



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت آموزش عالی  
تیم تخصصی

# علوم زمین

دوره پیش دانشگاهی

رشته علوم تجربی



منابع کنکور

معرفی شده از سوی سازمان سنجش آموزش کشور

۲۹۱/۱

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# علوم زمین

دوره پیش دانشگاهی

رشته علوم تجربی

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

نام کتاب: علوم زمین - ۲۹۱/۱

بازنگری و اصلاح: خدیجه امانی، علیرضا امری کاظمی، پرویز انصاری راد، محمد حسن بازوبندی، سهیلا بوذری،

هاله تیمورزاده، فرزانه رجایی، ژیلارنجیر و مریم عابدینی

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

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

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

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۹۲۶۶۰۸۸۳، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

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

مدیر امور فنی و چاپ: سید احمد حسینی

طراح جلد: علیرضا رضائی‌کُر

رسام: مریم دهقان‌زاده

صفحه‌آرا: زهره بهشتی شیرازی

حروفچین: کبری اجابتی

مصحح: سیف‌الله بیگ محمددلیوند، حسین چراغی

امور آماده‌سازی خبر: زینت بهشتی شیرازی

امور فنی رایانه‌ای: حمید ثابت کلاچاهی، مریم دهقان‌زاده

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

تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

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

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ شانزدهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.



اساس عالم بر تربيت انسان است. انسان عصاره همۀ 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 (رحمة الله عليه)



## فهرست

۱	فصل ۱- جایگاه زمین در فضا
۱۹	فصل ۲- ساختمان درونی زمین
۳۴	فصل ۳- زمین ساخت ورقه‌ای
۵۱	فصل ۴- زمین لرزه
۶۲	فصل ۵- آتشفشان‌ها و فرآیندهای آتشفشانی
۷۲	فصل ۶- ساخت‌های تکتونیکی و کوه‌زایی
۷۹	فصل ۷- شواهدی در سنگ‌ها
۹۵	فصل ۸- تحولات گذشته
۱۰۶	فصل ۹- رسم نقشه
۱۲۱	فصل ۱۰- زمین در خدمت انسان

## دانش آموزان عزیز

هدف از مطالعه درس علوم زمین، دو چیز است :

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

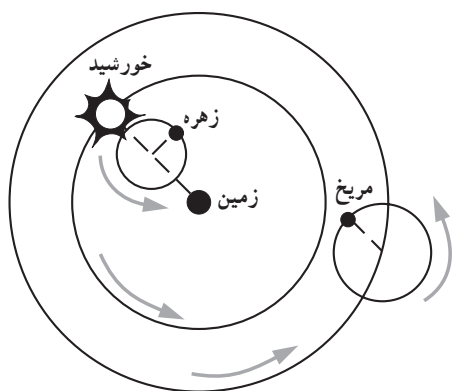
– برای ورود به رشته های وابسته دانشگاهی آماده شوید.

با نگاهی به عناوین و فصل های کتاب و آنچه در سال گذشته فرا گرفتید، باید دریافته باشید که حیطه علوم زمین وسیع است و در دانشگاه ها، رشته های متعددی را در ارتباط با آن می توانید انتخاب کنید، و در آنها صاحب تخصص شوید. پایه های اقتصادی کشور ما را علوم زمین تشکیل می دهد 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 می شود : **محتوای علم و روش علم**. مراد از روش علم، چگونگی نگرشی است که دانشمندان در ضمن مطالعه یک رشته از علم دارا هستند. در واقع با مطالعه روش علم، باید دریابید که یک اندیشه علمی چگونه پیدا می شود و چگونه تحول و تکامل می یابد. زمین شناسی، دانشی جدید است و هنوز نکات نامعلوم و مسائل حل نشده بسیاری در آن وجود دارد که دانشمندان درصدد حل آنها هستند. توجه داشته باشید که وقتی مسئله ای مطرح می شود، دانشمند به جمع آوری اطلاعات می پردازد، فرضیه می سازد و سپس فرضیه خود را آزمایش می کند. آنچه مورد توجه و حائز اهمیت است، همین فرایند در روش علمی است که مورد تأکید است. محتوا، آسان حاصل می آید.

به خاطر داشته باشید که علوم زمین را باید در خود طبیعت بیاموزید. باید مشاهده گر دقیقی باشید و همه جا به جست و جوی دلایل بروید. در بیشتر رشته های علوم زمین، تفسیر یافته ها، ما را به واقعیت ها می رساند. هیچ کدام از ما درون زمین را ندیده ایم. از گذشته زمین با استفاده از شواهد و قراین آشنا شده ایم و با آنکه خودمان پا را از کره زمین فراتر نگذاشته ایم، اطلاعات خوبی را درباره دنیاهای ماورای زمین حاصل آورده ایم. از این رو، تأکید می کنیم که شما نیز چنین روشی را در مطالعه علوم زمین و سایر رشته های علم در پیش بگیرید.

# جایگاه زمین در فضا



شکل ۱-۱- نظریه زمین مرکزی

نخستین دانشمندانی که در آسیای صغیر زندگی می‌کردند و با تمدن‌های مصر و بین‌النهرین در تماس بودند، در توسعه دانش نجوم تأثیر عمده‌ای داشتند. یکی از پرسش‌هایی که پیوسته ذهن آنها را به خود مشغول داشت این بود که منظومه شمسی چگونه شکل گرفته است؟ اولین بار بطلمیوس، دانشمند یونانی نظریه زمین مرکزی را ارائه داد. بر طبق این نظریه، خورشید و سایر سیارات منظومه شمسی به دور زمین در حرکت اند (شکل ۱-۱). نظریه زمین مرکزی تا قرن شانزدهم

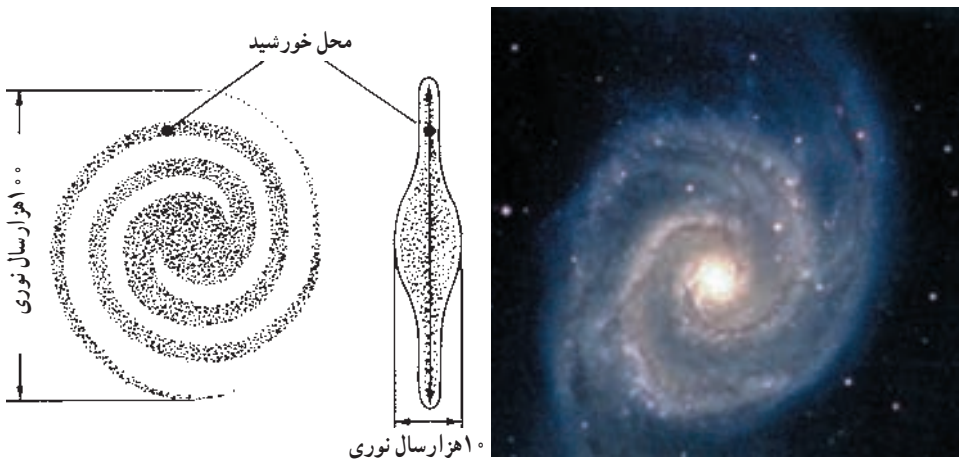
میلادی حاکم بود. پس از آن در سال ۱۵۴۳ میلادی نیکلاس کوپرنیک نظریه خورشید مرکزی را مطرح کرد که در آن، زمین همراه با پنج سیاره دیگر به دور خورشید گردش می‌کنند. در سال ۱۶۰۵ یوهان کپلر مدار چرخش سیارات را به کمک مطالعات پیشین تیکو براهه محاسبه کرد. وی با مطالعات بیشتر بر روی مدار چرخش زمین بی برد که مدار چرخش، بیضی نزدیک به دایره است. گالیله در سال ۱۶۱۰ میلادی با تلسکوپ خود، چهار قمر مشتری را کشف کرد و توضیح داد که چگونه زمین می‌تواند به دور خورشید بچرخد. این دوره به دوره نجوم نوین (کهکشانی) معروف است.

## کهکشان

سیاره زمین در منظومه شمسی که خود جزئی از کهکشان راه شیری به شمار می‌رود، قرار دارد. هر کهکشان از گردآمدن تعداد زیادی ستاره، فضای بین ستاره‌ای، سیارات و گرد و غبار و سایر اجرام آسمانی تشکیل شده است که تحت تأثیر نیروی گرانش متقابل با یکدیگر، نگه داشته شده‌اند.



بیش از یکصد میلیارد کهکشان وجود دارد و هر کهکشان از میلیاردها ستاره مانند خورشید تشکیل شده است. همه ستاره‌هایی که شب هنگام در آسمان مشاهده می‌کنیم، در کهکشان راه شیری قرار دارند. کهکشان راه شیری از پهلو شبیه عدسی محدب و از بالا دارای بازوهای مارپیچی است (شکل ۱-۲). قطر آن یکصد هزار و ضخامت آن حدود ده هزار سال نوری است که مانند چرخ بزرگ به دور خودش می‌چرخد. منظومه شمسی در یکی از بازوهای آن و در فاصله حدود سی هزار سال نوری از مرکز کهکشان واقع شده است. خورشید و ستارگان نزدیک ما با سرعت  $240^\circ$  کیلومتر در ثانیه، حول مرکز کهکشان در حرکت‌اند؛ اما به علت عظمت کهکشان  $200^\circ$  میلیون سال طول می‌کشد تا خورشید یک بار به دور مرکز آن بچرخد.



شکل ۱-۲- یک کهکشان مارپیچ از نوع کهکشان راه شیری

## ستارگان

با آنکه ستارگان را هر شب در آسمان مشاهده می‌کنیم، اطلاعات زیادی درباره آنها نمی‌دانیم. در واقع ستارگان چنان از ما دورند که حتی در قوی‌ترین تلسکوپ‌ها هم جز یک نقطه نورانی، چیزی از آن پدیدار نیست؛ آیا همه ستاره‌ها یک اندازه‌اند؟ آیا روشنایی و فاصله آنها از زمین به یک اندازه است؟

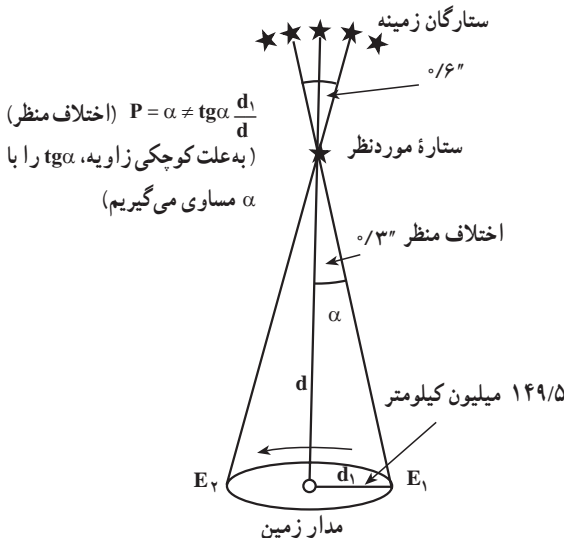
## ویژگی‌های ستارگان

اخترشناسان با به کارگیری ابزارهای مناسب برای مشاهده ستارگان و با اطلاع از قوانین و اصول فیزیک، شیمی و ریاضیات دانش فراوانی درباره ستارگان به دست آورده‌اند. درباره روش‌های کار آنان

در قسمت های بعدی توضیح خواهیم داد، ولی شما می توانید خود با مطالعات بیشتر، آگاهی زیادتری از آنها به دست آورید.

**فاصله:** اندازه فاصله میان زمین و حدود  $6000$  ستاره ای که در نزدیکی زمین واقع اند، با استفاده از روشی به نام **اختلاف منظر** (Parallax) محاسبه می شود (شکل ۳-۱). البته باید توجه داشت که حتی برای نزدیک ترین ستاره ها هم مقدار جابه جایی ظاهری در فضا کم است و در مقایسه، از اندازه قطر یک سکه که از فاصله یک کیلومتری به آن نگاه شود بیشتر نیست. به همین سبب این روش برای تعیین فاصله ستارگان دور دست عملی نیست.

فاصله متوسط زمین از خورشید برابر  $150$  میلیون کیلومتر است که برابر با یک واحد ستاره شناسی (واحد نجومی) انتخاب می شود. فاصله نزدیک ترین ستاره به ما، بعد از خورشید، یعنی قنطورس نزدیک (Proxima centaury) برابر  $27$  هزار واحد ستاره شناسی است؛ از آنجا که فاصله ستارگان با ما و نیز با ستارگان دیگر فوق العاده زیاد است، برای تعیین این فواصل از واحد دیگری به نام سال نوری (فاصله ای که نور در طول یک سال طی می کند) استفاده می شود<sup>۱</sup> و این فاصله نزدیک به  $10^{12}$  تریلیون کیلومتر است ( $9.46 \times 10^{12}$  km). با این واحد، فاصله خورشید تا زمین حدود  $8$  دقیقه نوری است.

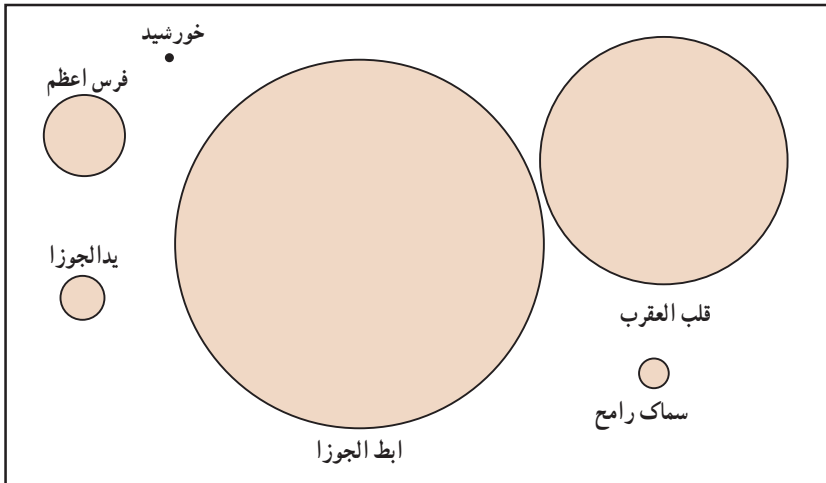


شکل ۳-۱- اخترشناس، شعاع مدار زمین به دور خورشید را به عنوان قاعده یک مثلث فرضی در نظر می گیرد و در فاصله ۶ ماه، از دو نقطه مختلف این مدار ستاره مورد نظرش را رصد می کند. بدیهی است که این ستاره، در زمینه ای از ستارگان دور دست تر، مقداری جابه جا می شود. با اندازه گیری این مقدار جابه جایی ستاره و تعیین فاصله دو نقطه از مدار زمین که محل رصد بوده اند، ناظر می تواند فاصله ستاره تا زمین را محاسبه کند.

۱- ستاره شناسان واحد دیگری نیز برای اندازه گیری مسافت دارند که پارسک (Parsec) نام دارد. نقطه ای که اختلاف منظرش یک ثانیه باشد، در فاصله  $3.26 \times 10^{13}$  کیلومتری آن قرار می گیرد، این فاصله را معادل یک پارسک در نظر می گیرند.

**بزرگی و چگالی:** ستارگان از لحاظ بزرگی بسیار مختلف اند. کوچک ترین آنها کمی از زمین بزرگ تر است و بزرگ ترین آنها که تاکنون شناخته شده به نام **گیرنده عنان**، قطری در حدود ۳/۲ میلیارد کیلومتر دارد، یعنی حدود ۲۳۰۰ برابر قطر خورشید. اگر این ستاره در مرکز منظومه شمسی قرار داشت، تا حدود مدار زحل را دربر می گرفت!

اختلاف در چگالی یا تراکم ستارگان، از تفاوت بزرگی آنها زیادتر است. چگالی ستاره ای به نام **ابط الجوزا** در حدود یک ده میلیونیم تراکم خورشید است؛ یعنی رقیق تر از هر نوع خلأ ممکن که ما می توانیم پدید آوریم. از طرف دیگر ستارگانی از قبیل ستاره همراه شعرای یمانی به نام **کوتوله سفید** وجود دارند که یک سانتی متر مکعب از آنها، اگر در روی زمین باشد، بیشتر از یک تن وزن دارد! چگالی بیشتر ستارگان در بین این دو حد قرار می گیرند.



شکل ۴-۱- ستارگان از لحاظ بزرگی، بسیار مختلف اند.

**نور:** اگر شما با یک نورسنج دوربین عکاسی به طرف چراغ خیابان بروید خواهید دید که عقربه نورسنج درجه بیشتر و بیشتری را نشان می دهد. حال اگر فاصله خود را با چراغ به نصف برسانید مشاهده خواهید کرد که نورسنج مقدار نور را چهار برابر (نه دو برابر) مقدار اولیه نشان می دهد. علت آن است که شدت نور به نسبت عکس مجذور فاصله تغییر می کند (چرا؟). بدین ترتیب، با در دست داشتن فاصله می توان مقدار نور یک چراغ را محاسبه کرد.

از این جهت وضع ستاره ها هم تفاوتی با وضع چراغ های 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 ستاره‌ها، 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).

## منظومه شمسی

منظومه شمسی شامل خورشید، هشت سیاره، سیارک‌ها، قمرها، دنباله‌دارها و... است که به دور مرکز کهکشان راه شیری در حرکت است. درباره منشأ و نحوه پیدایش آن نظرات متعددی مطرح شده است.

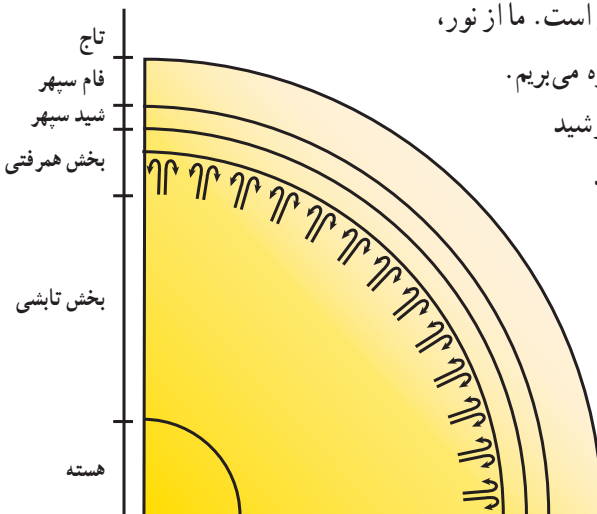
### تحقیق کنید

در مورد منشأ و نحوه پیدایش منظومه شمسی تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.

## خورشید

خورشید، نزدیک‌ترین ستاره به زمین است. ما از نور، حرارت و انرژی خورشید برای زیستن بهره می‌بریم. حدود ۷۵ درصد ترکیب شیمیایی خورشید از هیدروژن، ۲۳ درصد هلیوم و ۲ درصد باقیمانده از ۶۰ عنصر دیگر ساخته شده است.

خورشید ستاره‌ای بسیار فعال است به طوری که تغییرات انرژی در سطح آن، به طور مستقیم بر اتمسفر، شرایط جوی و ارتباطات رادیویی سطح زمین تأثیر می‌گذارد.



شکل ۵-۱- برشی فرضی از ساختمان درونی خورشید

ساختمان خورشید از لایه‌های متعددی تشکیل شده است که از خارج به داخل شامل خرمن (تاج)، فام سپهر (رنگین کره)، شید سپهر (نور کره)، منطقه همرفتی، بخش تابشی و هسته است (شکل ۵-۱).  
 منشأ انرژی خورشید: خورشید انرژی فوق‌العاده زیادی را در فضا پراکنده می‌سازد. دانشمندان به دنبال این حقیقت‌اند که این انرژی عظیم از چه طریقی تأمین می‌شود؟

آیا آن‌چنان 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 متراکم شدن آن می‌شمردند. ولی مطالعات بعدی که توسط اینشتین 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 هر گرم هیدروژن معادل ۰/۰۰۷۲ گرم کاسته می‌شود.

جرم ۴ هسته هیدروژن برابر با ۴/۰۳۰ واحد جرم اتمی است. یک هسته هلیوم، در حدود ۴/۰۰۳ واحد وزن دارد. بدین ترتیب، هنگامی که یک هسته اتم هلیوم از چهار هسته 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 ۴ میلیون تن در ثانیه است! این کار تا چه مدت می‌تواند ادامه یابد؟ جرم کلی خورشید برابر با  $۲ \times 10^{۳۳}$  گرم است. با این ترتیب، خورشید می‌تواند میلیاردها سال دیگر هم به همین ترتیب نورافشانی کند.

## بادهای خورشیدی



شکل ۶-۱ - شفق قطبی

خورشید به طور مداوم ذراتی را با سرعت زیاد به بیرون پرتاب می‌کند. به جریان مواد پرتاب شده، باد خورشیدی می‌گویند. قسمت اعظم باد خورشیدی از ذرات باردار (پروتون و الکترون) تشکیل شده است. بادهای خورشیدی سبب فشرده‌شدن میدان مغناطیسی زمین

در سمت رو به خورشید، اختلال در سیستم‌های ماهواره‌ای، رادارها و ارتباطات رادیویی می‌شود. روشن شدن برخی از مناطق قطبی همراه با درخشش رنگ‌های مختلف در بعضی اوقات نتیجه تشکیل شفق قطبی است که علت آن به دام افتادن ذرات باردار حاصل از بادهای خورشیدی در میدان مغناطیسی زمین و برخورد آنها با گازهای اتمسفر بالای سطح زمین در این مناطق است (شکل ۶-۱).

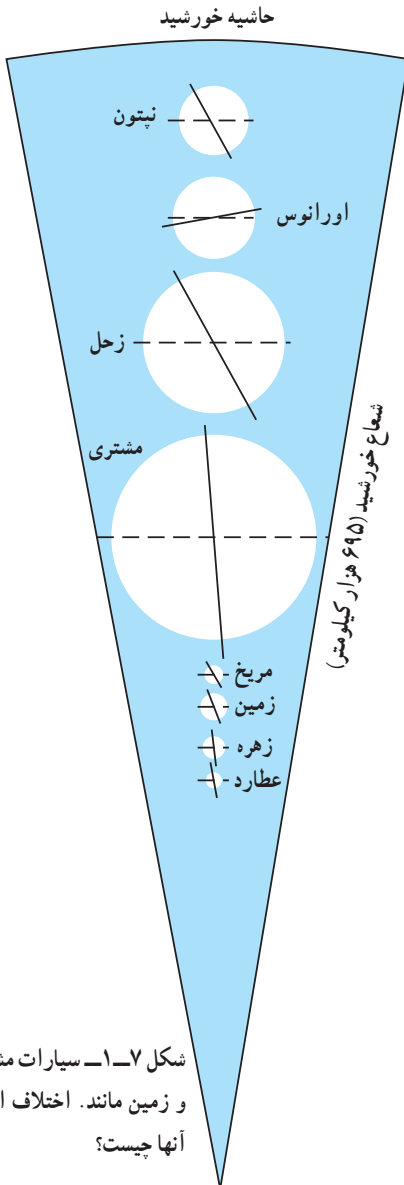
## سیارات منظومه شمسی

سیارات منظومه شمسی از داخل به خارج، شامل عطارد، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس و نپتون است. این سیارات به‌طور کلی به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف) سیارات داخلی (زمین مانند)  
ب) سیارات خارجی (مشتری مانند)

## ترکیب سیارات

موادی که هر دو گروه سیارات را تشکیل می‌دهند، بر اساس نقطه ذوب، به سه گروه گازها، سنگ‌ها و یخ قابل تقسیم‌اند. مواد گازی، آنهایی هستند که نقطه ذوبشان به صفر مطلق (۲۷۳- درجه سانتی‌گراد) نزدیک است و شامل هیدروژن و هلیم‌اند. مواد سنگی را بیشتر، کانی‌های سیلیکاتی و آهن تشکیل می‌دهند. نقطه ذوب این مواد، از ۷۰۰ 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،



شکل ۷-۱- سیارات مشتری‌مانند و زمین‌مانند. اختلاف اساسی بین آنها چیست؟

آمونیاک و متان) دارند. البته، تصور می‌رود که در سیارات مشتری مانند، نیز مواد سنگی و فلزی موجود باشد و این مواد، در هسته 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.



شکل ۹-۱- زحل و چهار عدد از اقمار آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).

شکل ۸-۱- مشتری و چهار قمر بزرگ آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).

### مشخصات برخی اجزاء منظومه شمسی

نپتون	اورانوس	زحل	مشتری	مریخ	ماه	زمین	زهره	عطارد	خصوصیات
۳/۵	۳/۷	۹/۵	۱۱/۲	۰/۵۳	۰/۲۷	۱/۰	۰/۹۶	۰/۳۸	قطر
۴۲	۵۰	۷۶۹	۱۳۱۸	۰/۱۵	۰/۰۲	۱/۰	۰/۸۸	۰/۰۶	حجم
۱۷	۱/۵	۹۵	۳۱۸	۰/۱	۰/۰۱	۱/۰	۰/۸۱	۰/۰۵	جرم
۱/۵	۱/۰	۱/۱	۲/۶	۰/۴	۰/۱۶	۱/۰	۰/۹	۰/۴	جاذبه
۱۶۴/۸	۹۴	۲۹/۵	۱۱/۹	۱/۹	-	۱/۰	۰/۶۲	۰/۲۴	گردش انتقالی
۰/۶۵	۰/۴۵*	۰/۴۳	۰/۴۱	۱/۰	۲۷/۳	۱/۰	*۲۴۳	۵۸	گردش وضعی
۳۰/۰۷	۱۹/۱۸	۹/۵۴	۵/۲	۱/۵۲	۱/۰	۱/۰	۰/۷۲	۰/۳۹	فاصله از خورشید
۲/۲۵	۱/۶	۰/۷	۱/۳	۴/۰	۳/۳	۵/۵	۵/۱	۵/۴	وزن حجمی

\* حرکت به عقب

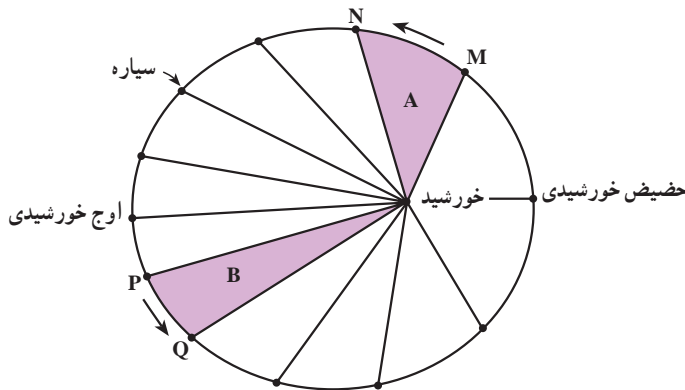
تعداد اقمار	۰	۰	۱	۰	۲	۱۵+ حلقه	۱۷+ حلقه	۵	۲
میانگین دما (کلوین)	۹۶۰	۶۰۰	۲۸۷	۳۰۰	۲۸۵	۱۳۵	۱۲۰	۹۰	؟
ترکیب احتمالی	$\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{O}_2$				$\text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2, \text{NH}_3$	$\text{NH}_3, \text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$
اتمسفر	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$				$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2$

## حرکات سیارات

وقتی که کوپرنیک فرضیه خورشید مرکزی را ارائه داد، تصور می کرد که سیارات در مدارهای دایره مانند به دور خورشید می گردند. اما در اوایل قرن هفدهم، یک ریاضیدان آلمانی به نام یوهان کپلر، با مطالعات دقیق خود ابراز داشت که مدار سیارات بیضی شکل است نه دایره مانند. 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.

۲- هر سیاره، چنان به دور خورشید می گردد که خطی که سیاره و خورشید را به هم وصل می کند، در زمان های مساوی، مساحت های مساوی ایجاد می کند (شکل ۱-۱۰).



شکل ۱-۱۰- طبق قانون دوم کپلر، مساحت این ۱۲ قسمت، مساوی است.

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

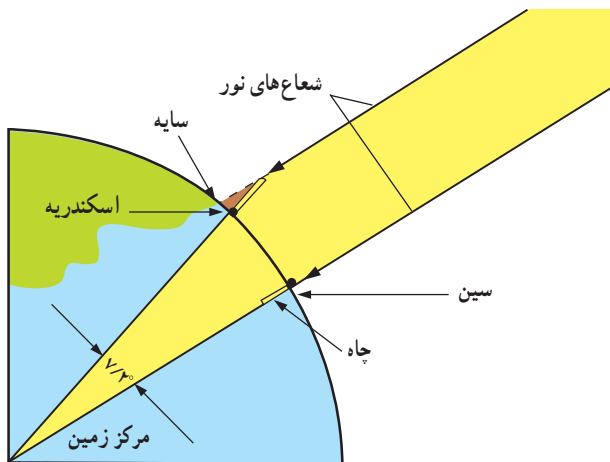
## سیاره زمین

زمین سومین سیاره از نظر نزدیکی به خورشید است و از نظر بزرگی پنجمین سیاره محسوب می‌شود. در گذشته تصور بر این بود که زمین مسطح است. برای اولین بار ارسطو و سپس فیثاغورث (۵۸۰-۴۹۷ ق.م) کروی بودن زمین را مطرح کردند. در حدود ۲۳۰ سال قبل از میلاد، یکی از دانشمندان یونانی به نام اراتوستن، توانست کرویّت زمین را به اثبات برساند. او با مطالعه کتابی در کتابخانه شهر اسکندریه، خوانده بود که در ظهر یک روز معین از سال، ته‌چاهی عمیق در شهر سین (آسوان امروزی در کشور مصر) روشن می‌شود. از آنجایی که چاه به صورت عمود در زمین حفر می‌شود، اراتوستن چنین استدلال کرد که خورشید باید در آن روز، به شهر سین عمود بتابد و با توجه به اینکه پرتوهای خورشید موازی‌اند، دو فرضیه زیر را مطرح نمود:

۱- اگر زمین مسطح باشد، باید در همان زمان که خورشید به شهر سین عمود می‌تابد، در شهر اسکندریه و سایر نقاط نیز قائم بتابد و اجسام سایه نداشته باشند.

۲- اگر زمین کروی باشد، باید در همان زمان، در سایر مناطق اجسام سایه‌هایی با طول‌های متفاوت داشته باشند؛ یعنی خورشید به سایر نقاط مایل بتابد.

اراتوستن برای بررسی فرضیه‌های خود در شهر اسکندریه ستونی به‌طور قائم نصب کرد و در همان روز و ساعتی که اشعه خورشید در شهر سین عمود می‌تابید، متوجه سایه ستون در شهر اسکندریه



شکل ۱۱-۱- نحوه کار اراتوستن

شد. وی با اندازه‌گیری سایه توانست زاویه تابش خورشید در شهر اسکندریه را به دست آورد که این مقدار  $7/2^\circ$  بود. بنابراین، او علاوه بر اثبات کرویت زمین، محیط آن را نیز محاسبه کرد (شکل ۱۱-۱). فاصله شهر سین تا اسکندریه برابر با ۵۰۰۰ استادیوم (واحد اندازه‌گیری مسافت در آن زمان) بود. از آنجایی که زمین کروی است و در یک کره، اندازه زاویه مرکزی با کمان روبه‌روی آن، برابر است، بنابراین، زاویه اندازه‌گیری شده با فاصله شهر سین تا اسکندریه برابر است. با توجه به اینکه دایره  $36^\circ$  است اراتوستن با استفاده از تناسب زیر، محیط زمین را محاسبه کرد.

$$\frac{7/2^\circ}{36^\circ} = \frac{\text{استادیوم } 5000}{x} \Rightarrow x = 250000 \text{ استادیوم}$$

در گزارش‌های مختلف هر استادیوم را معادل ۱۵۷، ۱۸۵ و  $210$  متر نوشته‌اند، احتمالاً اراتوستن اندازه استادیوم را معادل ۱۵۷ در نظر گرفته بود که بر این اساس، محیط زمین برابر است با:

$$250,000 \times 157 = 39250,000 \text{ m} = 39250 \text{ km}$$

این عدد به مقدار واقعی آن ( $40000 \text{ km}$ ) که با محاسبات امروزی به دست آمده است، بسیار نزدیک است.

### بیشتر بدانید

اندازه‌گیری شعاع کره زمین به وسیله ابوریحان بیرونی

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

بیرونی زاویه  $\alpha$  را از انحنای افق بر قلّه کوهی به وسیله یک اسطرلاب رصد کرد و از این راه مقدار انحنای را ۳۴ دقیقه به دست آورد. او ارتفاع کوه را  $652/06$  ذراع (یک ذراع =  $49/3$  سانتی‌متر) یا  $321/46$  متر محاسبه کرد.

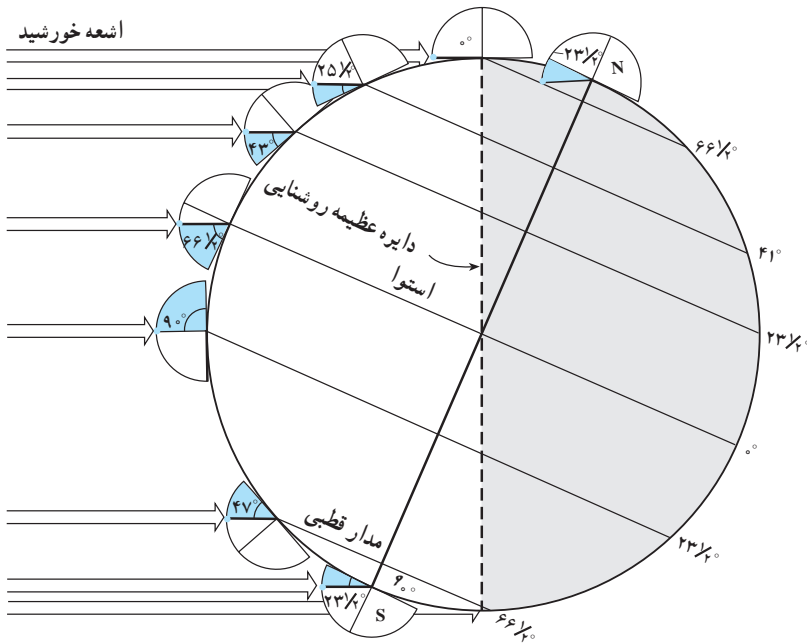
بیرونی مطابق با فرمول زیر، شعاع کره زمین را محاسبه و اندازه آن را معادل  $6340$  کیلومتر به دست آورد. بنابر محاسبات امروزی، سطح زمین بیش از  $15^\circ$  میلیون کیلومتر مربع، حجم آن در حدود  $1100$  میلیون کیلومتر مکعب، شعاع آن  $6371$  کیلومتر، شعاع قطبی  $6357$  کیلومتر و شعاع استوایی آن  $6378$  کیلومتر می‌باشد.

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

## حرکات زمین

کره زمین دارای حرکت وضعی و انتقالی است. چرخش زمین به دور محورش را حرکت وضعی می‌گویند. این چرخش در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت است و در مدت زمان حدود ۲۴ ساعت انجام می‌شود.

شب و روز بر اثر حرکت وضعی به وجود می‌آید. انحراف  $23\frac{5}{8}$  درجه‌ای محور زمین نسبت به سطح مدار گردش زمین به دور خورشید، سبب ایجاد اختلاف مدت زمان روز و شب در عرض‌های جغرافیایی مختلف می‌شود. به طوری که در مناطق استوایی طول مدت روز و شب در تمام مدت سال با هم برابر (۱۲ ساعت روز و ۱۲ ساعت شب) است و با افزایش عرض جغرافیایی این اختلاف بیشتر می‌شود.

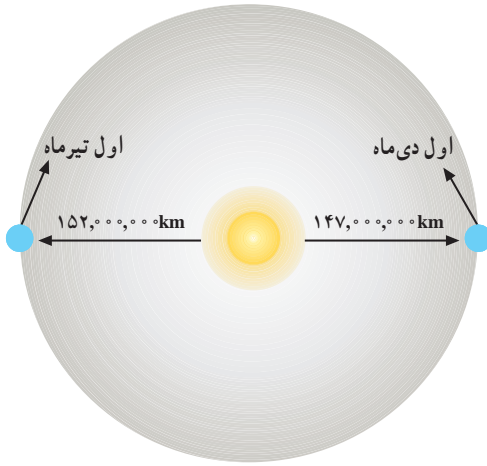


شکل ۱۲-۱. مقدار انحراف محور زمین و تأثیر آن در مقدار زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف

به چرخش زمین بر روی مدار بیضوی به دور خورشید، حرکت انتقالی گفته می‌شود که در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت یکسان انجام می‌شود.

میانگین فاصله خورشید از زمین حدود  $150$  میلیون کیلومتر است که به آن، یک واحد نجومی

می‌گویند. البته این مقدار در اول تیر ماه به حداکثر مقدار خود یعنی ۱۵۲ میلیون کیلومتر و در اول دی ماه به حداقل خود، یعنی حدود ۱۴۷ میلیون کیلومتر می‌رسد.

