بخش ۱

زمین، زیستگاه ما

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

۱ حرکات زمین

بسیاری از تمدن‌های ابتدایی، در نواحی شرقی دریای مدیترانه و ازجمله در بین‌النهرین به‌وجود آمده‌اند. این نواحی بیابانی‌اند و شب‌های صاف و مناسبی برای مشاهده‌ی آسمان دارند. حاصل مشاهدات متوالی اجداد ما آن بود که زمین را ثابت تصور می‌کردند. آنان عقیده داشتند که ماه، خورشید و پنج ستاره‌ی سرگردان (سیّاره) در اطراف زمین گردش می‌کنند. یک ستاره را هم در قسمت شمالی آسمان یافته بودند که گمان می‌کردند در جای خود ثابت است و بقیه‌ی ستاره‌ها به دور آن در گردش‌اند. وقتی که یونانیان قدیم به قسمت‌های شمالی‌تر زمین سفر کردند، دریافتند که هرچه از استوا دور می‌شوند، آن ستاره‌ی ثابت هم از افق دورتر می‌شود و ارتفاع زیادتری می‌یابد.

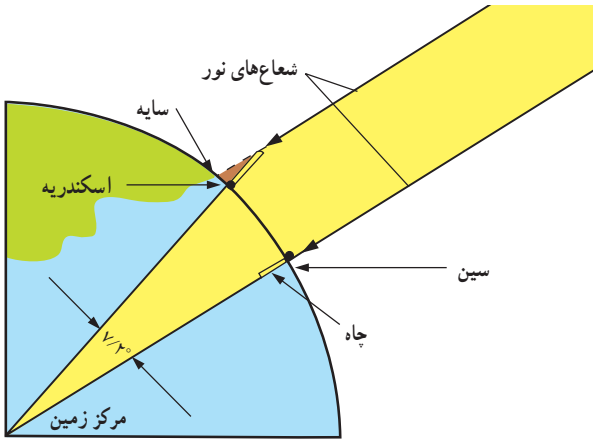
مردمان بین‌النهرین، در حدود سه هزار سال قبل از میلاد، دایره را به ۳۶۰ قسمت تقسیم کرده و هرکدام را علامت یک روز و میزان یک بار حرکت خورشید در آسمان می‌شمردند. این مقیاس، هنوزهم با نام **درجه** کاربرد دارد.

در ۲۳۰ سال قبل از میلاد، یکی از دانشمندان یونانی به نام **اراتوستن**، محاسبه‌ای شگفت‌آور و دقیق درباره‌ی اندازه‌گیری محیط زمین انجام داد. وی، در کتابخانه‌ی بزرگ اسکندریه، خوانده بود که چاهی عمیق در شهر **سین** (آسوان امروزی در جنوب مصر) وجود دارد که سالی یک‌بار، در ظهر یک روز معیّن، آفتاب کاملاً ته آن را روشن می‌کند. اراتوستن چنین استدلال کرد که در آن روز، خورشید باید کاملاً بر آن نقطه قائم بتابد. شهر اسکندریه حدود ۵۰۰۰ استادیوم (واحد اندازه‌گیری طول) با شهر سین فاصله داشت. او می‌دانست که در **همان روز** نیز، سایه‌ای از اجسام قائم واقع در روی زمین تشکیل می‌شود. پس بر اسکندریه آفتاب قائم نمی‌تابد. با توجه به این‌که شعاع‌های خورشید موازی‌اند، اراتوستن نتیجه گرفت که زمین باید کروی باشد و درپی محاسبه‌ی محیط زمین برآمد.

