، دایره‌ای رسم کنید و موقع مطالعهٔ این فصل، دایره‌های مرتبط به هم از لحاظ مفهمی را به یکدیگر متصل کنید. بر روی فلش‌های ارتباطی، دلیل این ارتباط را توضیح دهید.



دلیل بروز تفاوت‌ها و شباهت‌های بین گونه‌های مختلف کرهٔ زمین چیست؟

نیای مشترک اولیه

گونه‌ها به دلیل سازش با محیط‌های مختلف، طی نسل‌های طولانی، تفاوت‌هایی را در مقایسه با اجداد خود به‌دست می‌آورند.



این گونه‌ها با وجود اینکه در بعضی ویژگی‌ها تفاوت‌دارند، به دلیل اینکه جدشان مشترک است، تعداد زیادی صفات مشترک هم دارند، این فرایند، یعنی:

تغییر نسل‌ها

- تجمع اختلاف‌ها
- داشتن جد مشترک و به دنبال آن، داشتن صفات مشترک

موجب بروز تنوع زیستی شده است.

مبحث 1-22

انقلاب داروینی، نگاه‌های سنتی که زمین جوان را با گونه‌های ساکن بدون تغییر درنظر می‌گرفتند، به چالش کشید

چارلز داروین، در حدود ۱/۵ قرن پیش از این، نظریهٔ علمی‌اش دربارهٔ تنوع زیستی و تعداد متنوع گونه‌های کرهٔ زمین ارائه کرده است.

او با انتشار کتاب «منشاء گونه‌ها» انقلابی عظیم در زیست‌شناسی و به‌ویژه تکامل آغاز کرد.

چه چیزی داروین را به سمت به چالش کشیدن دیدگاه‌های غالب زمان خود دربارهٔ زمین و حیات آن سوق داد؟ درواقع، پیشنهاد انقلابی داروین، ریشه در کارهای بسیاری از افراد دیگر دارد (شکل ۲-۲۲).

اشکال بی‌شمار و فوق‌العاده زیبا

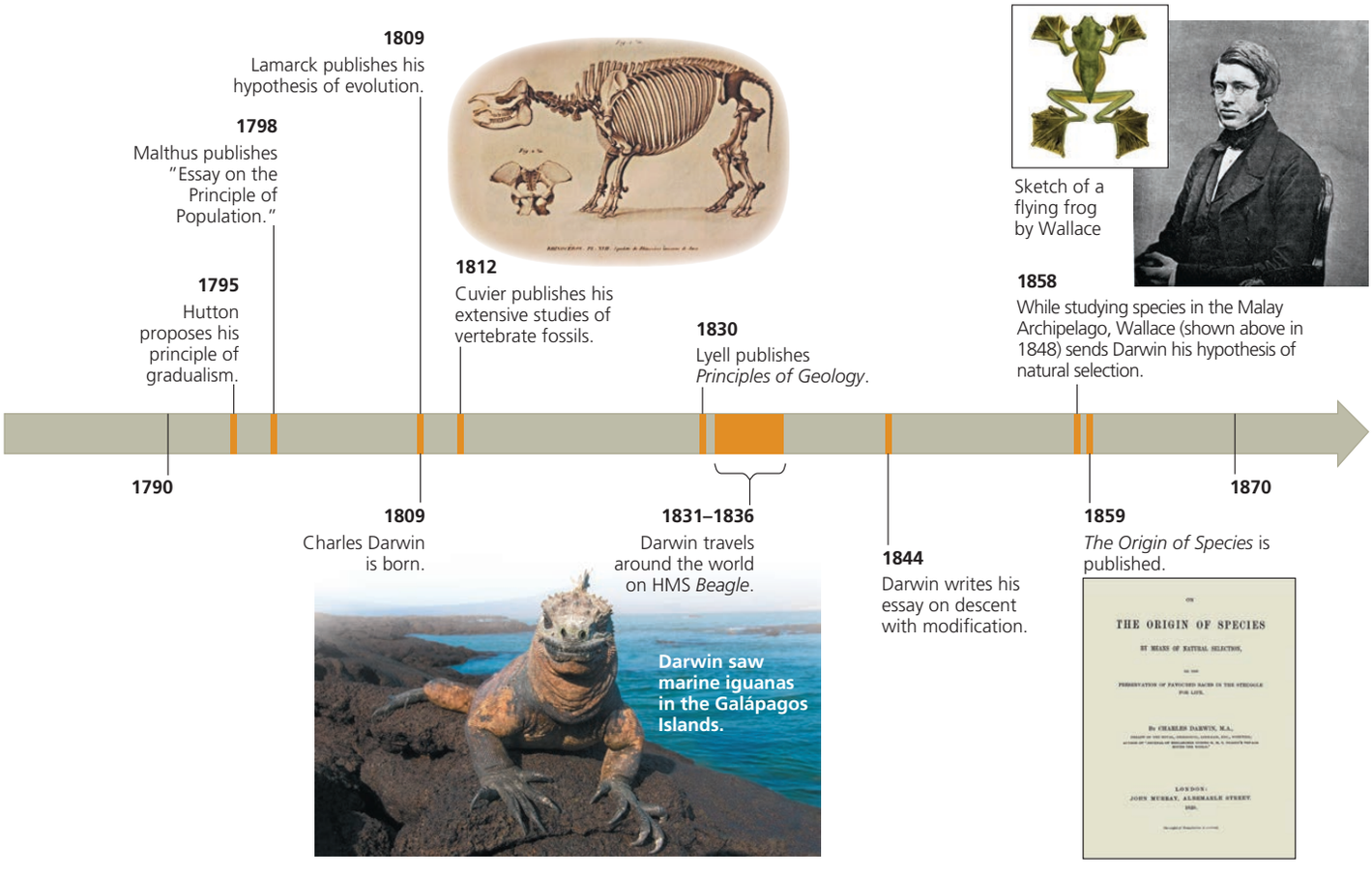
به آخوندک‌های ارکیده در شکل ۱-۲۲ برگردیم تا بتوانیم در همین ابتدا، درمورد چارلز داروین و زیست‌شناسی تکاملی، فهم و درک بهتری داشته باشیم.

