

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# علوم زمین

## دورهٔ پیش‌دانشگاهی

### رشتهٔ علوم تجربی

وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

نام کتاب: علوم زمین - ۲۹۱/۱

مؤلفان: محمود صداقت، حسین دانشفر، احمد حسینی، حسن مدنی و علی هاشمی

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

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

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹.

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

صفحه‌آرا: زهره بهشتی شیرازی

طراح جلد: علیرضا رضائی‌کُر

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

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

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

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوازدهم ۱۳۹۰

حَقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۵-۸۹۸-۰۵-۹۶۴-۰۵-۰۸۹۸-۵ ISBN 964-05-0898-5



اساس عالم بر تربيت انسان است. انسان عصاره همه موجودات است و فشرده تمام عالم است و انبيا آمده اند براي اينکه اين عصاره بالقوه را بالفعل کنند و انسان يک موجودی الهی بشود که اين موجود الهی تمام صفات حق تعالی در اوست و جلوه گاه نور مقدس حق تعالی است.  
امام خمینی

## فهرست

### بخش ۱- زمین، زیستگاه ما

- فصل ۱- حرکات زمین ۲  
فصل ۲- ساختمان درونی زمین ۱۳

### بخش ۲- زمین ناآرام

- فصل ۳- زمین ساخت ورقه‌ای ۳۱  
فصل ۴- زمین لرزه ۴۹  
فصل ۵- آتش فشان‌ها و فرآیندهای آتش فشانی ۶۰  
فصل ۶- ساخت‌های تکتونیکی و کوه‌زایی ۷۱

### بخش ۳- تاریخ زمین

- فصل ۷- شواهدی در سنگ‌ها ۸۱  
فصل ۸- تحولات گذشته ۹۸

### بخش ۴- جایگاه زمین

- فصل ۹- منظومه‌ی شمسی ۱۱۲  
فصل ۱۰- ستارگان ۱۲۳

- 
- فصل ۱۱- رسم نقشه ۱۳۲  
فصل ۱۲- زمین در خدمت انسان ۱۴۸

## دانش آموزان عزیز

هدف از مطالعه‌ی درس علوم زمین، دو چیز است:

– با مبانی این علم و حیطه‌ی عمل آن آشنا شوید و کاربردهایش را بشناسید.

– برای ورود به رشته‌های وابسته‌ی دانشگاهی آماده شوید.

با نگاهی به عناوین و فصل‌های کتاب و آنچه در سال گذشته فرا گرفتید، باید دریافته باشید که حیطه‌ی علوم زمین وسیع است و در دانشگاه‌ها، رشته‌های متعددی را در ارتباط با آن می‌توانید انتخاب کنید، و در آن‌ها صاحب تخصص شوید. پایه‌های اقتصادی کشور ما را علوم زمین تشکیل می‌دهد و شما در این درس، علاوه بر آشنایی با منابع طبیعی و پرارزش کشور، باید راه محافظت از آن‌ها را نیز فرا بگیرید.

در آموزش علوم زمین نیز مانند هر علم، به دو چیز توجه می‌شود: محتوای علم و روش علم. مراد از روش علم، چگونگی نگرشی است که دانشمندان در ضمن مطالعه‌ی یک رشته از علم دارا هستند. در واقع با مطالعه‌ی روش علم، باید دریابید که یک اندیشه‌ی علمی چگونه پیدا می‌شود و چگونه تحول و تکامل می‌یابد. زمین‌شناسی، دانشی جدید است و هنوز نکات نامعلوم و مسائل حل‌نشده‌ی بسیاری در آن وجود دارد که دانشمندان درصدد حل آن‌ها هستند. توجه داشته باشید که وقتی مسئله‌ای مطرح می‌شود، دانشمندان به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازند، فرضیه می‌سازند و سپس فرضیه‌ی خود را آزمایش می‌کنند. آنچه مورد توجه و حائز اهمیت است، همین فرآیند در روش علمی است که مورد تأکید است. محتوا، آسان حاصل می‌آید.

به‌خاطر داشته باشید که علوم زمین را باید در خود طبیعت بیاموزید. باید مشاهده‌گر دقیقی باشید و همه‌جا به جستجوی دلایل بروید. در بیشتر رشته‌های علوم زمین، تفسیر یافته‌ها، ما را به واقعیت‌ها می‌رساند. هیچکدام از ما درون زمین را ندیده‌ایم. از گذشته‌ی زمین با استفاده از شواهد و قراین آشنا شده‌ایم و با آنکه خودمان پا را از کروی زمین فراتر نگذاشته‌ایم، اطلاعات خوبی را درباره‌ی دنیاها و موارای زمین حاصل آورده‌ایم. از این رو، تأکید می‌کنیم که شما نیز چنین روشی را در مطالعه‌ی علوم زمین و سایر رشته‌های علم درپیش بگیرید.

# بخش ۱

## زمین، زیستگاه ما

کنجکاوی زیاده از حد آدمی برای مطالعه در محیط اطراف، از نخستین روزها وی را برآن داشته است که به مشاهده‌ی زیستگاه خود و مطالعه درباره‌ی آن بپردازد. در زمان‌های دیرین، تنها ابزارهای در دسترس انسان، اندام‌های حس و قوه‌ی استنباط او بود. وی، به کمک نیروی فکر، پدیده‌هایی چون تغییرات شبانه‌روزی و فصلی را مورد توجه قرار داد. درباره‌ی ماه، خورشید و ستاره‌ها بررسی کرد و توانست با بهره‌گیری از نیروهای طبیعی، کیفیت زندگی خود را بهبود بخشد. او در این میان، دیدگاه‌های روشن‌تری نسبت به ساختمان سیاره‌ی خود و حرکات آن کسب کرد. با اختراع ابزارهای مختلف، دانش انسان عمیق‌تر شد و وسعت بیشتری یافت، به طوری که امروزه انسان حتی پا را از زمین فراتر گذاشته و به مطالعه درباره‌ی جهان‌های دوردست پرداخته است. مطالعه در زمینه‌ی تحولاتی که در برداشت‌های انسان از سیاره‌ی زمین حاصل شده بسیار جالب و آموزنده است.

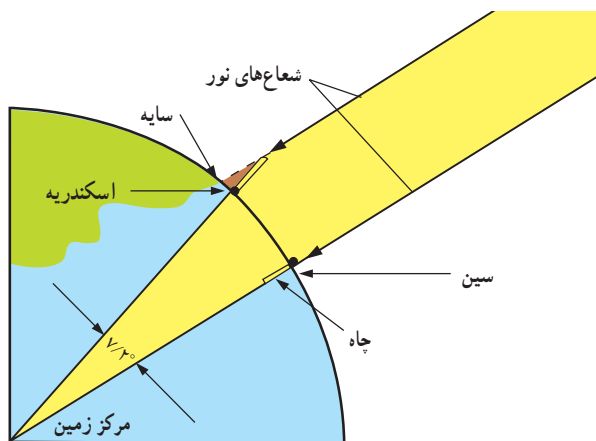
# حرکات زمین



بسیاری از تمدن‌های ابتدایی، در نواحی شرقی دریای مدیترانه و از جمله در بین‌النهرین به وجود آمده‌اند. این نواحی بیابانی‌اند و شب‌های صاف و مناسبی برای مشاهده‌ی آسمان دارند. حاصل مشاهدات متوالی اجداد ما آن بود که زمین را ثابت تصور می‌کردند. آنان عقیده داشتند که ماه، خورشید و پنج ستاره‌ی سرگردان (سیاره) در اطراف زمین گردش می‌کنند. یک ستاره را هم در قسمت شمالی آسمان یافته بودند که گمان می‌کردند در جای خود ثابت است و بقیه‌ی ستاره‌ها به دور آن در گردش‌اند. وقتی که یونانیان قدیم به قسمت‌های شمالی‌تر زمین سفر کردند، دریافتند که هرچه از استوا دور می‌شوند، آن ستاره‌ی ثابت هم از افق دورتر می‌شود و ارتفاع زیادتری می‌یابد. مردمان بین‌النهرین، در حدود سه هزار سال قبل از میلاد، دایره را به  $360^\circ$  قسمت تقسیم کرده و هرکدام را علامت یک روز و میزان یک بار حرکت خورشید در آسمان می‌شمردند. این مقیاس، هنوز هم با نام درجه کاربرد دارد.

در  $230^\circ$  سال قبل از میلاد، یکی از دانشمندان یونانی به نام اراتوستن، محاسبه‌ی شگفت‌آور و دقیق درباره‌ی اندازه‌گیری محیط زمین انجام داد. وی، در کتابخانه‌ی بزرگ اسکندریه، خوانده بود که چاهی عمیق در شهر سین (آسوان امروزی در جنوب مصر) وجود دارد که سالی یک بار، در ظهر یک روز معین، آفتاب کاملاً ته آن را روشن می‌کند. اراتوستن چنین استدلال کرد که در آن روز، خورشید باید کاملاً بر آن نقطه قائم بتابد. شهر اسکندریه حدود  $5000$  استادیوم (واحد اندازه‌گیری طول) با شهر سین فاصله داشت. او می‌دانست که در همان روز نیز، سایه‌ای از اجسام قائم واقع در روی زمین تشکیل می‌شود. پس بر اسکندریه آفتاب قائم نمی‌تابد. با توجه به این که شعاع‌های خورشید موازی‌اند، اراتوستن نتیجه گرفت که زمین باید کروی باشد و در پی محاسبه‌ی محیط زمین برآمد. وی، ستونی را به‌طور قائم در اسکندریه روی زمین نصب کرد و زاویه‌ی سایه‌ی آن را اندازه گرفت. این زاویه، در آن لحظه‌ای که آفتاب به ته چاه واقع در سین می‌تابید، معادل  $7^\circ$  درجه و  $12$  دقیقه بود. اراتوستن، که از اصول هندسه مطلع بود، می‌دانست زاویه‌ی اندازه‌گیری شده با زاویه‌ای که بین سین و اسکندریه در مرکز زمین تشکیل می‌شود، برابر است. قوس روبه‌رو به این زاویه،  $\frac{1}{50}$  محیط دایره

بود. وی، با در نظر گرفتن فاصله‌ی سین تا اسکندریه، و اندازه‌ی زاویه، مقدار محیط زمین را حدود  $3925^\circ$  کیلومتر محاسبه کرد که به اندازه‌ی واقعی حاصل از محاسبات امروزی بسیار نزدیک است.



شکل ۲-۱- زاویه‌ی تابش خورشید را در محل زندگی خود به دست آورید و با کمک آن، محیط زمین را محاسبه کنید.

شکل ۱-۱- منطقه‌ای که در محاسبه‌ی اراتوستن مورد نظر بوده است.

در گزارش‌ها، سه مقدار برای استادیوم نوشته‌اند (معادل ۱۵۷ متر، ۱۸۵ متر و  $21^\circ$  متر) که ظاهراً اراتوستن اولی را به کار برده است. ضمناً، اگر آفتاب فقط یک روز از سال به ته چاه می‌تابید، شهر سین باید در روی مدار رأس السَّرطان، یعنی روی مدار  $23^\circ$  درجه و  $3'$  دقیقه‌ی شمالی واقع باشد. حال آن‌که این شهر،  $6^\circ$  کیلومتر با آن مدار فاصله دارد و روی مدار  $24^\circ$  درجه واقع است.

### بحث کنید

با آن‌که در کار اراتوستن چند اشتباه وجود دارد، چرا کار وی را هنوز هم بسیار پرارزش می‌شماریم؟

### جمع‌آوری اطلاعات

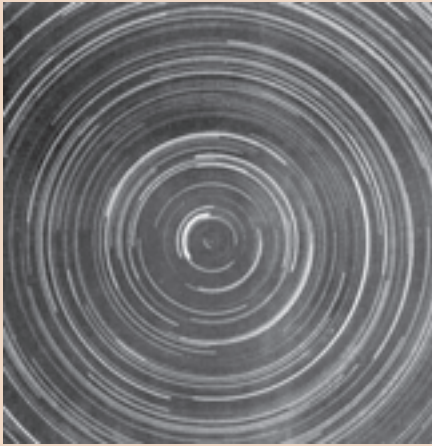
کریستف کلمب در اواخر قرن پانزدهم (۳ اوت ۱۴۹۲) از اسپانیا عازم یافتن راهی به سوی هندوستان شد، اما در بین راه، به آمریکا رسید. درباره‌ی سفرهای او تحقیق کنید. آیا این دریانورد، می‌دانست زمین کروی است یا نه؟

## اندازه‌گیری کنید

انجام آزمایش اراتوستن، در خارج از منطقه‌ی استوا هم عملی است. سعی کنید در منزل خود همین اندازه‌گیری را انجام دهید و با همان روش، محیط زمین را محاسبه کنید. راهنمایی: روز مناسب برای انجام این آزمایش، ۳۱ خرداد ماه است. ضمناً، برای این کار، به یک کره‌ی جغرافیایی دقیق نیاز دارید.

## حرکات زمین

تلاش برای درک بهتر موقعیت محیط فیزیکی با فعالیت‌های اخترشناسی آغاز شده است. مهمترین عوامل کنترل‌کننده‌ی محیطی، بر اساس دو واقعیت متکی‌اند: (۱) کروی بودن زمین و (۲) حرکت زمین به دور خود (حرکت وضعی) و به دور خورشید (حرکت انتقالی). در عصری که ماهواره‌های متعددی زمین را دور می‌زنند، دیگر تردیدی درباره‌ی شکل کروی زمین باقی نمی‌ماند، اما چرخش زمین به دور خود یا حرکت آن به دور خورشید، نیاز به اثبات دارد.



تصویر آسمان بر فراز قطب شمال

## فعالیت

اگر به کار عکاسی علاقه‌مندید، می‌توانید، در شبی که ماه در آسمان پیدا نیست، دهانه‌ی دوربین را رو به سوی ستاره‌ی قطبی (ستاره‌ای که رو به شمال زمین قرار دارد صفحه‌ی ۱۲۶) متوجه کنید و دیافراگم آن را به مدت چند ساعت باز نگه‌دارید. در آن صورت، مسیر حرکت ستاره‌ها را ثبت خواهد کرد. تصویر به دست آمده را با شکل مقابل مقایسه کنید.

## تفسیر کنید

اثبات حرکت وضعی زمین در گذشته، که ابزارهای علمی دقیقی در دست نبود، به آسانی میسر نمی‌شد. به‌ویژه که در قدیم مردم تصور می‌کردند زمین ثابت و در مرکز عالم است. اما سرانجام، یک دانشمند فیزیک‌دان فرانسوی، به نام ژان برنارد فوکو، وسیله‌ی ساده‌ای را ابداع کرد که به کمک آن، حتی افراد کم‌سواد هم قانع شدند که زمین به دور خود می‌چرخد.



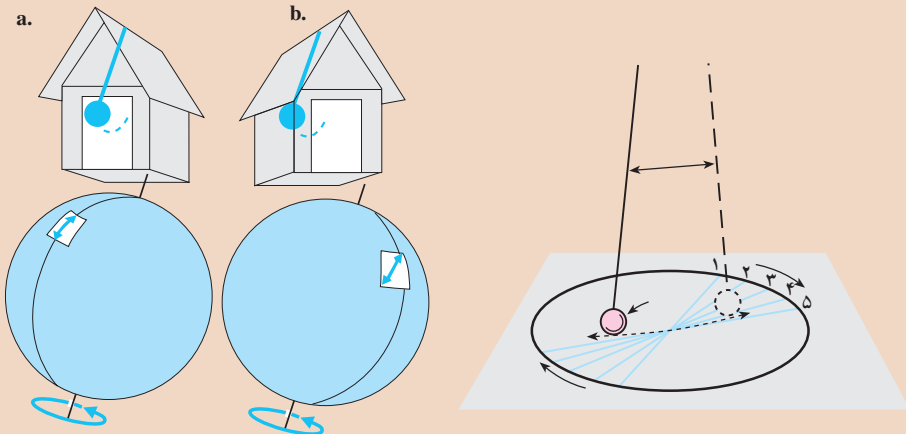
فوکو، در سال ۱۸۵۱ یک گلوله توپ سنگین را از زیر گنبد مرتفع کلیسایی در شهر پاریس آویخت. او برای این کار، از سیمی نازک به طول ۶۰ متر استفاده کرد. وقتی این جسم آونگ مانند به نوسان درآمد، مدت‌ها به رفت و آمد خود ادامه داد.

۱- شکل را تفسیر کنید و بگویید حرکت این آونگ ساده، چگونه حرکت وضعی زمین را به اثبات می‌رساند.

۲- آونگ فوکو، اگر در قطبین باشد حرکت زمین را بهتر نشان می‌دهد یا اگر در منطقه‌ی استوا باشد؟

راهنمایی: برای پاسخ دادن به این پرسش، از وضع نصف النهارها در صفحه‌ی ۱۳۳ کمک بگیرید.

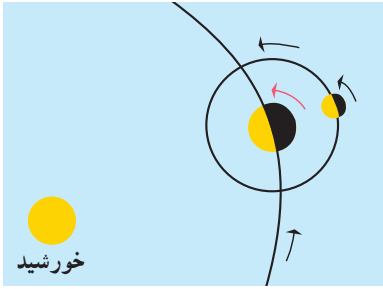
۳- آیا با آونگ فوکو، جهت چرخش زمین را هم می‌توان دریافت؟



کدامیک تغییر جهت می‌دهد، خانه یا آونگ؟

**حرکت انتقالی:** زمین، در طول سال، یک بار به دور خورشید می‌گردد. اثبات این حرکت به کمک پدیده‌ای صورت می‌گیرد که به «اثر دوپلر» معروف است. حتماً توجه کرده‌اید که وقتی قطار یا اتومبیلی به سرعت به شما نزدیک شود و در حال بوق زدن باشد، صدای بوق را زیرتر از حد طبیعی آن می‌شنوید زیرا سرعت امواج صدا و سرعت قطار به هم افزوده می‌شوند. اما هنگامی که قطار یا اتومبیل از شما دور شود، صدای بوق را بهتر می‌شنوید، زیرا عکس حالت فوق اتفاق می‌افتد.

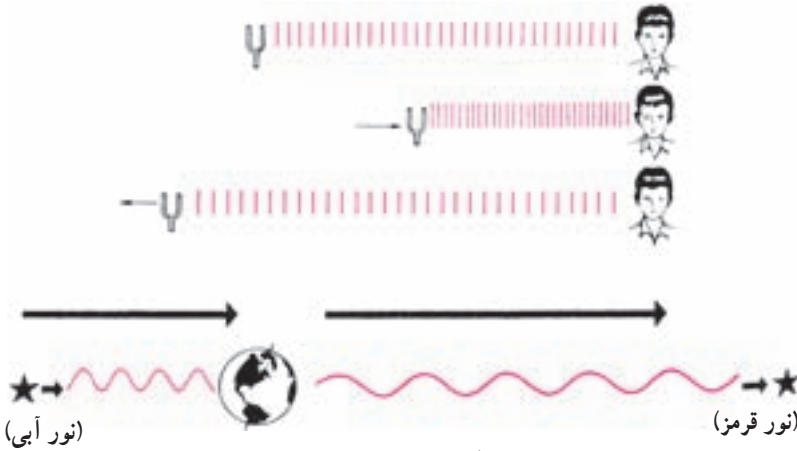
به همین ترتیب، نور ستاره‌ای که به سمت ما می‌آید، بیشتر متمایل به آبی است، در حالی که وقتی همان ستاره از ما دور شود، نورش به قرمزی می‌گراید. (البته این پدیده را فقط با دستگاه‌های طیف‌نگار می‌توان مشاهده کرد).



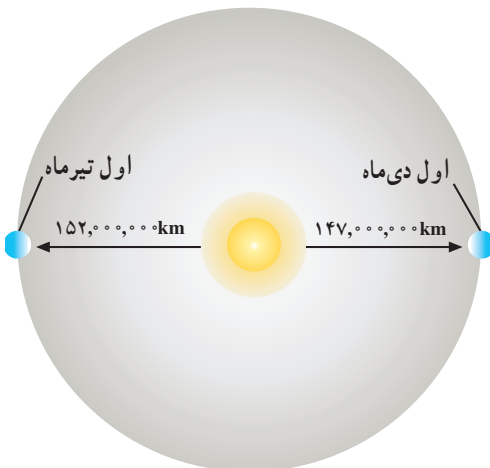
شکل ۳-۱- جهت حرکت وضعی و انتقالی زمین

فرضیه: اگر زمین به دور خورشید بگردد، باید در مدت ۶ ماه به بعضی از ستاره‌ها نزدیک و از بعضی دور شود و در ۶ ماه بعد عکس آن اتفاق بیفتد.

آزمون فرضیه: مشاهداتی که بر روی نور ستاره‌های ویژه‌ای صورت می‌گیرد، فرضیه‌ی فوق را ثابت می‌کند. طبق محاسبات ریاضی، سرعت چرخش زمین را به دور خورشید، معادل  $30^\circ$  کیلومتر در ثانیه محاسبه کرده‌اند که داشتن چنین سرعتی برای رخ دادن اثر دوپلر لازم است.



شکل ۴-۱- اثر دوپلر

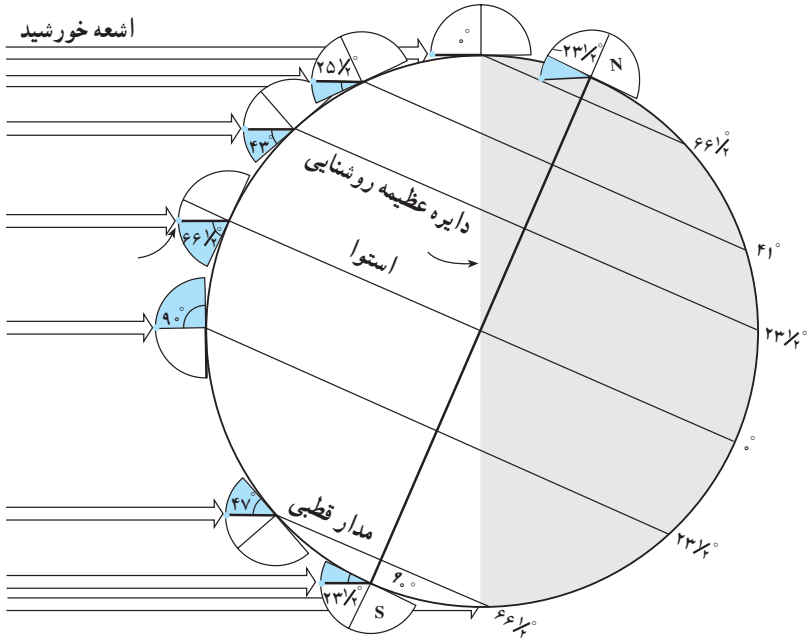


شکل ۵-۱- موقعیت زمین نسبت به خورشید ثابت نیست.

میانگین فاصله‌ی خورشید از زمین،  $150$  میلیون کیلومتر است، اما چون مدار گردش زمین به دور خورشید بیضی نزدیک به دایره است، این فاصله در مواقع مختلف سال تغییر می‌کند (شکل ۵-۱).

## انحراف محور زمین

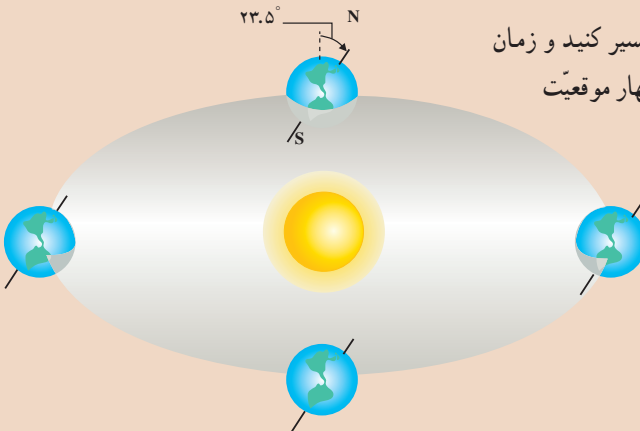
محور زمین، نسبت به خط عمود بر صفحه مدار آن به دور خورشید،  $23/5$  درجه انحراف دارد. در حالی که زمین به دور خورشید می‌چرخد، جهت محور آن تقریباً تغییری نمی‌کند. در نتیجه، در مواقع معینی از سال، قطب شمال روبه‌سوی خورشید و در مواقع دیگری دور از آن قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۱- مقدار انحراف محور زمین و تأثیر آن در مقدار زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف

## جمع‌آوری اطلاعات

شکل مقابل را تفسیر کنید و زمان تاریخ دقیق (هریک از چهار موقعیت زمین را تحقیق کنید و در کنار آن‌ها بنویسید.



- ۱- زمان‌هایی وجود دارد که در تمام نقاط زمین طول روز و شب مساوی و ۱۲ ساعت است. آن زمان‌ها با کدام شکل‌ها انطباق دارند!
- ۲- معنای انقلاب زمستانی و تابستانی و اعتدال بهاری و پاییزی را پیدا کنید.

### فکر کنید

- ۱- می‌دانید که وقتی در نیم کره‌ی شمالی تابستان باشد، در نیم کره‌ی جنوبی زمستان است. دلیل این پدیده را بیابید.
- ۲- با توجه به شکل ۶- ۱ دو دلیل برای گرمای هوا در تابستان بیاورید.
- ۳- چرا در تابستان، روزها بلند و شب‌ها کوتاه است؟
- ۴- با توجه به شکل زیر، بگویید چرا همیشه در کشور ما سایه‌ها رو به شمال تشکیل می‌شود و طول سایه‌ها و زاویه آفتاب در زمستان و تابستان تغییر می‌کند.



زاویه تابش خورشید در اوقات مختلف سال

### بیشتر بدانید

#### تغییر جهت محور

سال (شمسی) را معادل زمانی می‌گیریم که زمین یک‌بار به دور خورشید می‌گردد. متداول‌ترین راه اندازه‌گیری سال، تعیین دقیق زمانی است که بین دو اعتدال بهاری متوالی وجود دارد. این زمان را معادل ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه اندازه‌گیری کرده‌اند. اما در واقع، زمین ۲۰ دقیقه دیرتر از فاصله‌ی زمانی بین دو اعتدال بهاری یک‌بار خورشید را دور



چرخش محور زمین در هر دوره ۲۶ هزار ساله  
حالت یکنواخت ندارد.

می‌زند. این تفاوت، مربوط به تغییر جهت آرام محور زمین است. علت این تغییر جهت تأثیر نیروی جاذبه‌ی ماه، خورشید و سیارات بر زمین است. محور زمین به آرامی حول دایره‌ای می‌چرخد، و این چرخش هر ۲۶ هزار سال یک‌بار تکرار می‌شود.

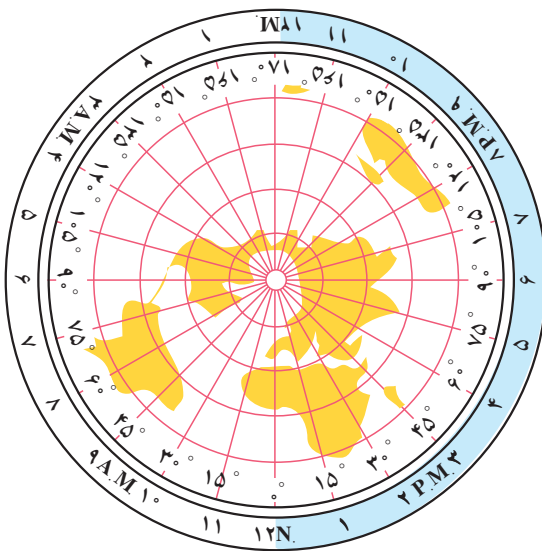
## زمان

در عصر ما که ارتباطات بسیار سریع و لحظه‌ای شده‌اند، تعیین اختلاف زمان بین نقاط مختلف زمین بسیار مهم است.

اگر خورشید را مبنای تعیین زمان حساب کنیم، ظهر، هنگامی است که خورشید به بالاترین نقطه‌ی مسیر خود در آسمان می‌رسد. اما این پدیده، حالت محلی دارد و وقتی مثلاً خورشید

در بالاترین نقطه‌ی مسیر خود برفراز شهر مشهد است، دقایقی باید طی شود تا نظیر همان حالت برای شهر تهران و سپس برای شهر تبریز پیش‌آید. به عبارت دیگر، ظهر هر محل، ویژه‌ی همان محل است. به همین دلیل، برای جلوگیری از بروز مشکلات مربوط به تعیین زمان، سطح کره‌ی زمین را به ۲۴ منطقه تقسیم کرده‌اند و برای هر منطقه، ساعت استاندارد در نظر گرفته شده است (شکل ۷-۱).

اگر محیط زمین، یعنی ۳۶۰ درجه را بر ۲۴ ساعت تقسیم کنیم، مشاهده



شکل ۷-۱- اختلاف ساعت در نقاط مختلف زمین

می‌کنیم که زمین در هر ساعت، معادل ۱۵ درجه می‌چرخد. پس، هر قسمت از مناطق ۲۴ گانه‌ی زمانی، معادل ۱۵ درجه است و زمان در هر منطقه، یک ساعت با منطقه‌ی دیگر اختلاف دارد و چون جهت چرخش زمین از غرب به شرق است، مناطق شرقی از نظر زمانی، جلوتر از مناطق غربی هستند. مثلاً فاصله‌ی زمانی تهران تا لندن، معادل ۳ ساعت و نیم است. و اگر تهران ساعت ۳/۵ بعد از ظهر باشد در لندن ساعت ۱۲ است.

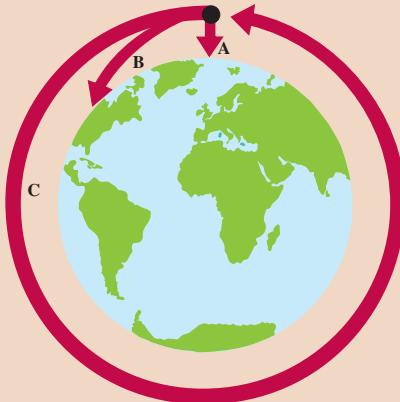
## جمع‌آوری اطلاعات

با توجه به ۲۴ منطقه‌ی زمانی، باید محلی در روی زمین وجود داشته باشد که در آنجا تفاوت زمانی با منطقه‌ی بعدی خود، یک شبانه‌روز شود. پس تاریخ را باید در آنجا یک‌روز تغییر داد. درباره‌ی خصوصیات این محل و همچنین تاریخچه‌ی تعیین ساعت استاندارد بین‌المللی (نصف‌النهار گرینویچ) اطلاعاتی را جمع‌آوری کنید و به کلاس گزارش دهید.

## بیشتر بدانید

### ماهواره‌ها

وقتی یک گلوله توپ به‌طور قائم پرتاب شود، پس از طی مسافتی، بر اثر نیروی جاذبه به سطح زمین می‌افتد. اگر سرعت پرتاب را زیاده‌تر انتخاب کنیم، گلوله توپ مسافت بیشتری را طی می‌کند. تا سرانجام نیروی جاذبه آن را به پایین بکشانند. حال اگر گلوله توپ با سرعت ۸ کیلومتر بر ثانیه پرتاب شود، و مقاومت هوا هم در بین نباشد که سرعت آن را کم کند گلوله توپ در دور زمین به چرخش درمی‌آید و در واقع، تبدیل به یک ماهواره می‌شود. امروزه ماهواره‌های زیادی را در اطراف زمین قرار داده‌اند. قطر ماهواره‌ها بین ۱۵ سانتی‌متر تا ۳۰ متر است. ماهواره‌ها را برای جمع‌آوری اطلاعات درباره‌ی وضعیت آب و هوا، ارتباطات، انتقال و تقویت امواج رادیویی



- A — مسیر گلوله توپی که فرومی‌افتد.
- B — مسیر گلوله توپی که به‌طور افقی پرتاب می‌شود.
- C — مسیر گلوله توپی که سرعت کافی دارد و در مدار زمین قرار می‌گیرد.

و تلویزیونی به کار می‌برند. ماهواره‌هایی وجود دارند که در جهت‌یابی کمک زیادی به خلبانان هواپیماها و ناخداهای کشتی‌ها می‌کنند. حتی امروزه، ماهواره‌های علمی و دارای تلسکوپ هم به مدار زمین فرستاده شده‌اند که بررسی‌هایی را در باره‌ی کرات آسمانی انجام می‌دهند.

ماهواره‌ها را به کمک موشک‌های پرقدرت به فضا می‌فرستند و آن‌ها را با رایانه کنترل می‌کنند تا در مدار و ارتفاع معین قرار بگیرند. در این هنگام، موشک از ماهواره جدا می‌شود. گاهی نیز موشک کوچکی در خود ماهواره وجود دارد که سرعت اضافی و لازم را به آن می‌دهد. نیروی جاذبه‌ی زمین، ماهواره‌ها را به سوی آن می‌کشاند، پس ارتفاع ماهواره، مقدار سرعت حرکت آن را تعیین می‌کند. در ارتفاعات بالا، مقاومت هوا هم تقریباً وجود ندارد.

در ارتفاع ۳۶۱۰۰ کیلومتری، ماهواره هر ۲۴ ساعت یک‌بار زمین را دور می‌زند. پس اگر ماهواره‌ای در بالای خط استوا قرار گیرد و با این سرعت در جهت حرکت زمین پیش برود، در واقع مانند آن است که ماهواره در بالای یک نقطه‌ی معین از زمین قرار دارد و جای آن ثابت است. ماهواره‌های ارتباطات را به همین شکل وارد عمل می‌کنند.

ماهواره‌ای هم که در مسیر عمود بر استوا، یعنی رو به قطبین مستقر شود، از بالای دو قطب عبور می‌کند و چون زمین در چرخش است، چنین ماهواره‌ای از فراز نقاط مختلف زمین می‌گذرد و پس از تعداد معین گردش، همه‌ی قسمت‌های زمین را می‌بیند. چنین ماهواره‌هایی برای کارهای هواشناسی بسیار مناسبند. ماهواره‌ها اطلاعات جدیدی را در اختیار دانشمندان نهاده‌اند. یک مجموعه ماهواره به نام لندست (Landsat) وجود دارد که در مسیر قطبین گردش می‌کنند. در این ماهواره‌ها، دوربین‌های تلویزیونی و دستگاه‌های دقیق الکترونیکی وجود دارد که از چهره‌ی زمین تصویربرداری می‌کنند. چنین تصویرهایی برای تشخیص مراکز پرجمعیت زمین، پوشش‌های گیاهی و غیره کارآیی دارند.



نمونه‌ای از تصویرهای تهیه شده توسط لندست

## بیشتر بدانید

### اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین به وسیله‌ی ابوریحان بیرونی

ابوریحان بیرونی (۳۶۲ - ۴۴۲ هجری قمری، ۹۷۳ - ۱۰۵۰ میلادی)، دانشمند، منجم بزرگ ایرانی و مؤسس علم زمین‌پیمایی (ژئودزی)<sup>۱</sup> در بین سال‌های ۱۰۲۴ تا ۱۰۳۹ شعاع کره‌ی زمین را با روش زیر محاسبه کرد:

بیرونی زاویه‌ی  $\alpha$  را از انحنای افق<sup>۲</sup> بر قلّه‌ی کوهی به وسیله‌ی یک اسطرلاب<sup>۳</sup> رصد کرد و از این راه مقدار انحنای شعاع را ۳۴ دقیقه به دست آورد. او ارتفاع کوه را  $۶۵۲/۰۶$  ذراع<sup>۴</sup> (یک ذراع =  $۴۹/۳$  سانتیمتر) یا  $۳۲۱/۴۶$  متر محاسبه کرد.

بیرونی مطابق با فرمول زیر، شعاع کره‌ی زمین را محاسبه و اندازه‌ی آن را معادل  $۶۳۴۰$  کیلومتر به دست آورد. بنابر محاسبات امروزی، سطح زمین بیش از  $۱۵۰$  میلیون کیلومتر مربع، حجم آن در حدود  $۱۱۰۰$  میلیون کیلومتر مکعب، شعاع آن  $۶۳۷۱$  کیلومتر، شعاع قطبی  $۶۳۵۷$  کیلومتر و شعاع استوایی آن  $۶۳۷۸$  کیلومتر می‌باشد.

$$\cos \alpha = \frac{R}{R + H} \quad R = H \frac{\cos \alpha}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}$$

۱- دانشی که موضوعش اندازه‌گیری سطح یا بخشی از سطح زمین و تعیین حجم و چگالی آن و هم چنین نقشه‌برداری از بخش وسیعی از زمین با توجه به منحنی بودن آن است.

۲- خطی را که امتداد آن زمین و آسمان به هم می‌رسند، افق مرئی یا ظاهری نامیده می‌شود: در اصطلاح نجوم صفحه‌ای را که چشم شخص از سطح زمین بر امتداد قائم محل عمود باشد، افق حسی نامیده می‌شود؛ فروافتادگی افق مرئی نسبت به افق حسی را، انحنای افق خوانند.

۳- یک دستگاه نجومی قدیمی است که برای اندازه‌گیری موقعیت اجرام سماوی، روی کره‌ی سماوی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس اسطرلاب‌های معمولی مبتنی بر تصویر کره بر سطح مستوی است. ساختمان آن به صورت قرصی است فلزی به قطر  $۱۰$  تا  $۲۰$  سانتی‌متر و قابل حمل که پشت آن بخشی دور محور خود می‌چرخد.

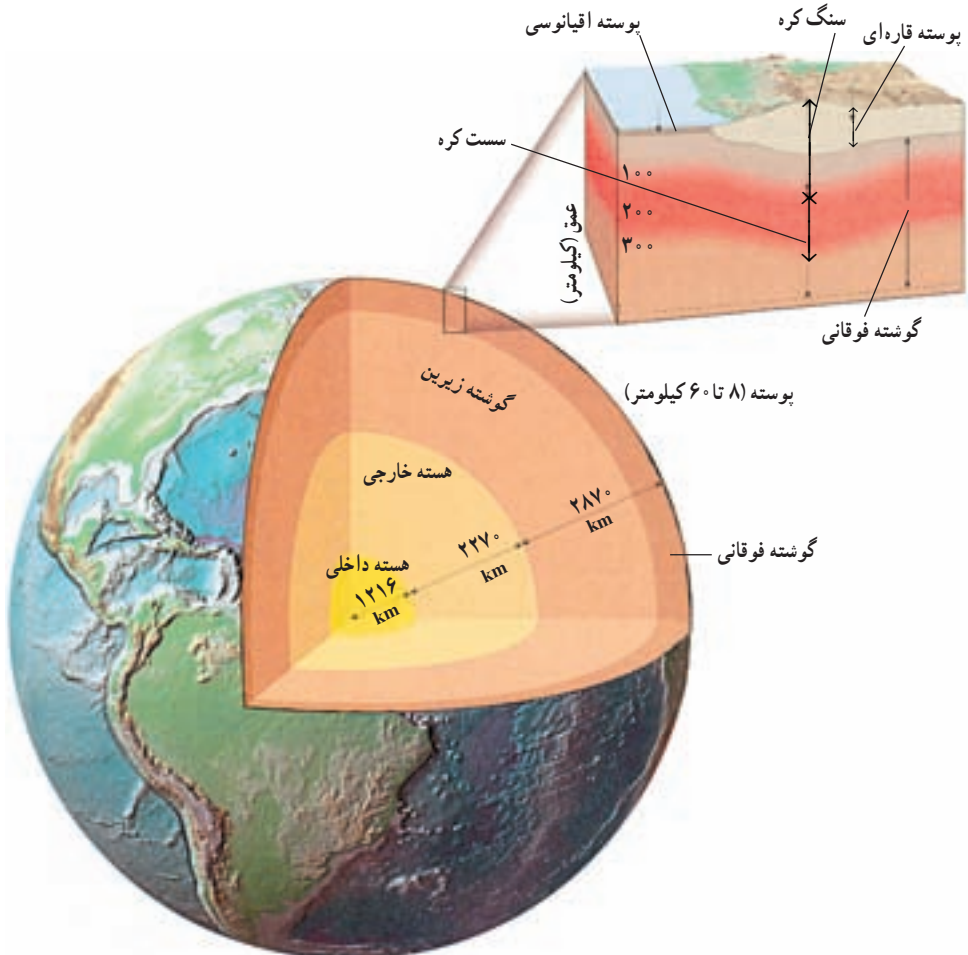
۴- نام چندین واحد قدیم برای طول، که جملگی مبتنی بر فاصله‌ی آرنج تا نوک انگشت وسطی بوده است.

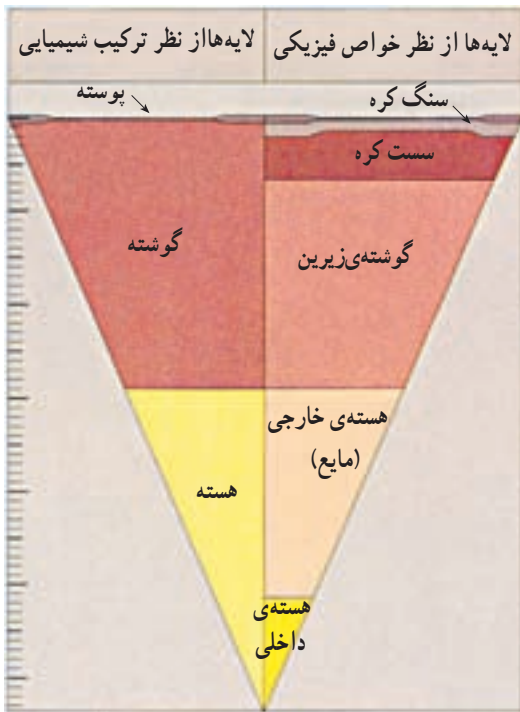


# ساختمان درونی زمین

## ۲

زمینی که بر روی آن زندگی می‌کنیم، شکلی کروی دارد. شعاع متوسط این کره حدود ۶۳۶۸ کیلومتر و چگالی نسبی آن ۵/۵ است. از نظر ساختمانی، زمین حالت لایه‌لایه دارد و هر لایه، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت است.





شکل ۲-۲- تقسیم‌بندی لایه‌های زمین از نظر خواص فیزیکی و خواص شیمیایی

برای مطالعه بر روی لایه‌های زمین از مشاهدات و اطلاعات گوناگون استفاده می‌شود. بخش‌های سطحی بیشتر با نمونه‌برداری مستقیم و مطالعات آزمایشگاهی بر روی سنگ‌ها و ماگماها مورد مطالعه قرار می‌گیرند. اما جز بخش‌های سطحی، دسترسی مستقیم به قسمت اعظم درون زمین امکان‌پذیر نیست. با این همه، زمین‌شناسان تقریباً با نوعی اطمینان از ترکیب و خصوصیات درونی زمین، بحث می‌کنند.

بسیاری از اطلاعات زمین‌شناسان به‌طور غیرمستقیم به‌دست آمده است. با توجه به اطلاعات حاصل از مطالعه‌ی شهاب‌سنگ‌ها و ستارگان می‌توان تا اندازه‌ای به ترکیب کلی زمین پی برد.

اندازه‌گیری برخی از خصوصیات فیزیکی زمین (جرم، چگالی، گرانی و ...) و مطالعاتی درباره‌ی میدان مغناطیسی، ماهیت مواد سازنده‌ی درونی زمین را آشکارتر می‌کند.

مطالعه در باره‌ی ساختمان درونی زمین بیش‌تر به کمک امواج حاصل از زلزله یا انفجارهای مصنوعی میسر می‌شود. این امواج، همچون امواج نوری، وقتی از محیطی وارد محیطی دیگر با جنس یا چگالی متفاوت می‌شوند، شکسته شده و تغییر سرعت می‌دهند. با مطالعه بر روی این امواج، کره‌ی زمین را به سه لایه‌ی پوسته، گوشته (جبه) و هسته تقسیم کرده‌اند.

### ترکیب شیمیایی زمین

برای مطالعه‌ی ماهیت درونی زمین از اطلاعات گوناگونی که با نمونه‌برداری‌های مستقیم و یا روش‌های غیرمستقیم به‌دست می‌آید، استفاده می‌کنند.

الف - نمونه‌برداری مستقیم: تجزیه‌ی شیمیایی انواع مختلف سنگ‌های آذرین، دگرگونی

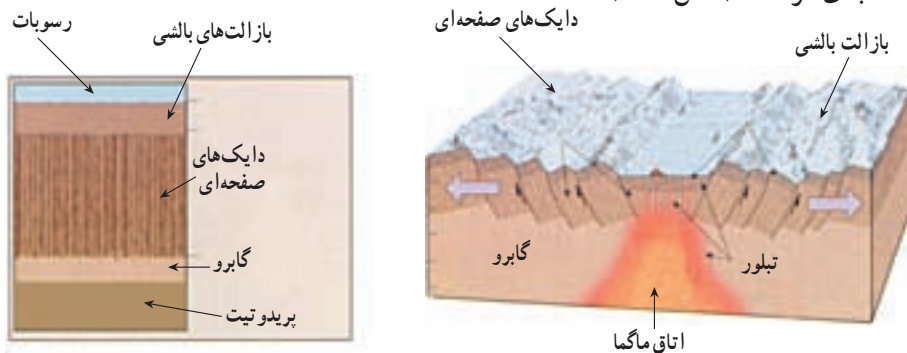
جدول ۱-۲- ترکیب پوسته‌ی زمین (درصد وزنی)

اکسیدها	پوسته‌ی قاره‌ای	پوسته‌ی اقیانوسی
SiO <sub>۲</sub>	۵۹/۲	۴۸/۰
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۱۵/۴	۱۵/۲
FeO	۷/۵	۱۰/۷
MgO	۴/۳	۷/۷
CaO	۶/۰	۱۲/۲
K <sub>۲</sub> O	۲/۶	۰/۶
Na <sub>۲</sub> O	۲/۸	۲/۶
TiO <sub>۲</sub>	۱/۰	۲/۲

و رسوبی سطح زمین یا نمونه‌های به‌دست آمده از حفاری‌ها می‌تواند تا حدودی نوع مواد سازنده‌ی پوسته‌ی زمین را مشخص کند (جدول ۱-۲).

بر اثر فعالیت‌های آتش‌فشانی نیز نمونه‌هایی از بخش‌های عمیق‌تر پوسته و بخش‌های بالایی گوشته در زیر قاره‌ها به سطح زمین رسیده است. گاهی همراه مواد مذاب قطعات ذوب نشده و جامدی از قسمت‌های زیرین پوسته یا گوشته که میانبار نامیده می‌شوند، به سطح زمین

می‌رسند. میانبارها شواهد باارزشی از چگونگی ترکیب شیمیایی اعماق پوسته و گوشته‌ی فوقانی را به‌دست می‌دهند. در هر حال میانبارها نمی‌توانند از اعماقی پایین‌تر از ناحیه‌ی خاستگاه ماگمایی که حاوی آن‌هاست، بالا آمده باشند. به‌طور مثال سنگ‌های الترابازیک (فوق بازی) حاوی الماس موسوم به کیمبرلیت گواه خوبی بر عمیق‌ترین خاستگاه ماگماها هستند. این سنگ‌ها از اعماق تقریباً ۲۰۰ کیلومتری زمین بالا آمده و به صورت تنوره‌های آتش‌فشانی در قاره‌ها یافت می‌شوند. نمونه‌هایی از پوسته و گوشته‌ی فوقانی زیر اقیانوس‌ها در سنگ‌هایی موسوم به اُفیولیت به‌دست آمده است. اُفیولیت‌ها مجموعه‌ای از سنگ‌های لایه‌لایه به ضخامت حدود ۵۰۰۰ متر است که ترکیب آن را معادل پوسته‌ی اقیانوسی می‌دانند که در برخی نقاط در خشکی‌ها از جمله در کشور ما دیده می‌شوند. گفته می‌شود، در چنین نقاطی ورقه‌های سنگ کره به یکدیگر برخورد کرده‌اند و در قاره‌ها جای گرفته‌اند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- مجموعه‌ی اُفیولیتی

## فکر کنید

اُفولیت‌ها به عنوان نمونه‌هایی از گوشته‌ی فوقانی معمولاً به سرعت هوازده می‌شوند. آیا می‌توانید علت را بیابید؟

## بیشتر بدانید

### عمیق‌ترین چاه جهان

در سال ۱۹۷۰ دانشمندان اتحاد جماهیر شوروی تصمیم گرفتند، عمیق‌ترین چاه جهان را حفر کنند و اطلاعاتی از درون زمین به دست آورند. آن‌ها برای این منظور شبه‌جزیره‌ی کولا در شمال شوروی در منطقه‌ای یخ‌زده را انتخاب کردند.

حفر این چاه پس از ۱۵ سال در عمق کمی بیشتر از ۱۲ کیلومتر، به علت کمبود بودجه و سختی شرایط کار، متوقف شد. ما در این جا نمی‌خواهیم دست‌آوردهای علمی حفر این چاه را بازگو کنیم، اما شما را با پاره‌ای از مشکلات حفر آن آشنا می‌سازیم:

– در آخرین مراحل حفر چاه، جرم لوله حفاری به ۹۰۰ تن رسید. برای تعویض سرمته‌های فرسوده یا بیرون آوردن مغزه (نمونه‌ی سنگ‌ها) تمامی میله‌ها بار به سطح زمین آورده شد و دوباره به ته چاه پایین فرستاده شد.

– دما در پایین‌ترین نقاط چاه به ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسید. علاوه بر این گرمای ناشی از چرخش سرمته هم به آن اضافه می‌شد.

– فشار در اعماق چاه بالغ بر ۲۰۰۰ اتمسفر بود، به همین علت سنگ‌های داخل مغزه‌ی حفاری بعد از این که فشار از روی آن‌ها برداشته می‌شد، منفجر می‌شدند.

– با تمام تلاش‌هایی که صورت گرفت در عمق ۱۰۵۰۰ متری سرمته‌ی حفاری ۸۴۰ متر از راستای شاقولی دهانه‌ی چاه منحرف شده بود.

با توجه به ترکیب ماگماهایی که از گوشته‌ی فوقانی منشأ گرفته‌اند، همراه با بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی فرایند ذوب و تبلور سنگ‌های مختلف، می‌توان در مورد ترکیب گوشته‌ی فوقانی نتیجه‌گیری‌های بیشتری کرد.

ب – روش‌های غیر مستقیم: با مطالعه‌ی سنگ‌های آورده شده از ماه، نیز شهاب‌سنگ‌هایی که به زمین برخورد می‌کنند و گمان می‌رود باقی‌مانده‌ی یک سیاره‌ی قدیمی باشند و همچنین مطالعه‌ی خورشید و سایر ستارگان، تا حدودی می‌توان ترکیب شیمیایی مواد سازنده‌ی جهان را به دست آورد. و از این طریق در مورد ترکیب کلی زمین نیز نتیجه‌گیری کرد.

ترکیب شیمیایی ستارگان را می‌توان با بررسی طیف آنها تشخیص داد. طول موج‌های مختلف

جدول ۲-۲ - ترکیب میانگین تقریبی کل زمین و مقایسه‌ی آن با پوسته (درصد وزنی)

پوسته	کل زمین	عنصر
۵/۰	۳۳/۳	آهن (Fe)
۴۶/۶	۲۹/۸	اکسیژن (O)
۲۷/۷	۱۵/۶	سیلیسیم (Si)
۲/۱	۱۳/۹	منیزیم (Mg)
۰/۰۱	۲/۰	نیکل (Ni)
۳/۶	۱/۸	کلسیم (Ca)
۸/۱	۱/۵	آلومینیم (Al)
۲/۸	۰/۲	سدیم (Na)

نور نشان‌دهنده‌ی عناصر مختلف است. اکثر ستارگان، حداقل از نظر دربرداشتن عناصر اصلی کاملاً مشابه‌اند و ۹۰ درصد آن‌ها نیز از نظر ترکیب شبیه خورشیدند. بنابراین با تجزیه‌ی طیف نور خورشید می‌توان ترکیب شیمیایی اکثر ستارگان و در واقع قسمت اعظم جرم جهان را تخمین زد. البته تشخیص و تعیین عناصر نادر مشکل است، ولی چون ترکیب عناصر اصلی خورشید (به جز گازها) به‌طور قابل ملاحظه‌ای شبیه به شهاب‌سنگ‌های اولیه است، مقادیر نسبی عناصر نادر در این شهاب‌سنگ‌ها را می‌توان برای برآورد عناصر نادر در بقیه‌ی منظومه‌ی شمسی و شاید جهان به کار گرفت. به‌رحال با مطالعاتی از این نوع ترکیب شیمیایی کلی زمین معلوم شده است (جدول ۲-۲).

امواج حاصل از زلزله‌ها می‌توانند بیش‌ترین اطلاعات را برای شناسایی ضخامت، حالت (مایع یا جامد)، چگالی و حتی جنس لایه‌های درون زمین در اختیار زمین‌شناسان قرار دهند. وقتی زمین‌لرزه‌ای رخ می‌دهد، بخشی از انرژی آزاد شده از منبع انرژی (کانون زلزله) به شکل امواج لرزه‌ای و با سرعت معینی که به خواص فیزیکی محیط بستگی دارد، در تمام جهات منتشر می‌شود. دانشمندان علوم زمین با مطالعه‌ی مسیر حرکت امواج لرزه‌ای و سرعت سیر آن‌ها در درون زمین، در مورد بعضی خواص فیزیکی مواد در اعماق زمین و ساختمان درونی آن نتیجه‌گیری می‌کنند. پس از وقوع زمین‌لرزه دو نوع موج درونی و سطحی تولید می‌شود. امواج درونی خود از دو نوع اند: **موج طولی** یا P و **موج عرضی** یا S که این امواج در مطالعه‌ی داخل زمین بیش‌ترین کمک را به دانشمندان می‌کنند.

سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها به چگالی و کشسانی (الاستیسیته) آن‌ها بستگی دارد (کشسانی، خاصیتی است که بر اثر آن وقتی یک ماده‌ی جامد تحت تأثیر نیروهای مخالف قرار می‌گیرد تغییر شکل و اندازه می‌دهد ولی با از بین رفتن نیرو به حالت اول برمی‌گردد). امواج لرزه‌ای درونی درست مانند امواج نوری، ممکن است ضمن انتشار، منعکس یا منکسر شوند. امواج لرزه‌ای در اثر برخورد با سطوح بسیاری در درون زمین، مثل سطح بین هسته و گوشته (انفصال گوتنبرگ) یا گوشته و پوسته (انفصال موهو) می‌توانند منعکس شوند. انکسار نیز زمانی رخ می‌دهد که سرعت امواج لرزه‌ای در محیط انتقال‌دهنده‌ی آنها تغییر کند.

## خصوصیات و ترکیب پوسته

پوسته قشر نسبتاً نازکی در سطح یا بالاترین لایه‌های کوهی زمین است. ضخامت متوسط پوسته متفاوت و در قاره‌ها بین ۲۰ تا ۶۰ کیلومتر و در اقیانوس‌ها بین ۸ تا ۱۲ کیلومتر است. مرز بین پوسته و گوشته به نام کسی که اول بار آن را در سال ۱۹۱۰ تشخیص داد انفصال موهوروویچ یا به اختصار موهو نامیده می‌شود.

بر اساس مطالعات لرزه‌شناسی می‌توان ضخامت و ترکیب شیمیایی احتمالی پوسته را در هر نقطه تعیین کرد. ضخامت پوسته از جایی به جای دیگر فرق می‌کند، ولی به‌طور کلی در زیر رشته‌کوه‌های قاره‌ها حداکثر مقدار خود را دارد. ضخامت پوسته در دشت‌ها کمتر است و در فلات قاره از آن هم کمتر می‌شود. نازک‌ترین بخش پوسته را در اقیانوس‌ها، مخصوصاً در نزدیکی محور رشته‌کوه‌های اقیانوسی، می‌توان مشاهده کرد (شکل ۱۲-۳).

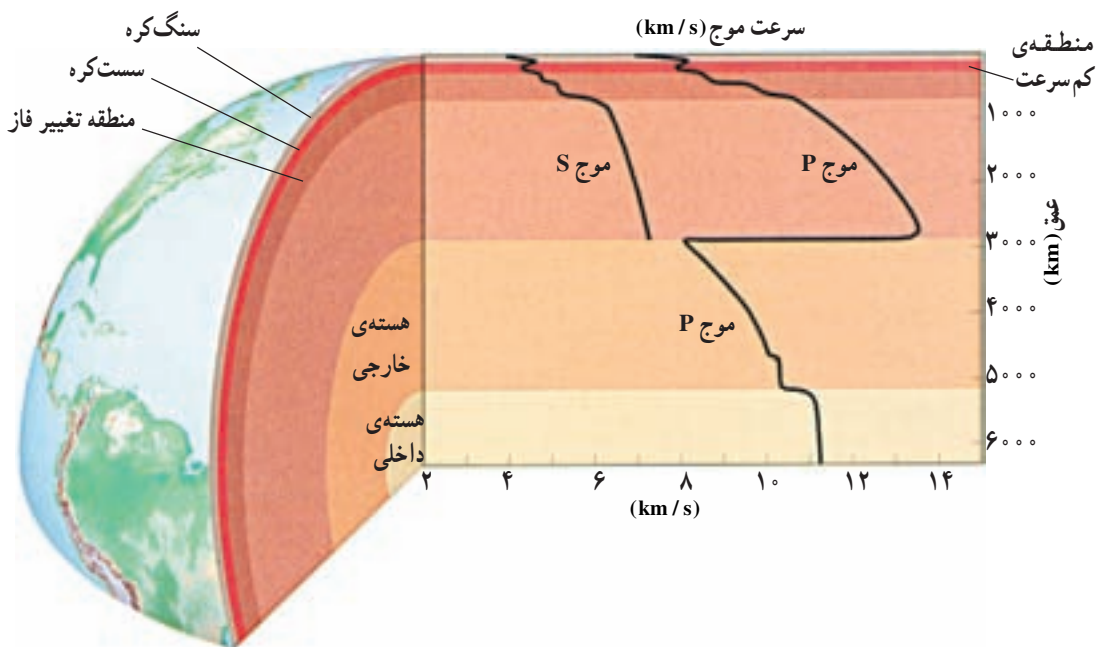
ترکیب شیمیایی پوسته در قاره‌ها با ترکیب آن در اقیانوس‌ها متفاوت است. ترکیب شیمیایی متوسط پوسته‌ی قاره‌ای مشابه ترکیب آندزیت است. بخش‌های رویی پوسته غنی از سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) و آلومین ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) است.

چگالی سنگ‌های قاره‌ای  $2/8 \text{ g/cm}^3$  است و سن قدیمی‌ترین آن‌ها به  $3/8$  میلیارد سال هم می‌رسد. اما چگالی سنگ‌های پوسته‌ی اقیانوسی حدود  $3 \text{ g/cm}^3$  است. پوسته‌ی اقیانوسی، اساساً از دو بخش رسوبی (نازک) و بازالتی تشکیل شده است.

## خصوصیات و ترکیب گوشته

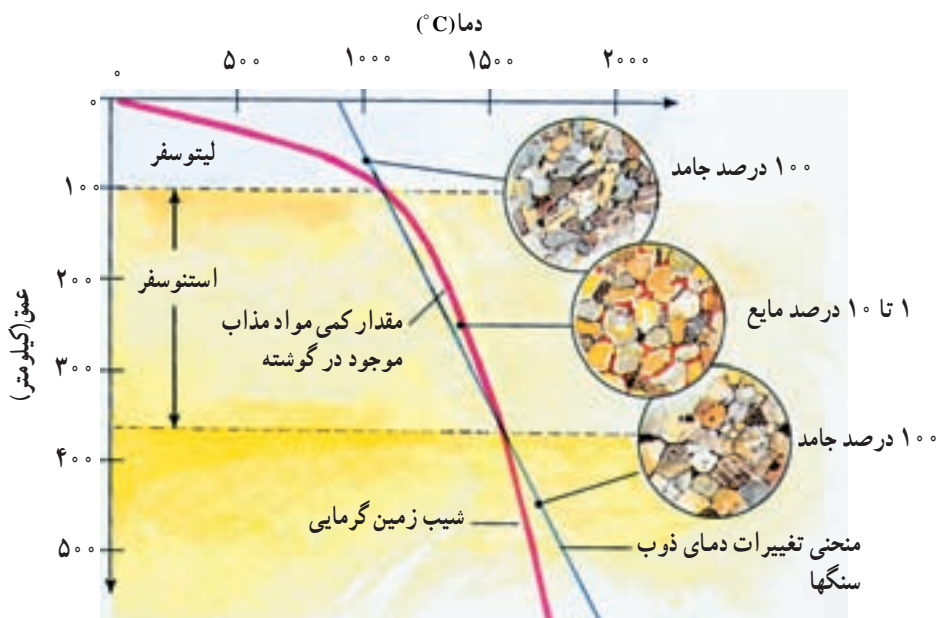
گوشته در زیر پوسته قرار دارد و تا عمق  $2900$  کیلومتری ادامه دارد. دامنه‌ی چگالی گوشته از  $3/3$  گرم بر سانتی‌متر مکعب در نزدیکی پوسته تا  $5/5$  گرم بر سانتی‌متر مکعب در نزدیک هسته تغییر می‌کند. سرعت امواج P در پوسته بین ۶ تا ۷ کیلومتر بر ثانیه تغییر می‌کند ولی در زیر مرز موهو به بیش از ۸ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد. تجربیات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در سنگ‌های غنی از کانی‌های الیوین و پیروکسن مثل پریدوتیت، سرعت امواج لرزه‌ای بیش از ۸ کیلومتر بر ثانیه است. بنابراین تصور می‌شود که این کانی‌ها باید جزء کانی‌های اصلی گوشته باشند. این نتیجه با اطلاعاتی که از راه‌های دیگر درباره‌ی ترکیب گوشته به دست آمده سازگار است.