وی، ستونی را به‌طور قائم در اسکندریه روی زمین نصب کرد و زاویه‌ی سایه‌ی آن را اندازه گرفت. این زاویه، در آن لحظه‌ای که آفتاب به ته چاه واقع در سین می‌تابید، معادل ۷ درجه و ۱۲ دقیقه بود. اراتوستن، که از اصول هندسه مطّلع بود، می‌دانست زاویه‌ی اندازه‌گیری شده با زاویه‌ای که بین سین و اسکندریه در مرکز زمین تشکیل می‌شود، برابر است. قوس روبه‌رو به این زاویه، $\frac{۱}{۵۰}$ محیط دایره

بود. وی، با درنظر گرفتن فاصله‌ی سین تا اسکندریه، و اندازه‌ی زاویه، مقدارمحیط زمین را حدود ۳۹۲۵۰ کیلومتر محاسبه کرد که به اندازه‌ی واقعی حاصل از محاسبات امروزی بسیار نزدیک است.

شکل ۱ــ۱ــ منطقه‌ای که در محاسبه‌ی اراتوستن موردنظر بوده است.



شکل ۲ــ۱ــ زاویه‌ی تابش خورشید را در محل زندگی خود به دست آورید و با کمک آن، محیط زمین رامحاسبه کنید.

در گزارش‌ها، سه مقدار برای استادیوم نوشته‌اند (معادل ۱۵۷ متر، ۱۸۵ متر و ۲۱۰ متر) که ظاهراً اراتوستن اولی را به‌کار برده است. ضمناً، اگر آفتاب فقط یک روز از سال به ته چاه می‌تابید، شهر سین باید در روی مدار رأس‌السّرطان، یعنی روی مدار ۲۳درجه و ۳۰ دقیقه‌ی شمالی واقع باشد. حال آن‌که این شهر، ۶۰ کیلومتر با آن مدار فاصله دارد و روی مدار ۲۴ درجه واقع است.

بحث کنید

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

جمع‌آوری اطلاعات

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

اندازه‌گیری کنید

انجام آزمایش اراتوستن، در خارج ازمنطقه‌ی استوا هم عملی است. سعی کنید در منزل خود همین اندازه‌گیری را انجام دهید و با همان روش، محیط زمین را محاسبه کنید.

راهنمایی: روز مناسب برای انجام این آزمایش، ۳۱ خرداد ماه است. ضمناً، برای این کار، به یک کره‌ی جغرافیایی دقیق نیاز دارید.

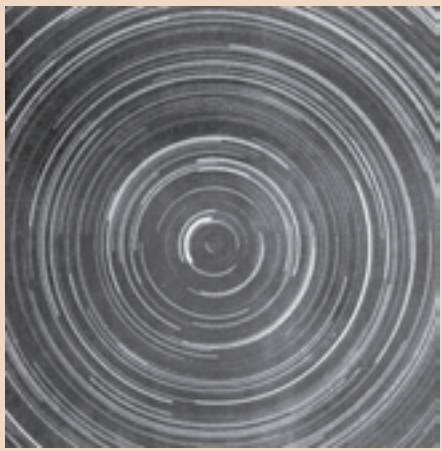
حرکات زمین

تلاش برای درک بهتر موقعیت محیط فیزیکی با فعالیت‌های اخترشناسی آغاز شده است. مهمترین عوامل کنترل‌کننده‌ی محیطی، بر اساس دو واقعیت متکی‌اند : ۱) کروی بودن زمین و ۲) حرکت زمین به دور خود (حرکت وضعی) و به دور خورشید (حرکت انتقالی).

در عصری که ماهواره‌های متعددی زمین را دور می‌زنند، دیگر تردیدی درباره‌ی شکل کروی زمین باقی نمی‌ماند، اما چرخش زمین به دور خود یا حرکت آن به دور خورشید، نیاز به اثبات دارد.