آخوندک ارکیده عضوی از یک گروه بسیار بزرگ و متنوع به نام Mantodea می‌باشد که شامل تقریباً ۲۳۰۰ گونه و ۴۳۰ سرده هستند. آخوندک‌های این گروه دارای صفات مشترکی مثل سه جفت پا، سرهای مثلثی، چشم‌های محدب و برجسته و یک گردن انعطاف‌پذیر هستند. مجموعهٔ این صفات مشترک، وحدت درحیات را نشان می‌دهد؛ عبارتی که بر اشتراک صفات جانداران تأکید دارد.

آخوندک موجود در شکل ۱-۲۲ و خویشاوندان نزدیک آن، سه اصل کلیدی دربارهٔ حیات را نشان می‌دهند: روش‌های مؤثری که جانداران را برای زندگی در محیط خود مناسب کرده است؛ وجود ویژگی‌های مشترک بسیار (وحدت یا یگانگی)؛ و تنوع بسیار حیات. حدود یک‌ونیم قرن پیش، چارلز داروین توضیحی علمی دربارهٔ این سه اصل کلیدی ارائه داد. داروین پس از انتشار نظریه‌اش در کتاب «**خاستگاه گونه‌ها**»، طلایه‌دار یک انقلاب علمی گردید: عصر زیست‌شناسی تکاملی.

اکنون ما **تکامل**[1] را با عبارت **تغییر نسل‌ها**[2] تعریف

▼ شکل ۲- ۲۲ زمینهٔ تاریخی حیات و عقاید داروین.



1- Evolution
2- Descent with modification

خواهیم کرد. داروین این اصطلاح را وقتی به‌کار برد که اعلام نمود گونه‌های فراوان ساکن در کرهٔ زمین، از نسل گونه‌های نیایی بوده که با گونه‌های امروزی متفاوت‌اند. تکامل را می‌توان همان‌گونه که در سر فصل ۳-۲۳ توضیح خواهیم داد، به‌صورت تغییر در ترکیب ژنتیکی یک جمعیت از نسلی به نسل دیگر نیز تعریف کرد. این دیدگاه برخلاف تعریف قبلی، نگاهی جزئی و محدود به تکامل دارد. اما چه تکامل را به‌صورت کلی تعریف کنیم و چه به‌صورت جزئی، می‌توانیم از دو زاویهٔ مرتبط اما متفاوت به آن نگاه کنیم: به‌صورت **الگو**[1] و به‌صورت یک **فرآیند**[2]. **الگوی** تغییرات تکاملی به‌وسیلهٔ طیفی از داده‌های علمی حاصل از زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، فیزیک و شیمی آشکار می‌شود. این داده‌ها واقعی هستند یعنی می‌توان آنها را در دنیای طبیعی پیرامون‌مان مشاهده کرد. **فرایند** تکامل شامل مکانیسم‌هایی است که الگوی تغییرات مشاهده‌شدهٔ فوق را به‌وجود می‌آورند. این مکانیسم‌ها دلایل طبیعی وقوع پدیده‌های طبیعی مشاهده‌شده را آشکار می‌سازند. علاوه بر این، قدرت تکامل به‌عنوان یک نظریهٔ وحدت‌بخش، برخاسته از توانایی آن برای توضیح طیف گسترده و متنوعی از مشاهدات دربارهٔ دنیای زنده و ارتباط بخشیدن بین آنهاست.

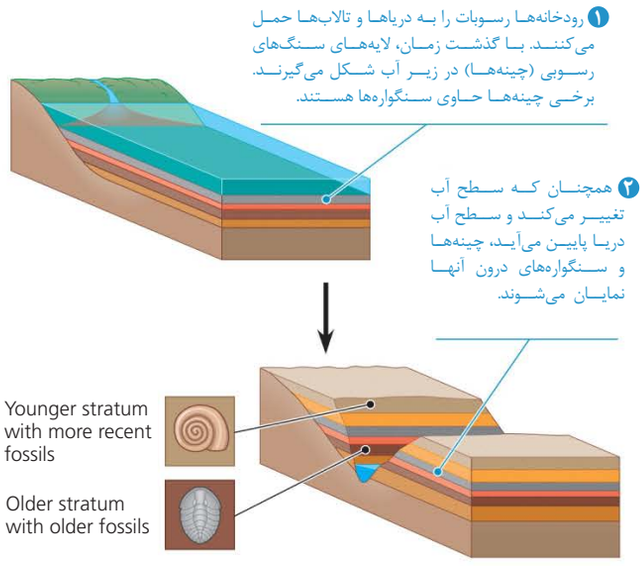
همانند همهٔ نظریه‌های رایج علم، ما به آزمودن نظریهٔ تکاملی‌مان ازطریق بررسی و مقایسهٔ آن با نتایج آزمایش‌ها و مشاهدات جدید، ادامه می‌دهیم. در این فصل و فصل‌های بعدی، توضیح خواهیم داد که چگونه یافته‌های جدید، دانش فعلی ما را دربارهٔ الگو و فرآیند تکامل شکل می‌دهند. ابتدا نگاهی به تلاش داروین جهت توضیح سازگاری‌ها، وحدت و تنوع «اشکال بی‌شمار و فوق‌العاده زیبای» حیات می‌اندازیم.

درجه‌بندی طبیعت و طبقه‌بندی گونه‌ها

اگرچه مدت‌ها قبل از تولد داروین، تعدادی از فیلسوفان یونانی پیشنهاد دادند که حیات ممکن است به‌تدریج ایجاد شده باشد، اما فیلسوفی که دانش اولیه در غرب، شدیداً تحت تأثیر او قرار داشت، یعنی ارسطو (۳۸۴ - ۳۲۲ قبل از میلاد)، گونه‌ها را بدون تغییر فرض کرد. ارسطو طی مشاهداتش در طبیعت، «گرایش‌های» خاصی را در بین جانداران تشخیص داد. این امر او را به سمت این نتیجه سوق داد که اشکال مختلف حیات می‌توانند روی یک نردبان یا درجه‌بندی با

1- Pattern
2- Process

▼ **شکل ۳- ۲۲** تشکیل چینه‌های رسوبی حاوی سنگواره‌ها.



افزایش پیچیدگی آرایش یابند. این حالت، بعدها **نردبان طبیعت**[3] (درجه‌بندی طبیعت) نامیده شد. هریک از اشکال حیات، کامل و دائمی (بدون تغییر) است و اجازه دارد که بر روی یکی از پله‌های نردبان قرار گیرد.