سرعت امواج P و S در نواحی مختلف گوشته بی‌نظمی‌هایی نشان می‌دهد (شکل ۴-۲). اولین تغییر مهم در عمق حدود  $70$  تا  $100$  کیلومتری شروع می‌شود. یعنی از قاعده‌ی پوسته تا عمق حدود



شکل ۴-۲ تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای نسبت به عمق. تغییرات ناگهانی در مرز پوسته - گوشته، در بخش‌های فوقانی گوشته و در مرز گوشته - هسته روی می‌دهد.

۱۰۰ کیلومتر، سرعت به تدریج از حدود ۸ به ۸/۳ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد. مطالعات نشان می‌دهد که این قسمت سخت و سنگی است. این بخش از گوشته را به همراه پوسته سنگ کره (لیتوسفر) می‌گویند، در زیر لیتوسفر سرعت امواج زلزله شروع به افت می‌کند و کم کم به زیر ۸ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد و تا عمق حدود ۳۵۰ کیلومتر در حد کم باقی می‌ماند. این منطقه را اصطلاحاً «لایه‌ی کم سرعت» می‌گویند. مواد این قسمت به نقطه‌ی ذوب خود نزدیک هستند و از این رو تا حدی سختی خود را از دست داده و نرم شده‌اند و به همین علت به آن سست کره (استنوسفر) هم گویند. شواهدی که نشان‌دهنده‌ی تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در لایه‌ی کم سرعت باشد وجود ندارد. یک توضیح احتمالی برای وجود لایه‌ی کم سرعت آن است که در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر درجه زمین گرمایی به دمای شروع ذوب سنگ‌های گوشته نزدیک می‌شود (شکل ۵-۲). در نتیجه سنگ‌ها از حالت جامد و سخت فاصله می‌گیرند و به حالت خمیرسان نزدیک می‌شوند. به هر حال، مقدار مواد مذاب (اگر وجود داشته باشد) باید خیلی کم باشد؛ چون لایه‌ی کم سرعت موج S را عبور می‌دهد، در حالی که این موج نمی‌تواند از مایعات عبور کند. بنابراین می‌توان گفت سنگ‌ها در منطقه‌ی کم سرعت به صورت جامد ولی خیلی نزدیک به ذوب باقی می‌مانند.



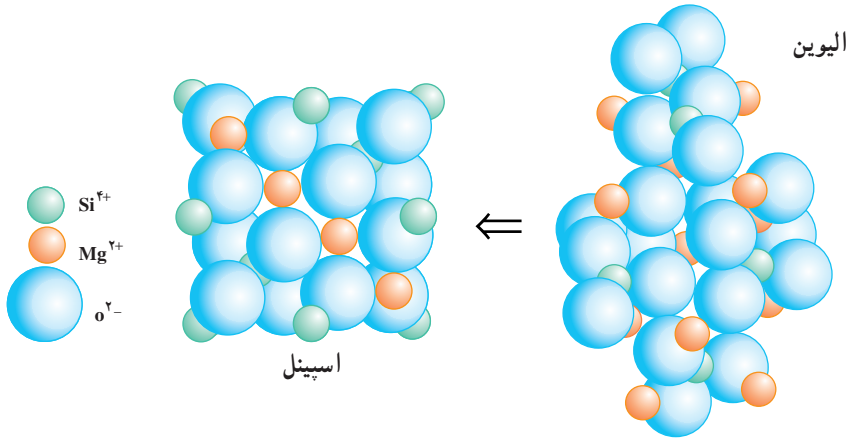
شکل ۲-۵ - بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی می‌توان منطقه کم سرعت را چنین توضیح داد. وقتی منحنی شروع ذوب سنگ‌های گوشته، منحنی زمین‌گرمایی را قطع می‌کند، مقدار کمی ماده‌ی مذاب تولید می‌شود. این مقدار کم ماده مذاب باعث تغییر خواص پلاستیک سنگ‌ها و تشکیل لایه‌ی کم سرعت می‌شود.

لایه‌ی کم سرعت اهمیت زیادی در توجیه نظریه‌ی زمین‌ساخت ورق‌ی (فصل ۳) دارد. زیرا در این نظریه، ورقه‌های تکتونیکی باید بتوانند بر روی یک منطقه‌ی تقریباً پلاستیک بلغزند. به‌علاوه چنان‌که می‌دانیم ماگمای بازالتی نیز بر اثر ذوب بخشی سنگ‌ها در گوشته‌ی فوقانی از اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر منشأ می‌گیرد.

باتوجه به شکل (۲-۴) می‌بینیم که در اعماق حدود ۴۰۰ تا ۶۷۰ کیلومتر نیز افزایش نسبتاً تندی در سرعت امواج دیده می‌شود. براساس مطالعات آزمایشگاهی این تغییرات سرعت را ناشی از تغییر فاز (تغییرات در کانی‌شناسی یا ساختمان بلورین بدون آن‌که لزوماً تغییر در ترکیب ایجاد شود) می‌دانند (شکل ۲-۶).

در زیر عمق ۶۷۰ کیلومتر فشردگی موجب می‌شود که سرعت امواج لرزه‌ای به آهستگی و به‌طور تقریباً منظم تا مرز گوشته - هسته افزایش یابد. در این قسمت سنگ‌ها چگال و بسیار الاستیک‌اند. به‌هرحال ماهیت این لایه خیلی کم‌تر از لایه‌های فوقانی شناخته شده است.





شکل ۶-۲- در داخل گوشته، با افزایش فشار کانی‌ها به شکل فشرده‌تری درمی‌آیند. به‌طور مثال کانی الیوین در گوشته ساختمان اسپینل را به خود می‌گیرد.

### خصوصیات و ترکیب هسته

هسته از زیر گوشته تا مرکز زمین ادامه دارد. امواج P و S به شدت تحت تأثیر مرزی که در عمق  $2900$  کیلومتری زمین است قرار می‌گیرند. در این عمق از سرعت موج P شدیداً کاسته شده و موج S حذف می‌شود. مرز بین گوشته و هسته در این عمق قرار دارد.

امواج P می‌توانند از درون جامدات و مایعات عبور کنند. بنابراین می‌توانند از سنگ‌ها و نیز ماگما و دیگر سیالات بگذرند، گرچه سرعت آن‌ها در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند. در عوض، امواج S نمی‌توانند از سیالات عبور کنند.

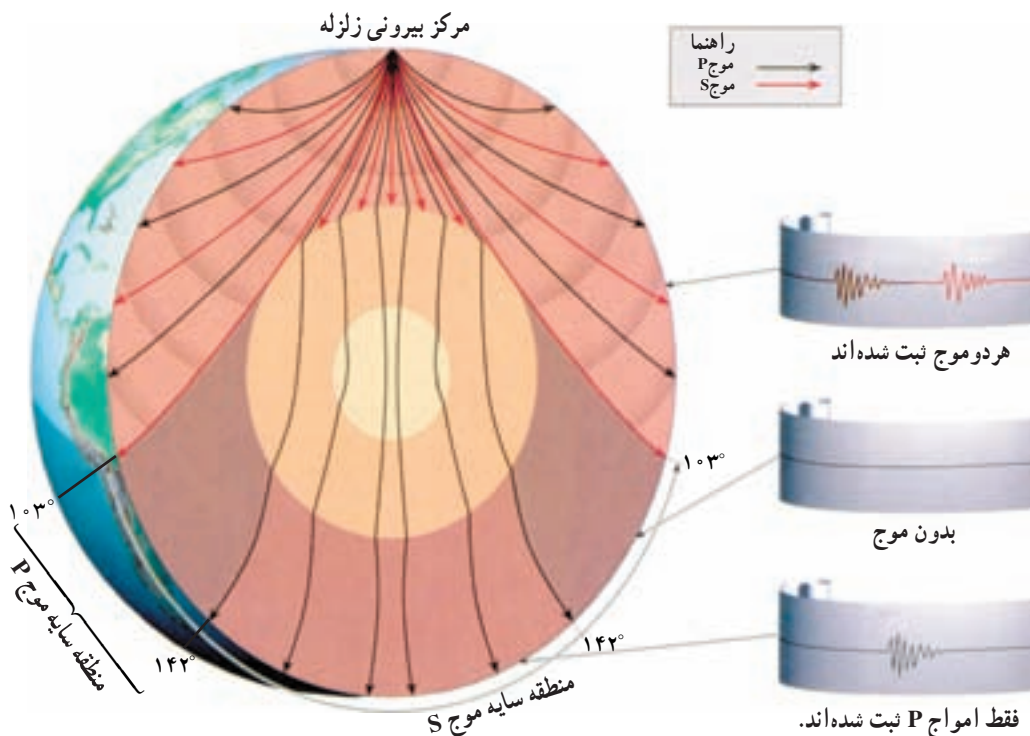
وقتی زمین لرزه‌ی بزرگی روی می‌دهد، در فاصله‌ی بیش از  $30^\circ$  درجه از مرکز سطحی زلزله، امواج S مستقیماً قابل دریافت نیستند. به عبارت دیگر یک «منطقه‌ی سایه» برای موج S از حدود  $30^\circ$  درجه به بعد در آن سوی زمین ایجاد می‌شود (شکل ۷-۲). بنابراین باید گفت که یک توده‌ی سیال در درون زمین راه عبور امواج S را می‌بندد. این توده‌ی سیال، هسته‌ی خارجی مایع زمین است. اندازه‌ی هسته‌ی خارجی باتوجه به وسعت منطقه‌ی سایه معلوم شده است. هسته‌ی خارجی یک منطقه‌ی سایه‌ی حلقه‌مانند برای موج P نیز ایجاد می‌کند (شکل ۷-۲). منطقه‌ی سایه در نواری حدود  $30^\circ$  تا  $142^\circ$  درجه نسبت به مرکز سطحی زلزله گسترده است. منطقه‌ی سایه‌ی موج P ناشی از شکست امواج P در مرز گوشته- هسته است.

چنان‌که گفتیم امواج لرزه‌ای می‌توانند در مرزهای بین لایه‌های با خصوصیات لرزه‌ای متفاوت منعکس شوند. به این ترتیب است که وجود هسته‌ی داخلی مشخص شده است، بخشی از امواج P در اثر برخورد با مرز بین هسته‌ی داخلی و خارجی منعکس می‌شود و از آنجا که سرعت‌ها در گوشته

و هسته‌ی خارجی معلوم است، با محاسبه‌ی زمان‌های سیر امواج P منعکس شده از هسته‌ی داخلی می‌توان عمق این هسته را برآورد نمود.

سرعت موج P در هسته‌ی داخلی خیلی بیشتر از هسته‌ی خارجی است. از این مطلب نتیجه‌گیری می‌شود که هسته‌ی داخلی زمین باید جامد باشد. تصور نمی‌شود که دما در عمیق‌ترین بخش درونی زمین به همان نسبت که عمق خیلی افزایش می‌یابد زیاد شود، ولی فشار به سوی مرکز زمین به تدریج زیاد می‌شود و در مرکز زمین به حداکثر می‌رسد. به این جهت حتی اگر ترکیب هسته‌ی داخلی و خارجی یکسان باشد، هسته‌ی داخلی به علت فشارهای زیاد می‌تواند به صورت جامد باشد، در حالی که هسته‌ی خارجی مایع است.

با مقایسه‌ی نتایج حاصل از تجربیات آزمایشگاهی بر روی مواد مختلف تحت فشارهای فوق‌العاده زیاد، با نتایج اندازه‌گیری‌های سرعت امواج لرزه‌ای در هسته، تصور می‌شود که هسته‌ی زمین عمدتاً مخلوطی از آهن و نیکل همراه با مقدار کمی عناصر دیگر باشد. در هر صورت بعید به نظر می‌رسد که هسته متشکل از سیلیکات‌ها باشد. یکی دیگر از دلایلی که وجود آهن و نیکل را در هسته تأیید می‌کند ترکیب شهاب‌سنگ‌هاست. گمان می‌رود که منشأ شهاب‌سنگ‌های آهنی، هسته‌ی یک سیاره‌ی قدیمی



شکل ۷-۲- مسیر عبور امواج P و S در داخل زمین. شکل را تفسیر کنید.

باشد که از هم پاشیده شده و به صورت سیارک‌ها درآمده است. تمام شهاب‌سنگ‌های آهنی حاوی مقداری نیکل نیز می‌باشند. به همین جهت گفته می‌شود که در هسته‌ی زمین همراه با آهن، نیکل نیز وجود دارد. وجود میدان مغناطیسی زمین عامل دیگری بر تأیید این مطلب است که هسته‌ی زمین از آهن و نیکل درست شده است.

برخی از عناصری که از نظر کیهانی فراوان و قابل امتزاج با آهن مذاب‌اند، مثل سیلیسیم فلزی، اکسیژن و گوگرد نیز به‌عنوان سازندگان فرعی هسته‌ی خارجی پیشنهاد شده‌اند.

### فکر کنید

با آن که چگالی هسته‌ی زمین بسیار زیاد است، چرا نمی‌توان انتظار داشت که از عناصری مثل سرب یا طلا ساخته شده باشد؟

### میدان مغناطیسی

هنوز به‌درستی نمی‌دانیم که علت وجود میدان مغناطیسی زمین چیست. تغییرات سریع و مکرر میدان مغناطیسی زمین دلالت بر این دارد که زمین دارای یک کانون مغناطیس پایدار و دایمی نیست. مطالعات لرزه‌شناسی نیز که درک ساختمان داخلی زمین را برای ما ممکن کرده است، هیچ‌گونه شواهدی که مبنی بر وجود تمرکز عظیم کانی مانیتیت در داخل زمین باشد، در اختیار نمی‌گذارد. گذشته از این، بیشتر کانی‌هایی از این قبیل فقط در  $30^\circ$  کیلومتری بالایی پوسته وجود دارند و در اعماق بیشتر، به‌سبب وجود گرمای درونی زمین، مواد خاصیت مغناطیسی خود را ازدست می‌دهند. به این دلایل، خاصیت مغناطیسی زمین را نمی‌توان محصول ساده‌ی مغناطیس سنگ‌ها شمرد و باید به‌دنبال دلیل‌های دیگری بود.

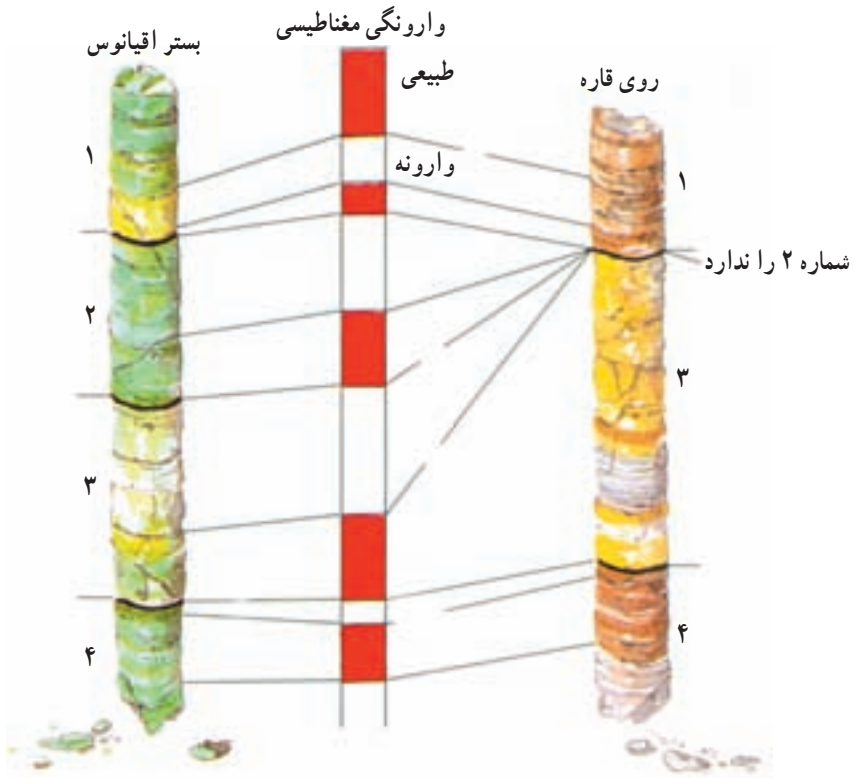
دانش امروزی ما از منشأ میدان مغناطیسی زمین، محصول یافته‌هایی است که درباره‌ی حرکت الکترون‌ها در اختیار داریم. فیزیک‌دان‌ها دریافته‌اند که با استفاده از جریان الکتریسته می‌توان میدان مغناطیسی ایجاد کرد و برعکس با حرکت دادن یک جسم هادی الکتریسته از درون یک میدان مغناطیسی جریان الکتریکی به‌وجود آورد. دستگاهی که چنین عملی را انجام می‌دهد دیناموی خودالقا نام دارد. با استفاده از این یافته‌هاست که در نیروگاه‌ها با چرخاندن یک هادی الکتریکی در میدان مغناطیسی، برق تولید می‌کنند.

یک دیناموی خودالقا با تحرک خود، الکتریسته‌ی بیشتری حاصل می‌آورد. الکتریسته هم به‌نوبه‌ی خود، باعث ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تری می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد.

زمین را نیز می‌توان به یک دیناموی خودالقای غول‌پیکر تشبیه کرد که حرکت الکترون‌ها در آهن مذاب موجود در هسته‌ی خارجی آن مولد میدان مغناطیسی است. زمین، هم در گردش وضعی و هم در حرکت انتقالی خود پیوسته خطوط نیروی مغناطیسی خورشید را قطع می‌کند. حرکت دورانی زمین و همچنین اختلاف دمای هسته‌ی داخلی و گوشته سبب ایجاد جریان‌های کنوکسیون در آهن مذاب هسته‌ی خارجی می‌شود. از سوی دیگر قطع شدن میدان مغناطیسی خورشید توسط آهن مذاب در حال حرکت جریان الکتروسیسته ایجاد می‌کند. این جریان‌ها میدان مغناطیسی زمین را پدید می‌آورند که خود مولد جریان‌های الکتریکی قوی تری می‌شود. این جریان‌ها هم به نوبه‌ی خود میدان مغناطیسی قوی تری را به وجود می‌آورند.

**وارونگی مغناطیسی:** میدان مغناطیسی زمین به طور دائم در حال تغییر است. مثلاً موقعیت قطب‌های مغناطیسی زمین نسبت به قطب‌های جغرافیایی آن ثابت نیست و فعلاً، با سرعت  $2^\circ/2$  درجه در سال، در حال جابه‌جایی است. علاوه بر این میدان مغناطیسی زمین در فواصل زمانی که به طور متوسط نیم میلیون سال طول می‌کشد، ضعیف می‌شود و به تدریج به سمت نابودی می‌رود (از سال  $1830$  تاکنون،  $6$  درصد از قدرت آن کاسته شده است و اگر این روند با همین سرعت ادامه یابد، در حدود  $2000$  سال دیگر به صفر خواهد رسید). اما بعد از نابودی، میدان دوباره شروع به تشکیل می‌کند و اغلب، جهت کنوکسیون مواد، مخالف جهت قبلی خواهد شد که در این صورت محل قطب‌های مغناطیسی جابه‌جا خواهد شد (وارونگی مغناطیسی). پس می‌توان گفت قطبین مغناطیسی شمال و جنوب زمین در طول تاریخ خود صدها و بلکه هزارها بار جابه‌جا شده‌اند. نتیجه‌ی چنین وارونگی مغناطیسی را نخستین بار در قرن گذشته و در کشور فرانسه دریافتند. در آن هنگام دانشمندان متوجه شدند که بعضی از لایه‌های سنگ‌های آذرین در جهتی مخالف جهت لایه‌های دیگر مغناطیسی شده‌اند.

به نظر می‌رسد وارونگی مغناطیسی، حاصل تغییراتی است که در جریان‌های همرفتی (کنوکسیون) هسته‌ی خارجی ایجاد می‌شود. وقتی مقدار گرمای موجود در درون زمین تغییر کند، جریان‌های همرفتی هم تغییر می‌کنند. آشفستگی حاصل از این جریان تغییرپذیر، ممکن است میدان مغناطیسی زمین را تضعیف یا تقویت کند. مدت زمانی که زمین فاقد میدان مغناطیسی است، ممکن است چند قرن طول بکشد. یک وارونگی مغناطیسی - از یک حالت ناپایدار تا حالت پایدار بعدی - بین  $1000$  تا  $5000$  سال طول می‌کشد. روشن است که عقربه‌ی قطب‌نما در حالت وارونگی مغناطیسی برعکس حالت امروزی خواهد ایستاد.



شکل ۸-۲- وارونگی مغناطیسی در رسوبات واقع در خشکی و دریا. به تفاوت دو نمونه توجه کنید.

## نیروی گرانشی

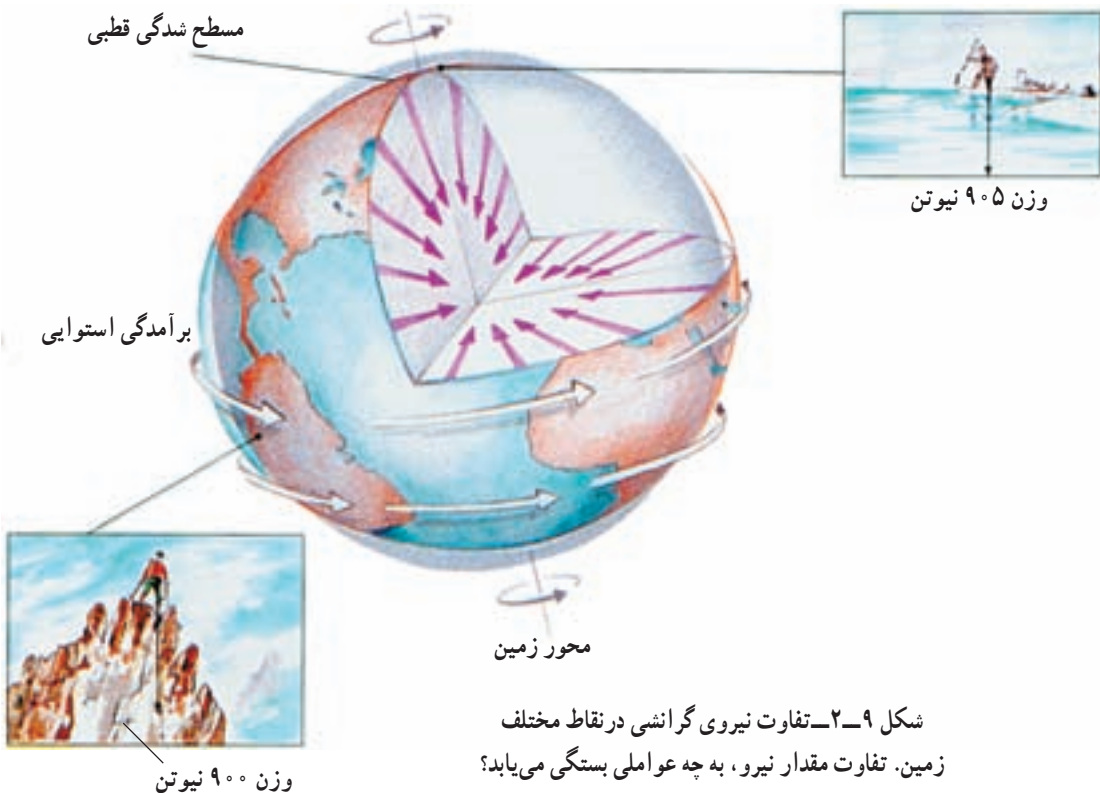
نیروی گرانش یا جاذبه به طور دائم و در همه جای زمین عمل می کند ولی شدت آن در جاهای مختلف متفاوت است.

تغییرات شدت گرانش اطلاعات باارزشی از ساختمان زمین و ترکیب داخل آن، در نقاط مختلف، به دست می دهد.

طبق نظر نیوتن در قانون گرانش عمومی، بین دو جسم به جرم  $m$  و  $m'$ ، صرف نظر از جنس آن ها، همواره نیروی جاذبه ای ( $F$ ) وجود دارد. اندازه ای این نیرو با حاصل ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله ای آن ها از یکدیگر نسبت وارون دارد. قانون گرانش عمومی را به صورت

$$F = G \frac{m \cdot m'}{R^2} \text{ می نویسند. (G ثابت جهانی گرانش و مقدار آن } \frac{m^3}{kgs^2} \times 10^{-11} \text{ است.)}$$

در معادله ای بالا می توان به جای  $m'$  جرم زمین ( $E$ ) و به جای  $m$  جرم هر جسمی که در بیرون

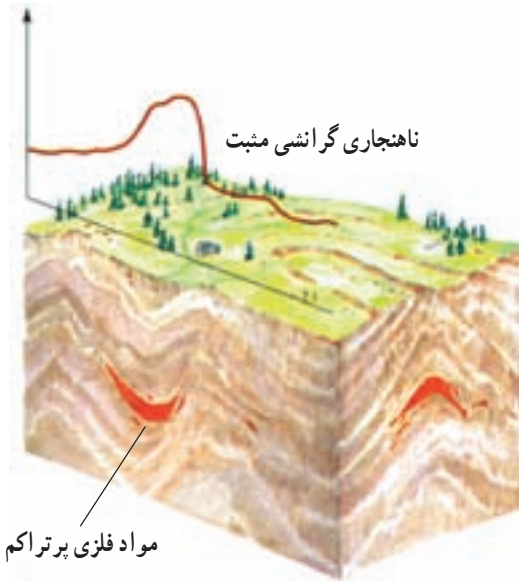


شکل ۹-۲- تفاوت نیروی گرانشی در نقاط مختلف زمین. تفاوت مقدار نیرو، به چه عواملی بستگی می‌یابد؟

از زمین قرارداد و مقدار  $R$  را هم فاصله‌ی جسم تا مرکز زمین در نظر گرفت و به این طریق نیروی گرانش زمین را در هر نقطه‌ای به دست آورد. مقدار شدت گرانش را توسط ابزاری به نام گرانی‌سنج اندازه‌گیری می‌کنند. کم یا زیاد شدن شدت گرانش در هر نقطه می‌تواند اطلاعاتی درباره‌ی مواد سازنده‌ی زمین در آن نقطه به ما بدهد.

ناهنجاری‌های گرانشی: حتی بعد از در نظر گرفتن تأثیر ارتفاع و عرض جغرافیایی محل، هنوز هم میزان شدت گرانشی در همه‌جای زمین مساوی نیست. تفاوت میان مقدار واقعی شدت گرانش سنجیده شده با مقدار منتظره آن در یک نقطه را ناهنجاری گرانشی می‌نامند. علت وجود این ناهنجاری‌ها، تفاوت در چگالی قسمت‌های داخلی زمین است که بر مقدار جرم و در نهایت، بر مقدار شدت گرانشی تأثیر می‌گذارد.

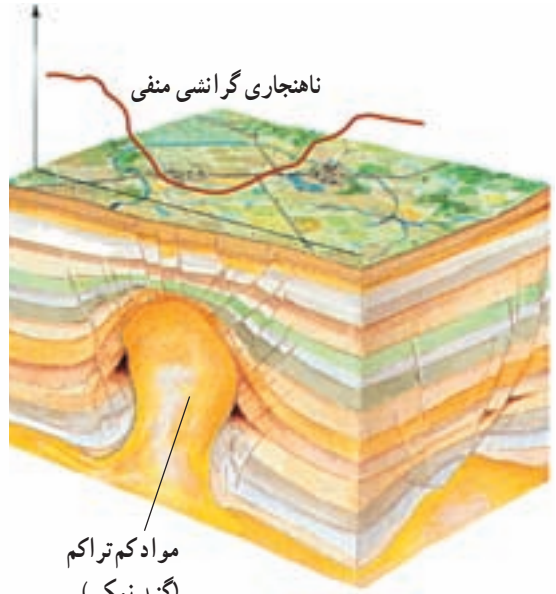
باتوجه به شکل‌های صفحه بعد، مثبت بودن یا منفی بودن نیروی گرانشی را درمی‌یابید. آیا شدت گرانشی در بستر اقیانوس‌ها که پوسته‌ی زمین نازک است بیشتر نشان داده می‌شود یا در روی کوه‌ها؟



مواد فلزی پرتراکم

ناهنجاری گرانشی مثبت

شکل ۱۰-۲-ب - شدت گرانشی مثبت به علت وجود سنگ‌های پرتراکم در زیر پوسته



مواد کم تراکم (گنبد نمکی)

ناهنجاری گرانشی منفی

شکل ۱۰-۲-الف - شدت گرانشی منفی به علت وجود گنبد نمکی کم تراکم در زیر پوسته

### فکر کنید

اگر نیروی گرانشی در یک منطقه از میزان متوسط آن بالاتر و در منطقه‌ای دیگر از این میزان کمتر باشد، احتمال وجود چه کانی‌هایی در این دو منطقه وجود دارد؟

### بیشتر بدانید

به کمک قانون گرانش عمومی و نیز قانون دوم نیوتن درباره‌ی حرکت، می‌توان شدت گرانش و در نتیجه مقدار جرم زمین را محاسبه کرد.

$$F = ma = mg$$

$$mg = \frac{GME}{R^2} \Rightarrow g = \frac{GE}{R^2}$$

$$F = G \frac{mm'}{R^2}$$

می‌دانیم که  $g$  برابر  $\frac{9.8}{s^2} m$ ،  $G$  برابر  $\frac{6.672 \times 10^{-11}}{kgs^2} m^3$  و  $R$  برابر  $6368$  کیلومتری یا

$6368000$  متر است، پس:

$$\frac{9.8}{s^2} m = \frac{6.672 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2} \times E}{(6368000 m)^2} \Rightarrow E = 5.975 \times 10^{24} kg$$

حجم کل زمین نیز  $1.083 \times 10^{27} \text{ cm}^3$  است بنابراین چگالی متوسط زمین برابر خواهد

شد با:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \rho = \frac{5.975 \times 10^{27} \text{ g}}{1.083 \times 10^{27} \text{ cm}^3} = 5.517 \text{ g/cm}^3$$

چگالی متوسط زمین

چگالی متوسط پوسته‌ی زمین  $2.7 \text{ g/cm}^3$  است، با توجه به چگالی کلی زمین باید در

قسمت‌های درونی زمین موادی با چگالی بیشتر وجود داشته باشد.

با توجه به اطلاعات حاصل از امواج لرزه‌ای، چگالی مواد سازنده‌ی زمین در مرز

گوشته-هسته باید حدود  $10 \text{ g/cm}^3$  و در مرکز زمین حدود  $12.5 \text{ g/cm}^3$  باشد. آهن و نیکل

می‌توانند در فشارهایی برابر با فشار هسته، چگالی حدود  $12.5 \text{ g/cm}^3$  داشته باشند.

## فشار

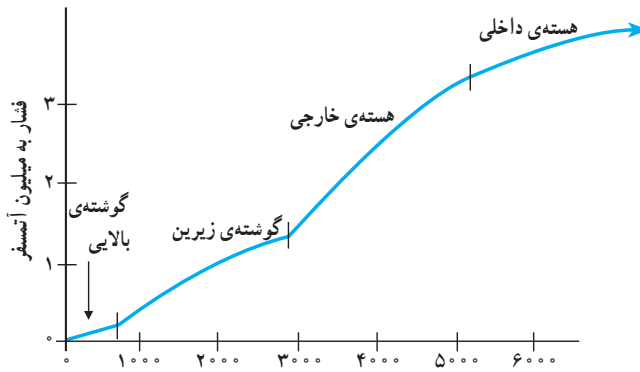
فشار درونی زمین نسبتاً به آسانی قابل برآورد است. فشار هر نقطه، در زیر سنگ کره، با توجه به

ضخامت و چگالی سنگ‌های فوقانی تعیین می‌شود (در سنگ کره تنش‌های جانبی اضافی بر اثر حرکت

ورقه‌ها نیز ایجاد می‌شود). چنان‌که گفتیم چگالی لایه‌های مختلف را می‌توان براساس داده‌های امواج

لرزه‌ای به دست آورد. این موضوع امکان محاسبه‌ی فشار را به‌عنوان تابعی از عمق زمین فراهم می‌کند

(شکل ۱۱-۲). فشار در مرکز زمین به بیش از  $3/5$  میلیون برابر فشار اتمسفر در سطح زمین می‌رسد.



شکل ۱۱-۲- تغییرات فشار به‌عنوان تابعی از عمق زمین

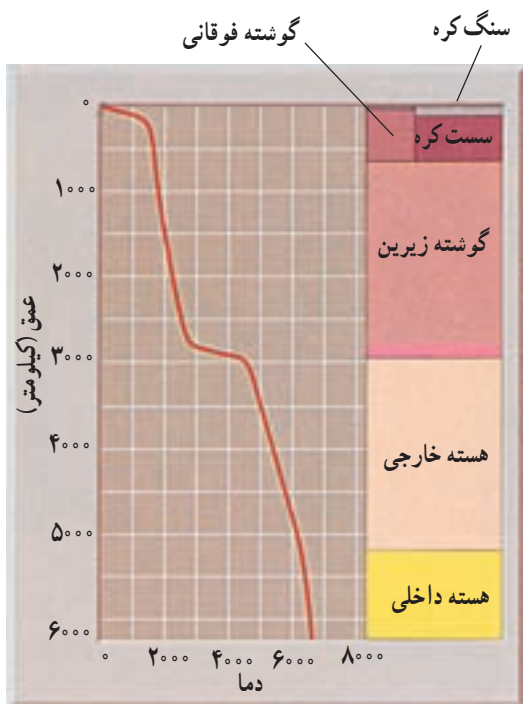
## دما

دما در پوسته‌ی زمین به ازای هر کیلومتر که به عمق برویم حدود  $3^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش

می‌یابد. البته برای قسمت‌های عمیق‌تر این روند افزایش کندتر می‌شود، زیرا در غیراین صورت به‌طور

مثال در عمق  $2800$  کیلومتری (تقریباً انتهای گوشته) دما باید به  $84000^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد و در





شکل ۱۲-۲ - شیب زمین‌گرمایی تخمینی در داخل زمین (تفاوت، در حدود ۵۰۰ درجه کم‌تر یا زیادتر از حد تخمینی است)

۶۰۰۰ کیلومتری (هسته‌ی داخلی) به ۱۸۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسید، که در چنین دمایی سنگ‌ها دیگر نمی‌توانند به صورت جامد یا حتی مایع باشند. بنابراین دمای گوشته و هسته باید خیلی کم‌تر از این مقادیر باشد.

شواهد نشان می‌دهد که در استنوسفر باید دما مساوی یا کمی بیشتر از نقطه‌ی ذوب سنگ‌ها در این عمق، و در سایر نقاط گوشته زیر نقطه‌ی ذوب سنگ‌ها در این اعماق باشد.

در هسته‌ی خارجی هم باید دما بیشتر از دمای نقطه‌ی ذوب آهن در این فشار و در هسته‌ی داخلی برعکس، دما زیر نقطه‌ی ذوب آهن در این اعماق باشد.

### بیشتر بدانید

تاکنون دانشمندان دمای مرز گوشته - هسته را حدود ۴۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دمای مرز هسته‌ی خارجی - هسته‌ی داخلی را حدود ۶۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و در مرکز زمین متجاوز از ۶۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تخمین می‌زده‌اند، اما به‌تازگی زمین‌شناسی به نام دکتر بهلر ترکیبی از آهن و ترکیبات آهن - اکسیژن را در یک محفظه‌ی فشارقوی میان دو قطعه الماس تحت فشار ۱/۴ میلیون اتمسفر (معادل فشار مرز گوشته - هسته‌ی خارجی) قرار داد و آن‌ها را به‌وسیله‌ی لیزر تا چند هزار درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت داد. او از این آزمایش‌ها نتیجه گرفت که دمای مرز گوشته - هسته حدود ۳۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

از آنجا که فشار موجود حاکم بر هسته (۳/۳ میلیون اتمسفر در عمق ۵۱۰۰ کیلومتری) خارج از توان قطعات الماس برای انجام آزمایش مشابه بود، بهلر نتیجه‌ی همان آزمایش را به هسته تعمیم داد لذا طبق محاسبات این دانشمند دمای هسته حدود ۴۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌دست آمد.

## بخش ۲

### زمین ناآرام

با این که سال‌های زیادی از سفر آدمی به کره‌ی ماه می‌گذرد و وسایل و تجهیزات ماهواره‌ای و سفاین فضایی پیشرفته او را در دست‌یابی به اطلاعاتی از دورترین نقاط کهکشان راه‌شیری و خارج از آن کمک کرده‌اند، مطالعه‌ی مستقیم قسمت‌های درونی زمین و درک ناآرامی‌های وابسته به داخل زمین چون زلزله، آتش‌فشان و چین‌خوردگی‌ها برای آدمی کاملاً امکان‌پذیر نشده است. سفر انسان به قسمت‌های درونی زمین یا فرستادن وسایل و ابزار به داخل آن، با توجه به فشار و دمای بسیار زیاد، هنوز میسر نیست. عمیق‌ترین چاهی که تاکنون برای مطالعه‌ی قسمت‌های درونی زمین حفر شده است، کمتر از ۱۳ کیلومتر عمق دارد که این عمق با توجه به شعاع بیش از ۶۰۰۰ کیلومتری زمین قابل توجه نیست. از این رو دانشمندان سعی کرده‌اند به کمک روش‌های علمی و شواهد مستقیم و غیرمستقیم و حتی مقایسه‌ی خصوصیات زمین و دیگر اجرام آسمانی با یکدیگر اطلاعاتی درباره‌ی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی درون زمین، علت و چگونگی ایجاد ناآرامی‌ها به دست آورند. شما در این بخش با نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای، زلزله، آتش‌فشان و تشکیل کوه‌ها و کوه‌زایی آشنا می‌شوید.

## زمین ساخت ورقه‌ای

امروزه زمین‌شناسان چنین معتقد شده‌اند که بخش‌های خارجی زمین نسبت به هم در حرکت‌اند. اگر می‌توانستیم یک میلیارد سال به عقب برگردیم، زمین را سیاره‌ای بسیار متفاوت با سیاره‌ی امروزی می‌یافتیم. در آن صورت کوه‌ها و دریاها به شکل‌های امروزی وجود نداشتند و قاره‌ها نیز به شکل‌های دیگری بودند.

در طول چند دهه‌ی گذشته، اطلاعات بسیار زیادی درباره‌ی زمین جمع‌آوری شده که به تحولات زیادی در علم زمین‌شناسی منجر گردیده است، به طوری که این دوره را با هیچ دوره‌ی دیگری نمی‌توان مقایسه کرد. البته نقطه‌ی آغاز این تحولات را باید در اوایل قرن بیستم جست‌وجو کرد. در آن هنگام، نظریه‌ای به نام جابه‌جایی قاره‌ها توسط آلفرد و گنر، هواشناس و زمین‌فیزیک‌دان آلمانی عنوان شد که با نظریه‌های قبلی در مورد ثابت بودن وضعیت قاره‌ها و اقیانوس‌ها، تضاد داشت. به همین سبب هم، این نظریه در ابتدا با شک و تردید تلقی شد و عده‌ای حتی آن را به مسخره گرفتند! در واقع بیشتر از ۵۰ سال زمان لازم بود تا اطلاعات کافی برای تأیید نظریه‌ی جدید جمع‌آوری شود تا سرانجام آن نظریه‌ی ضعیف جای خود را به نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای بدهد. نظریه‌ای که برای نخستین بار، دید جامعی درباره‌ی فعالیت‌های درونی زمین به دانشمندان می‌داد.

### عقیده‌ای پیشرفته در زمان خود

وگنر، در کتابی که در سال ۱۹۱۵ منتشر کرد، اصول عقاید خود را شرح داده است. او معتقد به وجود قاره‌ای عظیم به نام پانگه‌آ (به معنای همه‌ی خشکی‌ها) است که در حدود ۲۰۰ میلیون سال پیش، شروع به قطعه‌قطعه شدن کرد و سرانجام قاره‌های امروزی را به وجود آورد (شکل ۱-۳). امروزه ما تقریباً مطمئنیم که قاره‌ی پانگه‌آ در حدود ۲۰۰ میلیون سال قبل وجود داشته است. این قاره چند میلیون سال بعد مبدل به دو قاره‌ی بزرگ لورازیا (Laurasia) و گندوانا (Gondwana) شد که اولی شامل امریکای شمالی، گرینلند و بیشتر قسمت‌های آسیا و اروپای امروزی است و دومی



شکل ۱-۳- بازسازی قاره‌ی بزرگ پانگه آ، به شکلی که در حدود ۲۰۰ میلیون سال پیش بوده است.

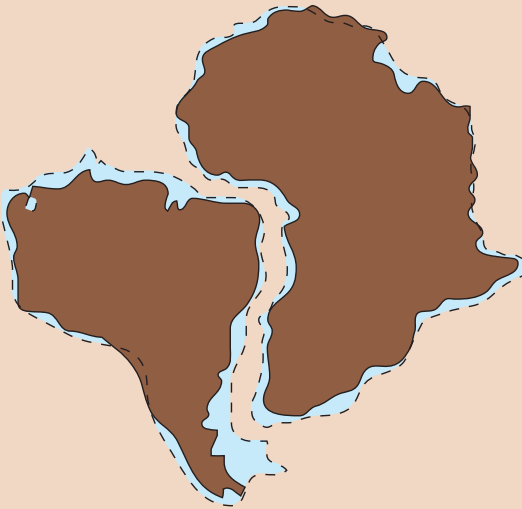
امریکای جنوبی، افریقا، قطب جنوب، هندوستان و استرالیا کنونی را شامل می‌شده است. مساحت لورازیا و گندوانا تقریباً مساوی بوده است. شواهد زیستی و زمین‌شناسی زیادی مبنی بر جدا شدن این دو قاره از هم وجود دارد، که وجود فسیل‌های مشابه فراوان در دو قاره‌ی مذکور از آن جمله است. فاصله‌ی دو قاره‌ی لورازیا و گندوانا را دریایی به نام تتیس (Tethys) پر می‌کرده است که امروزه دریاهای مدیترانه، خزر و سیاه را بازمانده‌های آن می‌دانند. وسعت این دریای اولیه را هم از روی طبقات چین‌خورده‌ای که از جبل الطارق تا اقیانوس آرام امتداد دارند می‌توان تشخیص داد، زیرا این رسوبات در کوه‌های پیرنه، آلپ، قفقاز، البرز، اطلس و هیمالیا یافت می‌شوند.

چیزی از تقسیم شدن پانگه آ نگذشته بود که امریکای جنوبی و افریقا نیز به صورت یک قطعه از گندوانا جدا شدند. بعدها با پدید آمدن اقیانوس اطلس جنوبی، این دو قاره نیز از همدیگر مجزا گشتند. در حدود ۶۵ میلیون سال قبل اقیانوس اطلس توسعه‌ی بیشتری به سمت شمال یافت، استرالیا از قطب جنوب جدا شد و هندوستان نیز شروع به حرکت به سمت شمال و پیوستن به آسیا کرد.

البته، برای اثبات چنین ادعایی، ارائه‌ی شواهد مختلفی لازم می‌آمد که بعضی از آن‌ها در زمان وگنر و برخی دیگر توسط محققان مختلف، در طول سالیان بعد عنوان شده‌اند. به طور کلی دلایلی که در کتاب وگنر برای درست بودن نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها ارائه شده‌اند عبارتند از:

۱- انطباق حاشیه‌ی قاره‌ها: وگنر، شباهت زیادی را میان دو حاشیه‌ی شرقی امریکای جنوبی و غربی افریقا یافته بود، و همین شباهت ظاهری می‌توانست دلیل بر این موضوع باشد که در گذشته، این دو قاره به هم متصل بوده و بعدها از هم جدا شده‌اند.

## فکر کنید

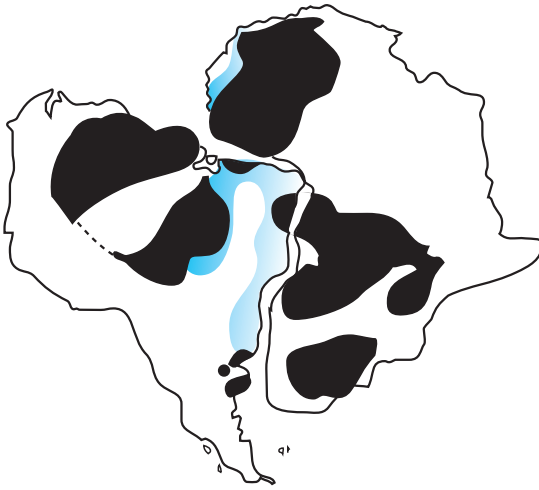


امروزه، که دلایل بیشتر و دقیق تری برای نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها جمع‌آوری شده، محل انطباق حاشیه‌ی قاره‌ها را در محل شیب قاره در نظر می‌گیرند، نه خط ساحلی. با توجه به شکل مقابل هم می‌بینید که قاره‌ها در محل خطوط ساحلی کاملاً برهم منطبق نیستند. زمین‌شناسان زمان و گتر نیز به همین صورت ادعای او را نپذیرفتند. به نظر شما آنان چرا این دلیل را سست می‌شمردند؟

۲- سنگواره‌ها: با فرض درست بودن جابه‌جایی قاره‌ها باید گفت در گذشته‌های دور، جانوران و گیاهان مشابهی در روی قاره‌های متصل وجود داشته‌اند. بعضی از سنگواره‌هایی که امروزه در روی دو قاره‌ی مجاور هم پیدا می‌شوند، حاکی از آنند که در گذشته آن قاره‌ها یک پارچه بوده‌اند. مثلاً نمونه‌های سنگواره یا فسیل نوعی خزنده‌ی قدیمی در جاهایی چون قاره‌ی قطب جنوب، آفریقا، استرالیا و ماداگاسکار یافت شده که مربوط به ۲۰۰ میلیون سال قبل است. فسیل‌هایی از سرخس‌های قدیمی (گانگاموبتریس) نیز در این مناطق به دست آمده است. به طوری که می‌دانید، این قاره‌ها امروزه از هم بسیار دورند و بعید است که فرایند تکامل در روی آن‌ها به‌طور مشابه و هم‌زمان رخ داده باشد.



شکل ۲-۳- در قسمت‌هایی از دو قاره‌ی آفریقا و آمریکای جنوبی، سنگواره‌های کاملاً مشابهی را می‌توان یافت.



شکل ۳-۳- انطباق سنگ‌های منطقه‌ای از حاشیه‌ی دو قاره‌ی افریقا و امریکای جنوبی، دلیل دیگری بر اتصال این دو قاره در گذشته است.

### ۳-۳- اقسام سنگ‌ها و

شباهت‌های ساختاری: اگر قاره‌ها در گذشته به هم متصل بوده‌اند، قاعدتاً باید سنگ‌هایی مربوط به زمان‌های گذشته که امروز در آن‌ها یافت می‌شود، از لحاظ سن و جنس مشابه باشند. وجود چنین شباهتی میان سنگ‌های شمال غرب افریقا و شرق برزیل به اثبات رسیده است. در این مناطق، سنگ‌های متعلق به ۵۵ میلیون سال پیش، در کنار سنگ‌های قدیمی و دو میلیارد ساله هستند. تشابه سنگ‌ها طوری است که فقط با فرض متصل بودن قاره‌ها به هم در گذشته‌های بسیار دور قابل توجیه است (شکل ۳-۳). نظیر همین وضع را در مورد بعضی از کمرنده‌های کوه‌زایی نیز می‌توان مشاهده کرد.

### ۴-۳- آب و هوا: وگنر، بنابر

حرفه‌ای که داشت، به نوع آب و هوا در گذشته‌های دور توجه کرد تا بلکه از آن‌راه نظریه‌ی خود را به اثبات برساند. وقتی ثابت شد که در قسمت‌هایی از قاره‌های واقع در نیم کره‌ی جنوبی که امروزه در حدود منطقه‌ی استوا قرار دارند، آثار یخچالی مشاهده شده است وی نتیجه گرفت که در گذشته، همه‌ی آن مناطق در محل قطب و در کنار همدیگر واقع بوده‌اند (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- اگر قاره‌ها بر اساس نظر وگنر بازسازی شوند، محل قرارگرفتن یخچال‌ها و جهت گسترش آن‌ها معین خواهد بود.

## عقاید موافق و مخالف

وگنر، چون از خواص مکانیکی قسمت‌های مختلف پوسته‌ی زمین آگاهی نداشت، فقط قاره‌ها را به صورت شناور در روی گوشته (جبه) به تصور می‌آورد ولی درباره‌ی وضع بستر اقیانوس‌ها فکری نمی‌کرد. با این فرض، نیروی زیادی برای به حرکت درآوردن قاره‌ها لازم نمی‌آمد که منشأ آن هم از نظر وگنر چرخش زمین یا نیروی جزرومد بود. اما مسئله به این سادگی‌ها هم نبود، زیرا بستر اقیانوس‌ها محکم است و چنین نیست که قاره‌ها به آسانی بتوانند در روی آن‌ها حرکت کنند. با این ترتیب، مسئله‌ی جابه‌جایی قاره‌ها تا پیدا شدن دلایل کافی، هم‌چنان مسکوت ماند.

اگرچه بیشتر معاصران وگنر، با نظریات او مخالف بودند، ولی یک زمین‌شناس اهل آفریقای جنوبی به نام دو تووا و یک زمین‌شناس اسکاتلندی به نام هولمز، آن‌را شایسته‌ی توجه دانستند. دو تووا در سال ۱۹۳۷ مطلبی با عنوان قاره‌های سرگردان ما منتشر کرد و در آن، استدلال‌های ضعیف وگنر را کنار گذاشت و خود شواهد محکم‌تری در این زمینه ارائه داد. هولمز نیز در کتاب زمین‌شناسی فیزیکی خود پیشنهاد کرد که وجود جریان‌های کنوکسیون در داخل گوشته‌ی زمین می‌تواند دلیل احتمالی حرکت قاره‌ها باشد. نظریه‌ی هولمز هنوز هم با آن‌که تاکنون زمین‌شناسان در مورد عوامل حرکت‌دهنده‌ی قاره‌ها به توافق عمومی نرسیده‌اند، از اعتبار برخوردار است.

## مغناطیس دیرین

مسئله‌ی جابه‌جا شدن قاره‌ها برای بار دوم وقتی برسر زبان‌ها افتاد که عده‌ای به کاوش در بستر

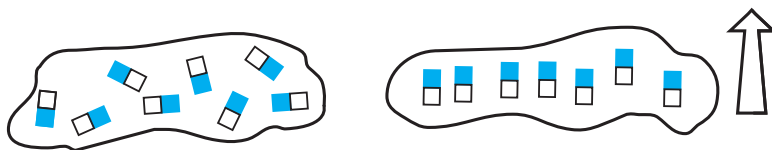


اقیانوس‌ها علاقه‌مند شدند. شاید هم علت تجدید بحث، توجه به مغناطیس سنگ‌ها بود که زمینه‌ی تحقیق جدیدی را تشکیل می‌داد. محققان اولیه مغناطیس سنگ‌ها، می‌خواستند تغییرات قدیمی میدان مغناطیسی زمین را تعیین کنند تا بلکه به ماهیت امروزی این میدان، بهتر پی ببرند. چنان‌که در فصل گذشته خواندید زمین علاوه بر دو قطب شمال و جنوب جغرافیایی، دارای دو قطب شمال و جنوب مغناطیسی نیز هست، اما این قطبین جغرافیایی و مغناطیسی، برهم منطبق نیستند. روشی که در مطالعه‌ی دیرین به کار می‌رود، بر پذیرش این واقعیت

شکل ۵-۳ مقدار زاویه‌ی میل مغناطیسی،

از صفر (در استوا) تا  $90^\circ$  (در قطب) تغییر می‌کند.

استوار است که در بعضی از سنگ‌ها، کانی‌هایی وجود دارند که به‌عنوان قطب‌نماهای فسیل عمل می‌کنند. این نوع کانی‌ها (مثلاً مانیتیت) در گدازه‌های بازالتی فراوانند. بعد از آن که گدازه منجمد و سرد شد و دمای آن از «نقطه‌ی کوری» پایین‌تر رفت، کانی‌های یادشده در جهت میدان مغناطیسی زمین، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند، که اگر دوباره تا دمای کوری گرم نشوند، به‌طور دایم وضعیت جهت‌یافتگی مغناطیسی خود را حفظ می‌کنند. بنابراین مغناطیس موجود در این کانی‌ها می‌تواند وضعیت میدان مغناطیسی گذشته‌ی زمین را روشن کند و به‌اصطلاح، موقعیت قطبین مغناطیسی زمین را در لحظه‌ی انجماد سنگ، «به‌یاد خواهد آورد».



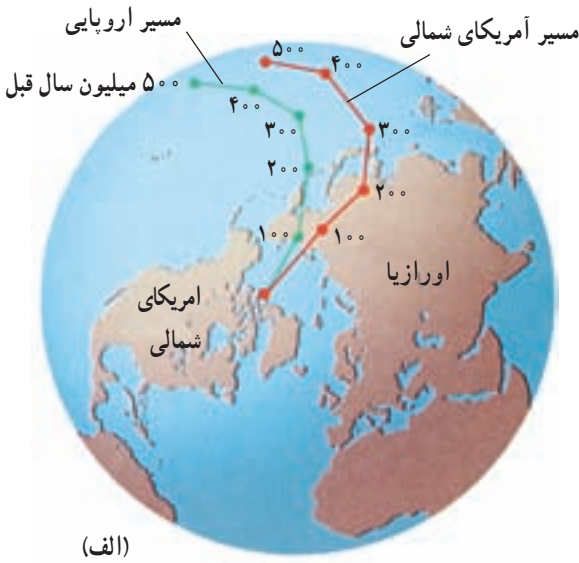
شکل ۳-۶- کانی‌های آهنربایی موجود در گدازه‌ها چگونه می‌توانند جهت میدان مغناطیسی گذشته‌های دور زمین را مشخص کنند؟

### فکر کنید

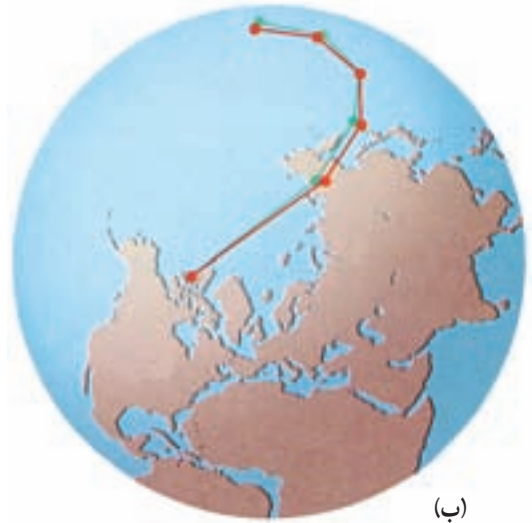
نکته‌ی مهم دیگر در مغناطیس سنگ‌ها، گذشته از مشخص کردن محل قطبین (مانند قطب‌نما)، نشان دادن عرض جغرافیایی مربوطه است (چگونه؟).

مطالعه‌ای که در دهه‌ی ۱۹۵۰، در اروپا روی مغناطیس دیرین انجام گرفت، به کشف ارزنده‌ای منجر شد. به این معنی که آرایش دانه‌های مانیتیت موجود در گدازه‌های زمان‌های مختلف، کاملاً باهم تفاوت داشت. هنگام ترسیم نقشه‌ای برای تعیین محل قطب‌شمال مغناطیسی در طول ۵۰۰ میلیون سال گذشته، معلوم شد که محل قطب تدریجاً از نزدیک جزایر هاوایی به سمت شمال حرکت کرده و از شرق سبیری گذشته و سرانجام به محل امروزی خود رسیده است. با این ترتیب، معلوم بود که یا نوعی سرگردانی قطبی در طول زمان وجود داشته، یا آن که قاره‌ها جابه‌جا شده‌اند. با آن که قطبین مغناطیسی جای خود را عوض می‌کنند، مطالعه در روی میدان مغناطیسی زمین نشان می‌دهد که قطبین مغناطیسی تقریباً همیشه در نزدیکی قطبین جغرافیایی قرار می‌گیرند (به همین سبب هم هست که احتمال می‌دهند خاصیت مغناطیسی زمین، حاصل چرخش آن به‌دور محورش باشد). اگر قطب‌های جغرافیایی سرگردانی قابل ملاحظه‌ای نداشته باشند - که ما نیز به این واقعیت معتقدیم - قطب‌های مغناطیسی هم نباید زیاد جابه‌جا شوند. در این صورت، تنها دلیل سرگردانی قطبی را می‌توان به جابه‌جا شدن قاره‌ها نسبت داد. شواهد بهتری برای سرگردانی قطبی زمانی حاصل شد که زمین‌شناسان امریکایی نیز درصدد





(الف)



(ب)

شکل ۷-۳ طرح ساده شده‌ی سرگردانی قطبی که حاصل دو اندازه‌گیری جداگانه در سنگ‌های اروپا و امریکا بوده است (الف). موقعیت سنگها بعد از انطباق دو قاره (ب). از مقایسه‌ی دو شکل، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

برآمدند مطالعه‌ای در این مورد انجام دهند (شکل ۷-۳). با کمال تعجب، میان منحنی حاصل از مطالعات اروپائیان و امریکایی‌ها شباهت زیادی وجود داشت به طوری که بین آن دو فقط معادل ۳۰ درجه طول جغرافیایی فاصله بود. آیا در گذشته دو قطب شمال مغناطیسی وجود داشته است؟ این احتمال، بسیار ضعیف است و این پدیده را تنها در صورتی می‌توان درست توجیه کرد که دو قاره را نزدیک همدیگر قرار بدهیم.

با این همه، یافته‌های مغناطیس دیرین هم نتوانست کمک چندانی به اثبات نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها بکند زیرا مغناطیس‌سنجی روشی جدید بود و هنوز مورد تأیید قرار نداشت. گذشته از آن، خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها به مرور ضعیف می‌شود و یا سنگ‌ها می‌توانند مجدداً مغناطیسی شوند.

## سر آغاز یک تحول فکری

در طول دو دهه‌ی ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، اطلاعات زیادی درباره‌ی جزئیات ساختمانی بستر اقیانوس‌ها به دست آمد. از جمله، معلوم شد که:

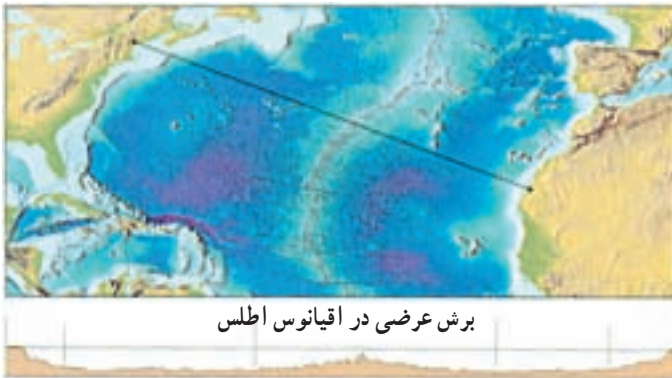
۱- رشته کوه‌های بسیار طویل در اقیانوس‌ها وجود دارد. بررسی این رشته کوه در وسط اقیانوس اطلس، موازی بودن آن‌را با ساحل دو طرف آشکار کرد.

۲- جریان گدازه‌ها و فعالیت‌های آتش‌فشانی در محل رشته‌کوه میان اقیانوس مشاهده شد.  
 ۳- مطالعات زلزله‌شناسی نشان داد که در اعماق پوسته‌ی اقیانوسی، فعالیت‌هایی در کار

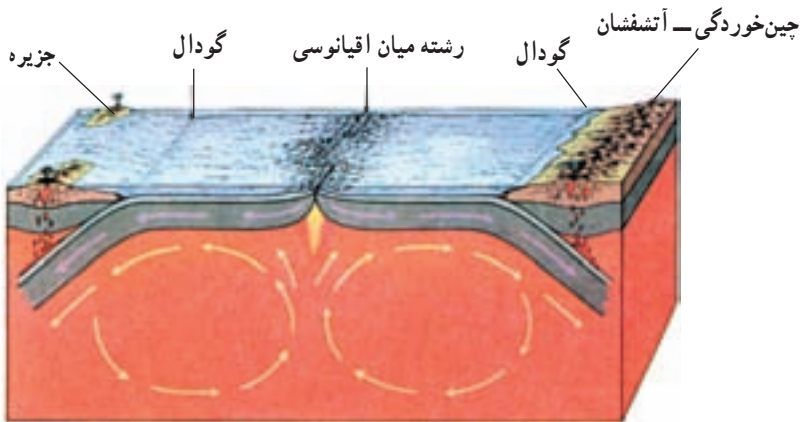
است.

۴- نمونه‌برداری از سنگ‌های بستر اقیانوس، در هیچ نقطه سنگ‌هایی قدیمی‌تر از ۲۰۰ میلیون سال را نشان نداد. در این صورت، آیا می‌توان گفت بستر اقیانوس‌ها می‌توانند از لحاظ زمین‌شناسی پدیده‌های جوانی باشند؟

گسترش بستر اقیانوس‌ها: در اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰، هری‌هس، زمین‌شناس امریکایی، این واقعیت‌ها را کنار هم گذاشت و از مجموعه‌ی آن‌ها فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را ارائه داد. البته خود او هم در این مورد اطمینان کافی نداشت، زیرا برخلاف نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها، فرضیه‌ی جدید با هیچ‌گونه شاهد عینی همراه نبود.