فعالیت

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



تصویر آسمان برفراز قطب شمال

تفسیر کنید

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

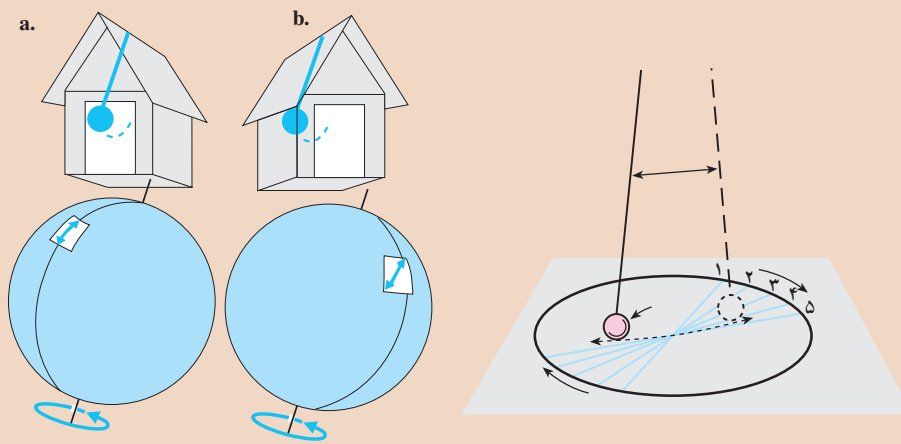
فوکو، در سال ۱۸۵۱ یک گلوله توپ سنگین را از زیر گنبد مرتفع کلیسایی در شهر پاریس آویخت. او برای این کار، از سیمی نازک به طول ۶۰ متر استفاده کرد. وقتی این جسم آونگ‌مانند به نوسان درآمد، مدت‌ها به رفت‌و آمد خود ادامه داد.

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

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

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

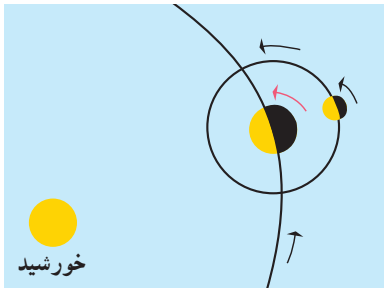
۳ــ آیا با آونگ فوکو، جهت چرخش زمین را هم می‌توان دریافت؟



کدامیک تغییر جهت می‌دهد، خانه یا آونگ؟

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

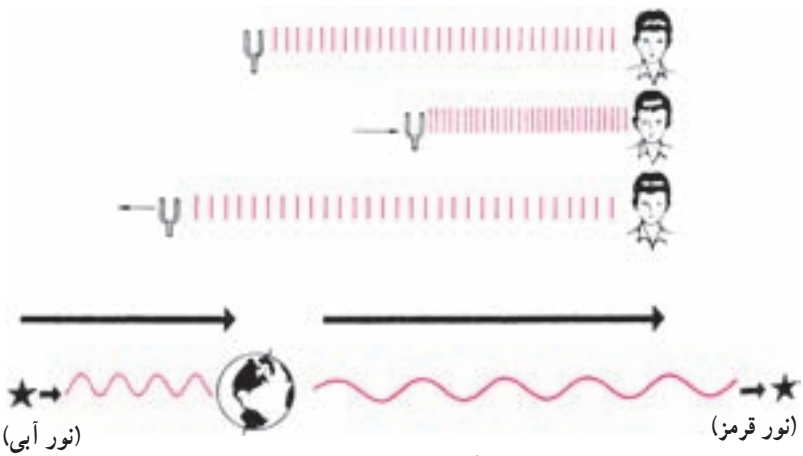
به‌همین ترتیب، نور ستاره‌ای که به سمت ما می‌آید، بیشتر متمایل به آبی است، در حالی که وقتی همان ستاره از ما دور شود، نورش به قرمزی می‌گراید. (البته این پدیده را فقط با دستگاه‌های طیف‌نگار می‌توان مشاهده کرد).