این عقاید با دیدگاه سنتی دربارهٔ خلقت که معتقد است گونه‌ها یک‌به‌یک توسط پروردگار آفریده شده و در نتیجه بدون نقص هستند، هم‌زمان بود. در دههٔ اول قرن هجدهم، بسیاری از دانشمندان، سازش‌های عالی جانداران نسبت به محیط اطراف‌شان را به‌عنوان شاهدی مبنی بر اینکه خالق یکتا هرکدام از گونه‌ها را برای هدف خاصی طراحی کرده است، فرض می‌کردند.

یکی از این دانشمندان، پزشک و گیاه‌شناس سوئدی به‌نام کارل لینه[4] (۱۷۷۸ - ۱۷۰۷) بود که برای طبقه‌بندی تغییرات حیات، جهت اثبات «شکوه برتری خداوند»، تلاش می‌کرد. او سیستم دو نامی یا دو قسمتی را برای نام‌گذاری جانداران براساس سرده و گونه ابداع کرد که امروزه نیز استفاده می‌شود. برخلاف سلسله‌مراتب خطیِ نردبان طبیعت، لینه یک سیستم طبقه‌بندی تو در تو را در نظر گرفت که در آن گونه‌های مشابه در گروه‌هایی که مرتباً بزرگ‌تر می‌شوند، قرار می‌گیرند. برای مثال، گونه‌های مشابه، در یک جنسِ[5](سرده) واحد و جنس‌های مشابه در یک تیرهٔ یکسان طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱۴-۱ را ببینید).

از نظر لینه، مشاهدهٔ اینکه بعضی از گونه‌ها تا حدودی به

3- Scala naturae
4- Carolus Linnaeus
5- Genus: جنس‌ها (جمع) Genera؛ جنس (مفرد)

هم شباهت دارند، دلیلی در تأیید تکامل به شمار نمی‌رود، بلکه بر مبنای الگوی خلقت آنها است. با این وجود، یک قرن بعد، سیستم رده‌بندی او، توسط داروین در مباحثات تکاملی مورد استفاده قرار گرفت.

نظریات مختلف دربارهٔ تغییر گونه‌ها

داروین بخش زیادی از نظریه‌اش را بر مبنای کارهای دانشمندانی که سنگواره‌ها را مطالعه می‌کردند، ترسیم کرد. **سنگواره‌ها**[1]، بقایا و یا اثرات به‌جای‌مانده از جانداران قدیمی هستند. اغلب سنگواره‌ها در سنگ‌های رسوبی[2] که محصول ته‌نشینی گل و لای ماسه‌ها در ته دریاها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها هستند، یافت می‌شوند. لایه‌های جدید رسوبی، لایه‌های قدیمی‌تر را می‌پوشانند و آنها را به‌صورت لایه‌های بسیار متراکم صخره‌ای به‌نام **چینه**[3] فشرده می‌کنند. سنگواره‌های هر لایه، تصویری اجمالی از بعضی از جاندارانی که در هنگام شکل‌گیری آن لایه در زمین می‌زیسته‌اند، ارائه می‌دهند (شکل ۳-۲۲). سپس ممکن است فرایند فرسایش، لایه‌های بالایی (جوان‌تر) چینه را دچار فرسایش کرده و لایه‌های قدیمی‌تر را آشکار سازد.

علم دیرین‌شناسی،[4] یعنی مطالعهٔ سنگواره‌ها، بخش زیادی از پیشرفت خود را مدیون دانشمندی فرانسوی به‌نام ژرژ کُویه[5] (۱۸۳۲ - ۱۷۶۹) است. کُویه هنگام بررسی لایه‌های صخره‌ای در منطقه‌ای در اطراف پاریس، متوجه شد که هر قدر لایه‌های چینه‌ها قدیمی‌تر باشند، سنگواره‌های آنها با نمونه‌های امروزی تفاوت بیشتری خواهند داشت. او همچنین مشاهده کرد که از یک چینه تا چینهٔ بعدی، بعضی گونه‌های جدید ظاهر و بعضی دیگر ناپدید می‌شوند. وی این‌چنین تفسیر کرد که انقراض می‌بایست فرایندی عادی در تاریخ حیات بوده باشد. با این حال، کُویه قاطعانه با اندیشهٔ تغییرات تدریجی تکامل مخالفت کرد و برای توضیح این مشاهدات از اصل **کاتاستروفیسم**[6] استفاده کرد. طبق این اصل، وقوع رویدادهای تصادفی در گذشته، عامل ایجاد اختلافات مشاهده‌شده در زمان حال است. او عقیده داشت که هریک از مرزهای بین چینه‌ها نشان از یک کاتاستروف[7]، مانند خشکسالی یا سیل دارد که وقوع آنها هر بار بسیاری از گونه‌های زنده را از بین می‌برد. او پیشنهاد داد که کاتاستروف‌های دوره‌ای معمولاً منحصر به مناطق جغرافیایی محلی بودند که مجدداً جمعیت خود را طی مهاجرت گونه‌های دیگر از سایر مناطق، به‌دست می‌آوردند.

در مقابل، سایر دانشمندان پیشنهاد کردند که تغییرات می‌توانند ازطریق تجمع اثرات فرایندهای آهسته ولی مداوم، رخ دهند. در سال ۱۷۹۵ یک جغرافی‌دان اسکاتلندی به‌نام جیمز هاتن[8] (۱۷۹۷ - ۱۷۲۶)، پیشنهاد داد که چهرهٔ زمین‌شناختی کرهٔ زمین می‌تواند ازطریق سازوکارهای تدریجی که هنوز نیز در جهان عمل می‌کنند، توضیح داده شود. به‌عنوان مثال، او عقیده داشت که دره‌ها به‌وسیلهٔ رودخانه‌هایی که روی صخره‌ها جاری بود، شکل گرفتند و سنگ‌هایی که حاوی سنگواره‌های جانداران دریایی هستند، از ذراتی که از خشکی کنده شده و ازطریق رودها به دریاها حمل می‌شدند و جانداران دریایی مرده را مدفون می‌کردند، تشکیل شدند. زمین‌شناس مطرح زمان داروین به‌نام چارلز لیل[9] (۱۸۷۵ - ۱۷۹۷)، تفکر هاتن را به شکل یک نظریهٔ قابل فهم‌تر، تحت عنوان**اصل یکنواختی**[10] مطرح کرد. طبق این اصل، مکانیسم‌های ایجاد تغییر در طول زمان، ثابت و یکنواخت هستند. لیل پیشنهاد داد که فرایندهای زمین‌شناسی که امروزه عمل می‌کنند، مشابه فرایندهایی هستند که در گذشته عمل می‌کردند و میزان فعالیت آنها نیز یکسان است.