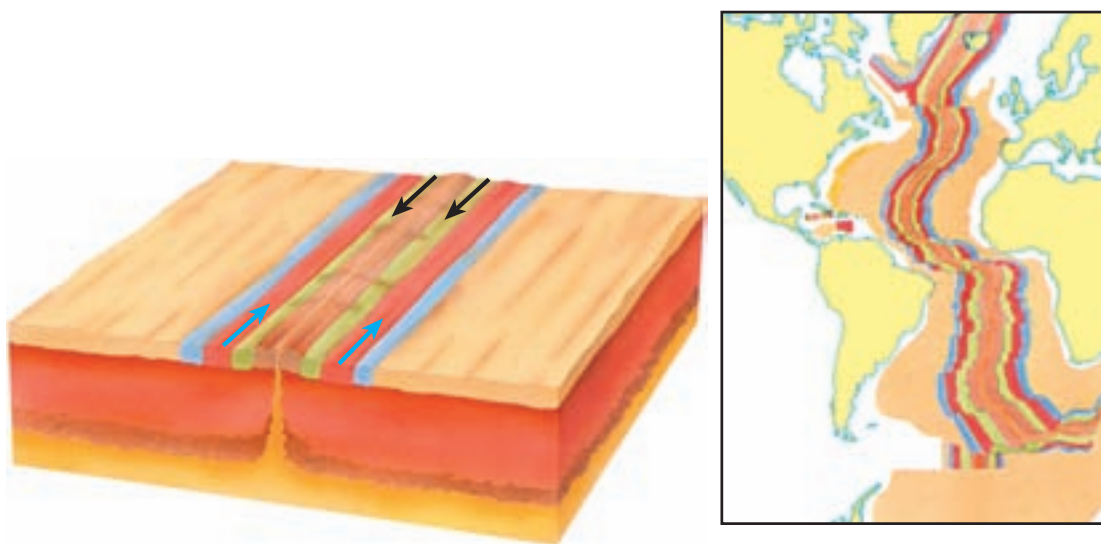
برش عرضی در اقیانوس اطلس



شکل ۸-۳- گسترش بستر اقیانوس (فرضیه‌ی هری‌هس) بر اساس این مدل، فرضیه را تفسیر کنید.

فرضیه‌ی هس این بود که، بستر اقیانوس‌ها در محل جریان‌های کنوکسیون ویژه‌ای که در گوشته‌ی رخ می‌دهند پدید می‌آید (شکل ۸-۳). با خروج مواد از گوشته، بستر اقیانوس به دو طرف رانده می‌شود، پس مواد مذاب جایی برای بیرون آمدن و پخش شدن پیدا می‌کنند. در این صورت، پوسته‌ی جدیدی در محل شکاف تشکیل می‌شود. هس، همچنین اعلام داشت که به جبران این افزوده‌شدن بر پوسته‌ی اقیانوسی، در محل گودال‌های عمیقی که در حاشیه‌ی بعضی از اقیانوس‌ها قرار دارند، پوسته‌ی اقیانوسی قدیمی‌تر دوباره به درون گوشته کشانده و کم‌کم هضم می‌شود. پس، پوسته‌ی اقیانوسی گذشته از جوان بودن، دائماً در حال تجدید شدن است.

وارونه شدن میدان مغناطیسی زمین: در همان زمان که هس فرضیه‌ی خود را ارائه داد، عده‌ای ژئوفیزیک‌دان دریافته بودند که جهت میدان مغناطیسی زمین در گذشته، چندین بار وارونه شده، یعنی قطب شمال مبدل به قطب جنوب و بالعکس شده است. شواهد این تغییر جهت میدان مغناطیسی، از مطالعه روی گدازه‌ها و رسوبات بستر دریا در نقاط مختلف جهان حاصل آمد. بعد از تأیید این پدیده، دانشمندان به فکر افتادند تا نوعی مقیاس زمانی برای آن تدوین کنند. در این میان، فقط کافی بود که جهت میدان در گدازه‌های مربوط به اعصار مختلف، تعیین شود (شکل ۹-۳).

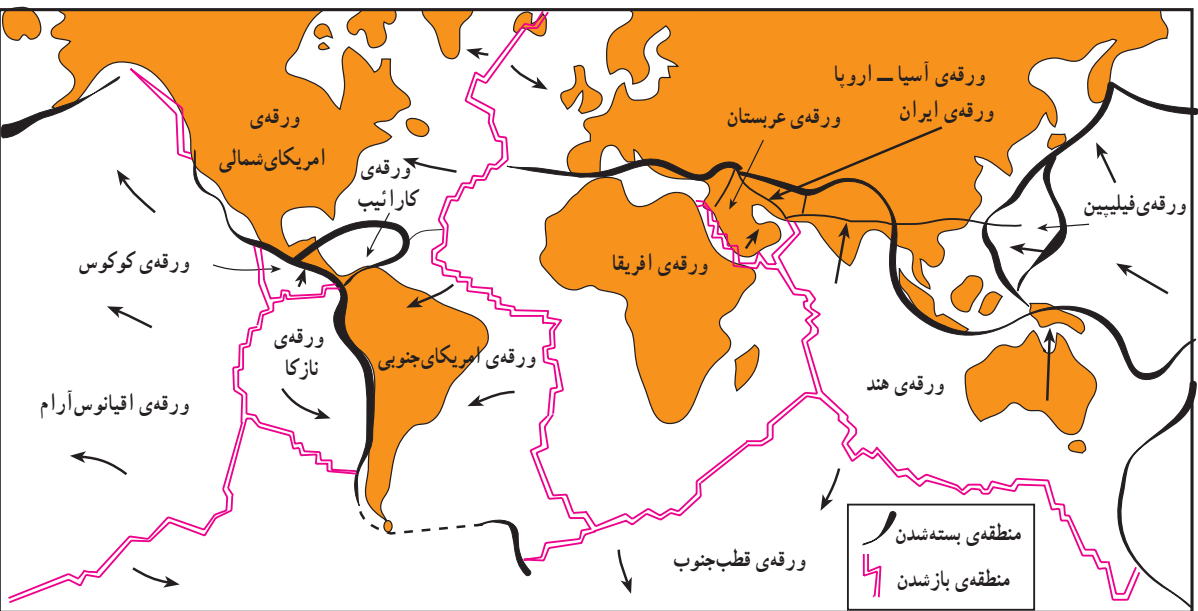


شکل ۹-۳- باتوجه به این شکل‌ها، آیا می‌توان گفت که شواهد مغناطیسی، فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را تأیید می‌کند؟

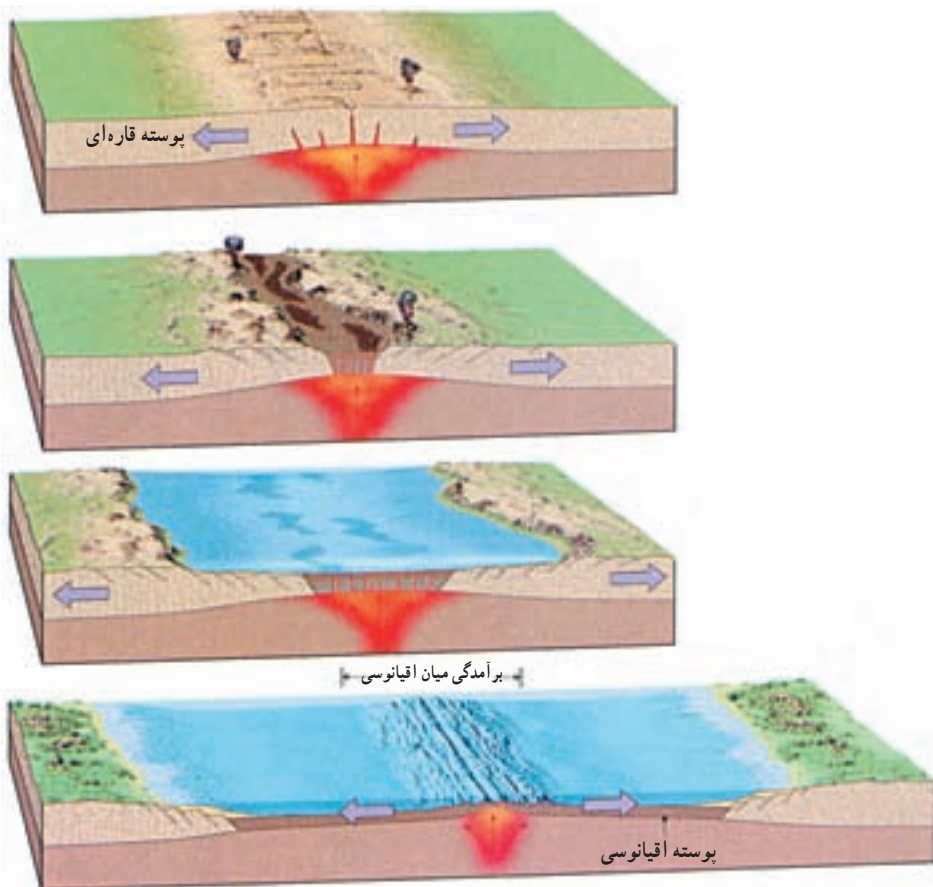
## تعبیری تازه از یک نظریه‌ی قدیمی

در سال ۱۹۶۸، از نظریه‌های جابه‌جایی قاره‌ها و گسترش بستر اقیانوس‌ها، نظریه‌ی کامل‌تری به نام زمین‌ساخت ورقه‌ای (تکتونیک ورقه‌ای) ارائه شد. این تئوری چنان جامع است که بیشتر فرایندهای زمین‌شناسی را به کمک آن می‌توان تعبیر کرد.

بر اساس نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای، سنگ کره (لیتوسفر) خارجی و جامد شامل ۷ ورقه‌ی بزرگ و تعدادی ورقه‌ی کوچک‌تر است (شکل ۱۰-۳). در این میان، بزرگ‌ترین ورقه را ورقه‌ی اقیانوس آرام تشکیل می‌دهد که در همه‌جا از آب پوشیده شده است. بقیه‌ی ورقه‌های بزرگ، قسمت‌هایی از خشکی و دریا را باهم شاملند. با این ترتیب، دیگر نمی‌توان به نظریه‌ی قدیمی جابه‌جا شدن قاره‌ها به تنهایی فکر کرد، بلکه باید گفت که بستر اقیانوس نیز همراه قاره‌ها در حرکت است. ضخامت ورقه‌ها در محل اقیانوس‌ها اندک است و بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر (در محل حوضه‌های عمیق اقیانوسی) تغییر می‌کند. در مقابل، ورقه‌ها در زیر قاره‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر و گاهی بیشتر، ضخامت دارند. ماهیت روان بودن نسبی سست کره، امکان حرکت سنگ کره‌ی جامد را فراهم می‌آورد.



شکل ۱۰-۳- لیتوسفر از تعدادی ورقه تشکیل شده است که نسبت به هم حرکت می‌کنند (مرز ورقه‌ها با خطوط رنگی و سیاه مشخص شده و پیکان‌ها جهت حرکات ورقه‌ها را نشان می‌دهند. ورقه‌ی آفریقا ثابت فرض شده است).



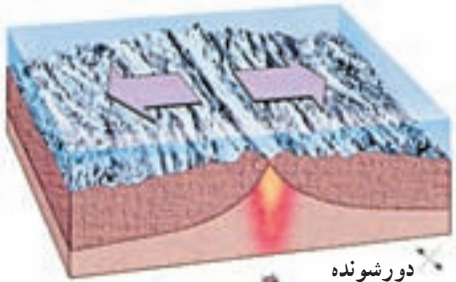
شکل ۱۱-۳- طرز تشکیل اقیانوس جدید در محل دورشدن ورقه‌ها

حرکت ورقه‌ها نسبت به هم، به سه شکل مختلف زیر می‌تواند صورت بگیرد:

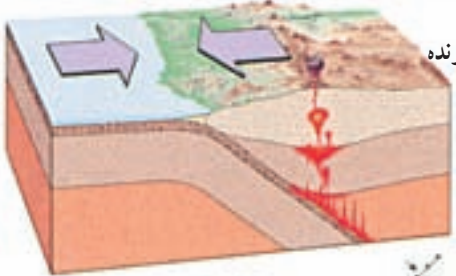
۱- ورقه‌های دورشونده (واگرا): در چنین محل‌هایی، ورقه‌ها از خط مرکزی رشته‌کوهی که در بستر دریا پدید می‌آید، فاصله می‌گیرند اما فاصله‌ی ایجاد شده را مواد مذابی که از درون زمین و سست‌کره‌ی داغ بالا می‌آیند، پر می‌کنند. با این ترتیب، پس از سرد شدن آن مواد، پوسته‌ی اقیانوسی جدیدی (لیتوسفر) در بین دو ورقه‌ی دورشونده پدید می‌آید.

بستر اقیانوس اطلس، در فاصله‌ی ۱۶۰ میلیون سال گذشته به همین ترتیب شکل گرفته است (گسترش بستر اقیانوس‌ها). سرعت متوسط باز شدن بستر دریاها، حدود ۵ سانتی‌متر در سال است. همین سرعت اندک باعث شده است که بستر اقیانوس‌ها در طول ۲۰۰ میلیون سال اخیر ایجاد شود. در امتداد حاشیه‌های دورشونده، برآمدگی‌هایی ایجاد شده است که طول مجموعه‌ی آن‌ها در اقیانوس‌های جهان، به حدود ۶۰ هزار کیلومتر می‌رسد (شکل ۱۱-۳).

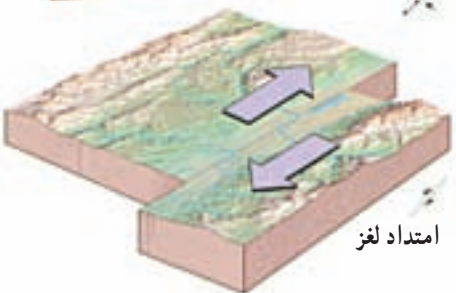
مراکز گسترش، فقط محدود به وسط اقیانوس‌ها نیستند. دریای سرخ، دریای جوانی است که قدمت چندانی ندارد و بر اثر جدا شدن شبه‌جزیره عربستان از آفریقا پدید آمده است. اگر عمل باز شدن در روی قاره‌ها صورت بگیرد، قاره از هم می‌شکافت و در محل شکاف، ماگمای داغ بیرون می‌ریزد و در آنجا، برآمدگی‌هایی شکل می‌گیرند. در قسمت شرق آفریقا، هم‌اکنون، پدیده‌ی باز شدن پوسته‌ی قاره‌ای مشهود است و کوه‌های آتش‌فشانی کلیمانجارو و کنیا نیز حاصل همان فعالیت‌ها هستند. اگر این محل همچنان فعال بماند، شرق آفریقا از این قاره جدا خواهد شد. گفته می‌شود که شبه‌جزیره عربستان نیز در چند میلیون سال پیش، به همین ترتیب از آفریقا جدا شده است. در محل ورقه‌های دورشونده، مرتباً سنگ‌کره‌ی جدید تشکیل می‌شود. اگر پدیده‌ی جبرانی وجود نداشته باشد، باید بر وسعت زمین همچنان افزوده شود. حال آن‌که سطح زمین مقداری ثابت



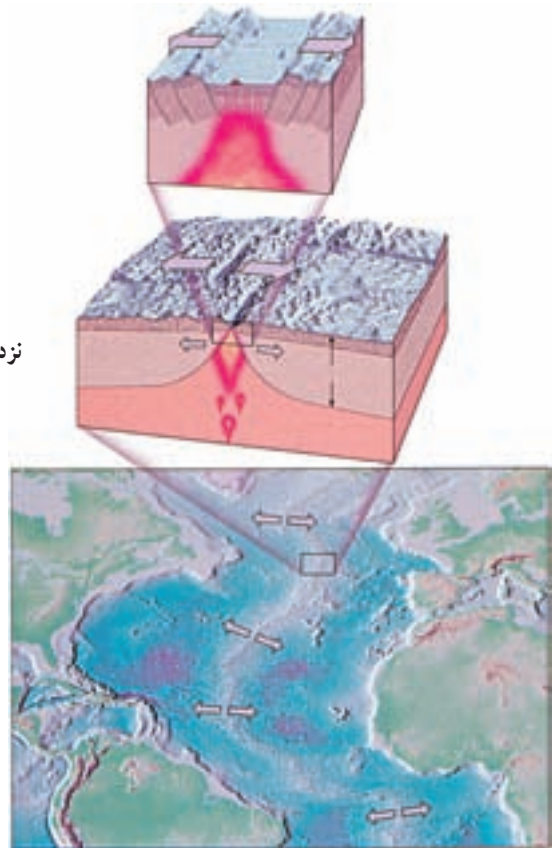
دورشونده



نزدیک‌شونده



امتداد لغز



شکل ۱۳-۳ حالت‌های مختلف حرکت ورقه‌های سازنده‌ی پوسته‌ی زمین نسبت به هم. مثال‌ها را در متن جست‌وجو کنید.

شکل ۱۲-۳ چگونگی دورشندن تدریجی دو قاره و وسیع شدن اقیانوس، که در بین آن‌ها تشکیل می‌شود. عامل ایجاد این پدیده چیست؟

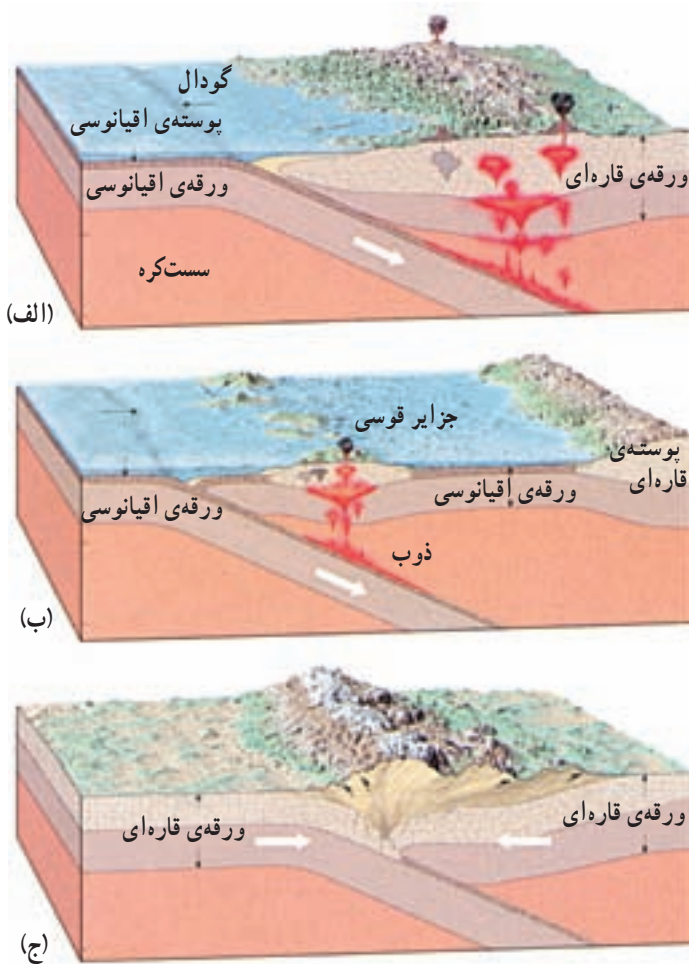
است، یعنی در مناطقی باید قسمتی از سنگ کره از بین برود. محل برخورد ورقه‌های نزدیک‌شونده، از این جمله است.

۲- ورقه‌های نزدیک‌شونده (همگرا): در این محل‌ها، معمولاً یک ورقه به زیر ورقه‌ی دیگر رانده می‌شود، این نوع مرزها، در محل گودال‌های عمیق اقیانوسی قرار دارند. بسته به این که صفحات نزدیک‌شونده از چه نوعی باشند، پدیده‌ی حاصل به یکی از صورت‌های زیر خواهد بود:

الف- در محل برخورد ورقه‌ی اقیانوسی با ورقه‌ی قاره‌ای، ورقه‌ی اقیانوسی خم می‌شود و به زیر می‌رود و به تدریج در گوشته هضم می‌شود که این فرآیند را اصطلاحاً فرورانش می‌گویند. در این حال، مقداری از رسوبات را نیز همراه خود به پایین می‌کشاند. وقتی این مواد به عمقی در حدود یک صد کیلومتر می‌رسند، حالت ذوب‌بخشی می‌یابند، که حاصل آن، ایجاد ماگمایی با ترکیب بازالتی و آندزیتی است. چنین ماگماهایی از سنگ‌های اطراف محل خود سبک‌ترند. بنابراین، وقتی مقدارشان به اندازه‌ی کافی زیاد شد، حرکتی آرام را به سمت بالا در پیش می‌گیرند و در میان لایه‌ها، منجمد و متبلور می‌شوند (سنگ‌های آذرین درونی). مقداری از این ماگما هم ممکن است به سطح زمین برسد و آتش‌فشان‌هایی از نوع انفجاری را باعث شود (شکل ۱۴-۳- الف).

ب- وقتی دو ورقه‌ی اقیانوسی به هم برخورد کنند، یکی به زیر دیگری فرو می‌نشیند و پدیده‌ی آتش‌فشانی مشابه حالت قبل رخ می‌دهد. اما این بار، محل آتش‌فشان‌ها در بستر دریاست نه در روی خشکی. اگر این آتش‌فشانی‌ها ادامه یابد، ممکن است بعد از مدتی جزایر آتش‌فشانی در دریا پدید آیند که به قوس جزایر معروفند (در کنار قوس جزایر امروزی هم گودال‌های اقیانوسی مشاهده می‌شود). (شکل ۱۴-۳- ب).

ج- هنگامی که دو ورقه‌ی قاره‌ای به هم برخورد کنند، هیچ‌یک، به داخل گوشته فرو نمی‌رود، زیرا چگالی هر دو، کم است. نتیجه‌ی چنین برخوردی، ایجاد کوه است. تصور می‌رود که سرزمین هندوستان، در گذشته‌های دور از قاره‌ی آسیا جدا بوده و در حین حرکت از نوع نزدیک‌شونده، به آن برخورد کرده و کوه‌های هیمالیا را حاصل آورده است. رشته‌کوه‌های بزرگ اورال، آلپ و آپالاش نیز نتیجه‌ی چنین برخوردهایی هستند. کوه‌های زاگرس نیز باید حاصل برخورد ورقه‌ی عربستان به قاره‌ی آسیا باشد. البته، در محل همه‌ی رشته‌کوه‌های گفته شده، قبل از برخورد، دریایی وجود داشته و رسوباتی در آنجا ته‌نشین می‌شده است. فشار حاصل از برخورد دو ورقه، آن رسوبات را چین داده و به صورت کوه درآورده است (شکل ۱۴-۳- ج).



شکل ۱۴-۳- مناطق برخورد دو ورقه، الف: اقیانوسی، قاره‌ای - ب: اقیانوسی، اقیانوسی - ج: قاره‌ای، قاره‌ای. پدیده‌های حاصل از هر برخورد چیست؟

۳- ورقه‌های امتداد لغز: در این نوع حرکت، پوسته‌ی جدید ایجاد یا تخریب نمی‌شود، زیرا دو ورقه‌ی مجاور، در کنار هم می‌لغزند، بنابراین، عملاً در این محل‌ها گسل‌های متعددی وجود دارد و زلزله‌های مکرری رخ می‌دهد.

در سال ۱۹۶۵، توزو ویلسون، زمین‌شناس کانادایی با مطالعه در این نوع گسل‌های امتداد لغز و بزرگ، کمربندهای فعال زمین را به هم ارتباط داد و برای نخستین بار، ایده‌ی وجود ورقه‌های تشکیل‌دهنده‌ی لیتوسفر زمین و مرز آن‌ها را عنوان کرد.

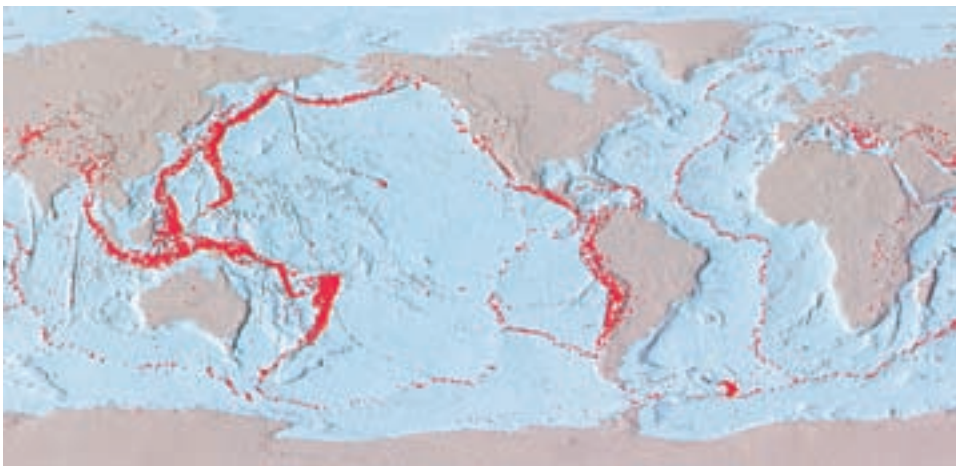


## آزمون مدل

با ارائه‌ی فرضیه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای، محققان شاخه‌های گوناگون علم زمین‌شناسی، شروع به آزمون این فرضیه کردند. در نتیجه‌ی این رویکرد علاوه بر دلایلی که در ابتدای این فصل برای جابه‌جا شدن قاره‌ها آورده شد، شواهد زیادتری مبنی بر درست بودن آن نظریه یافت شد.

زمین‌ساخت ورقه‌ای و پراکندگی زلزله‌ها: در سال ۱۹۶۸، یعنی در همان زمان که نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای ارائه شد، سه زلزله‌شناس، مقاله‌ای منتشر کردند که نشان می‌داد چگونه نظریه‌ی مذکور با توزیع نقاط زلزله‌خیز جهان هماهنگی دارد (شکل ۱۵-۳). شما نیز نقشه‌ی توزیع زلزله‌ها را دقیقاً با الگوی ورقه‌ها (شکل ۱۰-۳) مقایسه کنید. جالب آن است که در نزدیکی گودال‌های عمیق اقیانوسی، فراوانی زمین‌لرزه‌ها زیادتر از نقاط دیگر است (چرا؟). نظیر چنین حالتی را در کنار ژاپن و حاشیه‌ی غربی امریکای جنوبی می‌توان ملاحظه کرد.

حفاری در بستر اقیانوس: در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۳، حفاریاتی در ۱۰۹۲ نقطه، در میان رسوبات بستر اقیانوس‌ها صورت گرفته است. هدف از این فعالیت‌ها، دستیابی به اطلاعاتی درباره‌ی سن حوضه‌های اقیانوسی بود. محققان، با دستیابی مستقیم به نمونه‌ی رسوبات نواحی عمیق اقیانوس‌ها می‌توانستند درست بودن فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را بیازمایند. در هنگام تعیین سن رسوبات، یافته‌ی مهمی حاصل آمد، به این معنی که نمونه‌ها نشان دادند که هرچه از محل رشته کوه‌های میان اقیانوسی دورتر می‌شویم، عمر رسوبات زیادتر می‌شود (این یافته را چگونه تفسیر می‌کنید؟). حداکثر عمری که برای رسوبات قدیمی تعیین شد، ۱۶۰ میلیون سال بود، حال آن که سن



شکل ۱۵-۳- مراکز ۳۰۰۰۰ زلزله‌ای که در فاصله‌ی سالیان ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۷ در روی زمین رخ داده‌اند، در این نقشه پیداست. چه استنباطی در مورد آن‌ها می‌کنید؟

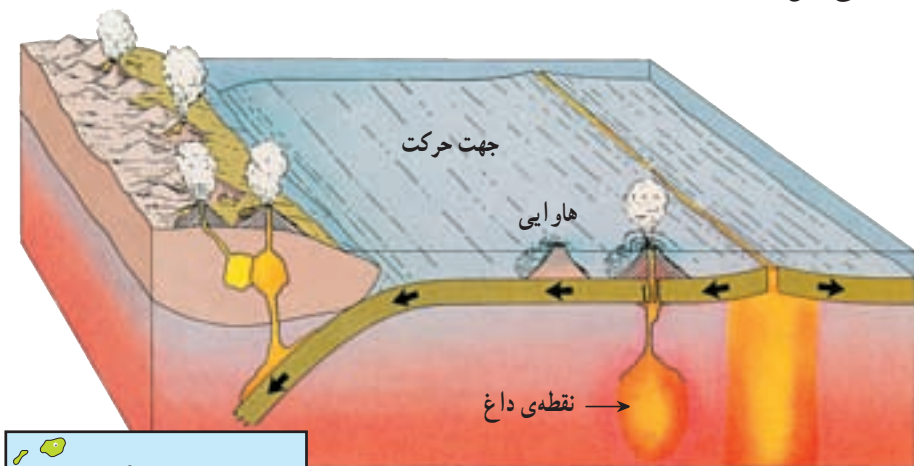
بعضی از سنگ‌های روی قاره‌ها به ۴ میلیارد سال نزدیک است. ضمناً، در محل رشته کوه‌های میان اقیانوسی، رسوبی یافت نمی‌شد.

اندازه‌گیری‌های انجام شده در اقیانوس‌ها، نشان می‌دهد که سرعت رسوب‌گذاری، چیزی در حدود یک سانتی‌متر در یک هزار سال است. اگر قرار بود که بستر اقیانوس‌ها بسیار قدیمی باشد، بایستی رسوباتی به ضخامت چندین کیلومتر در آن‌ها یافت می‌شد، حال آن‌که حداکثر ضخامت رسوبات بیشتر از چند صد متر نشان داده نشد.

**نقاط داغ:** نقشه برداری از برآمدگی‌های زیر دریا در اقیانوس آرام، رشته‌ای از جزایر آتش‌فشان را از جزایر هاوایی تا محل گودال التوشین (نزدیک آلاسکا) نشان داد.

پس از تعیین سن آتش‌فشان‌ها معلوم شد که هرچه از هاوایی دور شویم، سن کوه‌های آتش‌فشانی به ترتیب بیشتر افزایش می‌یابد. مثلاً، دورترین کوه ۶۵ میلیون سال قدمت دارد و بعد به کوهی ۲۷ میلیون ساله و سرانجام به کوه‌های آتش‌فشان هاوایی می‌رسیم که کم‌تر از یک میلیون سال عمر دارند.

محققان عقیده دارند که نوعی مخزن در حال بالا آمدن از مواد گوشته، در زیر جزایر هاوایی قرار دارد. ذوب این مواد در هنگام رسیدن به اعماق کم و کاسته شدن از مقدار فشار، باعث پدید آمدن نوعی **نقطه‌ی داغ** می‌شود. با فرض این‌که صفحه‌ی اقیانوس آرام از روی این نقطه عبور می‌کند، به ترتیب، ساختارهای آتش‌فشانی حاصل می‌آیند. عمر هر آتش‌فشان نیز نشان‌دهنده‌ی زمانی است که آن کوه، در نزدیک نقطه‌ی داغ قرار داشته است. ۵ میلیون سال پیش، کائوایی یعنی قدیمی‌ترین جزایر هاوایی در روی نقطه‌ی داغ واقع بود. بنابراین، فقط همان یک آتش‌فشان که امروزه خاموش است در این محل تشکیل شد



شکل ۱۶-۳- رابطه‌ی میان نقطه‌ی داغ و رشته‌ی جزایر هاوایی در ورقه‌ی اقیانوس آرام

(شکل ۱۶-۳). اما امروزه، در جزیره‌ی هاوایی، ناظر بیرون آمدن گدازه‌های جدید از کوه‌های مونالوا و کیلوا هستیم. جالب آن‌که در نقطه‌ای جنوبی‌تر واقع در ۳۵ کیلومتری هاوایی، یک جزیره‌ی دیگر در آینده به جمع جزایر هاوایی افزوده خواهد شد. در نقاط دیگر اقیانوس آرام هم نظیر همین رشته‌جزایر وجود دارد. نقاط داغ نیز دلیلی دیگر بر حرکت ورقه‌ها و حتی جهت آن هستند. البته هنوز در مورد چگونگی تشکیل نقاط داغ و نقش آن‌ها در زمین‌ساخت ورقه‌ی بحث وجود دارد. تعداد نقاط داغ، حدود ۵۰ تا ۱۲۰ مورد تعیین شده است. محل یکی از این نقاط در زیر جزیره‌ی ایسلند در شمال اروپاست.

## عامل‌های حرکت دهنده

تئوری زمین‌ساخت ورقه‌ی، فقط از حرکت ورقه‌ها و آثار این حرکت بحث می‌کند بدون آن‌که از نیرو یا نیروهای دست‌اندرکار در این فرآیند صحبتی به میان آورد. در این باره البته، هنوز دلیل قانع‌کننده‌ای داده نشده است، اما به احتمال زیاد، توزیع نامساوی گرما در درون زمین باید عامل این حرکت باشد. مثلاً، چنان‌که گفته شد، هولمز عامل حرکات را وجود جریان‌های کنوکسیونی در داخل گوشته می‌داند (شکل ۸-۳) در حالی‌که زمین‌شناسان امروزی، چگونگی انجام این حرکات را بسیار پیچیده‌تر از آن می‌شمارند که بتوان با جریان ساده‌ی کنوکسیونی نشان داد. در ضمن، معلوم نیست آیا چنین حرکاتی محدود به ۷۰۰ کیلومتر اول، یعنی گوشته‌ی فوقانی است یا آن‌که تمام قطر گوشته را شامل می‌شود؟

## بیشتر بدانید

### ۱ - آزمون‌ی تازه در مورد اثبات حرکات ورقه‌ای

تا اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، دلایل وجود ورقه‌ها و حرکات آن‌ها را از روی پدیده‌های زمین‌شناختی چون آتش‌فشان، زلزله، رسوبات بستر دریا و غیره استنباط می‌کردند، اما اخیراً امکان آزمون مستقیم‌تری فراهم آمده است و دانشمندان به روشی ابداعی، می‌توانند متوجه نوع حرکات ورقه‌ها نسبت به هم و حتی میزان سرعت آن‌ها در سال شوند.

در این روش، فاصله‌ی میان دو نقطه‌ی دور از هم روی زمین را بادقتی فوق‌العاده زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. برای این کار، اشعه‌ی لیزر را از چند ایستگاه به سوی ماهواره‌ای که جای آن کاملاً در فضا ثابت است ارسال می‌دارند و به کمک این اشعه، جای دقیق هر ایستگاه زمینی را تعیین می‌کنند. اگر بعد از مدتی، فاصله‌ی دو ایستگاه ارسال اشعه حتی در حد سانتی‌متر تغییر کند، مقدار جابه‌جایی و جهت آن معلوم خواهد شد.

با استفاده از این روش، دیگر تردیدی در مورد حرکات ورقه‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی

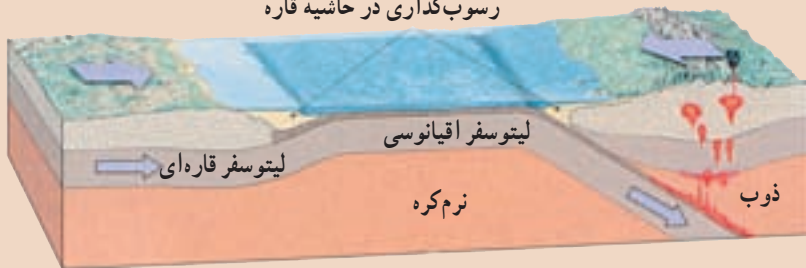
زمین نسبت به هم باقی نمی ماند. محاسبات نشان داده اند که هاوایی رو به شمال غرب در حرکت است و با سرعتی معادل  $8/3$  سانتی متر در سال، به ژاپن نزدیک می شود. همچنین، نقطه ای واقع در مرلند در شرق امریکا، با سرعت  $1/7$  سانتی متر در سال، از انگلیس دور می شود. قبلاً سرعت گسترش بستر اقیانوس اطلس را به روش مغناطیس سنجی، معادل  $2/2$  سانتی متر در سال تعیین کرده بودند.

## ۲- دگرگونی و زمین ساخت ورقی

بیشتر اطلاعاتی که درباره ی فرآیند دگرگونی در اختیار است، با آنچه که درباره ی حرکات زمین و زمین ساخت ورقی می دانیم، هماهنگ است. بر این اساس، بیشتر سنگ های دگرگون شده، در محل برخورد دو ورقه ی نزدیک شونده، تشکیل می شوند. در این نوع محل ها، فشار زیاد حاصل از تصادم دو ورقه، کوه هایی را پدید می آورد و در لبه ی دو ورقه، سنگ ها دگرگون می شوند. بسیاری از رشته کوه های بزرگ زمین مانند آلپ، هیمالیا و آپالاش به همین ترتیب ایجاد شده اند. در ایران نیز به موازات رشته کوه های زاگرس از سنندج تا حاجی آباد (شمال بندرعباس)، این نوع دگرگونی دیده می شود. در همه ی این کوه ها نیز به مقادیر متفاوتی، سنگ های دگرگون شده به صورت نوار طویل و باریک وجود دارد.

دگرگونی در مقیاس بزرگ نیز در امتداد مناطق فرورانش، صورت می گیرد. در این محل ها، سنگ ها به طرف گوشته پایین می روند. با فرورفتن، سنگ های لیتوسفری تحت فشار و دمای بالاتری قرار می گیرند. البته، در این محل ها دما پایین تر از گوشته ی اطراف باقی می ماند، زیرا سنگ، ناقل گرمای خوبی نیست، سنگ هایی که در این محل ها، یعنی تحت فشار زیاد و دمای کم تشکیل می شوند، بلوئیسیت نام دارند، زیرا کانی های سیلیکاتی آبی رنگ در آن ها زیاد است.

رسوب گذاری در حاشیه قاره



در محلهای فرورانش، دگرگونی ناحیه ای اتفاق می افتد، زیرا سنگها بین دو ورقه نزدیک شونده فشرده گی می یابند.



# زمین لرزه

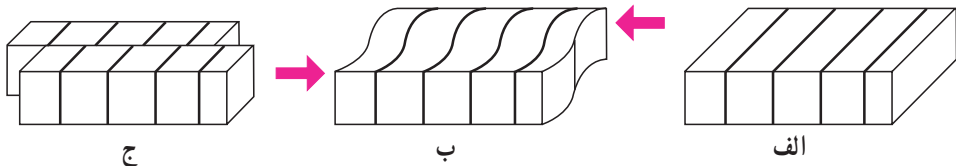
زمین لرزه یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های طبیعی است که در طول تاریخ همواره خسارات جانی و مالی فراوانی به همراه داشته است.

کشته شدن ۸۳۰ هزار نفر در سال ۱۵۵۶ میلادی، ۹۰ هزار نفر در سال ۱۹۰۸ میلادی و بیش از ۳۵ هزار نفر در سال ۱۳۶۹ شمسی به ترتیب در زمین لرزه‌های چین، ایتالیا و رودبار، سه نمونه از هزاران زمین لرزه‌ی مخرب ۵۰۰ سال اخیر است. مطالعه‌ی زمین لرزه‌ها و بررسی ویژگی‌های امواج زمین لرزه و چگونگی کمک گرفتن از امواج زمین لرزه‌های طبیعی و مصنوعی، در محدوده‌ی دانش لرزه‌شناسی قرار می‌گیرد. دانش لرزه‌شناسی در شناخت ساختمان داخلی زمین کمک زیادی به ما کرده است.

## منشأ زمین لرزه

تقریباً تمام زمین لرزه‌های دنیا در حاشیه‌ی ورقه‌های سنگ کره رخ می‌دهند (شکل ۱۵-۳). در این مناطق نیروهایی که عموماً در نتیجه‌ی حرکت و جابه‌جایی ورقه‌های سنگ کره به وجود می‌آیند، مجموعه‌ی سنگی یک ناحیه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مجموعه‌ی سنگی، ابتدا کمی تغییر شکل می‌دهد و انرژی حاصل از این نیروها را در خود ذخیره می‌کند تا این که مقدار این انرژی‌ها از آستانه‌ی مقاومت سنگ تجاوز کند و سنگ‌ها شکسته شوند (شکل ۱-۴).

در این موقع انرژی ذخیره‌شده در سنگ‌ها، آزاد می‌شود، به صورت موج به اطراف حرکت می‌کند و با رسیدن به سطح زمین سبب لرزش و تخریب بناها، ریزش کوه‌ها، ایجاد ترک‌های عمیق، امواج بزرگ در دریاها و پدیده‌های مختلف دیگر می‌شود.



شکل ۱-۴ (الف) سنگ‌ها قبل از وارد شدن نیرو، (ب) وارد شدن نیرو و تغییر شکل، (ج) شکسته شدن سنگ‌ها و آزاد شدن انرژی

خط گسل در سطح زمین



شکل ۲-۴- در لحظه وقوع زلزله، انرژی زیادی در محل کانون آزاد می‌شود.

همه‌ی زمین‌لرزه‌ها بر اثر شکستن سنگ‌ها ایجاد نمی‌شوند بلکه تعدادی از آن‌ها در محل شکستگی‌های قدیمی اتفاق می‌افتند. در این مناطق، با ازدیاد نیروهای وارده، حرکاتی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های قدیمی به وجود می‌آید که ضمن آزاد کردن انرژی سبب می‌شود که گسل‌ها وضعیت جدید به خود بگیرند. به همین دلیل است که در بررسی مناطق زلزله‌خیز، لازم است گسل‌های فعال منطقه دقیقاً مشخص شود و تاریخچه‌ی فعالیت آن‌ها در گذشته، مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۲-۴).

باید توجه داشت که در یک زمین‌لرزه، تمام طول گسل جابه‌جا نمی‌شود. در یک زمان ممکن است بخش‌هایی از آن جابه‌جا شود و بخش‌های دیگر مقاومت کند. در ضمن، زمین‌لرزه معمولاً به صورت یک شکست منفرد

و ساده‌ی سنگ به وجود نمی‌آید، در هر زمین‌لرزه باید از گروه لرزه‌ها صحبت کرد. ابتدا تعدادی لرزه‌های خفیف اتفاق می‌افتد که به آنها پیش‌لرزه گویند. سپس حرکت و لرزه‌ی اصلی به وقوع می‌پیوندد و پس از آن حرکات و لرزه‌های خفیف متعادل‌کننده صورت می‌گیرد که به آن‌ها پس‌لرزه گویند.

### فکر کنید

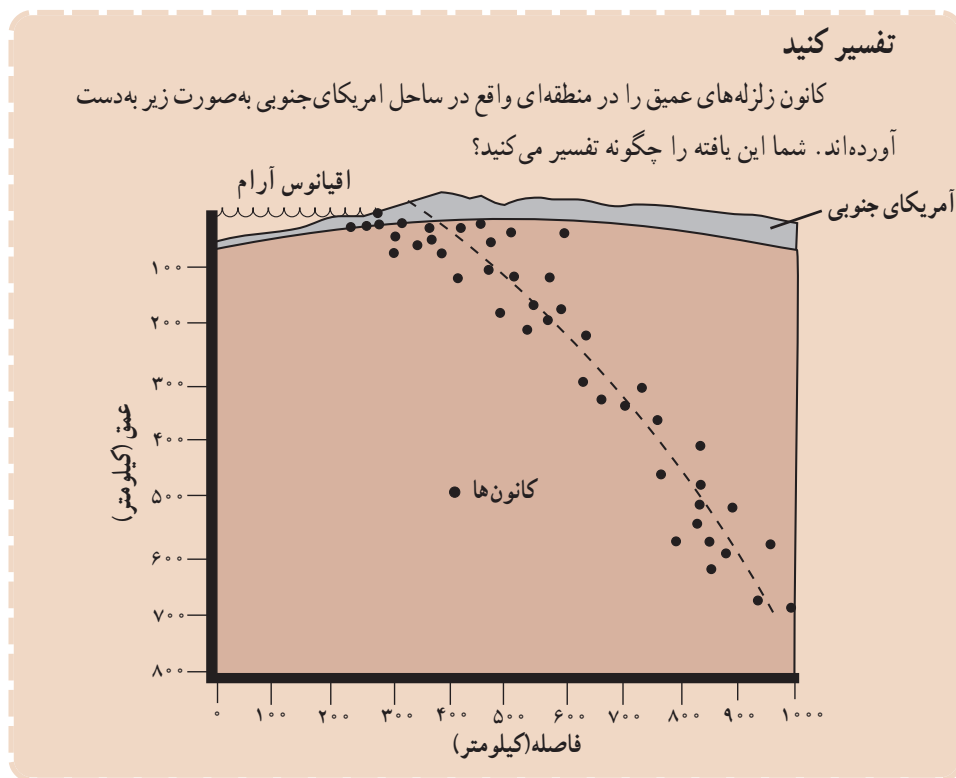
چرا گاهی پس‌لرزه‌ها، با وجود این که اغلب لرزه‌های خفیفی محسوب می‌شوند، با خرابی و تلفات همراه‌اند؟

### کانون و مرکز سطحی زمین‌لرزه

با وجود این که امواج زمین‌لرزه در یک صفحه تولید می‌شوند، ولی برای سهولت مطالعه، خاستگاه امواج زمین‌لرزه را یک نقطه فرض می‌کنند و آن را کانون می‌نامند (شکل ۲-۴). کانون اغلب زمین‌لرزه‌ها در اعماق کم‌تر از ۷۰ کیلومتر قرار دارد، اما کانون تعدادی از آن‌ها

هم در اعماق زیاد واقع است که عمق هیچ‌یک از ۷۰۰ کیلومتر تجاوز نمی‌کند. زمین‌لرزه‌ها را از نظر عمق کانون می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

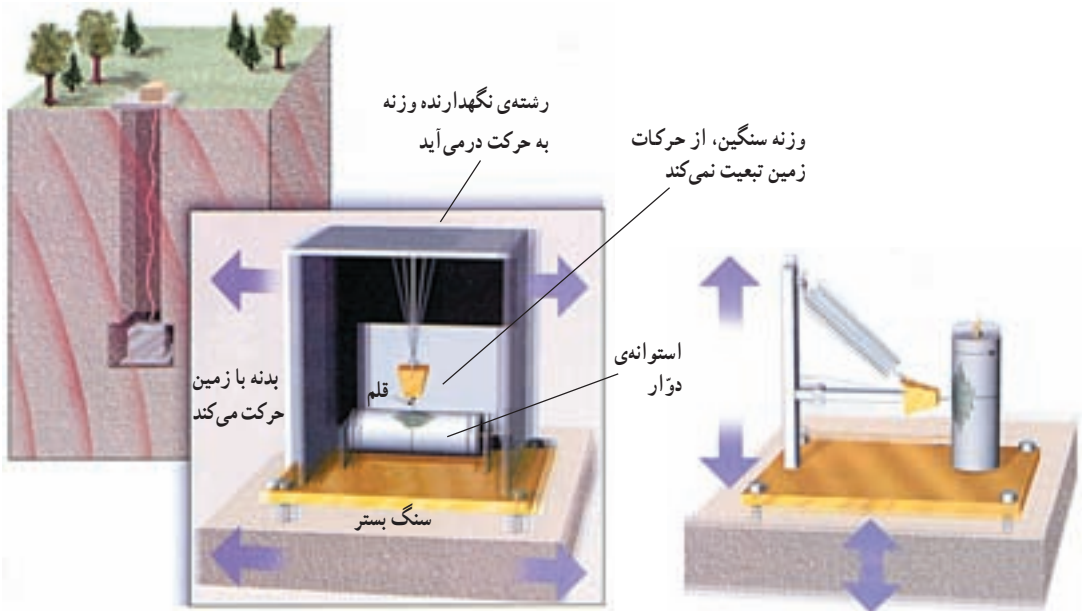
- زمین‌لرزه‌های کم عمق (عمق کانون کم‌تر از ۷۰ کیلومتر)
- زمین‌لرزه‌های با عمق متوسط (عمق کانون بین ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر)
- زمین‌لرزه‌های عمیق (عمق کانون بیش از ۳۰۰ کیلومتر)



نقطه‌ای در روی زمین را که مستقیماً در بالای کانون واقع باشد و امواج حاصل از زمین‌لرزه زودتر از بقیه‌ی نقاط به آنجا می‌رسند، مرکز سطحی و به طور ساده مرکز زمین‌لرزه می‌نامند (شکل ۲-۴).

### ثبت امواج زمین‌لرزه

امواج حاصل از یک زمین‌لرزه توسط دستگاهی موسوم به لرزه‌نگار که در ایستگاه‌های لرزه‌شناسی کار گذاشته شده‌اند، ثبت می‌شود. به هنگام برخورد امواج زمین‌لرزه با لرزه‌نگار، قسمتی از دستگاه تقریباً ثابت می‌ماند و بقیه‌ی قسمت‌های آن که در ارتباط مستقیم با زمین‌اند، مرتعش



شکل ۳-۴ - دونوع لرزه‌نگار عمودی و افقی. اساس کار این دونوع دستگاه را شرح دهید. تفاوت و شباهت کار آن‌ها در چیست؟

می‌شوند. بدین وسیله امواج روی کاغذ، فیلم یا نوار مغناطیسی ثبت می‌شوند (شکل ۳-۴). در یک ایستگاه لرزه‌شناسی حداقل سه دستگاه لرزه‌نگار وجود دارد، که یکی ارتعاشات قائم و دوتای دیگر ارتعاشات افقی (شمالی - جنوبی و شرقی - غربی) را ثبت می‌کنند. مشخصات یک زمین‌لرزه مانند مرکز سطحی، زمان وقوع و عمق کانون را می‌توان با یافته‌های حاصل از چند ایستگاه لرزه‌شناسی محاسبه کرد.

## امواج زمین‌لرزه

امواج حاصل از یک زمین‌لرزه گوناگون‌اند. این امواج ممکن است از نظر سرعت، دامنه، طول موج و دوره‌ی تناوب با یکدیگر متفاوت باشند.

امواج زمین‌لرزه را با توجه به این که در داخل یا سطح زمین عبور کنند به دودسته امواج درونی و امواج سطحی تقسیم‌بندی می‌کنند. امواج درونی (انواع S, P، صفحه ۱۷) در کانون زمین‌لرزه ایجاد و در درون زمین منتشر می‌گردند ولی امواج سطحی بر اثر برخورد امواج درونی با فصل مشترک لایه‌ها و نیز در سطح زمین تولید می‌شوند.

امواج سطحی، شکل‌های گوناگونی دارند ولی متداول‌ترین آن‌ها، امواج لاولو (Love waves) و امواج ریلی (Rayleigh waves) هستند.



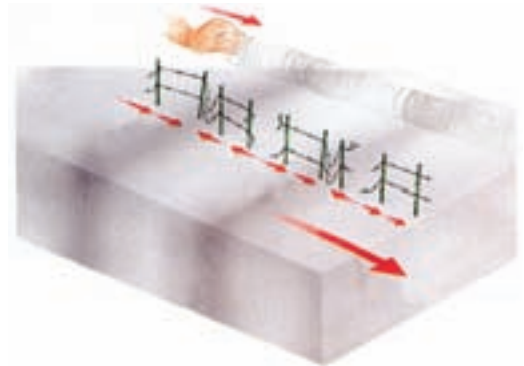
امواج لاو، حرکتی کم و بیش شبیه امواج S دارند، با این تفاوت که ذرات ماده به موازات سطح زمین جابه‌جا می‌شوند و هیچ‌گونه جابه‌جایی قائم ندارند (شکل ۴-۴-ج).

امواج ریلی مانند حرکات امواج دریا ذرات را در یک مدار دایره‌ای به ارتعاش درمی‌آورند (شکل ۴-۴-د). البته در امواج ریلی، جهت حرکت دایره‌ای مخالف جهت حرکت امواج دریا است. عمق نفوذ و تأثیر امواج ریلی مثل امواج آب دریا محدود است و از سطح به عمق رفته‌رفته کاهش پیدا می‌کند. به‌طور کلی امواج سطحی سرعت کم‌تری از امواج درونی دارند. از این رو دیرتر از امواج عرضی به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری می‌رسند. ضمناً در امواج سطحی سرعت امواج لاو از سرعت امواج ریلی بیشتر است.

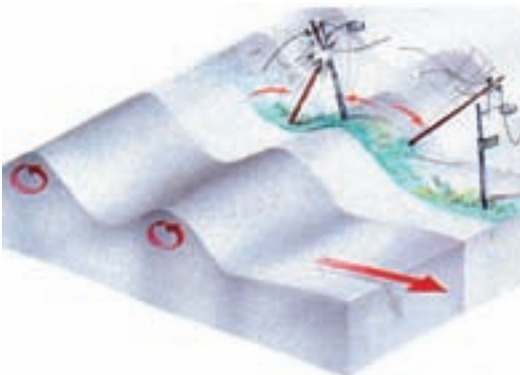
از آنجا که دامنه‌ی امواج سطحی بسیار بزرگ‌تر از دامنه‌ی امواج درونی است، بنابراین، عامل اصلی تخریب محسوب می‌شوند.



(ب) طرز حرکت امواج عرضی (S)



(الف) طرز حرکت امواج طولی (P)



(د) طرز حرکت امواج ریلی (R)



(ج) طرز حرکت امواج لاو (L)

شکل ۴-۴- چهارنوع حرکت امواج زلزله که فراوانی آنها در سطح زمین، نسبت به انواع دیگر زیادتر است.

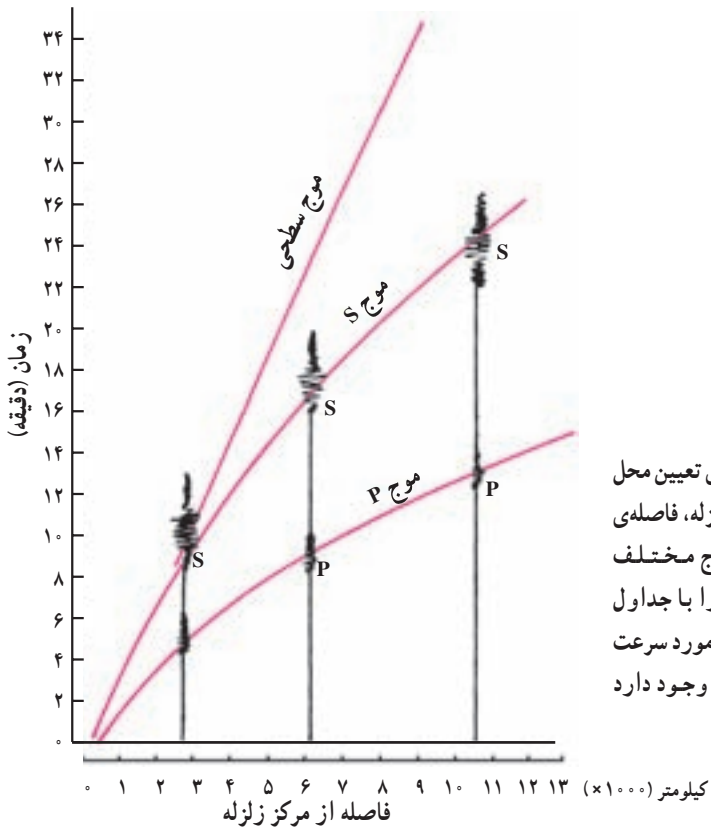
## شدت و بزرگی زمین‌لرزه

تاقبل از استفاده از دستگاه‌های لرزه‌نگار، زمین‌لرزه‌ها را به وسیله‌ی آثار مخربشان ارزیابی می‌کردند. در این شیوه می‌توان، پس از وقوع هر زمین‌لرزه نقشه‌ای تهیه کرد که در آن نقاطی را که خسارات یکسان دیده‌اند به وسیله‌ی خطوطی به هم وصل کرد به این ترتیب منحنی‌هایی به دست می‌آید که به آن منحنی‌های هم‌لرزه می‌گویند. مسلماً در این نقشه، محلی با حداکثر خسارات مشخص خواهد شد که همان مرکزسطحی زمین‌لرزه است و هر قدر از این مرکز دور شویم، آثار خرابی کم‌تر می‌شود. به این ترتیب، مقیاسی از میزان خرابی به دست می‌آید. این مقیاس را شدت (Intensity) زمین‌لرزه می‌گویند که دارای ۱۲ درجه است. چون شدت یک زمین‌لرزه در نقاط مختلف با اعداد مختلف نشان داده می‌شود، باید هنگام بیان شدت یک زمین‌لرزه اسم محل نیز قید شود.

**بزرگی (magnitude)** زمین‌لرزه را براساس داده‌هایی که از دستگاه‌های لرزه‌نگار به دست می‌آورند تعیین می‌کنند. بزرگی زمین‌لرزه به مقدار انرژی که از کانون زمین‌لرزه آزاد می‌شود وابسته است. هر قدر انرژی آزادشده توسط یک زمین‌لرزه زیادتر باشد ارتعاشات ناشی از آن شدیدتر و دامنه‌ی نوسانات امواج آن بزرگ‌تر خواهد بود. طبق تعریف واحد بزرگی زمین‌لرزه ریشتر است و آن لگاریتم بزرگ‌ترین دامنه‌ی موجی (برحسب میکرون) است که در فاصله‌ی یک صد کیلومتری از مرکز زمین‌لرزه توسط دستگاه لرزه‌نگار استاندارد ثبت شده باشد. با این که دامنه‌ی امواج زمین‌لرزه با دور شدن از کانون زمین‌لرزه کاهش می‌یابد ولی وقتی زمین‌لرزه‌ی مهمی در یک نقطه از کره‌ی زمین رخ دهد بزرگی محاسبه‌شده در ایستگاه‌های مختلف عددی یکسان است، زیرا دانشمندان لرزه‌شناس با استفاده از روش‌هایی می‌توانند بزرگی زمین‌لرزه را در هر نقطه که اتفاق افتاده باشد به یکسان محاسبه کنند. چنان که در بالا اشاره شد بزرگی زمین‌لرزه را با مقیاس ریشتر (دانشمندی که اولین بار آن را به کار برد) بیان می‌کنند. در این مقیاس اگر دامنه‌ی موج  $10^0$  برابر بزرگ‌تر شود یک درجه بر مقیاس ریشتر افزوده می‌شود. بزرگی زمین‌لرزه‌ها را معمولاً با یک عدد صحیح و یک رقم اعشاری نشان می‌دهند. مثلاً بزرگی زمین‌لرزه‌ای که در سال ۱۳۶۹ در رودبار اتفاق افتاد  $7/4$  درجه در مقیاس ریشتر بود.

## تعیین محل زمین‌لرزه

با داشتن اختلاف زمان رسیدن امواج P و S به دستگاه لرزه‌نگار پیدا کردن مرکزسطحی زمین‌لرزه آسان است. برای این کار اختلاف زمان مزبور را در هر ایستگاه با منحنی (۱-۴) مقایسه و به این ترتیب، فاصله‌ی میان ایستگاه و مرکزسطحی زمین‌لرزه را مشخص می‌کنند.



### فکر کنید

چگونگی پیدا کردن مرکز سطحی زمین لرزه را از روی شکل مقابل توضیح دهید.  
 - اگر فقط از یک لرزه‌نگار استفاده کنیم چه مشکلی در تعیین مرکز سطحی زمین لرزه پیش می‌آید؟ دو لرزه‌نگار چه اشکالی دارد؟

### خرابی‌های حاصل از زمین لرزه

سالانه بیش از ۱۵۰/۰۰۰ زمین لرزه در نقاط مختلف دنیا به وقوع می‌پیوندد، اما تعداد معدودی از آن‌ها اثرات تخریبی وسیع دارند و بسیاری چنان خفیف‌اند که فقط دستگاه‌های حساس لرزه‌نگار می‌توانند وقوعشان را ثبت کنند. میزان خرابی‌های زمین لرزه بستگی به مقدار انرژی آزادشده،

شکل ساختمان، نوع مصالح به کار گرفته شده، دانش افراد سازنده و نوع زمین زیر ساختمان ها دارد.

### تحقیق کنید

کدام مصالح ساختمانی و چه شکل هایی از ساختمان در برابر زمین لرزه مقاومت بیشتری

دارند.

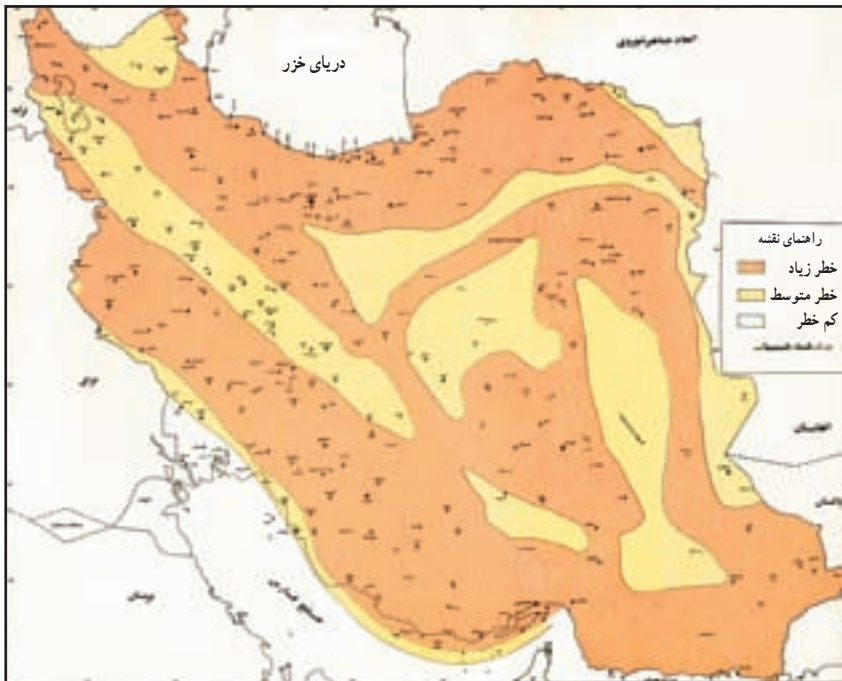
- پس از وقوع یک زمین لرزه ی مخرب، چه خطراتی جان افراد سالم را تهدید می کند؟
- آیا فعالیت های بشری هم ممکن است زمین لرزه ایجاد کند؟

### زمین لرزه در کشور ما

باتوجه به شکل ۱۵-۳ مشخص می شود که اغلب زمین لرزه های کره ی زمین در نواحی مشخصی که به مناطق لرزه خیز یا کمربندهای زمین لرزه معروف اند روی می دهند. مهم ترین این کمربندها عبارت اند از حاشیه های اقیانوس آرام و کمربند آلپ هیمالیا که بر کوه های جوان کره ی زمین مانند آلپ، البرز، زاگرس و هیمالیا منطبق اند.