شکل ۳ــ۱ــ جهت حرکت وضعی و انتقالی زمین

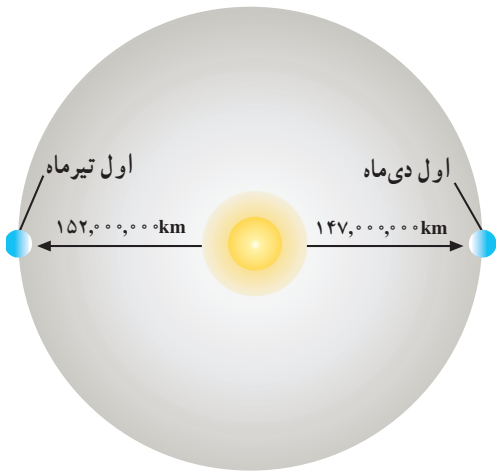
فرضیه: اگر زمین به دور خورشید بگردد، باید در مدت ۶ ماه به بعضی از ستاره‌ها نزدیک و از بعضی دور شود و در ۶ ماه بعد عکس آن اتفاق بیفتد.

آزمون فرضیه: مشاهداتی که بر روی نور ستاره‌های ویژه‌ای صورت می‌گیرد، فرضیه‌ی فوق را ثابت می‌کند. طبق محاسبات ریاضی، سرعت چرخش زمین را به دور خورشید، معادل ۳۰ کیلومتر در ثانیه محاسبه کرده‌اند که داشتن چنین سرعتی برای رخ دادن اثردوپلر لازم است.



شکل ۴ــ۱ــ اثر دوپلر

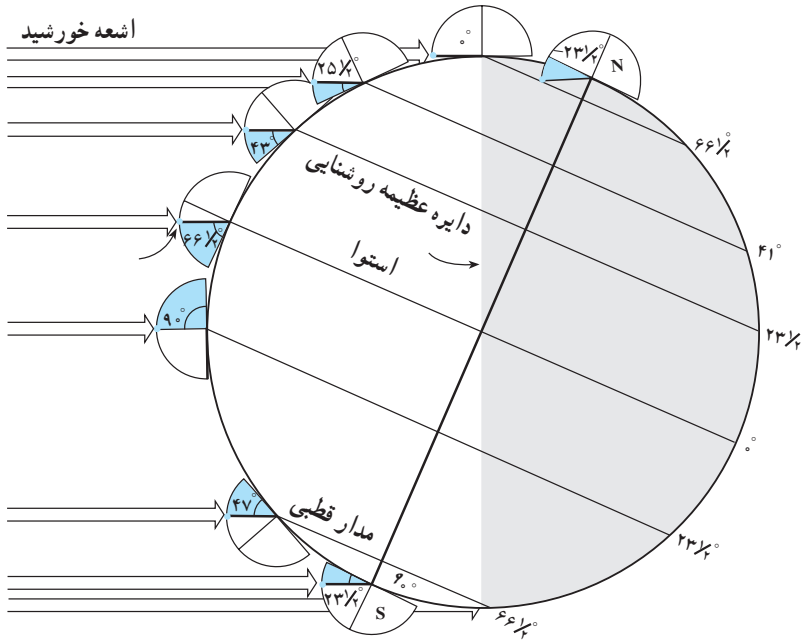
میانگین فاصله‌ی خورشید از زمین، ۱۵۰ میلیون کیلومتر است، اما چون مدار گردش زمین به دور خورشید بیضی نزدیک به دایره است، این فاصله در مواقع مختلف سال تغییر می‌کند (شکل ۵ــ۱).



شکل ۵ــ۱ــ موقعیت زمین نسبت به خورشید ثابت نیست.