نظریات هاتن و لیل اثر عمیقی بر تفکرات داروین گذاشت. داروین پذیرفت که اگر تغییرات زمین‌شناختی بیشتر از آنکه تحت تأثیر وقایع ناگهانی قرار داشته باشند، نتیجهٔ فعالیت‌های آهسته و مداوم باشند، در آن صورت زمین بسیار مسن‌تر از چندهزار سالی است که در آن زمان تخمین زده می‌شد. به‌عنوان مثال، زمان زیادی لازم است تا یک رودخانه بتواند ازطریق فرسایش، دره‌ای را حفر کند. او بعدها استدلال کرد که احتمالاً فرایندهای آهستهٔ مشابهی نیز می‌توانند روی جانداران زنده در یک دورهٔ طولانی اثر بگذارند و درنتیجه، تغییراتی اساسی ایجاد کنند. البته داروین اولین کسی نبود که اصول تغییر تدریجی را در مورد تکامل زیستی به کار برد.

1- Fossils
2- Sedimentary rocks
3- Strata (Stratum : مفرد)
4- Paleontology
5- Georges Cuvier
6- Catastrophism
7- Catastrophe
8- James Hutton
9- Charles Lyell
10- Uniformitarianism

فرضیهٔ لامارک دربارهٔ تکامل

در طول قرن ۱۸، تعدادی از طبیعی‌دانان (از جمله آراسموس داروین، پدربزرگ داروین)، پیشنهاد دادند که شکل‌گیری حیات نتیجهٔ تغییرات محیط است. اما تنها یکی از پیشینیان داروین، یک الگوی جامع دربارهٔ **چگونگی** شکل‌گیری حیات ارائه داد: زیست‌شناس فرانسوی به‌نام ژان باپتیست دو لامارک[1] (۱۸۲۹ - ۱۷۴۴). متأسفانه امروزه نام لامارک نه به‌خاطر بینش درست او دربارهٔ اینکه تغییرات تکاملی، شواهد سنگواره‌ای و سازگاری جانداران را نسبت به محیط، توجیه می‌کند، بلکه به دلیل سازوکار اشتباهی که او برای شرح چگونگی رخداد تکامل ارائه داد، ماندگار شده است.

لامارک فرضیهٔ خود را در سال ۱۸۰۹، یعنی سال تولد داروین منتشر کرد. او با مقایسهٔ گونه‌های فعلی و اشکال سنگواره‌ای، به علت ظهور خطوط وراثتی متعدد (دودمان‌های مختلف) در موجودات زنده پی برد: هر سری از سنگواره‌هایی که بر طبق یک زمان‌بندی از انواع جوان‌تر به انواع مسن‌تر به‌دنبال یکدیگر قرار می‌گیرند، در نهایت به یک گونهٔ زندهٔ امروزی منتهی می‌شوند. لامارک این موضوع را با دو اصل توضیح داد. اصل اول، **استفاده و عدم استفاده** است، به این معنی که اجزایی از بدن که بیشتر استفاده می‌شوند، بزرگ‌تر و قوی‌تر می‌شوند، در حالی‌که اعضایی که استفاده نمی‌شوند، تحلیل می‌روند. به‌عنوان مثال، او به زرافه که گردن خود را می‌کشد تا به برگ‌های شاخه‌های مرتفع درختان برسد، اشاره کرد. دومین اصل، **وراثت صفات اکتسابی** است، یعنی یک جاندار می‌تواند این تغییرات را به زاده‌هایش منتقل کند. لامارک استدلال کرد که گردن بلند و ماهیچه‌ای زرافهٔ فعلی در طول نسل‌های متمادی که زرافه‌ها گردن‌شان را بیشتر می‌کشیدند، شکل گرفته است.

لامارک همچنین معتقد بود که تکامل به این دلیل رخ می‌دهد که جانداران گرایش ذاتی به سمت پیچیده‌تر شدن دارند. داروین این تفکر را رد کرد، اما او نیز معتقد بود که تنوع و گوناگونی‌ها ازطریق وراثت صفات اکتسابی، وارد فرایند تکامل می‌شوند. البته درک امروزی ما از ژنتیک این اصل را رد می‌کند؛ هیچ مدرکی مبنی بر ارثی شدن صفات اکتسابی، آن‌گونه که لامارک بیان می‌کرد، وجود ندارد (شکل ۴-۲۲).

لامارک در عصر خود، به‌ویژه توسط کُویِیر که به تکامل گونه‌ها اعتقاد نداشت، شهرت خود را از دست داد. با این حال، لامارک به دلیل اینکه اعتقاد داشت علت سازگاری جانداران با محیط را می‌توان با تغییرات تکاملی تدریجی توضیح داد و نیز به دلیل مکانیسم قابل آزمایشی که برای این تغییرات ارائه کرد، قابل ستایش است.

▼ شکل ۴- ۲۲ **صفات اکتسابی، وراثتی نیستند.** درختان بونسای ازطریق هرس شدن و شکل‌دهی، به شکلی «پرورش» می‌یابند که کوتاه رشد کنند. با این حال، این درختان زاده‌هایی با اندازهٔ طبیعی ایجاد می‌کنند.

پرسش‌های مبحث ۱-۲۲

۱- عقاید هاتن و لیل چه تأثیری بر تفکر داروین دربارهٔ تکامل گذاشت؟

۲- چه می‌شد اگر؟ ◄ شما در فصل ۳-۱ خواندید که فرضیه‌های علمی باید قابل آزمایش بوده و امکان رد کردن آنها نیز وجود داشته باشد. بر این اساس آیا توضیح کویِیر دربارهٔ آثار سنگواره‌ای و نظریهٔ لامارک دربارهٔ تکامل، علمی هستند؟ پاسخ خود را در هر دو مورد توضیح دهید؟

برای ملاحظه پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.