جدول ۱-۴- پاره ای از زلزله های ایران با بزرگی ۷ درجه و بالاتر در مقیاس ریشتر

سال	ماه	محل	بزرگی
۱۲۸۸	دی	دورود	۷/۴
۱۳۰۸	مهر	شمال خراسان	۷/۲
۱۳۰۹	اردیبهشت	جنوب غربی سلماس	۷
۱۳۱۳	خرداد	سراوان	۷
۱۳۲۷	مهر	شمال خراسان	۷/۲
۱۳۳۶	تیر	لاریجان	۷/۴
۱۳۳۶	آذر	غرب همدان	۷
۱۳۴۱	شهریور	بوئین زهرا	۷
۱۳۴۷	مرداد	دشت بیاض	۷/۳
۱۳۵۶	اسفند	بندرعباس	۷
۱۳۵۷	شهریور	طیس	۷/۷
۱۳۵۸	آبان	شمال قاین	۷/۳
۱۳۶۰	مرداد	کرمان	۷/۱
۱۳۶۹	خرداد	رودبار	۷/۴
۱۳۷۶	اردیبهشت	قائنات	۷/۲



شکل ۵-۴- خطر زمین‌لرزه در قسمت‌های مختلف ایران (اقتباس از نقشه‌ی تهیه شده توسط وزارت مسکن و شهرسازی)

کشور ما روی یکی از کمربندهای فعال زمین‌لرزه‌ی کره‌ی زمین قرار گرفته است و هرچند مدت یک‌بار زمین‌لرزه‌ی ویران‌کننده‌ای در یکی از نقاط آن روی می‌دهد.

## دانستنی‌هایی درباره‌ی زمین‌لرزه

### بیشتر بدانید

#### قبل از وقوع چه باید کرد!

- امکان خطر آتش‌سوزی را، از طریق سیم‌های برق فرسوده، ارتباطات، نشت دادن لوله‌های گاز و وسایل گازسوز، بررسی کنید.
- محل کلید و شیر اصلی برق، گاز و آب را پیدا کنید.
- وسایل سنگین را در طبقات پایین قفسه‌ها بگذارید و قفسه‌ها را به دیوار متصل کنید.
- اشیای سنگین و افتادنی را هم مهار کنید.
- وسایل شکستنی از قبیل ظروف شیشه‌ای و چینی را در طبقات بالای کمد و قفسه‌ها نگذارید.

- لامپ‌ها و لوسترهای سقفی را محکم کنید.
- محل‌های امن خانه، مدرسه یا محل کار خود را پیدا کنید.

### هنگام وقوع چه باید کرد؟

- اگر خارج از ساختمان هستید، همان‌جا بمانید. اگر داخل ساختمان هم هستید، همان‌جا بمانید. بیشتر آسیب‌دیدگی‌ها مربوط به رفت‌وآمد افراد در زمان وقوع زمین‌لرزه است.
- اگر داخل ساختمان هستید به زیر یک میز محکم، چارچوب در، محل‌های دارای سقف کم‌وسعت، یا کنار دیوارهای داخلی پناه بگیرید. از پنجره دور شوید. از شمع، کبریت و هرچه که شعله دارد، استفاده نکنید.
- در ساختمان‌های چندطبقه، به طرف درهای خارج هجوم نبرید، زیرا ممکن است راه‌پله‌ها پر از افراد، یا شکسته باشند، از آسانسور هم استفاده نکنید.
- در بیرون از ساختمان، از پل‌ها، سیم‌های برق، ساختمان‌ها و دیوارها دور شوید.
- اگر داخل اتومبیل هستید، از پل‌ها و ساختمان‌ها فاصله بگیرید و فوراً متوقف شوید.

### بعد از وقوع چه باید کرد؟

- مراقب پس‌لرزه‌ها باشید.
- دنبال زخمی‌ها بگردید. افرادی را که زخم‌شدید دارند، زیاد حرکت ندهید، مگر آن‌که در خطر آسیب‌دیدگی‌های بعدی باشند.
- رادیو را باز کنید و به پیام‌ها و راهنمایی‌ها عمل کنید.
- اگر بوی گاز می‌آید، پنجره‌ها را باز کنید و شیر اصلی گاز را ببندید. نشت گاز را به مقامات مربوطه گزارش بدهید. در صورت آسیب‌دیدگی سیم‌های برق، کلید اصلی برق را از محل کنتور خاموش کنید.
- اگر لوله‌های آب صدمه دیده‌اند، شیر اصلی آب را ببندید.
- لوله‌های فاضلاب را کنترل کنید، با احتیاط به دودکش‌ها نزدیک شوید و آن‌ها را از فاصله‌ی دور کنترل کنید.
- به سیم‌های برق افتاده دست نزنید. حتی به اشیایی هم که با این سیم‌ها تماس دارند، دست نزنید.
- داروها و مواد زیان‌آور پخش‌شده را فوراً جمع کنید.
- اگر برق قطع است، غذاهای خراب‌شده‌ی داخلی فریزر یا یخچال را زودتر مصرف کنید.

– از ساختمان‌های آسیب‌دیده دور شوید، زیرا ممکن است پس‌لرزه‌ها سبب فروریختن آن‌ها شوند.

چیزهای لازمی که باید همیشه در دسترس باشند:

- رادیو با باتری‌های اضافی
- پلکان سبک برای ساختمان‌های چندطبقه
- چراغ دستی و باتری‌های اضافی
- جعبه کمک‌های اولیه با داروها و مواد ضروری
- کتاب کمک‌های اولیه
- دستگاه خاموش‌کننده‌ی آتش
- ظرف پر از آب
- آچار قابل تنظیم
- کبریت
- غذاهای کنسرو شده و خشک برای مصرف یک هفته‌ی اعضای خانواده
- درقوپی بازکن
- شماره تلفن پلیس، آتش‌نشانی و پزشک
- اجاق‌گاز قابل حمل (بیک‌نیک)
- پول نقد

مهم‌ترین علت‌های آسیب‌دیدگی از زمین‌لرزه

- فروریختن ساختمان
- شیشه‌ی پنجره‌های شکسته و درحال افتادن
- قطعات اثنایه درحال افتادن
- آتش‌سوزی به‌علت شکستن لوله‌های گاز، اتصال سیم‌های برق
- بی‌آب ماندن به‌علت شکستن لوله‌های آب
- سیم‌های برق افتاده در روی زمین

# آتش فشان‌ها و فرآیندهای آتش فشانی



در سرگذشت زمین، آتش فشان‌ها نقش اساسی برعهده دارند. آب اقیانوس‌ها، رودها و دریاچه‌ها و بخش بزرگی از هوایی که تنفس می‌کنیم و بخشی از خاک‌های سطح زمین در نهایت از فوران آتش فشان‌ها به وجود آمده‌اند. بدون آتش فشان نه پوسته‌ی جدید اقیانوسی از طریق گسترش بستر اقیانوس‌ها، به وجود می‌آید، نه فرورانشی بین دو ورقه تکتونیکی پدیدار می‌شود، نه کوه‌زایی انجام می‌گرفت، نه فرسایشی وجود داشت و نه رسوب‌گذاری.

بدون آتش فشان، زمین تقریباً فاقد ترکیباتی چون سولفیدها، اکسیدها، هالورن‌ها و هیدروکسیدهای فلزی می‌شد. محیط زیست دریایی و هواکره که ساخت شیمیایی آن‌ها پایداری حیات را امکان‌پذیر کرده است، بدون آتش فشان به وجود نمی‌آمد.

## بیشتر بدانید

فعالیت‌های آتش فشانی، باعث پدید آمدن سرزمین‌هایی برای سکونت انسان شده‌اند. ایسلند، ژاپن، هاوایی، هائیتی و بسیاری از جزایر اقیانوس آرام و دریای کارائیب و تقریباً همه‌ی قسمت‌های امریکای مرکزی، محصول پدیده‌ی آتش فشان یا وُلکانیسم (Volcanism) اند.

زمین‌های کشاورزی حاصل خیزی که در امریکای مرکزی و جنوبی وجود دارند و در آن‌ها قهوه به عمل می‌آید، محصول خاک‌های مناسب آتش فشانی‌اند. بهترین نمونه‌ی این نوع خاک‌های پرارزش را در جزیره‌ی جاوه می‌توان یافت. در آنجا، خاک نرم حاصل از خاکستر آتش فشانی، آب را خوب نگه می‌دارد و مواد معدنی چون پتاسیم، کلسیم و سدیم همراه را به گیاهان می‌دهد. جمعیت جاوه، در مقایسه با جمعیت بورنیو (جزیره‌ی مجاور)، ۲۰۰ برابر بیشتر است. در بورنیو، خاک، حاصل تخریب و هوازدگی سنگ‌های موجود است و حاصل خیزی چندانی ندارد.

هوایی که تنفس می‌کنیم و قسمتی از آبی که می‌آشامیم، محصول فعالیت‌های آتش فشانی است. زیرا در طول زمان، گازهایی از درون زمین آزاد شده و به اتمسفر نفوذ کرده‌اند. قسمتی از هیدروژن و اکسیژنی که آزاد شد، پس از ترکیب، آب را به وجود آوردند و آب‌کره را تشکیل دادند. نیتروژن و اکسیژن هم با گازهای دیگر گردهم آمدند و هواکره را پدید آوردند.

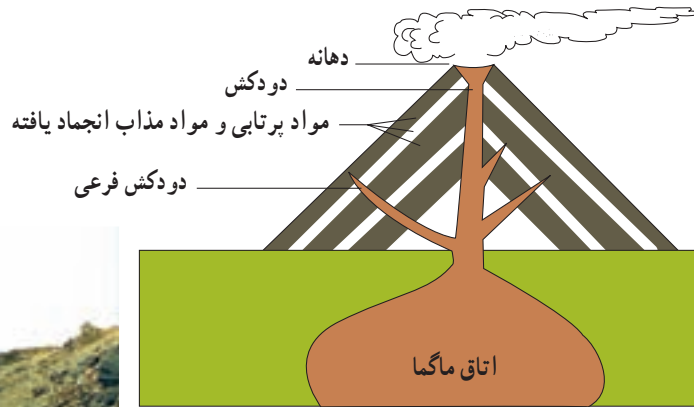


امروزه مطالعه‌ی آتش‌فشان‌ها از سه‌نظر برای ما اهمیت دارد :

- ۱- استفاده از انرژی حرارتی آن‌ها برای تولید گرما و انرژی الکتریسیته و به‌دست‌آوردن مواد شیمیایی با ارزش از گازهای خروجی آن‌ها.
- ۲- پیش‌گیری از خطرات اجتماعی و اقتصادی آن.
- ۳- به‌دست‌آوردن اطلاعاتی از ساختمان و ترکیب پوسته و گوشته‌ی فوقانی زمین.

## مشخصات یک آتش‌فشان

به‌طور کلی آتش‌فشان‌ها، شکاف‌ها یا سوراخ‌هایی در سطح زمین هستند که مواد آتش‌فشانی از آن‌ها بیرون می‌ریزد. اگر مواد آتش‌فشانی تنها از یک مجرای اصلی بیرون بریزند در اطراف مجرای خروج مخروطی به‌وجود می‌آورند. در قله‌ی مخروط عموماً حفره‌ای وجود دارد که به آن دهانه می‌گویند (شکل ۱-۵). قطر دهانه ممکن است از چند متر تا بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر باشد. مثلاً قطر دهانه‌ی مخروط آتش‌فشان دماوند حدود ۴۰۰ متر است. دهانه معمولاً به‌وسیله‌ی مجرایی که دودکش نامیده می‌شود به منبع مواد مذاب که به آن آشیانه یا اتاق ماگما می‌گویند، متصل است. در آشیانه‌ی ماگما، مواد مذاب به‌همراه حباب‌های گاز، قطعه‌بلورهای در حال رشد و حتی قطعات سنگی کنده‌شده از کناره‌ی آشیانه وجود دارد. در یک آتش‌فشان ممکن است چند آشیانه و چند دهانه و دودکش فرعی وجود داشته باشد.



شکل ۱-۵ - مشخصات یک آتش‌فشان



شکل ۲-۵ - دریاچه‌ای که در دهانه قدیمی آتش‌فشان سبلان ایجاد شده است.

## مواد خروجی از دهانه‌ی آتش‌فشان‌ها

موادی که از یک آتش‌فشان خارج می‌شوند به سه‌صورت گاز، مایع و جامداند. گازها: تمام ماگماها مقداری گاز و بخار آب دارند که ممکن است به‌تنهایی یا همراه مواد مایع و جامد از آتش‌فشان خارج شوند. سرعت خروج گاز از ماده‌ی مذاب بستگی به میزان گرانیوی ماده‌ی مذاب دارد به‌طوری‌که گازها از مواد مذاب دارای گرانیوی کم با سرعت بیش‌تری نسبت به مواد مذاب دارای گرانیوی زیاد خارج می‌شوند.

در بعضی از آتش‌فشان‌ها که گرانیوی ماده‌ی مذاب آن زیاد است، فشار حاصل از تراکم گازها می‌تواند سبب انفجار شود و قسمتی از مخروط آتش‌فشان را از جا بکند و مواد جامد مخروط را به همراه مواد مذاب تا چندین کیلومتر به هوا پرتاب کند (مانند مخروط کوه وزوو).

ترکیب شیمیایی گازهای خروجی در همه‌ی آتش‌فشان‌ها یکسان نیست و بسیار متفاوت است حتی گازهای خارج شده در مراحل مختلف یک آتش‌فشان هم باهم متفاوت‌اند. به‌طورکلی قسمت اعظم گازهای آتش‌فشانی را بخار آب تشکیل می‌دهد و پس از آن گازهای دی‌اکسیدکربن، گازهای گوگردی و گازهای نیتروژن‌دار اهمیت بیش‌تری دارند. در درجه‌ی بعدی می‌توان از گازهای کلردار، گاز هیدروژن و گاز مونواکسیدکربن نام برد.

خروج گاز پس از فعالیت یک آتش‌فشان ممکن است سال‌ها یا حتی قرن‌ها هم چنان ادامه یابد. این مرحله از آتش‌فشان را مرحله‌ی فومرولی گویند، که دماوند در چنین وضعیتی قرار دارد و از دهانه آن بخار آب و گاز گوگرد خارج می‌شود.

**مواد مایع:** به ماده‌ی مذابی که از دهانه خارج می‌شود و به سطح زمین می‌رسد گدازه گویند. گدازه‌ها بسته به نوع سنگی که ذوب می‌شود و درجه‌ی حرارتی که ذوب در آن صورت می‌گیرد ترکیب شیمیایی متفاوتی دارند و دخالت مواد فرار و به‌ویژه آب، سبب می‌شود که ماگماهایی متفاوت حاصل شود که خروج آن‌ها به‌همراه ازدست دادن گازها، گدازه‌های مختلف را به‌وجود آورند. در حالت کلی، گدازه‌ها را به انواع اسیدی، بازی و حد واسط تقسیم می‌کنند. گدازه‌هایی که مقدار فراوانی  $\text{SiO}_2$  دارند اسیدی خوانده می‌شوند و با کم‌شدن مقدار  $\text{SiO}_2$  به‌ترتیب حدواسط و بازی نام می‌گیرند. مقدار  $\text{SiO}_2$  تا حد زیادی تعیین‌کننده‌ی گرانیوی گدازه‌ی خارج‌شده از دهانه‌ی آتش‌فشان است. گدازه‌های اسیدی نسبت به گدازه‌های حدواسط و بازی مقدار بیش‌تری سیلیسیم و اکسیژن دارند. در نتیجه، در این گدازه‌ها، پیوندهای موقت بیش‌تری بین یون‌ها ایجاد می‌شود که موجب کاهش تحرک یونی در گدازه و گرانیوی بیش‌تر گدازه‌های اسیدی نسبت به گدازه‌های حدواسط می‌شوند. به‌همین ترتیب گدازه‌های حدواسط نیز گرانیوی بیش‌تری نسبت به گدازه‌های بازی دارند.

سرعت جریان یک گدازه پس از خروج از دهانه‌ی آتش فشان بستگی به گرانروی ماده‌ی مذاب و شیب دامنه‌ی کوه آتش فشان دارد. این سرعت در گدازه‌های بازی دارای گرانروی کم و در یک دامنه‌ی پرشیب، به  $5^{\circ}$  کیلومتر در ساعت بالغ می‌شود و در گدازه‌های اسیدی بر روی سطحی کم‌شیب به حدود یک‌ساعتی متر در روز می‌رسد (شکل ۳-۵-ب).

**مواد جامد (تفرا):** آن دسته از مواد آتش‌فشانی که به‌صورت ذرات ریز و درشت جامد یا نسبتاً جامد و بر اثر فعالیت‌های انفجاری از دهانه به هوا پرتاب می‌شوند **تفرا (Tephra)** نامیده می‌شوند. اندازه و شکل تفراها متفاوت است:

ذراتی با قطر کم‌تر از ۴ میلی‌متر را **خاکستر** و ذراتی با قطر بین ۴ تا ۳۲ میلی‌متر را **لاپیلی** و قطعاتی بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر را **قطعه سنگ** و اگر دوکی شکل باشند **بمب** می‌نامند (شکل ۳-۵-الف). بازگشت تدریجی تفراها به زمین و ته‌نشست آن‌ها در خشکی یا آب حالتی لایه‌لایه به آن‌ها می‌دهد. از به‌هم‌چسبیدن و سخت‌شدن این ذرات گروهی از سنگ‌های آتش‌فشانی به‌نام سنگ‌های **آذرآواری** ایجاد می‌شوند. این سنگ‌ها برخلاف سایر سنگ‌های آذرین عمدتاً غیرمتبلورند و مانند سنگ‌های رسوبی، از روی اندازه‌ی ذراتشان دسته‌بندی می‌شوند.



ج) گازهای مختلف و تفرا



الف) مواد جامد (بمب‌های آتش‌فشانی)



ب) گدازه‌های خمیری

## بیشتر بدانید

توف‌های سبز البرز که ارتفاعات شمال‌شهر تهران را تشکیل می‌دهند و ضخامت آن‌ها در بعضی نقاط به بیش از ۱۰۰۰ متر می‌رسد بر اثر سخت شدن خاکسترها و لاپیلی‌های حاصل از فعالیت آتش‌فشان‌های زیردریایی به وجود آمده‌اند.

## فکر کنید

از بین مواد خروجی آتش‌فشان‌ها (گاز، مایع، جامد) کدام یک برای ساکنان اطراف یک کوه آتش‌فشان خطرناک‌تر است؟

## طبقه‌بندی فعالیت آتش‌فشان‌ها

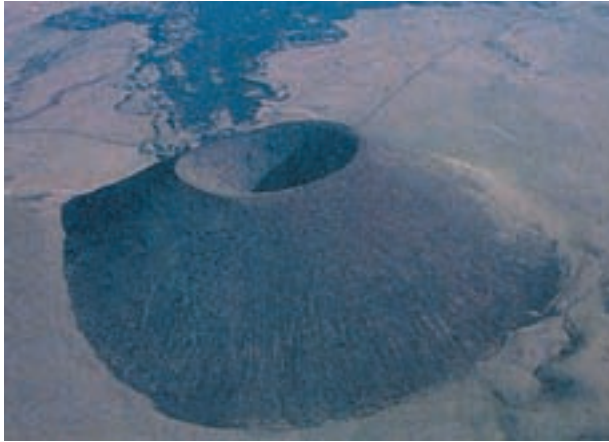
فعالیت آتش‌فشان‌ها ممکن است روی خشکی، زیر دریا، دریاچه و یا زیر یخچال‌ها صورت گیرد. این فعالیت‌ها می‌تواند نقطه‌ای یا خطی باشد. در حالت نقطه‌ای مواد خروجی از یک محل بیرون می‌آیند و در حالت خطی فوران در امتداد یک شکاف صورت می‌گیرد.

به‌طور کلی آتش‌فشان‌ها به صورت‌های زیر فعالیت می‌کنند:

۱- آتش‌فشان‌هایی که بیشتر گدازه از خود خارج می‌کنند: مواد خروجی این قبیل آتش‌فشان‌ها بیش‌تر از نوع گدازه‌های بازی است، که به‌صورت رودی مذاب از دهانه‌ی مخروط خارج و به اطراف جاری می‌شود. فعالیت این آتش‌فشان‌ها از نظر حرارتی، شدید و مداوم بوده و ممکن است ده‌ها سال ادامه داشته باشد. مخروط آن‌ها کم‌ارتفاع و با قاعده‌ی پهن است به همین دلیل آن‌ها را نوع سپری هم می‌گویند. جنس سنگ‌های این نوع مخروط از بازالت است. مهم‌ترین آتش‌فشانی که به این طریق فعالیت می‌نماید آتش‌فشان کوه کیلوا واقع در جزایر هاوایی است.

۲- آتش‌فشان‌هایی که بیشتر مواد جامد از خود خارج می‌کنند: در این قبیل آتش‌فشان‌ها جریان گدازه وجود ندارد. زیرا قبل از رسیدن گدازه به سطح دهانه، تراکم گاز سبب انفجار می‌شود و قطعاتی از آن به هوا پرتاب می‌گردد و مخروطی از مواد منفصل (خاکستر، لاپیلی، بمب و ...) تشکیل می‌دهد (شکل ۴-۵). این قطعات منفصل بر اثر حرارتی که دارند به هم جوش می‌خورند و نوعی برش آتش‌فشانی را به وجود می‌آورند.

۳- آتش‌فشان‌هایی که مواد جامد و گدازه از خود خارج می‌کنند: این نوع آتش‌فشان‌ها مختلط نیز می‌گویند. مخروط آن‌ها هم از تفرا و هم از گدازه تشکیل شده است. بنابراین، حالت انفجاری هم دارند. شکل مخروط، معمولاً مدور و منظم با ارتفاع نسبتاً زیاد و جنس آن بیش‌تر بازالت و آندزیت است. از مهم‌ترین آتش‌فشان‌هایی که به این طریق فعالیت می‌کنند، آتش‌فشان‌های استرومبولی و اتنا در



شکل ۴-۵ - مخروط آتش فشان با مواد پرتابی



شکل ۵-۵ - مخروط آتش فشان دماوند به تناوب از تفرا و گدازه تشکیل شده است.

ایتالیا را می توان نام برد. آتش فشان های دماوند (شکل ۵-۵) و سبلان نیز در این دسته جای می گیرند.  
 ۴- آتش فشان هایی که بیشتر مواد خمیری از خود خارج می کنند: گدازه ی این نوع آتش فشان در هنگام خروج دارای گرانروی بسیار بالایی است که اگر از دهانه ی قبلی خارج شوند ممکن است تشکیل سوزنی مرتفع را دهند (شکل ۵-۶).

۵- آتش فشان هایی که با انفجار شدید و خروج ابرهای سوزان همراه اند: این قبیل آتش فشان ها مخرب و ویران کننده اند و سبب ایجاد دهانه های انفجاری می شوند که با فرورفتگی های قیفی شکل مشخص می گردند. جزیره ی کراکاتوا واقع در اندونزی در سال ۱۸۸۳ براهر انفجاری از این نوع، از نقشه ی کره ی زمین ناپدید شد. در بعضی از انواع این آتش فشان ها، پس از انفجار ابرهای سوزانی به وجود می آید که سبب نابودی جانداران پیرامون کوه می شود.



شکل ۵-۶ - گرانروی زیاد ماگما سبب تشکیل چنین شکلی در یک فعالیت آتش فشانی شده است.

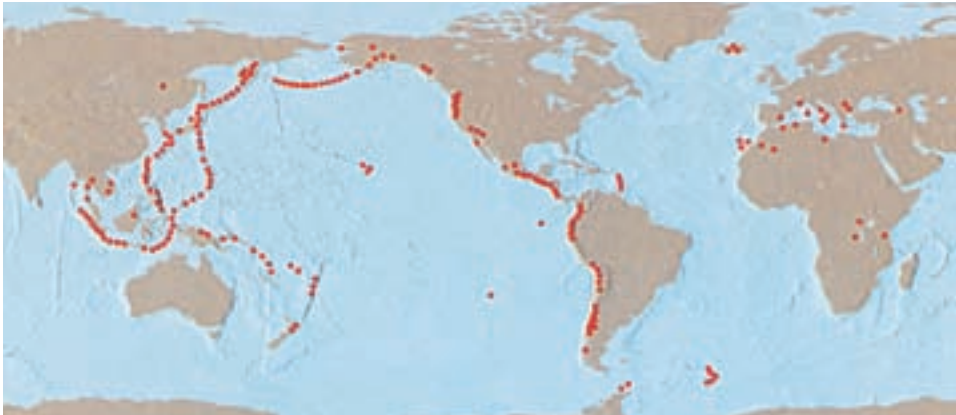
### بیشتر بدانید

در روز ۸ ماه مه ۱۹۰۲ در ساعت ۸ و ۲ دقیقه کوه پله واقع در جزیره‌ی مارتینیک در اقیانوس اطلس شروع به فعالیت کرد و در ساعت ۸ و ۳ دقیقه فعالیت آن خاتمه یافت. در مدت یک دقیقه کوه با انرژی  $60^\circ$  برابر بمب اتمی که در سال ۱۹۴۵ هیروشیما را ویران کرد منفجر شد و از محل تخریب، ابر سوزانی با دمای بیشتر از  $40^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد خارج شد و با سرعت  $54^\circ$  کیلومتر در ساعت در مدت یک دقیقه به شهر سن‌پیر واقع در ۸ کیلومتری محل آتش‌فشان رسید و  $30000$  نفر را کشت. فوران‌های شدید آتش‌فشانی و اثرات بعدی آن‌ها، جزو حوادث مهم تاریخ زمین محسوب می‌شود. مثلاً، در یکی از جزایر غیرمسکونی اندونزی به نام کراکاتوا، در یکی از روزهای تابستان سال ۱۸۸۳، آتش‌فشانی که متجاوز از دوقرن غیرفعال بود، یک‌باره منفجر شد و جزیره را از میان برد. امواجی به ارتفاع ۲۷ متر که در نتیجه‌ی این حادثه پدید آمد، حدود  $100$  هزار نفر ساکنان دهکده‌های ساحلی جزایر اطراف را غرق کرد.

قدرت فوران کراکاتوا را معادل انرژی یک صد میلیون تن TNT در نظر می‌گیرند. گازها و غبارهای حاصل از این آتش‌فشان که وارد جو شدند، به همه‌جای زمین رسیدند و تغییرات آب‌وهوایی به وجود آوردند. صدای انفجار، از فاصله‌ی  $480^\circ$  کیلومتری، در قسمت‌های مرکزی استرالیا شنیده شد. حاصل انفجار، ایجاد ابر سیاهی بود که تا ارتفاع  $80^\circ$  کیلومتری به آسمان رفت و جلوی نور خورشید را گرفت و مناطقی را تا سه روز در تاریکی فروبرد. ذرات موجود در این ابر، که توسط بادهای مختلف پخش شدند، سبب کاهش تأثیر گرمای خورشید و یک‌درجه کاهش هوای عمومی کره‌ی زمین شدند.

## جغرافیای آتش فشان ها

بررسی نقشه‌ی نواحی آتش فشان خیز کره‌ی زمین نشان می‌دهد، که آتش فشان‌های فعال و نیمه‌فعال غالباً با مناطق زلزله‌خیز منطبق‌اند و این مناطق هم با حد و مرز ورقه‌های سنگ کره انطباق قابل توجهی دارند (شکل ۵-۷). پس به‌طور کلی می‌توان مناطق فعالیت آتش فشان‌ها را به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۵-۸).

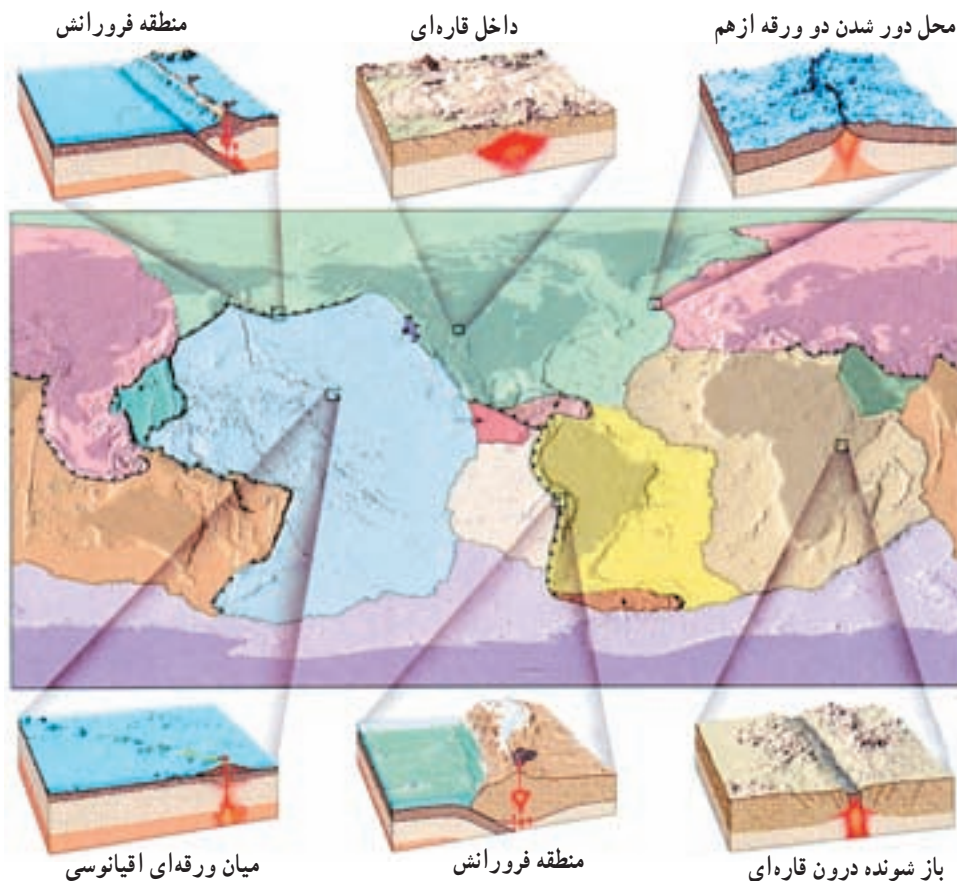


شکل ۵-۷ - موقعیت بعضی از مهمترین کوه‌های آتش فشان‌ی زمین

۱- دسته‌ی اول در مناطقی قرار دارند که دو ورقه‌ی تکتونیکی با یکدیگر برخورد کرده‌اند و یک ورقه به‌زیر ورقه‌ی دیگر کشیده شده است. ورقه‌ی فرورانده شده معمولاً از جنس بازالت است و بر اثر فرورفتن به زیر ورقه‌ی دیگر ذوب بخشی می‌شود و ماگمای آندزیتی را به وجود می‌آورد. این ماگما از قسمت‌های سست ورقه‌ی دیگر بالا می‌آید و آتش فشان‌هایی را در روی قاره‌ها یا داخل اقیانوس‌ها (جزایر قوسی) تشکیل می‌دهد. کمر بند آتش فشان‌ی اطراف اقیانوس آرام (معروف به حلقه‌ی آتشین) و کمر بندهای مدیترانه، اقیانوس اطلس و اقیانوس هند را می‌توان در این دسته جای داد.

۲- دسته‌ی دوم خاص مناطقی است که دو ورقه‌ی تکتونیکی از یکدیگر دور می‌شوند و ماگمای بازالتی به سطح زمین می‌رسد و ایجاد پشته‌های اقیانوسی می‌کند. فعالیت این گونه آتش فشان‌ها به حالت خطی انجام می‌گیرد. شکاف‌های موجود در اقیانوس اطلس، دریای سرخ و قاره‌ی آفریقا در این دسته جای می‌گیرند. در همین محل‌ها است که پوسته‌ی اقیانوسی جدید تشکیل می‌شود و به اصطلاح بر وسعت پوسته زمین اضافه می‌شود.

۳- دسته‌ی سوم برخلاف دو دسته‌ی دیگر که در حاشیه‌ی ورقه‌ها قرار دارند، از وسط ورقه‌ها خارج می‌شوند. آتش فشان‌های هاوایی در این دسته جای می‌گیرند. برای پیدایش این قبیل آتش فشان‌ها



شکل ۵-۸ - موقعیتهای آتش‌فشانی مختلف در روی زمین

فرض می‌شود که در داخل گوشته نقاطی بسیار گرم (نقطه‌ی داغ) وجود دارد که سبب ذوب سنگ‌های عمقی می‌شود و آتش‌فشان‌هایی مانند جزایر هاوایی را به وجود می‌آورد. حرکت ورقه در بالای نقطه‌ی داغ باعث می‌شود که محل فعالیت آتش‌فشانی در زمان‌های مختلف تغییر کند و به همین دلیل در این مناطق تعدادی کوه آتش‌فشان با سن‌های مختلف به وجود آید، به طوری که همیشه مسن‌ترین آتش‌فشان فاصله‌ی زیادتری نسبت به نقطه‌ی داغ پیدا می‌کند و جدیدترین آتش‌فشان روی نقطه‌ی داغ قرار می‌گیرد (شکل ۱۶-۳).

### خطرات آتش‌فشان‌ها

اثرات اولیه آتش‌فشان‌ها مانند جریان گدازه، ریزش خاکستر، انفجار کوه‌ها، عبور ابرهای سوزان، جریان‌های عظیم گل و امواج حاصل از آتش‌فشان‌های دریایی می‌توانند زیان‌های جانی و مالی زیادی



را به همراه بیاورند. خوشبختانه پیشرفت‌های اخیر در دانش لرزه‌شناسی و بهبود روش‌های اندازه‌گیری حرکات زمین قبل از وقوع آتش‌فشانی این امکان را به وجود آورده که با جابه‌جا کردن مردم از منطقه‌ی خطر و همچنین جلوگیری از احداث ساختمان‌های جدید در نقاط خطرناک و حفر کانال‌هایی برای هدایت جریان‌های احتمالی گدازه و دور کردن آن از نواحی مسکونی خطرات ناشی از فعالیت‌های آتش‌فشانی به حداقل برسد.

## فکر کنید

چرا کاهش خطرات آتش‌فشان‌ها به مراتب سهل‌تر از کاهش خطر زمین‌لرزه‌ها است؟

گذشته از اثرات اولیه، اثرات ثانویه‌ای هم از این قبیل فعالیت‌ها حاصل می‌آید که بر آب‌وهوا و جانداران تأثیر می‌گذارد. گاهی، اثر بر آب‌وهوا، جنبه‌ی جهانی به خود می‌گیرد. مثلاً، گازهای خروجی در حین یک آتش‌فشانی و بعد از آن، ممکن است شامل سولفور دی‌اکسید ( $SO_2$ ) باشند که به سرعت با بخار آب و اکسیژن موجود در اتمسفر ترکیب می‌شود و اسید سولفوریک پدید می‌آورد. قطره‌های کوچک این اسید ممکن است سال‌ها در اتمسفر باقی بمانند و ریزش باران‌های اسیدی، یا اسیدی شدن آب‌ها را باعث شوند.

گازها و خاکسترهای آتش‌فشانی، بر نوع آب‌وهوای جهانی هم تأثیر می‌گذارند. چنین موادی، گاهی تا ۴ سال بعد از فوران آتش‌فشان، همچنان در اتمسفر باقی می‌مانند. این مواد، قسمتی از نور خورشید را دوباره به فضا منعکس می‌کنند و از مقدار تشعشعاتی که به زمین می‌رسد، می‌کاهند. یکی از این موارد، فعالیت کوه تامبورا در سال ۱۸۱۵ در کشور اندونزی بوده است. این فعالیت، دوره‌ی سردی را به دنبال آورد که سال بدون تابستان نام‌گذاری شد، زیرا هوای بهار و تابستان تعدادی از کشورهای امریکای شمالی را در سال ۱۸۱۶، به طور غیرعادی سرد کرد. نظیر همان اتفاق، در سال ۱۹۹۱ در فعالیت آتش‌فشان پیناتوبو در فیلیپین رخ داد و باز هم هوا اندکی سرد شد. البته، هنوز به طور قطع نمی‌دانیم آیا فعالیت‌های آتش‌فشانی، چنان تأثیری را در آب‌وهوا باقی می‌گذارند یا نه؛ این موضوع، نیاز به شواهد و بررسی‌های بیش‌تری دارد.

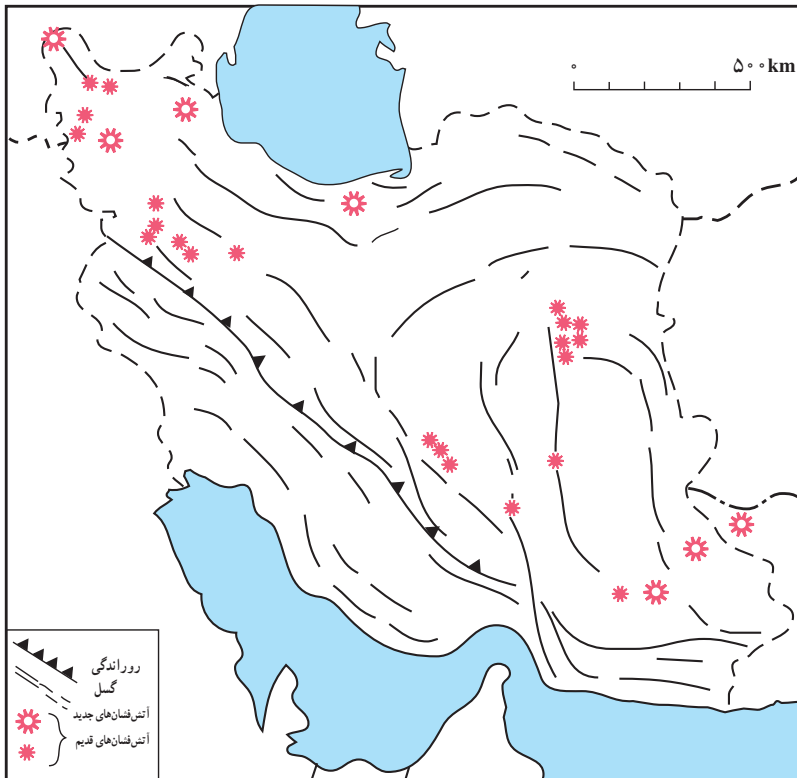
## استفاده از آتش‌فشان‌ها

آتش‌فشان‌ها در مواردی می‌توانند سودمند باشند. تشکیل سرزمین‌ها و جزایر جدید در اثر آتش‌فشانی‌های زیردریایی، تولید موادی که اغلب در اثر هوازدگی به خاک کشاورزی مرغوب تبدیل

می‌شوند و برجای گذاردن برخی کانسارها را می‌توان از فواید آتش‌فشان دانست. شاید مهم‌ترین کمک فرآیندهای آتش‌فشانی این باشد که پنجره‌ای به درون زمین باز کرده و نحوه‌ی عملکرد بعضی از فرآیندهای درونی این کره را برای ما روشن ساخته است.

## فعالیت‌های آتش‌فشانی در ایران

کشور ما دارای تعدادی آتش‌فشان است که اغلب در گذشته‌ای نه‌چندان دور فعال بوده‌اند و برخی از آن‌ها مانند آتش‌فشان تفتان و دماوند در مرحله‌ی فومرولی هستند. شکل ۹-۵ محل آتش‌فشان‌هایی را که در زمانی نزدیک فعال بوده‌اند، را از ۶۵ میلیون سال قبل تاکنون نشان می‌دهد. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که مجموعه‌ی آتش‌فشانی ایران تقریباً از نظمی برخوردار است.



شکل ۹-۵ - محل گسل‌ها و آتش‌فشان‌های مهم ایران

# ساخت‌های تکتونیک و کوه‌زایی



مجموعه‌ی فرآیندهایی را که سبب تغییر شکل فیزیکی و تغییر در ساخت اولیه‌ی سنگ‌ها می‌شود، فرآیندهای ساختمانی گویند. فرآیندهای ساختمانی باعث ایجاد ساخت‌های جدید (ساخت‌تانویه) و متنوعی در پوسته‌ی زمین می‌شوند. بخشی از علم زمین‌شناسی که ساخت‌های حاصل از تغییر شکل سنگ‌ها را در ارتباط با فرآیندهای ایجادکننده‌ی آن‌ها بررسی می‌کند تکتونیک یا زمین‌ساخت می‌نامند. فشار و دما که از عوامل اصلی دگرگونی‌اند، در فرآیندهای ساختمانی نیز اهمیت اساسی دارند. مدت زمان وارد شدن فشار، عامل سوم مؤثر در فرآیندهای ساختمانی است. بنابراین در فرآیندهای ساختمانی همواره اثر عوامل سه‌گانه‌ی فشار، دما و زمان بررسی می‌شود. چون طرز اثر این عوامل عموماً به‌طور مستقیم در طبیعت قابل مشاهده نیست، آن‌را با مدل‌هایی کم‌و بیش مشابه با حالات طبیعی در آزمایشگاه بررسی می‌کنند.

بررسی رفتار سنگ‌ها در آزمایشگاه نشان داده‌است که تغییر شکل سنگ‌ها به دو صورت خمیری و شکننده صورت می‌گیرد و عوامل متعددی همچون ترکیب و بافت سنگ، فشار، دمای محیط و آب در میزان این‌گونه تغییرات نقش مهمی دارند.

## ساخت‌های اولیه

ساخت‌هایی را که به‌هنگام تشکیل سنگ ایجاد می‌شوند ساخت اولیه‌ی سنگ گویند. به‌طور مثال، ساخت‌های گدازه‌ای، آذرآواری، صفحه‌ای (سیل و دایک) و توده‌ای (باتولیت) از ساخت‌های اولیه‌ی سنگ‌های آذرین و لایه‌بندی مهم‌ترین ساخت اولیه‌ی سنگ‌های رسوبی به‌حساب می‌آیند. چون در این فصل ساخت‌های ثانویه‌ی سنگ‌های رسوبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، شرح بیشتری درباره‌ی ساخت اولیه‌ی سنگ‌های رسوبی آورده می‌شود.

در یک محیط رسوبی مواد رسوبی به‌صورت لایه‌های موازی بر روی هم ته‌نشین می‌شوند و پس از سخت شدن این لایه‌ها، سنگ‌های رسوبی ایجاد می‌شوند. هر لایه یا طبقه، جسم ورقه‌مانندی است که طول و عرض آن در مقایسه با ضخامتش بسیار زیاد است. ضخامت هر لایه ممکن است



شکل ۱-۶ - چه تفاوت‌هایی بین لایه‌های این منطقه می‌بینید؟

کمتر از یک سانتی‌متر تا بیش از دهها متر باشد و به وسیله‌ی سطحی به نام سطح لایه‌بندی از لایه‌ی مجاور خود جدا می‌شود. دو لایه‌ی مجاور ممکن است از نظر بافت (اندازه ذرات)، جنس، رنگ و ... با یکدیگر متفاوت باشند (شکل ۱-۶). هر لایه ممکن است در تمام وسعت گسترش خود مستوی نباشد، اما برای مطالعه می‌توان آن‌ها را در مناطق محدود مستوی فرض کرد.

## فکر کنید

آیا همیشه گسترش افقی یک لایه از نظر جنس و بافت یکسان است؟

## تنش

چنان‌که می‌دانید، یکی از خصوصیات نیرو، تغییر شکل دادن اجسام است. همچنین، می‌دانید نیروی وارد به سطح معین را فشار گویند. هرگاه جسمی تحت تأثیر فشاری از خارج قرار گیرد، در داخل جسم هم فشاری به وجود می‌آید که با فشار خارجی مقابله می‌کند، این فشار داخلی را تنش گویند که عامل اصلی تغییر شکل در سنگ‌ها به حساب می‌آید.

تنش‌های ایجاد شده در سنگ به یکی از سه صورت فشاری، کششی یا برشی اند. فشارهای خارجی که به سمت هم عمل نمایند در داخل سنگ تنش‌های فشاری ایجاد می‌کنند، درجایی که فشارهای خارجی از هم دور شوند باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌شوند و وقتی جسمی تحت تأثیر فشارهای برشی قبل از وارد شدن فشار



شکل ۲-۶

قرار گیرد (مشابه حرکت لبه‌های قیچی) در مقاطع آن تنش‌های برشی به وجود می‌آید (شکل ۲-۶). مواد جامد بر اثر تنش تغییر شکل می‌دهند. پس از رفع تنش، ماده‌ی تغییر شکل یافته مایل است که به حالت اول بازگشت کند. نوع و مقدار تغییر شکل و مقدار بازگشت به حالت اول در مواد مختلف متفاوت است. ماده‌ای که پس از رفع تنش به حالت اول خود بازگردد کش‌سان یا الاستیک و ماده‌ای که پس از رفع تنش تغییر شکلش برگشت پذیر نباشد خمیرسان یا پلاستیک نامیده می‌شود. تغییر شکل مواد طبیعی در شرایط مختلف کش‌سان یا خمیرسان یا ترکیبی از آن دو است. وقتی جسمی تحت تنش قرار گیرد ابتدا از خود حالت کش‌سان نشان می‌دهد ولی با افزایش تنش به مرحله‌ای می‌رسد که در آن همه یا قسمتی از تغییر شکل جسم غیر قابل برگشت می‌شود (حد کش‌سانی). از این حد به بعد پس از رفع تنش جسم حالت خمیری نشان می‌دهد و کاملاً به حالت اولیه بر نمی‌گردد؛ با افزایش بیش‌تر تنش مرحله‌ای می‌رسد که در آن ماده تاب مقاومت ندارد و می‌شکند.

### فکر کنید

در چه صورت تنش وارد به یک قطعه شیشه به جای شکستن، در آن تغییر شکل خمیری به وجود می‌آورد؟

سنگ‌ها نیز در برابر تنش ابتدا واکنش کش‌سان از خود نشان می‌دهند که چندان قابل رؤیت نیست ولی با ادامه‌ی تنش ممکن است واکنش به صورت خمیری باشد، مثلاً وقتی که سنگ‌ها چین می‌خورند؛ و یا به صورت شکننده باشد مانند وقتی که در سنگ‌ها درز یا گسل به وجود می‌آید. نوع واکنش سنگ‌ها در برابر تنش به عواملی چون فشار همه‌جانبه، دما، زمان، آب یا محلول‌های دیگر بستگی دارد.

● انتظار دارید در هریک از حالت‌های زیر سنگ‌ها چه نوع واکنشی از خود نشان دهند؟

شکستگی	خمیری	
		– سنگ در اعماق زمین قرار دارد
		– سنگ در روی زمین قرار دارد
		– سنگ در محل بسیار گرمی قرار دارد
		– تنش به‌طور ناگهانی به‌سنگ وارد می‌شود
		– تنش در مدت‌زمان طولانی و به‌آرامی به‌سنگ وارد می‌شود
		– سنگ آبدار است
		– سنگ خشک است

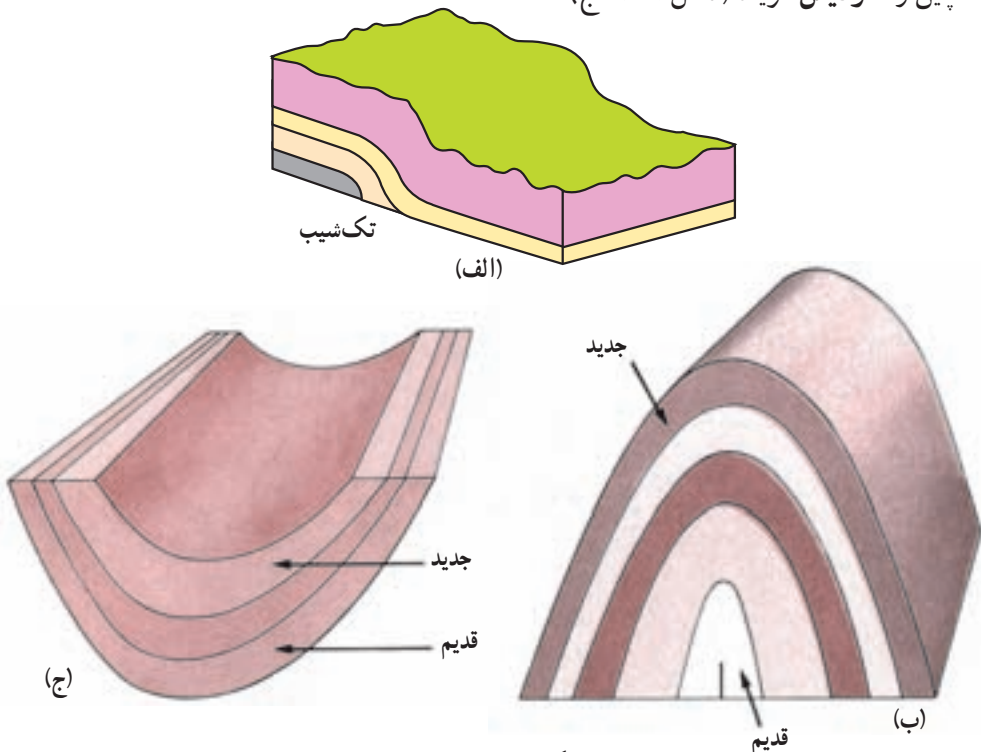
## ساخت‌های ثانویه

با وارد شدن تنش به لایه‌های افقی، ساخت اولیه (لایه‌بندی) از حالت افقی خارج شده و ساخت‌های ثانویه را به وجود می‌آورند.

**چین خوردگی:** به‌طور کلی چین‌ها را می‌توان خمیدگی‌های موجود در سنگ‌ها بر اثر واکنش‌های خمیری دانست. چین‌ها فقط باعث تغییر وضعیت لایه‌های سنگی در فضا می‌شوند، و ممکن است از چند سانتی‌متر تا چندین کیلومتر طول و عرض داشته باشند.

## انواع چین

اگر قسمتی از لایه‌های رسوبی از حالت افقی خارج شوند و پایین‌تر یا بالاتر از سطح اصلی قرار گیرند چین را تک‌شیب گویند (شکل ۳-۶-الف) و اگر لایه‌های سنگی طوری خم شوند که لایه‌های قدیمی‌تر در مرکز و لایه‌های جدید در تحدب چین قرار گیرند، چین را تاقدیس می‌نامند (شکل ۳-۶-ب) در صورتی که لایه‌های جدیدتر در مرکز و لایه‌های قدیمی‌تر در تحدب چین قرار گیرند، چین را ناودیس گویند (شکل ۳-۶-ج).



شکل ۳-۶ - انواع چین

## مشخصه‌های چین

هرچین را با مشخصات زیر شناسایی می‌کنند:

**لولای چین:** لولای چین خطی فرضی است که نقاطی از یک لایه را که دارای حداکثر انحنا هستند، به یکدیگر وصل می‌کند (خط 'aa' در شکل ۴-۶). لولای چین ممکن است افقی، مایل و یا قائم باشد.

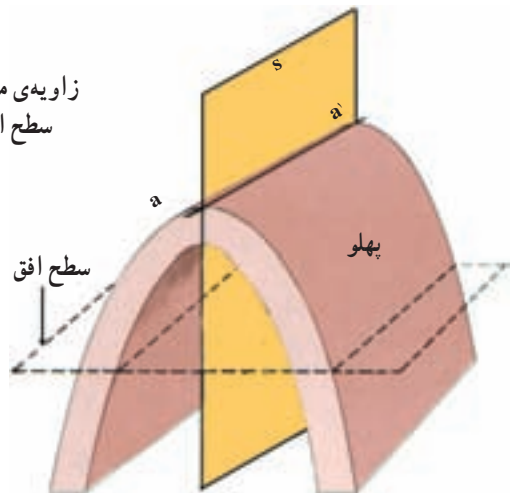
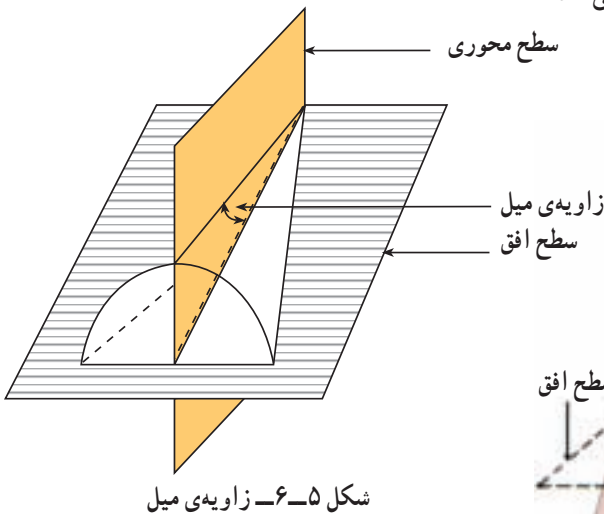
**سطح محوری:** به سطحی فرضی که از تمام لولاهای چین عبور می‌کند و چین را تقریباً به دو قسمت متقارن تقسیم می‌کند سطح محوری گویند (شکل ۴-۶ سطح S). سطح محوری ممکن است مایل، خوابیده و یا قائم باشد.

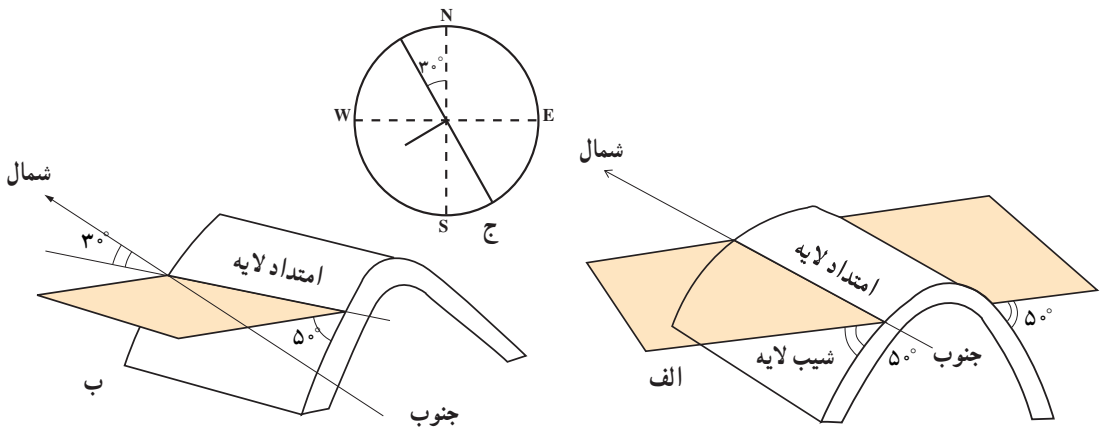
**پهلوی:** طرفین چین را پهلو یا یال می‌نامند.

**زاویه‌ی میل:** اگر لولای چین افقی نباشد و با سطح افق زاویه بسازد، در این صورت زاویه‌ی بین لولا و سطح افق را زاویه‌ی میل چین گویند (شکل ۵-۶).

موقعیت هر یک از لایه‌های چین خورده به وسیله‌ی امتداد و شیب مشخص می‌شود (شکل ۶-۶). امتداد لایه: فصل مشترک یک صفحه‌ی افقی با سطح هر لایه را امتداد آن لایه گویند و آن را با زاویه‌ای که نسبت به شمال یا جنوب می‌سازد مشخص می‌کنند.

**شیب لایه:** زاویه‌ای است که سطح لایه با سطح افق می‌سازد. شیب لایه بین صفر (لایه‌های افقی) تا  $90^\circ$  درجه (لایه‌های قائم) تغییر می‌کند.





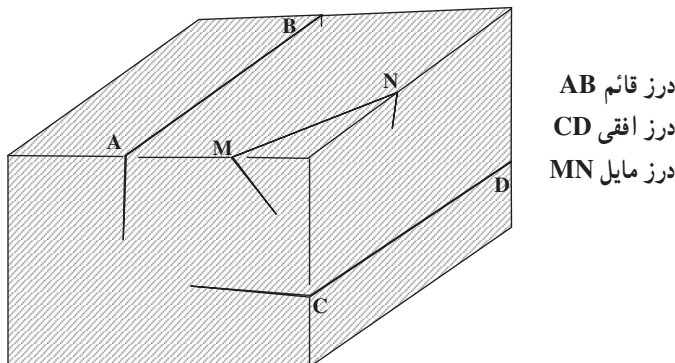
شکل ۶-۶ الف - امتداد لایه‌های این چین شمالی - جنوبی است و شیب لایه در پهلوی غربی آن  $5^\circ$  به سمت غرب و در پهلوی شرقی  $5^\circ$  به سمت شرق است. ب - امتداد لایه در پهلوی غربی این چین  $3^\circ$  از شمال به سمت غرب انحراف دارد N30W. شیب لایه  $5^\circ$  به سمت جنوب غرب است 50SW بنابراین موقعیت این لایه را به طور کلی به صورت 50SW و N30W نشان می‌دهند. ج - علائم قراردادی برای نشان دادن امتداد و شیب یک لایه.

### شکستگی‌ها

شکستگی در سنگ‌ها عموماً به دو صورت درز و گسل نمایان می‌شوند.

درزها و گسل‌ها در مطالعات زمین‌شناسی اهمیت ویژه‌ای دارند. به‌هنگام ساختن جاده‌ها، سدها، تونل‌ها و سایر سازه‌های مهندسی، آگاهی از وضعیت درزها و گسل‌ها بسیار حائز اهمیت است. از نظر تجمع آب‌زیرزمینی نیز درزها و گسل‌ها اهمیت دارند و در تشکیل کانسارهای گرمابی عامل مهمی به حساب می‌آیند.

درز: به نوعی شکستگی گفته می‌شود که، سنگ‌های دو طرف سطح درز نسبت به هم جابه‌جا نشده باشند (شکل ۶-۷). درزها را از نظرهای مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. اگر موقعیت صفحه درز را نسبت به سطح افق در نظر بگیریم، می‌توان آن‌ها را به انواع قائم، افقی و مایل تقسیم‌بندی کرد.

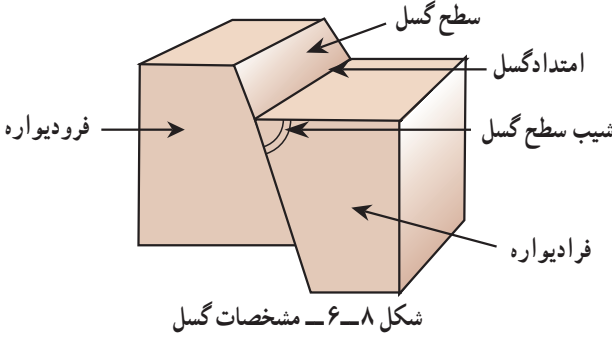


شکل ۶-۷ - انواع درز



**گسل‌ها:** گسل‌ها شکستگی‌هایی هستند که در آن، سنگ‌های طرفین شکستگی نسبت به هم لغزش پیدا کرده‌اند. مقدار لغزش از حدود یک سانتی‌متر تا چند کیلومتر تغییر می‌کند.

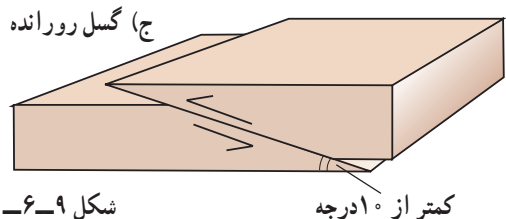
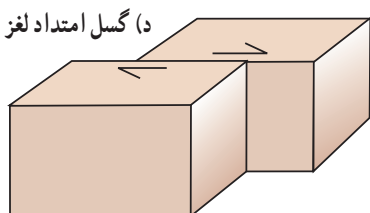
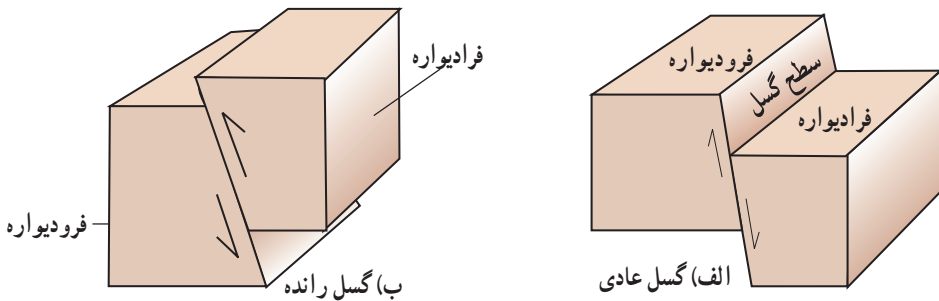
مشخصه‌های یک گسل: هر گسل با سه مشخصه‌ی سطح گسل، امتداد و شیب شناسایی می‌شود (شکل ۸-۶).



**سطح گسل:** سطحی که شکستگی و جابه‌جایی در امتداد آن اتفاق افتاده است سطح گسل نام دارد. سطح گسل ممکن است قائم، مایل و یا افقی باشد. در گسل‌هایی که سطح گسل مایل است طبقات روی سطح گسل را فرا دیواره و طبقات سنگی زیر سطح گسل را فرو دیواره می‌نامند. امتداد و شیب سطح گسل را مانند شیب و امتداد لایه‌ها مشخص می‌کنند.