انحراف محور زمین

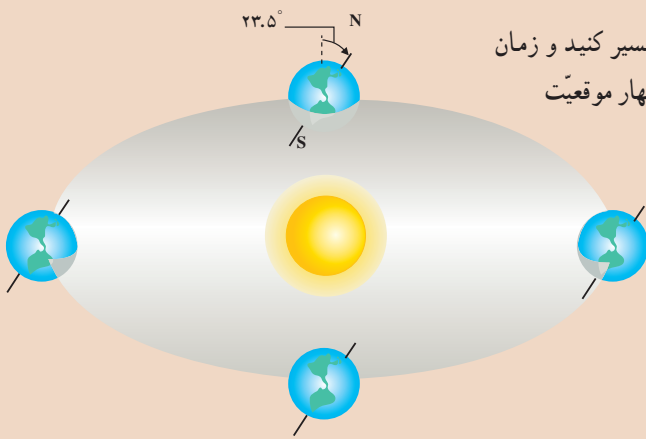
محور زمین، نسبت به خط عمود بر صفحه مدار آن به‌دور خورشید، ۲۳/۵ درجه انحراف دارد. درحالی که زمین به دور خورشید می‌چرخد، جهت محور آن تقریباً تغییری نمی‌کند. در نتیجه، در مواقع معینی از سال، قطب شمال روبه‌سوی خورشید و در مواقع دیگری دور از آن قرار می‌گیرد.



شکل ۶ــ۱ــ مقدار انحراف محور زمین و تأثیر آن در مقدار زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف

جمع‌آوری اطلاعات

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



۱ــ زمان‌هایی وجود دارد که در تمام نقاط زمین طول روز و شب مساوی و ۱۲ ساعت است. آن زمان‌ها با کدام شکل‌ها انطباق دارند!

۲ــ معنای انقلاب زمستانی و تابستانی و اعتدال بهاری و پاییزی را پیدا کنید.

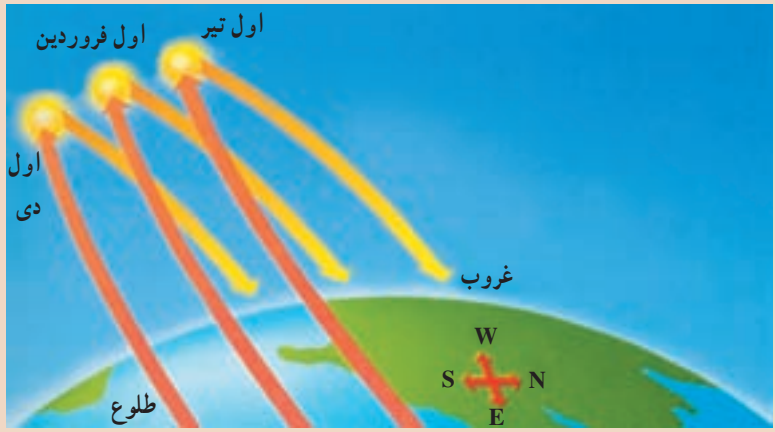
فکر کنید

۱ــ می‌دانید که وقتی در نیم‌کره‌ی شمالی تابستان باشد، درنیم‌کره‌ی جنوبی زمستان است. دلیل این پدیده را بیابید.

۲ــ با توجه به شکل ۶ ــ ۱ دو دلیل برای گرمای هوا در تابستان بیاورید.

۳ــ چرا درتابستان، روزها بلند و شب‌ها کوتاه است؟

۴ ــ با توجه به شکل زیر، بگویید چرا همیشه در کشور ما سایه‌ها رو به شمال تشکیل می‌شود و طول سایه‌ها و زاویه آفتاب در زمستان و تابستان تغییر می‌کند.



