

بخش دوم

گوناگونی و تحول جانداران



## ۳ پیدایش و گسترش زندگی

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 مطالعه 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.

# ۱ سر آغاز زندگی

## 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 سیاره 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 عقیده 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 سازنده اولین سلول‌ها بودند. این فرضیه که بسیاری از واحدهای آلی سازنده حیات، نخستین بار از مولکول‌های غیرزیستی تشکیل شده‌اند، مورد آزمایش قرار گرفته است.

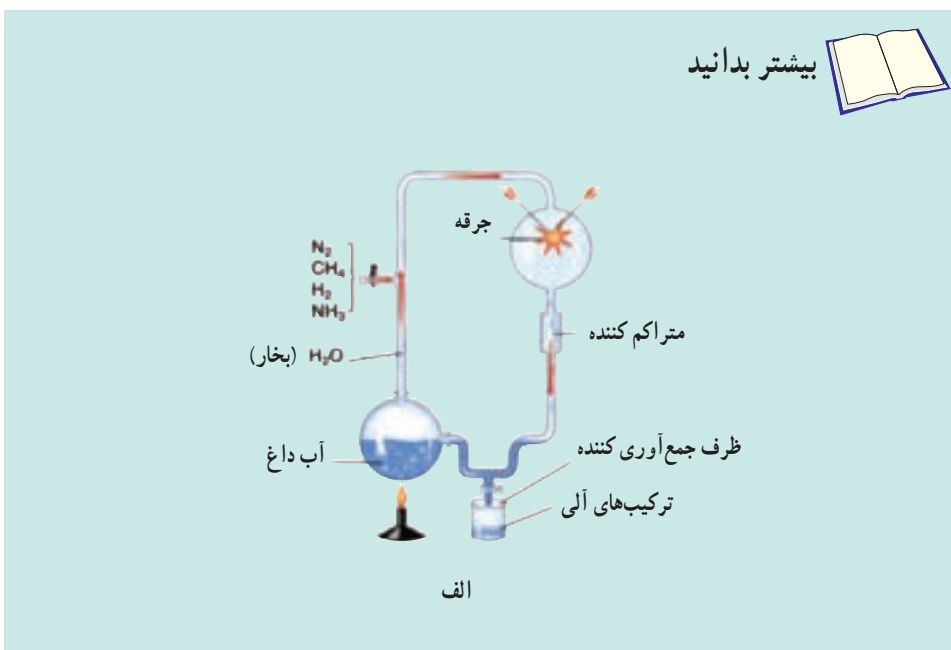
**سوپ بنیادین:** در دهه ۱۹۲۰ دانشمندان اظهار داشتند که در اقیانوس‌های اولیه زمین، در زمان کوتاهی مقدار زیادی مواد آلی پدید آمد. این نظریه به الگوی سوپ بنیادین مشهور شد. تصور بر این است که در آن هنگام اقیانوس‌های زمین مملو از مولکول‌های آلی مختلف بودند. این دانشمندان فرض کردند که این مولکول‌ها در اثر 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 درباره