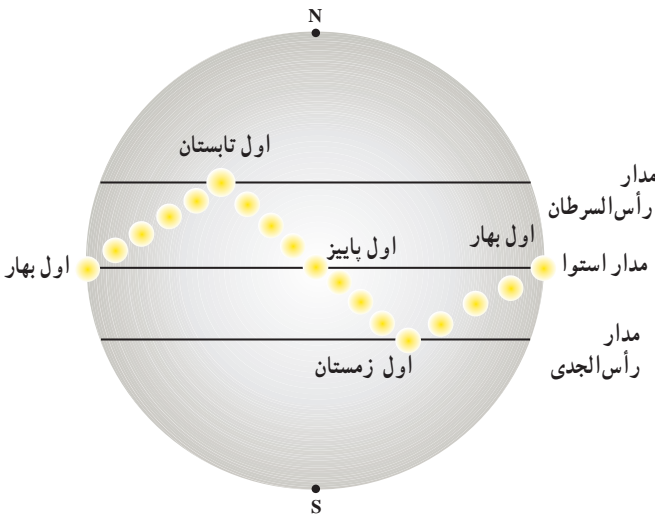


شکل ۱۳-۱- موقعیت زمین نسبت به خورشید ثابت نیست.

### تحقیق کنید

با توجه به فاصله حداکثر زمین تا خورشید در اول تیر و فاصله حداقلی در اول دی ماه، علت گرمای تیرماه و سرمای دی ماه چیست؟

پیدایش فصل‌ها حاصل حرکت انتقالی زمین و انحراف  $23/5$  درجه‌ای محور زمین است؛ به علت کروی بودن زمین، زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف، در یک زمان، متفاوت است. همچنین به علت انحراف محور زمین، زوایای تابش خورشید در یک عرض جغرافیایی نیز در طول سال تفاوت دارد. این تفاوت زاویه، سبب ایجاد فصل‌ها در نقاط مختلف کره زمین شده است (شکل ۱۴-۱).



شکل ۱۴-۱- موقعیت فرضی خورشید نسبت به زمین

حرکت زمین و زاویه انحراف محور آن به گونه‌ای است که می‌توان موقعیت خورشید را نسبت به زمین به صورت شکل (شکل ۱۴-۱) تصور کرد.

بر اساس شکل صفحه قبل در ابتدای بهار خورشید بر مدار استوا عمود می‌تابد و در طول بهار بر عرض‌های جغرافیایی بالاتر در نیمکره شمالی عمود می‌تابد به طوری که در آخر خرداد و اول تیرماه حداکثر بر مدار رأس السرطان تابش قائم دارد. سپس در طول تابستان بر مدارهای کمتر از  $23/5$  درجه شمالی، قائم است و مجدداً اول پاییز بر استوا و در ادامه در شش ماهه دوم سال، بر عرض‌های جغرافیایی صفر تا  $23/5$  درجه جنوبی قائم می‌تابد.

### ماه، نزدیک‌ترین همسایه ما

کره 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 شهاب سنگ‌ها با سطح این کره‌اند. قطر دهانه 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.



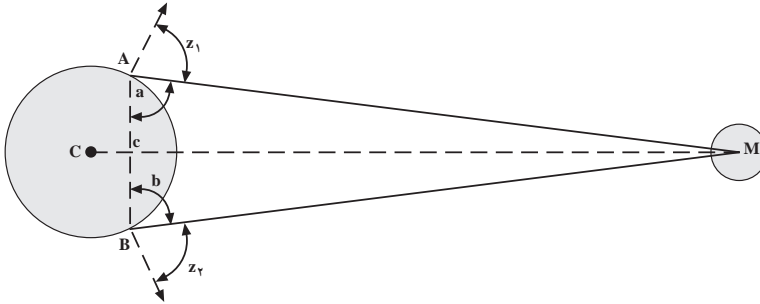
شکل ۱۵-۱- تصویری که در سال ۱۹۶۹ از سطح ماه گرفته شده است. شکل ۱۶-۱- منظره پشت ماه (این منظره از سطح زمین دیده نمی‌شود).

### فاصله ماه تا زمین

به علت بیضی بودن مدار گردش ماه به دور زمین، فاصله آن تا زمین هر لحظه در تغییر است (کمترین فاصله  $360000$  کیلومتر و بیشترین فاصله  $404800$  کیلومتر است).

تعیین دقیق فاصله ماه تا زمین، به سال  $1590$  برمی‌گردد که توسط تیکوپرا هه اخترشناس دانمارکی صورت گرفت. او دونفر را در دو نقطه مختلف قرارداد تا به طور همزمان زاویه ماه را با سطح

افق اندازه بگیرند (شکل ۱۷-۱). براهه، فاصله مکانی آن دونفر را تعیین کرده بود (قاعده مثلث). در این صورت، با استفاده از روابط مثلثاتی می توان مقدار زاویه سوم، و طول وتر آن را که همان فاصله ماه تا زمین است، تعیین کرد.



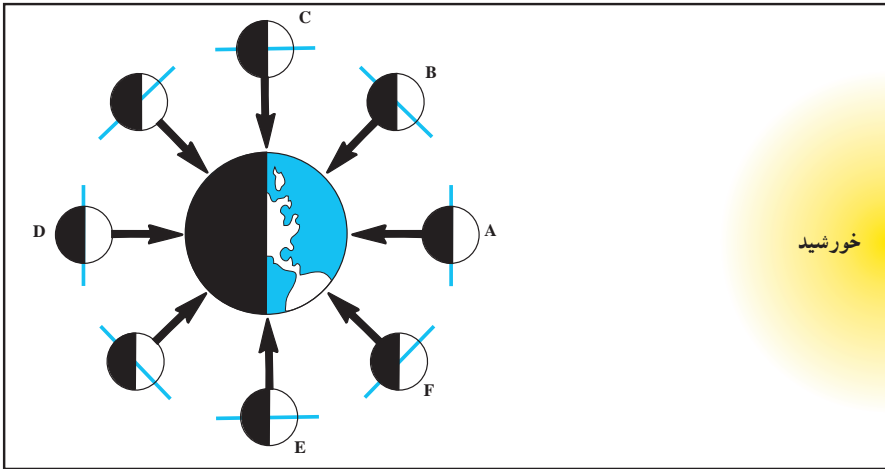
شکل ۱۷-۱- طرز تعیین فاصله ماه تا زمین به روش تیکوبراهه

● امروزه با استفاده از اشعه لیزر و رادار، که به سطح ماه رفت و برگشت داده می شود، می توانند به طور دقیق فاصله ماه تا زمین را تعیین کنند. زمان رفت و برگشت امواج تا ماه (با سرعت نور) به طور متوسط ۲/۵ ثانیه است. در این صورت، فاصله ماه تا زمین چه مقدار خواهد بود؟

## أَهْلَةُ قَمَر

آن مقدار از سطح ماه که توسط آفتاب روشن می شود و ما از سطح زمین آن را مشاهده می کنیم 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 می ماند. در هنگامی که ماه در موقعیت A (شکل ۱۸-۱) 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 می توان دید که شب به شب، به علت جابه جایی ماه، پهن تر می شود و سرانجام ۷ روز بعد به نیمی از سطح روشن می رسد که آن را در اصطلاح تربیع اول گویند. وقتی که ماه در موقعیت D است، تمام سطح روبه زمین آن روشن است. اکنون، چهاردهم ماه یا حالت بدر است. البته برای مشاهده حالت بدر، ما باید در فاصله خورشید و ماه قرار داشته باشیم. به همین سبب، طلوع ماه در این هنگام با غروب خورشید کمابیش هم زمان است.

هفت روز بعد، ماه به موقعیت E می رسد که باز هم نیمی از سطح آن را می بینیم. به این حالت تربیع دوم می گویند. ماه در تربیع دوم، در نیمه شب طلوع می کند و از آن پس هر شب به خورشید نزدیک تر می شود تا آنکه سرانجام، اندکی قبل از طلوع خورشید، طلوع می کند. در این حال نیز هلال باریکی از



شکل ۱۸-۱- اهلۀ قمر، عکس‌ها را با طرح بالا تطبیق بدهید.

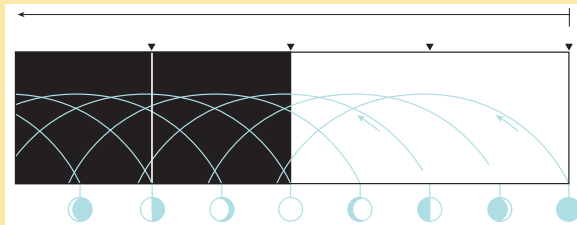
ماه مشاهده می‌شود (F) زیرا بیشتر قسمت روشنش به سوی خورشید است نه زمین. به مجموعه این وضعیت‌های ماه اهلۀ قمر می‌گویند.

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 پدیدهٔ جزر و مد شدیدتر می‌شود.

### مشاهده کنید

با مشاهدهٔ طلوع و غروب ماه در چند شب متوالی، جدول روبه‌رو را کامل کنید.

حالات ماه	طلوع	غروب
هلال		
شب چهارم		
تربیع اول		
شب دهم		
بدر	۶ عصر	۶ صبح
شب هجدهم		
تربیع دوم		
شب بیست و پنجم		



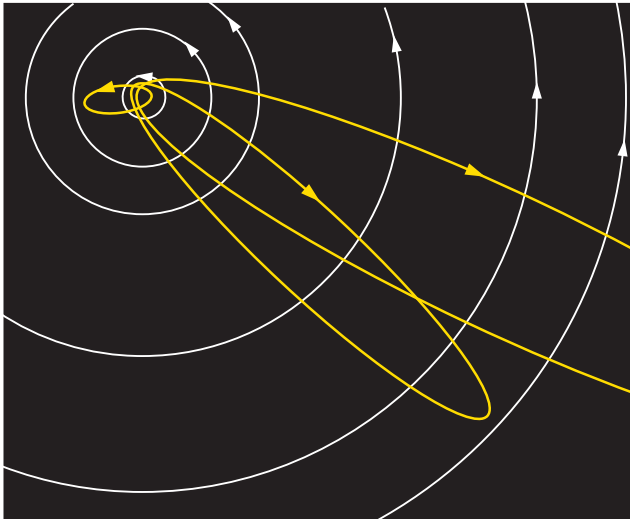
## فکر کنید

- ۱- اتفاق افتادن حالت خورشیدگرفتگی و ماه گرفتگی، در کدام حالت از اهله قمر ممکن است؟
- ۲- آیا فضاوردان هم اهله قمر را مانند ساکنان روی زمین می بینند؟
- ۳- چرا همیشه فقط یک طرف معین ماه را مشاهده می کنیم؟

## اجزای کوچک تر منظومه شمسی

در شب های صاف، حتماً متوجه خطوط درخشان و گذرایی شده اید که در زمینه آسمان پرستاره ظاهر می شوند و از میان می روند. این شهاب ها قطعات سنگ هایی اند که در فضا سرگردان اند و ضمن حرکت، با جو فوقانی زمین برخورد می کنند و حاصل اصطکاک آنها، 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 (شخانه) 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



شکل ۱۹-۱- موقعیت دنباله دار، در حین گردش به دور خورشید

می گویند. مدار حرکت دنباله دارها بیضی بسیار کشیده است که گاهی از حاشیه منظومه شمسی نیز خارج می شود (شکل ۱۹-۱). معروف ترین دنباله دار که به اسم کاشف آن هالی نامیده شده



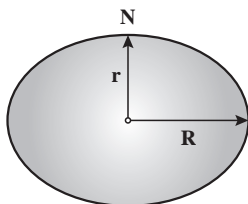
است، هر ۷۵ سال یک بار ظاهر می‌شود. آخرین باری که این دنباله‌دار به زمین نزدیک شد سال ۱۹۸۵ بود.

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

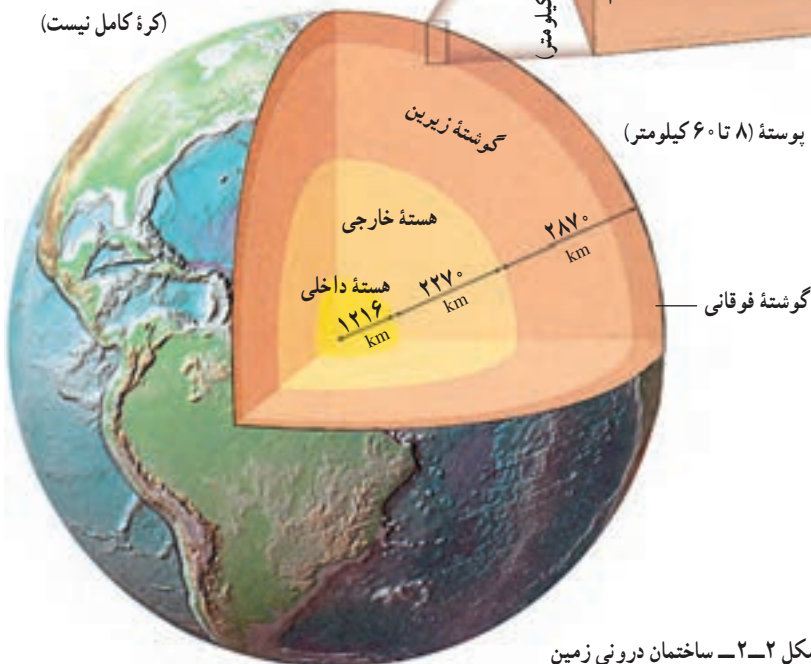
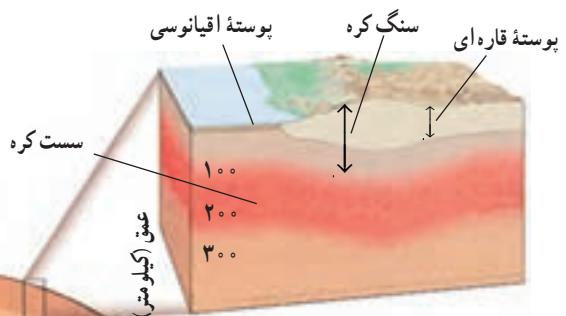
# ساختمان درونی زمین

۲

زمینی که بر روی آن زندگی می‌کنیم، تقریباً کروی است (شکل ۲-۱). شعاع متوسط این کره حدود ۶۳۶۸ کیلومتر و چگالی نسبی آن ۵/۵ است. از نظر ساختمانی، زمین حالت لایه‌لایه دارد و هر لایه، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت دارد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۱ - شکل کره زمین  
(کره کامل نیست)

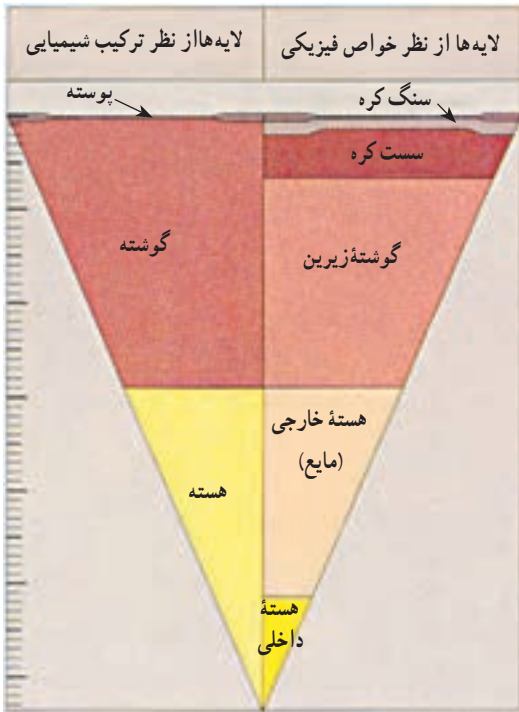


شکل ۲-۲ - ساختمان درونی زمین

## ترکیب شیمیایی زمین

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.

**الف) روش مستقیم:** تجزیه شیمیایی انواع مختلف سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی سطح زمین با نمونه‌برداری از سطح زمین و یا نمونه‌های به دست آمده از حفاری‌ها می‌تواند تا حدودی نوع مواد سازنده پوسته زمین را مشخص کند (جدول ۱-۲).



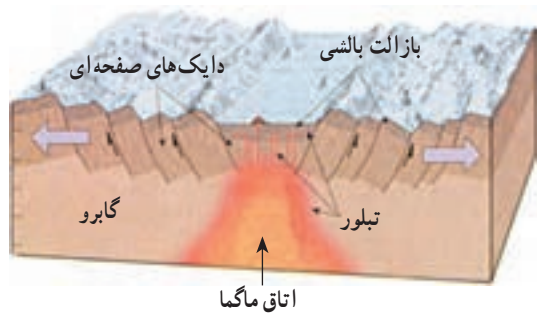
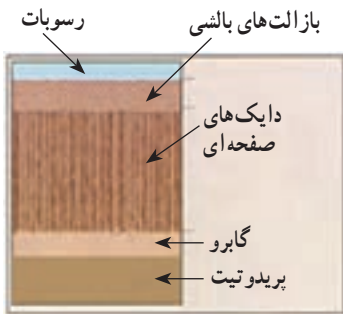
شکل ۳-۲- تقسیم‌بندی لایه‌های زمین از نظر خواص فیزیکی و خواص شیمیایی

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

اکسیدها	پوسته قاره‌ای	پوسته اقیانوسی
SiO <sub>2</sub>	۵۹/۲	۴۸/۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۴	۱۵/۲
FeO	۷/۵	۱۰/۷
MgO	۴/۳	۷/۷
CaO	۶/۰	۱۲/۲
K <sub>2</sub> O	۲/۶	۰/۶
Na <sub>2</sub> O	۲/۸	۲/۶
TiO <sub>2</sub>	۱/۰	۲/۲

همچنین 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 بارز شی از چگونگی ترکیب شیمیایی اعماق پوسته و گوشته فوقانی را به دست می‌دهند. در هر حال میانبارها نمی‌توانند از اعماقی پایین‌تر از ناحیه خاستگاه ماگمایی که حاوی آن‌هاست، بالا آمده باشند. به طور 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 گوشته فوقانی زیر اقیانوس‌ها در سنگ‌هایی موسوم به اُفیولیت به دست آمده است. اُفیولیت‌ها مجموعه‌ای از سنگ‌های لایه‌لایه به ضخامت حدود ۵۰۰۰ متر است که ترکیب آن را معادل پوسته 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 ۲-۴).



شکل ۲-۴ - مجموعه اُفیولیتی

### فکر کنید

اُفیولیت‌ها به عنوان نمونه‌هایی از گوشته فوقانی معمولاً به سرعت هوا زده می‌شوند. آیا می‌توانید علت را بیابید؟

## بیشتر بدانید

### عمیق ترین چاه جهان

در سال ۱۹۷۰ دانشمندان اتحاد جماهیر شوروی تصمیم گرفتند، عمیق ترین چاه جهان را حفر کنند و اطلاعاتی از درون زمین به دست آورند. آنها برای این منظور شبه جزیره کولا در شمال شوروی در منطقه ای یخ زده 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 اینجا نمی خواهیم دستاوردهای علمی حفر این چاه را بازگو کنیم، اما شما را با پاره ای از مشکلات حفر آن آشنا می سازیم:

– در آخرین مراحل حفر چاه، جرم لوله حفاری به ۹۰۰ تن رسید. برای تعویض سرمته های فرسوده یا بیرون آوردن مغزه (نمونه سنگ ها) تمامی میله صدها بار به سطح زمین آورده شد و دوباره به ته چاه پایین فرستاده شد.

– دما در پایین ترین نقاط چاه به ۲۷۰ درجه سانتی گراد رسید. علاوه بر این گرمای ناشی از چرخش سرمته هم به آن اضافه می شد.

– فشار در اعماق چاه بالغ بر ۲۰۰۰ اتمسفر بود، به همین علت سنگ های داخل مغزه حفاری بعد از اینکه فشار از روی آنها برداشته می شد، از هم پاشیده می شدند.

– با تمام تلاش هایی که صورت گرفت در عمق ۱۰۵۰۰ متری سرمته حفاری ۸۴۰ متر از راستای شاقولی دهانه چاه منحرف شده بود.

با توجه به ترکیب ماگمایی که از گوشته فوقانی منشأ گرفته اند، همراه با بررسی های آزمایشگاهی بر روی فرایند ذوب و تبلور سنگ های مختلف، می توان در مورد ترکیب گوشته فوقانی نتیجه گیری های بیشتری کرد.

ب) روش های غیر مستقیم: به دلیل عدم دسترسی به بخش های عمیق تر زمین، بخش زیادی از اطلاعات درون زمین از روش های غیر مستقیم حاصل می شود.

مطالعه سنگ های ماه و شهاب سنگ ها، بررسی طیف نور خورشید و ستارگان، مطالعه امواج لرزه ای و اندازه گیری برخی از خصوصیات فیزیکی مانند میدان مغناطیسی، گرانش زمین و... ماهیت مواد سازنده درون زمین را روشن تر می کند. در این میان امواج لرزه ای بیشترین اطلاعات را در مورد ضخامت، چگالی، حالت مواد (جامد، مایع و خمیری) و جنس لایه های درونی زمین در اختیار زمین شناسان قرار می دهند بدین ترتیب که وقتی زمین لرزه ای رخ می دهد، بخشی از انرژی آزاد شده از منبع انرژی (کانون

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

پوسته	کل زمین	عناصر
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)

زمین لرزه) به شکل امواج لرزه‌ای و با سرعت معینی که به خواص فیزیکی محیط بستگی دارد، در تمام جهات منتشر می‌شود. دانشمندان علوم زمین با مطالعه 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 زمین لرزه 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 مطالعه 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 ماده جامد تحت تأثیر نیروهای مخالف قرار می‌گیرد تغییر شکل و اندازه می‌دهد ولی با ازین 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 انتقال دهنده آنها تغییر کند.

### خصوصیات و ترکیب پوسته

پوسته قشر نسبتاً نازکی در سطح یا بالاترین لایه‌های کره 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 موهوروویج 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 به طور کلی در زیر رشته کوه‌های 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 رشته کوه‌های

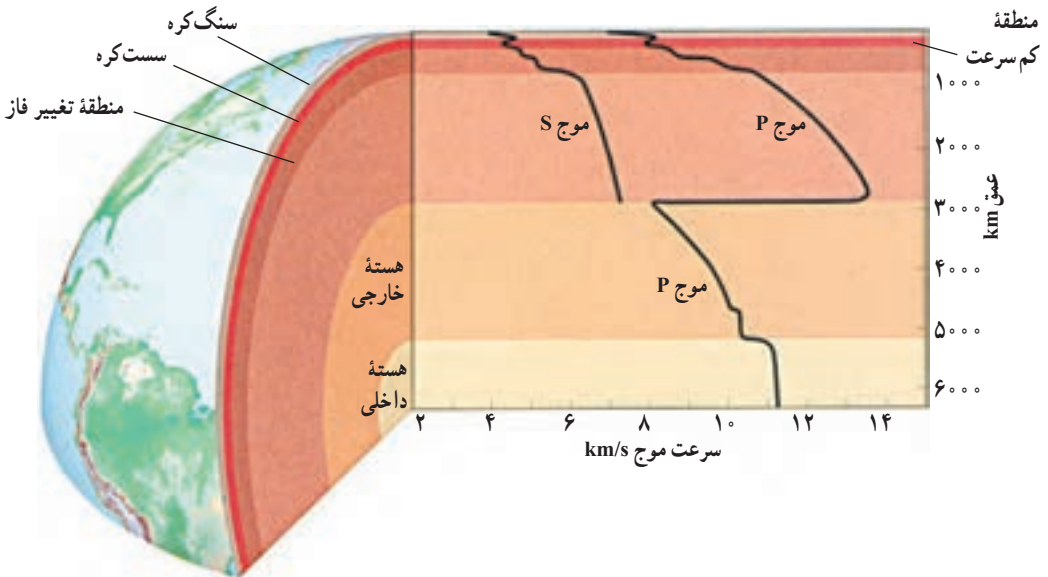
اقیانوسی، می توان مشاهده کرد (شکل ۱۱-۳).

ترکیب شیمیایی پوسته در قاره‌ها با ترکیب آن در اقیانوس‌ها متفاوت است. ترکیب شیمیایی متوسط پوسته 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 پوسته اقیانوسی حدود  $3 \text{ g/cm}^3$  و ترکیب آن بازالتی با سن کمتر از  $200$  میلیون سال است.

### خصوصیات و ترکیب گوشته

گوشته در زیر پوسته قرار دارد و تا عمق  $2900$  کیلومتری ادامه دارد. دامنه چگالی گوشته از  $3/3$  گرم بر سانتی متر مکعب در نزدیکی پوسته تا  $5/5$  گرم بر سانتی متر مکعب در نزدیک هسته تغییر می‌کند. سرعت امواج P در پوسته بین  $6$  تا  $7$  کیلومتر بر ثانیه تغییر می‌کند، ولی، در زیر مرز موهو به بیش از  $8$  کیلومتر بر ثانیه می‌رسد. تجربیات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در سنگ‌های غنی از کانی‌های الیوین و پیروکسن مثل پریدوتیت، سرعت امواج لرزه‌ای بیش از  $8$  کیلومتر بر ثانیه است. بنابراین، تصور می‌شود که این کانی‌ها باید جزء کانی‌های اصلی گوشته باشند. این نتیجه با اطلاعاتی که از راه‌های دیگر

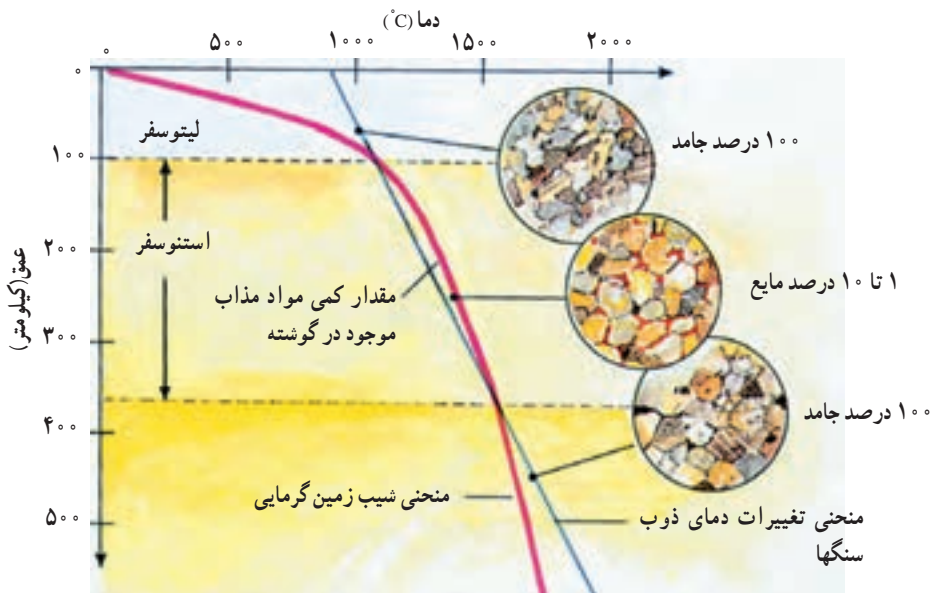


شکل ۵-۲ تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای نسبت به عمق. تغییرات ناگهانی در مرز پوسته - گوشته، در بخش‌های فوقانی گوشته و در مرز گوشته - هسته روی می‌دهد.

در باره ترکیب گوشته به دست آمده سازگار است.

سرعت امواج P و S در نواحی مختلف گوشته بی‌نظمی‌هایی نشان می‌دهد (شکل ۵-۲). اولین تغییر مهم در عمق حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتری شروع می‌شود؛ یعنی از قاعده پوخته تا عمق حدود 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 پوخته سنگ کره (لیتوسفر) می‌گویند، در زیر لیتوسفر سرعت امواج زلزله شروع به افت می‌کند و کم‌کم به زیر ۸ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد و تا عمق حدود ۳۵۰ کیلومتر در حد کم باقی می‌ماند. این منطقه را اصطلاحاً «لایه کم‌سرعت» می‌گویند. مواد این قسمت به نقطه ذوب خود نزدیک‌اند 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 نشان‌دهنده تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در لایه کم‌سرعت باشد وجود ندارد.

یک توضیح احتمالی برای وجود لایه کم‌سرعت آن است که در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر درجه زمین‌گرایی به دمای شروع ذوب سنگ‌های گوشته نزدیک می‌شود (شکل ۶-۲). در نتیجه سنگ‌ها از حالت جامد و سخت فاصله می‌گیرند و به حالت خمیرسان نزدیک می‌شوند.

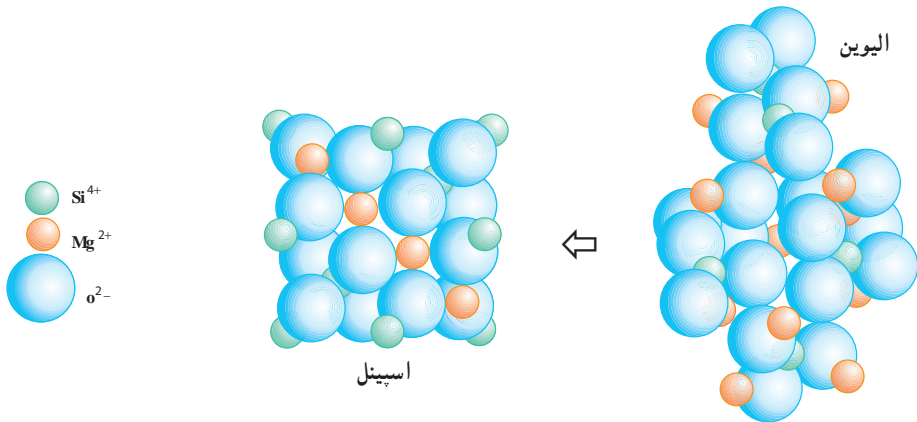


شکل ۶-۲- بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی می‌توان منطقه کم‌سرعت را چنین توضیح داد. وقتی منحنی شروع ذوب سنگ‌های گوشته، منحنی زمین‌گرایی را قطع می‌کند، مقدار کمی ماده مذاب تولید می‌شود. این مقدار کم ماده مذاب باعث تغییر خواص پلاستیک سنگ‌ها و تشکیل لایه کم‌سرعت می‌شود.



به هر حال، مقدار مواد مذاب (اگر وجود داشته باشد) باید خیلی کم باشد؛ چون لایه کم سرعت موج S را عبور می‌دهد، در حالی که این موج نمی‌تواند از مایعات عبور کند. بنابراین، می‌توان گفت سنگ‌ها در منطقه کم سرعت به صورت جامد ولی خیلی نزدیک به ذوب باقی می‌مانند. لایه کم سرعت اهمیت زیادی در توجیه نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای (فصل ۳) دارد؛ زیرا در این نظریه، ورقه‌های سنگ کره باید بتوانند بر روی یک منطقه تقریباً پلاستیک بلغزند. به علاوه چنان که می‌دانیم ماگمای بازالتی نیز بر اثر ذوب بخشی سنگ‌ها در گوشته فوقانی از اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر منشأ می‌گیرد.

باتوجه به شکل (۵-۲) می‌بینیم که در اعماق حدود ۴۰۰ تا ۶۷۰ کیلومتر نیز افزایش نسبتاً تندی در سرعت امواج دیده می‌شود. بر اساس 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 ۷-۲). در زیر عمق ۶۷۰ کیلومتر فشردگی موجب می‌شود که سرعت امواج لرزه‌ای به آهستگی و به طور تقریباً منظم تا مرز گوشته - هسته افزایش یابد. در این قسمت سنگ‌ها چگال هستند.



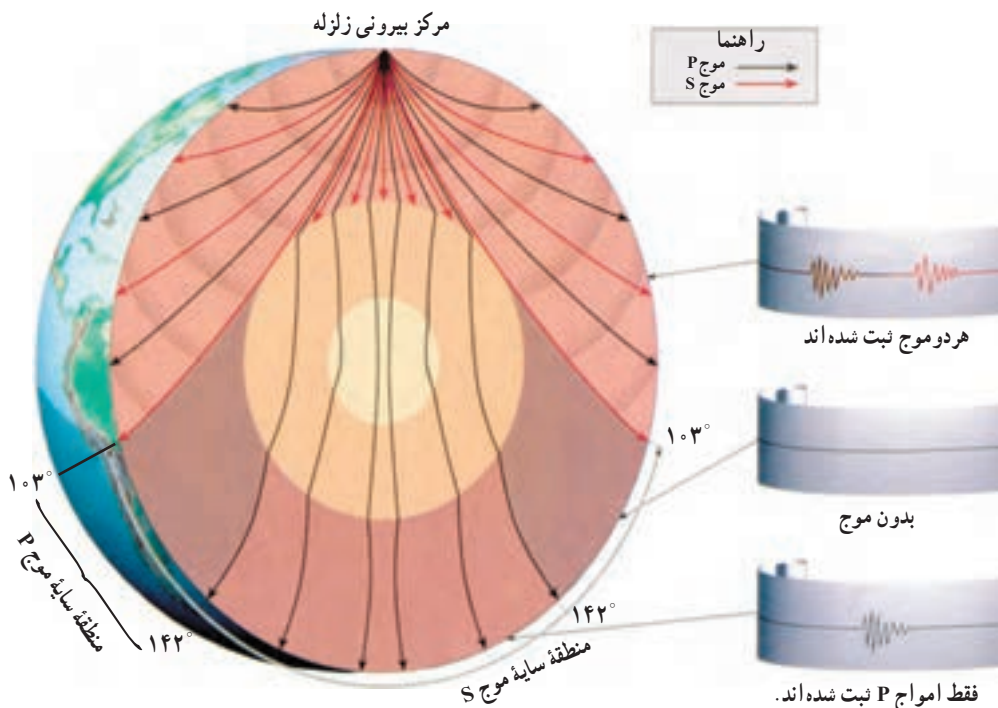
شکل ۷-۲- در داخل گوشته، با افزایش فشار کانی‌ها به شکل فشرده‌تری درمی‌آیند. به طور مثال، کانی الیون در گوشته ساختمان اسپینل را به خود می‌گیرد.

### 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 ۲۹۰۰ 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 لرزه بزرگی روی می‌دهد، در فاصله بیش از  $3^{\circ}$  درجه از مرکز سطحی زمین لرزه، امواج S مستقیماً قابل دریافت نیستند. به عبارت دیگر یک «منطقه سایه» برای موج S از حدود  $3^{\circ}$  درجه به بعد در آن سوی زمین ایجاد می‌شود (شکل ۸-۲). بنابراین، باید گفت که یک توده سیال در درون زمین راه عبور امواج S را می‌بندد. این توده سیال، هسته خارجی مایع زمین است. اندازه هسته خارجی با توجه به وسعت منطقه سایه معلوم شده است. هسته خارجی یک منطقه سایه حلقه مانند برای موج P نیز ایجاد می‌کند (شکل ۸-۲). منطقه سایه در نواری حدود  $3^{\circ}$  تا  $42^{\circ}$  درجه نسبت به مرکز سطحی زمین لرزه گسترده است. منطقه سایه 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 هسته داخلی مشخص شده است، بخشی از امواج P در اثر برخورد با مرز بین هسته داخلی و خارجی منعکس می‌شود و از آنجا که سرعت‌ها در گوشته و هسته خارجی معلوم است، با محاسبه زمان‌های سیر امواج P منعکس شده از هسته داخلی می‌توان عمق این هسته را برآورد نمود.



سرعت موج P در هسته داخلی خیلی بیشتر از هسته خارجی است. از این مطلب نتیجه گیری می شود که هسته داخلی زمین باید جامد باشد. تصور نمی شود که دما در عمیق ترین بخش درونی زمین به همان نسبت که عمق خیلی افزایش می یابد زیاد شود، ولی فشار به سوی مرکز زمین به تدریج زیاد می شود و در مرکز زمین به حداکثر می رسد. به این جهت حتی اگر ترکیب هسته داخلی و خارجی یکسان باشد، هسته داخلی به علت فشارهای زیاد می تواند به صورت جامد باشد، در حالی که هسته خارجی مایع است. دانشمندان با استناد به نتایج حاصل از تجربیات آزمایشگاهی، ترکیب شهاب سنگ ها و وجود میدان مغناطیسی زمین، این احتمال را می دهند که ترکیب هسته زمین از آهن و نیکل باشد. برخی از عناصری که از نظر کیهانی فراوان و قابل ترکیب با آهن مذاب اند، مثل سیلیسیم فلزی، اکسیژن و گوگرد نیز به عنوان سازندگان فرعی هسته خارجی پیشنهاد شده اند.