زاویه تابش خورشید در اوقات مختلف سال

بیشتر بدانید

تغییر جهت محور

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

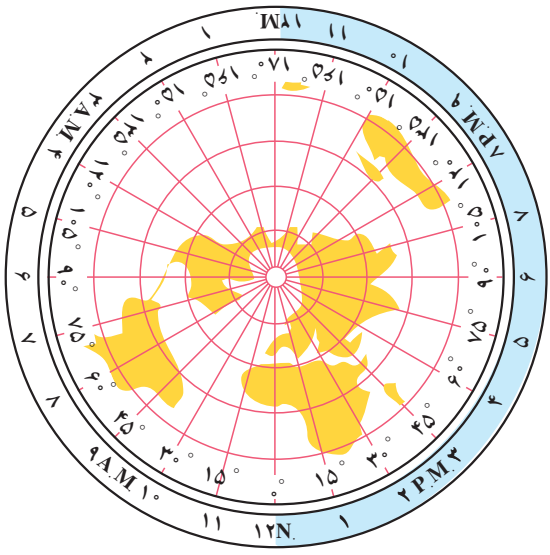
می‌زند. این تفاوت، مربوط به **تغییرجهت آرام** محور زمین است. علت این تغییرجهت تأثیر نیروی جاذبه‌ی ماه، خورشید و سیّارات بر زمین است. محور زمین به آرامی حول دایره‌ای می‌چرخد، و این چرخش هر ۲۶هزارسال یک‌بار تکرار می‌شود.

چرخش محور زمین در هردوره۲۶ هزارساله حالت یکنواخت ندارد.

زمان

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

اگر خورشید را مبنای تعیین زمان حساب کنیم، ظهر، هنگامی است که خورشید به بالاترین نقطه‌ی مسیر خود در آسمان می‌رسد. اما این پدیده، حالت محلی دارد و وقتی مثلاً خورشید در بالاترین نقطه‌ی مسیر خود برفراز شهر مشهد است، دقایقی باید طی شود تا نظیر همان‌حالت برای شهر تهران و سپس برای شهر تبریز پیش‌آید. به عبارت دیگر، ظهر هر محل، ویژه‌ی همان محل است. به همین دلیل، برای جلوگیری از بروز مشکلات مربوط به تعیین زمان، سطح کره‌ی زمین را به ۲۴ منطقه تقسیم کرده‌اند و برای هر منطقه، **ساعت استاندارد** درنظر گرفته شده است (شکل ۷ ــ۱).



شکل ۷ــ۱ــ اختلاف ساعت در نقاط مختلف زمین

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

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

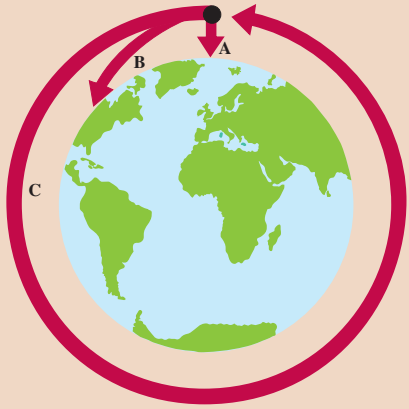
جمع‌آوری اطلاعات

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

بیشتر بدانید

ماهواره‌ها

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



A ــ مسیر گلوله توپی که فرومی‌افتد.
B ــ مسیر گلوله توپی که به‌طور افقی پرتاب می‌شود.
C ــ مسیر گلوله توپی که سرعت کافی دارد و درمدار زمین قرارمی‌گیرد.

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

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

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

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

نمونه‌ای از تصویرهای تهیه شده توسط لندست

بیشتر بدانید

اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین به وسیله‌ی ابوریحان بیرونی

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

بیرونی زاویه‌ی α را از انخفاض افق[۲] بر قلّه‌ی کوهی به وسیله‌ی یک اسطرلاب[۳] رصد کرد و از این راه مقدار انخفاض را ۳۴ دقیقه به‌دست آورد. او ارتفاع کوه را ۶۵۲/۰۶ ذراع[۴] (یک ذراع = ۴۹/۳ سانتیمتر) یا ۳۲۱/۴۶ متر محاسبه کرد.