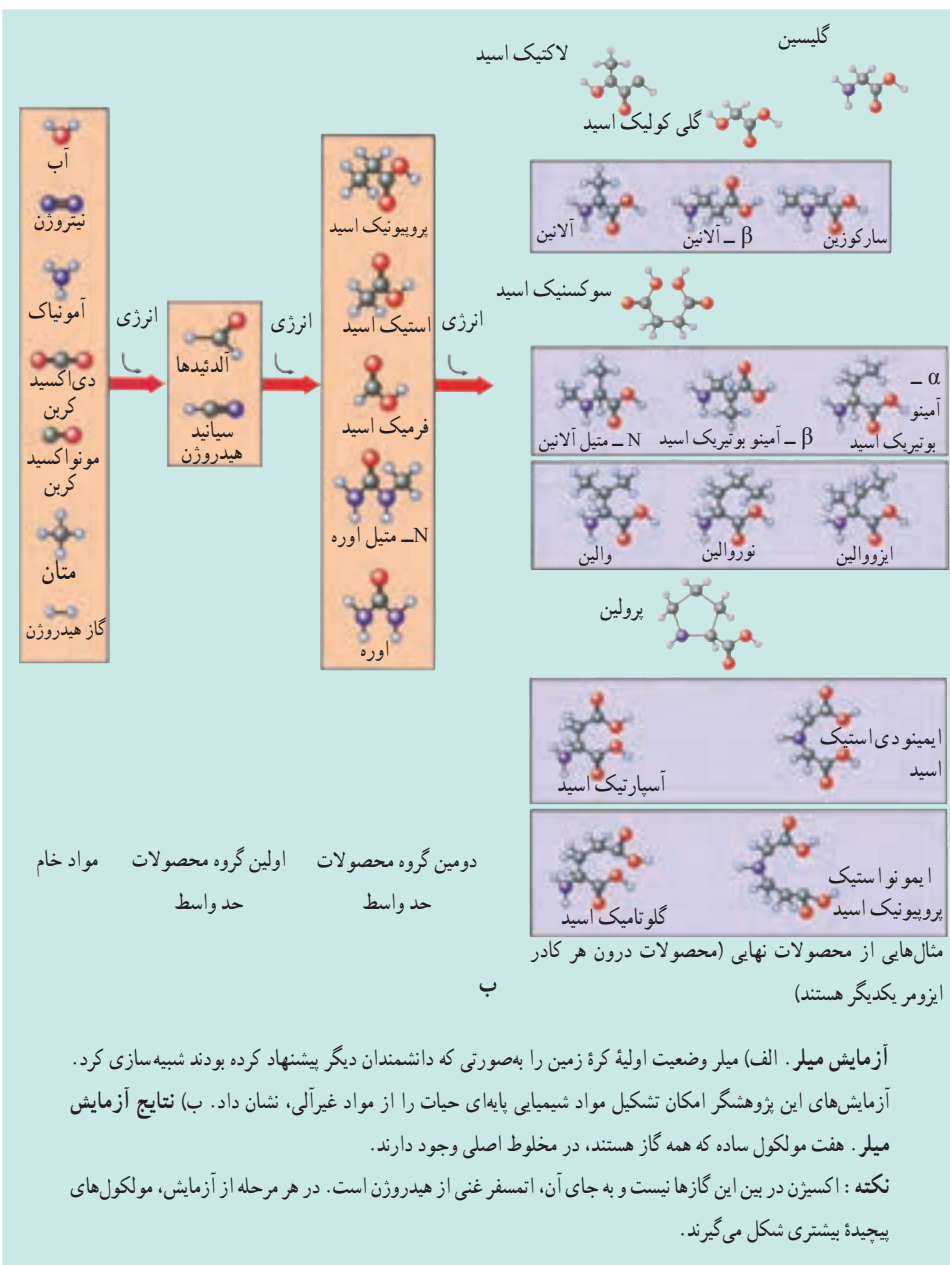
عمرسنجی به کتاب زمین‌شناسی خود مراجعه کنید.

پس از آن گروهی دیگر از پژوهشگران، اعلام کردند که جو اولیه 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 می‌داده است. امروزه اکسیژن موجود در جو سریعاً الکترون‌های پرانرژی را جذب می‌کند، زیرا اتم اکسیژن میل بسیار زیادی به جذب چنین الکترون‌هایی دارد. هنگامی که اکسیژن موجود نباشد، الکترون‌های پرانرژی در انجام واکنش‌هایی دیگر، مانند واکنش با مولکول‌های هیدروژن‌دار، شرکت می‌کنند.

استانلی میلر<sup>۱</sup> در نیمه 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 جرقه 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 کره زمین پدید آمده باشند.



<sup>۱</sup> Stanley Miller



ب

آزمایش میلر. الف) میلر وضعیت اولیه کره زمین را به صورتی که دانشمندان دیگر پیشنهاد کرده بودند شبیه سازی کرد. آزمایش های این پژوهشگر امکان تشکیل مواد شیمیایی پایه ای حیات را از مواد غیرآلی، نشان داد. ب) نتایج آزمایش میلر. هفت مولکول ساده که همه گاز هستند، در مخلوط اصلی وجود دارند. نکته: اکسیژن در بین این گازها نیست و به جای آن، اتمسفر غنی از هیدروژن است. در هر مرحله از آزمایش، مولکول های پیچیده بیشتری شکل می گیرند.

**پژوهش های دیگر درباره 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 پیشتر 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 لایه محافظتی اوزون ( $O_3$ ) بود. در این صورت پرتو ماورای بنفش می‌توانست بدون لایه اوزون، همه 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 تدبیری 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:

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

**مرحله ۲:** متان و آمونیاک مورد نیاز برای تشکیل آمینواسیدها، درون حباب‌ها در مقابل صدمات حاصل از پرتو فرابنفش محفوظ می‌مانند. 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.