### فکر کنید

با آنکه چگالی هسته زمین بسیار زیاد است، چرا نمی توان انتظار داشت که از عناصری مثل سرب یا طلا ساخته شده باشد؟

## میدان مغناطیسی

هنوز به درستی نمی دانیم 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 دائمی نیست. مطالعات لرزه شناسی نیز که درک ساختمان داخلی زمین را برای ما ممکن کرده است، هیچ گونه شواهدی که مبنی بر وجود تمرکز عظیم کانی مانیتیت در داخل زمین باشد، در اختیار نمی گذارد. گذشته از این، بیشتر کانی هایی از این قبیل فقط در  $30^\circ$  کیلومتری بالایی پوسته وجود دارند و در اعماق بیشتر، به سبب وجود گرمای درونی زمین، مواد خاصیت مغناطیسی خود را از دست می دهند. به این دلایل، خاصیت مغناطیسی زمین را نمی توان محصول ساده مغناطیس سنگ ها شمرد و باید به دنبال دلیل های دیگری بود.

دانش امروزی ما از منشأ میدان مغناطیسی زمین، محصول یافته هایی است که درباره حرکت الکترون ها در اختیار داریم. فیزیکدان ها دریافته اند که با استفاده از جریان الکتریسیته می توان میدان مغناطیسی ایجاد کرد و برعکس با حرکت دادن یک جسم هادی الکتریسیته از درون یک میدان مغناطیسی جریان الکتریکی به وجود آورد. دستگاهی که چنین عملی را انجام می دهد دیناموی خود القا 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، الکتریسیته بیشتری حاصل می‌آورد. الکتریسیته هم به نوبه 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 هسته 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 هسته داخلی و گوشته سبب ایجاد جریان‌های کنوکسیون در آهن مذاب هسته خارجی می‌شود. از سوی دیگر قطع شدن میدان مغناطیسی خورشید توسط آهن مذاب در حال حرکت جریان الکتریسیته ایجاد می‌کند. این جریان‌ها میدان مغناطیسی زمین را پدید می‌آورند که خود مولد جریان‌های الکتریکی قوی‌تری می‌شود. این جریان‌ها هم به نوبه خود میدان مغناطیسی قوی‌تری 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  $2^\circ$  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  $183^\circ$  تاکنون، ۶ 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.

به نظر می‌رسد وارونگی مغناطیسی، حاصل تغییراتی است که در جریان‌های همرفتی (کنوکسیون) هسته خارجی ایجاد می‌شود. وقتی مقدار گرمای موجود در درون زمین تغییر کند، جریان‌های همرفتی هم تغییر می‌کنند. آشفته‌گی 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 عقربه قطب‌نما در حالت وارونگی مغناطیسی برعکس حالت امروزی خواهد ایستاد.

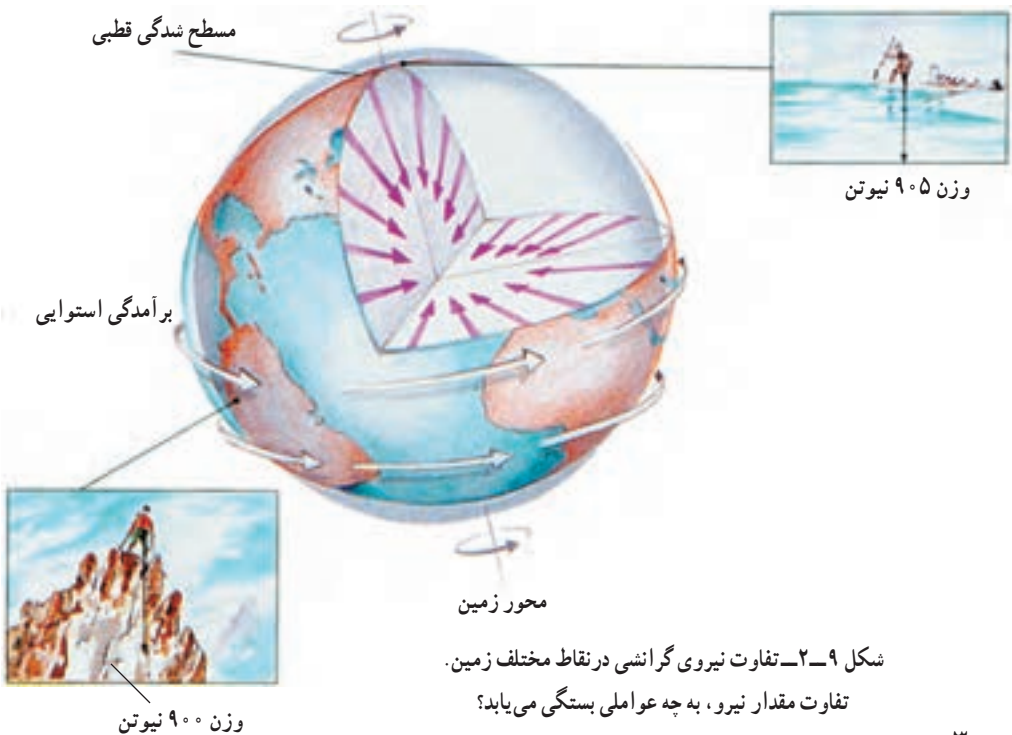
## نیروی گرانشی

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 با ارزشی 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 آنها، همواره نیروی جاذبه ( $F$ ) وجود دارد. اندازه این نیرو با حاصل ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد. قانون گرانش عمومی را به صورت  $F = G \frac{m \times m'}{R^2}$  می نویسند. ( $G$  ثابت جهانی گرانش و مقدار آن  $\frac{m^3}{kgs^2} \times 10^{-11}$  است).

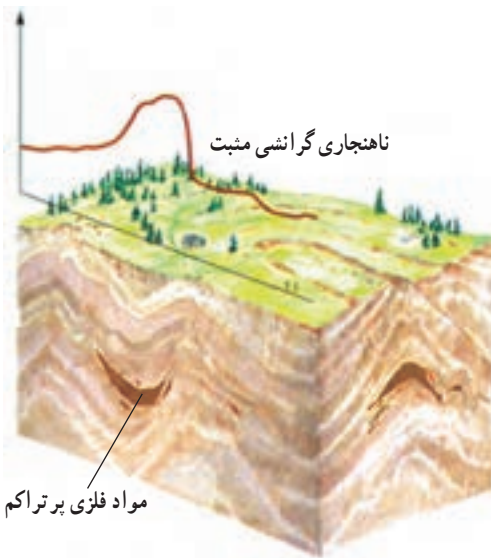
در معادله بالا می توان به جای  $m'$  جرم زمین ( $E$ ) و به جای  $m$  جرم هر جسمی که در بیرون از زمین قرار دارد و مقدار  $R$  را هم فاصله جسم تا مرکز زمین در نظر گرفت و به این طریق نیروی گرانش زمین را در هر نقطه ای به دست آورد. مقدار شدت گرانش را توسط ابزاری به نام گرانی سنج اندازه گیری می کنند.



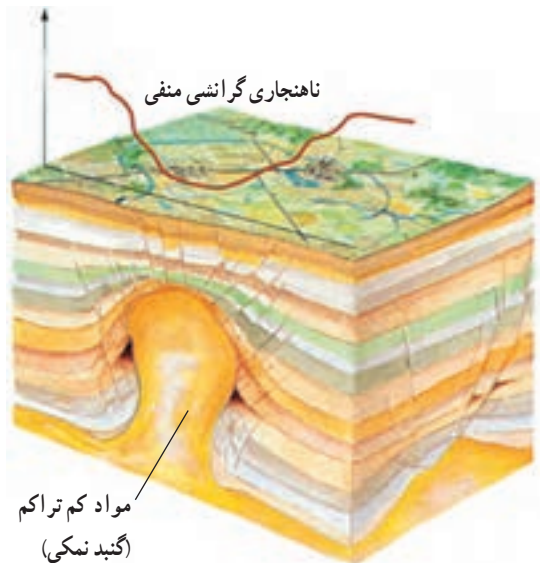
کم یا زیاد شدن شدت گرانش در هر نقطه می تواند اطلاعاتی دربارهٔ مواد سازندهٔ زمین در آن نقطه به ما بدهد.

ناهنجاری های گرانشی : حتی بعد از در نظر گرفتن تأثیر ارتفاع و عرض جغرافیایی محل، هنوز هم میزان شدت گرانشی در همه جای زمین مساوی نیست. تفاوت میان مقدار واقعی شدت گرانش سنجیده شده با مقدار منتظره آن در یک نقطه را ناهنجاری گرانشی می نامند. علت وجود این ناهنجاری ها، تفاوت در چگالی قسمت های داخلی زمین است که بر مقدار جرم و در نهایت، بر مقدار شدت گرانشی تأثیر می گذارد.

باتوجه به شکل های زیر، مثبت بودن یا منفی بودن نیروی گرانشی را درمی یابید. آیا شدت گرانشی در بستر اقیانوس ها که پوستهٔ زمین نازک است بیشتر نشان داده می شود یا در روی کوه ها؟



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



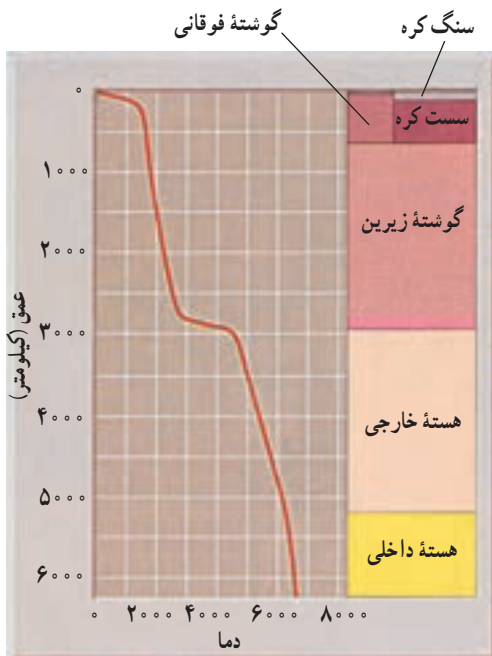
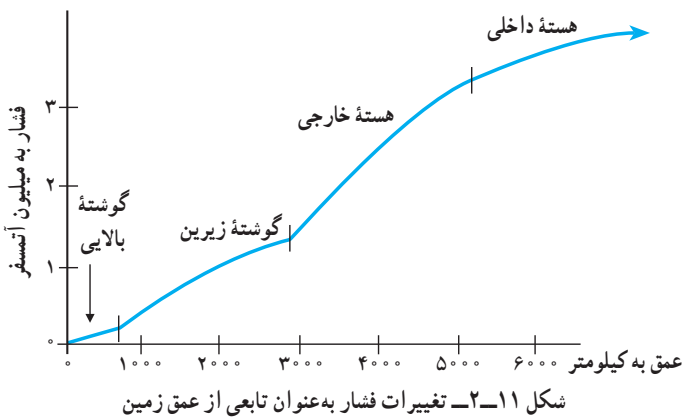
شکل ۱۰-۲-الف - شدت گرانشی منفی به علت وجود گنبد نمکی کم تراکم در زیر پوسته

### فکر کنید

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

## 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 محاسبه فشار را به عنوان 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.



## دما

دما در پوسته زمین به ازای هر کیلومتر که به عمق برویم حدود  $30$  درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. که به آن اصطلاحاً شیب زمین گرمایی می‌گویند. البته برای قسمت‌های عمیق‌تر این روند افزایش، کندتر می‌شود؛ زیرا در غیراین صورت، به طور مثال در عمق  $2800$  کیلومتری (تقریباً انتهای گوشته) دما باید به  $84000$  درجه سانتی‌گراد و در  $6000$  کیلومتری (هسته داخلی) به  $180000$  درجه سانتی‌گراد می‌رسید، که در

شکل ۱۲-۲- شیب زمین گرمایی تخمینی در داخل زمین (تفاوت، در حدود  $500$  درجه کمتر یا زیادتر از حد تخمینی است)



چنین دمایی سنگ‌ها دیگر نمی‌توانند به صورت جامد یا حتی مایع باشند. بنابراین، دمای گویشته و هسته باید خیلی کمتر از این مقادیر باشد.

### بیشتر بدانید

تاکنون دانشمندان دمای مرز گویشته - هسته را حدود  $4600^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد و دمای مرز هسته خارجی - هسته داخلی را حدود  $6300^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد و در مرکز زمین متجاوز از  $6600^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد تخمین می‌زده‌اند، اما به‌تازگی زمین‌شناسی به نام دکتر بهلر ترکیبی از آهن و ترکیبات آهن - اکسیژن را در یک محفظه فشارقوی میان دو قطعه الماس تحت فشار  $1/4$  میلیون اتمسفر (معادل فشار مرز گویشته - هسته خارجی) قرار داد و آنها را به وسیله لیزر تا چند هزار درجه سانتی‌گراد حرارت داد. او از این آزمایش‌ها نتیجه گرفت که دمای مرز گویشته - هسته حدود  $3700^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد است. از آنجا که فشار موجود حاکم بر هسته ( $3/3$  میلیون اتمسفر در عمق  $5100$  کیلومتری) خارج از توان قطعات الماس برای انجام آزمایش مشابه بود، بهلر نتیجه همان آزمایش را به هسته تعمیم داد؛ لذا طبق محاسبات این دانشمند دمای هسته حدود  $4600^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.



## زمین ساخت ورقه‌ای



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

در طول چند دههٔ گذشته، اطلاعات بسیار زیادی دربارهٔ زمین جمع‌آوری شده که به تحولات زیادی در علم زمین‌شناسی منجر گردیده است، البته نقطهٔ 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 نظریهٔ جدید جمع‌آوری شود تا سرانجام آن نظریهٔ ضعیف جای خود را به نظریهٔ زمین‌ساخت ورقه‌ای بدهد. نظریه‌ای که برای نخستین بار، دید جامعی دربارهٔ 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 پانگه آ (به معنای همهٔ 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). این قاره چند میلیون سال بعد به دو قارهٔ بزرگ لورازیا (Laurasia) و گندوانا (Gondwana) تقسیم شد که اولی شامل امریکای شمالی، گرینلند و بیشتر قسمت‌های آسیا و اروپای امروزی است



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

و دومی امریکای جنوبی، افریقا، قطب جنوب، هندوستان و استرالیای کنونی را شامل می شده است. مساحت لورازیا و گندوانا تقریباً مساوی بوده است.

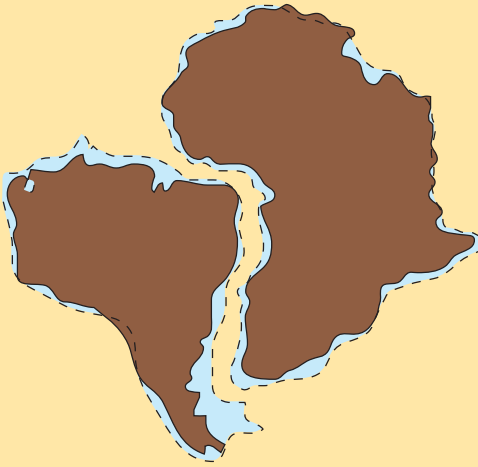
فاصله دو قاره لورازیا و گندوانا را دریایی به نام تتیس (Tethys) پر می کرده است که امروزه دریا‌های مدیترانه، خزر و سیاه را بازمانده‌های آن می دانند.

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 توسعه 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، ارائه شواهد مختلفی لازم می آمد که بعضی از آنها در زمان وگنر و برخی دیگر توسط محققان مختلف، در طول سالیان بعد عنوان شده اند. به طور کلی دلایلی که در کتاب وگنر برای درست بودن نظریه جابه جایی قاره‌ها ارائه شده اند عبارت‌اند از:

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

## فکر کنید

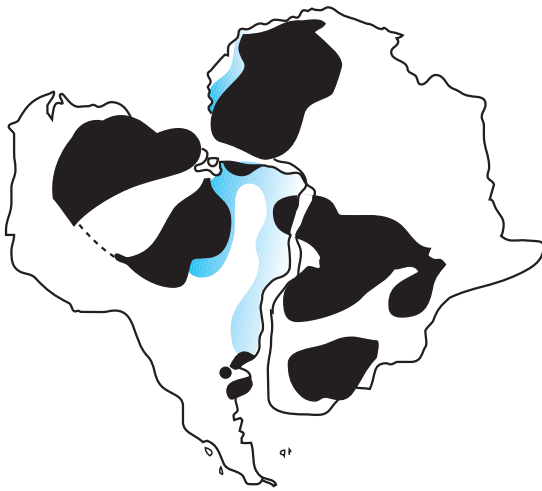


امروزه، که دلایل بیشتر و دقیق‌تری برای نظریه جابه‌جایی قاره‌ها جمع‌آوری شده، محل انطباق حاشیه قاره‌ها را در محل شیب قاره در نظر می‌گیرند، نه خط ساحلی. با توجه به شکل مقابل هم می‌بینید که قاره‌ها در محل خطوط ساحلی کاملاً برهم منطبق نیستند. زمین‌شناسان زمان و گنر نیز به همین صورت ادعای او را نپذیرفتند. 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 روی قاره‌های متصل وجود داشته‌اند. بعضی از سنگواره‌هایی که امروزه در روی دو قاره مجاور هم پیدا می‌شوند، حاکی از آن‌اند که در گذشته، آن قاره‌ها یکپارچه بوده‌اند. مثلاً نمونه‌های سنگواره یا فسیل نوعی خزنده قدیمی در جاهایی چون قاره قطب جنوب، افریقا، استرالیا و ماداگاسکار یافت شده که مربوط به ۲۰۰ میلیون سال قبل است. فسیل‌هایی از سرخس‌های قدیمی (گانگاموپتریس) 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 به طور مشابه و همزمان رخ داده باشد.



شکل ۲-۳- در قسمت‌هایی از دو قاره افریقا و امریکای جنوبی، سنگواره‌های کاملاً مشابهی را می‌توان یافت.



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

### 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 آفریقا و شرق برزیل به اثبات رسیده است. تشابه سنگ‌ها طوری است که فقط با فرض متصل بودن قاره‌ها به هم در گذشته‌های بسیار دور قابل توجیه است (شکل ۳-۳).

### ۴- آب و هوا: در قسمت‌هایی

از قاره‌های واقع در نیم کره جنوبی که امروزه در حدود منطقه استوا قرار دارند، آثار یخچالی مشاهده شده است و گتر نتیجه گرفت که در گذشته، همه آن مناطق در محل قطب و در کنار همدیگر واقع بوده‌اند (شکل ۳-۴).



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

## عقاید موافق و مخالف

و گتر، چون از خواص مکانیکی قسمت‌های مختلف پوسته زمین آگاهی نداشت، فقط قاره‌ها را به صورت شناور در روی گوشته تصور می‌کرد. ولی درباره وضع بستر اقیانوس‌ها تصویری

نداشت. با این فرض، نیروی زیادی برای به حرکت درآوردن قاره‌ها لازم نبود. وگرنه نیروی ناشی از چرخش زمین یا نیروی جزر و مد را برای به حرکت درآوردن قاره‌ها کافی می‌دانست. اما مسئله به این سادگی‌ها هم نبود؛ زیرا بستر اقیانوس‌ها محکم است و چنین نیست که قاره‌ها به آسانی بتوانند بر روی آنها حرکت کنند. با این ترتیب، مسئله، جابه‌جایی قاره‌ها تا پیدا شدن دلایل کافی، همچنان مسکوت ماند.

اگرچه بیشتر معاصران وگنر، با نظریات او مخالف بودند، ولی هولمز در کتاب زمین‌شناسی فیزیکی خود پیشنهاد کرد که وجود جریان‌های کنوکسیون در داخل گوشته زمین می‌تواند دلیل احتمالی حرکت قاره‌ها باشد. نظریه هولمز هنوز هم با آنکه تاکنون زمین‌شناسان در مورد عوامل حرکت دهنده قاره‌ها به توافق عمومی نرسیده‌اند، از اعتبار برخوردار است.

## مغناطیس دیرین

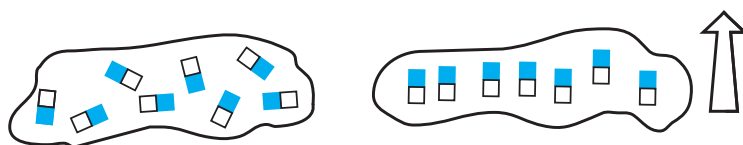


شکل ۵-۳- مقدار زاویه میل مغناطیسی، از صفر (در استوا) تا  $90^\circ$  (در قطب) تغییر می‌کند.

مسئله جابه‌جا شدن قاره‌ها برای بار دوم وقتی بر سر زبان‌ها افتاد که عده‌ای به کاوش در بستر اقیانوس‌ها علاقه مند شدند. محققان اولیه مغناطیس سنگ‌ها، می‌خواستند تغییرات قدیمی میدان مغناطیسی زمین را تعیین کنند تا بلکه به ماهیت امروزی این میدان، بهتری بی‌برند. زمین علاوه بر دو قطب شمال و جنوب جغرافیایی، دو قطب شمال و جنوب مغناطیسی نیز دارد، اما این قطبین جغرافیایی و مغناطیسی، برهم منطبق نیستند. روشی که در مطالعه دیرین به کار می‌رود، بر پذیرش این واقعیت استوار است که در بعضی از سنگ‌ها، کانی‌هایی وجود دارند که به عنوان قطب‌نماهای فسیل عمل

می‌کنند. این نوع کانی‌ها (مثلاً مانیتیت) در گدازه‌های بازالتی فراوان‌اند. بعد از آنکه گدازه سرد و دمای آن از «نقطه کوری» پایین‌تر رفت، کانی‌های یادشده تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند و در جهت میدان مغناطیسی زمین، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند (شکل ۶-۳)، که اگر دوباره تا دمای کوری گرم نشوند، به‌طور دائم وضعیت جهت‌یافتگی مغناطیسی خود را حفظ می‌کنند. بنابراین، مغناطیس

موجود در این کانی‌ها می‌تواند وضعیت میدان مغناطیسی گذشته زمین را روشن کند و به اصطلاح، موقعیت قطبین مغناطیسی زمین را در لحظه انجماد سنگ، «به یاد خواهد آورد».

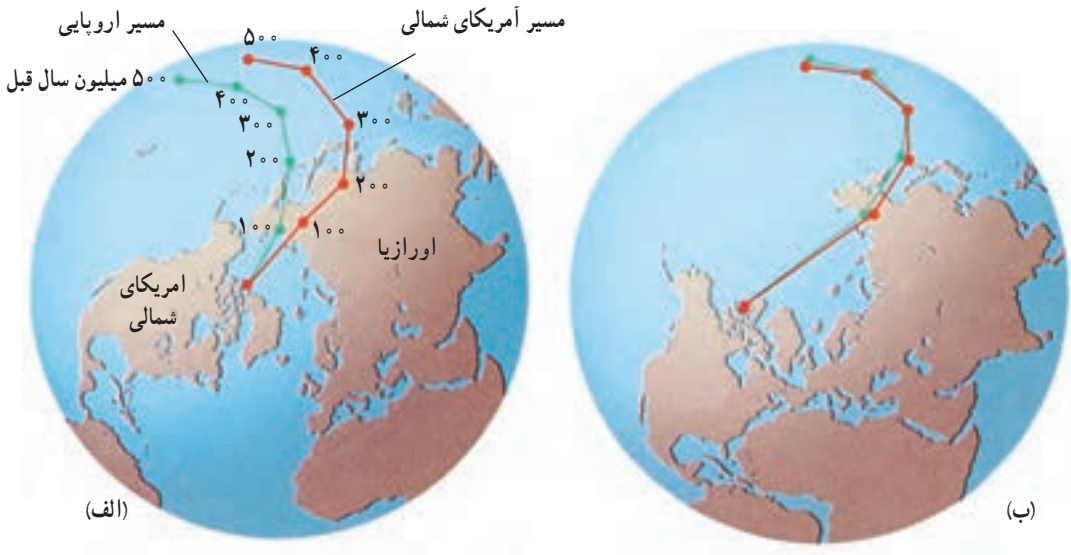


شکل ۳-۶- کانی‌های آهنربایی موجود در گدازه‌ها چگونه می‌توانند جهت میدان مغناطیسی گذشته‌های دور زمین را مشخص کنند؟

### فکر کنید

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

مطالعه‌ای که در دهه ۱۹۵۰، در اروپا روی مغناطیس دیرین انجام گرفت، به کشف ارزنده‌ای منجر شد. به این معنا که آرایش دانه‌های مانیتهت موجود در گدازه‌های زمان‌های مختلف، کاملاً باهم تفاوت داشت. هنگام ترسیم نقشه‌ای برای تعیین محل قطب شمال مغناطیسی در طول ۵۰ 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 آنکه قاره‌ها جابه‌جا شده‌اند. با آنکه قطبین مغناطیسی جای خود را عوض می‌کنند، مطالعه بر 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 به دور 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 درصد برآمدند مطالعه‌ای در این مورد انجام دهند (شکل ۷-۳). باکمال 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



شکل ۷-۳- طرح ساده شده سرگردانی قطبی که حاصل دو اندازه گیری جداگانه در سنگ های اروپا و امریکا بوده است (الف). موقعیت سنگ ها بعد از انطباق دو قاره (ب). از مقایسه دو شکل، چه نتیجه ای می گیرید؟

و این پدیده را تنها در صورتی می توان درست توجیه کرد که دو قاره را نزدیک همدیگر قرار بدهیم. با این همه، یافته های مغناطیس دیرین هم نتوانست کمک چندانی به اثبات نظریه جابه جایی قاره ها بکند؛ زیرا مغناطیس سنجی روشی جدید بود و هنوز مورد تأیید قرار نداشت. گذشته از آن، خاصیت مغناطیسی سنگ ها به مرور ضعیف می شود یا سنگ ها می توانند مجدداً مغناطیسی شوند.

## سر آغاز یک تحول فکری

در طول دو دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، اطلاعات زیادی درباره جزئیات ساختمانی بستر اقیانوس ها به دست آمد. از جمله، معلوم شد که:

۱- رشته کوه های بسیار طویل در اقیانوس ها وجود دارد. بررسی این رشته کوه در وسط اقیانوس اطلس، موازی بودن آن را با ساحل دوطرف آشکار کرد.

۲- جریان گدازه ها و فعالیت های آتشفشانی در محل رشته کوه میان اقیانوس مشاهده شد.

۳- مطالعات لرزه شناسی نشان داد که در اعماق پوسته اقیانوسی، فعالیت هایی در کار است.

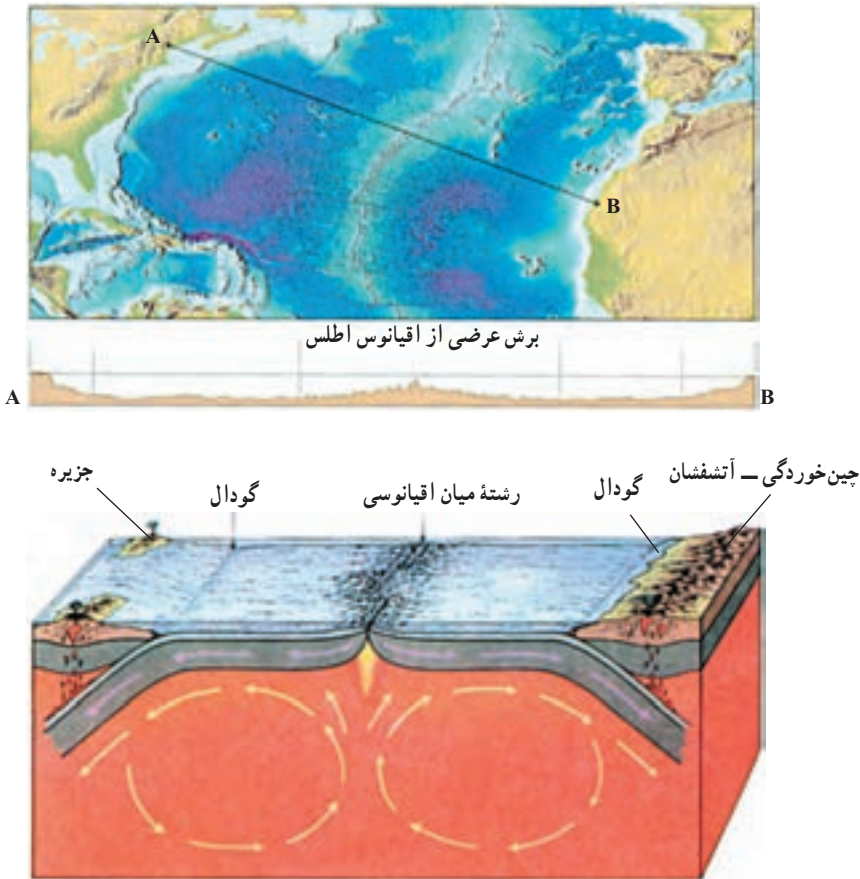
۴- نمونه برداری از سنگ های بستر اقیانوس، در هیچ نقطه سنگ هایی قدیمی تر از ۲۰۰ میلیون سال

را نشان نداد. در این صورت، آیا می توان گفت بستر اقیانوس ها می توانند از لحاظ زمین شناسی پدیده های

جوانی باشند؟



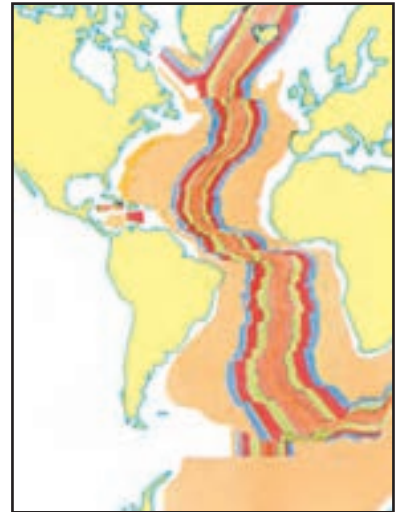
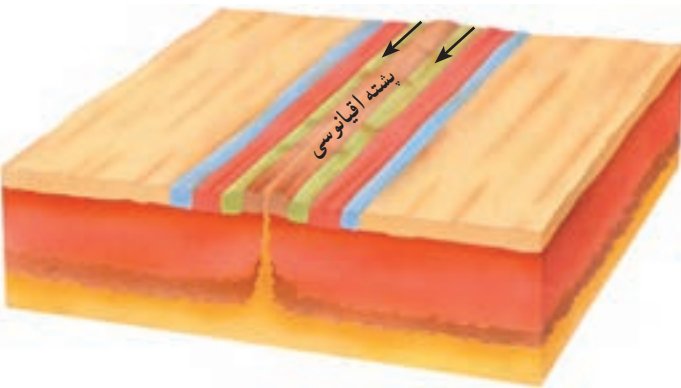
گسترش بستر اقیانوس‌ها: در اوایل دهه ۱۹۶۰، هری هس، زمین‌شناس آمریکایی، این واقعیت‌ها را کنار هم گذاشت و از مجموعه آنها فرضیه گسترش بستر اقیانوس‌ها را ارائه داد. فرضیه هس این بود که، بستر اقیانوس‌ها در محل جریان‌های کنوکسیون ویژه‌ای که در گوشه‌رخ می‌دهند پدید می‌آید (شکل ۸-۳). با خروج مواد از گوشه، بستر اقیانوس به دو طرف رانده می‌شود، پس مواد مذاب جایی برای بیرون آمدن و پخش شدن پیدا می‌کنند. در این صورت، پوسته جدیدی در محل شکاف تشکیل می‌شود. هس، همچنین اعلام داشت که به جبران این افزوده شدن بر پوسته اقیانوسی، در محل گودال‌های عمیقی که در حاشیه بعضی از اقیانوس‌ها قرار دارند و دراز گودال نامیده می‌شوند، پوسته اقیانوسی قدیمی‌تر به درون گوشه کشانده و کم‌کم هضم می‌شود. پس، پوسته اقیانوسی گذشته از جوان بودن، دائماً در حال تجدید شدن است.



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



هم‌زمان با هس، عده‌ای ژئوفیزیکی‌دان نظریهٔ وارونه‌شدن میدان مغناطیسی زمین را ارائه دادند آنها 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).

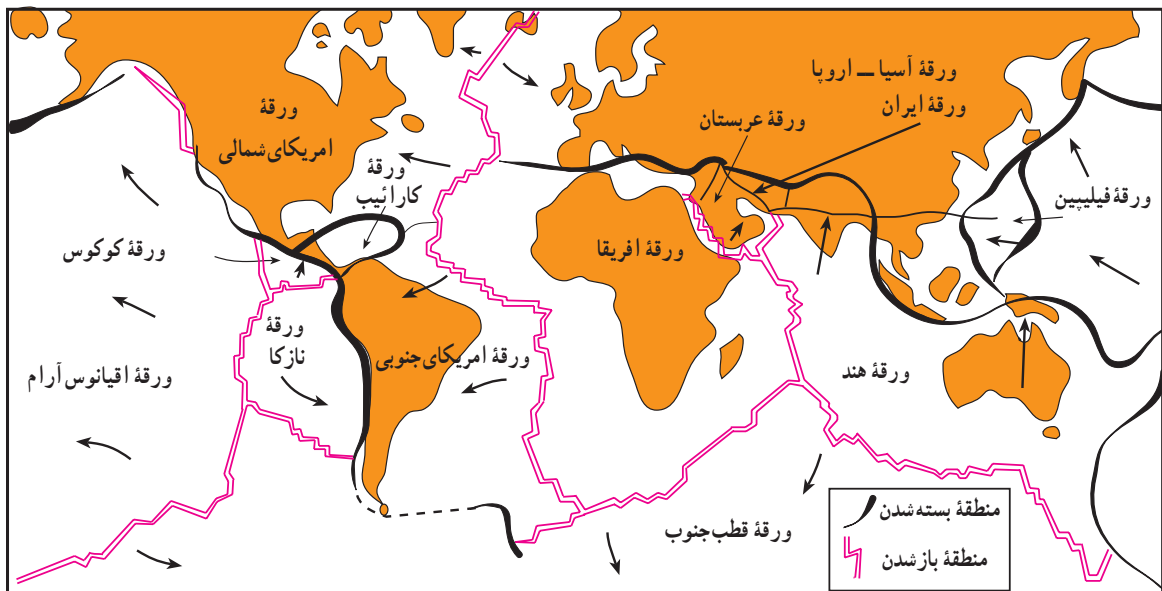


شکل ۹-۳- با توجه به این شکل‌ها، آیا می‌توان گفت که شواهد مغناطیسی، فرضیهٔ گسترش بستر اقیانوس‌ها را تأیید می‌کند؟

## نظریهٔ زمین‌ساخت ورقه‌ای

در سال ۱۹۶۸، از نظریه‌های جابه‌جایی قاره‌ها و گسترش بستر اقیانوس‌ها، نظریهٔ 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 نظریهٔ زمین‌ساخت ورقه‌ای، سنگ‌کره (لیتوسفر) خارجی و جامد شامل ۷ ورقهٔ بزرگ و تعدادی ورقهٔ کوچک‌تر است (شکل ۱۰-۳). در این میان، بزرگ‌ترین ورقه را ورقهٔ اقیانوس آرام تشکیل می‌دهد که در همه جا از آب پوشیده شده است. بقیهٔ ورقه‌های بزرگ، قسمت‌هایی از خشکی و دریا را باهم شامل‌اند. با این ترتیب، دیگر نمی‌توان به نظریهٔ قدیمی جابه‌جا شدن قاره‌ها به تنهایی فکر



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. ورقه افریقا ثابت فرض شده است).

کرد، بلکه باید گفت که بستر اقیانوس نیز همراه قاره‌ها در حرکت است.

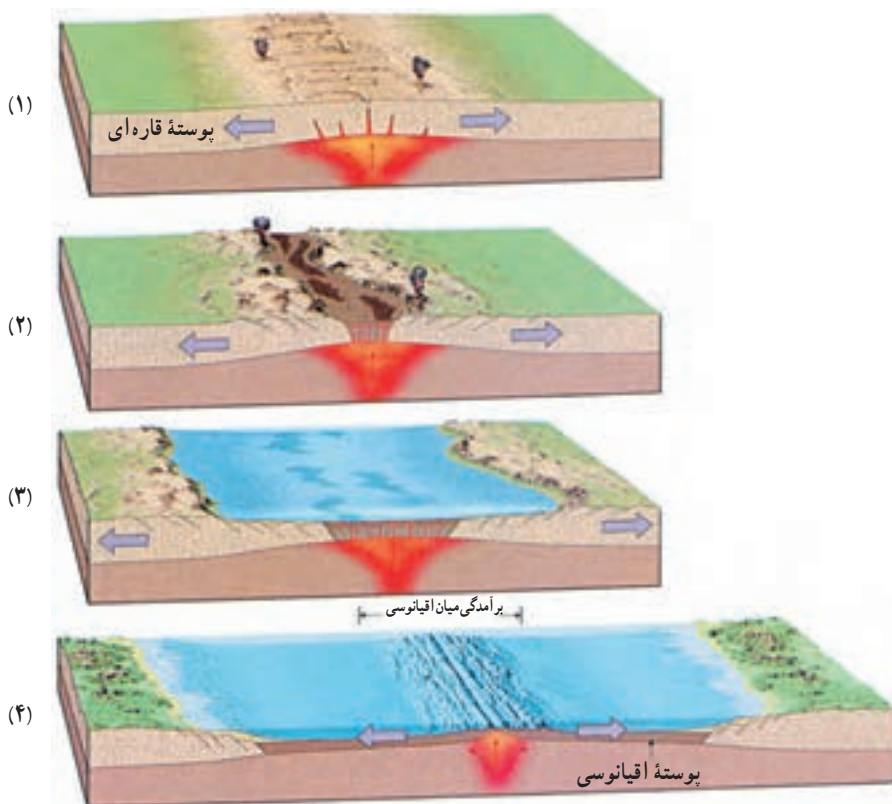
ضخامت ورقه‌ها در محل اقیانوس‌ها اندک است و بین ۸ تا ۱۲ کیلومتر (در محل حوضه‌های عمیق اقیانوسی) تغییر می‌کند. در مقابل، ورقه‌ها در زیر قاره‌ها بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و گاهی بیشتر، ضخامت دارند. ماهیت روان بودن نسبی سست کره، امکان حرکت سنگ کره جامد را فراهم می‌آورد.