## انواع گسل

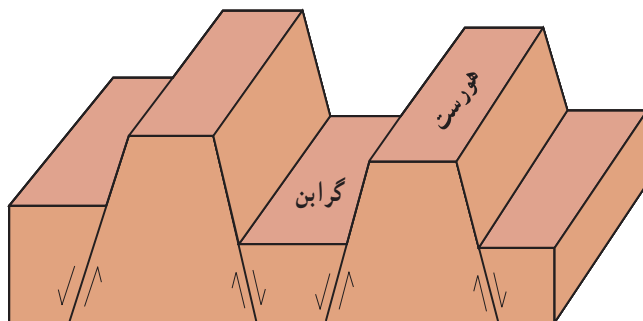
اگر سطح گسل قائم باشد، گسل را قائم گویند و اگر سطح گسل مایل باشد، در صورتی که فرا دیواره نسبت به فرو دیواره به طرف پایین حرکت کرده باشد یا فرو دیواره نسبت به فرا دیواره به سمت بالا حرکت کرده باشد، گسل را عادی گویند (شکل ۹-۶ الف).



شکل ۹-۶ - اقسام گسل ساده

در گسل‌هایی که سطح گسل مایل است، اگر فرادیواره نسبت به فرودیواره به سمت بالا یا فرودیواره نسبت به فرادیواره به سمت پایین حرکت کرده باشد، گسل را رانده یا معکوس گویند (شکل ۹-۶-ب). اگر در گسل‌های رانده مقدار جابه‌جایی بیش از یک کیلومتر و زاویه‌ی سطح گسل کم‌تر از  $10^\circ$  درجه باشد، گسل را روراندگی یا رورانده گویند (شکل ۹-۶-ج). گاهی بر اثر تنش‌برشی لغزش سنگ‌ها در امتداد سطح گسل اتفاق می‌افتد، در این صورت گسل را امتدادلغز گویند (شکل ۹-۶-د).

در بخش‌هایی از پوسته‌زمین که تحت تنش‌های کششی قرار دارند، ممکن است تعدادی گسل‌های عادی موازی هم ایجاد شوند و به این ترتیب بخش‌هایی از پوسته‌ی پایین بیفتد و ساختی به نام گرابن (پایین افتادگی) را بسازد و بخش‌هایی بالا رود و ساختی به نام هورست (بالا راندگی) را بسازد (شکل ۱۰-۶).



شکل ۱۰-۶- گرابن و هورست

## کمربندهای کوه‌زایی

کوه‌ها، پدیده‌هایی هستند که بیشتر از سایر عوارض سطح زمین نظر دانشمندان را به خود جلب کرده‌اند. با آنکه مطالعه‌ی علمی در این زمینه، قدمت  $150$  ساله دارد، اما پاسخ بیشتر مسایل، در طول چند دهه‌ی اخیر، که اطلاعات ما درباره‌ی فرآیندهای درونی زمین افزایش یافته، حاصل آمده‌اند. فرآیندی که منجر به تشکیل کوه‌ها می‌شود، کوه‌زایی نام دارد. مطالعه بر روی سنگ‌هایی که در تشکیل کوه‌ها شرکت دارند، حاکی از وجود نیروهای بسیار عظیمی است که در زمان تشکیل کوه‌ها بر سنگ‌ها وارد آمده و گذشته‌از چین‌دادن لایه‌های رسوبی، آن‌ها را درحد چند هزار متر بالا برده‌اند. با آن‌که چین‌خوردگی‌ها، عظمت این نیروها را به خوبی نشان می‌دهند، اما گسل‌ها، درزها و فعالیت‌های آذرین هم حکایت از وجود این نیروها دارند.

وقتی که زمین‌شناسان از فرآیندهای کوه‌زایی صحبت می‌کنند، معمولاً کمربندهای مهمی را



شکل ۱۱-۶ - کمربندهای عمده کوهزایی در جهان

در نظر می‌گیرند که در شکل (۱۱-۶) نشان داده شده‌اند. این کمربندها، رشته‌کوه‌هایی چون آلپ، اورال، البرز، هیمالیا، آپالاش و آند را شامل می‌شوند. رشته‌کوه‌ها، در روی همه‌ی قاره‌ها وجود دارند و طول آن‌ها ممکن است به چند هزار کیلومتر هم برسد.

## تاریخ زمین

روزنامه‌ها معمولاً حوادثی را که در زمان خود ما اتفاق می‌افتد، بازگو می‌کنند. اما اخبار امروز، جزیی از تاریخ گذشته‌ی فردا را تشکیل خواهند داد. دانستن این‌که اکنون ما در کجای تاریخ زمین هستیم، اهمیت دارد، اما مهم‌تر از آن، این است که بدانیم چگونه به اینجا رسیده‌ایم و چه حوادثی در گذشته بر زمین رخ داده است. ولی برای بی‌بردن به رویدادهای گذشته زمین، لازم است به دنبال شواهدی بگردیم که ما را در رسیدن به واقعیت‌های گذشته راهنما می‌شوند. خوشبختانه، قبل از آن‌که تاریخ‌نویسانی به وجود آیند و حوادث گذشته را به نگارش درآورند، خود زمین این کار را انجام می‌داده و هم‌اکنون نیز به ادامه‌ی آن مشغول است.

در طول این فصل، به کمک سنگ‌ها و فسیل‌ها، حوادث جالبی را بررسی می‌کنید که در روی زمین اتفاق افتاده است.

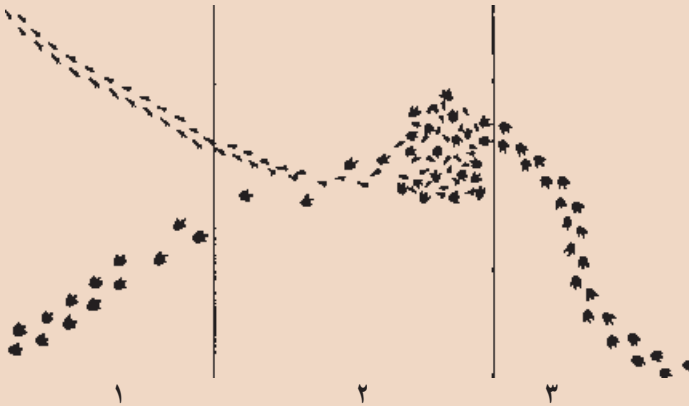
# شواهدی در سنگ‌ها



به این درخت فسیل شده نگاه کنید. امروزه، جنس این درخت از سنگ است اما بدیهی است که در گذشته، همین قطعه‌ی فسیل، قسمتی از تنه‌ی یک درخت بوده است. در این صورت، چه حوادثی باعث تبدیل چوب به سنگ شده‌اند؟ زمین‌شناسان نیز مانند کارآگاهان، با مشاهده‌ی دقیق شواهد موجود، به حوادث گذشته پی می‌برند. اما شواهد و مدارک زمین‌شناسان کدامند؟

## تفسیر کنید

چه اتفاقاتی ممکن است در این نقطه افتاده باشد؟

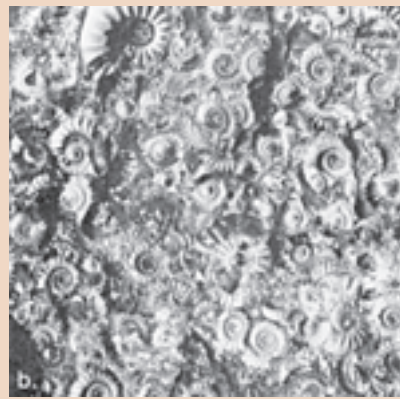


**منشأ سنگ‌ها:** فرض کنیم که شما می‌خواهید به مطالعه‌ی سنگ‌هایی بپردازید که در یک نقطه از درون خاک بیرون آمده‌اند؛ بدیهی است که ابتدا باید از جنس و بافت سنگ آگاهی یابید، و بنابراین باید از نزدیک به مطالعه‌ی آن‌ها بپردازید.

اگر سنگ رسوبی باشد، طبعاً مواد اولیه‌ی آن‌ها را کانی‌ها و سنگ‌های دیگری تشکیل

داده‌اند و شما با مشاهده‌ی دقیق می‌توانید رد آن‌ها را دنبال کنید. مثلاً ممکن است مقدار کمی کانی گرونا در درون یک ماسه‌سنگ بیابید. اگر تنها جای دیگری که گرونا یافت می‌شود، محلی از سنگ‌های دگرگون‌شده‌ای باشند که در حدود ۴۰ کیلومتری ماسه‌سنگ‌ها واقع شده‌اند، به احتمال زیاد، منبع گروناهای موجود در ماسه‌سنگ مورد مطالعه همان سنگ‌های دگرگون شده‌اند. اگر شما در مسیری که به محل سنگ‌های دگرگون‌شده منتهی می‌شود حرکت کنید و مرتباً مقدار گرونا‌ی زیادتری را بیابید، نظر شما درباره‌ی منشأ ماسه‌سنگ بیشتر تأیید می‌شود.

### تفسیر کنید



۱- منشأ احتمالی هر کدام از این سنگ‌ها کدام است؟

لایه‌های رسوبی ممکن است فسیل‌دار باشند. بعضی از سنگ‌ها اصولاً از اجتماع قطعات بدن جان‌داران مانند صدف‌ها یا اسکلت مرجان‌ها حاصل می‌آیند. در مورد سنگ‌های مرجانی فرض بر این است که جان‌داران به وجود آورنده‌ی آن‌ها مانند وابستگان امروزی خود در محیط‌های گرم دریایی و آب‌های کم‌عمق ساکن بوده‌اند. پس، چنین فسیل‌هایی، نوع محیط‌های قدیمی را نشان می‌دهند.

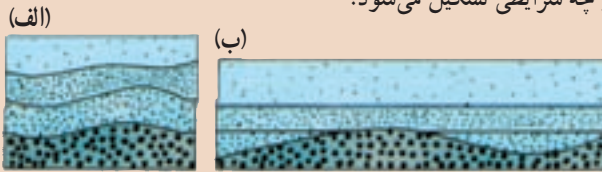
### لایه‌لایه بودن سنگ‌ها

مهم‌ترین خاصه‌ی سنگ‌های رسوبی، لایه‌لایه بودن آنهاست. هر لایه از این سنگ‌ها نشانه‌ای از شرایط زمان رسوب‌گذاری خود را داراست. در بسیاری از لایه‌ها شواهدی از چگونگی و گاهی زمان رسوب‌گذاری یافت می‌شود.

## فکر کنید

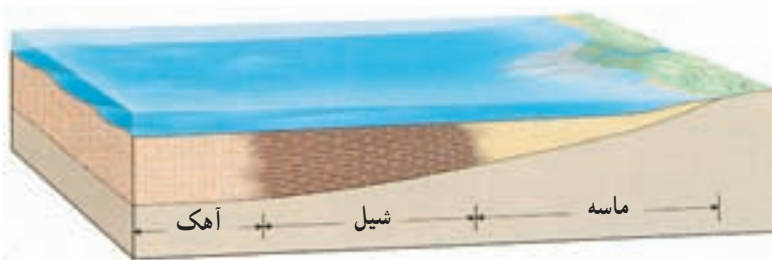
سطوح حدفاصل میان لایه‌ها ممکن است دقیق و واضح و یا نامشخص باشد. سطوح

حدفاصل در چه شرایطی تشکیل می‌شود؟



طرز رسوب‌گذاری ذرات را در این دو حالت مقایسه کنید. در کدام حالت، آب حرکت داشته است؟ دلیل بیاورید.

یک لایه‌ی رسوبی که ممکن است مساحت هزاران کیلومتر مربع را بپوشاند، در نقاط مختلف به صورت‌های متفاوتی دیده می‌شود. مثلاً همین لایه ممکن است در یک محل ماسه‌ای و در محل دیگر دارای قلوه‌سنگ‌های درشت و ریز، یا رسی باشد. در هنگامی که رسوبات در دریا ته‌نشین می‌شوند، مسلماً دانه‌های درشت در نزدیکی ساحل برجای می‌مانند، اما ذرات رُس به علت سبکی زیاد، تا مسافت زیاد از ساحل فاصله می‌گیرند.



شکل ۱-۷- جنس رسوبات در اعماق مختلف دریا، متفاوت است.

همه‌ی سنگ‌های لایه‌لایه، رسوبی نیستند، همچنان‌که، گاهی گدازه‌های آتش‌فشانی هم که از کوه سرازیر می‌شوند، پس از انجماد به صورت لایه‌لایه درمی‌آیند. خاکسترهایی نیز که از دهانه‌ی آتش‌فشان خارج می‌شوند، ممکن است به صورت لایه‌لایه بر زمین بنشینند و سخت شوند (توف‌ها). البته تشخیص این قبیل سنگ‌ها از روی جنس و نحوه‌ی تشکیل آن‌ها آسان خواهد بود. گدازه‌های روان آتش‌فشانی ممکن است لایه‌هایی به رنگ‌های مختلف را شامل باشند که مانند یک رومیزی چروک‌خورده، چین دارند. بلورهای سوزنی‌شکل موجود در گدازه هم مانند الوارهایی که در روی آب در حرکتند، در یک امتداد قرار می‌گیرند و جهت جریان را نشان می‌دهند.

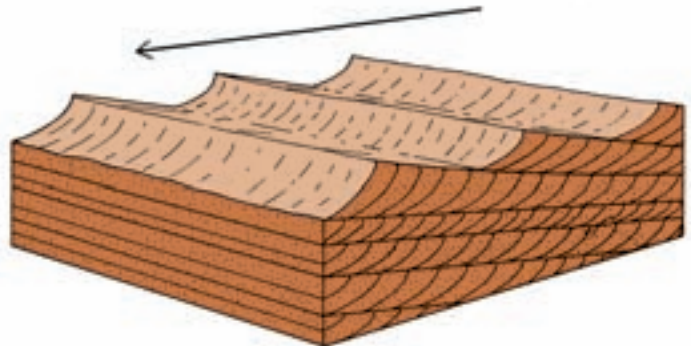
## تشخیص بالا و پایین لایه‌ها

قبل از آن که بتوانید تاریخچه‌ی بیشتر سنگ‌های لایه‌دار را تشخیص بدهید، باید قادر باشید سطح بالا و پایین هر لایه را مشخص کنید. در بسیاری از موارد لایه‌ها چین خوردگی یافته و ممکن است برگشته باشند. اما در غالب این لایه‌ها، شواهدی وجود دارد که سطح فوقانی آن‌ها را نشان می‌دهد.

۱- **چینه‌بندی متقاطع:** در برخی از رسوبات حالت چینه‌بندی متقاطع مشاهده می‌شود، بدین معنی که در درون یک لایه‌ی قطور، لایه‌های نازکی وجود دارند که سطوح جداکننده‌ی آن‌ها نسبت به سطح رسوب‌گذاری عمومی لایه‌ی اصلی، زاویه‌دار است. یکی از راه‌های تشکیل چینه‌بندی متقاطع در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. آیا با توجه به این شکل، می‌توانید قسمت فوقانی لایه را از قسمت تحتانی آن مشخص کنید و آیا جهت جریان اولیه هم در حین رسوب‌گذاری در آن‌ها پدیدار است یا نه؟



(ب)



(الف)

شکل ۲-۷ در هر کجا که سطح شیب‌داری بر اثر رسوب‌گذاری سریع تشکیل شود (دلتاها) یا عمل رسوب‌گذاری و تخریب به نوبت انجام گیرند، چینه‌بندی متقاطع پدید می‌آید (الف). چینه‌بندی متقاطع در رسوبات بادی قدیمی (ب).

## ۲- ریپل مارک‌ها (Ripple marks): شما ممکن است چین‌های کوچکی را در روی

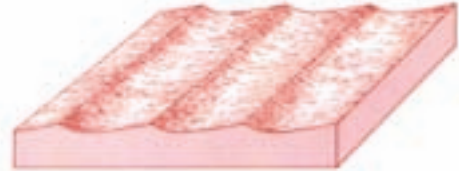
ماسه‌های ساحلی دریا، تهرودخانه، یا روی تپه‌های ماسه‌ای و حتی توده‌های برف دیده باشید که بی‌شبهت به چین‌های سطح آب استخر یا دریا به‌هنگام وزش باد نیستند. به این چین‌های کوچک ریپل مارک گویند. ریپل مارک‌هایی که عامل به‌وجودآورنده‌ی آن‌ها همیشه در یک جهت حرکت می‌کند، شکلی ویژه دارند؛ بدین معنی که شیب یک طرف آن‌ها بیش‌تر است (کدام طرف؟)، اما زمانی که



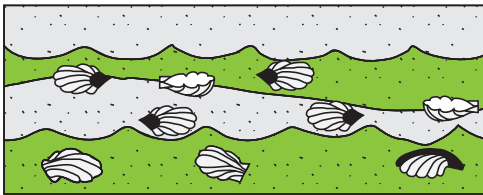
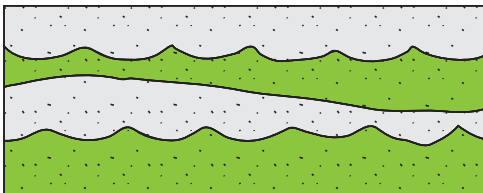
آب یا باد حرکتی به جلو و عقب داشته باشد، ریپل مارک‌ها هم حالتی متقارن به خود می‌گیرند. لبه‌های تیز ریپل مارک‌های متقارن همیشه به سمت بالای لایه قرار می‌گیرند.



مسیر حرکت آب در این دو حالت، چگونه بوده است؟



شکل ۳-۷- ریپل مارک‌هایی که روی ماسه‌های ساحلی پدید آمده‌اند. جریان آب در شکل ریپل مارک اثر می‌گذارد.



شکل ۴-۷- کدام یک از این دو شکل وارونه‌اند؟

۳- فسیل‌ها نیز گاهی طبیعی یا وارونه بودن لایه‌های رسوبی را نشان می‌دهند. وقتی که آب دریا تعدادی صدف خالی را بر روی ساحل می‌افکند، امواج و جریان‌ها معمولاً دهانه‌ی آن‌ها را روبه‌طرف پایین برمی‌گردانند (شکل ۴-۷).

### وجود بی‌نظمی در لایه‌ها

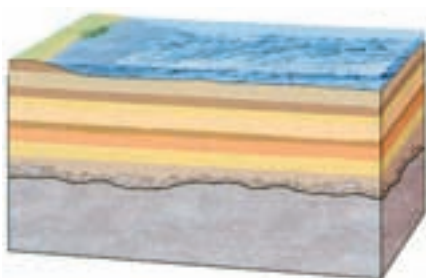
طبقات رسوبی به‌طور افقی ته‌نشین می‌شوند، اما بعدها ممکن است بر اثر چین خوردگی یا ایجاد گسل، وضع آن‌ها به‌هم بخورد و پیوستگی طبیعی لایه‌ها، جای خود را به نوعی ناپیوستگی بدهد. ناپیوستگی‌ها: گاهی حرکات پوسته‌ی زمین باعث بالآمدن لایه‌هایی می‌شود که قبلاً در بستر



شکل ۵-۷- خارج شدن لایه‌های رسوبی از حالت افقی، نشانه تأثیر نیروهایی بر آنهاست.



شکل ۶-۷- ناپیوستگی موازی (هم‌شیبی).  
چگونگی تشکیل این نوع ناپیوستگی را شرح بدهید.

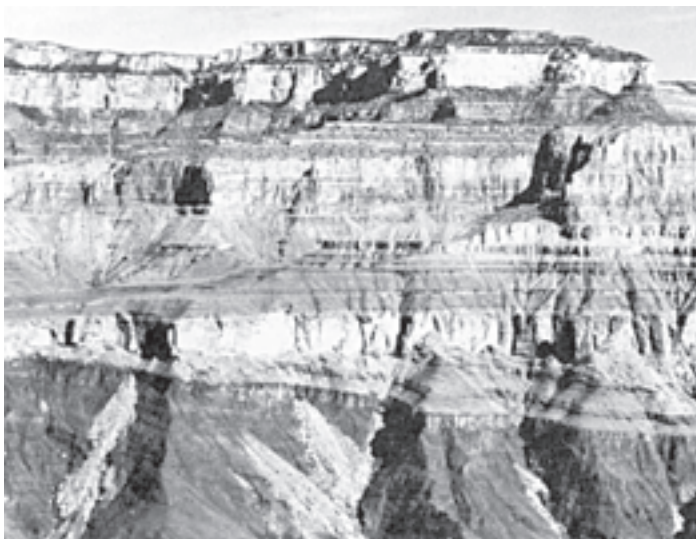


شکل ۷-۷- ناپیوستگی آذرین‌پی.  
چه حوادثی در اینجا اتفاق افتاده است؟

دریا رسوب کرده و سخت شده‌اند. در این صورت، سنگ‌ها در معرض تأثیر عوامل فرسایشی قرار می‌گیرند. اگر بعدها دوباره به علت‌هایی آب دریا روی این طبقات فرسایشی را ببوشاند، رسوبات جدیدی در روی لایه‌های قبلی قرار می‌گیرند و سنگ‌های تازه‌ای را پدید می‌آورند. بدیهی است که در زمان تشکیل این دوسری رسوب، انقطاع حاصل می‌آید. به همین سبب نیز گفته می‌شود که رسوبات یا لایه‌ها، ناپیوسته‌اند و بی‌وقفه به دنبال هم تشکیل نشده‌اند. بدیهی است در روی زمین نمی‌توان نقطه‌ای را یافت که در طول تاریخ زمین همواره در زیر دریا مانده و همچنان رسوبات لایه‌به‌لایه در آنجا حاصل آمده باشند. اصولاً ناپیوستگی‌ها مشخص‌کننده‌ی زمان‌هایی هستند که عمل رسوب‌گذاری متوقف شده است.

ناپیوستگی‌ها را به شکل‌های زیر می‌توان یافت:

۱- سنگ‌های رسوبی، به صورت لایه‌لایه روی هم قرار می‌گیرند، حال آن‌که سنگ‌های آذرین یا دگرگون‌شده، معمولاً لایه‌بندی ندارند. در نقاطی که سنگ‌های رسوبی لایه‌دار مستقیماً در روی توده‌های آذرین قرار گرفته باشند، نوعی ناپیوستگی پدید می‌آید که به آن آذرین پی گویند. در محل سطح ناپیوستگی دو نوع سنگ قدیم و جدید از هم جدا می‌شوند.



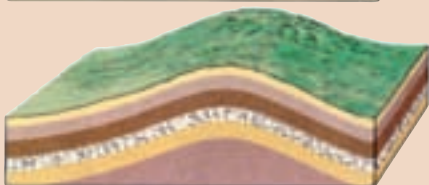
شکل ۸-۷- یک ناپیوستگی زاویه دار. محل سطح فرسایشی در کجاست؟

۲- نوعی ناپیوستگی به نام دگرشیب (زاویه دار) وجود دارد که تشخیص آن بسیار آسان است. در این نوع ناپیوستگی، سری رسوبات زیرین از حالت افقی خارج شده اند و در روی آنها، سری رسوبات جوان تر و اغلب افقی، قرار گرفته است.

۳- نوع دیگری از ناپیوستگی هم وجود دارد که برخلاف نوع دگرشیب، هم شیب خوانده می شود. این ناپیوستگی ها فراوان تر، اما نامشخص اند، زیرا لایه های رسوبی واقع در بالا و پایین سطح فرسایش یا سطح ناپیوستگی، با همدیگر موازیند و حتی شواهد وقوع فرسایش هم وجود ندارد.

### تفسیر کنید

شکل ها را مرتب کنید و حوادثی را که باعث تشکیل آنها شده است شرح دهید.



## فکر کنید

علت به وجود آمدن پدیده‌های زیر را چگونه باید تفسیر کرد؟

- ۱- می‌دانید که در هر منطقه از دریا، متناسب با عمق و فاصله از ساحل، جنس رسوبات و اندازه‌ی دانه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها فرق می‌کند. گذشته از آن، متناسب با عمق، ضخامت رسوبات نمی‌تواند از حدی زیاده‌تر باشد. مثلاً، در منطقه‌ی فلات قاره، که عمق آب از ۲۰۰ متر زیاده‌تر نیست، لایه‌های ماسه‌سنگی تشکیل شده، نمی‌توانند ۳۰۰ متر قطر داشته باشند! اما در بعضی از مناطق، قطر لایه‌های ماسه‌سنگ، بسیار زیاده‌تر از اینهاست. جالب‌تر آن که ممکن است رسوبات متعلق به مناطق عمیق‌تر، مانند سنگ‌آهک و شیل را هم در روی ماسه‌ها ببایم.
- ۲- در محل ناپیوستگی‌ها، سری جوان‌تری از طبقات رسوبی در روی لایه‌های قدیمی قرار گرفته‌اند.
- ۳- زمین‌شناسان، وجود ناپیوستگی‌ها را در تاریخ عمر زمین بسیار با اهمیت تلقی می‌کنند. به نظر شما علت چیست؟

## اصول قابل استفاده در تعیین سن نسبی

وقتی سن سنگها به صورت «مقایسه‌ای» بیان شود (مثلاً A قدیمی‌تر از B است)، سن نسبی آنها را مشخص می‌کنیم.

۱- اصل انطباق: نیکلاس استنو دانشمند قرن هفدهم دانمارکی، نخستین کسی است که گفته است:

الف - لایه‌های رسوبی به‌طور افقی ته‌نشین می‌شوند.

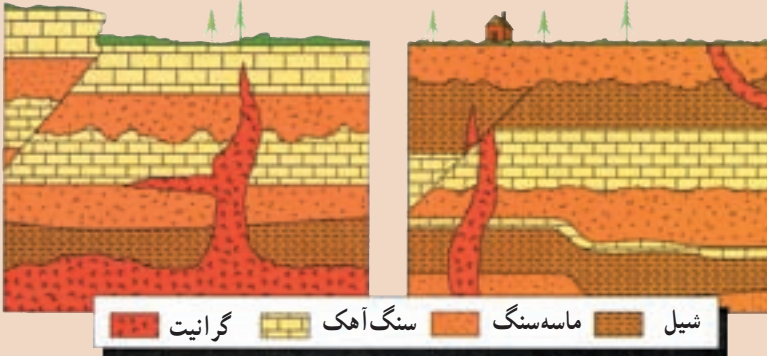
ب - در یک سری از طبقات رسوبی که بدون تغییر مانده باشند، لایه‌های زیرین قدیمی‌تر از

لایه‌های فوقانی‌اند. این اصل، برای تعیین سن نسبی، هنوز هم مهم شمرده می‌شود.

البته، خود استنو هم متوجه شده بود که قضاوت ما درباره‌ی سن نسبی لایه‌های رسوبی زمانی درست خواهد بود که طبقات رسوبی برگشته نباشند یا به عبارت دیگر توالی اولیه خود را حفظ کرده باشند. اگر طبقات چین‌خورده باشند، بدیهی است این حادثه، بعد از زمان تشکیل آن‌ها رخ داده است. به همین ترتیب، وقوع هرنوع شکستگی و گسل در لایه‌ها نیز به‌زمان بعد از تشکیل آن‌ها مربوط خواهد بود.

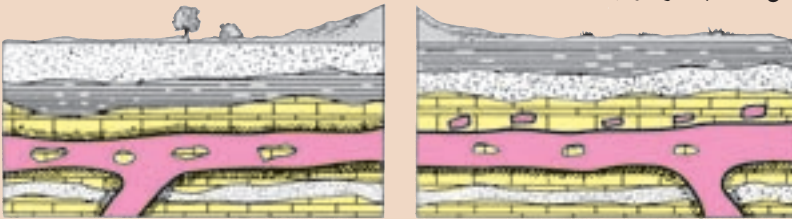
## تفسیر کنید

۱- در دو شکل زیر، ترتیب بروز وقایع را مشخص کنید.



۲- در کدام یک از دو شکل، توده آذرین نفوذی و در کدام یک، گدازه‌ی مدفون شده است؟

دلیل انتخاب خود را بیان کنید.



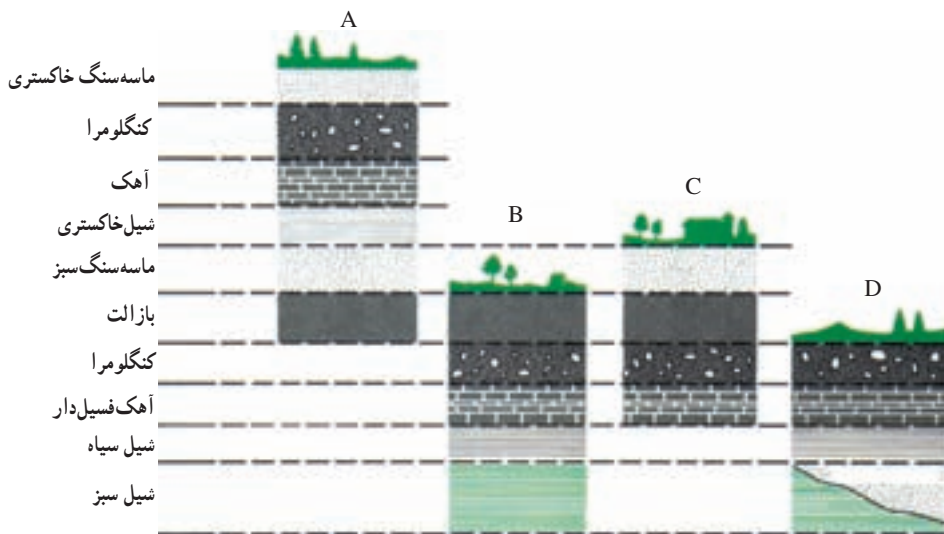
۲- پیوستگی جانبی لایه‌ها: زمین‌شناسان، برای تعیین هم‌زمانی، یا تقدم و تأخر رسوب‌گذاری

لایه‌ها، به تطابق و ایجاد همبستگی میان آن‌ها می‌پردازند.

طبقات رسوبی را که رنگ مشخص، بافت یا فسیل‌های معینی به همراه دارند، به آسانی می‌توان در فواصل نزدیک، با همدیگر مقایسه کرد، اما هرچه فاصله دوسری رسوب بیش‌تر شود، کار انطباق و مقایسه مشکل‌تر می‌شود، مثالی از مسئله پیوستگی جانبی لایه‌ها را در شکل ۸-۷ ملاحظه می‌کنید.

این تصویر چهارسری رسوب را در چهار نقطه مختلف نشان می‌دهد. زمین‌شناسی که به این سری‌های رسوبی توجه کند، لایه‌های مختلفی را در آن‌ها تشخیص می‌دهد. مثلاً، او می‌خواهد بداند که آیا سری رسوبات A با سری رسوبات D ارتباطی دارند یا نه؟ به نظر شما، او به چه نکاتی باید توجه کند؟ آیا سرانجام، وی ارتباطی را میان این دو سری، خواهد یافت یا نه؟

وقتی که کار تطابق به‌قاره‌های مختلف، یعنی نقاط دورازهم برسد، قضاوت کردن بسیار مشکل می‌شود. در گذشته نیز مانند امروز، شرایط محیطی در نقاط مختلف یکسان نبوده است، چنان‌که، اگر در یک منطقه عمل رسوب‌گذاری صورت می‌گرفته، در جای دیگر فرآیندهای فرسایشی دست‌اندرکار



شکل ۹-۷- در مناطق A و D لایه‌های مشترکی دیده نمی‌شود، با این حال راهی برای تطابق آن‌ها وجود دارد.

بوده‌اند. هیچ لایه سنگی وجود ندارد که سطح همه‌ی قاره‌ها، یا سطح یک قاره را به‌طور کامل بپوشاند. با این حال، راه‌هایی دیگر برای تطابق لایه‌ها حتی در چنین مقیاس وسیعی نیز وجود دارد. زمین‌شناسان از فسیل کمک‌های زیادی می‌گیرند. به‌عنوان مثال، گونه‌های فسیلی مشابهی در افریقا، اروپا و امریکای شمالی یافت می‌شوند و با آن‌ها فاصله‌ی مکانی این فسیل‌ها بسیار دورازهم است، می‌توان گفت که همه‌ی آن‌ها در یک زمان می‌زیسته‌اند. زمین‌شناسان فرض می‌کنند که رسوبات محتوی چنین فسیل‌هایی نیز به‌طور هم‌زمان تشکیل شده‌اند.

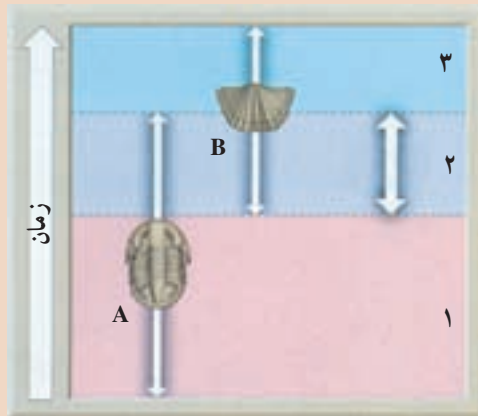
فسیل‌ها اطلاعات دیگری را نیز در اختیار می‌گذارند. مثلاً به کمک آن‌ها می‌توان از چگونگی و محل تشکیل رسوبات نیز آگاهی یافت. برخی از فسیل‌ها، مربوط به جانوران دریازی‌اند، پس سنگ‌های محتوی آثار آن‌ها باید در محیط اقیانوس تشکیل شده باشند. رسوبات رودخانه‌ای یا دریاچه‌ای هم به همین ترتیب قابل تشخیص‌اند.

با آن‌که فسیل‌ها را از قرن‌ها قبل می‌شناخته‌اند، تنها در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم بود که اهمیت وارزش آن‌ها در علوم زمین معلوم شد. در این زمان، یک مهندس انگلیسی به نام ویلیام اسمیت در ضمن احداث کانال متوجه شد که در هر گروه از سنگ‌هایی که در ضمن حفر کانال به آن‌ها برخورد می‌کند، فسیل‌های ویژه‌ای دارند که متفاوت با فسیل‌های لایه‌های بالایی و پایینی است. گذشته از آن، وی متوجه شد که لایه‌های رسوبی مناطق کاملاً دورازهم را می‌توان با استفاده از فسیل‌های موجود در آن‌ها باهم مقایسه کرد.

به دنبال کارهای اسمیت و زمین‌شناسان دیگر، یکی از مهم‌ترین اصول تعیین نوع همبستگی میان لایه‌های سنگی حاصل آمد. طبق این اصل، سن هر لایه را می‌توان از روی نوع فسیل‌های موجود در آن مشخص کرد. معنای ساده‌تر این اصل آن است که فسیل‌ها نشان‌دهنده‌ی طرز تکامل حیات در روی زمین‌اند و چون جانداران ابتدایی‌تر و ساده‌تر، در مقایسه با جانداران پیچیده و پیشرفته، قدمتی زیادتر دارند، با مقایسه‌ی نوع فسیل‌های موجود در سنگ‌ها می‌توان ترتیب قدمت لایه‌های رسوبی را نیز معلوم داشت.

### فکر کنید

- ۱- در صورتی که امروزه، جانداران ابتدایی مانند اسفنج‌ها، مرجان‌ها، جلبک‌ها و آغازیان مختلف را در کنار جانداران پیچیده، چون پستانداران، یا گیاهان گلدار تک‌لپه‌ای می‌یابیم، چگونه می‌توان ادعا کرد که جانداران ساده، قدمتی بیشتر دارند؟
- ۲- فسیل‌شناسان، برای بعضی از فسیل‌ها در مقایسه با بقیه، ارزش زیادتری قایلند و حتی نام آن‌ها را سنگواره‌های راهنما می‌گذارند. به نظر شما کدام خصوصیات زیر می‌تواند یک سنگواره را جزء اقسام راهنما قرار بدهد:
  - در همه جا (جاهای محدود) پیدا می‌شود.
  - دوره‌ی زندگی جاندار مربوط به آن کوتاه (طولانی) بوده است.
  - نمونه‌های موجود آن محدود (فراوان) است.
  - متعلق به جانداران ساده (پیچیده) است.
  - تشخیص آن آسان (مشکل) است.
  - جاندار صاحب آن، دریازی (خشکی‌زی) بوده است.
- ۳- تشخیص سن کدام لایه آسانتر و دقیق‌تر است: ۱، ۲ یا ۳؟ دلیل بیاورید.



## مشاهده و استنباط کنید

سنگواره‌ها، گذشته از کاربردی که در تشخیص قدمت لایه‌های سنگی و انطباق آن‌ها با همدیگر دارند و در موارد زیر هم به کار می‌آیند.

۱- تشخیص حدود خشکی‌ها و دریا‌های قدیمی.

۲- تشخیص نوع آب‌وهوای گذشته

با مشاهده‌ی شکل هریک از فسیل‌های زیر، نوع آب‌وهوا و شرایط محیطی زمان زندگی

آن‌ها را مشخص کنید.



Venus (صدف نازک)



Ostrea (صدف قطور)

## جمع‌آوری اطلاعات

امروزه فسیل‌ها، در تعیین محل منابع نفت نیز کاربرد وسیعی دارند. اطلاعاتی را در مورد نوع فسیل‌های مورد استفاده، طرز تشخیص آن‌ها و همچنین، دلیل استفاده از آن‌ها را در اکتشاف منابع نفتی تهیه کنید.

## بیشتر بدانید

راه‌های تشکیل فسیل یا سنگواره: سنگ‌واره‌ها عموماً به یکی از چهار طریق زیر تشکیل

می‌شوند.

۱- فسیل شدن قسمت‌های نرم: این نوع فسیل شدن موقعی صورت می‌گیرد که جسد جاندار پس از مرگ در محیطی کاملاً دور از هوا قرار بگیرد. گرچه وجود چنین محیطی در طبیعت بسیار نادر است و موجودات اغلب تحت تأثیر عمل باکتری‌ها واقع می‌شوند، ولی محیط‌هایی نظیر یخ، خاک‌های اشباع‌شده از نفت، صمغ درختان و ... می‌توانند در شرایط خاصی حتی تمام بدن یک جاندار را از عوامل تجزیه‌کننده حفظ کنند. مثلاً اجساد فیل‌های ماموت که نسل آن‌ها



مدت‌ها قبل منقرض شده، تا امروز در گسل‌های یخ‌زده‌ی سیبری باقی و حتی گوشت آن سالم مانده است و یا حشراتی که به صمغ‌ها چسبیده و در داخل آن‌ها قرار گرفته‌اند در اثر گذشت زمان و سخت‌شدن صمغ‌ها بدون کوچک‌ترین تغییری حفظ شده‌اند. این نوع حشرات گاهی به قدری خوب حفظ شده‌اند که حتی بافت‌های مختلف آن‌ها نیز زیر میکروسکوپ قابل ملاحظه است.



بدن این حشره قدیمی، به‌طور کامل در داخل کهر با محفوظ مانده است.

**۲- فسیل‌شدن قسمت‌های سخت:** بدن اغلب جانوران دارای قسمت‌هایی سخت مثل دندان، استخوان و صدف است؛ برخی گیاهان دارای اسکلت مقاوم‌اند و بعضی از جانداران تک‌سلولی نیز، پوسته‌ی سیلیسی سختی دارند که آن‌ها را در مقابل عوامل فساد و تخریب، مقاوم می‌سازد. از این رو چنین موجوداتی برای تبدیل شدن به فسیل یا سنگ‌واره مناسب‌ترند.

**۳- فسیل‌های حاصل از تبدیل قسمت‌های سخت به مواد دیگر:** این قبیل فسیل‌شدن را می‌توان جانشینی مولکول به مولکول ماده نیز در نظر گرفت. مثلاً آب‌های زیرزمینی ضمن عبور از داخل رسوبات، بقایای جسد موجودات را حل می‌کنند و جای خالی آن‌ها را با مواد محلول همراه مثل سیلیس، کلسیت، پیریت و اکسید آهن پر می‌سازند. در بعضی موارد ساختمان بافت و سلول نیز به خوبی حفظ شده است، مثل چوب‌های سیلیسی شده.

**۴- فسیل‌های حاصل از آثار موجودات زنده:** فسیل منحصر به جسم سنگ‌شده‌ی جانوران و گیاهانی که از گذشته زندگی می‌کرده‌اند نیست، بلکه آثار باقی‌مانده از گیاهان و جانوران

برروی رسوبات را نیز فسیل به‌شمار می‌آورند. در چنین مواردی، شاهد هیچ‌یک از اعضای اصلی سنگ‌شده‌ی موجود زنده نخواهیم بود و فقط اثر بازمانده برروی رسوب است که نشان از ساختاری گیاهی یا جانوری باخود دارد. معروف‌ترین انواع این دسته از فسیل‌ها عبارتند از:

● **قالب داخلی و خارجی:** ممکن است قالبی از صدف، استخوان و حتی برگ و یا تزئینات ساقه‌ی گیاهان به‌صورت فسیل درآید. مثلاً صدف‌هایی که در رسوبات نرم مدفون شده‌باشند می‌توانند اثری بر رسوبات برجای گذارند. اگر صدف تدریجاً حل شده و جای خالی آن به‌وسیله موادی پرشود، این مواد به‌شکل صدف بوده و تزئینات خارجی برروی آن نقش بسته‌است که به آن **قالب خارجی** می‌گویند. در صورتی که تزئینات داخلی صدف از رسوبات نرم پرشود، سپس صدف حل شده و از بین برود **قالب داخلی** صدف به‌صورت فسیل برجای می‌ماند.

● **ردپا و اثر موجودات در روی رسوبات:** ردپا، دُم و سایر زواید یک جانور ممکن است برروی رسوبات نرم باقی‌بماند و این اثر توسط رسوبات دانه‌ریز مانند رس یا ماسه پرشده و بعدها سخت شود. در این صورت اثر موجود برروی سنگ‌ها به‌صورت فسیل درمی‌آید.

### تفسیر کنید

در نواحی ۲، ۱ و ۳، سنگ‌های زیر یافت شده‌اند.

۱- سنگ آهک، ۲- ماسه‌سنگ با ریبل مارک، ۳- شیل‌های تیره‌رنگ و محتوی فسیل

سرخس‌ها

چه قضاوتی در مورد محیط فیزیکی آن نقاط در هنگام تشکیل این سنگ‌ها می‌کنید؟

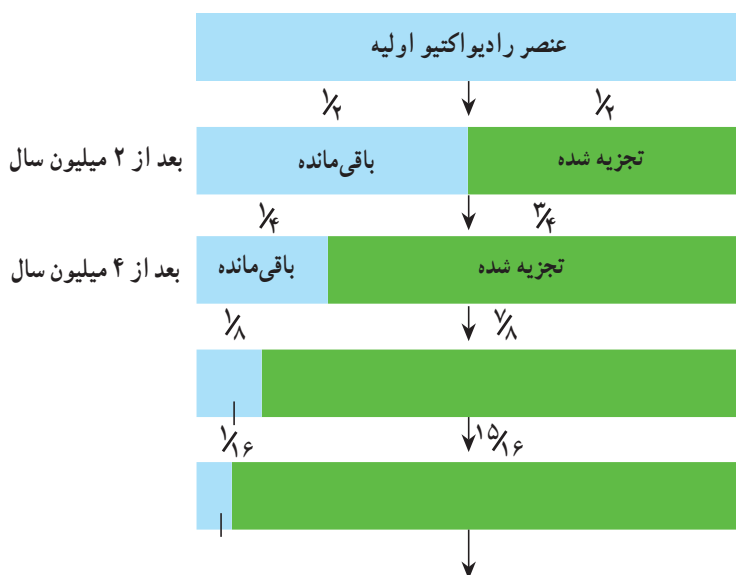
### سن مطلق

برای تعیین «چه مدت قبل»، شما نیاز به مقیاس زمانی دارید. مثلاً می‌توانید وقایع را نسبت به زمان حال بسنجید. وقتی که شما سن پدیده‌ها و وقایع را با زمان حال می‌سنجید، **سن مطلق** را تعیین می‌کنید. پس سن مطلق هر چیزی، زمان پیدایش آن را تا امروز نشان می‌دهد. با این ترتیب، تعیین سن مطلق، دقیق‌تر از تعیین سن نسبی است، اما مشکل‌تر هم هست.

ساعت و تقویم، زاده‌ی تفکر آدمی است و از روی حرکات زمین ابداع شده‌اند تا بتوان زمان را به کمک آن‌ها تعیین کرد. اما برای پی‌بردن به وقایعی که در میلیون‌ها سال قبل رخ داده‌اند و از حد روز، ماه و سال فراترند، ساعت و تقویم کاربردی ندارند و باید به دنبال یافتن معیارهای دیگری بود.

**کشف خاصیت رادیواکتیویته،** روش دقیقی را برای تعیین دقیق سن سنگ‌ها و اشیاء در اختیار دانشمندان گذاشت، چنان‌که می‌دانید، هسته‌ی بعضی از عناصر، ذرات و انرژی را با نسبتی ثابت از خود دفع می‌کند. این عناصر، **رادیواکتیو** نام دارند. وقتی یک عنصر رادیواکتیو ماده و انرژی از خود خارج کند، سرانجام مبدل به عنصری دیگر می‌شود که رادیواکتیو نیست. از آنجا که در مواد رادیواکتیو سرعت تخریب قابل محاسبه است و هیچ‌نوع عامل خارجی از قبیل گرما، فشار و ... بر آن‌ها مؤثر نیست، مواد رادیواکتیو را به‌عنوان ساعت‌های طبیعی در نظر می‌گیرند. با تعیین مقدار عناصر رادیواکتیو و غیر رادیواکتیو، می‌توان مدتی را که از عمر سنگ محتوی آن مواد گذشته، محاسبه کرد. اورانیم، عنصری رادیواکتیو است که در بعضی از سنگ‌ها وجود دارد. به‌ویژه، یک‌نوع این عنصر (به‌نام  $U-238$ ) برای تعیین سن مطلق سنگ‌ها کاربرد زیادی دارد. اورانیم  $238$ ، دارای عدد جرمی  $238$  و عدد اتمی  $92$  است (یعنی  $92$  پروتون در هسته دارد). این عنصر، پس از تخریب، یعنی خارج کردن مرتب دو پروتون و دو نوترون، کاهش جرم می‌یابد و طی یک سلسله واکنش و تولید مواد واسطه، سرانجام به سرب  $206$  مبدل می‌شود.

**نیمه عمر:** سرعت تخریب بیش‌تر مواد رادیواکتیو، بسیار کند است، اما دانستن این سرعت، اهمیت دارد. دانشمندان دریافته‌اند که مدت زمان لازم برای تخریب نیمی از هر مقدار اورانیم  $238$  و تبدیل آن به سرب  $206$ ، معادل  $4/5$  میلیارد سال است. برای هر عنصر چنین مدت‌زمانی را نیمه‌عمر آن عنصر می‌نامند.



شکل ۱۰-۷- مواد رادیواکتیو، با سرعت ثابتی تخریب می‌شوند.

## فکر کنید

- اگر در سنگی، مقدار اورانیم  $^{238}\text{U}$ ،  $\frac{1}{8}$  مقدار اولیه باشد، چه مدت از عمر آن سنگ گذشته است؟
- گفته می‌شود روش تعیین سن با استفاده از اورانیم  $^{238}\text{U}$ ، برای نمونه‌هایی کاربرد دارد که بیش‌تر از  $10^6$  میلیون سال قدمت داشته باشند. دلیل چیست؟

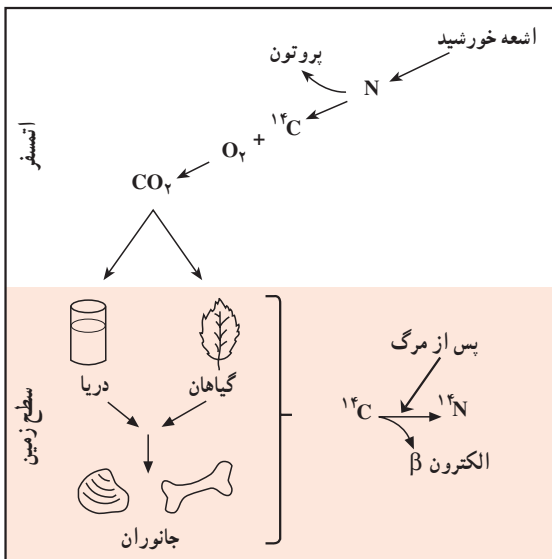
ایزوتوپ‌هایی که در عمرسنجی به روش رادیومتری کاربرد دارند.

نیمه عمر مورد قبول	ماده‌ی حاصل	ماده‌ی رادیواکتیو اولیه
۴/۵ میلیارد سال	سرب $^{206}\text{Pb}$	اورانیم $^{238}\text{U}$
۷۱۳ میلیون سال	سرب $^{207}\text{Pb}$	اورانیم $^{235}\text{U}$
۱۴/۱ میلیارد سال	سرب $^{208}\text{Pb}$	توریم $^{232}\text{Th}$
۴/۷ میلیارد سال	استرونسیم $^{87}\text{Sr}$	روبیوم $^{87}\text{Rb}$
۱/۳ میلیارد سال	آرگون $^{40}\text{Ar}$	پتاسیم $^{40}\text{K}$

## کربن رادیواکتیو: در بعضی

از نمونه‌هایی که قدمت زیادی ندارند، مواد آلی یافت می‌شود که مربوط به بقایای بدن جانداران است. دانشمندان، برای تعیین سن این نمونه‌ها، از نوعی کربن رادیواکتیو ( $^{14}\text{C}$ ) استفاده می‌کنند. کربن  $^{14}\text{C}$  بعد از تخریب مبدل به نیتروژن  $^{14}\text{N}$  می‌شود.

کربن  $^{14}\text{C}$ ، به‌طور طبیعی در اتمسفر وجود دارد که پس از ترکیب با اکسیژن،  $\text{CO}_2$  پدید می‌آورد. البته، بیشتر  $\text{CO}_2$  اتمسفری، از کربن غیررادیواکتیو



شکل ۱۱-۷- اتمهای کربن رادیواکتیو در طبقات بالای اتمسفر تشکیل شده، وارد چرخه کربن می‌شوند.

(۱۲-C) به وجود می‌آید و مقدار کمی از این گاز، محصول ۱۴-C است. نسبت میان ۱۴-C به ۱۲-C در اتمسفر ثابت است. همه جانداران، هردونوع کربن را جذب می‌کنند و گیاهان،  $CO_2$  حاصل از هردونوع را در فرآیند فتوسنتز به کار می‌برند. سپس، هردونوع کربن از طریق زنجیره‌ای غذایی به بدن جانوران هم می‌رسند.

تازمانی که گیاهان و جانوران زنده‌اند، نسبت میان دونوع کربن در آن‌ها ثابت است، اما بعد از مرگ، این نسبت تغییر می‌کند، چون عمل جذب آن‌ها متوقف می‌شود و کربن ۱۴ به علت ناپایداری، شروع به تجزیه می‌کند و نیتروژن ۱۴ را به وجود می‌آورد.

نیمه عمر کربن ۱۴، معادل ۵۷۳۰ سال است. دانشمندان، برای تعیین عمر نمونه‌ی کربن‌دار، ابتدا نسبت ۱۴-C به ۱۲-C را تعیین می‌کنند، سپس آن نسبت را با نسبتی که این دونوع کربن در بدن جانداران دارند، می‌سنجند.

۱۴-C، اغلب برای تعیین سن استخوان، چوب، صدف و بازمانده‌های آلی انسان کاربرد دارد. با این روش، نمونه‌هایی را که تا ۵۰ هزار سال قدمت دارند، می‌توان عمرسنجی کرد. بنابراین، باستان‌شناسان، انسان‌شناسان و زمین‌شناسان از آن استفاده‌های زیادی می‌کنند. در واقع، ابداع این روش چنان مهم بود که در سال ۱۹۶۰، شیمی‌دانی به نام لی بی جایزه‌ی نوبل را به همین خاطر دریافت داشت. ارزش عمرسنجی: البته باید توجه داشت که استفاده از مواد رادیواکتیو برای تعیین قدمت سنگ‌ها و اشیاء، کاری بسیار پیچیده و مشکل است و محدودیت‌های فراوان دارد. گاهی هم نتایج چندان دقیق نیستند. مثلاً، در روش بتاسیم-آرگون، گاز آرگون بعد از تشکیل وارد اتمسفر می‌شود. اگر هم سنگ مورد آزمایش، قبلاً در معرض برخورد گرمای زیاد قرار داشته، مقدار زیادی از مواد خود را از دست داده است.

با این همه، از چنین روشی برای تعیین قدمت چیزهای زیادی استفاده شده است. سنگ‌هایی از نقاط مختلف زمین با قدمتی متجاوز از سه میلیارد سال یافت شده‌اند. مثلاً نوعی گرانیت از جنوب آفریقا، ۳/۲ میلیارد سال عمر داشته است. جالب آن‌که در این گرانیت، قطعاتی از کوارتزیت هم یافت شد، کوارتزیت، از دگرگونی ماسه‌سنگ (نوعی سنگ رسوبی) پدید می‌آید که خود، سنگی ثانوی است و مسلماً قدمت مواد تشکیل دهنده‌ی آن زیادتر بوده است. پس طبعاً باید گفت سنگ‌های قدیمی‌تری هم وجود دارند.

# تحولات گذشته



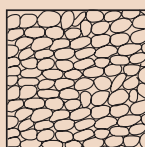
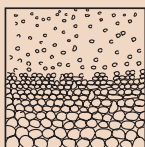
سطح زمین در تغییردایم است. کوه‌ها به وجود می‌آیند و فرسوده می‌شوند. اقیانوس‌ها پیش روی و پس روی می‌کنند و مناطقی سرسبز تبدیل به بیابان می‌شوند. با تغییراتی از این قبیل، جانداران مختلف نیز فراوان می‌شوند و سپس روبه نابودی می‌روند. شواهد بروز چنین تغییراتی در میان لایه‌های سنگی موجود در پوسته زمین باقی می‌ماند. دانشمندان، برای آن که بتوانند ترتیب و نوع این تغییرات را دریابند، اقدام به تهیه‌ی یک جدول مقیاس زمانی کرده‌اند. در این جدول، تغییرات فیزیکی و زیستی در چهره‌ی زمین مشخص می‌شود.

## چینه‌شناسی

چینه‌شناسی یکی از شاخه‌های زمین‌شناسی تاریخی است که در آن، توالی لایه‌های رسوبی و حوادثی را که در طی رسوب‌گذاری رخ داده است، به کمک شواهد موجود، تفسیر می‌کنند. در صفحات قبل گفته شد که براساس اصل انطباق و پیوستگی جانبی لایه‌ها می‌توان سن نسبی لایه‌های رسوبی را تعیین کرد و با تطابق لایه‌ها، به حوادث گذشته‌ی زمین پی برد. لایه‌های رسوبی، ضخامت‌های متفاوت دارند. این ضخامت، از حد میکروسکوپی، تا ده‌ها متر تغییر می‌کند. سطح تماس بین دو لایه‌ی مجاور هم را سطح لایه‌بندی می‌گویند که براساس ویژگی‌های مختلف از قبیل اختلاف در اندازه، جنس، سختی و رنگ ذرات دولایه‌ی مجاور و همچنین، توقف در رسوب‌گذاری تشخیص داده می‌شود.

## تفسیر کنید

طرز توزیع دانه‌ها و ذرات در یک لایه، اطلاعات زیادی را از شرایط رسوب‌گذاری آن لایه در اختیار می‌گذارد. باتوجه به شکل‌های زیر، طرز تشکیل هریک را توضیح دهید.



## واحدهای چینه‌شناسی

چینه‌شناسان برای بررسی زمان و همچنین، چینه‌ها و فسیل‌ها، از مقیاس‌هایی استفاده می‌کنند که عبارتند از: واحدهای زمانی زمین‌شناسی، واحدهای زمانی چینه‌شناسی، واحدهای زیستی چینه‌شناسی و واحدهای سنگی چینه‌شناسی. در اینجا مقیاس‌های مربوط به زمان زمین‌شناسی و واحدهای سنگی چینه‌شناسی را مرور می‌کنیم.

واحدهای زمانی زمین‌شناسی: براساس بررسی‌هایی که بر روی فسیل‌ها، تعداد و تنوع جان‌داران، انقراض آن‌ها در مدتی کوتاه، حوادث کوه‌زایی و ناپیوستگی‌ها صورت گرفته عمر زمین را به بخش‌هایی که از نظر زمان نامساوی‌اند تقسیم می‌کنند. این بخش‌ها را واحدهای زمانی زمین‌شناسی گویند، که به ترتیب شامل ائون، دوران، دوره، دور یا عهد است. هر واحد، قسمتی از تاریخ عمر زمین است. نام دوره‌ها اغلب از روی نام یک ناحیه یا جنس رسوبات یا نام فسیل‌ها تعیین شده است. واحدهای سنگی چینه‌شناسی: در واحدهای سنگی چینه‌شناسی، ویژگی‌های انواع سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی چینه‌ها مورد تأکید است. بنابراین هر واحد سنگی چینه‌شناسی مجموعه‌ای از چینه‌هاست که قسمت عمده‌ی آن از یک نوع سنگ معین یا مجموعه‌ای از سنگ‌های مشخص تشکیل شده باشد. هر واحد سنگی چینه‌شناسی ممکن است از یکی از گروه‌های سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی یا مجموعه‌ای از دو یا هر سه نوع از این گروه‌ها تشکیل شده باشد، این واحدها عبارتند از:

لایه: کوچک‌ترین واحد سنگی چینه‌شناسی است و به واسطه‌ی داشتن ویژگی‌های مشخص سنگ‌شناسی از لایه‌های بالا و پایین خود تمیز داده می‌شود.

بخش: شامل چند لایه است که از نظر ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشخص است و در بین قسمت‌های دیگر به آسانی تمیز داده می‌شود.

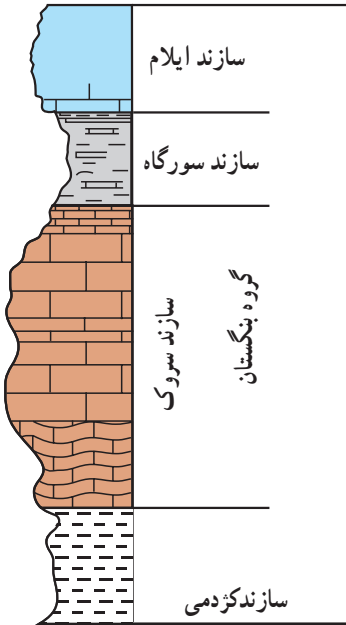
سازند: واحد سنگی اصلی چینه‌شناسی و عبارت است از مجموعه لایه‌هایی که دارای صفات سنگ‌شناسی مشخص باشد. بالا و پایین یک سازند مشخص است ولی ضخامت آن حد معینی ندارد. یک سازند ممکن است یک یا چند بخش داشته باشد.

گروه: واحد بزرگ‌تر از سازند است و از دو یا چند سازند پیاپی تشکیل می‌شود. واحدهای سنگی چینه‌شناسی را به ترتیب بزرگی می‌توان به صورت زیر نوشت:

گروه → سازند → بخش → (طبقه) لایه

نام هر یک از واحدهای سنگی چینه‌شناسی، ترکیبی از نام جغرافیایی یک ناحیه و نام خود واحد است، مثل سازند آغاچاری یا گروه بنگستان.

## ستون چینه‌شناسی



مجموعه‌ای از توالی لایه‌های سنگی (سازندها) یک منطقه را، که براساس سنگواره‌های راهنما، از قدیم به جدید مرتب کرده باشند، ستون چینه‌شناسی گویند. زمین‌شناسان با توجه به مشاهدات و تحقیقات خود از ستون چینه‌شناسی در سراسر جهان، ستون چینه‌شناسی واحدی تشکیل داده‌اند که نمایانگر زمان در طی تاریخ گذشته‌ی زمین، از ابتدا تا به امروز است. ستون چینه‌شناسی یک مقیاس نسبی زمانی برای مقایسه‌ی لایه‌های سنگی است و همچنین گسترش و تغییر و تحول حیات را در طی عمر زمین نشان می‌دهد.

البته، توجه داشته باشید که در هیچ‌جای زمین، نمی‌توان رسوبات همه‌ی زمان‌ها را در کنار هم یافت. بنابراین، دانشمندان حاصل مشاهدات خود از نقاط مختلف را باهم تلفیق می‌کنند تا استاندارد برای آرایش لایه‌های سنگی یا همان ستون چینه‌شناسی پیدا کنند. در ستون چینه‌شناسی، لایه‌های زیر، قدیمی‌ترین و لایه‌های بالا، جدیدترین خواهند بود.

در تشخیص لایه‌های ستون چینه‌شناسی، از دو معیار، یعنی نوع فسیل‌ها و جنس سنگ‌ها کمک می‌گیرند. فسیل‌های موجود در لایه‌های بالایی، به گیاهان و جانوران امروزی مشابه‌اند، حال آن‌که آثار فسیلی لایه‌های زیرین، اغلب وضعی متفاوت دارند و چنان‌که می‌بینیم، نسل بیشتر آن‌ها نابود شده است.