1- Jean - Baptiste de Lamarck

مبحث 2-22

ایدهٔ تغییر نسل‌ها از طریق انتخاب طبیعی می‌تواند سازگاری‌های جانداران، وحدت و گوناگونی حیات را توضیح دهد

تا پایان قرن نوزدهم، باور عمومی بر این بود که گونه‌ها از هنگام خلقت خود بدون تغییر باقی می‌مانند. هر چند تردیدهایی اندک دربارهٔ ثبات گونه‌ها در حال شکل‌گیری بودند، اما هیچ‌کس نمی‌توانست انقلابی را که در پیش بود، پیش‌بینی کند. نگاه تکاملی به حیات چگونه به ذهن چارلز داروین خطور کرد؟

پژوهش‌های داروین

چارلز داروین (۱۸۸۲ - ۱۸۰۹) در اشروسبوری[1] در شمال انگلستان متولد شد. او حتی در دوران کودکی علاقهٔ زیادی به طبیعت داشت. هنگامی که سرگرم مطالعهٔ کتاب‌های طبیعی نبود نیز به ماهی‌گیری، شکار و جمع‌آوری حشرات مشغول می‌شد. پدر داروین که پزشک بود، تمایلی نداشت پسرش طبیعی‌دان شود و در نتیجه او را برای تحصیل در پزشکی به مدرسهٔ پزشکی ادینبورگ فرستاد. اما دانشگاه پزشکی برای چارلز خسته‌کننده و اعمال جراحی که در آن زمان بدون بیهوشی انجام می‌شد، برای وی ناخوشایند بود. او مدرسهٔ پزشکی را ترک کرد و به قصد کشیش شدن وارد دانشگاه کمبریج شد. (در آن زمان در انگلستان بسیاری از علوم به کشیشان تعلق داشت.)

داروین در دانشگاه کمبریج به شاگردی کشیش جان هنسلو[2] که استاد گیاه‌شناسی بود، درآمد. کمی بعد از آنکه داروین مدرک لیسانس خود را دریافت کرد، هنسلو او را به کاپیتان رابرت فیتزروی[3] که برای سفری با کشتی بیگل به دور دنیا آماده می‌شد، معرفی کرد. داروین به‌عنوان هم‌صحبت کاپیتان جوان وارد کشتی شد و فیتزروی به علت آنکه تحصیلات، سن و طبقهٔ اجتماعی مشابه‌ای با داروین داشت، وی را در کشتی پذیرفت.

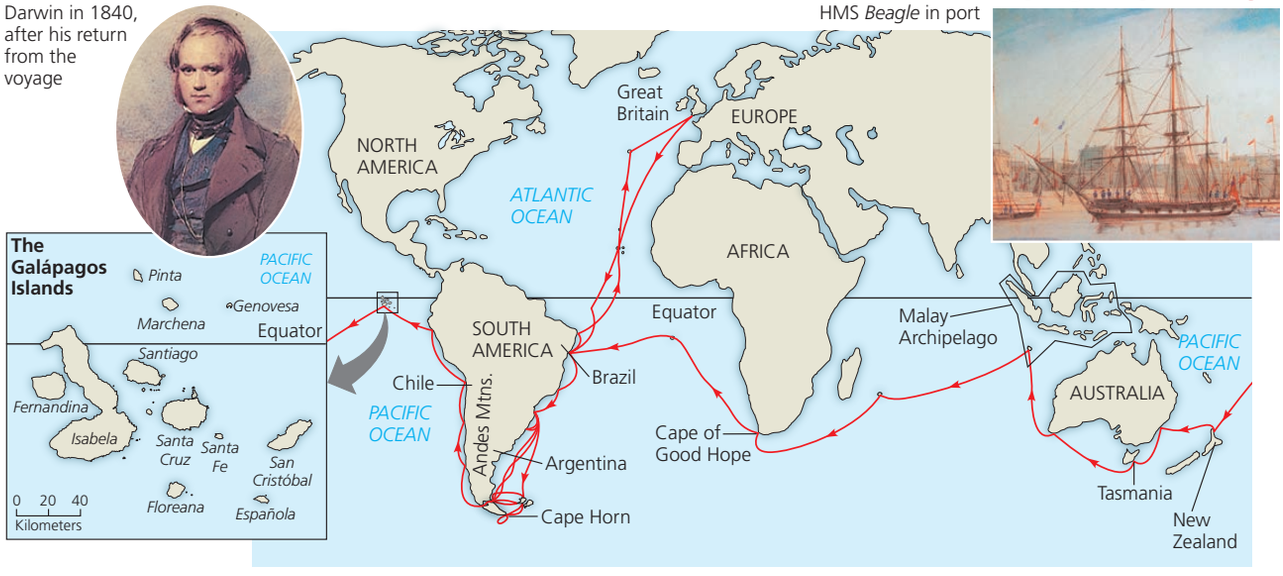
سفر دریایی بیگل

داروین در دسامبر ۱۸۳۱، انگلستان را با کشتی بیگل ترک کرد. مأموریت اصلی بیگل، شناسایی سواحل ناشناختهٔ آمریکای جنوبی بود. هنگامی که خدمهٔ کشتی، کنار دریا گشت‌وگذار می‌کردند، داروین اکثر وقت خود را در سواحل به مشاهده و جمع‌آوری هزاران نوع از گیاهان و جانوران آمریکای جنوبی می‌گذراند. او سازگاری‌های بسیاری در گیاهان و جانورانی مشاهده کرد که در زیستگاه‌های متفاوت، مانند جنگل‌های مرطوب برزیل، چمن‌زارهای گستردهٔ آرژانتین و ارتفاعات کوه‌های آند می‌زیستند.

داروین متوجه شد که گیاهان و جانورانی که در مناطق معتدل آمریکای جنوبی می‌زیستند، بیشتر به گونه‌های مناطق حاره‌ای آمریکای جنوبی شباهت داشتند تا گونه‌های مناطق معتدلهٔ اروپا. همچنین سنگواره‌هایی که او پیدا کرد اگرچه کاملاً با جانداران زندهٔ آن زمان متفاوت بودند، اما به علت شباهت با جانداران ساکن در آن منطقه، قطعاً مربوط به آمریکای جنوبی بودند.

مطالعات زمین‌شناسی نیز در طول سفر، داروین را

▼ شکل ۵- ۲۲ سفر با کشتی بیگل.