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

۱- حرکت دورشونده (واگرا): در چنین محل‌هایی، ورقه‌ها از خط مرکزی رشته کوهی که در بستر دریا پدید می‌آید، فاصله می‌گیرند. فاصله ایجاد شده را مواد مذابی که از درون زمین و سست کره داغ بالا می‌آیند، پر می‌کنند. با این ترتیب، پس از سرد شدن آن مواد، پوسته اقیانوسی جدیدی (لیتوسفر) در بین دو ورقه دورشونده پدید می‌آید.

بستر اقیانوس اطلس، در فاصله 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.

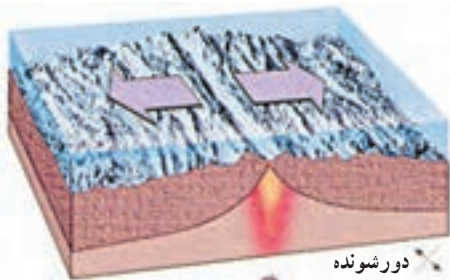
در امتداد حاشیه‌های دورشونده، برآمدگی‌هایی ایجاد شده است که طول مجموعه آنها در اقیانوس‌های جهان، به حدود ۶۰ هزار کیلومتر می‌رسد (شکل ۱۱-۳).



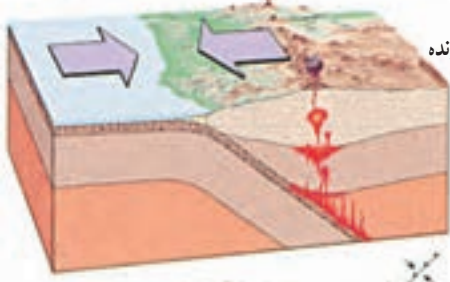
شکل ۱۱-۳- طرز تشکیل اقیانوس جدید درمحل دورشدن ورقه‌ها

مراکز گسترش، فقط محدود به وسط اقیانوس‌ها نیستند. دریای سرخ، دریای جوانی است که قدمت چندانی ندارد و بر اثر جدا شدن شبه جزیره عربستان از افریقا پدید آمده است. اگر عمل باز شدن در روی قاره‌ها صورت بگیرد، قاره از هم می‌شکافتد و در محل شکاف، ماگمای داغ بیرون می‌ریزد و در آنجا، قله‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود. در شرق افریقا، هم اکنون، پدیده باز شدن پوسته قاره‌ای مشهود است و کوه‌های آتشفشانی کلیمانجارو و کنیا نیز حاصل همان فعالیت‌ها هستند. اگر این محل همچنان فعال بماند، شرق افریقا از این قاره جدا خواهد شد. گفته می‌شود که شبه جزیره عربستان نیز در چند میلیون سال پیش، به همین ترتیب از افریقا جدا شده است.

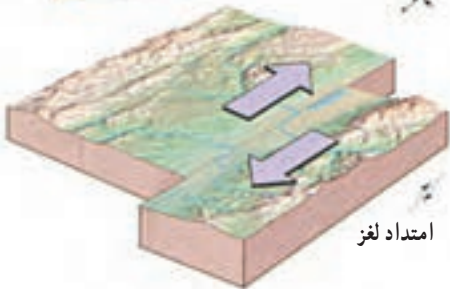
در محل ورقه‌های دورشونده، مرتباً سنگ‌کره جدید تشکیل می‌شود. اگر پدیده جبرانی وجود نداشته باشد، باید بر وسعت زمین همچنان افزوده شود. حال آنکه سطح زمین مقداری ثابت است؛ یعنی در مناطقی باید قسمتی از سنگ‌کره از بین برود. محل برخورد ورقه‌های نزدیک‌شونده، از این جمله است.



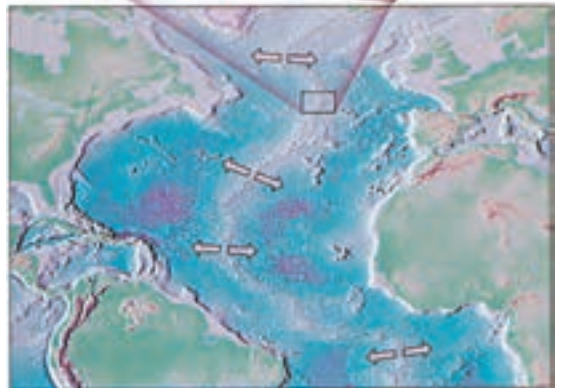
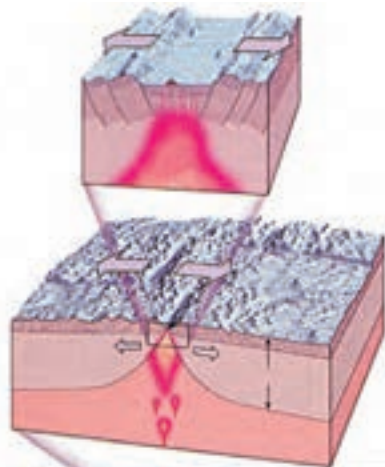
دور شونده



نزدیک شونده



امتداد لغز



شکل ۱۳-۳ حالت های مختلف حرکت ورقه های سازنده پوسته زمین نسبت به هم. مثال ها را در متن جست و جو کنید.

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

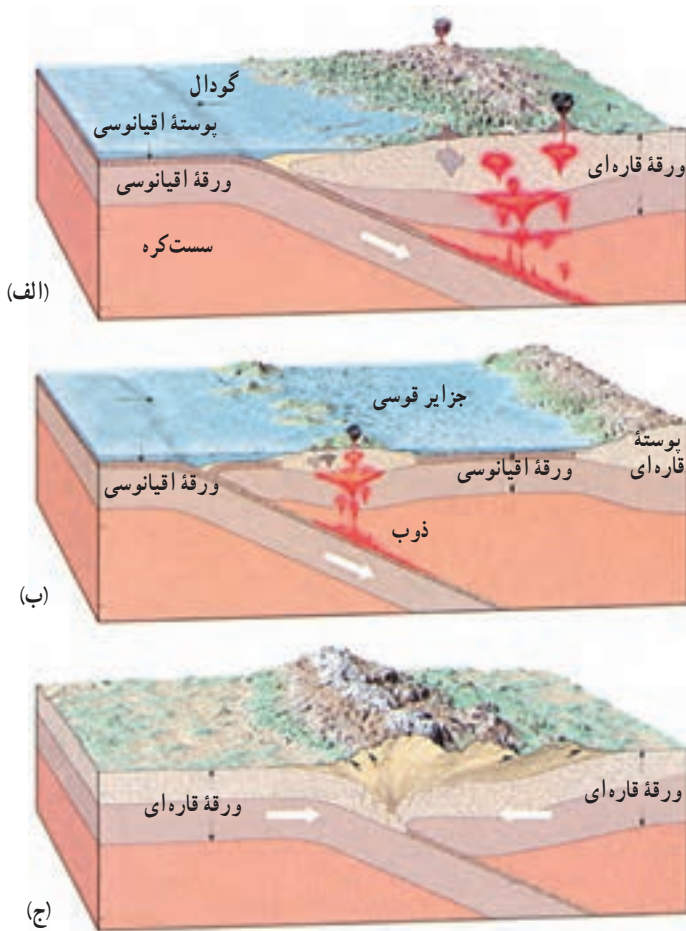
## ۲- حرکت نزدیک شونده (همگرا): در این محل ها، معمولاً یک ورقه به زیر ورقه دیگر رانده

می شود، این نوع مرزها، در محل گودال های عمیق اقیانوسی قرار دارند.

بسته به اینکه ورقه های نزدیک شونده از چه نوعی باشند، پدیده حاصل به یکی از صورت های

زیر خواهد بود:

الف) همگرایی ورقه اقیانوسی با ورقه قاره ای، ورقه اقیانوسی خم می شود و به زیر می رود و به تدریج در گوشته هضم می شود که این فرایند را اصطلاحاً فرو رانش می گویند. در این حال، مقداری از رسوبات را نیز همراه خود به پایین می کشاند. وقتی این مواد به عمقی در حدود یک صد کیلومتر می رسند، دچار ذوب بخشی می شوند که حاصل آن، ایجاد ماگمایی با ترکیب بازالتی و آندزیتی است. چنین ماگماهایی از



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

سنگ‌های اطراف محل خود سبک‌ترند. بنابراین، وقتی مقدارشان به اندازه کافی زیاد شد، حرکتی آرام را به سمت بالا درپیش 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) همگرایی دو ورقه اقیانوسی، یکی به زیر دیگری فرو می‌رود و پدیده آتشفشانی مشابه حالت قبل رخ می‌دهد. اما این بار، محل آتشفشان‌ها در بستر دریاست نه در روی خشکی. اگر فوران این آتشفشانی‌ها ادامه یابد، ممکن است بعد از مدتی جزایر آتشفشانی در دریا پدید آیند که به جزایر قوسی



معروف‌اند (در کنار جزایر قوسی امروزی هم گودال‌های اقیانوسی مشاهده می‌شود.) (شکل ۱۴-۳-ب).  
 ج) همگرایی دو ورقه قاره‌ای، هیچ‌یک، به داخل گوشته فرو نمی‌رود؛ زیرا چگالی هردو، کم و تقریباً  
 یکسان است. نتیجه چنین برخوردی، ایجاد کوه است. تصور می‌رود که سرزمین هندوستان، در گذشته‌های  
 دور از قاره آسیا جدا بوده و در حین حرکت از نوع نزدیک‌شونده، به آن برخورد کرده و رشته کوه هیمالیا  
 را بوجود آورده است. رشته کوه‌های بزرگ اورال، آلپ و آپالاش نیز نتیجه چنین برخوردهایی هستند.  
 رشته کوه زاگرس نیز باید حاصل برخورد ورقه عربستان به قاره آسیا باشد. البته، در محل همه رشته کوه‌های  
 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).

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

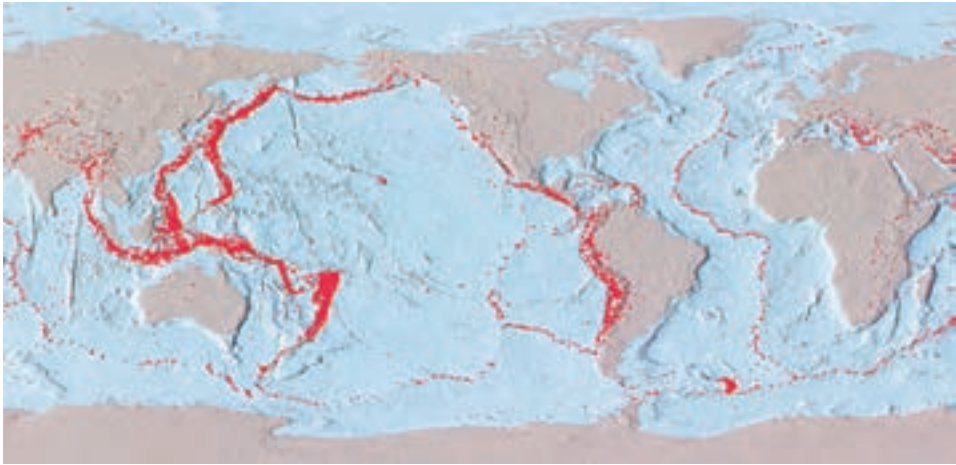
در سال ۱۹۶۵، توزو ویلسون، زمین‌شناس کانادایی با مطالعه این نوع گسل‌های امتداد لغز و  
 بزرگ، کمربندهای فعال زمین را به هم ارتباط داد و برای نخستین بار، ایده وجود ورقه‌های تشکیل دهنده  
 لیتوسفر زمین و مرز آنها را ارائه داد.

## آزمون مدل نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای

با ارائه فرضیه زمین‌ساخت ورقه‌ای، محققان شاخه‌های گوناگون علم زمین‌شناسی، شروع به  
 آزمون این فرضیه کردند. در نتیجه 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 زمین لرزه‌ها: در سال ۱۹۶۸، یعنی در همان زمان که نظریه  
 زمین‌ساخت ورقه‌ای ارائه شد، سه لرزه‌شناس، مقاله‌ای منتشر کردند که نشان می‌داد چگونه نظریه  
 مذکور با توزیع نقاط لرزه خیز جهان هماهنگی دارد (شکل ۱۵-۳). شما نیز نقشه توزیع زمین لرزه‌ها  
 را دقیقاً با الگوی ورقه‌ها (شکل ۱۰-۳) مقایسه کنید. جالب آن است که در نزدیکی دراز گودال‌های  
 عمیق اقیانوسی، فراوانی زمین لرزه‌ها زیادتراً از نقاط دیگر است (چرا؟). نظیر چنین حالتی را در کنار  
 ژاپن و حاشیه غربی امریکای جنوبی می‌توان ملاحظه کرد.

حفاری در بستر اقیانوس: در فاصله سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۳، حفاری‌هایی در ۱۰۹۲ نقطه،  
 در میان رسوبات بستر اقیانوس‌ها صورت گرفته است. هدف از این فعالیت‌ها، دستیابی به اطلاعاتی درباره



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

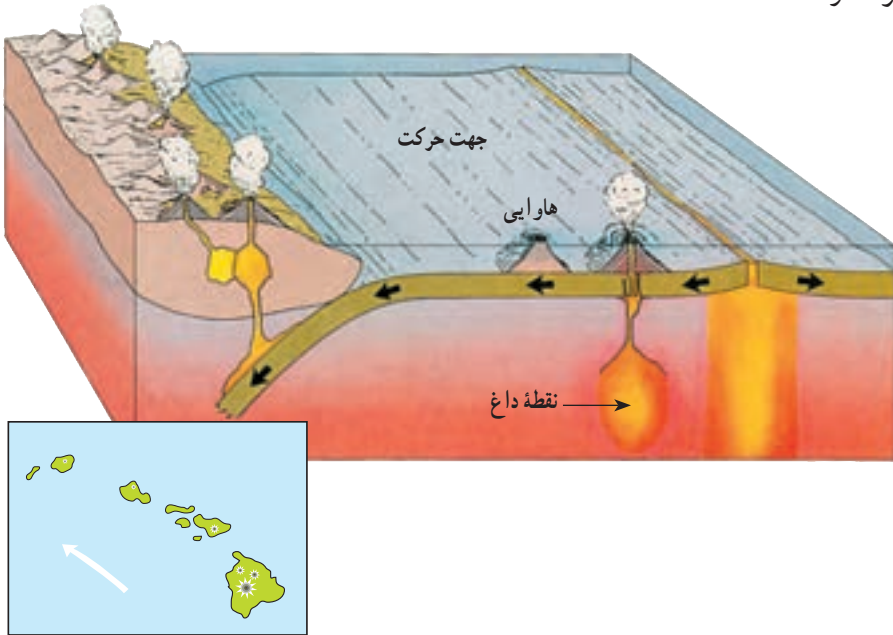
سن حوضه‌های اقیانوسی بود. محققان، با دستیابی مستقیم به نمونهٔ رسوبات نواحی عمیق اقیانوس‌ها توانستند درست بودن فرضیهٔ گسترش بستر اقیانوس‌ها را بیازمایند. در هنگام تعیین سن رسوبات، نمونه‌ها نشان دادند که هرچه از محل رشته کوه‌های میان اقیانوسی دورتر می‌شویم، عمر رسوبات زیادتر می‌شود (این یافته را چگونه تفسیر می‌کنید؟). حداکثر عمری که برای رسوبات قدیمی تعیین شد، ۲۰۰ میلیون سال بود، حال آنکه سن 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 داد که سرعت رسوب‌گذاری، چیزی در حدود یک سانتی‌متر در 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 چندصد 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 (تزدیک 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 نقطه داغ می شود. با فرض اینکه صفحه اقیانوس آرام از روی این نقطه عبور می کند، به ترتیب، ساختارهای آتشفشانی حاصل می آیند. عمر هر آتشفشان نیز نشان دهنده زمانی است که آن کوه، در نزدیک نقطه داغ قرار داشته است. ۵ میلیون سال پیش، کائوایی یعنی قدیمی ترین جزایر هاوایی در روی نقطه داغ واقع بود. بنابراین، فقط همان یک آتشفشان که امروزه خاموش است در این محل تشکیل شد (شکل ۱۶-۳). اما امروزه، در جزیره هاوایی، ناظر بیرون آمدن گدازه های جدید از کوه های مونالوا و کیلوا هستیم. جالب آنکه در نقطه ای جنوبی تر واقع در ۳۵ کیلومتری هاوایی، یک جزیره دیگر در آینده به جمع جزایر هاوایی افزوده خواهد شد. در نقاط دیگر اقیانوس آرام هم نظیر همین رشته جزایر وجود دارد.



شکل ۱۶-۳- رابطه میان نقطه داغ و رشته جزایر هاوایی در ورقه اقیانوس آرام

نقاط داغ نیز دلیلی دیگر بر حرکت ورقه ها و حتی جهت آن هستند. البته هنوز در مورد چگونگی تشکیل نقاط داغ و نقش آنها در زمین ساخت ورقه بحث وجود دارد. تعداد نقاط داغ، حدود ۵۰ تا ۱۲۰ مورد تعیین شده است. محل یکی از این نقاط در زیر جزیره ایسلند در شمال اروپاست.



## عامل‌های حرکت دهنده

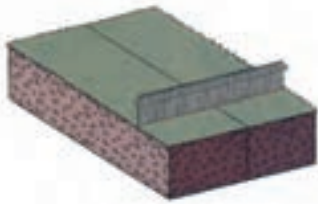
تئوری زمین‌ساخت ورقه‌ای، فقط از حرکت ورقه‌ها و آثار این حرکت بحث می‌کند بدون آنکه از نیرو یا نیروهای دست‌اندرکار در این فرایند صحبتی به میان آورد. در این باره البته، هنوز دلیل قانع‌کننده‌ای ارائه نشده است، اما به احتمال زیاد، توزیع نامساوی گرما در درون زمین باید عامل این حرکت باشد. مثلاً، چنان‌که گفته شد، هولمز عامل حرکات را وجود جریان‌های کنوکسیونی در داخل گوشته می‌داند (شکل ۸-۳) در حالی که زمین‌شناسان امروزی، چگونگی انجام این حرکات را بسیار پیچیده‌تر از آن می‌دانند که بتوان با جریان ساده کنوکسیونی نشان داد.

زمین لرزه پدیده طبیعی است که در جهت به تعادل رسیدن پوسته زمین به وقوع می پیوندد. زمین لرزه توأم با شکستگی و یا جابه جایی لایه های زمین است که این عمل همراه با تولید امواج لرزه ای است. از مشخصات مهم این امواج، سرعت بالای آن یعنی ۳ تا ۴ کیلومتر در ثانیه است. از این رو، اگر در محل شکستگی ها یا در اطراف آنها بنایی احداث شود، آن سازه، بر اثر عبور امواج زمین لرزه آسیب خواهد دید. مگر آنکه اصول فنی ساختمان سازی را رعایت کرده باشند. دانش اندک بشر و بی توجهی به ویژگی های زمین از یک سو و نامناسب بودن مصالح ساختمانی و عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت و سازها از سوی دیگر سبب شد تا زمین لرزه به عنوان یکی از مخرب ترین پدیده های طبیعی قلمداد شود که وقوع آن توأم با خسارت جانی و مالی فراوان است. در حالی که زمین لرزه بخشی از نظم و قانون حاکم بر خلقت است که خداوند بزرگ آفریده است. مطالعه زمین لرزه ها و بررسی ویژگی های امواج زمین لرزه و چگونگی کمک گرفتن از امواج زمین لرزه های طبیعی و مصنوعی، در محدوده دانش لرزه شناسی قرار می گیرد. دانش لرزه شناسی در شناخت ساختمان داخلی زمین کمک زیادی به ما کرده است.

### منشأ زمین لرزه

بیشتر زمین لرزه های دنیا در حاشیه ورقه های سنگ کره رخ می دهند (شکل ۱۵-۳). در این مناطق نیروهایی که عموماً در نتیجه حرکت و جابه جایی ورقه های سنگ کره به وجود می آیند، مجموعه سنگی یک ناحیه را تحت تأثیر قرار می دهند. مجموعه سنگی، ابتدا کمی تغییر شکل می دهد و انرژی حاصل از این نیروها را در خود ذخیره می کند تا این که مقدار این انرژی ها از آستانه مقاومت سنگ تجاوز کند و سنگ ها شکسته شوند (شکل ۱-۴).

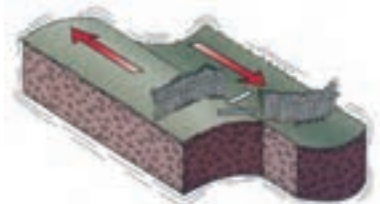
در این موقع انرژی ذخیره شده در سنگ ها، به صورت موج آزاد می شود و به اطراف حرکت می کند با رسیدن به سطح زمین سبب لرزش و تخریب بناها، ریزش کوه ها، ایجاد ترک های عمیق، امواج بزرگ



الف - قبل از وارد شدن نیرو



ب - وارد شدن نیرو و تغییر شکل



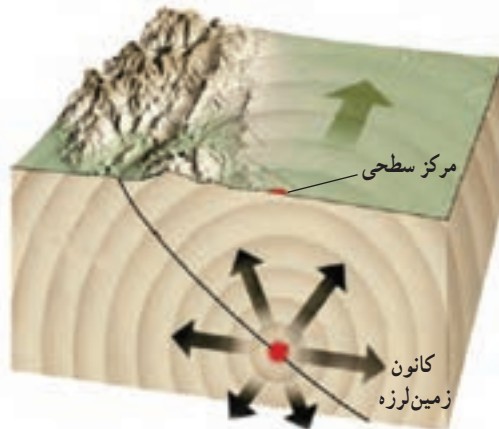
ج - شکستگی و رهاشدن انرژی

شکل ۱-۴

در دریاها و پدیده‌های مختلف دیگر می‌شود.

همه زمین‌لرزه‌ها بر اثر شکستن سنگ‌ها ایجاد نمی‌شوند؛ بلکه تعدادی از آنها در محل شکستگی‌های قدیمی اتفاق می‌افتند. در این مناطق، با ازدیاد نیروهای وارده، حرکتی 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 لرزه‌خیز، لازم است گسل‌های فعال منطقه دقیقاً مشخص شود و تاریخچه 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 ساده سنگ به وجود نمی‌آید، در هر زمین‌لرزه باید از گروه لرزه‌ها صحبت کرد. ابتدا تعدادی زمین‌لرزه خفیف اتفاق می‌افتد که به آنها پیش‌لرزه گویند. سپس حرکت و زمین‌لرزه اصلی به وقوع می‌پیوندد و پس از آن حرکات و زمین‌لرزه‌های خفیف متعادل‌کننده صورت می‌گیرد که به آنها پس‌لرزه گویند.



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

## فکر کنید

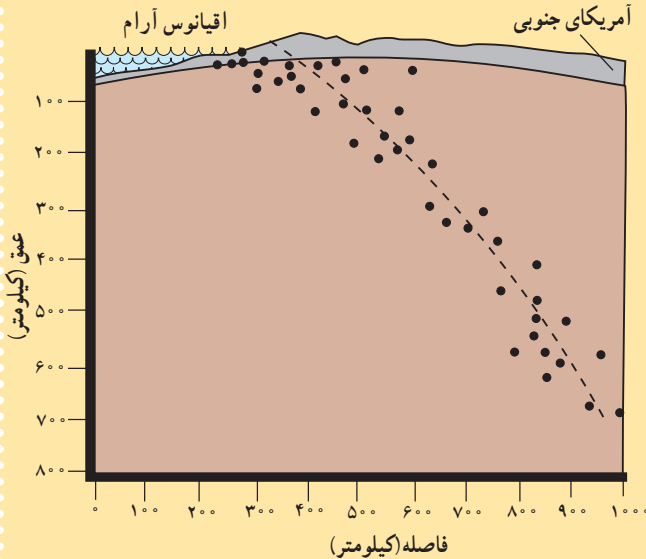
چرا گاهی پس لرزه‌ها، با وجود اینکه اغلب زمین لرزه‌های خفیفی محسوب می‌شوند، با خرابی و تلفات همراه‌اند؟

## کانون و مرکز سطحی زمین لرزه

با وجود اینکه امواج زمین لرزه در صفحه گسل تولید می‌شوند، ولی برای سهولت مطالعه، خاستگاه امواج زمین لرزه را یک نقطه فرض می‌کنند و آن را کانون می‌نامند (شکل ۲-۴). کانون اغلب زمین لرزه‌ها 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. زمین لرزه‌ها را از نظر عمق کانون می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

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

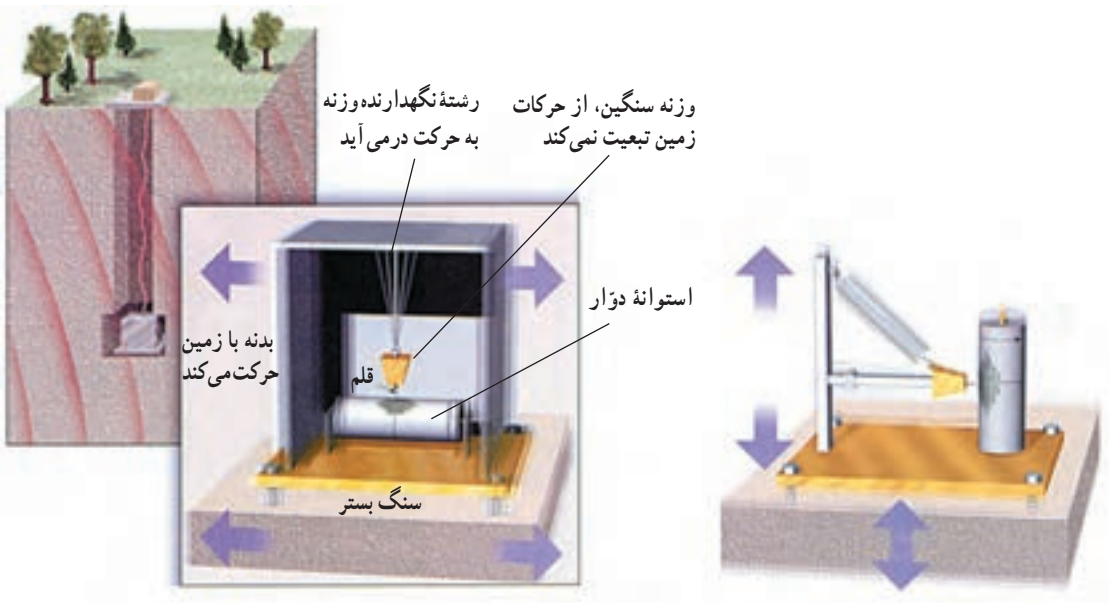
## تفسیر کنید



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

### ثبات امواج زمین‌لرزه

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



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

## امواج زمین لرزه

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

امواج زمین لرزه را با توجه به اینکه از داخل یا سطح زمین عبور کنند به دو دسته امواج درونی و امواج سطحی تقسیم بندی می‌کنند. امواج درونی (انواع S, P، صفحه ۲۳) در کانون زمین لرزه 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 لاو (Love waves) و امواج ریلی (Rayleigh waves) هستند.

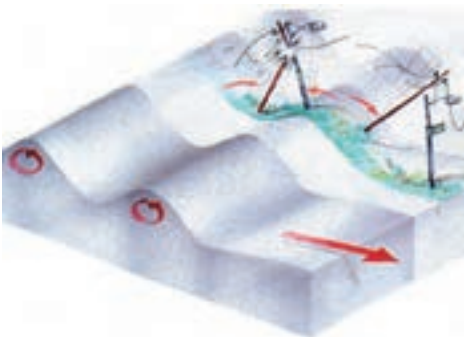
امواج لاو، حرکتی کم و بیش شبیه امواج S دارند، با این تفاوت که ذرات ماده به موازات سطح زمین جابه‌جا می‌شوند و هیچ‌گونه جابه‌جایی قائم ندارند (شکل ۴-۴-ج).



(ب) نحوه حرکت امواج عرضی (S)



(الف) نحوه حرکت امواج طولی (P)



(د) نحوه حرکت امواج ریلی (R)



(ج) نحوه حرکت امواج لاو (L)

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

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.

## شدت و بزرگی زمین لرزه

تاقبل از استفاده از دستگاه‌های لرزه‌نگار، زمین لرزه‌ها را به وسیله آثار مخربشان ارزیابی می‌کردند. در این شیوه می‌توان، پس از وقوع هر زمین لرزه نقشه‌ای تهیه کرد که در آن نقاطی را که خسارات یکسان دیده‌اند به وسیله خطوطی به هم وصل کرد. به این ترتیب، منحنی‌هایی به دست می‌آید که به آن منحنی‌های هم لرزه می‌گویند. مسلماً در این نقشه، محلی با حداکثر خسارات مشخص خواهد شد که همان مرکز سطحی زمین لرزه 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) زمین لرزه می‌گویند که دارای ۱۲ درجه است. چون شدت یک زمین لرزه در نقاط مختلف با اعداد مختلف نشان داده می‌شود، باید هنگام بیان شدت یک زمین لرزه اسم محل نیز قید شود.

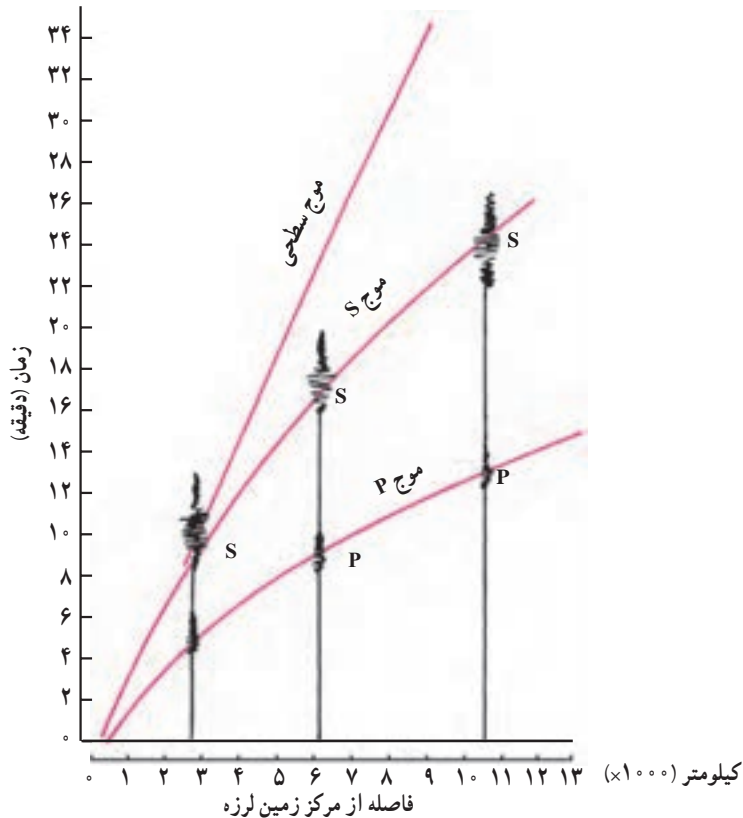
**بزرگی (magnitude)** زمین لرزه را براساس داده‌هایی که از دستگاه‌های لرزه‌نگار به دست می‌آورند تعیین می‌کنند. بزرگی زمین لرزه به مقدار انرژی که از کانون زمین لرزه آزاد می‌شود وابسته است. هر قدر انرژی آزادشده توسط یک زمین لرزه زیادتر باشد ارتعاشات ناشی از آن شدیدتر و دامنه نوسانات امواج آن بزرگ‌تر خواهد بود. طبق تعریف، واحد بزرگی زمین لرزه ریشتر است و آن لگاریتم بزرگ‌ترین دامنه موجی (برحسب میکرون) است که در فاصله یک صد کیلومتری از مرکز زمین لرزه توسط دستگاه لرزه‌نگار استاندارد ثبت شده باشد. با این که دامنه امواج زمین لرزه با دور شدن از کانون زمین لرزه کاهش می‌یابد ولی وقتی زمین لرزه مهمی در یک نقطه از کره زمین رخ دهد بزرگی محاسبه شده در ایستگاه‌های مختلف عددی یکسان است؛ زیرا دانشمندان لرزه‌شناس با استفاده از روش‌هایی می‌توانند بزرگی زمین لرزه را در هر نقطه که اتفاق افتاده باشد به صورت یکسان محاسبه کنند.

چنان که در بالا اشاره شد بزرگی زمین لرزه را با مقیاس ریشتر (دانشمندی که اولین بار آن را به کار برد) بیان می‌کنند. در این مقیاس اگر دامنه 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 مرکز سطحی زمین‌لرزه آسان است. برای این کار اختلاف زمان مزبور را در هر ایستگاه با منحنی ۱-۴ مقایسه و به این ترتیب، فاصلهٔ میان ایستگاه لرزه‌نگاری و مرکز سطحی زمین‌لرزه را مشخص می‌کنند. سپس به مرکز ایستگاه لرزه‌نگاری و به شعاع فاصلهٔ به دست آمده دایره‌ای رسم می‌کنیم. همین کار را برای حداقل دو ایستگاه لرزه‌نگاری دیگر انجام می‌دهیم. محل تلاقی سه دایره، همان مرکز سطحی زمین‌لرزه است.



منحنی ۱-۴ برای تعیین محل مرکز سطحی یک زمین‌لرزه، فاصلهٔ زمانی میان امواج مختلف رسیده به ایستگاه را با جداول و منحنی‌هایی که در مورد سرعت عبور این امواج وجود دارد مقایسه می‌کنند.



## فکر کنید



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

## خرابی‌های حاصل از زمین لرزه

سالانه بیش از ۱۵٪ 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 لرزه نگار می‌توانند وقوعشان را ثبت کنند. میزان خرابی‌های زمین لرزه بستگی به مقدار انرژی آزاد شده، شکل ساختمان، نوع مصالح به کار گرفته شده، دانش افراد سازنده و نوع زمین زیر ساختمان‌ها دارد.