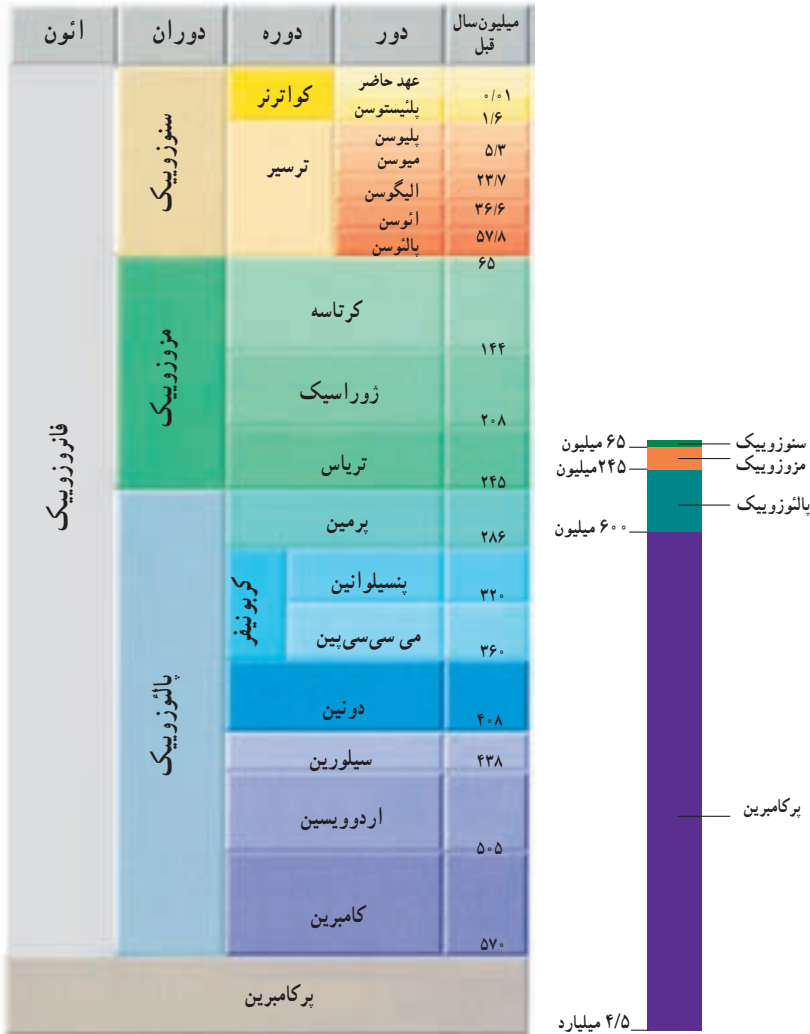
### فکر کنید

- ۱- در زمانی که مفهوم استفاده از ستون چینه‌شناسی مرسوم شد، گروهی از دانشمندان سعی کردند از طریق اندازه‌گیری سرعت رسوب‌گذاری، سن لایه‌ها را تعیین کنند. اما این کار، به چند دلیل اعتبار لازم را نیافت. آن دلایل کدام بودند؟
- ۲- گروهی از دانشمندان، سن لایه‌های درون یک ستون چینه‌شناسی را از طریق مقایسه‌ی فسیل‌های آن‌ها با لایه‌های محتوی همان فسیل‌ها، جایگاه لایه در ستون و خصوصیات فیزیکی لایه انجام می‌دهند. اگر دو لایه از این جهات باهم یکسان باشند، به احتمال زیاد در یک زمان تشکیل شده‌اند. به نظر شما چرا موقعیت نسبی لایه در تعیین سن آن با ارزش است؟



## تقسیم بندی زمان زمین شناسی

همچنان که در تاریخ، وقوع حوادث مهم را مبنای پایان یک دوره و شروع یک دوره‌ی دیگر می‌شمارند، در زمین شناسی نیز حوادث مهمی چون پیدایش و تغییرات چشمگیر در نوع فسیل‌ها، تغییر در نوع و ضخامت سنگ‌ها، ناپوستگی‌ها و تغییرات آب‌وهوایی را برای طبقه‌بندی کردن زمان به کار می‌برند.



جدول ۱-۸- تقسیم بندی زمانی گذشته‌ی زمین. طول دورانهای مختلف را با هم مقایسه کنید.

## بیشتر بدانید

تقسیمات مهم زمان در زمین‌شناسی	دوره	دوران
درا ابتدا، دوران‌های زمین‌شناسی را به نام اول، دوم، سوم و چهارم می‌نامیدند. امروزه، دوران اول و دوم دیگر کاربردی ندارد، اما نام‌های سوم و چهارم را هنوز هم برای دوره‌های سنوزویک به کار می‌برند.	کواترن (چهارم) ترسیه (سوم)	سنوزویک (دوران غلبه پستانداران)
از نام لاتین کرتا به معنای گل سفید گرفته شده است. این نوع رسوبات به مقدار زیاد در انگلیس وجود دارند. از نام کوه‌های ژورا بین فرانسه و سویس گرفته شده که رسوبات این دوره نخستین بار در آنجا مطالعه شد. از نام تریاس به معنای سه‌گانه گرفته شده، زیرا رسوبات آن در سه لایه متمایز از بقیه‌اند.	کرتاسه  ژوراسیک  تریاس	مزوزویک (دوران غلبه خزندگان)
نخستین بار، سنگ‌های آن در ناحیه پرم روسیه مطالعه شد. مقدار زیادی ترکیبات زغالی و کربن‌دار در این دوره یافت شده است. سنگ‌های آن اولین بار در دون شایر انگلیس مطالعه شد. از نام قبایل سیلور گرفته شد، که در ناحیه ویلز انگلیس می‌زیسته‌اند. از نام مردمان ویلز به نام اردوویس گرفته شده است. نام قدیمی ویلز در انگلیس است.	پرمین کربونیفر دوینین سیلورین اردوویسین کامبرین	پالئوزویک (دوران غلبه بی‌مه‌رگان)
به معنای ماقبل کامبرین است و آثار حیاتی مشخصی ندارد.		پراکامبرین

## تغییر گونه‌ها

تاریخ، به معنای ثبت وقایع گذشته است. همچنان‌که تاریخ تمدن‌های مختلف در کتاب‌ها آورده شده، تاریخ زمین‌هم در سنگ‌ها ثبت است. از روی نوع سنگ‌ها و نوع فسیل‌های موجود در آن‌ها، نکات بسیاری را می‌توان درباره‌ی گذشته‌ی یک منطقه یافت.

آنچه بیشتر از همه به درک اوضاع گذشته‌ی زمین کمک می‌کند، فسیل‌ها هستند. فسیل‌ها، یکی از شواهد بسیار خوب برای اثبات وقوع تغییر در گونه‌های جانداران‌اند. براساس فرضیه‌هایی که در این مورد داده شده، گونه‌های جانداران در طول زمان تغییر کرده و جاندارانی جدید از انواع اجدادی به وجود آمده‌اند.

مستدل‌ترین نظریه‌ای که در مورد چگونگی تغییر گونه‌ها داده شده، به تغییر از طریق انتخاب طبیعی معروف است که در سال ۱۸۵۹ توسط چارلز داروین، طبیعی‌دان انگلیسی ارائه شد. این نظریه را بقای اصلح (بقای سازگارترین‌ها) هم می‌نامند.

یکی از نتایج تغییر از طریق انتخاب طبیعی، آن است که جانداران، در برابر شرایط طبیعی محیط خود سازگار می‌شوند. در نتیجه، اگر تغییری در شرایط محیطی پدید آید، فقط آنهایی باقی می‌مانند که

برای تحمل تغییر، سازش یافته‌اند. جانداران نامناسب - یا ناسازگار - زنده نمی‌مانند. پس فقط آن‌ها که باقی مانده‌اند، زاد و ولد می‌کنند.

از میان تغییرات محیطی متعدد، که بر بقای جانداران مؤثر است، می‌توان به تغییرات آب‌وهوایی و زمین‌شناسی اشاره کرد. یک مثال تغییر زمین‌شناسی، کم‌شدن وسعت خشکی یا مقدار آب‌هاست. در یک زمان، بیشتر نقاط زمین از آبی کم‌عمق و گرم پوشیده شده بود اما شرایط همیشه به آن صورت باقی نماند. تغییرات آب‌وهوایی هم زیاد بوده‌اند. مثلاً، در گذشته چندین بار هوا به شدت سرد شده و یخچال‌های وسیعی تشکیل شده‌اند.

### پرکامبرین

دوران پرکامبرین، با پیدایش زمین در حدود ۴/۶ میلیارد سال قبل شروع شده و در ۶۰۰ میلیون سال پیش پایان یافته‌است. تفسیر آنچه در سنگ‌های این دوران باقی مانده، دشوار است، زیرا بیشتر این سنگ‌ها، تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف صورت گرفته در پوسته چنان تغییر یافته‌اند که تشخیص ترتیب و لایه‌های اولیه‌ی آن‌ها به‌ندرت امکان‌پذیر است.

مناطق وسیع بیرون‌زدگی‌های سنگ‌های پرکامبرین به نام سپر را در اغلب قاره‌ها می‌توان یافت. سپرهای پرکامبرین، حاصل چندین صدمیلیون سال فعالیت آتش‌فشانی و کوه‌زایی، تشکیل رسوبات و دگرگونی‌اند. سنگ‌های پرکامبرین، اغلب تغییر شکل یافته و دگرگون شده‌اند. در نتیجه، مقدار زیادی از آن‌ها ذوب شده‌اند و به‌همین علت، مواد معدنی مختلفی را به‌تازگی سطح زمین آورده‌اند. بیشتر از نصف کانی‌های پرارزش جهان را در سپرهای پرکامبرین یافته‌اند، که در میان آن‌ها، نیکل، آهن، طلا و اورانیم وجود دارد.

فسیل مربوط به پرکامبرین، بسیار کمیاب است، زیرا بیشتر جانداران این دوران، فاقد قسمت‌های سخت مانند استخوان و صدف در بدن بوده‌اند. گذشته از آن، قدمت زیاد سنگ‌ها و تحمل تغییرات فراوان و مکرر، باعث از بین رفتن فسیل‌های آن‌ها شده‌است.

از جمله فسیل‌های معدود پرکامبرین، می‌توان به استروماتولیت‌ها، یا رسوبات ریف‌مانند (مشابه تشکیلات مرجانی) اشاره کرد، که محصول عمل باکتری‌ها و جلبک‌ها هستند. استروماتولیت‌ها، امروزه هم در بعضی از آب‌های کم‌عمق تشکیل می‌شوند. به‌همین علت هم تصور می‌رود در پرکامبرین، دریا‌های کم‌عمق بیشتر نقاط روی زمین را پوشانده بودند. بسیاری از فسیل‌های متعلق به پرکامبرین که آثاری مربوط به کرم‌ها، عروس دریایی و جانداران تک‌سلولی هستند، در استرالیا یافت شده‌اند.



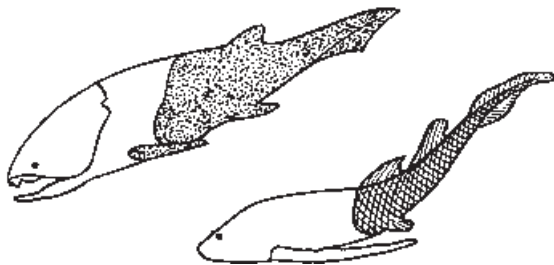
شکل ۲-۸- سیانوباکترها، امروزه هم این توده‌های متشکل از کربنات کلسیم را به نام استروماتولیت پدید می‌آورند. در ۲/۸ میلیارد سال قبل، استروماتولیت‌ها فراوان بوده‌اند.

## پالئوزویک: دوران بی‌مهرگان

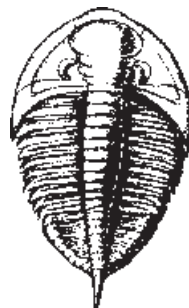
مهم‌ترین جانور بی‌مهره‌ای که در پالئوزویک می‌زیسته و سپس در اواخر این دوران نسلش از بین رفته، بی‌مهره‌ای وابسته به گروه بندپایان به نام تریلوبیت (قسمت = lobus سه = tri) است که بدنی متشکل از سر، سینه و دم داشته‌است. تریلوبیت‌ها از لحاظ شکل و اندازه اقسام بسیار گوناگونی داشته‌اند. به طوری که برخی از آن‌ها را حتی به عنوان سنگواره‌ی راهنمای دوره‌های معینی در پالئوزویک می‌شناسند. تریلوبیت‌ها بیش‌تر در آب‌های کم‌عمق و بر بستر دریا زندگی می‌کرده‌اند و احتمالاً محیط خود را از بقایای جانوران و مواد آلی پاکیزه نگه می‌داشته‌اند.

شواهد فسیلی، نشان می‌دهد که در پالئوزویک بی‌مهرگان فراوان دیگری هم علاوه بر تریلوبیت‌ها وجود داشته‌اند، به طوری که دوران پالئوزویک را دوران بی‌مهرگان لقب داده‌اند، در طی دوره‌ی اردوئین نخستین مهره‌داران ظاهر شده‌اند. این جانوران از گروه ماهی‌ها هستند که به علت دارا بودن صفحات سخت استخوانی در سطح بدن، به ماهی‌های زره‌دار معروفند (شکل ۴-۸).

در دوره‌های کامبرین و اردوئین، زندگی محدود به دریا بود، اما در سیلورین برای نخستین بار، زندگی در خشکی آغاز شد. از گیاهان آونددار (ساقه‌و برگ) مربوط به این دوره آثاری به دست آمده است. فسیل نخستین جانوران ساکن خشکی هم متعلق به موجوداتی عقرب‌مانند است.



شکل ۴-۸ - دو نوع ماهی زره‌دار پالئوزویک



شکل ۳-۸ - نمونه‌ای از تریلوبیت‌های پالئوزویک

در کربونيفر نخستين خزندگان ظاهر شدند. اين جانوران کوچک هم شبیه به دوزیستان بودند و باله‌ی حرکتی ضعیفی داشتند که از آن‌ها برای خزیدن در روی زمین استفاده می‌کردند. خزندگان نیازی به زیستن در کنار آب نداشتند، زیرا پوست غیر قابل نفوذ آن‌ها، زیستن در محیط‌های بسیار خشک را برای آنان امکان‌پذیر می‌کرد. خزندگان در عین حال می‌توانستند در خشکی تخم‌گذاری کنند. در اواسط پالئوزویک، گروهی از بی‌مهرگان، به نام بازو پایان فراوان شدند. بازو پایان از جهتی مانند نرم‌تنانند، زیرا بدن آن‌ها را دو صدف (بالایی و پایینی) می‌پوشاند (شکل ۵-۸). بقایای فسیلی بازو پایان را بیشتر در رسوباتی که در مناطق کم‌عمق دریا ته‌نشین شده‌اند می‌یابیم، اما در طول زمان، گونه‌هایی از آن‌ها خود را به مناطق ساحلی، یا عمیق دریا کشانده و با محیط‌های مختلف سازش یافته‌اند. شاید هم همین قدرت سازگار شدن سبب شده است که نسل چنین بی‌مهرگانی هنوز نیز بعد از این زمان دراز، باقی باشد. اسپیریفر از جمله‌ی مهم‌ترین بازو پایان پالئوزویک است.

در اواسط دوران پالئوزویک چین خوردگی‌های مهمی در زمین روی داد و کوه‌های مرتفعی پدید آمد، و پس از آن، فرآیندهای فرسایشی قسمت‌های وسیعی را از قاره‌های آن زمان مسطح کردند. مرداب‌های

بزرگی به همین سبب پدید آمد و بقایای گیاهان فراوان این زمان، که همگی از جمله‌ی گیاهان بی‌گل و به‌ویژه نهان‌زادان بودند، در آن مرداب‌ها و زیر گل‌ولای مدفون مانده، پس از تحمل



اسپیریفر

شکل ۵-۸ - نمونه‌ای از بازو پایان پالئوزویک



فسیل نوعی سرخس قدیمی

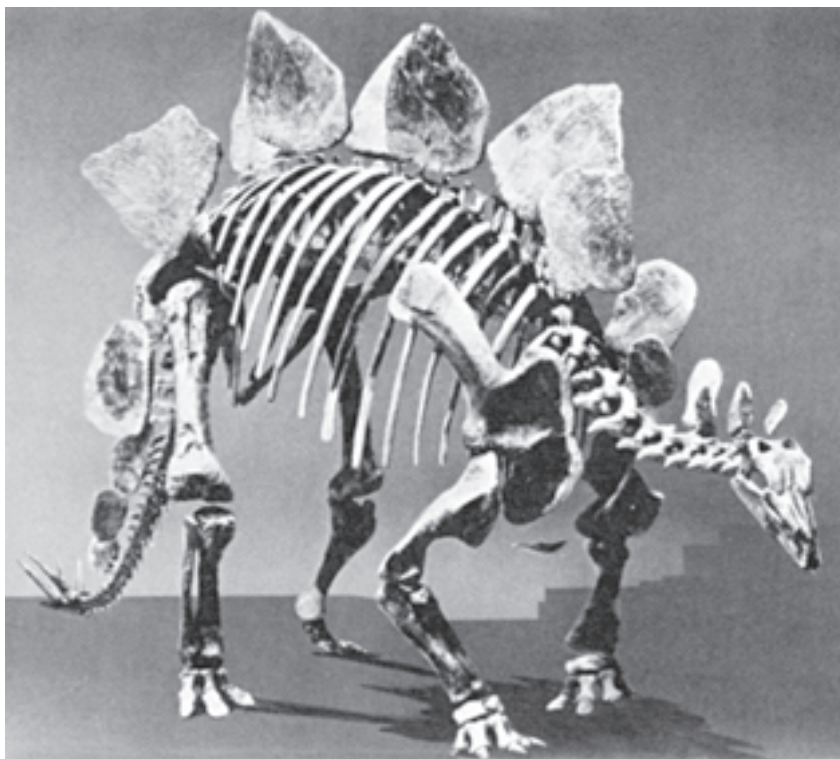


شکل ۶-۸ - گیاهان پالئوزویک بیشتر از گروه نهان‌زادان آوندی و بازدانگان و به‌صورت درختان بزرگ بوده‌اند.

مراحل تجزیه و فساد، آثار زغال‌سنگی بزرگی را پدید آوردند که هنوز هم به‌عنوان یک منبع انرژی از آن‌ها بهره‌برداری می‌کنیم.

## مزوزویک : دوران خزندگان

سنگ‌های فسیل‌دار مزوزویک را در نقاط مختلفی می‌توان یافت. بنابراین، اطلاع ما از وضع جانداران این دوران زیاد است. شرایط آب‌وهوایی، توسعه‌ی فراوان خزندگان را امکان‌پذیر کرد. آب‌وهوا در مزوزویک بسیار گرم‌تر از امروز بوده است. در تریاس، یعنی ابتدای مزوزویک خزندگان بسیار فراوان و گوناگون شده بودند. جثه‌ی این خزندگان بین یک تا سی متر درازا داشته‌است. علاوه بر خزندگان ساکن خشکی، خزندگانی در این هنگام وجود داشته‌اند که می‌توانستند در هوا پرواز کنند. انواع دریازی آن‌ها کمیاب نبوده است. به همین سبب، به کار بردن «دوران خزندگان» برای مزوزویک، شگفت‌آور نیست. خزندگان درشت‌جثه‌ی مزوزویک را داینوسور (خزنده = Sourus مخوف = Deinos) می‌گویند (شکل ۷ - ۸).



شکل ۷ - ۸ - نمونه‌ای از داینوسورهای مزوزویک



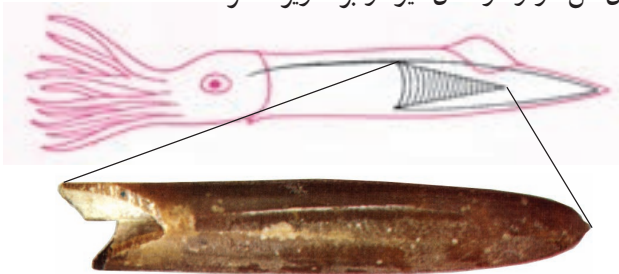
شکل ۸ - ۸ - فسیل آرکئوپتریکس و طرحی که از آن ترسیم شده است.

فسیل اسکلت قدیمی ترین پرنده‌ی شناخته شده، در میان سنگ آهک‌های معدنی واقع در جنوب آلمان یافت شد. قدمت این فسیل که آن را آرکئوپتریکس (بال = Pteron قدیمی = Archaios) نامیده‌اند، حدود ۱۴۰ میلیون سال است.

اگر آثار پَر در اطراف این فسیل یافت نمی‌شد، مشکل می‌توانستند آن را جزء پرنده‌گان محسوب بدارند. آرکئوپتریکس فسیلی بسیار مهم است، زیرا نه تنها اثری از قدیمی ترین پرنده را نشان می‌دهد، بلکه به سبب داشتن آثاری از صفات خزندگان (وجود سه انگشت در هر بال، دندان‌های کوچک و تیز در هر آرواره و دم طویل استخوانی) می‌توان به کمک آن چنین استنباط کرد که پرنده‌گان از خزندگان مشتق شده‌اند. آرکئوپتریکس در عین حال قدرت پرواز چندانی هم نداشته است (شکل ۸ - ۸).

در همین حال که مهره‌داران در روی خشکی در حال ازدیاد بودند، بی‌مهرگانی ویژه در دریاها ظاهر شدند و توسعه یافتند که نظایر آن‌ها را در دوران‌های قبل و بعد از مزوزویک نمی‌یابیم. از جمله‌ی مهم‌ترین این بی‌مهرگان، نرم‌تنانی از گروه سرپایان به نام آمونیت‌ها و بلمنیت‌ها (Belemnites) بودند. بلمنیت‌ها را می‌توان از وابستگی ماهی مرکب و اسکویدها محسوب داشت.

گیاهان نیز در دوران مزوزویک فراوان و گوناگون شدند، به طوری که علاوه بر انواع بی‌گل و نهانزا، در دوره‌ی کرتاسه گیاهان گل‌دار و درختان میوه و برگ‌ریز ظاهر شدند.



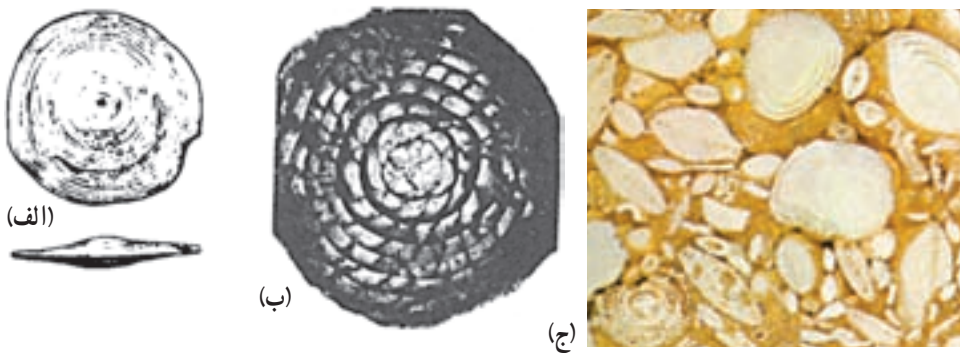
آمونیت

شکل ۹ - ۸ - نمونه‌هایی از آمونیت‌ها و بلمنیت‌های مزوزویک

در اواخر عصر مزوزویک داینوسورها به طور اسرارآمیزی از میان رفتند. تاکنون دلایل زیادی در مورد نابودی نسل داینوسورها آورده شده است، (بالا آمدن زمین و کاسته شدن از وسعت مرداب‌ها، بزرگی جثه و عدم تکافوی غذا، شیوع بیماری و ... از این میان نظریه‌ای که مبنی بر سرد شدن هوا بر اثر گرد و غبار ناشی از برخورد شهابسنگ‌های بزرگ به سطح زمین است از اعتبار بیشتری برخوردار است).

### سنوزویک: دوران پستانداران

نخستین آثار پستانداران را مربوط به مزوزویک می‌یابیم. این جانوران که به تدریج تا دوره‌ی کرتاسه تکامل حاصل کردند، بیشتر کوچک جثه و خزنده مانند بوده‌اند. تکامل اصلی و ازدیاد پستانداران در سنوزویک رخ داده و این جانوران، جای داینوسورها را اشغال کردند. اصولاً پستانداران به علت خون گرم بودن و پوشیده شدن بدن از مو یا پشم قادر بوده‌اند که با تغییر شرایط محیط سازگار باشند و به همین علت توانسته‌اند در طول سال در نقاط سرد و گرم یک منطقه به فعالیت ادامه دهند. در سنوزویک، انواعی از آغازیان و گروه روزن‌داران می‌زیسته‌اند که از سنگواره‌های بسیار با ارزش این دوران محسوب می‌شوند. این روزن‌داران را نومولیت می‌نامند و وجود آن‌ها در هر نوع رسوبی، مؤید ارتباط آن رسوبات با دوران سنوزویک است (شکل ۱۰-۸).



شکل ۱۰-۸ - نومولیت (الف) و مقطع (ب) تعدادی نومولیت در مقطع یک سنگ (ج)

علاوه بر روزن‌داران، خارتان هم در سنوزویک فراوان و گوناگون شدند به طوری که تاکنون متجاوز از ۶۵۰ گونه از آن‌ها را تشخیص داده‌اند.

در سنوزویک بر تنوع گیاهان گل‌دار و درختان افزوده شد و انواع کنونی کمابیش پدیدار شدند. اما، آیا زیاد شدن گیاهان، در ازدیاد پستان‌داران نقشی داشته‌است؟



و سرانجام در اواخر سنوزویک، آدمی پا به عرصه وجود نهاد و به برکت عقل و درایتی که داشت، در اندک مدتی توانست بر این سیاره مسلط شود. رشد جمعیت آدمی، به ویژه در قرن‌های اخیر، چنان به سرعت صورت گرفت که وی ناچار شد گاه با اجرای برنامه‌های عجولانه، تغییراتی حساب نشده در کره‌ی زمین به وجود آورد و از این طریق، آسیب‌هایی جبران‌ناپذیر بر این سیاره وارد سازد که نتایج وخیم آن‌را به صورت کمبود انرژی و مواد اولیه، آلودگی محیط و ... دامن‌گیر خود کرده است. روی هم رفته، در طول میلیاردها سال هیچ‌گاه، هیچ موجودی تا بدین حد توازن طبیعی را در سیاره زمین برهم نزده است.

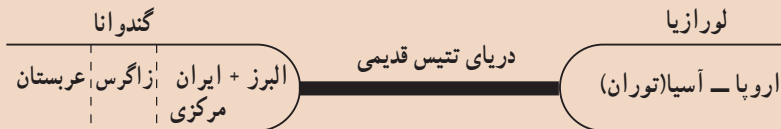
### بیشتر بدانید

#### تکوین پوسته‌ی قاره‌ای ایران

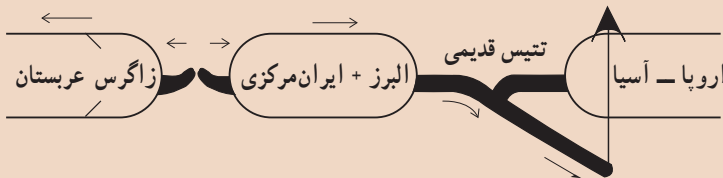
وضعیت زمین‌شناسی کنونی ایران بسیار پیچیده است. این پیچیدگی حاصل شکستن مکرر یک قاره‌ی اولیه و گسترش آن و برخورد قاره‌های حاصل به‌همدیگر در اثر فعالیت‌های تکتونیکی در این منطقه است.

طرح زیر حاصل نظریه‌ی یک زمین‌شناس ایرانی به نام مانوئل بربریان است که خلاصه و باکمی تغییر اقتباس شده است.

۱- در پرکامبرین (حدود ۶۵۰ میلیون سال قبل) تقریباً تمام بخش‌های پوسته‌ی قاره‌ای ایران امروزی در جنوب استوا قرار دارد و بخشی از قاره‌ی بزرگ گندوانا را می‌سازد.



۲- در پرمین - تریاس (بین ۲۷۰ - ۲۲۰ میلیون سال قبل) قاره‌ی کوچکی متشکل از البرز و ایران مرکزی از گندوانا جدا می‌شود و به سمت شمال حرکت می‌کند و سبب رانده شدن پوسته‌ی اقیانوسی تتیس قدیمی به زیر ورقه‌ی اروپا-آسیا می‌شود.

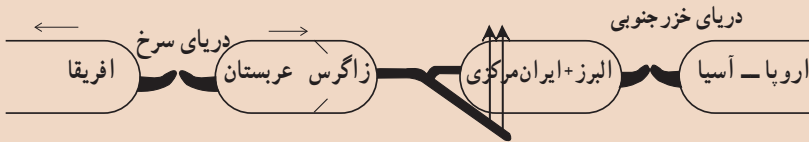


۳- در اوایل ژوراسیک (حدود ۲۱۰ میلیون سال قبل) تتیس قدیمی از بین می‌رود و قاره‌ی کوچک البرز-ایران مرکزی به ورقه‌ی اروپا-آسیا برخورد می‌کند و هم‌زمان با آن

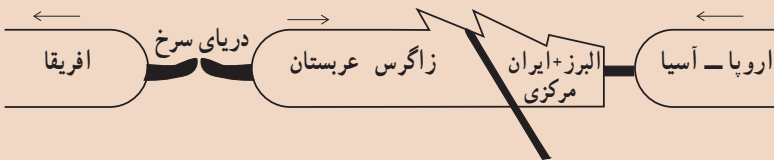
تتیس جدید در حدفاصل ایران مرکزی و زاگرس به وجود می آید.



۴- در ائوسن، الیگوسن (حدود ۵۵-۲۰ میلیون سال قبل) قاره‌ی عربستان و زاگرس از افریقا جدا می شود و به سمت شمال حرکت می کند و به تدریج پوسته‌ی اقیانوسی تتیس جدید به زیر ایران مرکزی فرورانده شده و سپس ایجاد آتش فشانیه‌ی های فراوان در ایران مرکزی می شود و در همین زمان دوباره البرز از اروپا-آسیا جدا می شود و پوسته‌ی اقیانوسی دریای خزر جنوبی تشکیل می شود.



۵- در اواخر میوسن (حدود ۵ میلیون سال قبل تاکنون) ورقه‌ی عربستان، که زاگرس در لبه‌ی شمالی آن قرار داشت، به بقیه‌ی آسیا برخورد می کند. در حال حاضر با ادامه‌ی حرکت ورقه‌ی عربستان به سمت شمال پوسته‌ی اقیانوسی جدیدی در محل دریای سرخ تشکیل می شود و همچنین سبب وقوع زمین لرزه‌های محدوده‌ی زاگرس می گردد.



# بخش ۴

## جایگاه زمین

دانش اخترشناسی، سابقه‌ای چندهزارساله دارد. در گذشته انسان‌های کنجکاوی در سرزمین‌های آسیا، آفریقا، اروپا و امریکای مرکزی، درباره‌ی جهان اطراف خود به تفکر پرداخته و متناسب با نیازهایی که در تشخیص جهت، تغییر فصل و تعیین زمان مناسب برای کشاورزی و غیره داشتند، اطلاعات پرارزش را حاصل آوردند. در واقع، آن مردمان، پیشتازان علم اخترشناسی به‌شمار می‌آیند و برخی از یافته‌هایشان هنوز هم از اعتبار علمی کافی برخوردار است.

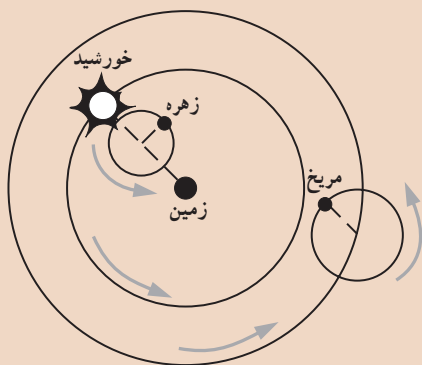
# منظومه‌ی شمسی

# ۹

در قرن‌های ۱۶ و ۱۷، علاقه به کسب دانش، تغییرات زیادی را در دانش اخترشناسی پدید آورد. چنان‌که می‌دانید قبل از این زمان، طبق نظریه‌ی بطلمیوس زمین در مرکز عالم قرار داشت. در سال ۱۵۴۳، یک اخترشناس لهستانی به نام نیکلاس کوپرنیک نظریه جدیدی را پیشنهاد کرد که براساس آن، خورشید در مرکز منظومه‌ی شمسی قرار داشت و زمین هم مانند سیارات دیگر در اطراف خورشید می‌چرخید.

## تفسیر کنید

بطلمیوس (دانشمند قدیم، اهل اسکندریه) در سال ۱۵۰ میلادی، پس از مطالعه‌ی عقاید گذشتگان و تلفیق آن‌ها، مدل زمین مرکزی (شکل زیر) را ارائه داد این نظریه حدود ۱۵ قرن مورد قبول دانشمندان بود. همچنین مدلی که او از اعضای منظومه‌ی شمسی ترسیم کرد، اولین طرح در نوع خود است.



- ۱- این مدل را تفسیر کنید.
- ۲- با مشاهده‌ی کره‌ی زهرة (ستاره‌ی صبح) و مریخ (سیاره‌ی سرخ) در آسمان شب، علت این‌نوع نتیجه‌گیری را بیان کنید.

کوپرنیک، در مورد علت چرخشی که در ستاره‌ها مشاهده می‌شد، گفت که زمین در حول محور شمالی جنوبی به دور خود می‌چرخد.

در حدود سال ۱۶۰۰، گالیله تلسکوپ را اختراع کرد و موفق شد به ماه و بعضی سیارات نگاه کند. در ۱۶۱۰، کره‌ی ماه که نور خورشید را منعکس می‌کرد، دارای سطح سنگی و ناهموار نشان داده شد، نه صاف و درخشان. اما جالب‌تر از همه، کشف چهار «ستاره‌ی» جدید در اطراف کره‌ی مشتری بود. آنچه گالیله در دفعات متوالی مشاهده کرد، الگویی مانند شکل ۲ - ۹ بود.

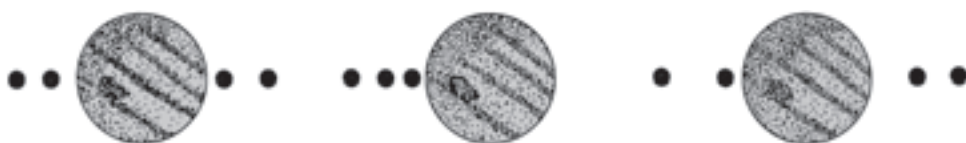


کوپرنیک



گالیله

شکل ۱-۹



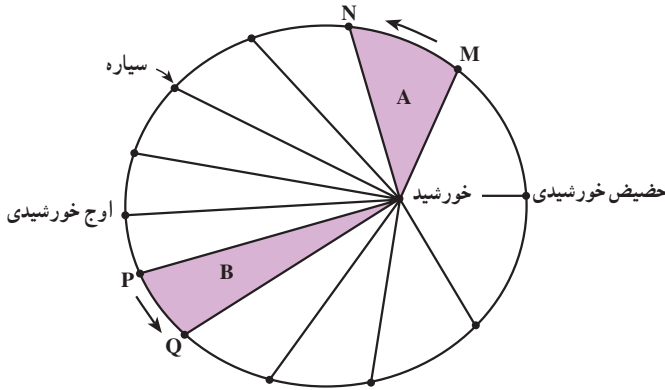
شکل ۲-۹ - گالیله، قمرهای مشتری را به این صورت‌ها مشاهده کرد. آیا از مقایسه‌ی این حالت‌ها می‌توان به چرخش اقمار در اطراف مشتری پی‌برد؟

شناسایی منظومه‌ی شمسی، رابطه‌ای نزدیک با تکمیل شدن ساختمان تلسکوپ دارد. قبل از قرن هفدهم، تصور می‌شد که در منظومه‌ی شمسی، علاوه بر زمین و ماه، ۵ سیاره‌ی دیگر عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل وجود دارد. شاید توجه زیاد به عدد هفت، مانند ۷ روز هفته، از همین جا ناشی شده باشد. اما امروزه می‌دانیم که تعداد سیارات این منظومه ۹ عدد است و علاوه بر آن، اشیاء و اجرام مختلف دیگری هم در منظومه‌ی شمسی وجود دارند. این مجموعه، تحت تأثیر نیروی جاذبه‌ی خورشید، مکانی از فضا را به خود اختصاص داده است.

## حرکات سیارات

وقتی که کوپرنیک فرضیه‌ی خورشیدمرکزی را ارائه داد، تصور می‌کرد که سیارات در مدارهای دایره‌مانند به دور خورشید می‌گردند. اما در اوایل قرن هفدهم، یک ریاضیدان آلمانی به نام یوهان کپلر، با مطالعات دقیق خود ابراز داشت که مدار سیارات بیضی‌شکل است نه دایره‌مانند. وی، موفق شد سه قانون زیر را برای حرکت سیارات کشف کند که تأکیدی بر نظریه کوپرنیک بودند:

۱ - مدار حرکت همه سیارات به دور خورشید، بیضی است و خورشید در یکی از دو کانون بیضی قرار دارد.



شکل ۳-۹- طبق قانون دوم کپلر، مساحت این ۱۲ قسمت، مساوی است.

۲- هر سیاره، چنان به دور خورشید می‌گردد که خطی که سیاره و خورشید را به هم وصل می‌کند، در زمان‌های مساوی، مساحت‌های مساوی ایجاد می‌کند (شکل ۳-۹).

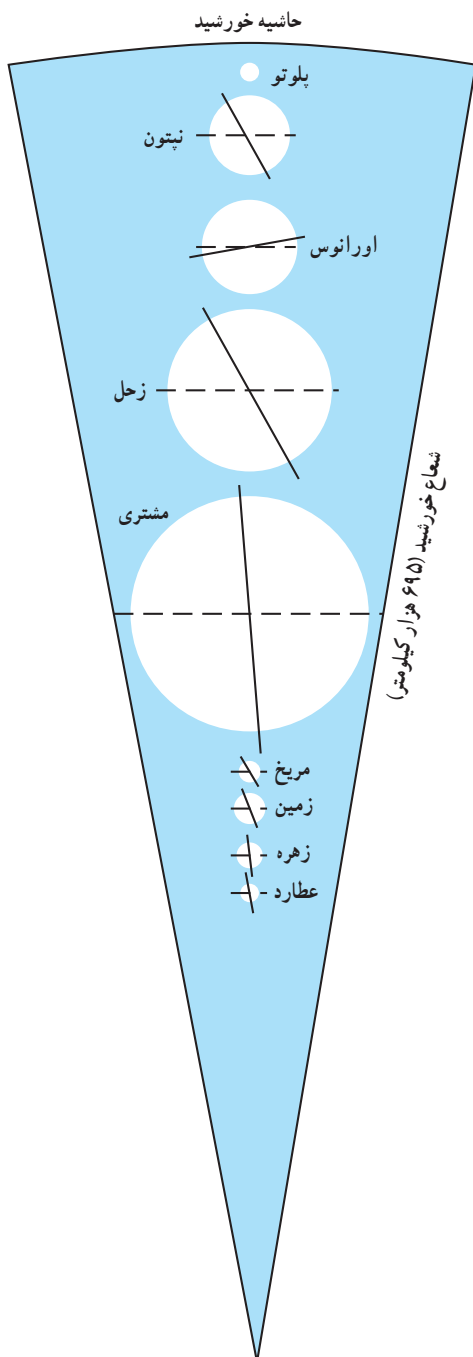
۳- زمان یک دور گردش سیارات به دور خورشید، با افزایش فاصله‌ی آن‌ها از خورشید زیاد می‌شود و میان این دو، رابطه‌ی  $p^2$  معادل با  $d^3$  برقرار است، که در این رابطه  $p$  زمان یک دور گردش سیاره بر حسب سال زمینی و  $d$  فاصله‌ی این سیاره از خورشید به واحد نجومی (فاصله‌ی متوسط زمین تا خورشید) است.

دلیل فیزیکی این نوع حرکات تا زمان نیوتن (۱۷۲۷ - ۱۶۴۲) معلوم نشد. نیوتن، قوانین حرکت و جاذبه را کشف کرد و روابط مربوط را در کتاب معروف خود (اصول ریاضیات) در سال ۱۶۸۷ توضیح داد.

## ترکیب

موادی که هردو گروه سیارات را تشکیل می‌دهند، بر اساس نقطه‌ی ذوب، به سه گروه گازها، سنگ‌ها و یخ قابل تقسیم‌اند. مواد گازی، آن‌هایی هستند که نقطه‌ی ذوبشان به صفر مطلق (۲۷۳- درجه‌ی سانتی‌گراد) نزدیک است و شامل هیدروژن و هلیم‌اند. مواد سنگی را بیش‌تر، کانی‌های سیلیکاتی و آهن تشکیل می‌دهند. نقطه‌ی ذوب این مواد، از  $700^\circ$  درجه سانتی‌گراد بالاتر است. یخ‌ها، در بین این دو قرار دارند و شامل آمونیاک، متان، دی‌اکسید کربن و آب‌اند.

سیارات زمین‌مانند (عطارد، زهره، زمین و مریخ)، از مواد سنگی و فلزی و اندکی گاز تشکیل شده‌اند. سیارات مشتری‌مانند، از هیدروژن و هلیم ساخته شده‌اند و مقادیر متفاوتی از گروه یخ‌ها (آب، آمونیاک و متان) دارند. البته، تصور می‌رود که در سیارات مشتری‌مانند، نیز مواد



شکل ۴-۹- سیارات مشتری مانند و زمین مانند. اختلاف اساسی بین آنها چیست؟

سنگی و فلزی موجود باشد و این مواد، در هسته‌ی مرکزی و بسیار متراکم آنها قرار گرفته‌اند.

سیارات مشتری مانند (مشتری، زحل، اورانوس و نپتون)، اتمسفرهای بسیار غلیظی دارند که شامل هیدروژن، هلیوم، متان و آمونیاک است. در مقابل، اتمسفر سیارات زمین مانند، رقیق است. سیارات، طی فرآیند تبخیر، مقداری از گازهای خود را ازدست می‌دهند. هرچه دمای اتمسفر سیاره‌ای بیش‌تر و نیروی جاذبه‌ی آن کم‌تر باشد، این فرآیند شدیدتر خواهد بود. گفته می‌شود که هرگاه سرعت مولکولی گاز به حدی که به نام سرعت گریز موسوم است برسد، تبخیر خواهد شد. در مورد زمین، این سرعت معادل ۱۱ کیلومتر بر ثانیه است. هر جسمی، از جمله موشک نیز برای آن که بتواند از منطقه‌ی جاذبه‌ی زمین دور شود، باید سرعتش از این مقدار، فراتر برود (با این ترتیب، آیا سرعت گریز گازها در سیارات زمین مانند زیاده‌تر است یا سیارات مشتری مانند؟).

تصور می‌رود ابر متشکل از گاز و غباری که همه‌ی سیارات منظومه‌ی شمسی از آن منشأ گرفته‌اند، ترکیبی شبیه به ترکیب مشتری داشته است. اما البته، سیارات زمین مانند تقریباً عاری از گازهای سبک و گروه یخ‌ها هستند. در این صورت، آیا سیارات داخلی، روزگاری از آنچه هستند بزرگ‌تر بوده‌اند؟ آیا در گذشته این مواد را دارا بوده و به سبب نزدیک بودن به خورشید، آنها را ازدست داده‌اند؟



شکل ۹-۶- زحل و چهار عدد از اقمار آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).



شکل ۹-۵- مشتری و چهار قمر بزرگ آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).

### مشخصات سیارات منظومه‌ی شمسی

خصوصیات	عطارد	زهره	زمین	ماه	مریخ	مشتری	زحل	اورانوس	نپتون	پلوتو
قطر	۰/۳۸	۰/۹۶	۱/۰	۰/۲۷	۰/۵۳	۱۱/۲	۹/۵	۳/۷	۳/۵	۱/۰
حجم	۰/۰۶	۰/۸۸	۱/۰	۰/۰۲	۰/۱۵	۱۳۱۸	۷۶۹	۵۰	۴۲	۱/۰
جرم	۰/۰۵	۰/۸۱	۱/۰	۰/۰۱	۰/۱	۳۱۸	۹۵	۱/۵	۱۷	؟
جاذبه	۰/۴	۰/۹	۱/۰	۰/۱۶	۰/۴	۲/۶	۱/۱	۱/۰	۱/۵	؟
گردش انتقالی	۰/۲۴	۰/۶۲	۱/۰	-	۱/۹	۱۱/۹	۲۹/۵	۹۴	۱۶۴/۸	۲۴۸
گردش وضعی	۵۸	۲۴۳*	۱/۰	۲۷/۳	۱/۰	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۵*	۰/۶۵	؟
فاصله از خورشید	۰/۳۹	۰/۷۲	۱/۰	۱/۰	۱/۵۲	۵/۲	۹/۵۴	۱۹/۱۸	۳۰/۰۷	۳۹/۴۴
وزن حجمی	۵/۴	۵/۱	۵/۵	۳/۳	۴/۰	۱/۳	۰/۷	۱/۶	۲/۲۵	؟
تعداد اقمار	۰	۰	۱	۰	۲	۱۷+حلقه ۱۵	۵	۲	۱	
میانگین دما(کلوین)	۹۶۰	۶۰۰	۲۸۷	۳۰۰	۲۸۵	۱۳۵	۱۲۰	۹۰	؟	؟
ترکیب احتمالی		CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub>				؟
اتمسفر		H <sub>2</sub> OCO <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> H <sub>2</sub>				

\* حرکت به عقب



## ماه، نزدیک ترین همسایه ما

کره‌ی ماه، ظاهری متفاوت با زمین دارد. سطح ماه از دره‌های عمیق و کوه‌های بلند پوشیده از سنگ و خاک و تعدادی فرورفتگی تشکیل شده است. این فرورفتگی‌ها حاصل برخورد شهاب‌سنگ‌ها با سطح این کره‌اند. قطر دهانه‌ی این فرورفتگی‌ها از چندصد کیلومتر تا چند سانی متر متغیر است. در روی ماه، نه دریایی وجود دارد، نه رودخانه، نه آب و هوا و ابر. پس صدایی هم به گوش نمی‌رسد و اثری از حیات در آن دیده نمی‌شود. سرعت تغییر در سطح ماه، بسیار کم است. در روی زمین، ممکن است در فاصله‌ی چند ساعت بارندگی صورت بگیرد و سیل جاری شود. در بهار و پاییز درختان چهره‌ی سرزمین‌ها را دگرگون می‌کنند. رودها، دریاچه‌ها و کوه‌ها هم در طول قرن‌ها، تغییر کرده‌اند. اما در روی ماه چنین نیست. چهره‌ای که، شب‌ها از ماه می‌بینید، همانی است که هخامنشیان یا شاعرانی چون فردوسی و حافظ دیده‌اند. ماه، الهام‌بخش هنرمندان و شاعران بسیار بوده است. انسان امروزی بر روی آن پا نهاده و سطح آنرا از نزدیک دیده است.



شکل ۸-۹- منظره‌ی پشت ماه (این منظره از سطح زمین دیده نمی‌شود).



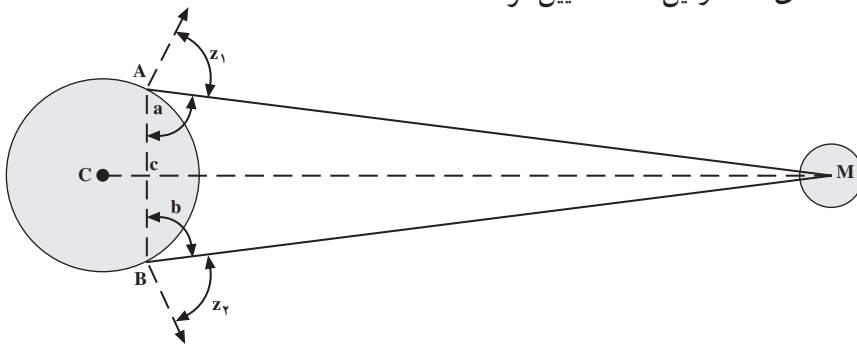
شکل ۷-۹- تصویری که در سال ۱۹۶۹ از سطح ماه گرفته شده است.

## فاصله‌ی ماه تا زمین

به علت بیضی بودن مدار گردش ماه به دور زمین، فاصله‌ی آن تا زمین هر لحظه در تغییر است (کمترین فاصله ۳۶۰۰۰۰ کیلومتر و بیش‌ترین فاصله ۴۰۴۸۰۰ کیلومتر است).

تعیین دقیق فاصله‌ی ماه تا زمین، به سال ۱۵۹۰ برمی‌گردد که توسط تیکوبرا هه اخترشناس دانمارکی صورت گرفت. او دونفر را در دونقطه‌ی مختلف قرارداد تا به‌طور همزمان زاویه‌ی ماه را با

سطح افق اندازه بگیرند (شکل ۹-۹). براهه، فاصله‌ی مکانی آن دونفر را تعیین کرده بود (قاعدہ‌ی مثلث). در این صورت، با استفاده از روابط مثلثاتی می‌توان مقدار زاویه‌ی سوم، و طول وتر آن را که همان فاصله‌ی ماه تا زمین است، تعیین کرد.

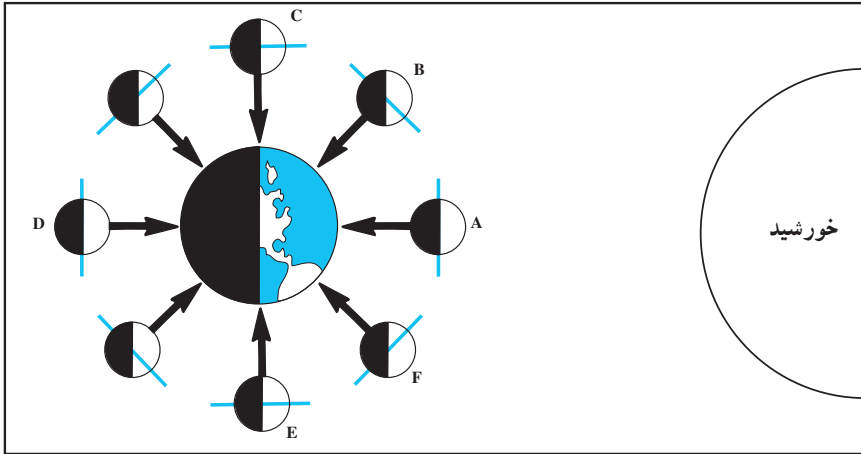


شکل ۹-۹ - طرز تعیین فاصله‌ی ماه تا زمین به روش تیکوبرا

- امروزه با استفاده از اشعه‌ی لیزر و رادار، که به سطح ماه رفت و برگشت داده می‌شود، می‌توانند به‌طور دقیق فاصله‌ی ماه تا زمین را تعیین کنند. زمان رفت و برگشت امواج تا ماه (با سرعت نور) به‌طور متوسط  $\frac{2}{5}$  ثانیه است. در این صورت، فاصله‌ی ماه تا زمین چه مقدار خواهد بود؟

## آهله‌ی قمر

آن مقدار از سطح ماه که توسط آفتاب روشن می‌شود و ما از سطح زمین آن را مشاهده می‌کنیم همواره در تغییر است. ماه از خود نوری ندارد و همیشه نیمی از آن توسط خورشید روشن است، پس ماه از این جهت به زمین می‌ماند. در هنگامی که ماه در موقعیت A (شکل ۱-۹) است، طرف روشن آن روبه زمین نیست و در آسمان مشاهده نخواهد شد. به این حالت، محاق گویند. در روزهای بعد (موقعیت B) هنوز بیش‌تر قسمت روشن ماه روبه زمین نیست، اما هلال باریکی از آن را می‌توان دید که شب به شب، به‌علت جابه‌جایی ماه، پهن‌تر می‌شود و سرانجام ۷ روز بعد به نیمی از سطح روشن می‌رسد که آن را در اصطلاح تربیع اول گویند. وقتی که ماه در موقعیت D است، تمام سطح روبه‌زمین آن روشن است. اکنون، چهاردهم ماه یا حالت بدر است. البته برای مشاهده‌ی حالت بدر، ما باید در فاصله‌ی خورشید و ماه قرار داشته باشیم. به همین سبب، طلوع ماه در این هنگام با غروب خورشید کمابیش هم‌زمان است. هفت روز بعد، ماه به موقعیت E می‌رسد که باز هم نیمی از سطح آن را می‌بینیم. به این حالت تربیع دوم می‌گویند. ماه در تربیع دوم، در نیمه‌ی شب طلوع می‌کند و از آن پس هرشب به خورشید نزدیک‌تر می‌شود تا آن‌که سرانجام، اندکی قبل از طلوع خورشید، طلوع می‌کند. در این حال نیز هلال



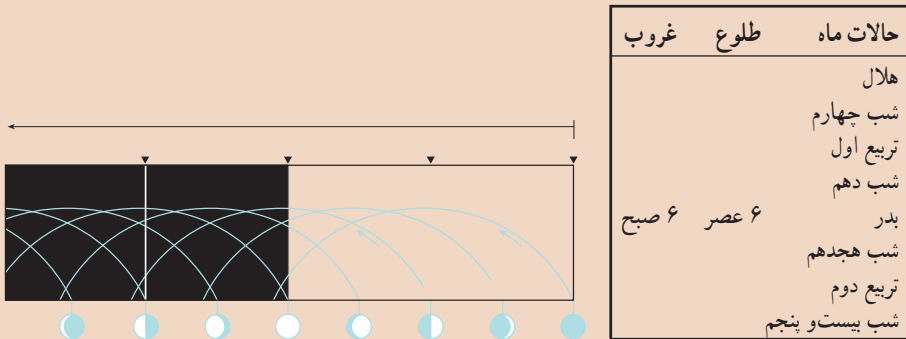
شکل ۱۰-۹- اهلای قمر. عکس‌ها را با طرح بالا تطبیق بدهید.

باریکی از ماه مشاهده می‌شود (F) زیرا بیش‌تر قسمت روشنش به سوی خورشید است نه زمین. به مجموعه‌ی این وضعیت‌های ماه اهلای قمر می‌گویند.

وقتی که ماه در حالت محاق یا بدر است، یعنی با زمین و خورشید در یک راستا قرار می‌گیرد، آب دریاها را بیش‌تر از مواقع دیگر به سوی خود می‌کشاند و پدیده‌ی جزر و مد شدیدتر می‌شود.

### مشاهده کنید

با مشاهده‌ی طلوع و غروب ماه در چند شب متوالی، جدول زیر را کامل کنید.



## فکر کنید

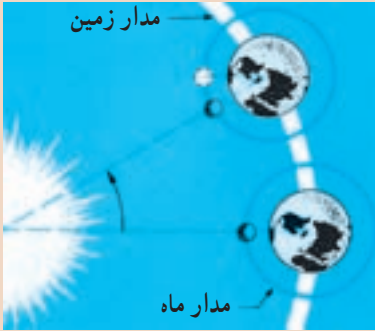
- ۱- اتفاق افتادن حالت خورشیدگرفتگی و ماه گرفتگی، در کدام حالت از اهله‌ی قمر ممکن است؟
- ۲- آیا فضاانوردان هم اهله‌ی قمر را مانند ساکنان روی زمین می‌بینند؟
- ۳- چرا همیشه فقط یک طرف معین ماه را مشاهده می‌کنیم؟

## جمع‌آوری اطلاعات



- با مشاهداتی مختصر، نشان داده می‌شود که علت بروز پدیده‌ی جزرومد دریا‌های آزاد، دراصل به نیروی جاذبه‌ای بستگی دارد که ماه (و تا حدودی هم خورشید) بر زمین وارد می‌کنند. در این صورت:
- ۱- در هر نقطه از روی زمین که حالت مد وجود داشته باشد، در نقطه‌ی مقابل آن (با فاصله‌ی  $180^\circ$  درجه) نیز مد دیگری رخ می‌دهد. علت چیست؟
  - راه‌نمایی: از تفاوت در مقدار تأثیر نیروی جاذبه‌ی ماه در نقاط مختلف در روی زمین و فرمول نیوتن استفاده کنید.
  - ۲- چرا در بعضی از روزهای ماه، مد شدیدتر و در روزهای دیگر، خفیف‌تر است؟

اگر ماه به‌دور زمین نمی‌چرخید، بایستی آن را هر روز در یک ساعت معین و در نقطه‌ی معینی از آسمان می‌دیدیم. اما در مدتی که زمین یک‌بار به‌دور خود می‌چرخد، ماه  $\frac{1}{۳۷}$  مسیر خود را به‌دور زمین طی می‌کند (در حدود  $۱۲/۵$  درجه)، بنابراین، در جایی که روز قبل دیده می‌شد، مشاهده نمی‌شود و باید یک قوس  $۱۲/۵$  درجه‌ای اضافی را در مدت  $5^\circ$  دقیقه طی کند.

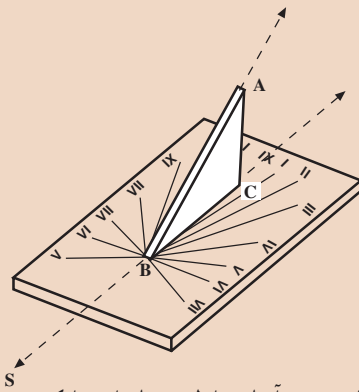


### تفسیر کنید

زمان یک بار گردش ماه به دور زمین  
 ۲۷/۵ روز طول می کشد، اما از حالت ماه نو تا  
 ماه نو دیگر، ۲۹/۵ روز طول می کشد. علت را  
 با کمک شکل بیابید.

### بسازید

هزارها سال مردم از ماه و خورشید به عنوان ساعت استفاده کرده اند. اگر در وضع حرکات این دو کره در آسمان دقت کنید، خواهید دید که این کار چه قدر ساده است.



در مورد خورشید، ارتفاع آن در آسمان در نظر گرفته می شود، یعنی طول سایه ی اجسام قائم در دو ساعت مختلف روز، ملاک تعیین زمان بود.

یک قطعه تخته ی مستطیل شکل را به عنوان پایه انتخاب کنید و یک قطعه مثلثی شکل را به طور قائم روی آن نصب کنید. مثلث باید قائم الزاویه باشد. اندازه ی زاویه ی دوم پایینی را باید طوری انتخاب کنید که وتر مثلث در محل زندگی شما، رو به ستاره ی قطبی قرار

گیرد (برای یافتن محل این ستاره، رو به شمال بایستید و بعد از غروب آفتاب، اولین ستاره ای را که در ارتفاع حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه پیدا می شود، بیابید. برای کسب اطلاع دقیق، به صفحه ی ۱۲۶ رجوع کنید. در ضمن، روی همه نقشه های جغرافیایی، عرض نقاط مختلف مشخص شده است). بهترین زمان برای ساختن و مدرج کردن این ساعت، ماه های اردیبهشت و خرداد، یا آبان و آذر است.

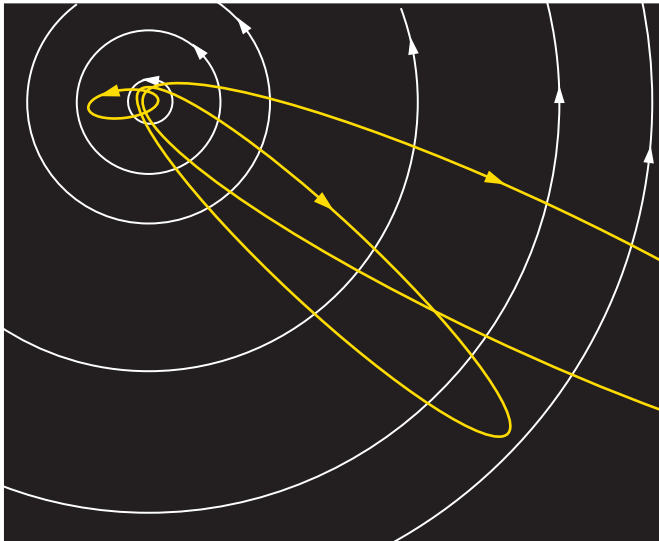
### اجزای کوچک تر منظومه ی شمسی

در شب های صاف، حتماً متوجه خطوط درخشان و گذرایی شده اید که در زمینه ی آسمان پرستاره ظاهر می شوند و از میان می روند. این شهاب ها قطعات سنگ هایی هستند که در فضا سرگردانند و ضمن حرکت، با جو فوقانی زمین برخورد می کنند و حاصل اصطکاک آن ها، تولید حرارت زیاد، سوختن و نورانی شدن است. اگر شهابی چنان بزرگ باشد که بتواند با سطح زمین برخورد کند، در

این صورت شهاب سنگ نامیده می شود. همه ساله، مقداری شهاب سنگ در نقاط مختلف زمین (و اغلب در دریا) فرود می آید.

**دنباله دارها :** به مجموعه ای از سنگ ریزه، غبار و گازهای منجمد معلق در فضا دنباله دار می گویند. مدار حرکت دنباله دارها بیضی بسیار کشیده است که گاهی از حاشیه منظومه شمسی نیز خارج می شود. معروف ترین دنباله دار که به اسم کاشف آن هالی نامیده شده است، هر ۷۵ سال یک بار ظاهر می شود. آخرین باری که این دنباله دار به زمین نزدیک شد سال ۱۹۸۵ بود.

تصور می رود که در سال ۱۹۰۸، یکی از دنباله دارها در سرزمین سیبری فرود آمده و به یک منطقه جنگلی برخورد کرده و درختان را تا شعاع ۳۰ کیلومتری سوزانده است.



شکل ۱۱-۹- موقعیت دنباله دار، در حین گردش به دور خورشید

با آن که ستاره‌ها را هر شب در آسمان مشاهده می‌کنیم، چیزهای زیادی درباره‌ی آن‌ها نمی‌دانیم. در واقع ستاره‌ها چنان از ما دورند که حتی در قوی‌ترین تلسکوپ‌ها هم جز یک نقطه‌ی نورانی، چیزی از آن‌ها پدیدار نیست. اما، آیا همه‌ی ستاره‌ها یک اندازه‌اند؟ آیا روشنایی، رنگ و دمای آن‌ها مساوی است؟ آیا همه به یک فاصله از زمین قرار دارند؟

وقتی می‌گوییم فاصله‌ی ستاره‌ها از ما بسیار زیاد است، چنین به نظر می‌آید که جمع‌آوری اطلاعات درباره‌ی آن‌ها هم غیرممکن باشد. اما دانشمندان با یافتن راه‌های ویژه، توانسته‌اند اطلاعاتی هرچند مختصر، درباره‌ی آن‌ها حاصل آورند، همه‌ی این اطلاعات، قاعدتاً باید از روی نوری باشد که از ستاره‌ها به زمین می‌رسد.