1- Shrewsbury
2- John Henslow
3- Robert FitzRoy

▼ **شکل ۶- ۲۲ تفاوت منقارها در سهره‌های گالاپاگوس.** جزایر گالاپاگوس زیستگاه بیش از دوازده گونهٔ خویشاوند از سهره‌هاست، که برخی تنها در یک جزیره یافت می‌شوند. مهم‌ترین تفاوت بین آنها منقارشان است، که براساس روش تغذیهٔ ویژهٔ هر کدام، سازش یافته است.

(c) دانه‌خوار. سهرهٔ زمینی بزرگ (*Geospiza magnirostris*) منقار بزرگی دارد که برای شکستن دانه‌هایی که از درختان بر روی زمین افتاده‌اند، مناسب است.

(b) حشره‌خوار. سهرهٔ سبز آوازخوان (*Certhidea olivacea*) با استفاده از منقار باریک و تیز حشرات را می‌گیرد.

(a) کاکتوس‌خوار. منقار دراز و نوک تیز سهرهٔ زمینی کاکتوسی (*Geospiza scandens*) به آن کمک می‌کند تا گل‌ها و گوشت کاکتوس را جدا کرده و بخورد.

ارتباط دهید ◄ شکل ۲۰-۱ را مرور کنید. سهره کاکتوس‌خوار با کدام‌یک از دو گونهٔ شکل بالا خویشاوندی نزدیک‌تری دارد (یعنی با کدام‌یک جد مشترک نزدیک‌تری دارد)؟

تحت تأثیر قرار داد. او با وجود دریازدگی، کتاب **اصول زمین‌شناسی** لیل را در کشتی بیگل مطالعه کرد. داروین تغییرات زمین‌شناسی بکر و دست‌نخورده‌ای را هنگامی‌که یک زمین‌لرزه سواحل شیلی را لرزاند، تجربه کرد و بعد از آن مشاهده کرد که ارتفاع مرز سواحل، چندین پا افزایش یافت. او پیدا شدن سنگواره‌هایی از جانداران اقیانوسی در ارتفاعات کوه‌های آند را چنین تفسیر کرد که صخره‌های حاوی سنگواره‌ها باید به‌وسیلهٔ یک سری زمین‌لرزه‌های مشابه و در طول زمان، بالا رفته باشند. این مشاهدات، آنچه را که او از لیل آموخته بود، تأیید و تقویت می‌کرد: شواهد فیزیکی، از دیدگاه سنتی دربارهٔ عدم تغییر زمین با عمر تنها چندهزار سال حمایت نمی‌کرد.

توجه داروین به پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، پس از توقف بیگل در جزایر گالاپاگوس افزایش یافت. این مجمع‌الجزایر، شامل تعدادی جزایر آتشفشانی با سن زمین‌شناسی کم است که در نزدیکی استوا، در فاصلهٔ حدود ۹۰۰ کیلومتری از غرب آمریکای جنوبی قرار دارند (شکل ۵-۲۲). داروین از یافتن جانداران غیرمعمول در آنجا شگفت‌زده شده بود. در بین پرندگانی که او در گالاپاگوس جمع‌آوری کرد، سهره‌ها و انواع متعددی از مرغ‌های مقلد[1] وجود داشتند که به نظر می‌رسید با وجود شباهت فراوان، از گونه‌های متفاوتی باشند. بعضی از آنها منحصر به یک جزیره بودند، در حالی‌که سایرین در دو یا چند جزیرهٔ مجاور پراکنش داشتند. به‌علاوه، با اینکه جانوران جزایر گالاپاگوس به جانوران منطقهٔ آمریکای جنوبی شباهت زیادی داشتند، اما بیشتر جانوران این جزایر در هیچ‌جای دیگری از دنیا زندگی نمی‌کردند. او چنین فرض کرد که ابتدا جزایر گالاپاگوس توسط جانداران مهاجری از آمریکای جنوبی اشغال شدند و سپس این جانداران در جزایر مختلف، تنوع یافته‌اند.

تمرکز داروین در موضوع سازگاری

داروین در طول سفر دریایی خود با کشتی بیگل، نمونه‌های بسیاری از سازگاری‌ها را مشاهده کرد. **سازگاری**[2] عبارت است از ویژگی‌هایی که احتمال بقا و تولیدمثل جانداران را در یک محیط معین افزایش می‌دهند. بعدها هنگامی که او دوباره مشاهدات خود را بررسی کرد، متوجه شد که سازش با محیط و پیدایش گونه‌های جدید، فرایندهای به‌شدت مرتبطی هستند. آیا ممکن است که یک گونهٔ جدید به کمک انباشت تدریجی سازش‌ها با محیط جدید، از گونهٔ اجدادی ایجاد شده باشد؟ همان‌گونه که در فصل یک بحث کردیم، دانشمندان سال‌ها پس از سفر داروین، پس از انجام مطالعاتی دریافتند که این اتفاق واقعاً برای سهره‌های گالاپاگوس رخ داده است (شکل ۲۰-۱ را ببینید). منقار و رفتار این سهره‌ها با انواع خاص غذاهایی که در جزایر محل سکونت آنها یافت می‌شود، سازش یافته است (شکل ۶-۲۲). داروین دریافت که جهت درک تکامل باید توضیحی برای این سازش‌ها ارائه کرد. همان‌طور که در ادامه بیشتر توضیح خواهیم داد، تفسیر داروین از این سازگاری‌ها حول محور **انتخاب طبیعی**[3] دور می‌زد. انتخاب طبیعی، فرایندی است که طی آن افراد دارای ویژگی‌های وراثتی معین، زاده‌های بیشتری نسبت به افراد دارای صفات دیگر به‌وجود می‌آورند. [در نتیجه سهم بیشتری در نسل بعد دارند؛ م]

1- Mocking birds

2- Adaptation
3- Natural selection

در اوایل دهۀ ۱۸۴۰، داروین روی چارچوب اصلی فرضیه‌اش کار می‌کرد. در سال ۱۸۴۴، داروین مقالۀ بلندبالایی دربارۀ تغییر نسل‌ها و مکانیسم آن، یعنی انتخاب طبیعی نوشت. با این حال، داروین ظاهراً به این دلیل که غوغای حاصل از انتشار فرضیه‌اش را پیش‌بینی می‌کرد، تمایلی به انجام این کار نداشت. او با وجود عدم انتشار مقاله‌اش، به جمع‌آوری شواهد برای فرضیۀ خود ادامه داد. در اواسط دهۀ ۱۸۵۰، او فرضیه‌اش را برای لیل و چند نفر دیگر بیان کرد. لیل با اینکه هنوز در مورد تکامل متقاعد نشده بود اما به شدت داروین را تشویق کرد تا قبل از آنکه شخص دیگری به همین نتیجه برسد و آن‌را زودتر منتشر کند، عقاید خود را منتشر نماید.