## تحقیق کنید

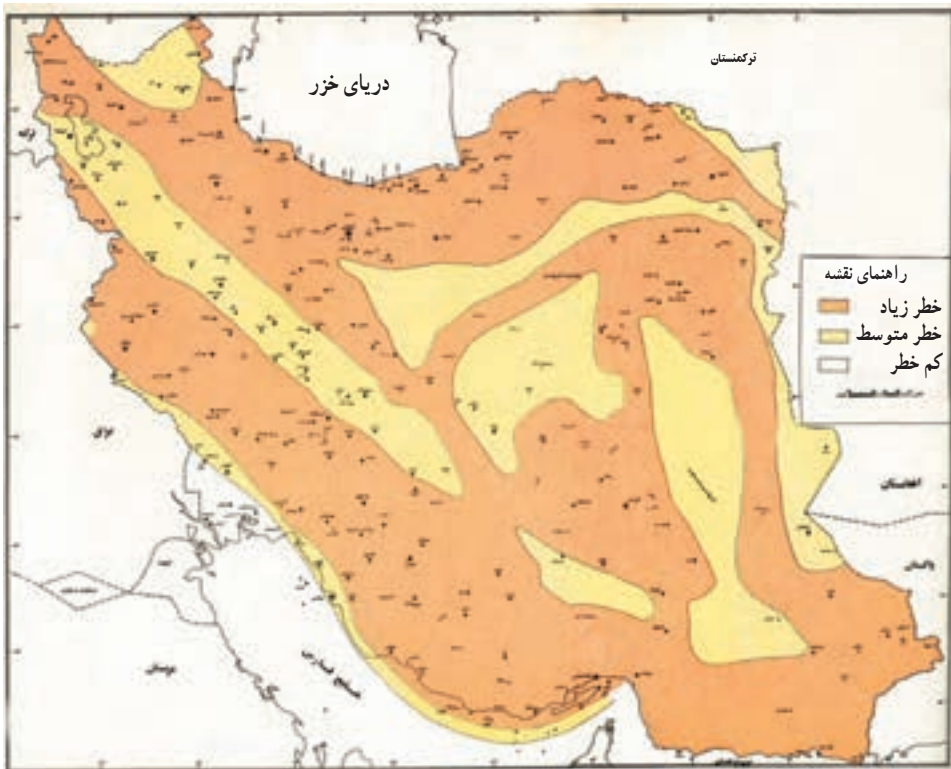
- کدام مصالح ساختمانی و چه شکل‌هایی از ساختمان در برابر زمین لرزه مقاومت بیشتری دارند؟
- پس از وقوع یک زمین لرزه مخرب، چه خطراتی جان افراد سالم را تهدید می‌کند؟
- آیا فعالیت‌های بشری هم ممکن است زمین لرزه ایجاد کند؟

## زمین لرزه در کشور ما

باتوجه به شکل ۱۵-۳ مشخص می‌شود که اغلب زمین لرزه‌های کره زمین در نواحی مشخصی که به مناطق لرزه خیز یا کمربندهای زمین لرزه معروف‌اند روی می‌دهند. مهم‌ترین این کمربندها عبارت‌اند از حاشیه‌های اقیانوس آرام و کمربند آلپ — هیمالیا که بر کوه‌های جوان کره زمین مانند آلپ، البرز، زاگرس و هیمالیا منطبق‌اند.

جدول ۱-۴- پاره ای از زمین لرزه های ایران در طی سال های ۱۲۸۸ تا ۱۳۹۲  
با بزرگی ۷ درجه و بالاتر در مقیاس ریشتر

سال	ماه	محل	بزرگی	سال	ماه	محل	بزرگی
۱۲۸۸	دی	دورود	۷/۴	۱۳۴۷	مرداد	دشت بیاض	۷/۳
۱۳۰۸	مهر	شمال خراسان	۷/۲	۱۳۵۶	اسفند	بندرعباس	۷
۱۳۰۹	اردیبهشت	جنوب غربی سلماس	۷	۱۳۵۷	شهریور	طبس	۷/۷
۱۳۱۳	خرداد	سراوان	۷	۱۳۵۸	آبان	شمال قاین	۷/۳
۱۳۲۷	مهر	شمال خراسان	۷/۲	۱۳۶۰	مرداد	کرمان	۷/۱
۱۳۳۶	تیر	لاریجان	۷/۴	۱۳۶۹	خرداد	رودبار	۷/۴
۱۳۳۶	آذر	غرب همدان	۷	۱۳۷۶	اردیبهشت	قائنات	۷/۲
۱۳۴۱	شهریور	بوئین زهرا	۷	۱۳۹۲	فروردین	سراوان	۷/۷



شکل ۵-۴- خطر زمین لرزه در قسمت های مختلف ایران (اقتباس از نقشه تهیه شده توسط وزارت مسکن و شهرسازی)

کشور ما روی کمر بند فعال زمین لرزه آلپ - هیمالیا قرار گرفته است و هر چند مدت یک بار زمین لرزه ویران کننده ای در یکی از نقاط آن روی می دهد (جدول ۱-۴). با توجه به شکل ۵-۴ تمام قسمت های ایران از توان لرزه خیزی یکسانی برخوردار نبوده بلکه برخی قسمت ها کم خطرتر و برخی دیگر از توان لرزه خیزی بیشتری برخوردار می باشند.

### بیشتر بدانید

#### قبل از وقوع چه باید کرد!

- امکان خطر آتش سوزی را، از طریق سیم های برق فرسوده، ارتباطات، نشت لوله های گاز و وسایل گازسوز، بررسی کنید.
- محل کلید و شیر اصلی برق، گاز و آب را پیدا کنید.
- وسایل سنگین را در طبقات پایین قفسه ها بگذارید و قفسه ها را به دیوار متصل کنید.
- اشیای سنگین و افتادنی را مهار کنید.
- وسایل شکستنی از قبیل ظروف شیشه ای و چینی را در طبقات بالای کمد و قفسه ها نگذارید.
- لامپ ها و لوسترهای سقفی را محکم کنید.
- محل های امن خانه، مدرسه یا محل کار خود را پیدا کنید.
- همواره وسایل مورد نیاز مانند چراغ قوه و وسایل کمک های اولیه را در دسترس قرار دهید.

#### هنگام وقوع چه باید کرد؟

- اگر خارج از ساختمان هستید، همان جا بمانید. اگر داخل ساختمان هم هستید، همان جا بمانید. بیشتر آسیب دیدگی ها مربوط به رفت و آمد افراد در زمان وقوع زمین لرزه است.
- اگر داخل ساختمان هستید به زیر یک میز محکم، چارچوب در، محل های دارای سقف کم وسعت، یا کنار دیوارهای داخلی پناه بگیرید. از پنجره دور شوید. از شمع، کبریت و هر چه که شعله دارد، استفاده نکنید.
- در ساختمان های چند طبقه، به طرف درهای خارج هجوم نبرید؛ زیرا ممکن است راه پله ها پر از افراد، یا شکسته باشند، از آسانسور هم استفاده نکنید.
- در بیرون از ساختمان، از پل ها، سیم های برق، ساختمان ها و دیوارها دور شوید.
- اگر داخل اتومبیل هستید، از پل ها و ساختمان ها فاصله بگیرید و فوراً متوقف شوید.

بعد از وقوع چه باید کرد؟

- مراقب پس لرزه‌ها باشید.
- دنبال زخمی‌ها بگردید. افرادی را که زخم شدید دارند، زیاد حرکت ندهید، مگر آنکه در خطر آسیب دیدگی‌های 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. نشست گاز را به مقامات مربوطه گزارش بدهید. در صورت آسیب دیدگی 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 فاصله 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 پخش شده را فوراً جمع کنید.
- از ساختمان‌های آسیب دیده دور شوید؛ زیرا ممکن است پس لرزه‌ها سبب فروریختن آنها شوند.

چیزهای لازمی که باید همیشه در دسترس باشند :

- رادیو و چراغ دستی با باتری‌های اضافی
- پلکان سبک برای ساختمان‌های چند طبقه
- جعبه کمک‌های اولیه با داروها و مواد ضروری و کتاب کمک‌های اولیه
- دستگاه خاموش‌کننده آتش و ظرف پر از آب
- آچار قابل تنظیم، کبریت، در بازکن قوطی و پول نقد
- غذاهای کنسرو شده و خشک برای مصرف یک هفته اعضای خانواده
- شماره تلفن پلیس، آتش‌نشانی و اورژانس
- اجاق‌گاز قابل حمل (پیک‌نیک)

مهم‌ترین علت‌های آسیب دیدگی در زمین لرزه

- فروریختن ساختمان
- شیشه پنجره‌های شکسته و در حال افتادن
- قطعات اثاثیه در حال افتادن
- آتش‌سوزی به علت شکستن لوله‌های گاز و یا اتصال سیم‌های برق
- بی‌آب ماندن به علت شکستن لوله‌های آب
- سیم‌های برق افتاده بر روی زمین

# آتشفشان‌ها و فرایندهای آتشفشانی

۵

در سرگذشت زمین، آتشفشان‌ها 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 آتشفشان‌ها به وجود آمده‌اند. بدون آتشفشان نه پوسته جدید اقیانوسی از طریق گسترش بستر اقیانوس‌ها، به وجود می‌آمد، نه فرورانشی بین دو ورقه تکتونیکی پدیدار می‌شد، نه کوه‌زایی انجام می‌گرفت، نه فرسایشی وجود داشت و نه رسوب‌گذاری.

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

## بیشتر بدانید

فعالیت‌های آتشفشانی، باعث پدید آمدن سرزمین‌هایی برای سکونت انسان شده‌اند. ایسلند، ژاپن، هاوایی، هائیتی و بسیاری از جزایر اقیانوس آرام و دریای کارائیب و تقریباً همه قسمت‌های امریکای مرکزی، محصول پدیده آتشفشان یا وُلکانیسم (Volcanism) اند.

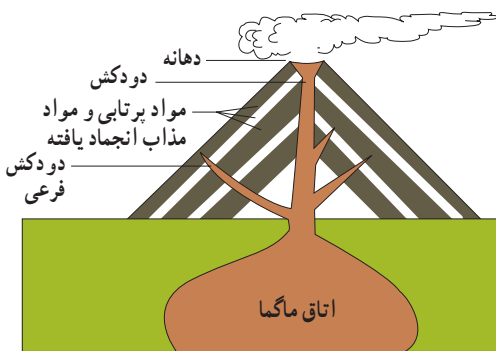
زمین‌های کشاورزی حاصلخیزی که در امریکای مرکزی و جنوبی وجود دارند و در آنها قهوه به عمل می‌آید، محصول خاک‌های مناسب آتشفشانی‌اند. بهترین نمونه این نوع خاک‌های پرارزش را در جزیره جاوه می‌توان یافت. در آنجا، خاک نرم حاصل از خاکستر آتشفشانی، آب را خوب نگه می‌دارد و مواد معدنی چون پتاسیم، کلسیم و سدیم همراه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

هوایی که تنفس می‌کنیم و قسمتی از آبی که می‌آشامیم، محصول فعالیت‌های آتشفشانی 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 گرد هم آمدند و هواکره را پدید آوردند.

امروزه مطالعه آتشفشان‌ها از سه نظر برای ما اهمیت دارد :

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

## مشخصات یک آتشفشان



شکل ۱-۵- مشخصات یک آتشفشان

به طور کلی آتشفشان‌ها، شکاف‌ها یا سوراخ‌هایی در سطح زمین اند که مواد آتشفشانی از آنها بیرون می‌ریزد. اگر مواد آتشفشانی تنها از یک مجرای اصلی بیرون بریزند در اطراف مجرای خروج مخروطی به وجود می‌آورند. در قله 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 دهانه مخروط آتشفشان دماوند حدود ۴۰۰ متر است. دهانه معمولاً به وسیله مجرای که دودکش نامیده می‌شود به منبع مواد مذاب که به آن آشیانه یا اتاق ماگما می‌گویند، متصل است. در آشیانه ماگما، مواد مذاب به همراه حباب‌های گاز، قطعه بلورهای در حال رشد و حتی قطعات سنگی کنده شده از کناره آشیانه وجود دارد. در یک آتشفشان ممکن است چند آشیانه و چند دهانه و دودکش فرعی وجود داشته باشد.



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

## مواد خروجی از دهانه آتشفشانها

موادی که از یک آتشفشان خارج می‌شوند به سه صورت گاز، مایع و جامداند.

**گازها:** تمام ماگماها مقداری گاز و بخار آب دارند که ممکن است به تنهایی یا همراه مواد مایع و جامد از آتش فشان خارج شوند. سرعت خروج گاز از ماده مذاب بستگی به میزان گرانیوی ماده مذاب دارد به طوری که 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 ماده 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 همه آتشفشانها یکسان نیست و بسیار متفاوت است حتی گازهای خارج شده در مراحل مختلف یک آتشفشان هم باهم متفاوت اند. به طور کلی قسمت اعظم گازهای آتشفشانی را بخار آب تشکیل می‌دهد و پس از آن گازهای دی اکسید کربن، گازهای گوگردی و گازهای نیتروژن دار اهمیت بیشتری دارند. در درجه بعدی می‌توان از گازهای کلردار، گاز هیدروژن و گاز مونواکسید کربن نام برد.

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

**مواد مایع:** به ماده مذابی که از دهانه خارج می‌شود و به سطح زمین می‌رسد گدازه گویند. گدازه‌ها بسته به نوع سنگی که ذوب می‌شود و درجه حرارتی که ذوب در آن صورت می‌گیرد ترکیب شیمیایی متفاوتی دارند و دخالت مواد فزّار و به ویژه آب، سبب می‌شود که ماگماهایی متفاوت حاصل شود که خروج آنها به همراه ازدست دادن گازها، گدازه‌های مختلف را به وجود 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 کم شدن مقدار  $\text{SiO}_2$  به ترتیب حد واسط و بازی نام می‌گیرند.

مقدار  $\text{SiO}_2$  تا حد زیادی تعیین کننده گرانیوی گدازه خارج شده از دهانه آتشفشان است. گدازه‌های اسیدی نسبت به گدازه‌های حد واسط و بازی مقدار بیشتری سیلیسیم و اکسیژن دارند. (شکل ۵-۶) 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 حد واسط می‌شوند. به همین ترتیب گدازه‌های حد واسط نیز گرانیوی بیشتری نسبت به گدازه‌های بازی دارند.



سرعت جریان یک گدازه پس از خروج از دهانه آتشفشان بستگی به گرانروی ماده مذاب و شیب دامنه کوه آتشفشان دارد. این سرعت در گدازه‌های بازی دارای گرانروی کم و در یک دامنه پرشیب، به ۵۰ کیلومتر در ساعت بالغ می‌شود و در گدازه‌های اسیدی بر روی سطحی کم شیب به حدود یک سانتی‌متر در روز می‌رسد (شکل ۳-۵-ب).

**مواد جامد (تفرا):** آن دسته از مواد آتشفشانی که به صورت 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 ۲ میلی‌متر را خاکستر و ذراتی با قطر بین ۲ 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 به هم چسبیدن و سخت شدن این ذرات گروهی از سنگ‌های آتشفشانی به نام سنگ‌های آذر آواری ایجاد می‌شوند. این سنگ‌ها برخلاف سایر سنگ‌های آذرین عمدتاً غیرمتبلورند و مانند سنگ‌های رسوبی، از روی اندازه ذراتشان دسته‌بندی می‌شوند.



ج) گازهای مختلف و تفرا



الف) مواد جامد (بمب‌های آتش‌فشان)



ب) گدازه‌های خمیری

شکل ۳-۵- مواد مختلفی که از دهانه آتشفشان خارج می‌شوند.



### 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 لایه‌های 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؟



شکل ۴-۵- مخروط آتشفشان



شکل ۵-۵- مخروط آتشفشان دماوند



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

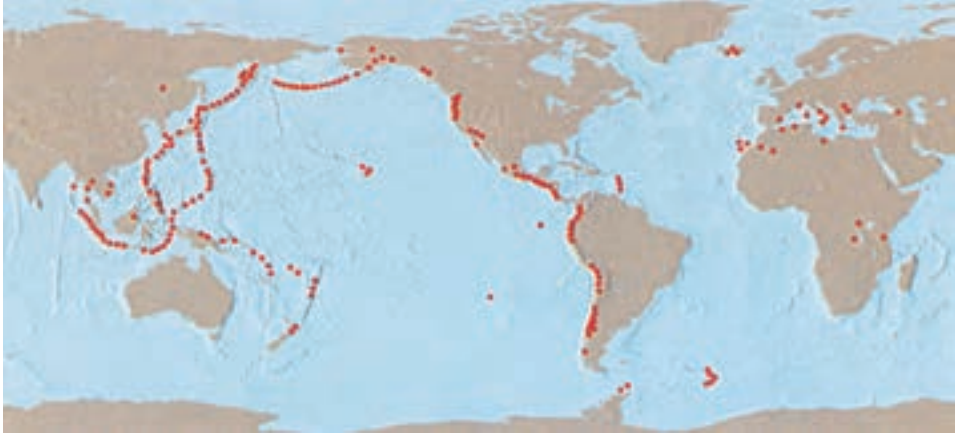
### بیشتر بدانید

در روز ۸ ماه مه ۱۹۰۲ در ساعت ۸ و ۲ دقیقه کوه پله واقع در جزیره 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 ۶۰۰ برابر بمب اتمی که در سال ۱۹۴۵ هیروشیما را ویران کرد منفجر شد و از محل تخریب، ابر سوزانی با دمای بیشتر از ۴۰۰ درجه سانتی گراد خارج شد و با سرعت ۵۴۰ کیلومتر در ساعت در مدت یک دقیقه به شهر سن پیر واقع در هشت کیلومتری محل آتشفشان رسید و ۳۰۰۰۰ 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 دو قرن غیرفعال بود، یک باره منفجر شد و جزیره را از میان برد. امواجی به ارتفاع ۲۷ متر که در نتیجه این حادثه پدید آمد، حدود ۱۰۰ 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 فاصله ۴۸۰۰ کیلومتری، در قسمت‌های مرکزی استرالیا شنیده شد. حاصل انفجار، ایجاد ابر سیاهی بود که تا ارتفاع ۸۰ 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 یک درجه کاهش هوای عمومی کره زمین شدند.

## جغرافیای آتشفشان‌ها

بررسی نقشه نواحی آتشفشان خیز کره زمین نشان می‌دهد، که آتشفشان‌های فعال و نیمه فعال غالباً با مناطق زلزله خیز منطبق اند و این مناطق هم با حد و مرز ورقه‌های سنگ کره انطباق قابل توجهی دارند (شکل ۵-۷). پس به طور کلی می‌توان مناطق فعالیت آتشفشان‌ها را به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۵-۸).

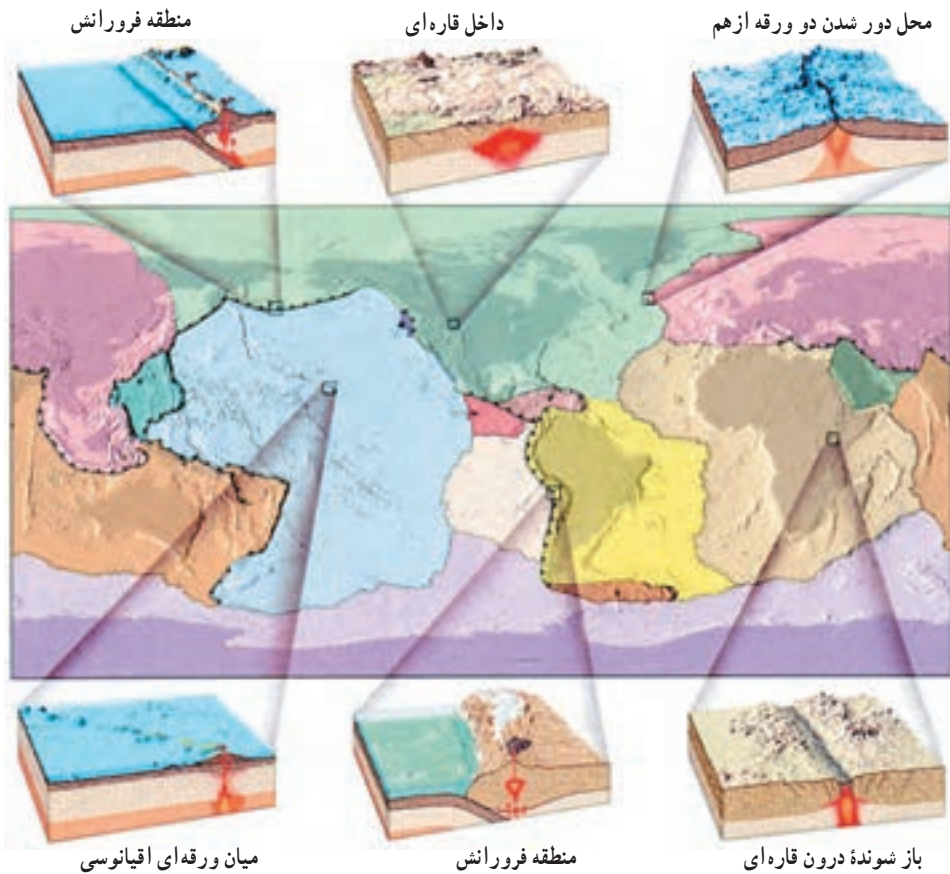


شکل ۵-۷ - موقعیت بعضی از مهم‌ترین کوه‌های آتشفشانی زمین

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

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

۳- برخلاف دو دسته مذکور که در حاشیه ورقه‌ها قرار دارند، گروه سوم آتشفشان‌ها از وسط ورقه‌ها



شکل ۸-۵- موقعیت‌های آتشفشانی مختلف در روی زمین

خارج می‌شوند. آتشفشان‌های هاوایی در این دسته جای می‌گیرند. برای پیدایش این قبیل آتشفشان‌ها فرض می‌شود که در داخل گویسته، نقاطی بسیار گرم (نقطه داغ) وجود دارد که سبب ذوب سنگ‌های عمقی می‌شود و آتشفشان‌هایی مانند جزایر هاوایی را به وجود می‌آورد. حرکت ورقه در بالای نقطه 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 قدیمی‌ترین آتشفشان فاصله زیادتری نسبت به نقطه داغ پیدا می‌کند و جدیدترین آتشفشان روی نقطه داغ قرار می‌گیرد (شکل ۱۶-۳).

## خطرات آتشفشان‌ها

اثرات اولیه آتشفشان‌ها مانند جریان گدازه، ریزش خاکستر، انفجار کوه‌ها، عبور ابرهای سوزان،

جریان‌های عظیم گِل 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 آتشفشان این امکان را به وجود آورده که با جابه‌جا کردن مردم از منطقه 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 آسان‌تر از کاهش خطر زمین‌لرزه‌هاست؟

گذشته از اثرات اولیه، اثرات ثانویه‌ای هم از این قبیل فعالیت‌ها حاصل می‌آید که بر آب و هوا و جانداران تأثیر می‌گذارد. گاهی، اثر بر آب و هوا، جنبه جهانی به خود می‌گیرد. مثلاً، گازهای خروجی در حین یک آتشفشان 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 آب و هوای 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 تامپورا در سال ۱۸۱۵ در کشور اندونزی بوده است. این فعالیت، دوره 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 آب و هوا باقی می‌گذارند یا نه؛ این موضوع، نیاز به شواهد و بررسی‌های بیشتری دارد.

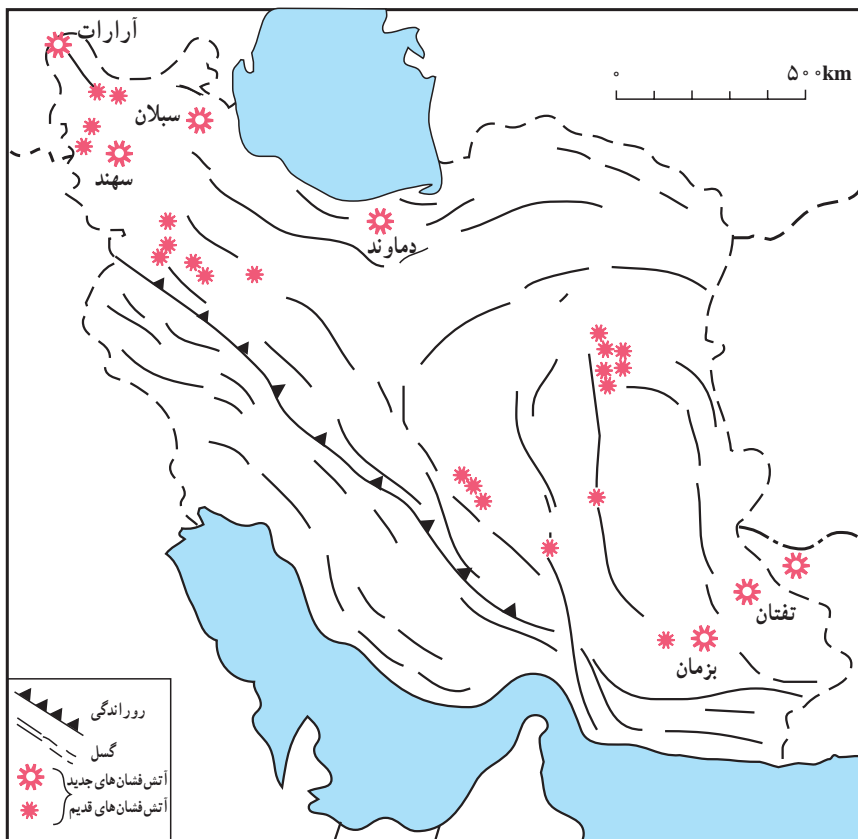
### استفاده از آتشفشان‌ها

آتشفشان‌ها در مواردی می‌توانند سودمند باشند؛ تشکیل سرزمین‌ها و جزایر جدید در اثر

آتشفشانی‌های زیر دریایی، 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 فرایندهای آتشفشانی این باشد که پنجره‌ای به درون زمین باز کرده و نحوه عملکرد بعضی از فرایندهای 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 مرحله فومرولی‌اند. 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 مجموعه آتشفشانی ایران تقریباً از نظمی برخوردار است.



شکل ۹-۵- محل گسل‌ها و آتشفشان‌های مهم ایران

# ساختهای تکتونیکی و کوهزایی



مجموعه فرایندهایی را که سبب تغییر شکل فیزیکی و تغییر در ساخت اولیه سنگ‌ها می‌شود، فرایندهای ساختمانی گویند. فرایندهای ساختمانی باعث ایجاد ساخت‌های جدید (ساخت ثانویه) و متنوعی در پوسته زمین می‌شوند. بخشی از علم زمین‌شناسی که ساخت‌های حاصل از تغییر شکل سنگ‌ها را در ارتباط با فرایندهای ایجادکننده آنها بررسی می‌کند تکتونیک یا زمین‌ساخت می‌نامند. فشار و دما که از عوامل اصلی دگرگونی‌اند، در فرایندهای ساختمانی نیز اهمیت اساسی دارند. مدت زمان وارد شدن فشار، عامل سوم مؤثر در فرایندهای ساختمانی است. بنابراین، در فرایندهای ساختمانی همواره اثر عوامل سه‌گانه فشار، دما و زمان بررسی می‌شود. چون طرز اثر این عوامل عموماً به‌طور مستقیم در طبیعت قابل مشاهده نیست، آن‌را با مدل‌هایی کم‌وبیش 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 اولیه سنگ گویند. به‌طور مثال، ساخت‌های گدازه‌ای، آذرآواری، صفحه‌ای (سیل و دایک) و توده‌ای (باتولیت) از ساخت‌های اولیه سنگ‌های آذرین و لایه‌بندی مهم‌ترین ساخت اولیه سنگ‌های رسوبی به حساب می‌آیند. چون در این فصل ساخت‌های ثانویه سنگ‌های رسوبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، شرح بیشتری درباره ساخت اولیه 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





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

که طول و عرض آن در مقایسه با ضخامتش بسیار زیاد است. ضخامت هر لایه ممکن است کمتر از یک سانتی‌متر تا بیش از یک متر باشد و به وسیله سطحی به نام سطح لایه‌بندی از لایه مجاور خود جدا می‌شود. دو لایه مجاور ممکن است از نظر بافت (اندازه ذرات)، جنس، رنگ و ... با یکدیگر متفاوت باشند (شکل ۱-۶).

## فکر کنید

آیا همیشه گسترش افقی یک لایه از نظر جنس و بافت یکسان 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 مانند چین‌خوردگی‌ها و شکستگی‌ها.

## 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 نیرویی از خارج قرار گیرد، در داخل جسم هم نیرویی به وجود می‌آید که با نیروی خارجی مقابله می‌کند، این نیروی 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. نیروهای خارجی که به سمت هم عمل نمایند در داخل سنگ تنش‌های فشاری ایجاد می‌کنند، در جایی که نیروهای خارجی از هم دور شوند باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌شوند و وقتی جسمی تحت تأثیر نیروهای برشی قرار گیرد (مشابه حرکت لبه‌های قیچی) در مقاطع آن تنش‌های برشی به وجود می‌آید (شکل ۲-۶).



قبل از وارد شدن نیرو



شکل ۲-۶

مواد جامد بر اثر تنش تغییر شکل می دهند. پس از رفع تنش، ماده 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. ماده ای که پس از رفع تنش به حالت اول خود بازگردد کش سان یا الاستیک و ماده ای که پس از رفع تنش تغییر شکلش برگشت پذیر نباشد خمیر سان یا پلاستیک نامیده می شود. تغییر شکل مواد طبیعی در شرایط مختلف کش سان یا خمیر سان یا ترکیبی از آن دو است. وقتی جسمی تحت تنش قرار گیرد ابتدا از خود حالت کش سان نشان می دهد، ولی با افزایش تنش به مرحله ای می رسد که در آن همه یا قسمتی از تغییر شکل جسم، غیر قابل برگشت می شود (حد کش سانی). از این حد به بعد پس از رفع تنش جسم حالت خمیری نشان می دهد و کاملاً به حالت اولیه بر نمی گردد؛ با افزایش بیشتر تنش، مرحله ای می رسد که در آن ماده تاب مقاومت ندارد و می شکند.

### فکر کنید

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

می آورد؟

بیشتر سنگ ها در برابر تنش ابتدا واکنش کش سان از خود نشان می دهند که چندان قابل رؤیت نیست ولی با ادامه تنش ممکن است واکنش به صورت خمیری باشد، مثلاً وقتی که سنگ ها چین می خورند؛ یا به صورت شکننده باشد مانند وقتی که در سنگ ها درز یا گسل به وجود می آید. نوع واکنش سنگ ها در برابر تنش به عواملی چون فشار همه جانبه، دما، زمان، آب یا محلول های دیگر بستگی دارد.

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

شکستگی	خمیری	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- سنگ در اعماق زمین قرار دارد.</li> <li>- سنگ در روی زمین قرار دارد.</li> <li>- سنگ در محل بسیار گرمی قرار دارد.</li> <li>- تنش به‌طور ناگهانی به‌سنگ وارد می‌شود.</li> <li>- تنش در مدت زمان طولانی و به‌آرامی به‌سنگ وارد می‌شود.</li> <li>- سنگ آبدار است.</li> <li>- سنگ خشک است.</li> </ul>

**چین خوردگی:** به‌طور کلی چین‌ها را می‌توان خمیدگی‌های موجود در سنگ‌ها بر اثر رفتار 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 **تک شیب** گویند (شکل ۳-۶-الف) و اگر لایه‌های سنگی طوری خم شوند که لایه‌های قدیمی‌تر در مرکز چین قرار گیرند، چین را **تاقدیس** می‌نامند (شکل ۳-۶-ب) در صورتی که لایه‌های جدیدتر در مرکز چین قرار گیرند، چین را **ناودیس** گویند (شکل ۳-۶-ج).



شکل ۳-۶ - انواع چین

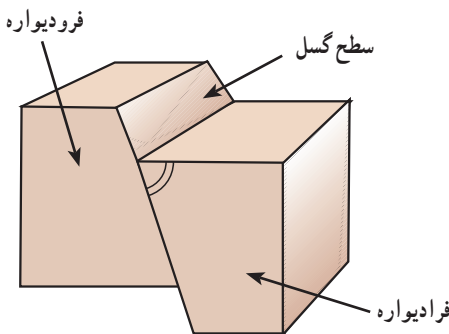
## شکستگی‌ها

شکستگی‌ها، ساخت‌های ثانویه‌ای هستند که 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 آب زیرزمینی و ذخایر نفت و گاز نیز درزها و گسل‌ها اهمیت دارند و در تشکیل کانسارهای گرمایی عامل مهمی به حساب می‌آیند.

درز: به نوعی شکستگی گفته می‌شود که، سنگ‌های دو طرف سطح درز نسبت به هم جابه‌جا نشده باشند (شکل ۴-۶). 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 ۴-۶- نمایی از درزه که با ایجاد شکستگی در سنگ آشکار شده است



شکل ۵-۶- مشخصات گسل

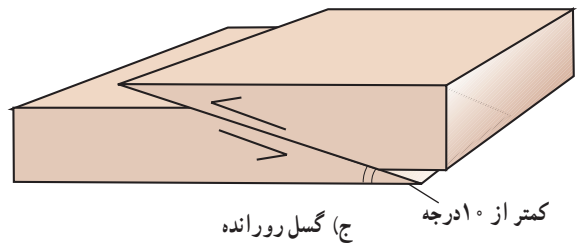
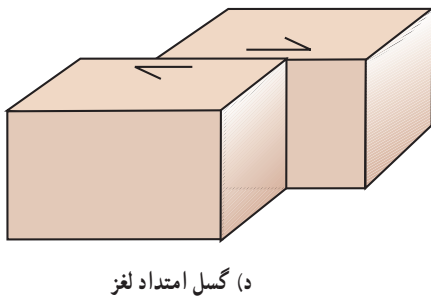
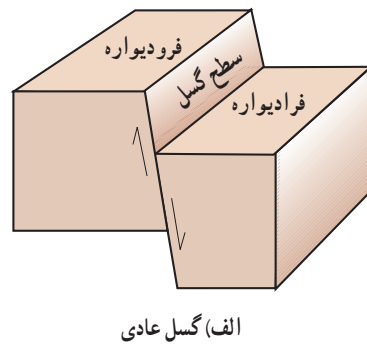
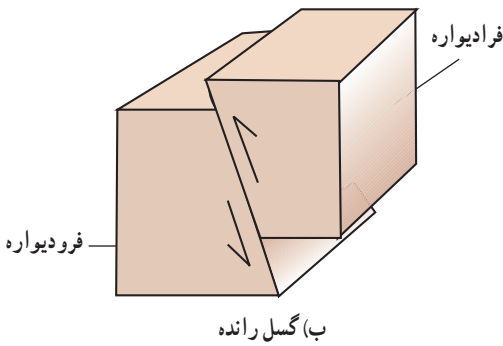
**گسل‌ها:** گسل‌ها شکستگی‌هایی هستند که در آن، سنگ‌های طرفین شکستگی نسبت به هم لغزش پیدا کرده‌اند. مقدار لغزش از حدود یک سانتی‌متر تا چند کیلومتر تغییر می‌کند (شکل ۵-۶).

**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 فرادیواره و طبقات سنگی زیر سطح گسل را فرودیواره می‌نامند.

## انواع گسل

اگر سطح گسل مایل باشد، گسل را شیب لغز می‌نامند که ممکن است عادی یا معکوس باشد. در صورتی که فرادیواره نسبت به فرودیواره به طرف پایین حرکت کرده باشد یا فرودیواره نسبت به فرادیواره به سمت بالا حرکت کرده باشد، گسل را عادی گویند (شکل ۶-۶-الف).

در صورتی که 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 ۶-۶-ب). اگر در گسل‌های رانده مقدار جابه‌جایی بیش از یک کیلومتر و زاویه سطح گسل کمتر از  $10^\circ$  درجه باشد، گسل را رورانندگی یا رورانده گویند (شکل ۶-۶-ج). گاهی بر اثر تنش برشی، لغزش سنگ‌ها در امتداد سطح گسل اتفاق می‌افتد، در این صورت گسل را امتداد لغز گویند (شکل ۶-۶-د).



شکل ۶-۶- اقسام گسل ساده

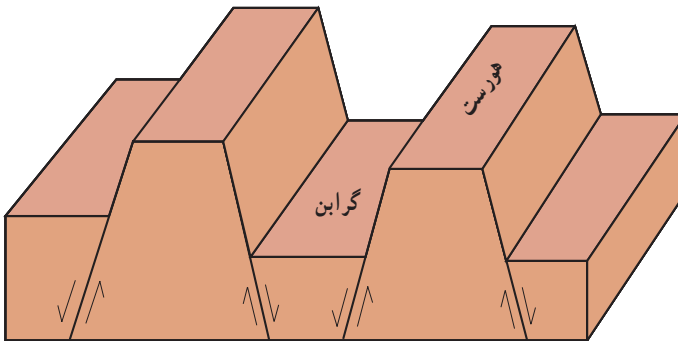


شکل ۷-۶ - الف - گسل عادی



شکل ۷-۶ - ب - گسل عادی -  
جنوب غرب فیروزکوه

در بخش‌هایی از پوسته زمین که تحت تأثیر تنش‌های کششی قرار دارند، ممکن است تعدادی گسل‌های عادی موازی هم ایجاد شوند و به این ترتیب، بخش‌هایی از پوسته پایین بیفتند و ساختی به نام گراپن (پایین افتادگی) را بسازد و بخش‌هایی بالا رود و ساختی به نام هورست (بالا راندگی) را بسازد (شکل ۸-۶).



شکل ۸-۶ - گراپن و هورست

# شواهدی در سنگ‌ها



شکل ۱-۷- درخت فسیل شده

به این درخت فسیل شده نگاه کنید. امروزه، جنس این درخت از سنگ است اما بدیهی است که در گذشته، همین قطعه فسیل، قسمتی از تنه یک درخت بوده است. در این صورت، چه حوادثی باعث تبدیل چوب به سنگ شده است؟

زمین‌شناسان نیز مانند کارآگاهان، با مشاهده دقیق شواهد موجود، به حوادث گذشته پی می‌برند. اما شواهد و مدارک زمین‌شناسان کدام‌اند؟  
بیشترین شواهد و مدارک برای مطالعه گذشته زمین، در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود. علت این امر چیست؟  
سنگ‌های رسوبی به دلیل داشتن فسیل، می‌توانند در تشخیص سن لایه‌ها و محیط تشکیل آنها مورد استفاده قرار گیرند.