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

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

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

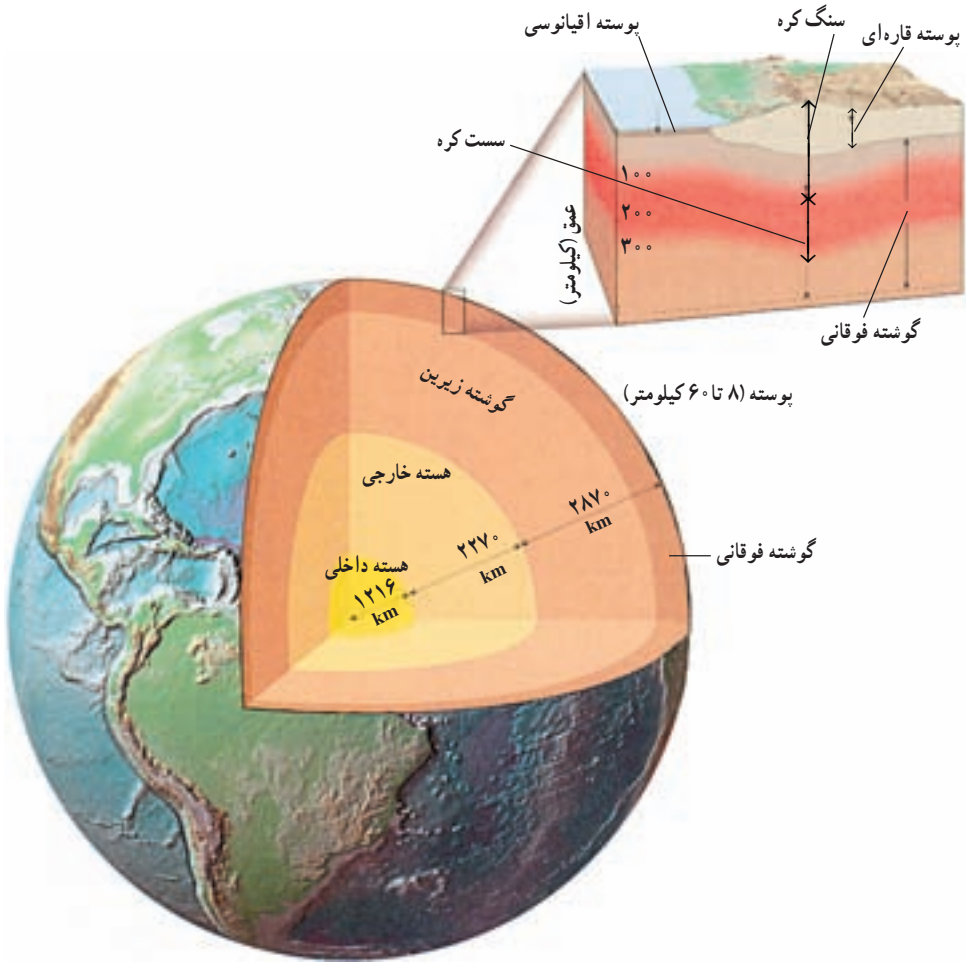
۲ــ خطی را که امتداد آن زمین و آسمان به‌هم می‌رسند، افق مرئی یا ظاهری نامیده می‌شود : در اصطلاح نجوم صفحه‌ای را که چشم شخص از سطح زمین بر امتداد قائم محل عمود باشد، افق حسی نامیده می‌شود ؛ فروافتادگی افق مرئی نسبت به افق حسی را، انخفاض افق خوانند.