### خورشید، نزدیک‌ترین ستاره

مردم در طول قرن‌ها، نمی‌دانستند خورشید از چه چیزی ساخته شده و این همه نور و گرمای آن از کجا تأمین می‌شود، حدود ۹۰ درصد جرم خورشید از هیدروژن است و هیدروژن و هلیوم در مجموع، ۹۸ درصد ترکیب خورشید را تشکیل می‌دهند.

شما در یک روز تابستانی احساس گرمای زیادی از تابش آفتاب بر بدن خود می‌کنید، اما بد نیست بدانید که زمین فقط یک دو میلیاردیم انرژی خورشید را دریافت می‌کند. می‌توان گفت اگر می‌توانستیم از انرژی خورشید بیش‌تر بهره‌گیری کنیم، مسئله‌ی بحران انرژی امروزی به کلی حل می‌شد. اکنون بینیم منشأ این همه گرما از چیست؟

آیا آن چنان که قدما تصور می‌کردند، چیزی در خورشید می‌سوزد؟ اما، حتی از سوختن هر گرم بنزین که سوخت خوبی است فقط ۳۰۰۰ کالری حاصل می‌شود. عده‌ای هم در قرن گذشته، گرمای خورشید را حاصل تراکم شدن آن می‌شمردند. ولی مطالعات بعدی که توسط ایشیتین صورت گرفت، معما را حل کرد. این دانشمند فرمول معروف خود  $E = MC^2$  را ارائه داد که از آن، تبدیل ماده به انرژی مستفاد می‌شود. در خورشید، هیدروژن به هلیوم مبدل می‌گردد و در حین تبدیل، از وزن

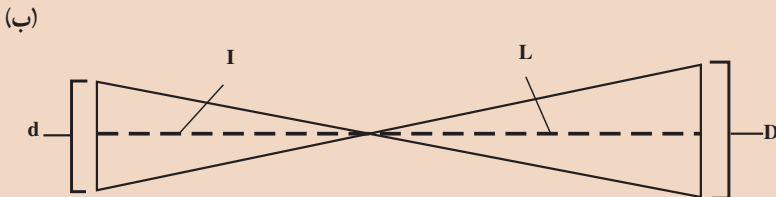
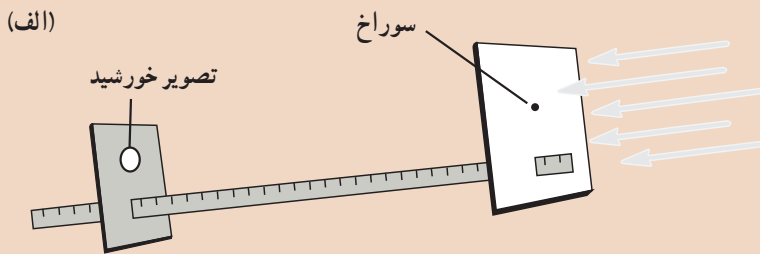
هرگرم هیدروژن معادل  $0.0072$  گرم کاسته می‌شود.

جرم  $4$  هسته‌ی هیدروژن برابر با  $4/0.3$  واحد جرم اتمی است. یک هسته‌ی هلیوم، در حدود  $4/0.3$  واحد وزن دارد. بدین ترتیب، هنگامی که یک هسته‌ی اتم هلیوم از چهار هسته‌ی هیدروژن حاصل شود، تفاوت جرم این دو مبدل به انرژی می‌شود. پس باید گفت که این تولید انرژی سبب می‌شود که جرم خورشید پیوسته در حال کاهش باشد. محاسبات نشان می‌دهد که این کاهش جرم معادل  $4$  میلیون تن در ثانیه است! این کار تا چه مدت می‌تواند ادامه یابد؟ جرم کلی خورشید برابر با  $2 \times 10^{33}$  گرم است. با این ترتیب، خورشید می‌تواند میلیاردها سال دیگر هم به همین ترتیب نورافشانی کند.

### اندازه‌گیری کنید

با روش زیر، می‌توانید قطر خورشید را اندازه بگیرید.

سوراخ کوچکی با یک میخ باریک در یک قطعه مقوا ایجاد کنید. در روی یک قطعه مقوای دیگری، یک دایره به قطر  $8$  سانتی‌متر بکشید. دو مقوای را روی یک خط‌کش یک‌متری (یا چوبی که آنرا مانند خط‌کش مدرج کرده‌اید)، طوری نصب کنید که ارتفاع سوراخ و دایره از خط‌کش، مساوی باشد.



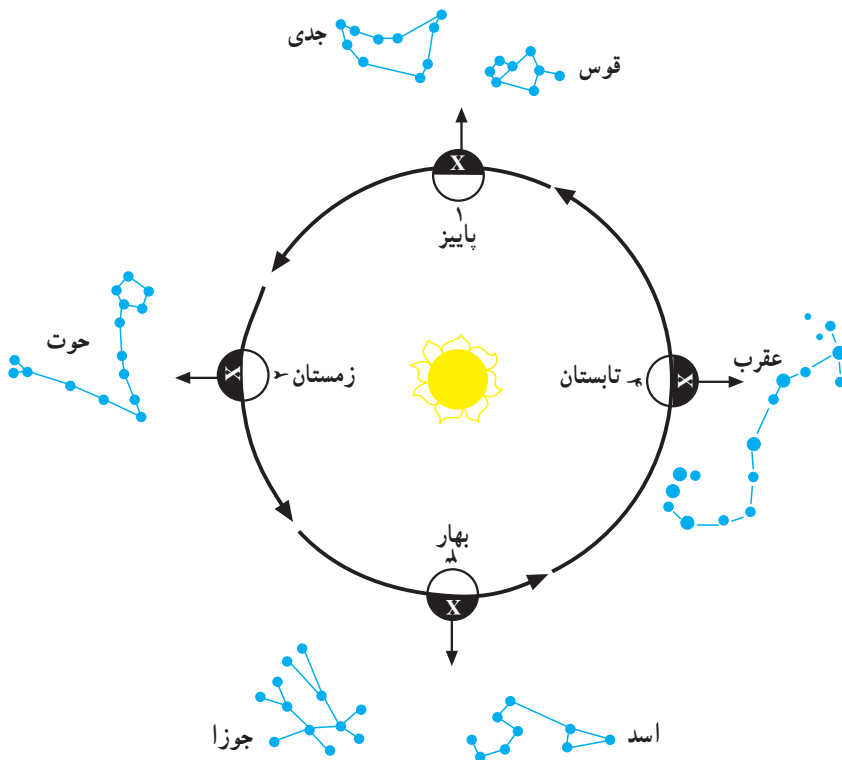
خط‌کش را به‌سوی خورشید نشانه روی کنید تا آفتاب از درون سوراخ، به روی مقوای دوم بیفتد. (هرگز مستقیماً به خورشید نگاه نکنید، زیرا نور آن در اندک مدتی به چشم شما آسیب می‌رساند). مقوای دوم را آن قدر جلو و عقب برید تا تصویر خورشید دقیقاً به اندازه‌ی دایره‌ی



۸/ ساتی متری شود. فاصله‌ی دو مقوا را بر حسب ساتی متر دقیقاً اندازه بگیرید. برای یافتن قطر خورشید، دو مثلث مطابق شکل ب رسم کنید. در این مثلث‌ها قطر خورشید و قطر تصویر آن  $d$  (۸/ ساتی متر) است. فاصله‌ی خورشید از زمین ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. اکنون، با استفاده از قانون تشابه مثلث‌ها، قطر خورشید را محاسبه کنید.

## صورت‌های فلکی

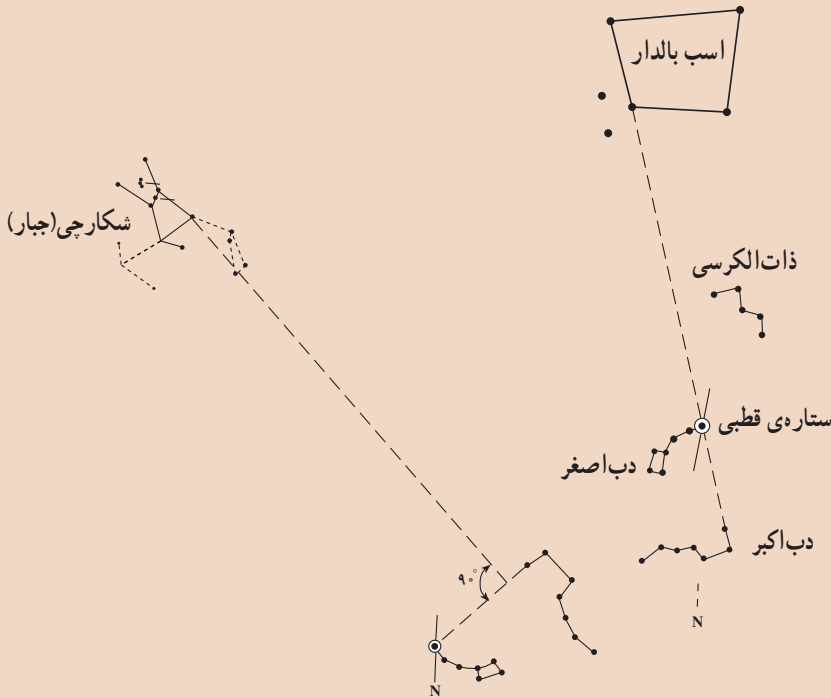
به نظر می‌رسد با وجود این‌همه ستاره در آسمان تعیین محل یکی از آن‌ها کاری غیرممکن است. به همین سبب بوده است که منجمان قدیم به منظور تشخیص و نام‌گذاری بسیاری از ستارگان، الگوهای معینی را برای گروه‌هایی از ستارگان یافته و هر گروه را به جانور یا شیئی آشنا تشبیه کرده‌اند و مجموعه‌ی این گروه‌ها را صورت‌های فلکی نامیده‌اند. در مجموع، حدود ۸۰ صورت فلکی پیشنهاد شده است. در شب‌های مختلف سال، صورت‌های فلکی متفاوتی پدیدار می‌شوند، زیرا زمین در روی مدار خود جابه‌جا می‌شود و هر شب رو به قسمت معینی از آسمان قرار می‌گیرد.



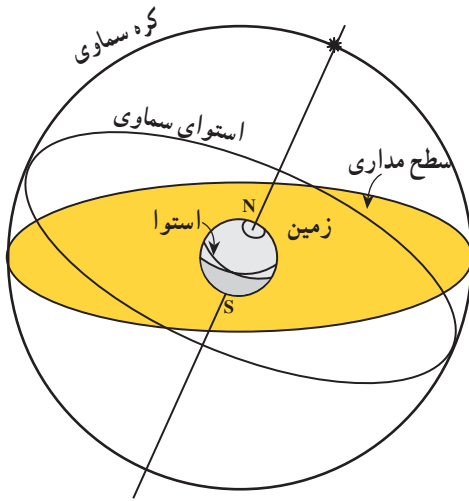
شکل ۱-۱۰ صورت‌های فلکی که در فصل‌های مختلف سال می‌توان دید، متفاوت‌اند. طول زمان مشاهده هر صورت فلکی نیز با بقیه متفاوت است.

## مشاهده کنید

با استفاده از محل ستاره‌ی قطبی، می‌توان بعضی از صورت‌های فلکی مهم را شناسایی کرد. ستاره‌ی قطبی، بسیار نزدیک به امتداد شمال زمین قرار دارد. از این رو برای یافتن آن بهتر است از شکل صورت فلکی دُبّ اکبر استفاده کنید.



کره‌ی سماوی: به منظور توضیح بعضی از مفاهیم اخترشناسی و همچنین امور دریانوردی، اخترشناسان طبق عقیده‌ی بطلمیوس، زمین را در مرکز کره‌ای بسیار بزرگ و فرضی تصور می‌کنند که تمام اجرام سماوی در روی آن واقع شده‌اند و به دور زمین می‌چرخند. طبعاً، همیشه ما نیمی از این کره‌ی فرضی را می‌بینیم، زیرا نیم دیگر آن در زیر سطح افق واقع است. برای این کره‌ی فرضی می‌توان قطبین و منطقه‌ی استوا نیز در نظر گرفت (شکل ۲-۱). در چنین کره‌ای چون زمین به دور خورشید می‌گردد، در هر ماه از سال، زمین را در محل معینی از مدار خود می‌یابیم. در این محل، منظره‌ی آسمان شب نیز چون متوجه راستای معینی است، ستارگان ویژه‌ای را در جلوی چشم ما پدیدار می‌سازد که در ماه قبل یا بعد، آن‌ها را در همان وضعیت نمی‌یابیم. بعد از سپری شدن ۶ ماه، زمین به نقطه‌ی مقابل محل قبلی می‌رسد و طبعاً منظره‌ی آسمان عوض می‌شود (زیرا قسمت مربوط به ۶ ماه پیش در روز قرار می‌گیرد که هوا روشن است). ولی بعد از گذشت یک سال، دوباره همان



شکل ۲-۱۰- کره‌ی سماوی و وضع زمین نسبت به آن

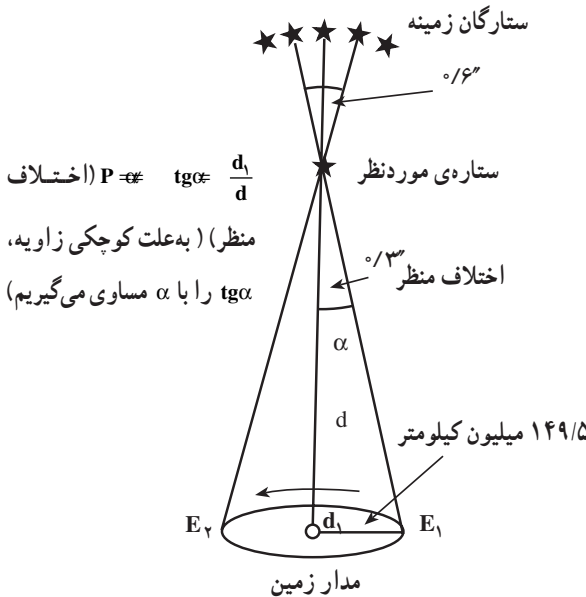
منظره‌ی قبلی را شاهد خواهیم بود. قدما در مجموع، ۱۲ صورت فلکی ویژه (برج) را در نظر می‌گرفتند و محل آن‌ها را در حول منطقه‌ی استوای کره‌ی سماوی می‌دانستند (شکل ۲-۱۰). به همین سبب، به این محل که مانند کمربندی فرضی زمین را احاطه کرده است، **منطقه البروج** گفته می‌شود. بدین ترتیب خورشید در هر ماه از مقابل یکی از صورت‌های فلکی دوازده گانه طلوع می‌کند. قبل از آن که نام ماه‌های ایرانی، عربی یا غربی مرسوم شود، ماه‌ها را به نام همان برج‌ها می‌خواندند (حمل، ثور، جوزا و ...).

## ویژگی‌های ستارگان

اخترشناسان با به‌کارگیری ابزارهای مناسب برای مشاهده‌ی ستارگان و با اطلاع از قوانین و اصول فیزیک، شیمی و ریاضیات دانش فراوانی درباره‌ی ستارگان به‌دست آورده‌اند. درباره‌ی روش‌های کار آنان در قسمت‌های بعدی توضیحی خواهیم داد، ولی شما می‌توانید خود با مطالعات بیشتر، آگاهی زیادتری از آن‌ها به‌دست آورید.

**فاصله:** اندازه‌ی فاصله‌ی میان زمین و حدود  $60000$  ستاره‌ای که در نزدیکی زمین واقع‌اند، با استفاده از روشی به‌نام **اختلاف منظر** (Parallax) محاسبه می‌شود. البته باید توجه داشت که حتی برای نزدیک‌ترین ستاره‌ها هم مقدار جابه‌جایی ظاهری در فضا کم است و در مقایسه، از اندازه‌ی قطر یک سکه که از فاصله‌ی یک کیلومتری به آن نگاه شود بیش‌تر نیست. به همین سبب این روش برای تعیین فاصله‌ی ستارگان دور دست عملی نیست.

فاصله‌ی متوسط زمین از خورشید برابر  $150$  میلیون کیلومتر است که برابر با یک واحد ستاره‌شناسی انتخاب می‌شود. فاصله‌ی نزدیک‌ترین ستاره به ما، بعد از خورشید، یعنی قنطورس نزدیک (Proxima centaury) برابر  $270$  هزار واحد ستاره‌شناسی است! از آنجا که فاصله‌ی ستارگان با ما و نیز با ستارگان دیگر فوق‌العاده زیاد است، برای تعیین این فواصل از واحد دیگری به نام سال نوری

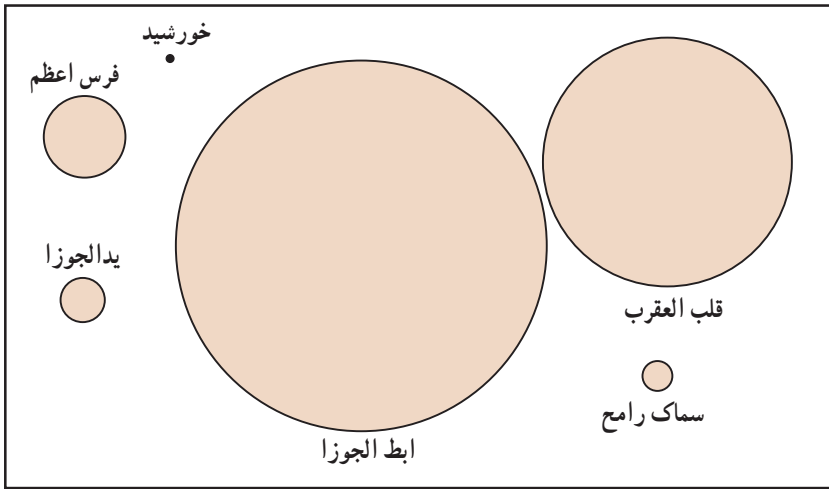


شکل ۳-۱- اخترشناس، شعاع مدار زمین به دور خورشید را به عنوان قاعده‌ی یک مثلث فرضی در نظر می‌گیرد و در فاصله‌ی ۶ ماه، از دو نقطه‌ی مختلف این مدار ستاره‌ی مورد نظرش را رصد می‌کند. بدیهی است که این ستاره، در زمینه‌ای از ستارگان در دست تر، مقداری جابه‌جا می‌شود. با اندازه‌گیری این مقدار جابه‌جایی ستاره و تعیین فاصله‌ی دو نقطه از مدار زمین که محل رصد بوده‌اند، ناظر می‌تواند فاصله‌ی ستاره تا زمین را محاسبه کند.

فاصله‌ای که نور در طول یک سال طی می‌کند) استفاده می‌شود<sup>۱</sup> و این فاصله نزدیک به ۱۰ تریلیون کیلومتر است (km  $10^{12} \times 9/1$ ). با این واحد، فاصله‌ی خورشید تا زمین حدود ۸ دقیقه نوری است. بزرگی و چگالی: ستارگان از لحاظ بزرگی بسیار مختلف‌اند. کوچک‌ترین آن‌ها کمی از زمین بزرگ‌تر است و بزرگ‌ترین آن‌ها که تاکنون شناخته شده به نام گیرنده‌ی عنان، قطری در حدود ۳/۲ میلیارد کیلومتر دارد، یعنی حدود ۲۳۰۰ برابر قطر خورشید. اگر این ستاره در مرکز منظومه‌ی شمسی قرار داشت، تا حدود مدار زحل را دربر می‌گرفت!

اختلاف در چگالی یا تراکم ستارگان، از تفاوت بزرگی آن‌ها زیادتر است. چگالی ستاره‌ای به نام **ابطال‌الجوزا** در حدود یک ده‌میلیونیم تراکم خورشید است، یعنی رقیق‌تر از هر نوع خلأ ممکن که ما می‌توانیم پدید آوریم. از طرف دیگر ستارگانی از قبیل ستاره‌ی همراه شعرای یمانی به نام **کوتوله‌ی سفید** وجود دارند که یک سانتی‌متر مکعب از آن‌ها، اگر در روی زمین باشد، بیش‌تر از یک تن وزن دارد! چگالی بیش‌تر ستارگان در بین این دو حد قرار می‌گیرند.

۱- ستاره‌شناسان واحد دیگری نیز برای اندازه‌گیری مسافت دارند که پارسک (Parsec) نام دارد. نقطه‌ای که اختلاف منظرش یک ثانیه باشد، در فاصله  $3/2 \times 10^{13}$  کیلومتری آن قرار می‌گیرد، این فاصله را معادل یک پارسک در نظر می‌گیرند.



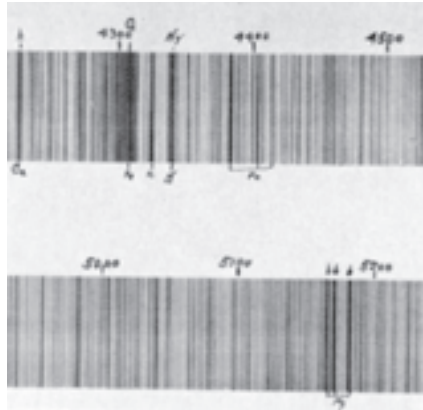
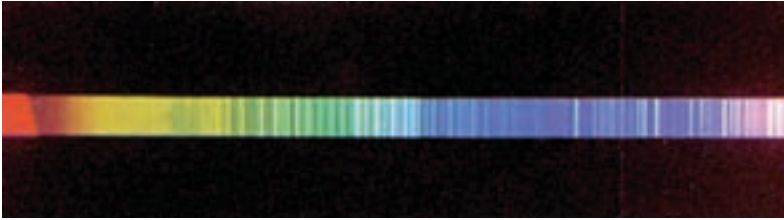
شکل ۴-۱- ستارگان از لحاظ بزرگی، بسیار مختلفند.

نور: اگر شما با یک نورسنج دورین عکاسی به طرف چراغ خیابان بروید خواهید دید که عقربه‌ی نورسنج درجه‌ی بیش‌تر و بیش‌تری را نشان می‌دهد. حال اگر فاصله‌ی خود را با چراغ به نصف برسانید مشاهده خواهید کرد که نورسنج مقدار نور را چهار برابر (نه دو برابر) مقدار اولیه نشان می‌دهد. علت آن است که شدت نور به نسبت عکس مجذور فاصله تغییر می‌کند (چرا؟). بدین ترتیب با در دست داشتن فاصله می‌توان مقدار نور یک چراغ را محاسبه کرد.

از این جهت وضع ستاره‌ها هم تفاوتی با وضع چراغ‌های خیابان ندارد. مقدار نوری که از ستاره به ما می‌رسد تابع دو چیز است: مقدار واقعی تشعشعاتی که از ستاره خارج می‌شوند (نور واقعی آن) و مقدار فاصله آن از زمین، که با ضرب کردن مجذور فاصله در مقدار نور ظاهری می‌توان مقدار نور واقعی ستاره را محاسبه کرد.

نور واقعی ستارگان از  $10^{-6}$  تا  $10^6$  برابر نور خورشید تغییر می‌کند. نکته جالبی که در این میان وجود دارد این است که بین مقدار نور و جرم ستاره‌های رشته‌ی اصلی رابطه‌ای وجود دارد و می‌توان گفت مقدار نور به نسبت مکعب جرم تغییر می‌کند (یعنی اگر جرم خورشید دو برابر شود، مقدار نورش ۸ برابر می‌شود).

ترکیب شیمیایی: تجزیه‌ی طیفی نور ستاره‌ها نشان می‌دهد که عناصر موجود در ستارگان هم از نوع همان عناصری است که در زمین یافت می‌شوند، اما با نسبت‌های متفاوت. بیش‌تر ستارگان اصولاً از هیدروژن و هلیم تشکیل شده‌اند و مقدار درصد عناصری از قبیل آهن، تیتان، کلسیم، سدیم

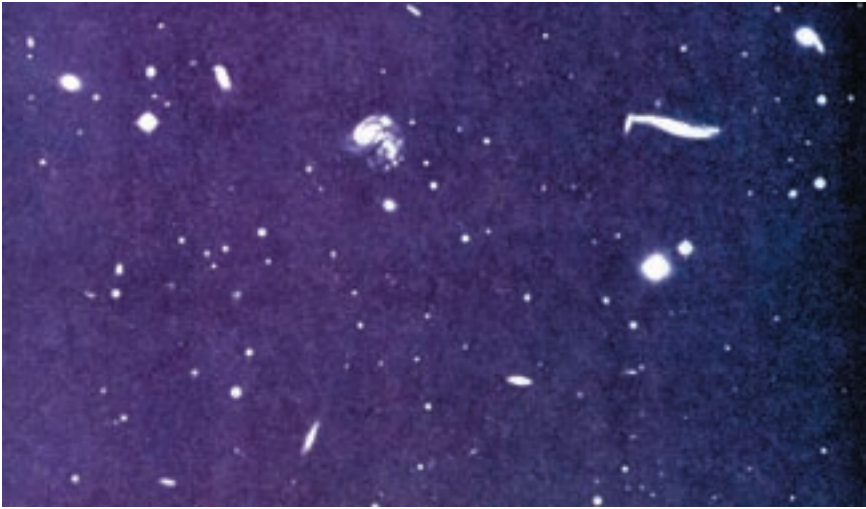


شکل ۵-۱- طیف جذبی خورشید. نوارهای تیره، نشان‌دهنده نوع موادی است که خورشید را تشکیل داده‌اند.

و غیره در آن‌ها از یک درصد حجم تجاوز نمی‌کند. خورشید ماهم در حدود ۷۵ درصد هیدروژن و ۲۳ درصد هلیوم دارد و برای بقیه‌ی عناصر، که از روی طیف تعدادشان بیش از ۶۰ نوع تشخیص داده شده است، فقط ۲ درصد حجم باقی می‌ماند.

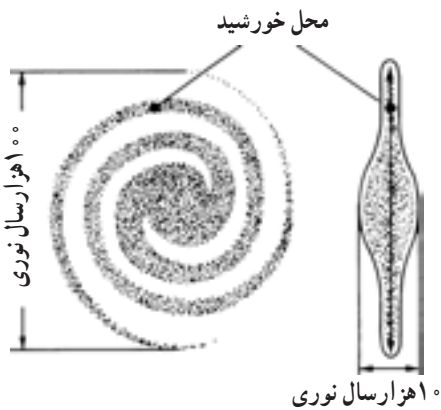
## کهکشان‌ها و جهان بزرگ

همه‌ی ستاره‌هایی که به هنگام شب در آسمان مشاهده می‌کنیم در مجموعه‌ای گرد آمده‌اند که به کهکشان راه شیری معروف است. منظومه‌ی شمسی خود ما هم بخشی از همین کهکشان است. در این صورت، آیا آنچه در فضا وجود دارد، همین یک مجموعه است! با نگاه کردن به تصویر ۶-۱ می‌توانید حدس بزنید که به جز کهکشان ما، مجموعه‌ی ستارگان یا کهکشان‌های بسیار متعدد دیگری هم در فضا وجود دارد که تعداد ستارگان هر یک، ممکن است به میلیون‌ها عدد برسد. تعداد خود کهکشان‌ها هم خارج از حد شمارش است. در عین حال، بین کهکشان‌ها گاهی هزارها و بلکه میلیون‌ها سال نوری فاصله است. بنابراین، عملاً باید گفت که فضا بی‌انتهاست.



شکل ۶-۱- تعداد کهکشان‌های موجود در فضا، خارج از حد شمارش است.

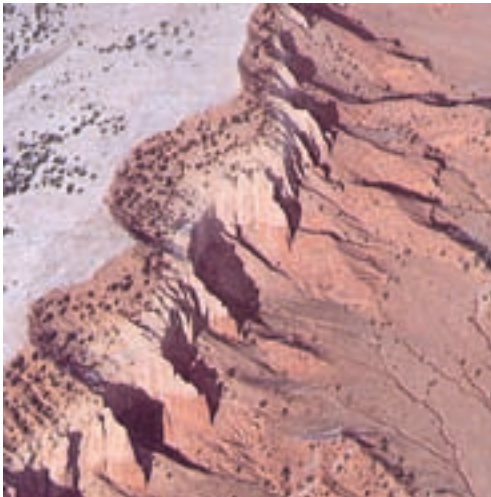
کهکشان راه شیری، مانند چرخه بزرگ به دور خود می‌چرخد. خورشید و ستارگان نزدیک ما با سرعت  $240$  کیلومتر در ثانیه حول مرکز کهکشان در حرکتند! اما به علت عظمت کهکشان،  $200$  میلیون سال طول می‌کشد تا خورشید یک بار حول مرکز آن بچرخد. البته، کهکشان‌های دیگر، چنان دورند که فقط با تلسکوپ‌های بزرگ، آن‌هم در مدت زمان طولانی می‌توان از آن‌ها عکس گرفت.



شکل ۷-۱- یک کهکشان مارپیچ از نوع کهکشان راه شیری

## رسم نقشه

# ۱۱



شکل ۱۱-۱- تصویر یک منطقه غیر مسطح

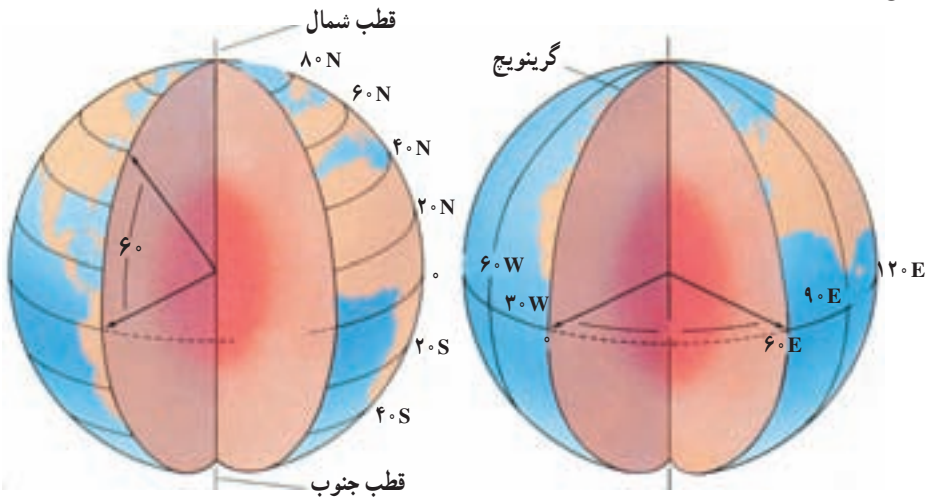
سطح خشکی‌ها، دارای پستی‌ها و بلندی‌های فراوان است. وقتی با هواپیما از سطح زمین عکس برداری شود، پدیده‌هایی در عکس آشکار می‌شوند که از روی زمین نمی‌توان آن‌ها را مشاهده کرد. مثلاً، از بالا بهتر می‌توان مسیر رودخانه‌ها، خطوط ساحلی، شکل کوه‌ها و دره‌ها را دید. با این همه، گاهی زمین‌شناسان به اطلاعاتی نیاز پیدا می‌کنند که حتی در چنین عکس‌هایی هم نمی‌توان آن‌ها را یافت. به‌ویژه که این قبیل عکس‌ها فقط منطقه‌ی محدودی را نشان می‌دهند و اگر هدف مطالعه در مناطق وسیعی باشد، به‌ناچار باید از نقشه استفاده شود که تصویر افقی قسمتی از زمین، با مقیاس معینی است.

### یافتن نقاط در روی زمین

زمین تقریباً یک کره‌ی کامل است. کره، نه بالا و پایین دارد و نه پهلو. پس درحالت معمولی نقطه‌ای را به‌عنوان مبدأ یا مبنای مقایسه نمی‌توان در روی آن یافت. اما از آنجا که کره‌ی زمین می‌چرخد، دو نقطه‌ای را که در بالا و پایین، زمین حول آن می‌چرخد، می‌توان نقاط مبدأ در نظر گرفت. به این دو نقطه، قطب‌های جغرافیایی می‌گویند. در نیم‌راه این دو نقطه هم خطی فرضی به‌نام استوا در نظر گرفته می‌شود که زمین را به دو نیم‌کره‌ی شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. با این ترتیب، دو مبدأ مختصات را در روی زمین تعیین کرده‌اند که به کمک آن‌ها می‌توان موقعیت هر نقطه‌ی دلخواهی را تعیین کرد.



**طول و عرض جغرافیایی:** تعدادی دایره‌ی فرضی به نام مدار به موازات استوا رسم می‌شود که عرض جغرافیایی را نشان می‌دهند. مدارها، از خط استوا فاصله‌ی زاویه‌ای دارند. بدیهی است که مدارها نمی‌توانند بیش‌تر از  $90^\circ$  درجه‌ی شمالی یا جنوبی باشند. البته در عمل، یک درجه عرض جغرافیایی برابر ۱۱۱ کیلومتر یعنی معادل  $\frac{1}{36}$  محیط زمین (حدود  $40^\circ$  هزار کیلومتر) است. برای تعیین موقعیت نقاط، علاوه بر عرض، به طول هم نیاز داریم. طول جغرافیایی را با نصف‌النهارها مشخص می‌کنند. نصف‌النهارها دایره‌ی فرضی هستند که از دو قطب می‌گذرند. یک نصف‌النهار را به‌عنوان مبنا، انتخاب کرده‌اند که طول آن صفر است (گرینویچ). بقیه‌ی نصف‌النهارها از این خط مبنا فاصله‌ی زاویه‌ای دارند و در شرق یا غرب آن قرار می‌گیرند. حداکثر مقدار طول جغرافیایی، معادل نصف محیط زمین، یعنی  $180^\circ$  درجه است. فاصله‌ی نصف‌النهارها از یکدیگر، در استوا حداکثر است و رو به قطب‌ها به تدریج کم می‌شود و در محل قطب‌ها به صفر می‌رسد (شهر تهران در  $51^\circ$  درجه و  $25^\circ$  دقیقه طول شرقی و  $35^\circ$  درجه و  $42^\circ$  دقیقه عرض شمالی واقع است).



شکل ۲-۱۱- مدارها و نصف‌النهارهای زمین

### فکر کنید

- ۱- طول و عرض جغرافیایی محل زندگی خود را چگونه اندازه‌گیری می‌کنید؟
- ۲- چند راه برای این کار وجود دارد؟

## تحقیق کنید

قاعدتاً دقیق‌ترین نقشه‌ها را باید در روی کره‌ی جغرافیا یافت، اما به‌هرحال لازم است نقشه‌ها بر سطح کاغذ و به‌طور مسطح نیز رسم شوند. در این صورت، اشکال انحناها و به‌هم‌خوردن فواصل واقعی نقاط روی نقشه را چگونه اصلاح می‌کنند؟

## نقشه‌های توپوگرافی

امروزه تقریباً هیچ‌کس بی‌نیاز از نقشه نیست، اما چون نوع نیازها فرق می‌کند، نقشه‌ها نیز با اسامی مختلف و به‌صورت‌های گوناگون رسم می‌شوند تا متناسب با نوع احتیاجات افراد باشند. نقشه‌هایی که در علوم زمین کاربرد فراوان دارند، دونه‌اند: نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی. اساس نقشه‌های زمین‌شناسی نیز نقشه‌های توپوگرافی است. خصوصیت نقشه‌های توپوگرافی و فرق آن‌ها با نقشه‌های جغرافیایی در این است که روی چنین نقشه‌هایی، پستی‌ها و بلندی‌های روی زمین مشخص شده‌است. البته، عوارض طبیعی چون رودها،



شکل ۳-۱۱- تصویر افقی جزیره در نقشه توپوگرافی

دریاچه‌ها و حتی جاده‌ها و ساختمان‌ها را نیز گاهی متناسب با احتیاج، در روی این نقشه‌ها مشخص می‌کنند.

در تصویر مقابل، شکل پایین، جزیره‌ای را از پهلو نشان می‌دهد. شکل بالا نیز همان جزیره را از بالا نشان می‌دهد. اما در هیچ‌کدام از این دو شکل، اندازه‌ی جزیره و مقدار ارتفاع آن معلوم نیست.

مقیاس - مقیاس هر نقشه

عبارت از نسبت فاصله‌ی دو نقطه در

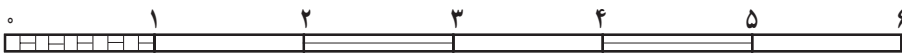
روی نقشه به فاصله‌ی افقی همان دو نقطه در روی زمین است. مقیاس نقشه‌ها را معمولاً به صورت کسری یا ترسیمی نشان می‌دهند. مقیاس کسری به شکل یک کسر ساده با صورت ۱ بیان می‌شود، مثلاً اگر فاصله‌ی دو نقطه در روی نقشه یک سانتی‌متر و فاصله‌ی افقی همان دو نقطه در روی زمین ۵۰ متر باشد، مقیاس آن نقشه به‌روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{مقیاس} = \frac{\text{یک سانتی‌متر}}{\text{۵۰۰۰ سانتی‌متر}} = \frac{۱}{۵۰۰۰}$$

هرچه مخرج کسر بزرگ تر باشد نقشه کوچک‌مقیاس تر خواهد بود. مثلاً نقشه‌ی یک دوهزارم از نقشه یک‌هزارم کوچک‌مقیاس تر است.

در مقیاس ترسیم‌ی، مقیاس را به شکل نواری که از چپ به راست متناسب با طولهای واقعی تقسیم‌بندی شده‌اند، نشان می‌دهند. مثلاً آن چه در شکل ۴ - ۱۱ نشان داده شده به مفهوم آن است که طولی معادل هر قسمت این مقیاس در روی نقشه، نمایانگر یک کیلومتر در روی زمین است. چون طول هر قسمت در شکل ۴ - ۱۱ برابر ۲ سانتی‌متر است، بنابر این مقیاس آن به صورت کسری برابر

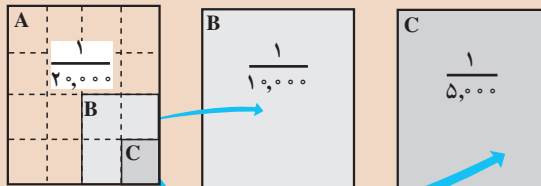
$$\text{است با: } \frac{۲}{۱۰۰۰۰۰۰} = \frac{۱}{۵۰۰۰۰۰}$$



شکل ۴-۱۱ - مقیاس خطی

### تفسیر کنید

باتوجه به این که دو نقشه‌ی دارای مقیاس‌های متفاوت، با ابعاد مساوی در روی صفحه رسم شده‌اند، رابطه‌ی میان مساحت منطقه‌های مورد نقشه‌برداری چه بوده است؟ از شکل‌های زیر کمک بگیرید.



### علایم قراردادی و رنگ نقشه

در یک نقشه‌ی بزرگ‌مقیاس، می‌توان تمام عوارض زمین از قبیل راه‌ها، رودخانه، جنگل، دریاچه، شهرها، روستاها و حتی ساختمان‌ها را با ابعاد و اشکال حقیقی روی صفحه‌ی کاغذ (نقشه) نشان داد؛ ولی برای نشان دادن قسمت بزرگی از زمین در روی نقشه (مثلاً یک کشور)، اجباراً باید مقیاس نقشه را کوچک انتخاب کرد. در این صورت نمی‌توان تمام عوارض طبیعی و جغرافیایی را با مقیاس نقشه و به ابعاد و اشکال حقیقی روی نقشه برد. مثلاً یک جاده به عرض ده متر در روی نقشه

به مقیاس  $\frac{۱}{۳۰۰۰۰}$  نیم میلی‌متر پهنا خواهد داشت که ترسیم آن آسان است، ولی اگر نقشه به مقیاس  $\frac{۱}{۳۰۰۰۰۰}$  باشد، عرض این جاده در روی نقشه پنج صدم میلی‌متر خواهد بود و رسم آن روی نقشه

رودخانه		ساختمان		بزرگراه	
مرداب		ارتفاع محل	BMΔ۲۹۳	جاده	
جنگل		منحنی میزان		کوره راه	
آب		گودی		پل	
				راه آهن	

شکل ۵-۱۱- معمولاً در نقشه‌های توپوگرافی منحنی‌های تراز را به رنگ قهوه‌ای، راه‌ها و خطوط آهن و شهرها و اسامی و نوشته‌های روی نقشه را با رنگ سیاه، رودخانه‌ها و کانال‌ها و دریاچه‌ها و دریاها را به رنگ آبی و جنگل و مناطق پوشیده از گیاه را به رنگ سبز نشان می‌دهند.

ممکن نیست. در نتیجه، لازم است در چنین مواردی از علائم قراردادی استفاده کنیم. شکل ۵-۱۱ نمونه‌ای از این قبیل علائم را نشان می‌دهد.

### طرز نشان دادن پستی و بلندی زمین در روی نقشه

در تهیه نقشه‌های توپوگرافی پس از انتخاب مقیاس نقشه، دانستن نحوه تعیین موقعیت نقاط (طول و عرض جغرافیایی) و انتخاب سیستم تصویر لازم است که برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های زمین و یا به عبارت دیگر کوه‌ها و دره‌ها را در روی نقشه نشان بدهیم. نشان دادن برجستگی‌ها و فرورفتگی‌ها در روی نقشه که یک صفحه‌ی مسطح است به روش خاصی نیاز دارد. طریقه‌های مختلفی برای این کار متداول است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

**منحنی میزان (Contour):** در روی نقشه علاوه بر مختصات نقاط (طول و عرض جغرافیایی یا  $x$  و  $y$ )، ارتفاع آن‌ها نسبت به سطح دریا قبلاً معلوم می‌شود. از به هم پیوستن نقاطی که دارای «ارتفاع مساوی» هستند منحنی‌هایی به وجود می‌آید که در اصطلاح نقشه برداری آن‌ها را **منحنی میزان** یا **منحنی تراز** می‌نامند (شکل ۶-۱۱).

روی منحنی‌های میزان ارتفاع مربوط به آن‌ها نوشته می‌شود. اگر روی یک منحنی میزان عدد ۱۵۰۰ نوشته شده باشد به این معنی است که تمام نقاط روی این منحنی از سطح دریا ۱۵۰۰ متر ارتفاع دارند. اگر روی یک منحنی بالاتر از منحنی فوق عدد ۱۶۰۰ و روی یک منحنی پایین‌تر، عدد ۱۴۰۰ نوشته شده باشد نشان دهنده‌ی این است که در این نقشه منحنی‌های میزان با اختلاف ارتفاع صدمتری ترسیم شده‌اند. این اختلاف، فاصله‌ی تراز نامیده می‌شود. فاصله‌ی

تراز بسته به مقیاس نقشه و عوارض منطقه از  $10^\circ$  تا  $25^\circ$  متر انتخاب می‌شود و نیز باید دانست که در نقشه‌های خیلی بزرگ مقیاس، یا زمین نسبتاً مسطح، فاصله‌ی تراز یک متر و حتی کم‌تر از آن هم ممکن است انتخاب شود. معمولاً ارتفاع را در روی همه‌ی منحنی‌ها نمی‌نویسند، بلکه از هر ۵ منحنی یکی را پررنگ‌تر می‌کشند و رقم ارتفاع را در کنارش می‌نویسند.

## نقشه خوانی

برای آن که بتوانید از نقشه‌ها استفاده کنید، باید به نکات زیر توجه داشته باشید:

**جهت:** روی هر نقشه، شبکه‌ی مدارات و نصف‌النهارات رسم شده است. اگر خطوط مذکور روی نقشه رسم نشده باشد، معمولاً پیکانی که جهت شمال را نشان می‌دهد در کنار نقشه رسم شده است و این شمال معمولاً شمال مغناطیسی است. پس با داشتن جهت می‌توانیم موقعیت خود را روی نقشه بدانید.

**مسافت:** از روی نقشه می‌توانید مسافت بین دو نقطه یا دو شهر را تعیین کنید. برای تعیین مسافت بین دو نقطه لازم است اول مقیاس نقشه را بدانید، سپس فاصله‌ی دو نقطه را با خط‌کش و بادقت (درحد میلی‌متر) اندازه بگیرید. با استفاده از یک تناسب فاصله‌ی دو نقطه را تعیین کنید. مثلاً اگر فاصله‌ی دو نقطه‌ی A و B در روی نقشه ۲۳ میلی‌متر و مقیاس نقشه  $\frac{1}{20000}$  باشد مطابق نسبت فوق:

میلی‌متر روی زمین      میلی‌متر روی نقشه

$$1 \qquad 20000$$

$$23$$

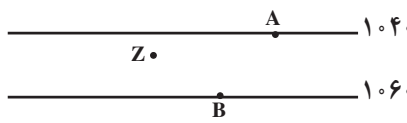
$$x$$

$$x = 23 \times 20000 = 460000 \text{ میلی‌متر}$$

یعنی فاصله‌ی دو نقطه‌ی A و B برابر با ۴۶۰ متر است.

اگر فاصله‌ی دو نقطه C و D در روی نقشه دیگری برابر با ۲۳ میلی‌متر ولی مقیاس نقشه برابر با  $\frac{1}{30000}$  باشد فاصله‌ی D و C چقدر خواهد بود؟

**تعیین ارتفاع:** تعیین ارتفاع نقاط از روی نقشه‌هایی که دارای منحنی میزان هستند به آسانی امکان‌پذیر است. مثلاً در یک نقشه، نقطه‌ی A  $1040$  متر و نقطه‌ی B  $1060$  متر ارتفاع دارند، چون به ترتیب در روی منحنی‌های  $1040$  و  $1060$  واقع شده‌اند. اما ارتفاع نقطه‌ی Z که در بین منحنی  $1040$  و  $1060$  واقع شده و به منحنی میزان  $1040$  نزدیک‌تر است احتیاج به محاسبه دارد. اول فاصله‌ی بین دو منحنی را در نزدیکی Z با خط‌کش میلی‌متری اندازه می‌گیریم، بعد فاصله‌ی نقطه‌ی Z را با منحنی  $1040$  می‌سنجیم، سپس با بستن تناسب ارتفاع نقطه‌ی Z را به دست می‌آوریم. فاصله‌ی دو منحنی  $1060$  و  $1040$  میلی‌متر و فاصله‌ی Z تا منحنی  $1040$  برابر با ۳ میلی‌متر و فاصله‌ی تراز  $20$  متر است.

میلی متر	متر		۱۰۴۰
۱۰	۲۰		
۳	$x = \frac{3 \times 20}{10} = 6$ متر		۱۰۶۰

پس ارتفاع نقطه‌ی Z برابر است با:  $۱۰۴۰ + ۶ = ۱۰۴۶$  متر

تعیین مقدار شیب سطح زمین: شیب سطح زمین در بین دو نقطه را می‌توان با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به دست آورد. برای محاسبه شیب بین دو نقطه لازم است که فاصله و اختلاف ارتفاع بین دو نقطه را مطابق آنچه گفته شد به دست آورد. سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر مقدار درصد شیب را تعیین کرد:

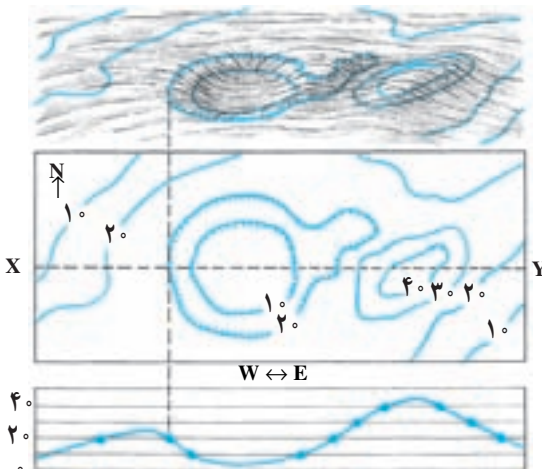
$$\text{شیب متوسط} = \frac{\text{اختلاف ارتفاع دو نقطه (متر)}}{\text{فاصله‌ی دو نقطه (متر)}} \times ۱۰۰$$

مثال: فاصله‌ی دو نقطه‌ی A و B برابر با ۲۰۰۰ متر و اختلاف ارتفاع بین آن‌دو برابر با ۸۰ متر است پس:

$$\text{شیب متوسط} = \frac{۸۰}{۲۰۰۰} = \frac{۴}{۱۰۰}$$

یعنی شیب متوسط بین دو نقطه‌ی A و B چهار درصد است.

رسم نیم‌رخ توپوگرافی: برای آن‌که تصویر بهتری از شکل سطح زمین در یک راستای معین



شکل ۶-۱۱- نحوه تهیه نیم‌رخ توپوگرافی مقیاس قائم و افقی یکسان است.

ارائه دهیم، می‌توانیم نیم‌رخ توپوگرافی زمین را در آن راستا رسم کنیم. به عبارت دیگر نیم‌رخ توپوگرافی، نمایش پستی‌ها و بلندی‌های سطح زمین در یک برش قائم از زمین است. در رسم نیم‌رخ توپوگرافی، گاهی برای بهتر نشان دادن پستی‌ها و بلندی‌ها، مقیاس قائم بزرگ‌تر از مقیاس افقی در نظر گرفته می‌شود. روشن است که در این حالت شیب‌ها واقعی نخواهند بود.

برای تهیه‌ی نیم‌رخ توپوگرافی

طبق مراحل زیر عمل می‌کنیم:

- راستای نیم‌رخ را با رسم یک خط روی نقشه مشخص می‌کنیم (خط XY در شکل ۶-۱۱).
- مقیاس قائم نیم‌رخ را تعیین می‌کنیم (مقیاس افقی را همان مقیاس نقشه در نظر می‌گیریم).
- بر روی یک صفحه کاغذ، تعدادی خطوط افقی رسم می‌کنیم (به جای این کار می‌توانیم از یک صفحه کاغذ میلی‌متری استفاده کنیم). فواصل خطوط افقی براساس مقیاس قائم نیم‌رخ تعیین می‌شود. بنابراین در طرف چپ ارتفاعات را مشخص می‌کنیم.
- لبه‌ی بالایی کاغذ را در راستای مورد نظر (XY) روی نقشه قرار می‌دهیم.
- در هر جا که یک منحنی تراز لبه‌ی کاغذ را قطع کرد، خط قائمی به طرف پایین رسم می‌کنیم تا به خط افقی هم‌ارتفاع خود برسد. این کار را برای بقیه‌ی منحنی‌های تراز نیز انجام می‌دهیم. نقاطی مثل قله‌ی کوه‌ها، قعر دره‌ها، جاده‌ها یا شهرهایی را که در مسیر نیم‌رخ مورد نظر قرار دارند نیز مشخص می‌کنیم.
- با متصل کردن نقاط حاصل، نیم‌رخ مورد نظر را رسم می‌کنیم. برای رسم نیم‌رخ نباید از خط کش استفاده کرد بلکه باید به شکل طبیعی ناهمواری‌های زمین توجه داشت.
- با مشخص کردن جهت نیم‌رخ و درج مقیاس‌های قائم و افقی در روی آن نیم‌رخ را کامل می‌کنیم.

### اندازه‌گیری کرده و سپس تفسیر کنید.

- ۱- موقعیت هر نقطه در کره‌ی زمین را چگونه مشخص می‌کنند؟
- ۲- در نقشه‌ای به مقیاس  $\frac{1}{۳۰۰۰۰}$ ، فاصله‌ی هر سانتی‌متر در روی نقشه، معادل چند متر در روی زمین است؟ در نقشه‌ای با این مقیاس، هر کیلومتر مربع از سطح افقی زمین، در روی نقشه چند سانتی‌متر مربع نشان داده می‌شود؟
- ۳- مقیاس  $\frac{1}{۱۰۰۰۰۰۰}$  را به صورت ترسیمی نشان دهید.
- ۴- با توجه به نقشه‌ی صفحه‌ی بعد:
  - الف - جهت جریان آب رودخانه به کدام سمت است؟
  - ب - شیب دیواره دره در کدام سمت رودخانه بیش‌تر است؟
  - ج - فاصله‌ی افقی AB در سطح زمین چند متر است؟
  - د - مقدار درصد شیب دره را در فاصله AB بیان کنید.
  - ه - کم‌ارتفاع‌ترین نقطه در محدوده‌ی نقشه کجاست؟ مقدار تقریبی آن چگونه برآورد می‌شود؟
  - و - نقطه‌ی D در چه ارتفاعی قرار دارد؟
  - ز - یک نیم‌رخ توپوگرافی در جهت XY نقشه رسم کنید.



## نقشه‌های زمین‌شناسی

مهم‌ترین کاربرد نقشه‌های توپوگرافی در زمین‌شناسی، استفاده از آن‌ها به‌عنوان نقشه‌ی پایه در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی است.

نقشه‌های توپوگرافی شکل سطح زمین را در یک منطقه نشان می‌دهند، ولی نقشه‌های زمین‌شناسی نمایان‌گر وضع زمین‌شناسی هر محل‌اند. در نقشه‌های زمین‌شناسی، پراکندگی سطحی سنگ‌ها یا واحدهای سنگی، روابط سنی آن‌ها، وضعیت ساختمانی و همچنین موقعیت کانسارها به نمایش گذاشته می‌شود (رسوبات سطحی ممکن است به‌نقشه درآید یا آن‌که حذف شود و تنها نقشه‌ی سنگ‌بستر تهیه گردد).

تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی: اساس کار تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی تعیین واحدهای سنگی مناسبی است که قابل نقشه‌برداری باشند. این واحدها باید دارای ویژگی‌هایی باشند که آن‌ها را از واحدهای دیگر قابل تشخیص سازد. چنان‌که در فصل ۸ گفتیم «سازند» یا «تشکیلات» واحد سنگی اصلی چینه‌شناسی، در مطالعات زمین‌شناسی و تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی، است. سازند، مجموعه‌ای از چینه‌هاست که ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن‌ها طوری است که از واحدهای بالا و پایین خود متمایز



باشند. ضخامت و گسترش سازندها به قدری است که قابل نقشه برداری اند.

تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی مستلزم مطالعه و بررسی مستقیم منطقه‌ی مورد نظر و جمع‌آوری اطلاعات لازم از بیرون زدگی هاست. علاوه بر جنس سنگ‌ها و نوع واحدهای سنگی و سن نسبی آن‌ها، اطلاعات دیگری مثل امتداد و شیب لایه‌ها و گسل‌ها و درزها؛ ضخامت لایه‌ها، نوع ساختمان‌های زمین‌شناسی، موقعیت کانسارها و اطلاعات لازم دیگر گردآوری می‌شود. دقت یک نقشه‌ی زمین‌شناسی، علاوه بر مهارت زمین‌شناس به پیچیدگی وضعیت زمین‌شناسی محل و چگونگی بیرون زدگی سنگ‌ها نیز وابسته است. خاک‌های ضخیم، پوشش‌های گیاهی، دریاچه‌ها و باتلاق‌ها می‌توانند سنگ‌های زیرین را بپوشانند و تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی را مشکل‌تر کنند. در بعضی بیرون زدگی‌ها ممکن است سنگ‌ها به شدت هوازده باشند و نوع سنگ‌ها و شیب و امتداد لایه‌ها به خوبی قابل تشخیص نباشد، در حالی که در برخی بیرون زدگی‌های دیگر ممکن است بتوان اطلاعات زیادی به دست آورد. در مناطق مرطوب معمولاً سنگ‌بستر پوشیده از گیاهان و قشر ضخیم خاک است و بیرون زدگی‌های کمی وجود دارد. در این گونه مناطق وضعیت زمین‌شناسی را می‌توان در بریدگی جاده‌ها، دره‌ی رودخانه‌ها و نقاطی از این قبیل مطالعه کرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مثل بخش‌های وسیعی از کشور ما) سنگ‌ها به طور کامل بیرون زده‌اند و بنابراین تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی آسان‌تر است.

یکی از ضروریات اولیه در تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی برای یک محل، در دست داشتن یک نقشه‌ی پایه (ترجیحاً یک نقشه‌ی توپوگرافی که فاصله‌ی منحنی‌های تراز بیش از ۵ متر نباشد) یا داشتن عکس‌های هوایی محل است. اطلاعات گردآوری شده را بر روی نقشه‌های توپوگرافی یا عکس‌های هوایی پیاده می‌کنند و سپس آن‌ها را به نقشه‌ی زمین‌شناسی تبدیل می‌نمایند. برای این کار باید بتوان بین بیرون زدگی‌ها ارتباط یا همبستگی (تطابق) چینه‌شناسی برقرار کرد. نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی از نظر ارتباط دادن بین بیرون زدگی‌ها بسیار مفیدند. مثلاً ممکن است تمام بیرون زدگی‌هایی که بر روی برآمدگی قرار دارند یک واحد سنگی معین را نشان دهند. آنچه که در نقشه‌های زمین‌شناسی عملاً نشان داده می‌شود مرز بین واحدهای سنگی مختلف است که به آن همبری یا کنتاکت (Contact) بین لایه‌ها می‌گویند. در جایی که همبری واحدهای سنگی واضح است به صورت خط پر و در جایی که چندان روشن نیست به صورت خط چین کشیده می‌شود.

در راهنمای نقشه توصیف مختصری از هر یک از واحدهای آن می‌آید. علاوه بر رنگ، هر یک از واحدها با نماد حرفی معینی نیز مشخص می‌شوند (مثلاً ممکن است سازند شمشک که متعلق به ژوراسیک است با  $J_s$  مشخص شود).

نشانه

توضیح



امتداد و شیب لایه‌ها



امتداد لایه‌های قائم، طرف بالای لایه با زاویه شیب مشخص شده است



لایه‌های افقی، شیب صفر



امتداد و شیب فولیاسیون در سنگ‌های دگرگونی



امتداد فولیاسیون قائم



تاقدیس



ناودیس



تاقدیس با جهت و مقدار زاویه میل ۲۱



ناودیس با جهت و مقدار زاویه میل ۱۵



گسل عادی، هاشورها در روی قطعه پایین افتاده



گسل معکوس، بیکان جهت شیب و هاشورها در روی قطعه پایین افتاده



شیب سطح گسل، D قطعه پایین افتاده، U قطعه بالا رانده

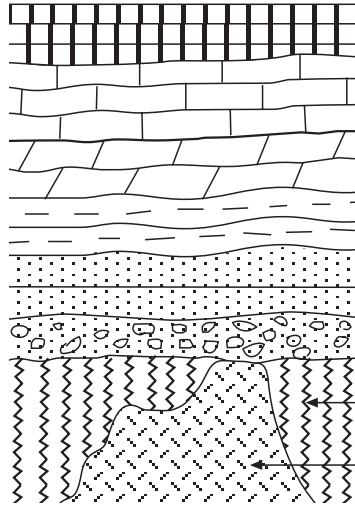


گسل امتداد لغز و جهت حرکت قطعات



گسل رانده، دندان‌ها روی قطعه فوقانی

الف



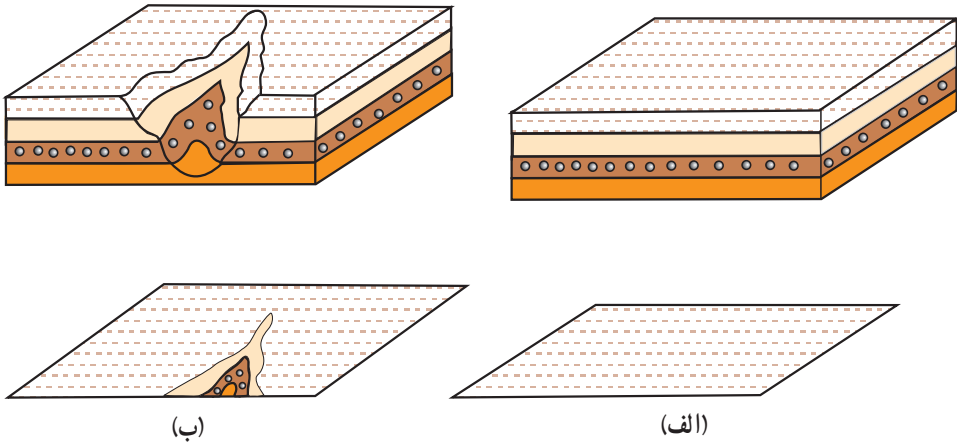
ب

شکل ۷-۱۱- نشانه‌هایی که معمولاً برای نشان دادن ساخت‌های زمین‌شناسی (الف) و برخی انواع سنگ‌ها (ب) در نقشه‌های زمین‌شناسی به کار می‌رود.

تعبیر و تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی: نحوه‌ی بیرون زدگی لایه‌ها و توده‌های سنگی در نقشه‌ها به وضعیت آن‌ها و توپوگرافی زمین بستگی دارد. در این جا برخی حالات ساده را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

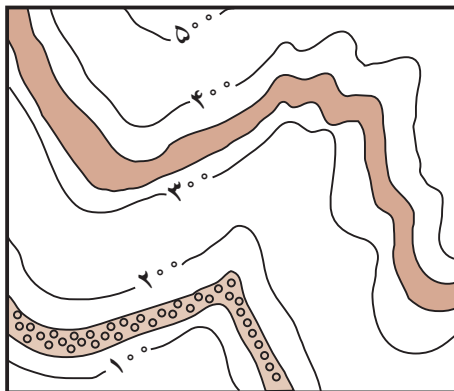
الف- لایه‌های افقی: حالت ساده‌ای را در نظر بگیرید که لایه‌ها افقی و سطح زمین نیز افقی باشد. روشن است که در این حالت تنها بالاترین لایه در سطح زمین قابل مشاهده است و در نتیجه در نقشه‌ی زمین‌شناسی نیز تنها این لایه به نمایش در خواهد آمد، زیرا لایه‌های زیرین در سطح زمین بیرون زدگی ندارند (شکل ۸-۱۱-الف). حال اگر در چنین منطقه‌ای، مثلاً به علت فرسایش رودخانه‌ای،

دره‌ای ایجاد شود، ممکن است لایه‌های زیرین نیز در سطح زمین رخنمون پیدا کنند و در نتیجه در نقشه نشان داده شوند (شکل ۸-۱۱-ب).