زمین‌شناسان از شواهدی که در حال حاضر وجود دارد به عنوان مدارکی برای پی بردن به شرایط گذشته استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، وقتی در یک لایه رسوبی، فسیل مرجان‌ها یافت می‌شود، نشان‌دهنده آن است که این لایه در محیط دریایی گرم و کم عمق تشکیل شده است.

## تفسیر کنید



(الف)



(ب)

منشأ احتمالی هر کدام از این سنگ‌ها کدام است؟

## لایه لایه بودن سنگ‌ها

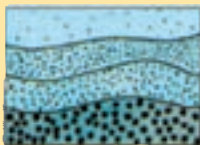
مهم‌ترین خاصه سنگ‌های رسوبی، لایه لایه بودن آنهاست. هر لایه از این سنگ‌ها نشانه‌ای از شرایط زمان رسوب گذاری خود را داراست. در بسیاری از لایه‌ها شواهدی از چگونگی و گاهی زمان رسوب گذاری یافت می‌شود.

## فکر کنید

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

در چه شرایطی تشکیل می‌شود؟

(الف)



(ب)

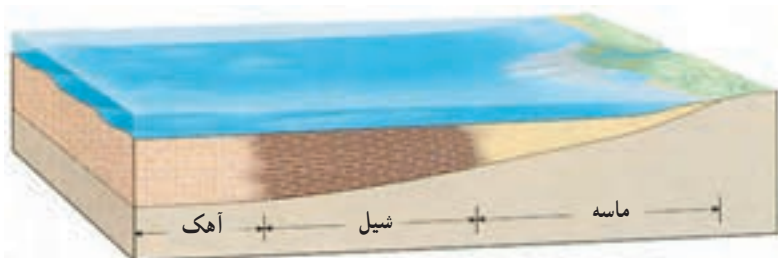


طرز رسوب گذاری ذرات را در این دو حالت مقایسه کنید. در کدام حالت، آب حرکت داشته است؟ دلیل بیاورید.

یک لایه 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 قلوه سنگ‌های درشت و ریز و یارسی باشد. هنگامی که رسوبات در دریا ته‌نشین می‌شوند، مسلماً دانه‌های درشت در نزدیکی ساحل بر جای می‌مانند، اما ذرات رُس به علت سبکی زیاد، تا مسافتات زیاد از ساحل فاصله می‌گیرند (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷- جنس رسوبات در اعماق مختلف دریا، متفاوت است.

همه سنگ‌های لایه‌لایه، رسوبی نیستند، همچنان که گاهی گدازه‌های آتشفشانی هم که از کوه سرازیر می‌شوند، پس از انجماد به صورت لایه‌لایه درمی‌آیند. مانند خاکسترهایی که از دهانه آتشفشان خارج می‌شوند، ممکن است به صورت لایه‌لایه بر زمین بنشینند و سخت شوند (توف‌ها). البته تشخیص این قبیل سنگ‌ها از روی جنس و نحوه تشکیل آنها آسان خواهد بود.

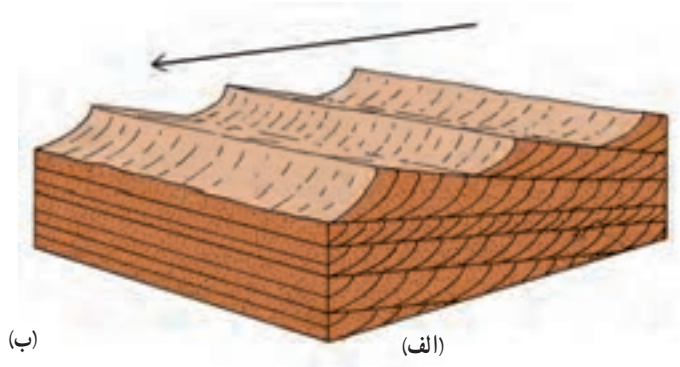
گدازه‌های روان آتشفشانی ممکن است لایه‌هایی به رنگ‌های مختلف را شامل شوند که مانند یک رومیزی چروک خورده، چین دارند. بلورهای سوزنی‌شکل موجود در گدازه هم مانند الوارهایی که در روی آب در حرکت‌اند، در یک امتداد قرار می‌گیرند و جهت جریان را نشان می‌دهند.

### تشخیص بالا و پایین لایه‌ها

قبل از آنکه بتوانید تاریخچه بیشتر سنگ‌های لایه‌دار را تشخیص بدهید، باید قادر باشید سطح بالا و پایین هر لایه را مشخص کنید. در بسیاری از موارد، لایه‌ها چین‌خوردگی 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 معنا که در درون یک لایه قطور، لایه‌های نازکی وجود دارند که سطوح جداکننده آنها نسبت به سطح رسوب‌گذاری عمومی لایه اصلی، زاویه‌دار است. یکی از راه‌های تشکیل چینه‌بندی متقاطع در شکل ۳-۷ 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)

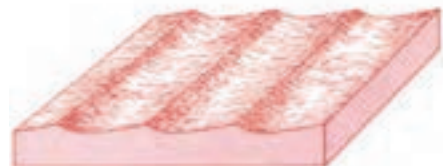
شکل ۳-۷ در هر کجا که سطح شیب‌داری بر اثر رسوب‌گذاری سریع تشکیل شود (دلتاها) یا عمل رسوب‌گذاری و تخریب به نوبت انجام گیرند، چینه‌بندی متقاطع پدید می‌آید (الف). چینه‌بندی متقاطع در رسوبات بادی قدیمی (ب).

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

ماسه‌های ساحلی دریا، ته رودخانه، یا روی تپه‌های ماسه‌ای و حتی توده‌های برف دیده باشید که بی‌شباهت به چین‌های سطح آب استخر یا دریا به هنگام وزش باد نیستند. به این چین‌های کوچک ریپل مارک گویند. ریپل مارک‌هایی که عامل به وجود آورنده آنها همیشه در یک جهت حرکت می‌کند، شکلی ویژه

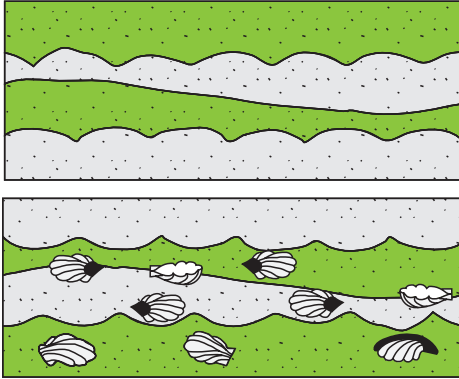


مسیر حرکت آب در این دو حالت، چگونه بوده است؟



شکل ۴-۷ ریپل مارک‌هایی که روی ماسه‌ها پدید آمده‌اند.

دارند؛ بدین معنا که شیب یک طرف آنها بیشتر است (کدام طرف؟)، اما زمانی که آب یا باد حرکتی به جلو و عقب داشته باشد، ریبیل مارک‌ها هم حالتی متقارن به خود می‌گیرند. لبه‌های تیز ریبیل مارک‌های متقارن همیشه به سمت بالای لایه قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۷- 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 دهانه آنها را رو به طرف پایین برمی‌گردانند (شکل ۵-۷).

### وجود بی‌نظمی در لایه‌ها

طبقات رسوبی به‌طور افقی ته‌نشین می‌شوند، اما بعدها ممکن است بر اثر چین خوردگی یا ایجاد گسل، وضع آنها به هم بخورد و توالی و پیوستگی طبیعی لایه‌ها، جای خود را به نوعی ناپیوستگی بدهد.

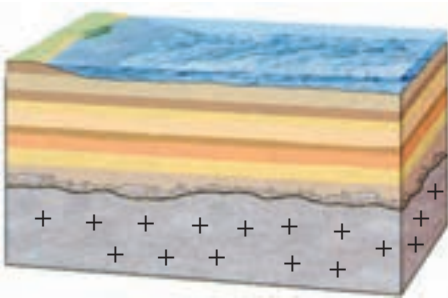


شکل ۶-۷- خارج شدن لایه‌های رسوبی از حالت افقی، نشانه تأثیر نیروهایی بر آنهاست.

نایپوستگی ها : گاهی حرکات پوسته زمین (کوهزایی و چین خوردگی) باعث بالا آمدن لایه هایی می شود که قبلاً در بستر دریا رسوب کرده و سخت شده اند. در این صورت، سنگ ها در معرض تأثیر عوامل فرسایشی قرار می گیرند. اگر بعدها دوباره به علت هایی آب دریا روی این طبقات فرسایشی را بپوشاند، رسوبات جدیدی در روی لایه های قبلی قرار می گیرند و سنگ های تازه ای را پدید می آورند. بدیهی است که در زمان تشکیل این دو سری رسوب، انقطاع حاصل می آید. به این وقفه ایجاد شده در توالی رسوبی، نایپوستگی می گویند. روی زمین نمی توان نقطه ای را یافت که در طول تاریخ زمین همواره در زیر دریا مانده و همچنان رسوبات لایه به لایه در آنجا ته نشین شده باشند. اصولاً نایپوستگی ها مشخص کننده زمان هایی هستند که عمل رسوب گذاری متوقف شده است.

انواع نایپوستگی ها عبارت اند از :

۱- نایپوستگی آذرین پی : در نقاطی که لایه هایی از سنگ های رسوبی مستقیماً در روی



شکل ۷-۷- نایپوستگی آذرین پی. چه حوادثی در اینجا اتفاق افتاده است؟

توده های آذرین قرار گرفته باشند، نوعی نایپوستگی پدید می آید که به آن آذرین پی گویند (شکل ۷-۷).

۲- نایپوستگی دگرشیب (زاویه دار) :

در این نوع نایپوستگی، سری رسوبات زیرین از حالت افقی خارج شده اند و روی آنها، سری رسوبات جوان تر و اغلب افقی، قرار گرفته است و تشخیص آن بسیار آسان است (شکل ۸-۷).



شکل ۸-۷- نایپوستگی زاویه دار - شهرستان خوسف بیرجند



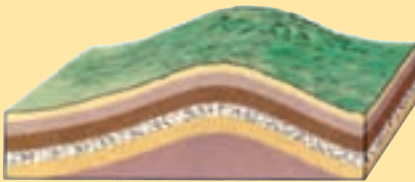
شکل ۹-۷- ناپیوستگی موازی (هم شیبی). چگونه تشکیل این نوع ناپیوستگی را شرح بدهید.

### ۳- ناپیوستگی هم شیب (موازی):

این نوع ناپیوستگی‌ها فراوان‌تر، اما نامشخص‌تر از بقیه‌اند؛ زیرا لایه‌های رسوبی واقع در بالا و پایین سطح ناپیوستگی، با همدیگر موازی‌اند و حتی شواهد وقوع فرسایش احتمالی هم وجود ندارد (شکل ۹-۷).

### تفسیر کنید

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



### اصول قابل استفاده در تعیین سن نسبی

وقتی سن سنگ‌ها به صورت «مقایسه‌ای» بیان شود (مثلاً سنگ 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.

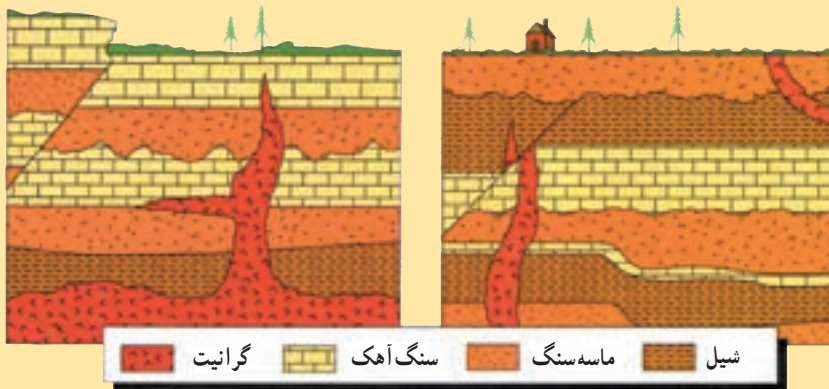
البته، خود استنو هم متوجه شده بود که قضاوت ما دربارهٔ سن نسبی لایه‌های رسوبی زمانی



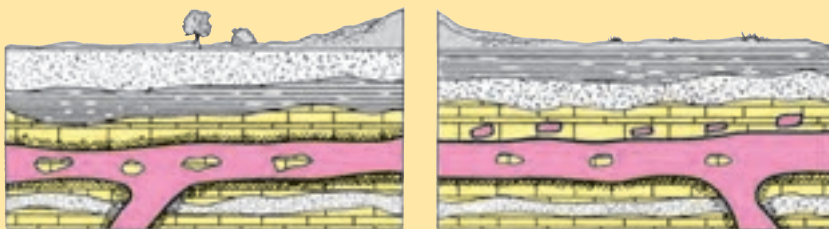
درست خواهد بود که طبقات رسوبی برگشته نباشند یا به عبارت دیگر توالی اولیه خود را حفظ کرده باشند. اگر طبقات چین خورده باشند، بدیهی است این حادثه، بعد از زمان تشکیل آنها رخ داده است. به همین ترتیب، وقوع هر نوع شکستگی و گسل در لایه‌ها نیز به زمان بعد از تشکیل آنها مربوط خواهد بود.

### تفسیر کنید

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

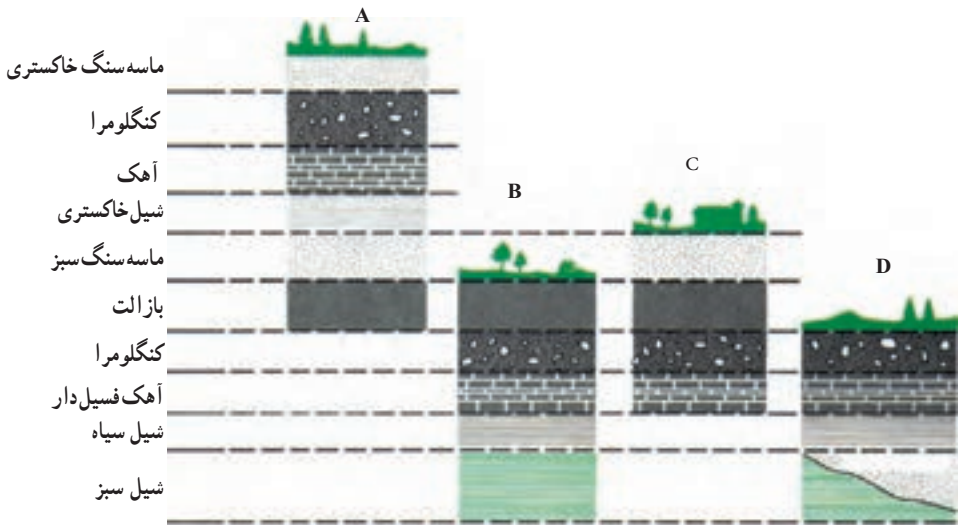


۲- در کدام یک از دو شکل، توده آذرین، نفوذی و در کدام یک، گدازه مدفون شده است؟ دلیل انتخاب خود را بیان کنید.



۲- پیوستگی جانبی لایه‌ها: زمین‌شناسان، برای تعیین همزمانی، یا تقدم و تأخر رسوب گذاری 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 هر چه فاصله دوسری رسوب بیشتر شود، کار انطباق و مقایسه مشکل‌تر می‌شود، مثالی از مسئله پیوستگی جانبی لایه‌ها را در شکل ۱-۷ ملاحظه می‌کنید. این تصویر چهارسری رسوب را در چهار نقطه مختلف نشان می‌دهد. زمین‌شناسی که به این سری‌های



شکل ۱۰-۷- در مناطق A و D لایه‌های مشترکی دیده نمی‌شود، با این حال، راهی برای تطابق آنها وجود دارد.

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 به قاره‌های مختلف، یعنی نقاط دور از هم برسد، قضاوت کردن بسیار مشکل می‌شود. در گذشته نیز مانند امروز، شرایط محیطی در نقاط مختلف یکسان نبوده است، اگر در یک منطقه، عمل رسوب گذاری صورت می‌گرفته، در جای دیگر فرایندهای فرسایشی دست اندر کار بوده‌اند. هیچ لایه سنگی وجود ندارد که سطح همه قاره‌ها، یا سطح یک قاره را به طور کامل بپوشاند. با این حال، راه‌هایی دیگر برای تطابق لایه‌ها حتی در چنین مقیاس وسیعی نیز وجود دارد.

زمین‌شناسان از فسیل کمک‌های زیادی می‌گیرند. به عنوان مثال، گونه‌های فسیلی مشابهی در افریقا، اروپا و امریکای شمالی یافت می‌شوند و با آنکه فاصله مکانی این فسیل‌ها بسیار دور از هم است، می‌توان گفت که همه آنها در یک زمان می‌زیسته‌اند. زمین‌شناسان فرض می‌کنند که رسوبات محتوی چنین فسیل‌هایی نیز به طور 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 تشخیص اند.

با آنکه فسیل‌ها را از قرن‌ها قبل می‌شناخته‌اند، تنها در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم بود که اهمیت و ارزش 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 دور از هم را می‌توان با استفاده از فسیل‌های موجود در آنها با هم مقایسه کرد.

فسیل‌ها نشان‌دهنده طرز تکامل حیات در روی زمین‌اند و چون جانداران ابتدایی تر و ساده‌تر، در مقایسه با جانداران پیچیده و پیشرفته، قدمتی زیادتر دارند، با مقایسه 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، قدمت بیشتری دارند؟

۲- فسیل‌شناسان، برای بعضی از فسیل‌ها در مقایسه با بقیه، ارزش زیادتری قائل‌اند 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.

- دوره زندگی جاندار مربوط به آن (کوتاه / طولانی) بوده است.

- نمونه‌های موجود آن (محدود) / فراوان است.

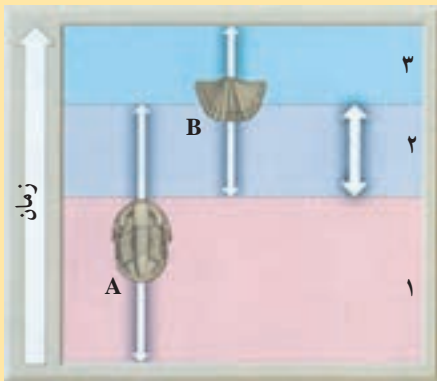
- متعلق به جانداران (ساده/پیچیده) است.

- تشخیص آن (آسان/مشکل) است.

- تشخیص سنگ کدام لایه آسان‌تر است.

۳- تشخیص سنگ کدام لایه آسان‌تر است.

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، در موارد زیر هم به کار می‌آیند.

۱- تشخیص حدود خشکی‌ها و دریا‌های قدیمی.

۲- تشخیص نوع آب‌وهوای گذشته

با مشاهده شکل هریک از فسیل‌های زیر، نوع آب‌وهوا و شرایط محیطی زمان زندگی آنها را مشخص کنید.



Venus (صدف نازک)



Ostrea (صدف قطور)

## جمع آوری 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 یخ‌زدهٔ 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، پوستهٔ 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 جاننشینی 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 سنگ‌شدهٔ جانوران و گیاهانی که از گذشته زندگی می‌کرده‌اند نیست؛ بلکه آثار باقی‌مانده از گیاهان و جانوران بر روی رسوبات را نیز فسیل به‌شمار می‌آورند. در چنین مواردی، شاهد هیچ‌یک از اعضای اصلی سنگ‌شدهٔ موجود زنده نخواهیم بود و فقط اثر بازمانده بر روی رسوب است که نشان از ساختاری گیاهی یا جانوری با خود

دارد. معروف‌ترین انواع این دسته از فسیل‌ها عبارت‌اند از:

● **قالب داخلی و خارجی:** ممکن است قالبی از صدف، استخوان و حتی برگ و یا تزیینات ساقه گیاهان به صورت فسیل درآید. مثلاً صدف‌هایی که در رسوبات نرم مدفون شده باشند می‌توانند اثری بر رسوبات برجا گذارند. اگر صدف تدریجاً حل شده و جای خالی آن به وسیله موادی پر شود، این مواد به شکل صدف بوده و تزیینات خارجی بر روی آن نقش بسته است که به آن **قالب خارجی** می‌گویند. در صورتی که تزیینات داخلی صدف از رسوبات نرم پر شود، سپس صدف حل شده و از بین برود **قالب داخلی** صدف به صورت فسیل برجای می‌ماند.

● **ردپا و اثر موجودات بر روی رسوبات:** ردپا، دُم و سایر زواید یک جانور ممکن است بر روی رسوبات نرم باقی‌مانند و این اثر توسط رسوبات دانه‌ریز مانند رس یا ماسه پر شده و بعدها سخت شود. در این صورت اثر موجود بر روی سنگ‌ها به صورت فسیل درمی‌آید.

## 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.

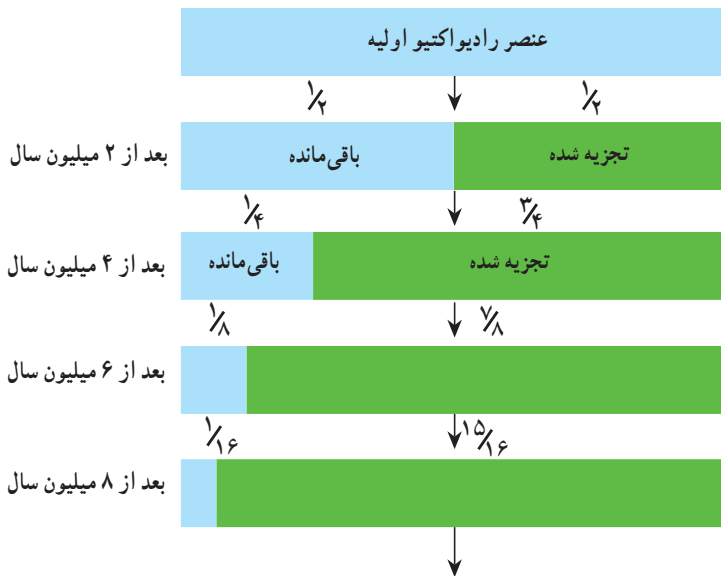
ساعت و تقویم، زاده تفکر آدمی است و از روی حرکات زمین ابداع شده‌اند تا بتوان زمان را به کمک آنها تعیین کرد. اما برای پی‌بردن به وقایعی که در میلیون‌ها سال قبل رخ داده‌اند و از حد روز، ماه و سال فراترند، ساعت و تقویم کاربردی ندارند و باید به دنبال یافتن معیارهای دیگری بود.

**کشف خاصیت رادیواکتیویته،** روش دقیقی را برای تعیین دقیق سن سنگ‌ها و اشیاء در اختیار دانشمندان گذاشت، چنان‌که می‌دانید، هسته 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 به عنوان ساعت‌های طبیعی در نظر می‌گیرند. با تعیین مقدار عناصر رادیواکتیو و غیر رادیواکتیو، می‌توان مدتی را که از عمر سنگ حاوی آن مواد گذشته، محاسبه کرد.

اورانیم، عنصری رادیواکتیو است که در بعضی از سنگ‌ها وجود دارد. به ویژه، یک نوع این عنصر (به نام  $U-238$ ) برای تعیین سن مطلق سنگ‌ها کاربرد زیادی دارد. اورانیم ۲۳۸، دارای

عدد جرمی ۲۳۸ و عدد اتمی ۹۲ است (یعنی ۹۲ 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 ۲۰۶ تبدیل 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 ۲۳۸ و تبدیل آن به سرب ۲۰۶، معادل ۴/۵ میلیارد سال است. برای هر عنصر چنین مدت زمانی را نیمه عمر آن عنصر می‌نامند.



شکل ۱۱-۷- تخریب ماده رادیواکتیو؛ با نیمه عمر ۲ میلیون سال

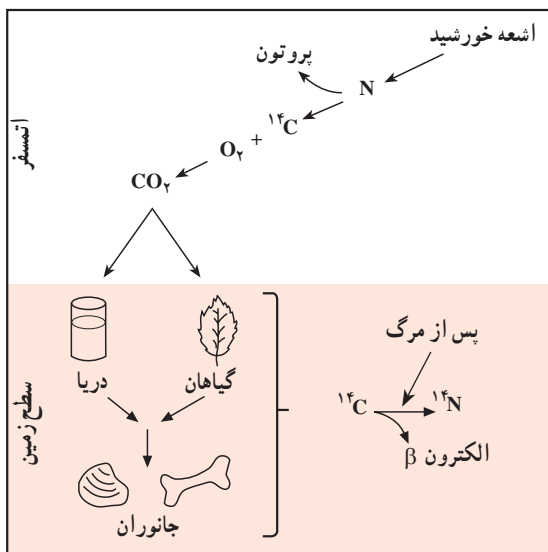
### فکر کنید

۱- اگر در سنگی، مقدار اورانیم ۲۳۸،  $\frac{1}{8}$  مقدار اولیه باشد، چه مدت از عمر آن سنگ گذشته است؟

۲- گفته می‌شود روش تعیین سن با استفاده از اورانیم ۲۳۸، برای نمونه‌هایی کاربرد دارد که بیشتر از ۱ میلیون سال قدمت داشته باشند. دلیل چیست؟

جدول ۱-۷- ایزوتوپ‌هایی که در عمرسنجی به روش رادیومتری کاربرد دارند.

ماده رادیواکتیو اولیه	ماده حاصل	نیمه عمر مورد قبول
اورانیم ۲۳۸	سرب ۲۰۶	۴/۵ میلیارد سال
اورانیم ۲۳۵	سرب ۲۰۷	۷۱۳ میلیون سال
توریم ۲۳۲	سرب ۲۰۸	۱۴/۱ میلیارد سال
روبیدیم ۸۷	استرونیسیم ۸۷	۴/۷ میلیارد سال
پتاسیم ۴۰	آرگون ۴۰	۱/۳ میلیارد سال



شکل ۱۲-۷- اتم‌های کربن رادیواکتیو در طبقات بالای اتمسفر تشکیل شده، وارد چرخه کربن می‌شوند.

### 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 (C-۱۴) استفاده می‌کنند. کربن ۱۴، بعد از تخریب مبدل به نیتروژن ۱۴ می‌شود.

کربن ۱۴، به طور طبیعی در اتمسفر وجود دارد که پس از ترکیب با اکسیژن CO<sub>2</sub>، پدید می‌آورد. البته، بیشتر CO<sub>2</sub> اتمسفری، از کربن غیررادیواکتیو (C-۱۲) به وجود

می‌آید و مقدار کمی از این گاز، محصول C-۱۴ است. نسبت میان C-۱۴ به C-۱۲ در اتمسفر ثابت است. همه جانداران، هردونوع کربن را جذب می‌کنند و گیاهان، CO<sub>2</sub> حاصل از هردونوع را در فرایند فتوسنتز به کار می‌برند. سپس، هردونوع کربن از طریق زنجیره غذایی به بدن جانوران هم می‌رسند. تا زمانی 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 نمونه کربن دار، ابتدا نسبت C-۱۴ به C-۱۲ را تعیین می‌کنند، سپس آن نسبت را با نسبتی که این دونوع کربن در بدن جانداران دارند، می‌سنجند.

C-۱۴، 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. درواقع، ابداع این روش چنان مهم بود که در سال ۱۹۶۰، شیمی دانی به نام لی بی جایزه نوبل را به همین خاطر دریافت کرد.

# تحوّلات گذشته



سطح زمین در تغییر دائم است. کوه‌ها به وجود می‌آیند و فرسوده می‌شوند. اقیانوس‌ها پیشروی و پسروی 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 آنکه بتوانند ترتیب و نوع این تغییرات را دریابند، اقدام به تهیه یک جدول مقیاس زمانی کرده‌اند. در این جدول، تغییرات فیزیکی و زیستی در چهره 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 گذشته زمین پی برد. لایه‌های رسوبی، ضخامت‌های متفاوت دارند. این ضخامت، از حد میکروسکوپی، تا ده‌ها متر تغییر می‌کند. سطح تماس بین دو لایه مجاور هم را سطح لایه‌بندی می‌گویند.

## واحدهای چینه‌شناسی

چینه‌شناسان برای بررسی زمان و همچنین، چینه‌ها و فسیل‌ها، از مقیاس‌هایی استفاده می‌کنند که عبارت‌اند 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 تشکیل‌دهندهٔ چینه‌ها مورد تأکید است. بنابراین، هر واحد سنگی چینه‌شناسی مجموعه‌ای از چینه‌هاست که قسمت عمدهٔ 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 عبارت‌اند از:

**لایه:** کوچک‌ترین واحد سنگی چینه‌شناسی است و به واسطهٔ 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 صفات سنگ‌شناسی مشخص داشته 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:

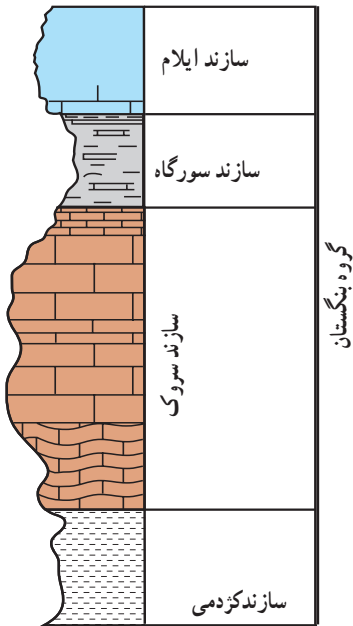
گروه → سازند → بخش → (طبقه) لایه

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 بر اساس سنگواره‌های راهنما،





شکل ۸-۱- نمایش ستون چینه‌شناسی چند سازند زمین‌شناسی - کنگره بودن خط سمت چپ برای نشان دادن مقاومت مختلف سازندها نسبت به هوازدگی است.

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 گذشته زمین، از ابتدا تا به امروز است. ستون چینه‌شناسی یک مقیاس نسبی زمانی برای مقایسه 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 همه زمان‌ها را در کنار هم یافت. بنابراین، دانشمندان حاصل مشاهدات خود از نقاط مختلف را با هم تلفیق می‌کنند تا استاندارد برای آرایش لایه‌های سنگی با همان ستون چینه‌شناسی پیدا کنند. در ستون چینه‌شناسی، لایه‌های زیر، قدیمی‌ترین و لایه‌های بالا، جدیدترین خواهند بود.

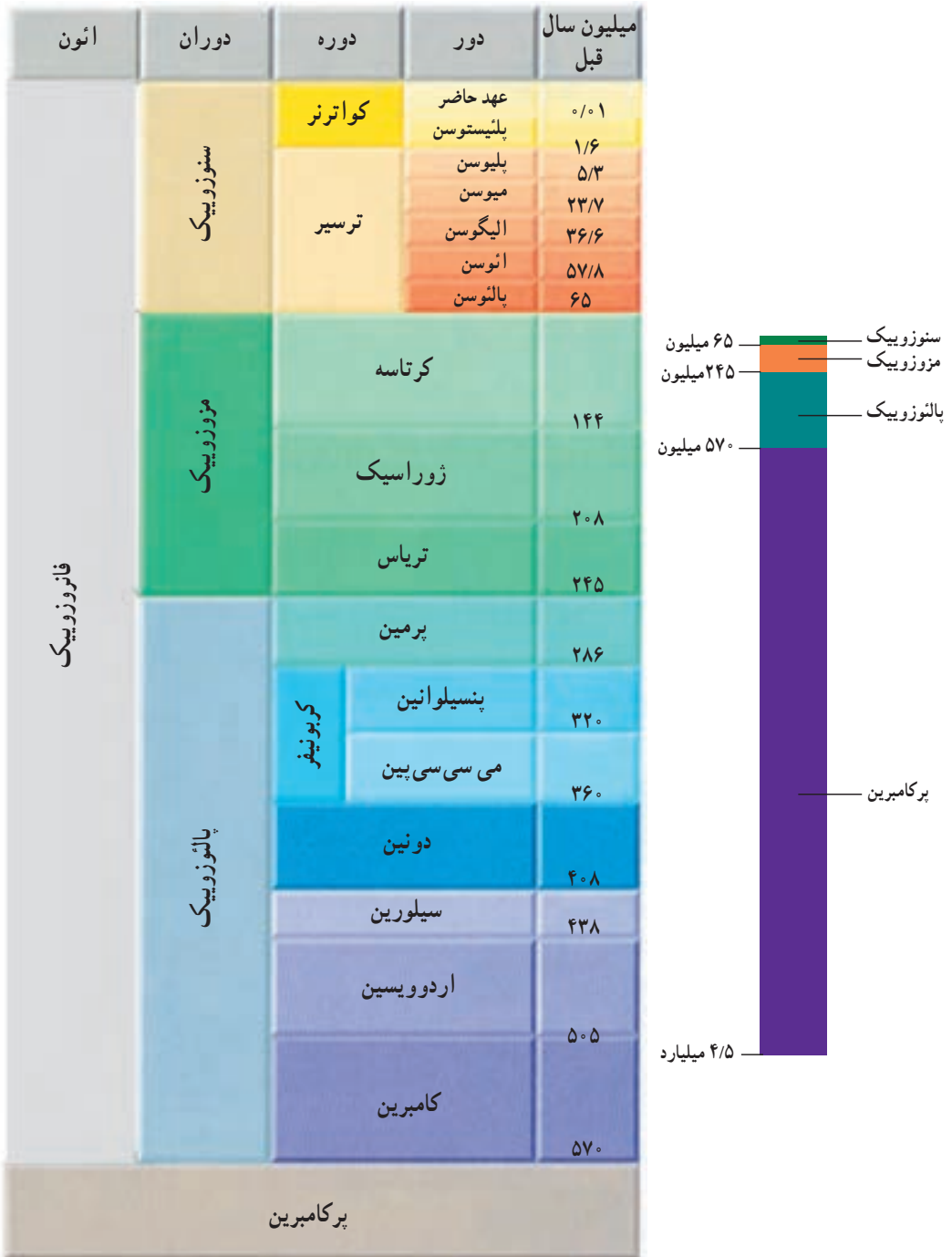
در تشخیص لایه‌های ستون چینه‌شناسی، از دو معیار،

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.

### تقسیم‌بندی زمان زمین‌شناسی

همچنان‌که در تاریخ، وقوع حوادث مهم را مبنای پایان یک دوره و شروع یک دوره دیگر می‌شمارند، در زمین‌شناسی نیز حوادث مهمی چون پیدایش و تغییرات چشمگیر در نوع فسیل‌ها، تغییر در نوع و ضخامت سنگ‌ها، ناپیوستگی‌ها و تغییرات آب‌وهوایی را برای طبقه‌بندی کردن زمان به کار می‌برند.

جدول ۱-۸ - تقسیم بندی زمانی گذشته زمین. طول دوران های مختلف را با هم مقایسه کنید.



## بیشتر بدانید

تقسیمات مهم زمان در زمین شناسی	دوره	دوران
در 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) ترسیر (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 دونین سیلورین اردوویسین کامبرین	پالئوزویک (دوران غلبه بی‌مهرگان)
به معنای ماقبل کامبرین است و آثار حیاتی مشخصی ندارد.		پركامبرين

## پرکامبرین

دوران پرکامبرین، با پیدایش زمین در حدود ۴/۶ میلیارد سال قبل شروع شده و در ۵۷۰ میلیون سال پیش پایان یافته است. 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 اولیه آنها به ندرت امکان‌پذیر است.

مناطق وسیع بیرون‌زدگی‌های سنگ‌های پرکامبرین به نام سپر را در اغلب قاره‌ها می‌توان یافت. سپرهای پرکامبرین، حاصل چندین صد میلیون سال فعالیت آتشفشانی و کوه‌زایی، تشکیل رسوبات و دگرگونی‌اند. سنگ‌های پرکامبرین، اغلب تغییرشکل یافته و دگرگون شده‌اند. در نتیجه، مقدار زیادی از آنها ذوب شده‌اند و به همین علت، مواد معدنی مختلفی را به نزدیکی 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 آن زمان شده است.

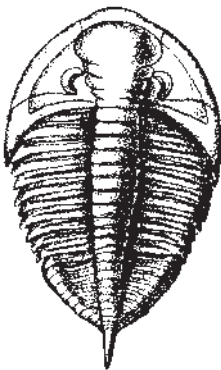
از جمله فسیل‌های محدود پرکامبرین، می‌توان به استروماتولیت‌ها، یا رسوبات ریف‌مانند (مشابه تشکیلات مرجانی) اشاره کرد، که محصول عمل باکتری‌ها و جلبک‌ها هستند. استروماتولیت‌ها، امروزه هم در بعضی از آب‌های کم عمق تشکیل می‌شوند. به همین علت هم تصور می‌رود در پرکامبرین، دریا‌های کم عمق بیشتر نقاط روی زمین را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



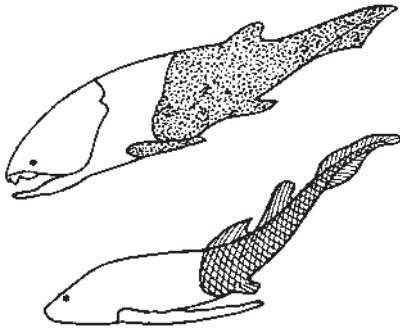
شکل ۲-۸- سیانوباکترها، امروزه هم این توده‌های متشکل از کربنات کلسیم را به نام استروماتولیت پدید می‌آورند. در ۲/۸ میلیارد سال قبل، استروماتولیت‌ها فراوان بوده‌اند.