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

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

**مرحله 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 درباره 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



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

شیمیایی ساده، تشکیل شده‌اند. می‌دانیم که بین مولکول‌های آلی و سلول‌های زنده راهی بسیار طولانی وجود دارد. چگونه آمینواسیدها به صورت پروتئین درآمدند؟ چگونه نوکلئوتیدها به زنجیره‌های طولی DNA تبدیل شدند؟ دانشمندان تاکنون نتوانسته‌اند در محیط آبی، در آزمایشگاه، این درشت‌مولکول‌ها را بدون وجود نوکلئیک اسیدهای مادری بسازند. اگرچه زنجیره‌های کوتاه RNA و DNA در محیط آبی تشکیل شده‌اند.

احتمال تبدیل میکروسفرها به سلول‌ها: لیپیدها که از اجزای تشکیل‌دهنده 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. کواسروات‌ها<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. اگر چه 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 کاتالیزگرها:** در دهه 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 فرضیه ساده براساس تحقیقات سچ و آلتمن<sup>۱</sup> و تجربیات دیگری که درباره 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 مهم‌ترین است که چنین مولکولی می‌تواند از یک نسل به نسل دیگر تغییر کند.

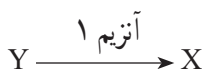


شکل ۲-۳ میکروسفر (×۱۲۵۰)

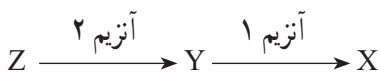
ظاهر این میکروسفرها که از جنس پروتئین‌اند، بسیار شبیه سلول‌هاست، غشای دو لایه‌ای دارند و در حال جوانه زدن هستند.



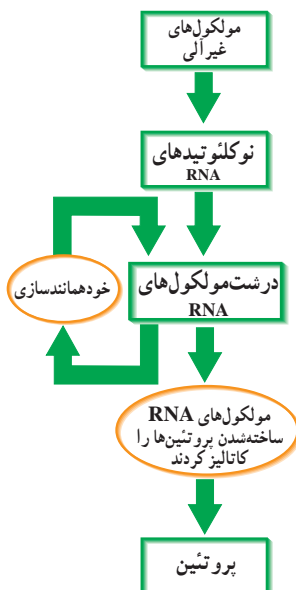
خاستگاه متابولیسم : مولکول‌های RNA، میکروسفرها و نیز ساختارهای سلول ماندی که پس از آنها به وجود آمدند، برای نگهداری انسجام ساختاری و نیز تکثیر خود، به مواد آلی ویژه‌ای، مانند X نیاز داشتند. با گذشت زمان، این ترکیبات در محیط کمیاب شدند. احتمال می‌رود که تغییر (جهش) در برخی RNAهای آنزیمی، سبب شد که آنها بتوانند از مادهٔ خام دیگری که در محیط فراوان‌تر بود (Y)، مادهٔ 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 تقسیم‌شدن میکروسفر به میکروسفرهای دختر منتقل می‌شدند. پس از مدتی، مولکول‌های RNA توانستند ساخته‌شدن 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 سازوکار وراثت شکل گرفت.

بیشتر بدانید



فرضیه 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 منظومه شمسی نیز جست‌وجو کنند. وجود اقیانوس بزرگی از آب مایع و اکسیژن فراوان در زیر لایه ضخم یخ در مریخ و یکی از قمرهای سیاره مشتری، ممکن است شرایط مناسبی را برای حیات جانداران میکروسکوپی فراهم آورده باشد

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 ماده ژنتیک را بر عهده گرفته است؟
- ۴- تفاوت‌های ساختاری DNA و RNA را به یاد آورید. به نظر شما چرا در جانداران پیشرفته امروزی DNA به‌عنوان ماده ژنتیک به RNA ترجیح داده شده است؟
- ۵- درباره ارتباط این عبارات با هم، بحث کنید :  
شواهد امروزی از نقش RNAهای قدیمی، پروتئین‌سازی، ماده ژنتیک، کدون و آنتی‌کدون، وراثت، مولکول ذخیره‌کننده اطلاعات، همانندسازی، مولکول mRNA، رمز ژنتیک، RNA آنزیمی.
- ۶- آیا یک الگوی طراحی شده درباره منشأ حیات باید احتمال وجود سایر الگوها را انکار کند؟ توضیح دهید.