در ژوئن ۱۸۵۸، پیش‌بینی لیل به حقیقت پیوست. داروین دست‌نوشته‌ای از یک طبیعی‌دان انگلیسی به‌نام راسل والاس (۱۹۱۳ - ۱۸۲۳) دریافت کرد (شکل ۲-۲۲ را ببینید). والاس در هند شرقی کار می‌کرد و فرضیه‌ای مشابه فرضیۀ داروین دربارۀ انتخاب طبیعی ارائه داده بود. والاس از داروین خواهش کرده بود که مقالۀ او را ارزیابی کند و اگر آن را مناسب چاپ می‌بینند، به لیل بدهد. داروین درخواست او را پذیرفت و به لیل نوشت: «جملات شما کاملاً به حقیقت پیوست ... من هرگز چنین تصادف شگفت‌انگیزی ندیده بودم ... پس همۀ یافته‌هایم نابود خواهند شد، اگرچه شاید بر آن افزوده شود ...». سپس لیل و همکارانش، مقالۀ والاس به همراه خلاصه‌هایی از مقالات چاپ نشدۀ داروین را در اول جولای ۱۸۵۸ به انجمن لینۀ لندن ارائه کردند. داروین به سرعت کتاب خود تحت عنوان «خاستگاه گونه‌ها ازطریق انتخاب طبیعی» (عموماً از آن تحت عنوان خاستگاه گونه‌ها یاد می‌شود) را به پایان رساند و یک سال بعد آن را منتشر کرد. اگرچه والاس در اصل عقایدش را با هدف انتشار آنها نوشته بود، اما داروین را ستایش و تأیید می‌کرد که داروین ایدۀ انتخاب طبیعی را به نحوی توسعه داد که می‌توان وی را معمار اصلی این نظریه دانست.

در طول یک دهه، کتاب داروین و استدلال‌های آن، بسیاری از زیست‌شناسان را متقاعد کرد که تغییرات زیستی، محصول تکامل هستند. داروین در بخشی که تکامل‌شناسان دیگر شکست خورده بودند، به موفقیت دست یافت زیرا او دلایل خود را با منطق صحیح و حجم عظیمی از شواهد محکم و خدشه‌ناپذیر ارائه داده بود.

خاستگاه گونه‌ها

داروین در این کتاب دو محور اصلی را مورد بسط و توسعه قرار داد: نخست اینکه اصلاح نسل‌ها، هم وحدت و هم گوناگونی در حیات را توضیح می‌دهد و دیگر اینکه، انتخاب طبیعی علت سازش جانداران با محیط آنها است.

تغییر نسل‌ها

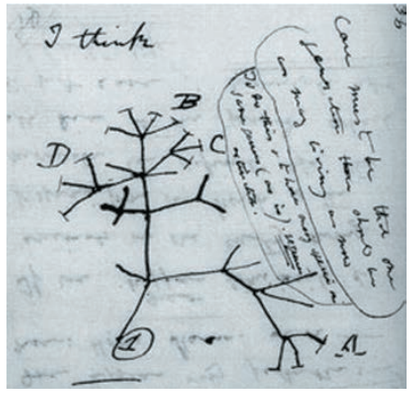
در اولین ویرایش کتاب **خاستگاه گونه‌ها**، داروین تا انتهای کتاب از کلمۀ **تکامل** استفاده نکرد (اگرچه آخرین واژۀ کتاب واژۀ «تکامل‌یافته» است) و به‌جای آن از واژۀ **تغییر نسل‌ها**[1] استفاده کرد که نگاه وی به حیات را خلاصه می‌کرد. داروین **وحدت در حیات**[2] را در تمامی زاده‌های یک جاندار نیایی که در گذشتۀ دور می‌زیسته است، مشاهده می‌کرد. پس از آنکه زاده‌های جاندارِ نیایی در طول میلیون‌ها سال در زیستگاه‌های مختلفی پراکنده شدند، تغییرات گوناگون یا سازش‌هایی در آنها حاصل شد که آنها را با شرایط خاص زندگی‌شان سازگار کرد. داروین استدلال نمود که نهایتاً تغییر نسل‌ها طی یک دورۀ زمانی طولانی، منجر به ایجاد گوناگونی فوق‌العاده‌ای شده است که امروزه ما شاهد آن هستیم.

از نگاه داروین تاریخ حیات مانند یک درخت با شاخه‌های متعدد است که امتداد آن از یک تنۀ واحد تا نوک جوان‌ترین شاخه‌هاست (شکل ۷-۲۲). در این تصویر،سرِ شاخه‌ها که با حروف A-D علامت‌گذاری شده‌اند، نمایندۀ چند گروه از جانوران هستند که امروزه نیز وجود دارند، شاخه‌های بدون نام، گروه‌های منقرض‌شده هستند. هر چنگال موجود روی درخت نزدیک‌ترین نیای همۀ موجوداتی است که از آن نقطه منشعب می شوند و ارتباط نزدیکی با هم دارند.

داروین تصور می‌کرد که این فرایند شاخه‌زایی، همراه با رخدادهای انقراضی گذشته، می‌توانند شکاف‌های مورفولوژیکی بسیاری که میان گروه‌های مختلف جانداران وجود داشته است را توجیه کند. به‌عنوان مثال، سه‌گونۀ زنده از فیل‌ها را در نظر بگیرید: فیل آسیایی (*Elephas maximus*) و دو گونه از فیل‌های آفریقایی (*Loxodonta africana* , *L. cyclotis*). این‌گونه‌ها که ارتباط نزدیکی با هم دارند، بسیار به هم شباهت دارند، چون مسیر تکاملی یکسانی را پیموده‌اند تا آنکه اخیراً وقوع یک انشعاب، آنها را از نیای مشترک‌شان جدا کرده است. توجه کنید که هفت دودمان خویشاوند فیل‌ها در طول ۳۲ میلیون سال گذشته منقرض شده‌اند. در نتیجه، امروزه هیچ جانور زنده‌ای برای برقراری ارتباط تکاملی بین فیل‌ها و خویشاوندان نزدیک آنها

1- Descent with modification
2- Unity

▼ **شکل ۷- ۲۲ صفات اکتسابی، وراثتی نیستند.** درختان بونسای ازطریق هرس شدن و شکل‌دهی، به شکلی «پرورش» می‌یابند که کوتاه رشد کنند. با این حال، این درختان زاده‌هایی با اندازهٔ طبیعی ایجاد می‌کنند.