## پالئوزوییک : دوران بی‌مهرگان

مهم‌ترین جانور بی‌مهره‌ای که در پالئوزوییک 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 داشته است. تریلوبیت‌ها از لحاظ شکل و اندازه اقسام بسیار گوناگونی داشته‌اند. به طوری که برخی از آنها را حتی به عنوان سنگواره راهنمای دوره‌های معینی در پالئوزوییک می‌شناسند. تریلوبیت‌ها بیشتر در آب‌های کم عمق و بر بستر دریا زندگی می‌کرده‌اند و احتمالاً محیط خود را از بقایای جانوران و مواد آلی پاکیزه نگه می‌داشته‌اند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- نمونه‌ای از تریلوبیت‌های پالئوزوییک



شکل ۴-۸ - دو نوع ماهی زره دار پالتوزویک

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

در دوره‌های کامبرین و اردووسین، زندگی محدود به دریا بود، اما در سیلورین برای نخستین بار، زندگی در خشکی آغاز شد. از گیاهان آونددار (ساقه و برگ) مربوط به این دوره آثاری به دست آمده است. فسیل نخستین جانوران ساکن خشکی هم متعلق به موجوداتی عقرب مانند است. در کربونیفر نخستین خزندگان ظاهر شدند. این جانوران کوچک هم شبیه به دوزیستان بودند و باله حرکتی ضعیفی داشتند که از آنها برای خزیدن بر 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 پالتوزویک، 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 کم عمق 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 سازگارشده سبب شده است که نسل چنین بی‌مهرگانی هنوز نیز بعد از این زمان دراز، باقی باشد. اسپیریفر از جمله مهم‌ترین بازو پایان پالتوزویک است.



اسپیریفر

شکل ۵-۸ - نمونه‌ای از بازو پایان پالتوزویک

در اواسط دوران پالئوزویک چین خوردگی‌های مهمی در زمین روی داد و کوه‌های مرتفعی پدید آمد، و پس از آن، فرایندهای 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 جمله گیاهان بی گل و به ویژه نهان‌زادان بودند، در آن مرداب‌ها و زیر گل‌ولای مدفون مانده، پس از تحمل مراحل تجزیه و فساد، آثار زغال‌سنگی بزرگی را پدید آوردند که هنوز هم به عنوان یک منبع انرژی از آنها بهره‌برداری می‌کنیم.



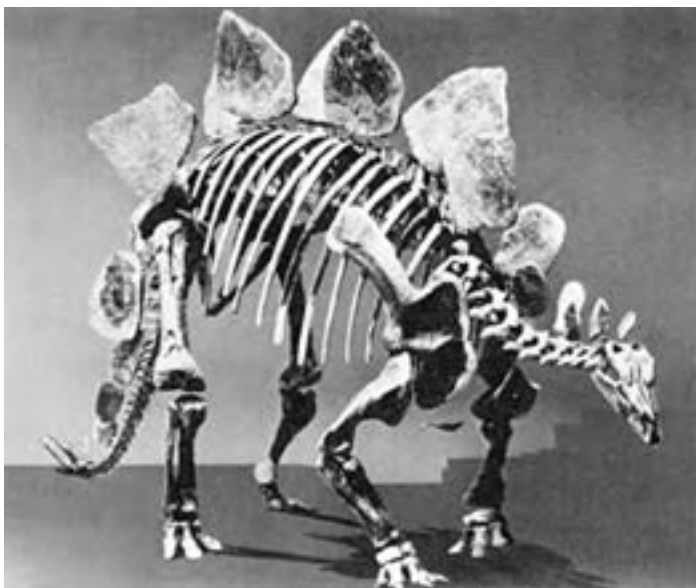
فسیل نوعی سرخس قدیمی

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

## مزوزویک : دوران خزندگان

سنگ‌های فسیل‌دار مزوزویک را در نقاط مختلفی می‌توان یافت. بنابراین، اطلاع ما از وضع جانداران این دوران زیاد است. شرایط آب‌وهوایی، توسعه 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. جثه این خزندگان بین یک تا سی متر درازا داشته است. 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 درشت‌جثه مزوزویک را داینوسور (خزنده = Sourus مخوف = Deinos) می‌گویند (شکل ۷-۸).

فسیل اسکلت قدیمی‌ترین پرندۀ شناخته شده، در میان سنگ‌آهک‌های معدنی واقع در جنوب آلمان



شکل ۷-۸- نمونه‌ای از داینوسورهای مزوزوییک

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 پرندگان محسوب بدارند. آرکئوپتریکس فسیلی بسیار مهم است؛ زیرا نه تنها اثری از قدیمی‌ترین 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 پرندگان از خزندگان مشتق شده‌اند. آرکئوپتریکس در عین حال قدرت پرواز چندانی هم نداشته است (شکل ۸-۸).



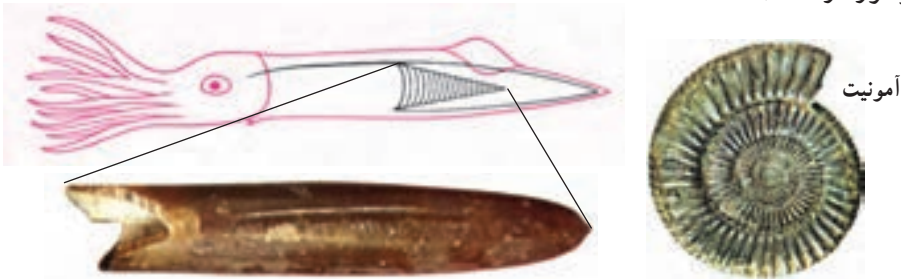
شکل ۸-۸- فسیل آرکئوپتریکس و طرحی که از آن ترسیم شده است.



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 جمله 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 (شکل ۹-۸).

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

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 (شخانه) بزرگ به سطح زمین است از اعتبار بیشتری برخوردار است).

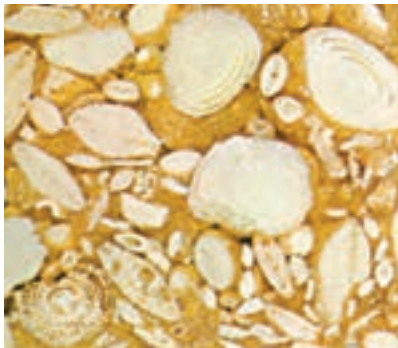


شکل ۹-۸ - نمونه‌هایی از آمونیت‌ها و بلمنیت‌های مزوزویک

## سنوزویک : دوران پستانداران

نخستین آثار پستانداران را مربوط به مزوزویک می‌یابیم. این جانوران که به تدریج تا دوره 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.

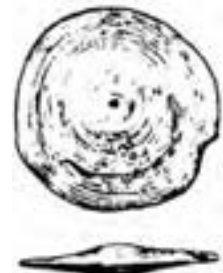
در سنوزویک، انواعی از آغازیان و گروه روزن‌داران می‌زیسته‌اند که از سنگواره‌های بسیار با ارزش این دوران محسوب می‌شوند. این روزن‌داران را نومولیت می‌نامند و وجود آنها در هر نوع رسوبی، مؤید ارتباط آن رسوبات با دوران سنوزویک است (شکل ۱۰-۸).



(ج)



(ب)



(الف)

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

علاوه بر روزن داران، 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 گل دار و درختان افزوده شد و انواع کنونی کمابیش پدیدار شدند.

اما، آیا زیاد شدن گیاهان، در ازدیاد پستانداران نقشی داشته است؟

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 قرن های اخیر، چنان به سرعت صورت گرفت که وی ناچار شد گاه با اجرای برنامه های عجولانه، تغییراتی حساب نشده در کره زمین به وجود آورد و از این طریق، آسیب هایی جبران ناپذیر بر این سیاره وارد سازد که نتایج وخیم آن را به صورت کمبود انرژی و مواد اولیه، آلودگی محیط و ... دامن گیر خود کرده است. روی هم رفته، در طول میلیاردها سال هیچ گاه، هیچ موجودی تا بدین حد توازن طبیعی را در سیاره زمین برهم نزده است.

## رسم نقشه

# ۹



شکل ۹-۱- تصویر منطقه غیر مسطح - شمال جزیره قشم

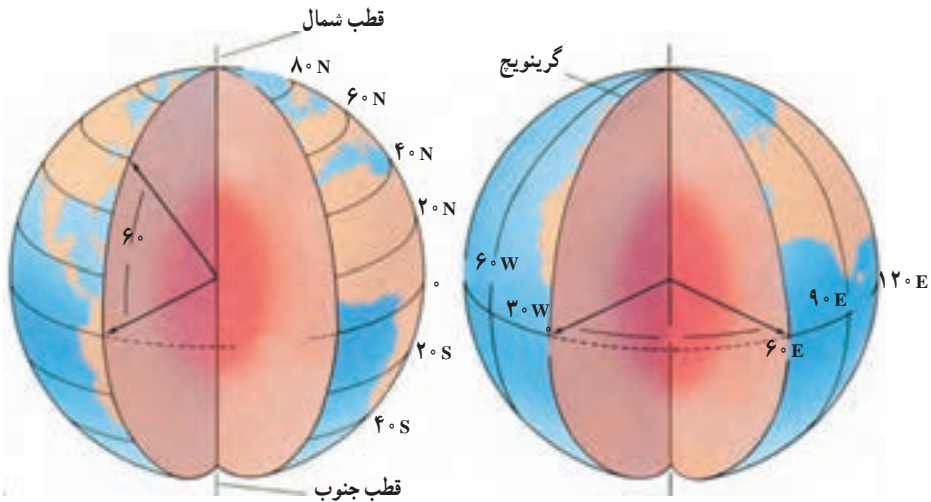
سطح خشکی‌ها، پستی و بلندی‌های فراوان دارد. وقتی با هواپیما از سطح زمین عکس برداری شود، پدیده‌هایی در عکس آشکار می‌شوند که از روی زمین نمی‌توان آنها را مشاهده کرد. مثلاً، از بالا بهتر می‌توان مسیر رودخانه‌ها، خطوط ساحلی، شکل کوه‌ها و دره‌ها را دید (شکل ۹-۱). با این همه، گاهی زمین‌شناسان به اطلاعاتی نیاز پیدا می‌کنند که حتی در چنین عکس‌هایی هم نمی‌توان آنها را یافت. به‌ویژه که این قبیل عکس‌ها فقط منطقه 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 کره است. کره، نه بالا و پایین دارد و نه پهلو. پس در حالت معمولی نقطه‌ای را به‌عنوان مبدأ یا مبنای مقایسه نمی‌توان در روی آن یافت. اما از آنجا که کره 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 به نام استوا در نظر گرفته می‌شود که زمین را به دو نیم‌کره شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. با این ترتیب، دو مبدأ مختصات را در روی زمین تعیین کرده‌اند که به کمک آنها می‌توان موقعیت هر نقطه دلخواهی را تعیین کرد.

**مختصات جغرافیایی:** تعدادی دایره فرضی به نام مدار به موازات استوا رسم می‌شود که عرض جغرافیایی را نشان می‌دهند. مدارها، از خط استوا فاصله زاویه‌ای دارند. بدیهی است که مدارها نمی‌توانند بیشتر از  $90^\circ$  درجه شمالی یا جنوبی باشند. البته در عمل، یک درجه عرض جغرافیایی حدود 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 نصف النهارها مشخص می‌کنند. نصف النهارها دایره فرضی اند که از دو قطب می‌گذرند. یک نصف النهار را به عنوان مبنا، انتخاب کرده‌اند که طول آن صفر است (گرینویچ). بقیه نصف النهارها از این خط مبنا فاصله زاویه‌ای دارند و در شرق یا غرب آن قرار می‌گیرند. حداکثر مقدار طول جغرافیایی، معادل نصف محیط زمین، یعنی  $180^\circ$  درجه است. فاصله نصف النهارها از یکدیگر، در استوا حداکثر است و رو به قطب‌ها به تدریج کم می‌شود و در محل قطب‌ها به صفر می‌رسد (شکل ۲-۹) به عنوان مثال، شهر تهران در  $51^\circ$  درجه و  $25'$  دقیقه طول شرقی و  $35^\circ$  درجه و  $42'$  دقیقه عرض شمالی واقع است.



شکل ۲-۹- مدارها و نصف النهارهای زمین

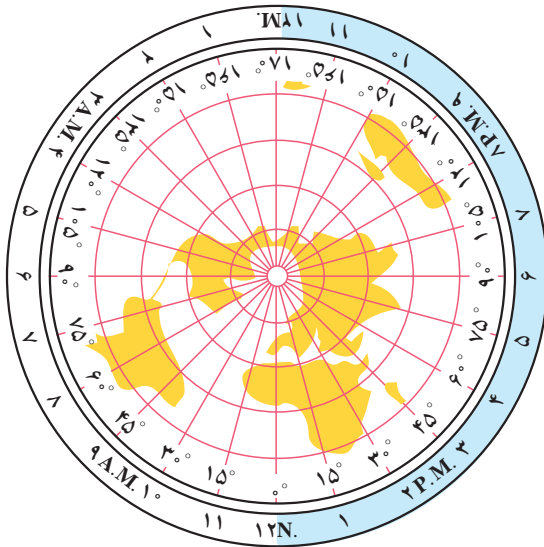
### فکر کنید

- ۱- طول و عرض جغرافیایی محل زندگی خود را چگونه اندازه‌گیری می‌کنید؟
- ۲- چند راه برای این کار وجود دارد؟
- ۳- آیا می‌دانید هر یک درجه طول جغرافیایی روی زمین حدود چند کیلومتر است؟

## 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 نقطه



شکل ۳-۹- اختلاف ساعت در نقاط مختلف زمین

مسیر خود در آسمان می‌رسد. اما این پدیده، حالت محلی دارد و وقتی مثلاً خورشید در بالاترین نقطه 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، ویژه همان محل است. به همین دلیل، برای جلوگیری از بروز مشکلات مربوط به تعیین زمان، سطح کره زمین را به ۲۴ منطقه تقسیم کرده‌اند و برای هر منطقه، ساعت استاندارد در نظر گرفته شده است (شکل ۳-۹).

اگر محیط زمین، یعنی  $360^\circ$  درجه را بر ۲۴ ساعت تقسیم کنیم، مشاهده می‌کنیم که زمین در هر ساعت، معادل ۱۵ درجه می‌چرخد. پس، هر قسمت از مناطق ۲۴ گانه زمانی، معادل ۱۵ درجه است و زمان در هر منطقه، یک ساعت با منطقه دیگر اختلاف دارد و چون جهت چرخش زمین از غرب به شرق است، مناطق شرقی از نظر زمانی، جلوتر از مناطق غربی هستند. مثلاً فاصله 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.

## نقشه‌های توپوگرافی

نقشه‌هایی که در علوم زمین کاربرد فراوان دارند، دنیوع‌اند: 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، دریاچه‌ها و حتی جاده‌ها و ساختمان‌ها را نیز گاهی متناسب با احتیاج، در روی این نقشه‌ها مشخص می‌کنند.



شکل ۴-۹- تصویر افقی جزیره در نقشه توپوگرافی

در شکل ۴-۹، 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، اندازه جزیره و مقدار ارتفاع آن معلوم نیست.

**مقیاس:** مقیاس هر نقشه عبارت است از نسبت فاصله دو نقطه در روی نقشه به فاصله افقی همان دو نقطه در روی زمین. مقیاس نقشه‌ها را معمولاً به صورت کسری

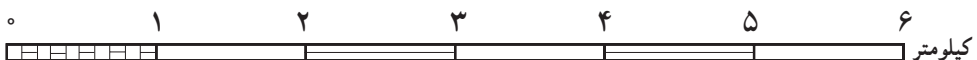
یا ترسیمی نشان می‌دهند. مقیاس کسری به شکل یک کسر ساده با صورت ۱ بیان می‌شود، مثلاً اگر فاصله دو نقطه بر روی نقشه یک سانتی‌متر و فاصله افقی همان دو نقطه بر روی زمین ۵۰ متر باشد، مقیاس آن نقشه به روش زیر محاسبه می‌شود:

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

هرچه مخرج کسر بزرگ‌تر باشد نقشه کوچک‌تر مقیاس‌تر خواهد بود. مثلاً نقشه یک دوهزارم از نقشه یک هزارم کوچک‌تر مقیاس‌تر است.

در مقیاس ترسیمی، مقیاس را به شکل نواری نشان می‌دهند که از چپ به راست متناسب با طول‌های واقعی تقسیم‌بندی شده‌اند. مثلاً در شکل ۵-۹ مشاهده می‌شود که طول معادل هر قسمت از این مقیاس در روی نقشه، نمایانگر یک کیلومتر در روی زمین است. چون طول هر قسمت در شکل ۵-۹ برابر ۲ سانتی‌متر است، بنابراین، مقیاس آن به صورت کسری برابر است با:

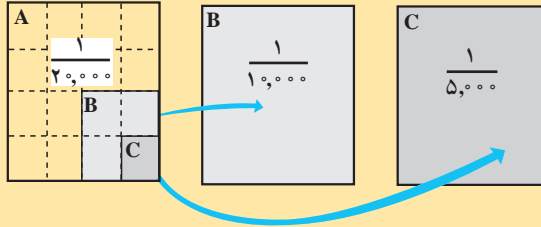
$$\frac{۲\text{cm}}{۱\text{km}} = \frac{۲\text{cm}}{۱۰۰۰۰۰\text{cm}} = \frac{۱}{۵۰۰۰۰}$$



شکل ۵-۹- مقیاس خطی

## تفسیر کنید

با توجه به اینکه دو نقشه دارای مقیاس‌های متفاوت، با ابعاد مساوی بر روی صفحه رسم شده‌اند، رابطه میان مساحت منطقه‌های مورد نقشه برداری چه بوده است؟ از شکل‌های زیر کمک بگیرید.



## علائم قراردادی و رنگ نقشه

در یک نقشه بزرگ مقیاس، می‌توان تمام عوارض زمین از قبیل راه‌ها، رودخانه، جنگل، دریاچه، شهرها، روستاها و حتی ساختمان‌ها را با ابعاد و اشکال حقیقی روی صفحه 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 روی نقشه به مقیاس  $\frac{1}{۳۰,۰۰۰}$  نیم میلی‌متر پهنا خواهد داشت که ترسیم آن آسان است، ولی اگر نقشه به مقیاس  $\frac{1}{۳۰,۰۰۰}$  باشد، عرض این جاده روی نقشه پنج صدم میلی‌متر خواهد بود و رسم آن روی نقشه ممکن نیست. در نتیجه، لازم است در چنین مواردی از علائم قراردادی استفاده کنیم. شکل ۶-۹ نمونه‌ای از این قبیل علائم را نشان می‌دهد.

رودخانه		ساختمان		بزرگراه	
مرداب		ارتفاع محل	BM $\Delta$ ۲۹۳	جاده	
جنگل		منحنی میزان		کوره راه	
آب		گودی		پل	
				راه آهن	

شکل ۶-۹ معمولاً در نقشه‌های توپوگرافی منحنی‌های تراز را به رنگ قهوه‌ای، راه‌ها و خطوط راه 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.



## طرز نشان دادن پستی و بلندی زمین 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 یا به عبارت دیگر کوه‌ها و دره‌ها را روی نقشه نشان بدهیم. نشان دادن برجستگی‌ها و فرورفتگی‌ها روی نقشه که یک صفحه مسطح است به روش خاصی نیاز دارد. طریقه‌های مختلفی برای این کار متداول است که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

**منحنی میزان (Contour):** 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 ۷-۹).

روی منحنی‌های میزان ارتفاع مربوط به آنها نوشته می‌شود. اگر روی یک منحنی میزان عدد  $۱۵۰۰$  نوشته شده باشد به این معناست 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 دهنده این است که در این نقشه منحنی‌های میزان با اختلاف ارتفاع صدمتری ترسیم شده‌اند. این اختلاف، فاصله تراز نامیده می‌شود. فاصله تراز بسته به مقیاس نقشه و عوارض منطقه از  $۱۰$  تا  $۲۵$  متر انتخاب می‌شود و نیز باید دانست که در نقشه‌های خیلی بزرگ مقیاس، یا زمین نسبتاً مسطح، فاصله تراز یک متر و حتی کمتر از آن هم ممکن است انتخاب شود. معمولاً ارتفاع را در روی همه منحنی‌ها نمی‌نویسند، بلکه از هر  $۵$  منحنی یکی را پررنگ‌تر می‌کشند و رقم ارتفاع را در کنارش می‌نویسند.

## نقشه خوانی

برای آنکه بتوانیم از نقشه‌ها استفاده کنیم، باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

**جهت:** روی هر نقشه، شبکه مدارات و نصف النهارات 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 بدانیم.

**مسافت:** از روی نقشه می‌توان مسافت بین دو نقطه یا دو شهر را تعیین کرد. برای تعیین مسافت بین دو نقطه لازم است اول مقیاس نقشه را بدانیم، سپس فاصله دو نقطه را با خط کش و با دقت (در حد میلی متر) اندازه بگیریم. با استفاده از یک تناسب فاصله دو نقطه را تعیین کنیم. مثلاً اگر فاصله دو نقطه  $A$  و

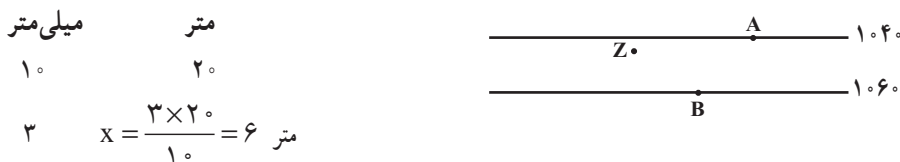
B روی نقشه ۲۳ میلی متر و مقیاس نقشه  $\frac{1}{۲۰۰۰۰}$  باشد بنابراین فاصله آن دو نقطه روی زمین عبارتست از :  
میلی متر روی زمین میلی متر روی نقشه

$$\frac{۱}{۲۳} = \frac{۲۰۰۰۰}{x} \quad \text{میلی متر} \quad x = ۲۳ \times ۲۰۰۰۰ = ۴۶۰۰۰۰$$

به عبارت دیگر فاصله دو نقطه A و B برابر با ۴۶۰ متر است.

اگر فاصله دو نقطه C و D در روی نقشه دیگری برابر با ۲۳ میلی متر ولی مقیاس نقشه برابر با  $\frac{1}{۱۰۰۰۰۰}$  باشد فاصله D و C چقدر خواهد بود؟

**تعیین ارتفاع :** تعیین ارتفاع نقاط از روی نقشه هایی که منحنی میزان دارند به آسانی امکان پذیر است. مثلاً در یک نقشه، نقطه A ۱۰۴۰ متر و نقطه B ۱۰۶۰ متر ارتفاع دارند، چون به ترتیب در روی منحنی های ۱۰۴۰ و ۱۰۶۰ واقع شده اند. اما ارتفاع نقطه Z که در بین منحنی ۱۰۴۰ و ۱۰۶۰ واقع شده و به منحنی میزان ۱۰۴۰ نزدیک تر است احتیاج به محاسبه دارد. اول فاصله بین دو منحنی را در نزدیکی Z با خط کش میلی متری اندازه می گیریم، بعد فاصله نقطه Z را با منحنی ۱۰۴۰ می سنجیم، سپس با بستن تناسب ارتفاع نقطه Z را به دست می آوریم. فاصله دو منحنی ۱۰ میلی متر و فاصله Z تا منحنی ۱۰۴۰ برابر با ۳ میلی متر و فاصله تراز ۲۰ متر است.



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

**تعیین مقدار شیب سطح زمین :** شیب سطح زمین در بین دو نقطه را می توان با استفاده از نقشه های 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 رابطه زیر مقدار درصد شیب را تعیین کرد :

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

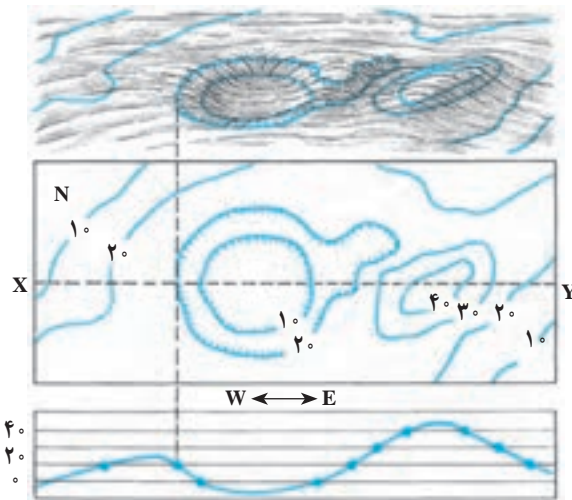
مثال : فاصله افقی دو نقطه A و B برابر با ۲۰۰۰ متر و اختلاف ارتفاع بین آن دو برابر با ۸۰ متر است

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

پس :

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

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



شکل ۷-۹- نحوه تهیه نیم رخ توپوگرافی.  
(مقیاس قائم و افقی یکسان است)

ارائه دهیم، می توانیم نیم رخ توپوگرافی زمین را در آن راستا رسم کنیم. به عبارت دیگر نیم رخ توپوگرافی، نمایش پستی ها و بلندی های سطح زمین در یک برش قائم از زمین است. در رسم نیم رخ توپوگرافی، گاهی برای بهتر نشان دادن پستی ها و بلندی ها، مقیاس قائم بزرگ تر از مقیاس افقی در نظر گرفته می شود. روشن است که در این حالت شیب ها واقعی نخواهند بود.

برای تهیه نیم رخ توپوگرافی طبق

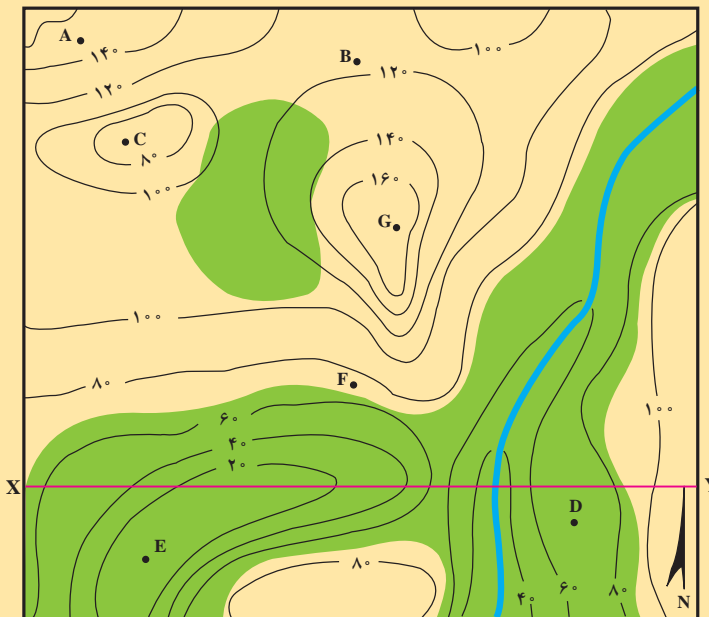
مراحل زیر عمل می کنیم:

- راستای نیم رخ را با رسم یک خط روی نقشه مشخص می کنیم (خط XY در شکل ۷-۹).
- مقیاس قائم نیم رخ را تعیین می کنیم (مقیاس افقی را همان مقیاس نقشه در نظر می گیریم).
- روی یک صفحه کاغذ، تعدادی خطوط افقی رسم می کنیم (به جای این کار می توانیم از یک صفحه کاغذ میلی متری استفاده کنیم). فواصل خطوط افقی بر اساس مقیاس قائم نیم رخ تعیین می شود.
- بنابراین، در طرف چپ بر روی محور عمودی ارتفاعات را با توجه به مقیاس قائم مشخص می کنیم.
- لبه بالایی کاغذ را در راستای مورد نظر (XY) روی نقشه قرار می دهیم.
- در هر جا که یک منحنی تراز لبه کاغذ را قطع کرد، خط قائمی به طرف پایین رسم می کنیم تا به خط افقی هم ارتفاع خود برسد. این کار را برای بقیه منحنی های تراز نیز انجام می دهیم. نقاطی مثل قله کوه ها، قعر دره ها، جاده ها یا شهرهایی را که در مسیر نیم رخ مورد نظر قرار دارند نیز مشخص می کنیم.
- با متصل کردن نقاط حاصل، نیم رخ مورد نظر را رسم می کنیم. برای رسم نیم رخ نباید از خط کش استفاده کرد؛ بلکه باید به شکل طبیعی ناهمواری های زمین توجه داشت.
- با مشخص کردن جهت نیم رخ و درج مقیاس های قائم و افقی در روی آن نیم رخ را کامل می کنیم

(شکل ۷-۹).

## اندازه‌گیری کرده و سپس تفسیر کنید.

- ۱- موقعیت هر نقطه در کره زمین را چگونه مشخص می‌کنند؟
- ۲- در نقشه‌ای به مقیاس  $\frac{1}{۳۰۰۰۰۰}$ ، فاصله 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  $\frac{1}{۱۰۰۰۰۰۰۰}$  را به صورت ترسیمی نشان دهید.
- ۴- باتوجه به نقشه زیر:
  - الف - جهت جریان آب رودخانه به کدام سمت است؟
  - ب - شیب دیواره دره در کدام سمت رودخانه بیشتر است؟
  - ج - فاصله افقی AB در سطح زمین چند متر است؟
  - د - مقدار درصد شیب دره را در فاصله AB بیان کنید.
  - ه - کم‌ارتفاع‌ترین نقطه در محدوده نقشه کجاست؟ مقدار تقریبی آن چگونه برآورد می‌شود؟
  - و - نقطه D در چه ارتفاعی قرار دارد؟
  - ز - یک نیم‌رخ توپوگرافی در جهت XY نقشه رسم کنید.



مقیاس =  $\frac{1}{۱۰۰۰۰۰}$

## نقشه‌های زمین‌شناسی

مهم‌ترین کاربرد نقشه‌های توپوگرافی در زمین‌شناسی، استفاده از آنها به عنوان نقشه 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.

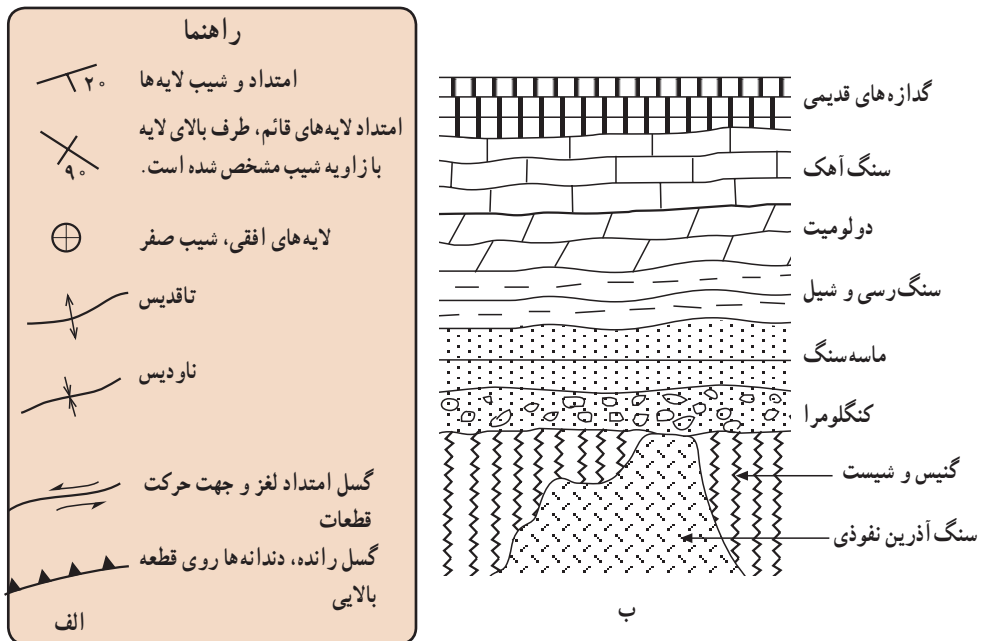
تهیه نقشه زمین‌شناسی: اساس کار تهیه نقشه زمین‌شناسی تعیین واحدهای سنگی مناسبی است که قابل نقشه برداری باشند. این واحدها باید ویژگی‌هایی داشته باشند که آنها را از واحدهای دیگر قابل تشخیص سازد. چنان‌که در فصل ۸ گفتیم «سازند» واحد سنگی اصلی چینه‌شناسی، در مطالعات زمین‌شناسی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی است. 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 برداری‌اند.

تهیه نقشه زمین‌شناسی مستلزم مطالعه و بررسی مستقیم منطقه مورد نظر و جمع‌آوری اطلاعات لازم از بیرون‌زدگی‌هاست. 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 نقشه زمین‌شناسی، علاوه بر مهارت زمین‌شناس به پیچیدگی وضعیت زمین‌شناسی محل و چگونگی بیرون‌زدگی سنگ‌ها نیز بستگی دارد. خاک‌های ضخیم، پوشش‌های گیاهی، دریاچه‌ها و باتلاق‌ها می‌توانند سنگ‌های زیرین را بیوشانند و تهیه نقشه زمین‌شناسی را مشکل‌تر کنند. در بعضی بیرون‌زدگی‌ها ممکن است سنگ‌ها به شدت هوازده باشند و نوع سنگ‌ها و شیب و امتداد لایه‌ها به خوبی قابل تشخیص نباشد، درحالی‌که در برخی از بیرون‌زدگی‌های دیگر ممکن است بتوان اطلاعات زیادی به دست آورد. در مناطق مرطوب معمولاً سنگ‌بستر پوشیده از گیاهان و قشر ضخیم خاک است و بیرون‌زدگی‌های کمی وجود دارد. در این گونه مناطق وضعیت زمین‌شناسی را می‌توان در بریدگی جاده‌ها، دره رودخانه‌ها و نقاطی از این قبیل مطالعه کرد. در مناطق خشک و نیمه خشک (مثل بخش‌های وسیعی از کشور ما) سنگ‌ها به طور کامل بیرون زده‌اند و بنابراین، تهیه نقشه زمین‌شناسی آسان‌تر است.

یکی از ضروریات اولیه در تهیه نقشه زمین‌شناسی برای یک محل، در دست داشتن یک نقشه پایه

(ترجیحاً یک نقشه توپوگرافی که فاصله منحنی‌های تراز بیش از پنج 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 نقشه 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.

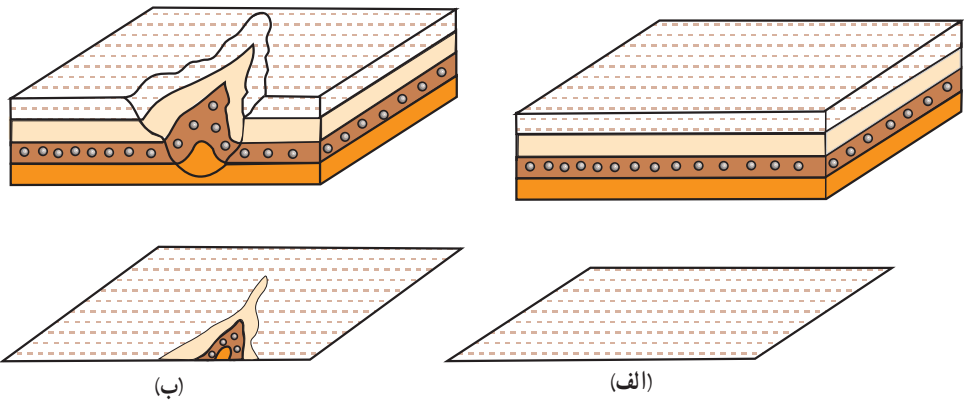
در راهنمای نقشه، توصیف مختصری از هر یک از واحدهای آن می‌آید. علاوه بر رنگ، هریک از واحدها با نماد حرفی معینی نیز مشخص می‌شوند (مثلاً ممکن است سازند شمشک که متعلق به ژوراسیک است با JS مشخص شود، J نمایانگر سن لایه یا همان ژوراسیک و S بیانگر جنس لایه که ماسه سنگ است).