## ۲ تکوین جانداران پیچیده‌تر

### 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 دربارهٔ 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، سنگوارهٔ میکروسکوپی پروکاریوت‌هایی است که در رسوبات سنگی ۳/۵ میلیارد سالهٔ 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، به‌تدریج 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. به‌نظر می‌رسد سیانوباکتری‌ها نخستین سلول‌های فتوسنتزکننده بوده‌اند. قبل از پیدایش سیانوباکتری‌ها، اکسیژن در جو زمین وجود نداشت، اما پس از پیدایش آنها و انجام فتوسنتز، به‌تدریج گاز اکسیژن به درون اقیانوس‌ها و جو زمین آزاد شد. این اکسیژن پس از گذشت صدها میلیون سال، در جو زمین متراکم شد، به‌طوری 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 عرصهٔ وجود گذاشتند. می‌دانید که سلول‌های یوکاریوتی دستگاهی از غشاهای درونی دارند و DNA آنها در هستهٔ محصور است. سومین ویژگی یوکاریوت‌ها حضور اندامک‌های پیچیده‌ای، تقریباً به اندازهٔ باکتری، به‌نام‌های میتوکندری و کلروپلاست در سلول‌هاست. این اندامک‌ها DNA اختصاصی خود را دارند. اغلب سلول‌های

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

### میتوکنندری‌ها و کلروپلاست‌ها

درباره منشأ میتوکنندری‌ها، اکنون تقریباً همه زیست‌شناسان نظریه درون همزیستی را پذیرفته‌اند. نظریه درون همزیستی اظهار می‌دارد که میتوکنندری‌ها خویشاوندان باکتری‌های هوازی (نیازمند اکسیژن) هستند.

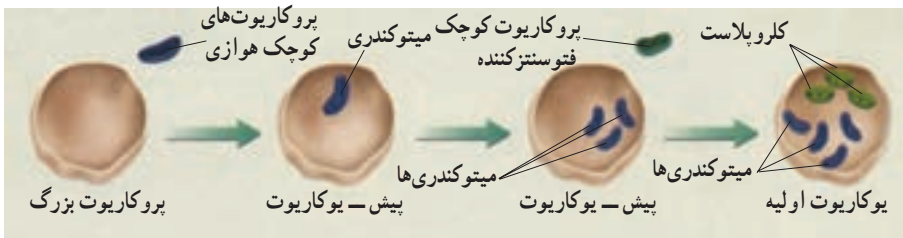
پس از آن که نخستین باکتری‌های فتوسنتزکننده وارد سلول‌های پیش - یوکاریوتی شدند، به کلروپلاست تبدیل شدند. این باکتری‌های مهاجم احتمالاً خویشاوندی نزدیکی با سیانوباکتری‌ها داشتند. طبق نظریه درون همزیستی، این باکتری‌ها به صورت انگل، یا به صورت شکار هضم نشده وارد سلول‌های بزرگ شده‌اند. این عوامل خارجی به جای 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 میتوکنندری‌ها و کلروپلاست‌ها از باکتری‌ها حاصل شده‌اند:

۱- اندازه و ساختار: اندازه میتوکنندری‌ها مشابه اندازه اغلب باکتری‌هاست. میتوکنندری دو غشا دارد. غشای درونی میتوکنندری‌ها تا خوردگی‌های بسیاری دارد و به نظر می‌رسد که شبیه غشاهای سلولی باکتری‌های هوازی باشد. پروتئین‌هایی که درون غشا قرار دارند، تنفس سلولی را بر عهده دارند.

۲- ماده ژنتیک: DNA میتوکنندری‌ها، مشابه DNA حلقوی باکتری‌ها است. کلروپلاست‌ها و میتوکنندری‌ها هر دو دارای ژن‌هایی متفاوت نسبت به ژن‌های موجود در هسته سلول‌های دربر دارنده آنها، هستند.

۳- ریپوزوم‌ها: اندازه و ساختار ریپوزوم‌های میتوکنندریایی و باکتریایی مشابه است. این هر دو با سایر ریپوزوم‌های یوکاریوتی متفاوت‌اند.

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



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، زمینه لازم را برای تخصصی شدن و تمایز سلول‌ها فراهم آورده است.

مسئله نقطه عطف در پیدایش پرسلولی‌ها، تکامل سیستم‌های انتقال پیام بین سلول‌های مختلف یک توده 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 ویژه این انقراض‌ها هنوز شناخته نشده است، اما شواهد حاکی از دخالت تغییرات وسیع زمین‌شناختی و آب‌وهوایی 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 به دلیل 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 گونه گیاهی، یعنی یک چهارم کل گونه‌های موجود، همراه با ۲۰۰۰ از ۹۰۰۰ گونه پرندگان و تعداد بی‌شماری از گونه‌های حشرات منقرض خواهند شد.