یعنی ماناتی‌ها[1] و هیراکس‌ها[2] وجود ندارد.

انقراض مانند آنچه در شکل ۸-۲۲ مشاهده کردید نامتداول نیست. در واقع اغلب شاخه‌های تکاملی و حتی برخی از شاخه‌های اصلی آن، به بن‌بست منتهی می‌شوند. تخمین زده می‌شود که حدود ۹۹٪ از گونه‌هایی که تاکنون زیسته‌اند، منقرض شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۸-۲۲ مشاهده می‌کنید، فسیل گونه‌های منقرض‌شده می‌توانند ازطریق «پر کردن» جاهای خالی میان گروه‌های جانوری امروزی، واگرایی میان آنها را ثبت کنند.

انتخاب مصنوعی، انتخاب طبیعی و سازش

داروین مکانیسمی به‌نام انتخاب طبیعی را برای توضیح الگوهای قابل مشاهدهٔ تکامل ارائه داد. او مباحث و استدلال‌هایش را چنان با مهارت و ظرافت مطرح کرد که حتی سخت‌گیرترین خوانندگانش نیز متقاعد شدند. او نخست نمونه‌های آشنا از آمیزش‌های انتخابی گیاهان و جانوران اهلی را مورد بحث قرار داد. انسان‌ها، سایر گونه‌های جانداران را طی نسل‌های متمادی، با انتخاب و پرورش افرادی که صفات ویژه‌ای دارند، تغییر داده‌اند. این فرایند، **انتخاب مصنوعی**[3] نام دارد (شکل ۹-۲۲). گیاهان زراعی و جانوران اهلی یا دام‌های حاصل از انتخاب مصنوعی، اغلب شباهت اندکی به نیاکان وحشی خود نشان می‌دهند.

داروین سپس دو مشاهده در طبیعت و دو تفسیر حاصل از آن را شرح داد:

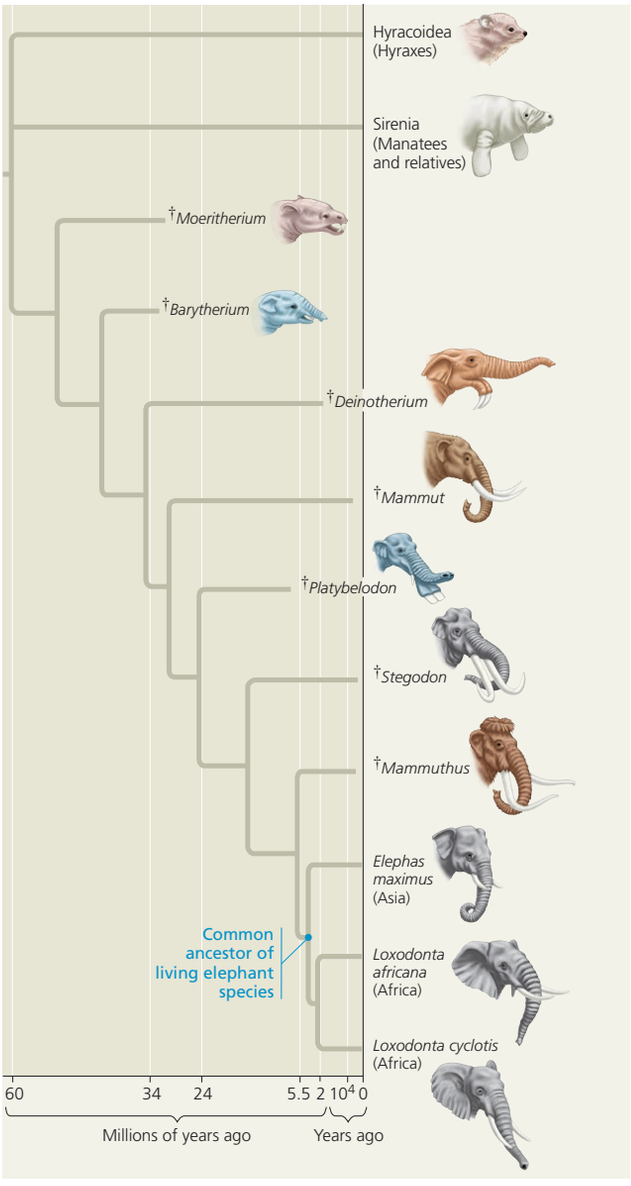
مشاهدهٔ ۱ : اعضای یک جمعیت اغلب تنوع گسترده‌ای را در ویژگی‌هایشان نشان می‌دهند (شکل ۱۰-۲۲).

مشاهدهٔ ۲ : همهٔ گونه‌ها قادرند زاده‌هایی بیش از حد گنجایش محیط، به‌وجود آورند (شکل ۱۱-۲۲).

به دلیل کمبود غذا یا سایر منابع، بسیاری از این زاده‌ها قادر به بقا نیستند.

تفسیر ۱: افرادی که صفات وراثتی‌شان توانایی بیشتری برای بقا و تولیدمثل به آنها می‌بخشد، نسبت به افراد دیگر، زاده‌های بیشتری به‌وجود می‌آورند.

▼ **شکل ۸- ۲۲ تغییر نسل‌ها** . این درخت تکاملیِ فیل‌ها و خویشاوندان آنها بر مبنای سنگواره‌ها یعنی آناتومی، ترتیب ظاهر شدن در چینه‌ها و توزیع جغرافیایی رسم شده است. توجه کنید که اغلب شاخه‌های نسل‌ها به انقراض منتهی شده‌اند.



مهارت بصری ◄ براساس درخت نشان‌داده‌شده در این شکل، جدیدترین جد مشترک ماموت‌ها (Mammuthus) شمالو، فیل‌های آسیایی و فیل‌های آفریقایی، تقریباً در چه زمانی می‌زیسته است؟

1- Manatees
2- Hyraxes
3- Artificial Selection