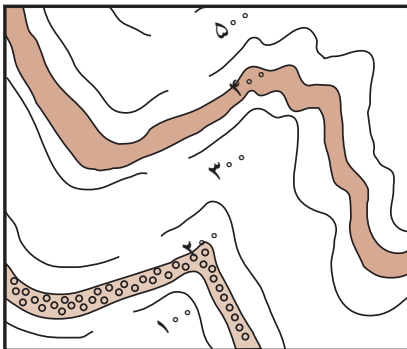
شکل ۸-۹- نشانه‌هایی که معمولاً برای نشان دادن ساخت‌های زمین‌شناسی (الف) و برخی انواع سنگ‌ها (ب) در نقشه‌های زمین‌شناسی به کار می‌رود.

تعبیر و تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی: نحوه 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 نقشه زمین‌شناسی نیز تنها این لایه به نمایش در خواهد آمد؛ زیرا لایه‌های زیرین در سطح زمین بیرون زدگی ندارند (شکل ۹-۹ 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 ۹-۹ ب).



شکل ۹-۹- نمودار سه بعدی (بالا) و نقشه زمین‌شناسی (پایین) یک سری لایه‌های افقی. الف: وقتی سطح زمین افقی باشد تنها بالاترین لایه به نقشه درمی‌آید. ب: وقتی سطح زمین برجسته و فرورفته باشد، لایه‌های زیرین نیز ممکن است در نقشه نشان داده شوند.

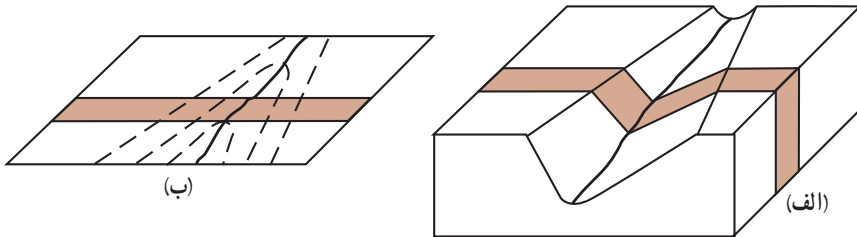


شکل ۹-۱۰- وقتی لایه‌ها افقی باشند، خط همبری لایه‌ها در همه جا با منحنی‌های تراز توپوگرافی موازی است.

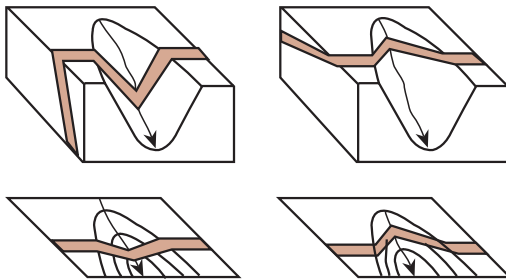
وقتی لایه‌ها افقی باشند، چون سطح جداکننده هر دو لایه روی هم افقی است، بنابراین، محل برخورد این سطح با سطح زمین در تمام نقاط ارتفاع یکسان دارد. به این جهت اگر نقشه زمین‌شناسی همراه منحنی‌های تراز توپوگرافی باشد، خط همبری لایه‌های افقی در همه جا موازی منحنی‌های تراز است (شکل ۹-۱۰).



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 دوخط مستقیم موازی نشان داده می‌شود (شکل ۹-۱۱).



شکل ۹-۱۱- نمودار سه بعدی (الف) و نقشه زمین‌شناسی (ب) یک لایه قائم.



(الف) شیب لایه، در خلاف جهت شیب دره است.  
(ب) شیب لایه، هم جهت با شیب دره است.

شکل ۹-۱۲- نمودار سه بعدی (بالا) و نقشه 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 دره 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 لایه مایل در دره رودخانه در شکل ۹-۱۲ 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 نقشه زمین‌شناسی به نمایش درمی‌آید (شکل ۹-۱۳). 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.



شکل ۱۴-۹- نقشه زمین شناسی یک ناودیس  
مایل. جهت میل ناودیس به طرف جنوب شرقی است.

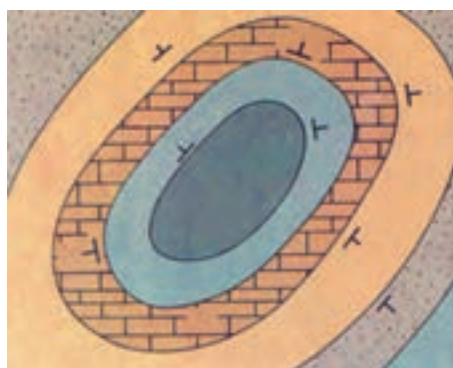


شکل ۱۳-۹- نقشه زمین شناسی  
یک ناودیس با محور افقی

- اردوسین
- شیل
  - کامبرین
  - شیل
  - ماسه سنگ
  - پروتوزوییک
  - شیست

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 ۱۵-۹). در حوضه‌های ساختمانی (ناودیس‌های کاسه‌مانند) شیب لایه‌ها و توالی آنها برعکس گنبدهای ساختمانی است.

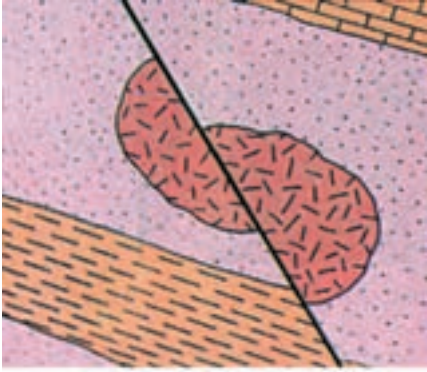
در زمین‌های دارای پستی و بلندی، شکل رخنمون چین‌ها نیز، مانند آنچه که در مورد لایه‌ها گفتیم، متأثر از توپوگرافی زمین است.



- کربنیفر
- ماسه سنگ
  - دونین
  - دولومیت
  - سیلورین
  - سنگ آهک
  - شیل
  - اردوسین
  - شیل

شکل ۱۵-۹- یک گنبد ساختمانی به صورتی که در  
یک نقشه زمین شناسی ظاهر می‌شود.

هـ) گسل‌ها: آنچه که در مورد طرح بیرون زدگی سطوح لایه بندی گفتیم در مورد گسل‌ها نیز صادق است. مثلاً گسل قائم به صورت خط مستقیم در نقشه به نمایش در می‌آید. گسل‌ها موجب قطع شدگی و جابه جایی سنگ‌ها می‌شوند، بنابراین در نقشه زمین شناسی ممکن است یک لایه معین، یک توده آذرین

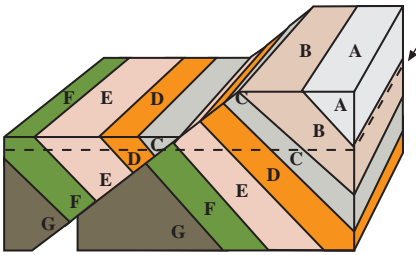


جابه جایی واحدهای سنگی مشابه  
نشان دهنده وجود یک گسل است.

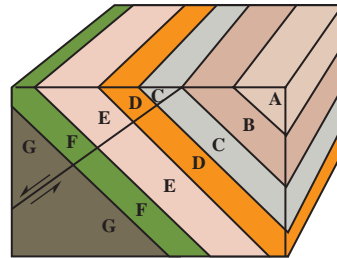
شکل ۱۶-۹- نقشه زمین شناسی یک توده آذرین و  
لایه های اطراف آن، که به وسیله گسل جابه جا شده اند.

یا هر ساخت دیگری در طرفین یک گسل جابه جایی  
نشان دهد (شکل ۱۶-۹).

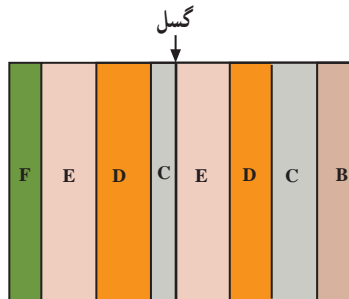
گسل ها ممکن است موجب تکرار لایه ها  
شوند. در شکل ۱۷-۹ گسل موجب تکرار لایه ها  
شده است (توجه کنید برخلاف شکل ۱۳-۹ در  
اینجا جهت شیب و توالی لایه ها تغییر نکرده است).



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



(الف) نمودار سه بعدی قبل از گسل



(ج) نقشه سطح فرسایش یافته که تکرار واحدهای  
D, E و C را نشان می دهد.

شکل ۱۷-۹- یک گسل عادی که موجب تکرار لایه ها شده است.

# زمین در خدمت انسان



موادی که از زمین به دست می‌آید، میانی تمدن امروزی را تشکیل می‌دهند. مواد معدنی و منابع انرژی‌زایی که از پوسته زمین حاصل می‌آیند، مواد خامی‌اند 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 همه 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. هرچه جامعه و ملتی صنعتی‌تر باشد، میزان استفاده‌اش از فراورده‌های زمین هم بیشتر خواهد بود.

## فعالیت

### منابع تجدیدشدنی و تجدید نشدنی

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

کاربرد	منابع تجدیدنشدنی	منابع تجدیدشدنی

- به نظر شما آب زیرزمینی منبعی تجدید شدنی است یا تجدید نشدنی؟ دلیل بیاورید.
- در کشور ما، از کدام منابع تجدیدنشدنی باید مراقبت بیشتری شود؟ دلیل بیاورید.



شکل ۱-۱- مقدار مصرف سرانه مواد فلزی و غیر فلزی به ازای هر نفر، در یک کشور

## منابع انرژی

زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی، سوخت‌های مهم جوامع امروزی را تشکیل می‌دهند. با آنکه در طول چند دهه آینده کمبودی از این لحاظ مشهود نیست، اما این منابع انرژی به سرعت روبه کاهش‌اند. حتی پیگیری کارهای اکتشافی در اعماق دریا و در میان یخ‌های قطبی هم جلوی بحران آینده را نخواهد گرفت، به‌ویژه اینکه مصرف نیز روز به روز 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.

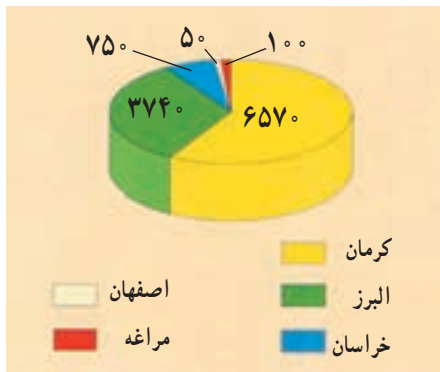
## زغال سنگ

زغال سنگ، نوعی سنگ رسوبی است و در بین سایر موادی که از زمین به دست می‌آید اهمیت ویژه‌ای دارد. در بسیاری از موارد می‌توان آثار ساقه و ریشه گیاهان را در داخل لایه‌های زغال سنگ

و سنگ‌های اطراف آن مشاهده کرد. این مطلب نشان‌دهنده 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 دوره کربونیفر بیش از ۳۰۰ نوع گیاه تشخیص داده‌اند. نحوه تجمع مواد اولیه: اگرچه منشأ گیاهی زغال سنگ مورد قبول تمام دانشمندان است اما در مورد چگونگی تجمع مواد گیاهی دو نظریه مختلف تحت عنوان نظریه‌های درجازا و دگرجازا وجود دارد. مطابق نظریه درجازا، زغال سنگ در همان محل رویش گیاهان تشکیل شده است. براساس این نظریه، پس از این که شرایط آب و هوایی مناسب سبب شد که جنگل‌های انبوهی به وجود آید، تنه درختان بر زمین افتاد و توده‌ای از مواد اولیه گیاهی جمع شد. در مرحله بعد، سیلاب‌هایی که از محل می‌گذشت، گل ولای همراه خود را بر جای گذاشت و بدین ترتیب روی مواد گیاهی با پوششی از این مواد پوشیده شد و به ترتیبی که بعداً خواهیم دید، این مواد به زغال تبدیل شدند.

مطابق نظریه 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.

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



شکل ۲-۱۰ ذخایر زغال سنگ ایران (میلیون تن)

دراولین مرحله در اثر فعالیت باکتری‌های مختلف مواد گیاهی تجزیه می‌شود و بعضی از عناصر تشکیل دهنده 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 شده و فشرده‌تر می‌شود. مدتی بعد فعالیت باکتری‌ها متوقف می‌شود. به مرور که زغال نارس به اعماق فرومی‌رود، در اثر افزایش فشار رسوبات، فشار و دمای محیط افزایش می‌یابد

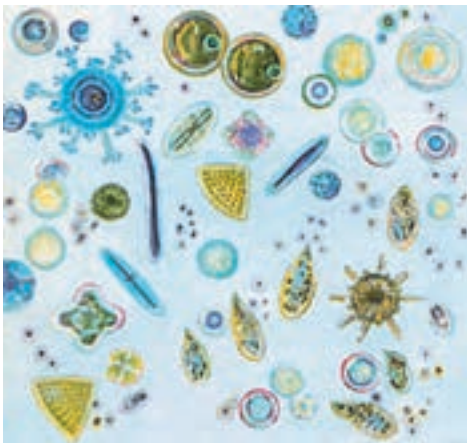
و طی آن زغال نارس ابتدا به زغال قهوه‌ای و سپس به انواع دیگر زغال تبدیل می‌شود. زغال سنگ انواع مختلفی دارد که هر نوع آن کاربرد ویژه‌ای دارد. بعضی از انواع مرغوب آن در

صنایع فولاد مصرف دارد و به نام کک معروف است. انواع دیگر آن نیز برای ایجاد حرارت به عنوان سوخت به کار می‌رود و آنها را زغال‌های حرارتی می‌نامند.

اهمیت نفت در زندگی روزمره بر کسی پوشیده نیست. از گرمای اتاقتان گرفته تا غذایی که می‌پزید، نفت دخالت دارد. برای رفتن به مدرسه و سایر نقاط از وسایل نقلیه استفاده می‌کنید که برای حرکت به مواد نفتی نیاز دارند. علاوه بر سوخت، نفت در تهیه بسیاری از پلاستیک‌ها به کار می‌رود. در بسیاری از لباس‌ها نیز الیافی به کار می‌رود که از مواد نفتی ساخته شده‌اند.

## نفت

نفت ماده‌آلی 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 می‌کنیم، در واقع نفت سفید و تنها یکی از محصولات آن است که در اثر پالایش نفت خام به دست می‌آید.



شکل ۳-۱۰- نمونه‌هایی از موجودات شناور نفت‌ساز

**چگونگی تشکیل نفت:** مواد اولیه نفت، عمدتاً موجودات زنده ریزی بوده‌اند که امروزه نیز به حالت شناور در آب دریا وجود دارند. این جانداران، دارای بعضی ترکیبات، نظیر اسیدهای چرب هستند که ماده اصلی برای تشکیل نفت است. نمونه‌هایی از این موجودات در شکل ۳-۱۰ دیده می‌شوند.

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 حوضه

رسوبی نمی‌رسند و بخش عمده‌ای از آنها قبل از رسوب، اکسید شده و یا توسط جانوران دیگر خورده می‌شوند. به هر حال باز هم آن بخش 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 حوضه رسوبی می‌رسند، به نحوی حفظ می‌شوند. عامل این حفظ رسوبات دانه ریزی است که همراه با آنها رسوب می‌کند و باعث محفوظ ماندن این مواد می‌شود. به طوری که دیده می‌شود، برای تشکیل نفت



شرایط خاصی لازم است؛ زیرا علاوه بر وجود مواد اولیه، محیط رسوبی نیز باید کم عمق 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 می شود که چرا با وجودی که موجودات زنده شناور به میزان زیاد در حوضه های رسوبی وجود دارند، در تمام آنها نفت تشکیل نمی شود.

مواد دانه ریزی که همراه با بقایای موجودات رسوب می کنند، بعدها به سنگ تبدیل می شوند و به نام سنگ مادر معروف اند.

فرایند تبدیل مواد آلی به ترکیب های مختلف کربن و هیدروژن (هیدروکربن ها) که نفت را تشکیل می دهند، فرایند پیچیده ای است که در آن باکتری های غیرهوازی نقش اصلی را به عهده دارند. این باکتری ها که در اغلب رسوبات دریایی وجود دارند، به مرور سبب تجزیه مواد آلی و تبدیل آنها به نفت می شوند.

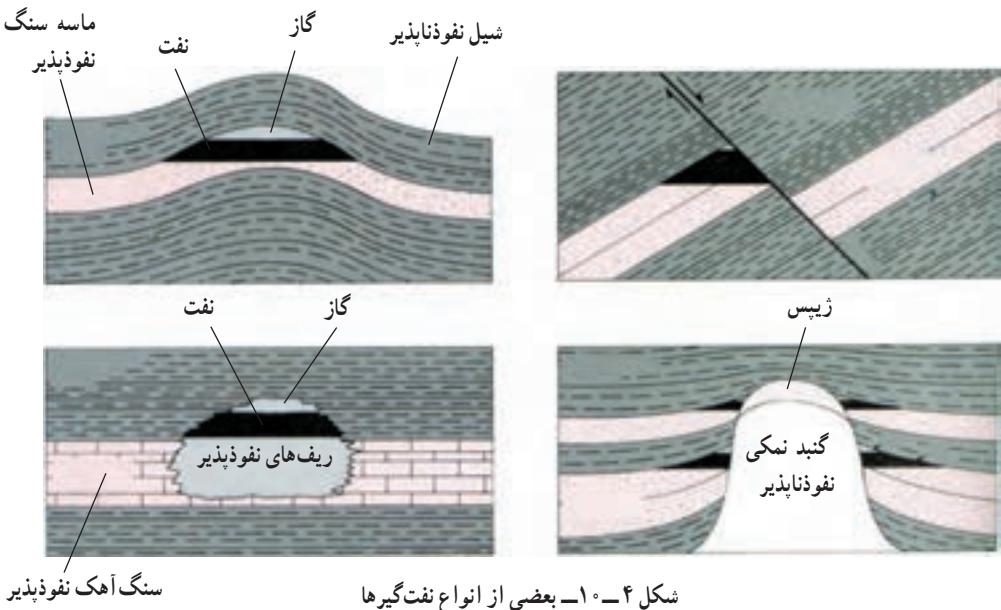
**مهاجرت اولیه نفت:** رسوبات حاوی مواد نفتی در ابتدا به صورت لجنی است که ۷۰ تا ۸۰ درصد آن مایع و بقیه آن رسوبات مختلف است. بیش از ۹۹ درصد مایع موجود در این لجن را آب دریا (آب شور) و فقط کمتر از یک درصد آن را نفت تشکیل می دهد.

با ادامه رسوب گذاری در حوضه رسوبی، وزن رسوبات و بنابراین، فشار مؤثر بر لجن، رسوبات را متراکم تر می کند. تراکم رسوبات سبب می شود 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 سنگ مادر نامیده می شود، آغاز می شود که آن را مهاجرت اولیه می گویند.

واضح است که در اعماق زمین، فضای خالی به صورت غار وجود ندارد و آب و نفت از درون منافذ ریز موجود در سنگ ها حرکت می کنند. گرچه در ابتدای کار حرکت آب و نفت به سمت بالا است، اما با اضافه شدن تراکم رسوبات، حرکت جانبی نیز انجام می گیرد و بدین ترتیب، مهاجرت مخلوط آب و نفت ادامه می یابد. مهاجرت اولیه نفت ممکن است به چند صد کیلومتر برسد. بخش عمده ای از نفتی که بدین ترتیب تشکیل شده است، ضمن مهاجرت اولیه هدر می رود اما اگر در مسیر حرکت آب و نفت محل مناسبی برای تجمع نفت وجود داشته باشد این مخلوط در آن به دام می افتد و انباشته می شود.

**نفت گیرها:** نفت گیرها مخازن طبیعی مناسبی هستند که نفت در داخل آنها انباشته می شود. برای اینکه 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 می گویند، 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 ۴-۱۰ می بینید.



شکل ۴-۱۰- بعضی از انواع نفت گیرها

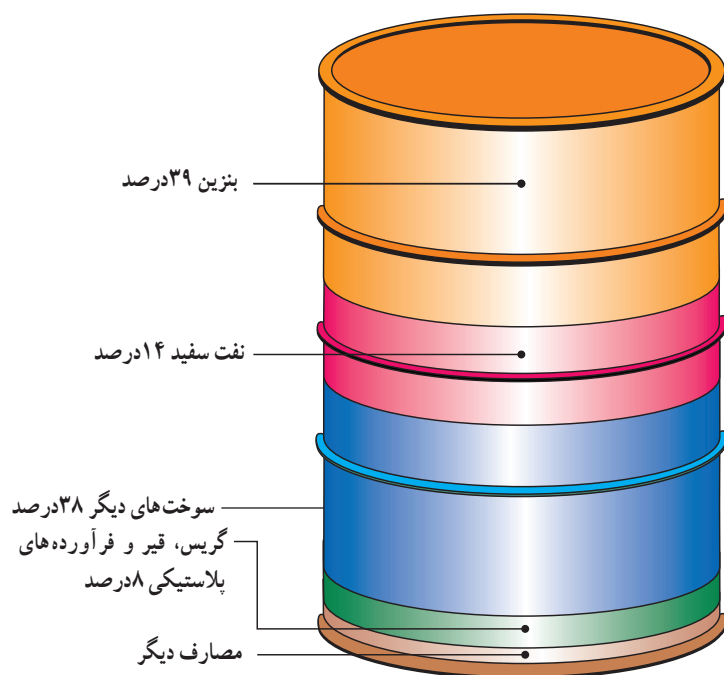
مهاجرت ثانویه نفت: پس از آنکه مخلوط آب و مواد نفتی در داخل نفت گیر به دام افتاد، در اثر اختلاف وزن مخصوص آب، نفت و گاز، این سه بخش به تدریج از یکدیگر جدا می شوند و سه لایه مختلف را در داخل نفت گیر، تشکیل می دهند. این مرحله را مهاجرت ثانوی می گویند. گرچه در حالت کلی معمولاً در نفت گیرها به ترتیب سه لایه 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 آنها 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 آن را نفت ترش یا نفت شیرین می نامند.

استخراج نفت: استخراج نفت با استخراج سایر مواد متفاوت است. پس از آنکه به کمک

عملیات اکتشافی، وجود نفت در منطقه‌ای شناسایی شد، اقدام به حفر چاه‌های عمیق می‌کنند. پس از برخورد چاه به نفت‌گیر، به علت فشار موجود در مخزن، نفت اغلب خودبه‌خود بالا می‌آید. نفت خامی که بدین ترتیب تولید می‌شود مستقیماً قابل استفاده نیست؛ بلکه ابتدا آب، گاز و مواد گوگردی آن را جدا می‌کنند و سپس برای تصفیه به پالایشگاه می‌فرستند. در پالایشگاه، نفت را تصفیه و انواع فرآورده‌های نفتی از قبیل نفت سفید، بنزین، بنزین هواپیما، روغن و ... از آن تهیه می‌کنند. نفت تصفیه شده به وسیله لوله به محل مصرف یا بنادر بارگیری حمل می‌شود.



شکل ۵-۱- درصد فرآورده‌های 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 استفاده 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 دهه آینده ایران را به یک کشور واردکننده نفت خام و فرآورده‌های آن تبدیل خواهد کرد.

۴- مهمتر از همه، مسئله آلودگی‌های زیست محیطی 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 مشکلات بسیار جدی، آلودگی هوای ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است. آلودگی‌های هوای شهری، باران اسید و گرم شدن عمومی هوای کره زمین (اثر گلخانه‌ای)، همگی با این نوع منابع انرژی ارتباط دارند.

آلودگی هوا، برای ساکنان شهرهای بزرگ، مسئله‌ای بسیار جدی است، به‌ویژه که آلوده شدن 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 ۶- ۱).



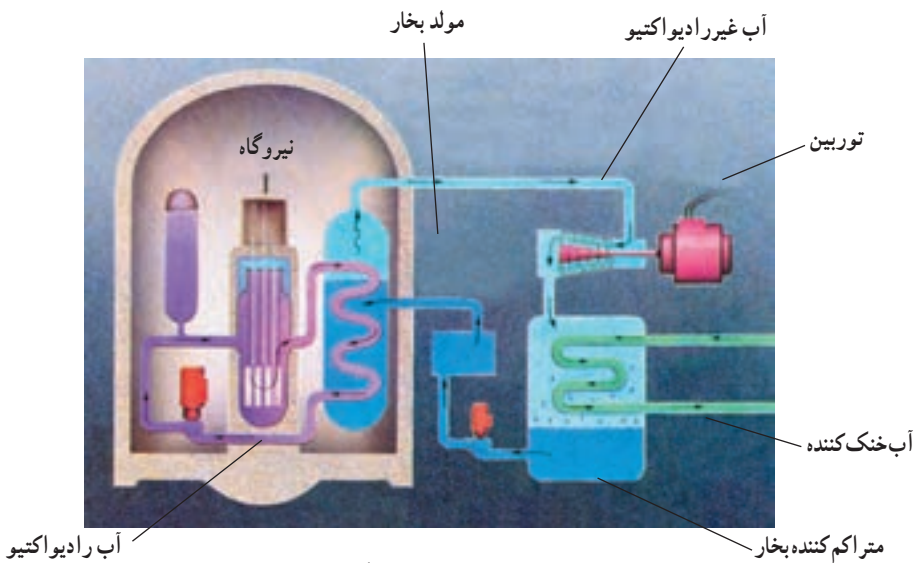
شکل ۶- ۱- آلوده‌کننده‌های اصلی، منابع آنها. درصدها بر حسب وزن محاسبه شده‌اند.

## منابع انرژی جانشین

با بررسی مختصری در میزان استفاده از منابع انرژی، معلوم می‌شود که تقریباً ۹۰ درصد از انرژی موردنیاز جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند که منابعی تجدیدناپذیرند. 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 مناسب‌تری هم پیدا شده‌اند که عبارت‌اند از انرژی هسته‌ای، خورشیدی، بادی، زمین‌گرایی و ... .

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



شکل ۷-۱۰- طرح یک نیروگاه اتمی

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 فرایندهای بسیار پیچیده‌ای ابتدا سنگ معدن را تخلیص و سپس نسبت به ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵ غنی‌سازی می‌کنند. به چنین مخلوطی اورانیم غنی شده می‌گویند. بدین ترتیب میله‌های سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌شود. در نیروگاه برق هسته‌ای، این ماده (میله سوخت) را توسط نوترون بمباران می‌کنند، که در نتیجه، یک واکنش زنجیره‌ای صورت می‌گیرد. به دنبال این واکنش‌ها، میله 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 نتیجه این گرما بخار می‌شود و این بخار می‌تواند مولدهای برق را به کار اندازد.

واکنش‌های زنجیره‌ای که در حین شکافت هسته‌ای صورت می‌گیرند، قابل کنترل اند 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 اند و قرار است تعداد نیروگاه‌های 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 زغال سنگ و نفت و گاز طبیعی از سایر مزایای انرژی هسته‌ای است. یک کیلوگرم سوخت اتمی معادل ۳۰۰۰ تن زغال سنگ، انرژی تولید می‌کند.



شکل ۸-۱- مصرف انرژی هسته‌ای در جهان



در این راستا، کشور عزیز ما، جمهوری اسلامی ایران، با توجه به نیاز برنامه‌های توسعه 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 کرده است.

**انرژی خورشیدی:** مقدار انرژی که در هر ۱۵ دقیقه، زمین از خورشید دریافت می‌کند، معادل مقدار انرژی مصرفی یک سال همه 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 قرار داد. اما راه دیگر، نصب صفحاتی در پشت بام 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 ۹-۱۰. استفاده از انرژی خورشیدی برای ایجاد گرما





شکل ۱۰-۱- از کار مجموعه این دستگاهها، برق تولید می‌شود.

### انرژی باد : امروزه در بعضی

از کشورها (از جمله کشور خود ما در ناحیه منجیل) از نیروی باد برای تولید برق در مقیاس محدود استفاده می‌شود. محدودیت‌های این روش آن است که اولاً باید مناطقی وجود داشته باشند که وزش باد در آنها تقریباً دائمی باشد، ثانیاً، مقدار انرژی الکتریکی حاصل از این راه، حداکثر فقط می‌تواند نیازهای محلی را برآورده کند. البته، مشکل سروصدای

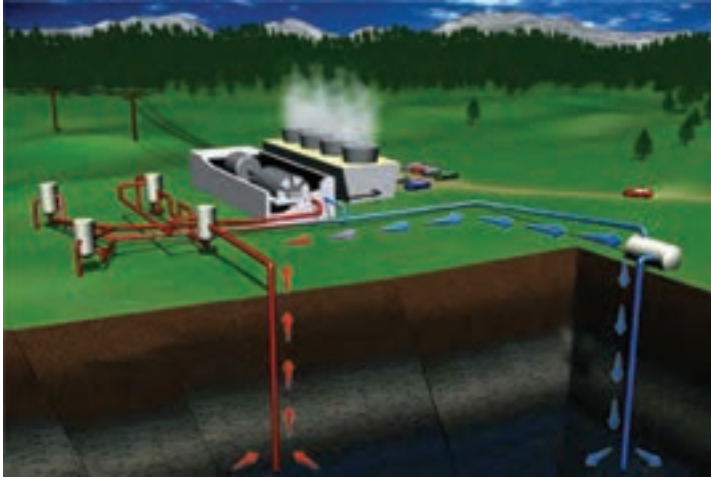
توربین‌ها و اشغال محل‌های وسیعی که باید در کنار شهرها قرار گیرند و توربین در آنها ساخته شود نیز وجود دارد.

**انرژی زمین گرمایی :** یکی دیگر از موهبت‌های الهی که نصیب کشور عزیزمان شده، انرژی زمین گرمایی است. این منبع بسیار عظیم انرژی که به صورت حرارت از اعماق زمین به سطح آن هدایت می‌شود، در صورت وجود فناوری استخراج و بهره‌برداری، به تنهایی قادر است کلیه نیازهای انرژی امروز و آینده بشر را تأمین کند.

بر اساس محاسبات انجام شده، متخصصان دریافتند که انرژی حرارتی ذخیره شده در ۱۱ کیلومتر بالایی پوسته زمین، معادل پنجاه هزار برابر کل انرژی نهفته در منابع نفت و گاز شناخته شده امروز جهان است. از این رو، این منبع عظیم انرژی که به آن انرژی زمین گرمایی می‌گویند، می‌تواند در آینده جایگزین قابل اطمینانی برای انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی باشد.

انرژی زمین گرمایی از مجاورت سیالات یا محلول‌های داغ با ماگما یا سنگ‌های بسیار داغ حاصل می‌شود. برای دسترسی به این انرژی ذخیره شده در مخازن زمین گرمایی، باید چاهی عمیق حفر گردد. سیال خروجی از چاه، عامل انتقال انرژی از مخزن به سطح زمین است.

امروزه تولید انرژی به کمک منابع سوخت‌های فسیلی، علاوه بر ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، از نظر اقتصادی نیز فاقد توجیه اقتصادی است؛ زیرا اگر از نفت به جای استفاده سوخت، در صنایع پتروشیمی و صنایع تبدیلی استفاده شود، ارزش افزوده آن چندین برابر می‌شود. این در حالی است که



شکل ۱۱-۱۰ طرح چاه و نیروگاه زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی جزء منابع انرژی پاک محسوب می شود و فاقد هرگونه آلودگی زیست محیطی است. استفاده از انرژی زمین گرمایی از گذشته های دور در کشورمان به صورت سنتی در محل چشمه های آب گرم رایج بوده است و در دهه های اخیر در چند منطقه از کشور مطالعات مقدماتی انجام شده و به همت متخصصان سازمان انرژی های نو (سانا) اولین نیروگاه زمین گرمایی خاورمیانه در منطقه مشکین شهر استان اردبیل احداث شده است.



شکل ۱۲-۱۰ تصویر نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر

## منابع مواد معدنی

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

مواد معدنی، اجسامی هستند که به طور طبیعی در سطح یا اعماق زمین قرار دارند و ممکن است به صورت جامد، مایع یا گاز باشند. بعضی از مواد معدنی جزء کانی‌ها هستند. اما مواد دیگری هم وجود دارند که ممکن است از ترکیب چندین کانی با درصدهای مختلف تشکیل شده باشند.

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

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

فرایندهای 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 محفظه 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 فرایند، به‌ویژه در مورد ماگماهای گرانیتی مصداق دارد، زیرا در آنها، ماده 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 مانده 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 بلورهای درشت کوارتز، فلدسپات و میکا دارند. از فلدسپات، می‌توان در صنایع سرامیک استفاده کرد و میکای سفید، همان طلق نسوز 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 به وجود آیند. محلول‌های **هیدروترمال** هم می‌توانند منشأ بعضی از رگه‌های فلزی باشند که در آخر فرایندهای ماگمایی در لابه‌لای سنگ‌های دیگر تزریق می‌شوند. در طول سرد شدن ماگما، یون‌های فلزی مختلف به همراه مایعات در بالایی محفظه ماگما جمع می‌شوند و به سبب تحرک، می‌توانند در سنگ‌ها نفوذ کنند

و در آنجا منجمد شوند. رگه های طلا، نقره و جیوه به این شکل تشکیل می شوند.

## ۲- فعالیت های دگرگونی :



شکل ۱۰-۱۳- نهشته های گرمابی به صورت رگه در اطراف اتاقک ماگمایی

فرایندهای دگرگونی، به ویژه نوع مجاورتی آن، در ایجاد منابع معدنی تأثیر دارند. سنگ های مجاور توده آذرینی که بالا می آید، تبلور مجدد یافته و تحت تأثیر فشار، حرارت، محلول های فعال حاصل از ماگما، ترکیب شیمیایی اولیه را از دست می دهند. در این مناطق، کانی های پرارزشی چون گرونا و کزنوم پدید می آیند. از انجام واکنش های

شیمیایی در این محل ها، مقدار زیادی گاز دی اکسید کربن نیز حاصل می آید که مهاجرت رو به خارج یون های فلزی را آسان می کند. به همین علت، در کنار اغلب مواد آذرین نفوذی که به میان تشکیلات آهکی راه می یابند، منابع فلزی وجود دارد. از جمله کانی های فلزی که نتیجه دگرگونی مجاورتی محسوب می شوند، می توان به اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و مانیتیت اشاره کرد.

در محل های فرورانش نیز که دگرگونی ناحیه ای صورت می گیرد و رسوبات به اعماق زمین برده می شوند، کانی های غیر فلزی مانند تالک و گرافیت تشکیل می شوند.

۳- هوازدگی : فرایند هوازدگی می تواند کانی های پرارزشی را در یکجا متمرکز کند. اگر هوازدگی شیمیایی (تأثیر  $O_2$  یا  $CO_2$  و ... بر سنگ ها) با عمل نفوذ آب های زیرزمینی توأم شود، مواد موجود در سنگ، از یکدیگر تفکیک خواهند شد و مواد پرارزش، در بالا می مانند، یا برعکس، به قسمت های پایین خاک برده می شوند.

بوکسیت، یعنی ترکیب مهم آلومینیم دار، به همین صورت حاصل می آید. بوکسیت، در مناطق پرباران و گرم استوایی تشکیل می شود، زیرا آلومینیم ماده ای بسیار نامحلول است.

● با آنکه آلومینیم در پوسته زمین فراوان است، چرا معادن این فلز کمیاب اند؟

## بیشتر بدانید

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

۱- **مصالح ساختمانی**: ماسه و سنی 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 خانه دو طبقه معمولی، حدود یک صد تن مصالح ساختمانی مورد مصرف دارد.

۲- **کانی‌های صنعتی**: گروهی از مواد معدنی هم در ساختن فرآورده‌های مختلفی کاربرد دارند. کودهای شیمیایی، موادی‌اند که با افزایش جمعیت و استفاده‌های مکرر از زمین‌های کشاورزی، به ناچار باید مورد استفاده قرار گیرند. مسلماً در آینده باز هم موارد مصرف آنها زیاده‌تر خواهد شد. کودهای شیمیایی، شامل ترکیباتی چون نیترات، 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، پوسته زمین است. کانی آپاتیت، در تهیه فسفات‌ها کاربرد دارد و منبع اصلی پتاسیم را هم نوعی از سنگ‌های تبخیری به نام سیلیت (KCl) تشکیل می‌دهد. گوگرد که در تهیه 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 جمله همین نوع کانی‌ها محسوب می‌شود.

## بحث کنید

۱- نیاز انسان به منابع معدنی، نه تنها رو به کاهش نمی‌گذارد، بلکه در حال فزونی است. حال آنکه معادن این مواد، روز به روز در حال تخلیه شدن‌اند. در این صورت، یا باید، منابع جدیدی را از نقاط دور از دسترس، مانند بستر دریاها و زیر یخ‌های قطبی یافت، یا آنکه به مصرف کمتر و مسئله‌بازیافت متوسل شد. به نظر شما، چه راه‌هایی برای استفاده 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؟ ...



مطمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را در باره مطالب  
این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳، گروه دسی مربوط و یا پیام نگار (Email)  
talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفترتالیف کتاب های دسی ابتدایی و متوسط نوری