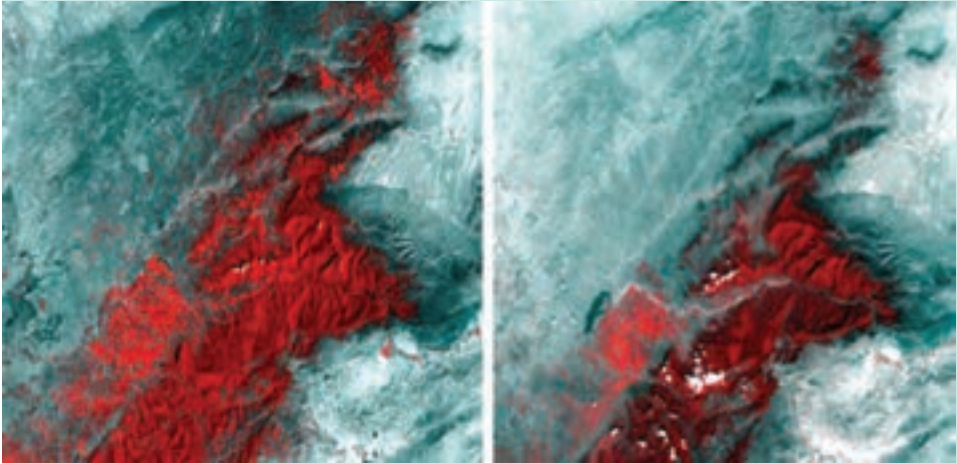
شکل ۵-۳- جنگل‌های بارانی استوایی با سرعت زیادی در حال نابودی هستند. اگرچه جنگل‌های بارانی استوایی تنها ۷ درصد سطح خشکی‌های زمین را می‌پوشانند، اما بیش از ۵۰ درصد گونه‌های گیاهی و جانوری در این مناطق زندگی می‌کنند.

بیشتر بدانید



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 یا 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



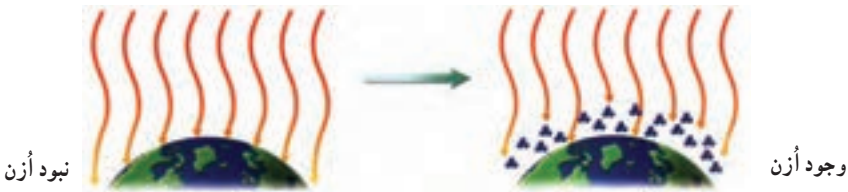
- ۱- چگونگی پیدایش یوکاریوت‌ها را شرح دهید.
- ۲- باکتری‌ها را با یوکاریوت‌ها مقایسه کنید.
- ۳- این مطلب را که «در صورت عدم وقوع انقراض گروهی، جانداران امروزی به وجود نمی‌آمدند» مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید.

## ۳ گسترش حیات به خشکی‌ها

لایه اُزن بقای حیات را در خشکی‌ها تضمین کرد.

خورشید علاوه بر فراهم کردن نور زندگی‌بخش، پرتوهای زیان‌بار 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 امکان‌پذیر کرد؟

تشکیل لایه 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، اشعه خورشید باعث شد که مقداری از مولکول‌های اکسیژن ( $O_2$ ) در بالای جو به یکدیگر پیوندند و مولکول‌های اُزن ( $O_3$ ) را تشکیل دهند. لایه اُزن در اتمسفر فوقانی مانع از عبور پرتو فرابنفش شد (شکل ۶-۳). میلیون‌ها سال بعد، اکسیژن و اُزن کافی در جو برای گسترش حیات در خشکی، وجود داشت.



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

بیشتر بدانید



لایه اُزن امروز هم مورد نیاز جانداران ساکن خشکی‌هاست : در طول قرن گذشته، آلودگی هوا باعث نازک شدن لایه اُزن شده است. دانشمندان اعتقاد دارند که شمار روزافزون افرادی که به سرطان پوست مبتلا می‌شوند، به علت نازک شدن لایه 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.

به‌خاطر 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 به‌دست 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 دوطرفه 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 ببلعند. 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 بیکر 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. جثه 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 ۳۸- اسکلت سنگواره شده 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 ۳۹-۳). 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 دوره 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 ۳۹- 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 همه 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 لایه‌اُزن 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 نپیوست» بحث کنید.