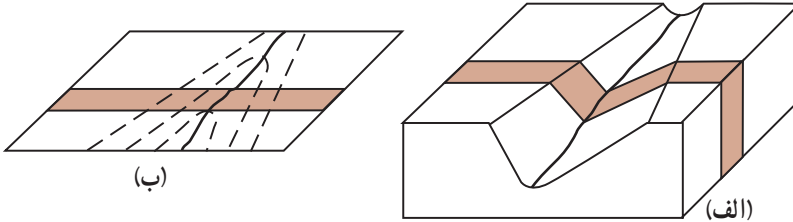
شکل ۸-۱۱- نمودار سه‌بعدی (بالا) و نقشه‌ی زمین‌شناسی (پایین) یک‌سری لایه‌های افقی. الف: وقتی سطح زمین افقی باشد بالاترین لایه به نقشه درمی‌آید. ب: وقتی سطح زمین برجسته و فرورفته باشد، لایه‌های زیرین نیز ممکن است در نقشه نشان داده شوند.

وقتی لایه‌ها افقی باشند، چون سطح جداکننده‌ی هر دو لایه‌ی روی هم افقی است، بنابراین محل برخورد این سطح با سطح زمین در تمام نقاط دارای ارتفاع یکسان است. به این جهت اگر نقشه‌ی زمین‌شناسی همراه منحنی‌های تراز توپوگرافی باشد، خط همبری لایه‌های افقی در همه‌جا موازی منحنی‌های تراز است (شکل ۹-۱۱).

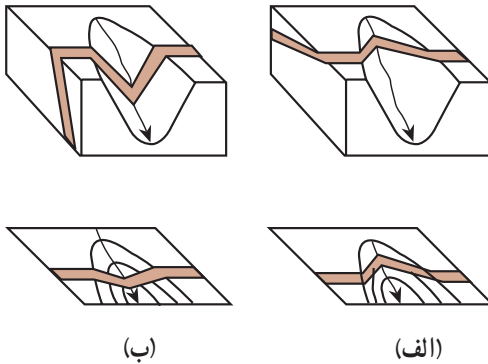


شکل ۹-۱۱- وقتی لایه‌ها افقی باشند، خط همبری لایه‌ها در همه‌جا با منحنی‌های تراز توپوگرافی موازی است.

ب- لایه‌های قائم: طرح همبری لایه‌های قائم در نقشه‌های زمین‌شناسی متأثر از توپوگرافی نیست و به صورت خطوط مستقیم به نمایش درمی‌آید. مثلاً یک دایک قائم با ضخامت ثابت به صورت دو خط مستقیم موازی نشان داده می‌شود (شکل ۱۰-۱۱).



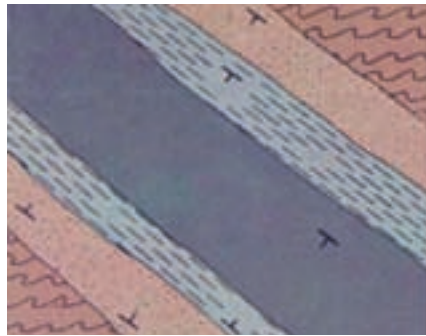
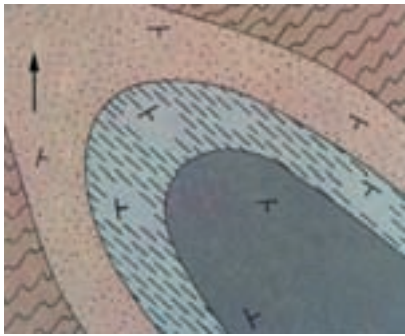
شکل ۱۰-۱۱- نمودار سه‌بعدی (الف) و نقشه‌ی زمین‌شناسی (ب) یک لایه قائم.



شکل ۱۱-۱۱- نمودار سه‌بعدی (بالا) و نقشه‌ی زمین‌شناسی (پایین) لایه‌های مایل.

ج- لایه‌های مایل: الگوی همبری لایه‌های مایل در نقشه‌های زمین‌شناسی به سادگی لایه‌های افقی و قائم نیست و با توجه به توپوگرافی زمین و شیب لایه به شکل‌های مختلف ظاهر می‌شود. به طور مثال بیرون زدگی لایه‌های مایل در دره‌ی رودخانه‌ها معمولاً V شکل است (جز در مواردی که شیب کف دره و لایه در یک جهت و یکسان باشد). نمونه‌ای از بیرون زدگی یک لایه‌ی مایل در دره‌ی رودخانه در شکل ۱۱-۱۱ نشان داده شده است.

د- چین‌ها: شکل چین‌ها در نقشه‌های زمین‌شناسی به نوع چین و توپوگرافی زمین بستگی دارد. اگر سطح زمین افقی باشد، چین افقی (چینی با محور افقی)، به صورت یک رشته خطوط موازی در نقشه‌ی زمین‌شناسی به نمایش درمی‌آید (شکل ۱۲-۱۱). لایه‌ها معمولاً نسبت به اثر محوری چین به طور قرینه تکرار می‌شوند. در چین دارای میل (چینی با محور مایل)، لایه‌ها به صورت V شکل (شکل ۱۳-۱۱) یا زیگزاک مانند رخنمون دارند. نوک V در تاقدیس‌ها جهت زاویه‌ی میل چین را نشان می‌دهد (در ناودیس‌ها به عکس است). اگر چین برگشته نباشد، شیب پهلوهای چین در ناودیس‌ها به طرف هم است و در تاقدیس‌ها از هم دور می‌شود. در چین‌های برگشته شیب لایه‌ها در هر دو پهلو چین به یک سمت است.



- اردو سیسین
- شیل
- کامبرین
- شیل
- ماسه سنگ
- پروتروزویک
- شیست

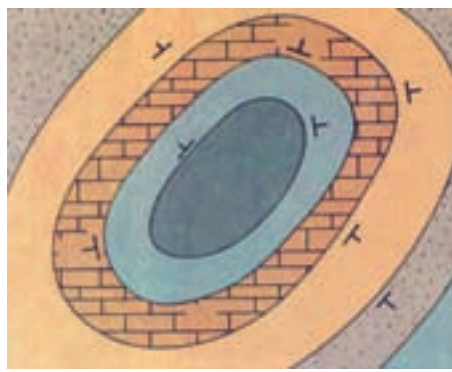
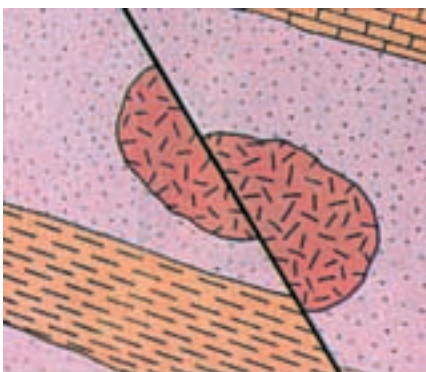
شکل ۱۳-۱۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی یک ناودیس مایل. جهت میل ناودیس به طرف جنوب شرقی است.

شکل ۱۲-۱۱- نقشه زمین‌شناسی یک ناودیس با محور افقی

طرح همبری لایه‌ها در گنبد‌های ساختمانی (تاق‌دیس‌های گنبدی شکل) به صورت تقریباً دایره یا بیضی است که شیب لایه‌ها از مرکز دور می‌شود. در چنین ساختمان‌هایی، قدیمی‌ترین سنگ‌ها در مرکز قرار دارند (شکل ۱۴-۱۱). در حوضه‌های ساختمانی (ناودیس‌های کاسه‌مانند) شیب لایه‌ها و توالی آن‌ها به‌عکس گنبد‌های ساختمانی است.

در زمین‌های دارای پستی و بلندی، شکل رخنمون چین‌ها نیز، مانند آن‌چه که در مورد لایه‌ها گفتیم، متأثر از توپوگرافی زمین است.

هـ- گسل‌ها: آنچه که در مورد طرح بیرون‌زدگی سطوح لایه‌بندی گفتیم در مورد گسل‌ها نیز صادق است. مثلاً گسل قائم به صورت خط مستقیم در نقشه به‌نمایش درمی‌آید. گسل‌ها موجب قطع‌شدگی و جابه‌جایی سنگ‌ها می‌شوند، بنابراین در نقشه‌ی زمین‌شناسی ممکن است یک لایه‌ی معین، یک توده‌ی آذرین یا هر ساخت دیگری در طرفین یک گسل جابه‌جایی نشان دهد (شکل ۱۵-۱۱).

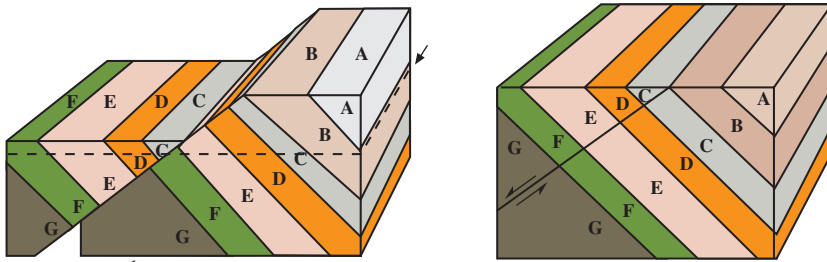


- کربنیفر
- ماسه سنگ
- دونین
- دولومیت
- سیلورین
- سنگ آهک
- شیل
- اردو سیسین
- شیل

جابه‌جایی واحدهای سنگی مشابه نشان‌دهنده وجود یک گسل است.

شکل ۱۴-۱۱- یک گنبد ساختمانی به صورتی که در یک نقشه‌ی زمین‌شناسی ظاهر می‌شود.

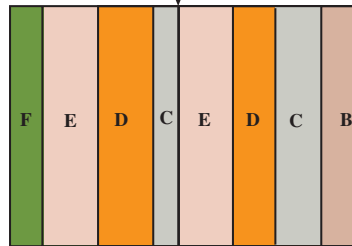
شکل ۱۵-۱۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی یک توده‌ی آذرین و لایه‌های اطراف آن که به وسیله‌ی گسل جابه‌جا شده‌اند.



ب - نمودار سه بعدی پس از گسل (خط چین سطح فرسایش جدید را نشان می‌دهد).

الف - نمودار سه بعدی قبل از گسل

گسل



ج - نقشه‌ی سطح فرسایش یافته که تکرار واحدهای D, E و C را نشان می‌دهد.

شکل ۱۶-۱۱ - یک گسل عادی که موجب تکرار لایه‌ها شده است.

گسل‌ها ممکن است موجب تکرار لایه‌ها شوند. در شکل ۱۱-۱۶ گسل موجب تکرار لایه‌ها شده است (توجه کنید برخلاف شکل ۱۱-۱۲ در اینجا جهت شیب و توالی لایه‌ها تغییر نکرده است).  
و - مقطع زمین‌شناسی: تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی مستلزم داشتن دید سه بعدی است. به این منظور معمولاً تهیه کنندگان نقشه‌های زمین‌شناسی، همراه نقشه، یک یا چند مقطع زمین‌شناسی نیز ارائه می‌دهند. با استفاده از مقاطع زمین‌شناسی می‌توان به وضعیت ساختمان‌های زیرزمینی پی برد. مقطع زمین‌شناسی نموداری است که ترتیب قرار گرفتن سنگ‌ها و سازندها را در صفحه‌ی قائم (عمود بر صفحه‌ی نقشه) نشان می‌دهد. در واقع مقطع زمین‌شناسی، آنچه را که در دیواره‌ی قائم یک بریدگی فرضی در راستای مورد نظر (مثلاً بریدگی یک جاده) نمایان می‌شود، به نمایش می‌گذارد.  
برای تهیه‌ی مقطع زمین‌شناسی به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

- راستای مورد نظر خود را با یک خط روی نقشه مشخص می‌کنیم (XY در شکل ۱۷-۱۱).  
معمولاً این راستا عمود بر امتداد لایه‌هاست.

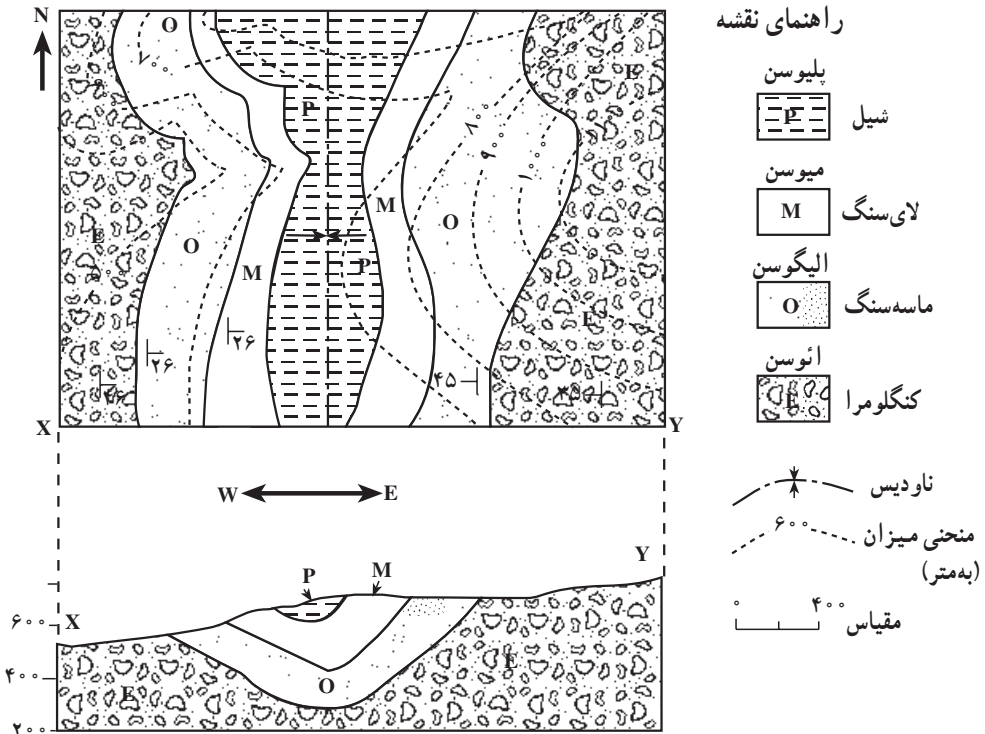
- نیم‌رخ توپوگرافی را در راستای تعیین شده (طبق آنچه که قبلاً گفتیم) بر روی یک صفحه کاغذ رسم می‌کنیم.

– آن‌گاه دوباره لبه‌ی کاغذ را در راستای موردنظر روی نقشه قرار می‌دهیم و محل برخورد خطوط همبری لایه‌ها، گسل‌ها، دایک‌ها و دیگر بیرون‌زدگی‌ها را با لبه‌ی کاغذ در روی نیم‌رخ توپوگرافی مشخص می‌کنیم.

– براساس تمام اطلاعات موجود، مثل جهت، شیب، ضخامت و توالی لایه‌ها، دایک‌ها، گسل‌ها و غیره، ادامه‌ی آن‌ها را در زیرزمین مشخص می‌کنیم و شکل ساختمان‌های زیرزمینی را تا حد امکان بازسازی می‌نماییم.

– سرانجام با قراردادادن نشانه‌ها و نمادهای لازم، درج مقیاس‌های قائم و افقی و مشخص کردن جهت مقطع، آن را کامل می‌کنیم.

در شکل ۱۷-۱۱ نحوه‌ی ترسیم یک مقطع زمین‌شناسی نشان داده شده است. این مقطع در راستای XY و عمود بر امتداد لایه‌هاست. شیب لایه‌ها در چند نقطه در روی نقشه مشخص شده است.



شکل ۱۷-۱۱- چگونه ترسیم مقطع زمین‌شناسی از روی نقشه

## زمین در خدمت انسان

# ۱۲

موادی که از زمین به دست می‌آید، مبنای تمدن امروزی را تشکیل می‌دهند. مواد معدنی و منابع انرژی‌زایی که از پوسته‌ی زمین حاصل می‌آیند، مواد خامی هستند که صنایع مختلف براساس آن‌ها شکل گرفته‌اند و نیازهای جامعه را فراهم می‌کنند. شما ممکن است متوجه نشوید که زمین تا چه حد در رفع نیازهای مختلف به همه‌ی ما خدمت می‌کند. کافی است نگاهی به اطراف خود بیندازید. مصالح ساختمانی تا وسایل داخل خانه، ماشین‌آلات، ابزارهای مختلف، مواد سوختی، حمل و نقل، برق، بیشتر داروها و رنگ‌ها و بالاخره آب، از زمین تأمین شده‌اند. هر چه جامعه و ملتی صنعتی‌تر باشد، میزان استفاده‌اش از فرآورده‌های زمین هم بیشتر خواهد بود.

در بعضی از کشورها، از جمله در کشور خودمان، منابع معدنی فلزی و غیرفلزی زیادند و در برخی، کمتر یافت می‌شوند. امروزه، اقتصاد بسیاری از کشورها بر پایه‌ی میزان دست‌یابی به این مواد استوار است.



شکل ۱-۱۲- چه انرژی‌هایی در این شهر بزرگ مصرف دائمی دارند؟



## فعالیت

### منابع تجدیدشده و تجدید نشده

به موادی که در طول مدت چند ماه یا چند سال جانشین شوند، منابع تجدیدشده می‌گویند. در عوض، منابع و مواد دیگری وجود دارند که تولید مجدد آن‌ها به گذشت میلیون‌ها سال نیاز دارد. بر این اساس، جدول زیر را کامل کنید.

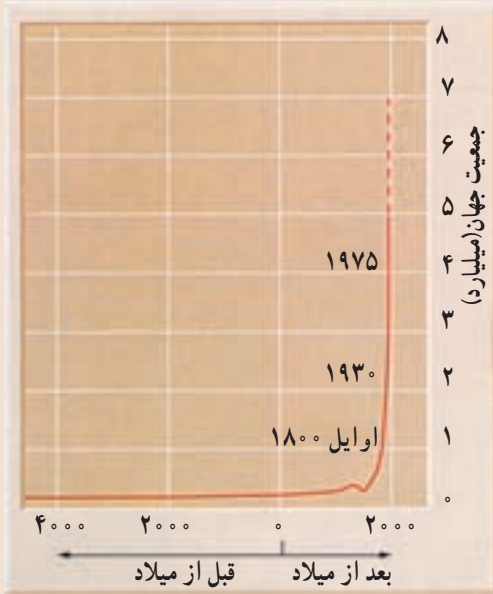
کاربرد	منابع تجدیدشده	منابع تجدید نشده

— به نظر شما آب زیرزمینی منبعی تجدید شده است یا تجدید نشده؟ دلیل بیاورید.  
— در کشور ما، از کدام منابع تجدید نشده باید مراقبت بیشتری شود؟ دلیل بیاورید.



شکل ۲-۱۲- مقدار مصرف سرانه مواد فلزی و غیر فلزی به ازای هر نفر، در یک کشور

## بحث کنید



رشد جمعیت انسان تا سالهای اخیر خارج از کنترل بوده است. احتمال دارد که در سال ۲۰۰۵، جمعیت جهان از مرز ۷ میلیارد نفر هم بگذرد!

با آن که تا اول قرن نوزدهم تعداد افراد آدمی به یک میلیارد نفر نرسیده بود، از آن پس، فقط در مدت ۱۳۰ سال، به دو میلیارد نفر رسید. این رقم در فاصله سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۵، باز هم دوبرابر شد. منحنی مقابل، سرعت رشد جمعیت انسان را نشان می‌دهد.

۱- پی‌آمدهای این رشد بی‌رویه چیست؟

۲- رشد جمعیت، نیاز به کدام منابع زمین را بیشتر کرده است؟  
۳- برای کدام منابع، جانسین‌سازی صورت گرفته است؟

## منابع انرژی



شکل ۳-۱۲- حجم عظیمی از مواد سوختی را خودروها مصرف می‌کنند.

زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی، سوخت‌های مهم جوامع امروزی را تشکیل می‌دهند. با آن که در طول چند دهه‌ی آینده کمبودی از این لحاظ مشهود نیست، اما این منابع انرژی به سرعت روبه کاهش اند. حتی بی‌گیری کارهای اکتشافی در اعماق دریا و در میان یخ‌های قطبی هم جلوی بحران آینده را نخواهد گرفت، به‌ویژه این که مصرف نیز روزبه‌روز بالاتر می‌رود. اگر وضع به همین منوال پیش برود، قاعدتاً باید در فکر منابع دیگر انرژی از قبیل ژئوترمال (حرارت داخل زمین)، خورشیدی، باد و هیدروالکتریک (آبی) بود.

## زغال سنگ

زغال سنگ، نوعی سنگ رسوبی است و در بین سایر موادی که از زمین به دست می آید اهمیت ویژه‌ای دارد. در بسیاری از موارد می توان آثار ساقه و ریشه‌ی گیاهان را در داخل لایه‌های زغال سنگ و سنگ‌های اطراف آن مشاهده کرد. این مطلب نشان‌دهنده‌ی منشأ گیاهی آن است (شکل ۶-۸).

گیاهان قدیمی که زغال سنگ از آن‌ها درست شده است تا حد زیادی شبیه گیاهان امروزی و فوق‌العاده متنوع بوده‌اند به گونه‌ای که فقط در زغال‌های دوره‌ی کربونیفر بیش از ۳۰۰۰ نوع گیاه تشخیص داده‌اند.

نحوه‌ی تجمع مواد اولیه: اگرچه منشأ گیاهی زغال سنگ مورد قبول تمام دانشمندان است اما در مورد چگونگی تجمع مواد گیاهی دو نظریه‌ی مختلف تحت عنوان نظریه‌های درجازا و دگرجازا وجود دارد.

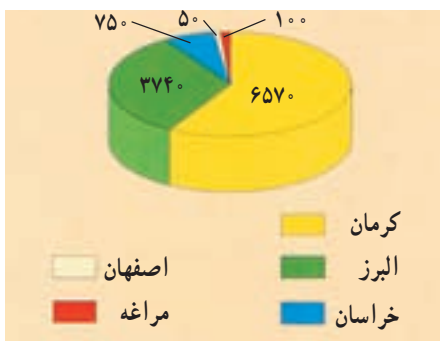
مطابق نظریه‌ی درجازا، زغال سنگ در همان محل رویش گیاهان تشکیل شده است. بر اساس این نظریه، پس از این که شرایط آب و هوایی مناسب سبب شد که جنگل‌های انبوهی به وجود آید، تنه‌ی درختان بر زمین افتاد و توده‌ای از مواد اولیه گیاهی جمع شد. در مرحله‌ی بعد، سیلاب‌هایی که از محل می‌گذشت، گل ولای همراه خود را برجای گذاشت و بدین ترتیب روی مواد گیاهی با پوششی از این مواد پوشیده شد و به تدریجی که بعداً خواهیم دید، این مواد به زغال تبدیل شدند.

مطابق نظریه‌ی دگرجازا، سیلاب‌های موسمی و طغیان رودخانه‌هایی که از نزدیک جنگل‌ها می‌گذشت، سبب شد که درختان زیادی کنده شود و توسط رودخانه به دریا یا باتلاق حمل گردد و در آنجا رسوب کند و سپس به زغال تبدیل شود.

در حوضه‌های زغالی مختلف دلایلی در تأیید هر یک از این دو نظریه وجود دارد و در بعضی از حوضه‌ها هم به نظر می‌رسد که هر دو نظریه صادق باشند. یعنی در عین حال که پیش‌روی دریا در جنگل سبب تشکیل بعضی از لایه‌ها شده است، رودخانه‌ها نیز مقدار زیادی مواد گیاهی با خود حمل کرده و مواد اولیه‌ی سایر لایه‌ها را فراهم نموده‌اند.

**چگونگی تبدیل مواد گیاهی به زغال سنگ:** پس از تجمع مواد گیاهی، این مواد طی مراحلی به زغال تبدیل می‌شوند.

در اولین مرحله در اثر فعالیت باکتری‌های مختلف مواد گیاهی تجزیه می‌شود و بعضی از عناصر تشکیل دهنده‌ی خود مثل اکسیژن و هیدروژن را از دست می‌دهد. بدین ترتیب درصد کربن آن اضافه شده و پس از مدتی به زغال نارس تبدیل می‌گردد. زغال نارس به تدریج با قشری از رسوبات گل ولای پوشیده



شکل ۴-۱۲- ذخایر زغال سنگ ایران (میلیون تن)

شده و فشرده تر می شود. مدتی بعد فعالیت باکتری ها متوقف می شود. به مرور که زغال نارس به اعماق فرومی رود، در اثر افزایش فشار رسوبات، فشار و دمای محیط افزایش می یابد و طی آن زغال نارس ابتدا به زغال قهوه ای و سپس به انواع دیگر زغال تبدیل می شود.

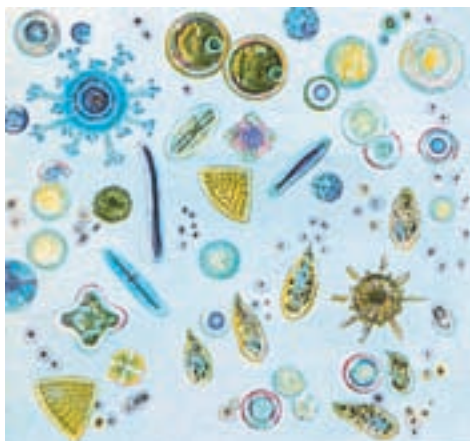
زغال سنگ انواع مختلفی دارد که هر نوع آن کاربرد ویژه ای دارد. بعضی از انواع مرغوب آن در صنایع فولاد مصرف دارد و به نام کک معروف است.

انواع دیگر آن نیز برای ایجاد حرارت به عنوان سوخت به کار می رود و آن ها را زغال های حرارتی می نامند.

اهمیت نفت در زندگی روزمره بر کسی پوشیده نیست. از گرمای اتاقتان گرفته تا غذایی که می پزید، نفت دخالت دارد. برای رفتن به مدرسه و سایر نقاط از وسایل نقلیه استفاده می کنید که برای حرکت به مواد نفتی نیاز دارند. علاوه بر سوخت، نفت در تهیه ی بسیاری از پلاستیک ها به کار می رود. در بسیاری از لباس ها نیز الیافی به کار می رود که از مواد نفتی ساخته شده اند.

## نفت

نفت ماده ی آلی مایع و سیاه رنگی است که بوی مخصوصی دارد. باید توجه داشت که آنچه ما در زندگی روزانه از آن به عنوان نفت، در بخاری و چراغ استفاده می کنیم، در واقع نفت سفید و تنها یکی از محصولات آن است که در اثر پالایش نفت خام به دست می آید.



**چگونگی تشکیل نفت:** مواد اولیه ی نفت، عمدتاً موجودات زنده ریزی بوده اند که امروزه نیز به حالت شناور در آب دریا وجود دارند. این جانداران، دارای بعضی ترکیبات، نظیر اسیدهای چرب هستند که ماده ی اصلی برای تشکیل نفت است. نمونه هایی از این موجودات در شکل ۵-۱۲ دیده می شوند.

شکل ۵-۱۲- نمونه هایی از موجودات شناور نفت ساز

عمر جانوران و گیاهان شناور نفت‌ساز معمولاً کوتاه است و قسمتی از بقایای این موجودات بر کف دریا فرو می‌ریزد. البته باید توجه داشت که تمام بقایای این موجودات به کف حوضه‌ی رسوبی نمی‌رسند و بخش عمده‌ای از آن‌ها قبل از رسوب، اکسید شده و یا توسط جانوران دیگر خورده می‌شوند. به‌رحال بازهم آن‌بخش از بقایا که در کف حوضه رسوب می‌کنند، حجم زیادی دارند و برای تشکیل مقدار قابل توجهی نفت، کافی هستند. این قسمت از بقایا که از نوع مواد آلی است، چون به کف حوضه‌ی رسوبی می‌رسند، به‌نحوی حفظ می‌شوند. عامل این حفظ رسوبات دانه ریزی است که همراه با آن‌ها رسوب می‌کند و باعث محفوظ ماندن این مواد می‌شود. به‌طوری که دیده می‌شود، برای تشکیل نفت شرایط خاصی لازم است زیرا علاوه بر وجود مواد اولیه، محیط رسوبی نیز باید کم‌عمق باشد تا مواد بتوانند در زمان کوتاهی رسوب کنند. از سوی دیگر، مقدار اکسیژن محیط نیز باید صفر یا ناچیز باشد تا مانع از اکسایش مواد شود. اکنون این مسئله روشن می‌شود که چرا باوجودی که موجودات زنده‌ی شناور به میزان زیاد در حوضه‌های رسوبی وجود دارند، در تمام آن‌ها نفت تشکیل نمی‌شود. مواد دانه‌ریزی که همراه با بقایای موجودات رسوب می‌کنند، بعدها به سنگ تبدیل می‌شوند و به نام سنگ‌مادر معروف‌اند.

فرآیند تبدیل مواد آلی به ترکیب‌های مختلف کربن و هیدروژن (هیدروکربن‌ها) که نفت را تشکیل می‌دهند، فرآیند پیچیده‌ای است که در آن باکتری‌های غیرهوازی نقش اصلی را به‌عهده دارند. این باکتری‌ها که در اغلب رسوبات دریایی وجود دارند، به‌مرور سبب تجزیه‌ی مواد آلی و تبدیل آن‌ها به نفت می‌شوند.

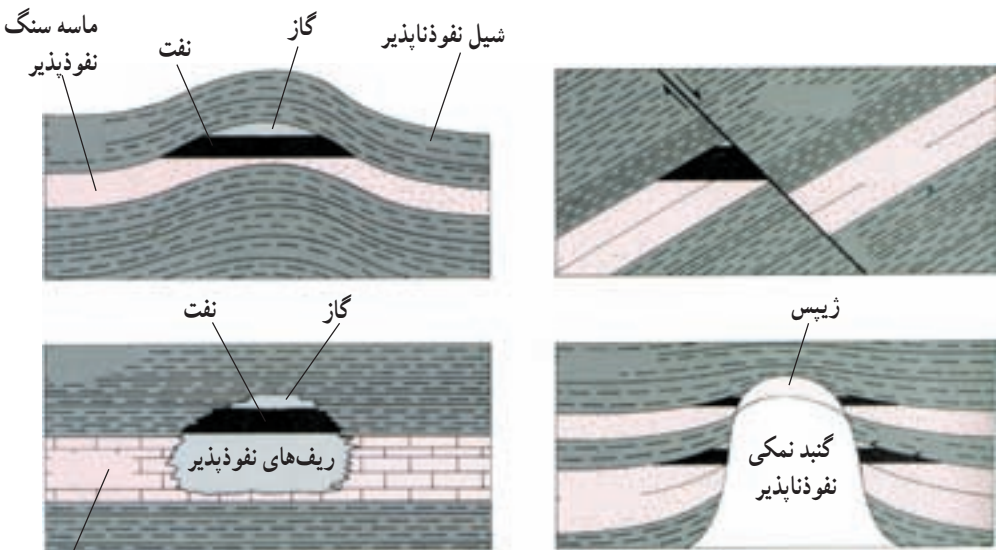
**مهاجرت اولیه‌ی نفت:** رسوبات حاوی مواد نفتی در ابتدا به‌صورت لجنی است که ۷۰ تا ۸۰ درصد آن مایع و بقیه‌ی آن رسوبات مختلف است. بیش از ۹۹ درصد مایع موجود در این لجن را آب‌دریا (آب‌شور) و فقط کم‌تر از یک درصد آن را نفت تشکیل می‌دهد.

با ادامه‌ی رسوب‌گذاری در حوضه‌ی رسوبی، وزن رسوبات و بنابراین فشار مؤثر بر لجن، رسوبات را متراکم‌تر می‌کند. تراکم رسوبات سبب می‌شود که مایعات موجود از آن خارج شوند و بدین ترتیب خروج آب و نفت از خلل و فرج رسوبات که اکنون دیگر سنگ شده و سنگ‌مادر نامیده می‌شود، آغاز می‌شود که آنرا مهاجرت اولیه می‌گویند.

واضح است که در اعماق زمین، فضای خالی به‌صورت غار وجود ندارد و آب و نفت از درون منافذ ریز موجود در سنگ‌ها حرکت می‌کنند. گرچه در ابتدای کار حرکت آب و نفت به سمت بالا است، اما با اضافه شدن تراکم رسوبات، حرکت جانبی نیز انجام می‌گیرد و بدین ترتیب مهاجرت مخلوط

آب و نفت ادامه می‌یابد. مهاجرت اولیه‌ی نفت ممکن است به چندصد کیلومتر برسد. بخش عمده‌ای از نفتی که بدین ترتیب تشکیل شده است، ضمن مهاجرت اولیه هدر می‌رود اما اگر در مسیر حرکت آب و نفت محل مناسبی برای تجمع نفت وجود داشته باشد این مخلوط در آن به دام می‌افتد و انباشته می‌شود. **نفت گیرها:** نفت گیرها مخازن طبیعی مناسبی هستند که نفت در داخل آن‌ها انباشته می‌شود. برای این که نفت انباشته شود، اولاً باید سنگ مخزن مناسبی با تخلخل و قابلیت نفوذ خوب وجود داشته باشد، ثانیاً باید روی آن با سنگ غیر قابل نفوذی که به آن پوش سنگ می‌گویند، پوشیده شود و ثالثاً وضعیت هندسی آن برای انباشته شدن نفت مناسب باشد.

نفت گیرها انواع مختلفی دارند که بعضی از انواع آن را در شکل ۶-۱۲ می‌بینید.



سنگ آهک نفوذپذیر

شکل ۶-۱۲- بعضی از انواع نفت گیرها

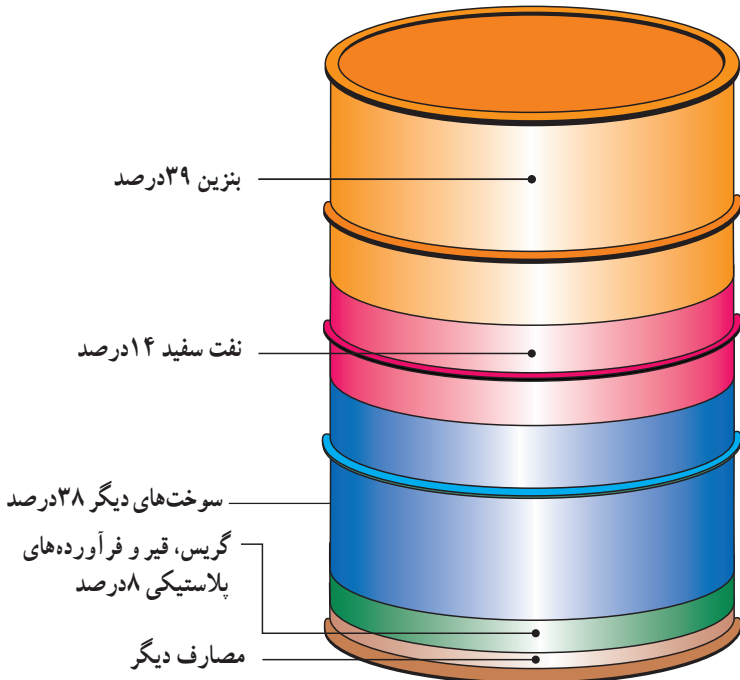
**مهاجرت ثانویه‌ی نفت:** پس از آن که مخلوط آب و مواد نفتی در داخل نفت گیر به دام افتاد، در اثر اختلاف وزن مخصوص آب، نفت و گاز، این سه بخش به تدریج از یکدیگر جدا می‌شوند و سه لایه‌ی مختلف را در داخل نفت گیر، تشکیل می‌دهند. این مرحله را مهاجرت ثانوی می‌گویند.

گرچه درحالت کلی معمولاً در نفت گیرها به ترتیب سه لایه‌ی گاز، نفت و آب روی هم قرار دارند ولی این امر همیشه صادق نیست و ممکن است در یک نفت گیر فقط گاز یا آب وجود داشته باشد.

**ترکیب نفت:** به طور کلی می توان نفت را به عنوان ترکیبات مختلف هیدروژن و کربن یا هیدروکربن تعریف کرد. این هیدروکربن ها از نظر مشخصات شیمیایی و فیزیکی باهم متفاوت اند و ممکن است حالت گاز، مایع و یا جامد داشته باشند.

معدودی از نفت ها، بی رنگ و بی بو هستند ولی اغلب آن ها رنگ تیره و بوی مشخصی دارند. اگر مولکول های تشکیل دهنده ترکیبات نفتی بزرگ باشند، نفت را سنگین و در غیر این صورت، آن را سبک می گویند. در مواردی نیز که درصد گوگرد نفت زیاد یا کم باشد به ترتیب آنرا **نفت ترش** یا **نفت شیرین** می نامند.

**استخراج نفت:** استخراج نفت با استخراج سایر مواد متفاوت است. پس از آن که به کمک عملیات اکتشافی، وجود نفت در منطقه ای شناسایی شد، اقدام به حفر چاه های عمیق می کنند. پس از برخورد چاه به نفت گیر، به علت فشار موجود در مخزن، نفت اغلب خود به خود بالا می آید. نفت خامی که بدین ترتیب تولید می شود مستقیماً قابل استفاده نیست بلکه ابتدا آب، گاز و مواد گوگردی آن را جدا می کنند و سپس برای تصفیه به پالایشگاه می فرستند. در پالایشگاه، نفت را تصفیه و انواع فرآورده های نفتی از قبیل نفت سفید، بنزین، بنزین هواپیما، روغن و ... از آن تهیه می کنند. نفت تصفیه شده به وسیله ی لوله به محل مصرف یا بنادر بارگیری حمل می شود.



شکل ۷-۱۲- درصد فرآورده های مختلف حاصل از نفت خام

از مقدار کل تولید نفت خام کشور، سالانه بخش عمده‌ای از آن صرف تولید برق می‌شود. لذا کشور ما با شرایط فعلی نمی‌تواند به منابع فسیلی اتکا کند، زیرا:

۱- منابع فسیلی محدود بوده و متعلق به نسل‌های آینده نیز می‌باشد. لذا استفاده‌ی بی‌رویه از آن مجاز نیست.

۲- استفاده از منابع مذکور در صنایع تبدیلی (نظیر پتروشیمی) ارزش افزوده بیشتری را در پی دارد.

۳- مصرف این منابع در داخل کشور، با روند فعلی، در چند دهه‌ی آینده ایران را به یک کشور واردکننده‌ی نفت خام و فرآورده‌های آن تبدیل خواهد کرد.

۴- مهمتر از همه، مسئله‌ی آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی چه به صورت منطقه‌ای و چه در بعد جهانی است که سلامت انسان و طبیعت را در مخاطره قرار می‌دهد.



## اثرات محیطی سوزاندن سوخت‌های فسیلی

انسان، با وجود موفقیت در پیشرفت‌های علمی، مشکلات متعددی را هم برای خود ایجاد کرده است. یکی از این مشکلات که بسیار جدی نیز هست، آلودگی هوای ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است. آلودگی‌های هوای شهری، باران اسید و گرم شدن عمومی هوای کره‌ی زمین (اثر گلخانه‌ای)، همگی با این نوع منابع انرژی ارتباط دارند.

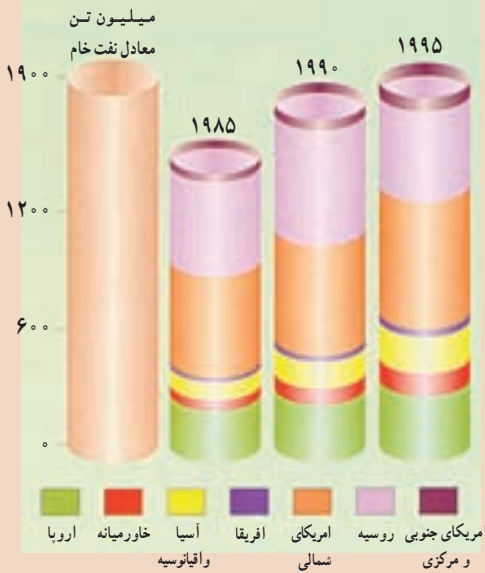
آلودگی هوا، برای ساکنان شهرهای بزرگ، مسئله‌ای بسیار جدی است، به‌ویژه که آلوده‌شدن هوا تدریجی نیست و بلافاصله بعد از وارد شدن مواد آلوده‌ساز در آن، اثر خود را ظاهر می‌کند. خودروها، بزرگ‌ترین نقش را در این میان دارند، اما البته منابع ثابت دیگری هم در آلوده کردن هوا مؤثرند (شکل ۸ - ۱۲).

شکل ۸ - ۱۲- آلوده‌کننده‌های اصلی، منابع آن‌ها. درصدها بر حسب وزن محاسبه شده‌اند.



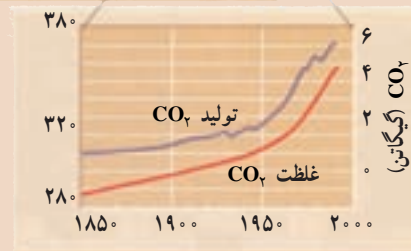
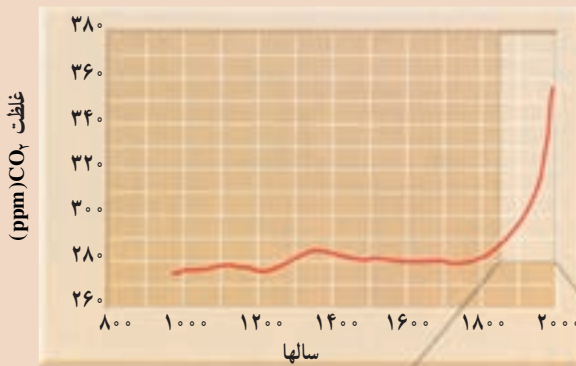
## مقایسه کنید

مصرف گاز طبیعی جهان . در  
فاره‌های مختلف، این اختلاف مصرف  
ناشی از چیست؟



## جمع‌آوری اطلاعات

گفته می‌شود که گاز دی‌اکسید کربن، عامل اصلی گرم‌شدن هوای زمین است. با بررسی  
دقیق نمودارهای زیر، دلایل این کار را بیابید.



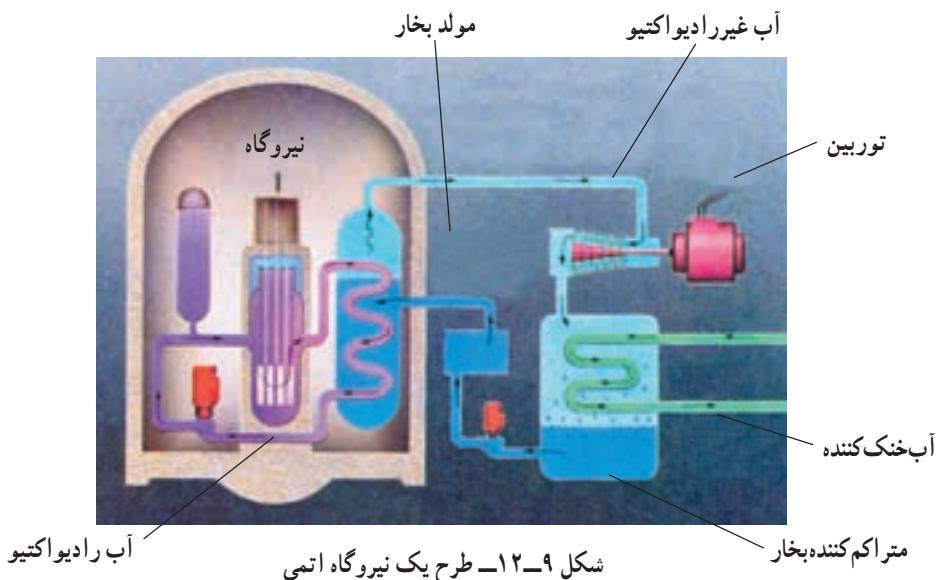
- میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید  
 $CO_2$  در طول زمان، در حال فزونی بوده  
است. آیا این آهنگ افزایش در آینده هم  
ادامه خواهد داشت؟

## منابع انرژی جانشین

با بررسی مختصری در میزان استفاده از منابع انرژی، معلوم می‌شود که تقریباً ۹۰ درصد از انرژی مورد نیاز جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند که منابعی تجدید ناپذیرند. برآوردهای فعلی نشان می‌دهد که اگر میزان مصرف را ثابت و معادل سال‌های کنونی در نظر بگیریم، تا حدود ۱۷۰ سال دیگر هم منابع سوخت‌های فسیلی دوام خواهند داشت. اما می‌دانیم که با افزایش جمعیت، مقدار مصرف بالا می‌رود و بسیار زودتر از آن زمان، منابع چنین سوخت‌هایی به پایان خواهند رسید. بالا رفتن مصرف هم به معنای افزایش آلودگی محیط است. در این صورت، باید چاره‌ای اندیشیده شود. البته، هنوز در این باره به پاسخ قطعی نرسیده‌ایم، اما منابع تأمین انرژی جانشین شونده‌ای هم پیدا شده‌اند که عبارتند از انرژی هسته‌ای، خورشیدی، بادی، برق آبی و چند منبع کم‌اهمیت دیگر.

**انرژی هسته‌ای:** دانشمندان و مهندسان، به نوعی فن‌آوری دست یافته‌اند که می‌توانند با کمک آن، با استفاده از واکنش‌های هسته‌ای، انرژی قابل استفاده‌ی زیادی را تولید کنند. این فن‌آوری، بر اساس واکنش شکافت هسته‌ای، یعنی شکستن هسته‌ی یک اتم بزرگ و تبدیل آن به دو هسته‌ی کوچک‌تر با پایداری بیشتر است. از این واکنش، مقدار زیادی انرژی گرمایی به دست می‌آید که قابل استفاده برای تولید برق است.

برای انجام این کار از اورانیم ۲۳۵ استفاده می‌شود. اورانیمی که به طور طبیعی در معدن یافت می‌شود مخلوطی از ۹۹/۳ درصد اورانیم ۲۳۸ و ۰/۷ درصد اورانیم ۲۳۵ است. بیشتر نیروگاه‌ها،



باید سوختی را مصرف کنند که بین ۳ تا ۷ درصد اورانیم ۲۳۵ را دارا باشد، به همین منظور، طی فرآیندهای بسیار پیچیده‌ای ابتدا سنگ معدن را تخلیص و سپس نسبت به ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵ غنی‌سازی می‌کنند. به چنین مخلوطی اورانیم غنی‌شده می‌گویند. بدین ترتیب میله‌های سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌شود.

در نیروگاه برق هسته‌ای، این ماده (میله‌ی سوخت) را توسط نوترون بمباران می‌کنند، که در نتیجه، یک واکنش زنجیره‌ای صورت می‌گیرد. به دنبال این واکنش‌ها، میله‌ی سوخت بسیار داغ می‌شود. برای گرفتن این گرما، آب را با تلمبه در اطراف میله‌ها به جریان درمی‌آورند تا گرمای حاصل را جذب کند. آب در نتیجه‌ی این گرما بخار می‌شود و این بخار می‌تواند مولدهای برق را به کار اندازد. واکنش‌های زنجیره‌ای که در حین شکافت هسته‌ای صورت می‌گیرند، قابل کنترل‌اند و آهنگ واکنش را می‌توان کند، تند یا متوقف کرد.

از نظر اقتصادی تولید برق از طریق انرژی هسته‌ای نسبت به سایر منابع انرژی با صرفه‌تر ولی سرمایه‌گذاری اولیه آن بیشتر است.

استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق از حدود ۴۵ سال پیش آغاز شده است. امروزه حدود ۴۴۰ نیروگاه هسته‌ای در ۳۱ کشور جهان در حال فعالیت هستند و قرار است تعداد نیروگاه‌های



شکل ۱۰-۱۲- مصرف انرژی هسته‌ای در جهان

هسته‌ای از ۴۴۰ به ۱۵۰۰ افزایش یابد تا حدود ۲۰ درصد از حجم گازهای گلخانه‌ای کاسته شود.

آشنایی با فناوری هسته‌ای و امکان استفاده از این فناوری، توان و ظرفیت صنعتی کشور را در سایر بخش‌ها مانند کشاورزی، پزشکی، صنعت و... افزایش می‌دهد. توانایی تولید الکتریسیته فراوان و حذف آلاینده‌های زیان‌باری چون  $CO_2$ ،  $SO_2$  و حفظ میلیاردها

تن از ذخایر زغال‌سنگ و نفت و گاز طبیعی از سایر مزایای انرژی هسته‌ای است. یک کیلوگرم سوخت اتمی معادل ۳۰۰۰ تن زغال‌سنگ، انرژی تولید می‌کند.

در این راستا، کشور عزیز ما، جمهوری اسلامی ایران، با توجه به نیاز برنامه‌های توسعه‌ی کشور به انرژی، افزایش جمعیت، کاهش ذخایر فسیلی، ملاحظات زیست محیطی، مزایای فنی و اقتصادی، الزامات ملی و قانونی در جهت سیاست‌های کلی نظام، فعالیت‌های صلح‌آمیز هسته‌ای را مورد توجه جدی قرار داده است. به طوری که غنی‌سازی اورانیوم با کوشش و مجاهدت جوانان ایرانی و با تکیه بر دانش بومی، کشور ما را به عنوان یک رویداد بزرگ تاریخی وارد باشگاه هسته‌ای جهان نموده است. انرژی خورشیدی: مقدار انرژی که در هر ۱۵ دقیقه، زمین از خورشید دریافت می‌کند، معادل مقدار انرژی مصرفی یک سال همه‌ی کشورهای جهان است. اما دانش امروز، برای مهار کردن این همه انرژی کافی نیست.

آسان‌ترین راه برای دریافت انرژی خورشیدی که از قدیم در کشور ما نیز مرسوم بوده، قراردادن پنجره‌های ساختمان روبه سمت جنوب است، که اگر با عایق‌بندی دقیق خانه‌ها توأم باشد، می‌توان مقدار زیادی از انرژی خورشید را مورد مصرف قرارداد. اما راه دیگر، نصب صفحاتی در پشت‌بام خانه است که عبارت از صفحات سیاه وسیع با پوشش شیشه‌ای هستند. گرمایی که توسط این صفحات دریافت می‌شود، می‌تواند برای گرم کردن آبی که در لوله‌های زیر آن‌ها وجود دارد، مصرف شود.



شکل ۱۱-۱۲- استفاده از انرژی خورشیدی برای ایجاد گرما



شکل ۱۲-۱۲- از کار مجموعه‌ی این دستگاهها، برق تولید می‌شود.

نیازهای محلی را برآورده کند. البته، مشکل سروصدای توربین‌ها و اشغال محل‌های وسیعی که باید در کنار شهرها توربین در آن‌ها ساخته شود نیز وجود دارد.

## منابع معدنی

چنان‌که گفته شد، تولید هر نوع فرآورده‌های صنعتی، به تأمین مقداری مواد طبیعی که از زمین گرفته می‌شوند، نیاز دارد. چنین موادی را **مواد معدنی** می‌نامند.

مواد معدنی، اجسامی هستند که به‌طور طبیعی در سطح یا اعماق زمین قرار دارند و ممکن است به‌صورت جامد، مایع یا گاز باشند. بعضی از مواد معدنی جزو کانی‌ها هستند. اما مواد دیگری هم وجود دارند که ممکن است از ترکیب چندین کانی با درصد‌های مختلف تشکیل شده باشند. به محلی هم که این نوع مواد قابل استخراج و دارای ارزش اقتصادی در آن‌ها یافت می‌شود، **کانسار** می‌گویند.

۹۸ درصد پوسته‌ی زمین، فقط از ۸ عنصر تشکیل شده است و به‌جز اکسیژن و سیلیسیم، بقیه‌ی عناصر درصد اندکی دارند. با این ترتیب، منابع طبیعی، بسیار کم‌یابند. گذشته از آن، اگر درجایی هزینه‌ی استخراج یک ماده، از درآمد آن بیش‌تر باشد، چنین عملی را مجاز نمی‌دانند. با این ترتیب، لازم است مقدار درصد ماده‌ی موردنظر در زمینه‌ی سنگ (که به آن باطله گفته می‌شود)، از حد معینی بالاتر باشد. مثلاً فلز مس، فقط ۰/۱۳ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. اما اگر قرار باشد درجایی سنگ معدن مس یافت شود و آن را مناسب برای استخراج تشخیص دهند، لازم است درصد مس در سنگ، از ۵۰ برابر آن مقدار بیشتر باشد. در عوض، آلومینیم ۸/۱ درصد پوسته را

تشکیل می‌دهد و غلظت آن در سنگ، تنها باید ۴ برابر آن مقدار باشد. گذشته از آن، وضع بازار و میزان تقاضا برای یک ماده هم در تصمیم‌گیری برای استخراج، اثر می‌گذارد. حتی نوع فن‌آوری و ماشین‌آلات هم می‌تواند در این میان نقش داشته باشد.

**تشکیل منابع معدنی:** زمین‌شناسان در طول سال‌ها، به دنبال پاسخ این سؤال بوده‌اند که مواد معدنی چگونه در یک جا جمع می‌شوند و چرا در همه جا به یک نسبت وجود ندارند. بدون تردید، تشکیل منابع معدنی، با چرخه‌ی سنگ در ارتباط است و مکانیسم‌هایی که سنگ‌های مختلف آذرین، دگرگون‌شده و رسوبی را می‌سازند، در تجمع مواد معدنی هم نقش دارند.

۱- فعالیت‌های آذرین: بعضی از مواد از قبیل طلا، نقره، مس، جیوه، سرب، پلاتین و نیکل، در اثر انجام فعالیت‌های ماگمایی تجمع می‌یابند.

فرآیندهای آذرین که این نوع منابع فلزی را پدید می‌آورند، مشخص‌اند. مثلاً، وقتی حجم عظیمی از ماگما سرد شود، فلزات سنگینی که متبلور می‌شوند، مایلند در قسمت پایین محفظه‌ی ماگما رسوب کنند. این نوع تفریق ماگمایی را به‌ویژه در ماگماهای بازالتی می‌توان ردیابی کرد.

تفریق ماگمایی، در مراحل آخر سرد شدن هم اهمیت دارد. این فرآیند، به‌ویژه در مورد ماگماهای گرانیتی مصداق دارد، زیرا در آن‌ها، ماده‌ی مذاب باقی‌مانده، ممکن است سرشار از فلزات سنگین و عناصر کمیاب شود. گذشته از آن، چون آب و مواد تبخیرشدنی دیگر، همراه مواد اصلی متبلور نمی‌شوند، درصد بالایی از بخش مذاب مانده‌ی ماگما را در آخر کار تشکیل می‌دهند و در این محیط، که آزادی تحرک برای یون‌ها فراهم است، ممکن است در آخر، بلورهایی بسیار درشت پدید آیند و سنگ‌های پگماتیتی شکل بگیرند. پگماتیت‌ها در اصل، گرانیتی هستند، اما بلوره‌های درشت کوارتز، فلدسپات و میکا دارند. از فلدسپات، می‌توان در صنایع سرامیک استفاده کرد و میکای سفید، همان طلق‌سوز است و در صنایع الکتریکی کاربرد دارد. گذشته از آن، ممکن است جواهرات قیمتی چون زمرد، یاقوت و تورمالین و همچنین عناصری چون اورانیم و سزیم نیز در این میان به‌وجود آیند. محلول‌های هیدروترمال هم می‌توانند منشأ بعضی از رگه‌های فلزی باشند که در آخر فرآیندهای ماگمایی در لابه‌لای سنگ‌های دیگر تزریق می‌شوند. در طول سرد شدن ماگما، یون‌های فلزی مختلف به‌همراه مایعات در بالای محفظه‌ی ماگما جمع می‌شوند و به‌سبب تحرک، می‌توانند در سنگ‌ها نفوذ کنند و در آنجا منجمد شوند. رگه‌های طلا، نقره و جیوه به این شکل تشکیل می‌شوند.

۲- فعالیت‌های دگرگونی: فرآیندهای دگرگونی، به‌ویژه نوع مجاورتی آن، در ایجاد منابع معدنی تأثیر دارند. سنگ‌های مجاور توده‌ی آذرینی که بالا می‌آید، تبلور مجدد یافته و تحت تأثیر فشار،



شکل ۱۳-۱۲. نهشته‌های گرمایی به صورت رگه در اطراف اتاقک ماگمایی

حرارت، محلول‌های فعال حاصل از ماگما، ترکیب شیمیایی اولیه را از دست می‌دهند. در این مناطق، کانی‌های پرازشی چون گرونا و کوندوم پدید می‌آیند. از انجام واکنش‌های شیمیایی در این محل‌ها، مقدار زیادی گاز دی‌اکسید کربن نیز حاصل می‌آید که مهاجرت رو به خارج

یون‌های فلزی را آسان می‌کند. به همین علت، در کنار اغلب مواد آذرین نفوذی که به میان تشکیلات آهکی راه می‌یابند، منابع فلزی وجود دارد. از جمله کانی‌های فلزی که نتیجه‌ی دگرگونی مجاورتی محسوب می‌شوند، می‌توان به اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و مانیتیت اشاره کرد. در محل‌های فرورانش نیز که دگرگونی ناحیه‌ای صورت می‌گیرد و رسوبات به اعماق زمین برده می‌شوند، کانی‌های غیرفلزی مانند تالک و گرافیت تشکیل می‌شوند.

**هوازدگی:** فرآیند هوازدگی می‌تواند کانی‌های پرازشی را در یک‌جا متمرکز کند. اگر هوازدگی شیمیایی (تأثیر  $O_2$  یا  $CO_2$  و ... بر سنگ‌ها) با عمل نفوذ آب‌های زیرزمینی توأم شود، مواد موجود در سنگ، از یکدیگر تفکیک خواهند شد و مواد پرازش، در بالا می‌مانند، یا برعکس، به قسمت‌های پایین خاک برده می‌شوند.

**بوکسیت،** یعنی ترکیب مهم آلومینیم دار، به همین صورت حاصل می‌آید. بوکسیت، در مناطق پرباران و گرم استوایی تشکیل می‌شود، زیرا آلومینیم ماده‌ای بسیار نامحلول است.

● با آن‌که آلومینیم در پوسته‌ی زمین فراوان است، چرا معادن این فلز کمیاب‌اند؟

### بیشتر بدانید

به جز فلزات، مواد غیرفلزی زیادی هم وجود دارند که در صنایع مختلف یا مصارف دیگر، به کار می‌روند. مقدار مصرف سالانه‌ی این مواد هم بسیار زیاد است.

۱- مصالح ساختمانی: ماسه و شن که در ساختمان‌سازی به کار می‌روند، ارزش زیادی

دارند و هرکس که بخواهد ساختمانی بسازد، به آن‌ها نیازمند است. گچ، خاک رس و سیمان هم که از سنگ آهک و شیل تهیه می‌شود، از این جمله‌اند. توجه داشته باشید که برای ساختن یک خانه‌ی دوطبقه‌ی معمولی، حدود یک صدتن مصالح ساختمانی مورد مصرف دارد.

۲- **کانی‌های صنعتی:** گروهی از مواد معدنی هم در ساختن فرآورده‌های مختلفی کاربرد دارند.

**کودهای شیمیایی،** موادی هستند که با افزایش جمعیت و استفاده‌های مکرر از زمین‌های کشاورزی، به‌ناچار باید مورد استفاده قرار گیرند. مسلماً در آینده بازهم موارد مصرف آن‌ها زیادت‌ر خواهد شد. کودهای شیمیایی، شامل ترکیباتی چون نترات، فسفات و ترکیبات پتاسیم‌اند که به خاک اضافه می‌شوند. البته، کودهای نیتراتی را در اصل، از نیتروژن اتمسفری تهیه می‌کنند، اما منابع فسفات و پتاسیم، پوسته‌ی زمین است. کانی آپاتیت، در تهیه‌ی فسفات‌ها کاربرد دارد و منبع اصلی پتاسیم را هم نوعی از سنگ‌های تبخیری به نام سیلویت (KCl) تشکیل می‌دهد. گوگرد که در تهیه‌ی کودها، اسیدسولفوریک و غیره کاربرد دارد، از کانی‌های غیرفلزی است.

**نمک طعام** نیز با کاربردهای فراوان آن، که معادن مهمی نیز در کشور دارد، از جمله‌ی همین نوع کانی‌ها محسوب می‌شود.

## بحث کنید

۱- نیاز انسان به منابع معدنی، نه‌تنها رو به کاهش نمی‌گذارد، بلکه در حال فزونی است. حال آن‌که معادن این مواد، روزبه‌روز در حال تخلیه شدن‌اند. در این صورت، یا باید، منابع جدیدی را از نقاط دوراز دسترس، مانند بستر دریاها و زیر یخ‌های قطبی یافت، یا آن‌که به مصرف کمتر و مسئله بازیافت متوسل شد. به نظر شما، چه راه‌هایی برای استفاده‌ی عاقلانه‌تر از این مواد وجود دارد؟

۲- در اختیار داشتن منابع ماده و انرژی برای پیشرفت و توسعه کشورها مهم‌تر است یا برخورداری از دانش فنی برای استفاده از آن‌ها؟ ...