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

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

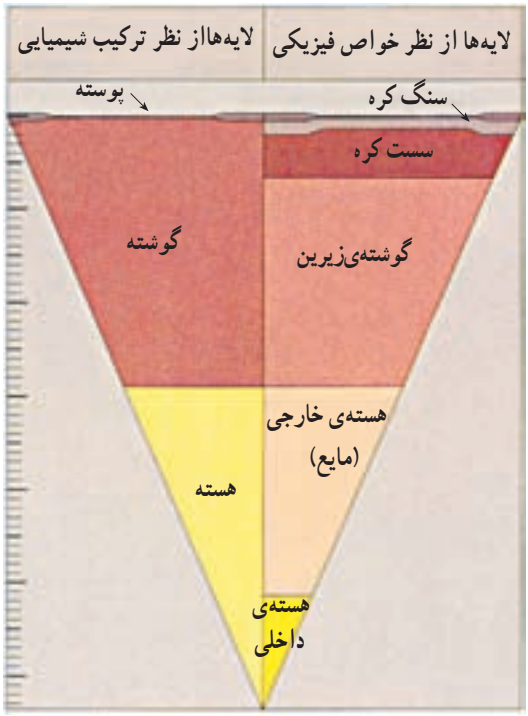
۲ ساختمان درونی زمین

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



شکل ۱ــ۲ــ ساختمان درونی 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. با این همه، زمین‌شناسان تقریباً با نوعی اطمینان از ترکیب و خصوصیات درونی زمین، بحث می‌کنند.



شکل ۲ــ۲ــ تقسیم‌بندی لایه‌های زمین از نظر خواص فیزیکی و خواص شیمیایی

بسیاری از اطلاعات زمین‌شناسان به‌طور غیرمستقیم به‌دست آمده است. باتوجه به اطلاعات حاصل ازمطالعه‌ی شهاب‌سنگ‌ها و ستارگان می‌توان تا اندازه‌ای به ترکیب کلی زمین پی‌برد. اندازه‌گیری برخی از خصوصیات فیزیکی زمین (جرم، چگالی، گرانی و ...) و مطالعاتی درباره‌ی میدان مغناطیسی، ماهیّت مواد سازنده‌ی درونی زمین را آشکارتر می‌کند.

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

ترکیب شیمیایی زمین

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

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

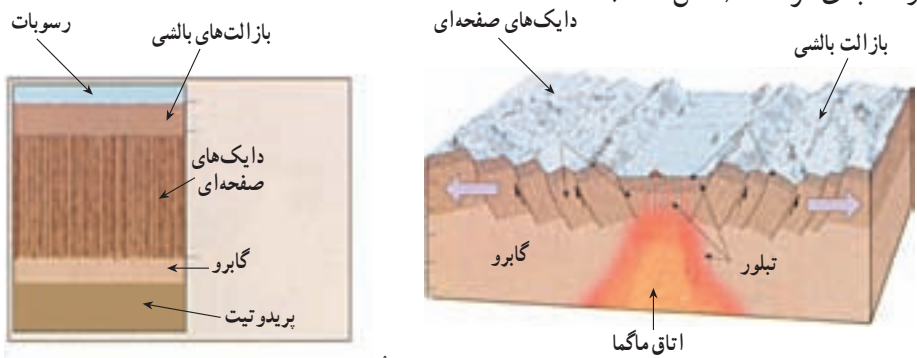
و رسوبی سطح زمین یا نمونه‌های به‌دست آمده از حفاری‌ها می‌تواند تا حدودی نوع مواد سازنده‌ی پوسته‌ی زمین را مشخص کند (جدول ۱ــ۲).

جدول ۱ــ۲ــ ترکیب پوسته‌ی زمین (درصد وزنی)

اکسیدها	پوسته‌ی قاره‌ای	پوسته‌ی اقیانوسی
SiO_2	۵۹/۲	۴۸/۰
Al_2O_3	۱۵/۴	۱۵/۲
FeO	۷/۵	۱۰/۷
MgO	۴/۳	۷/۷
CaO	۶/۰	۱۲/۲
K_2O	۲/۶	۰/۶
Na_2O	۲/۸	۲/۶
TiO_2	۱/۰	۲/۲

بر اثر فعالیت‌های آتش‌فشانی نیز نمونه‌هایی از بخش‌های عمیق‌تر پوسته و بخش‌های بالایی گوشته در زیر قاره‌ها به سطح زمین رسیده است. گاهی همراه مواد مذاب قطعات ذوب نشده و جامدی از قسمت‌های زیرین پوسته یا گوشته که **میانبار** نامیده می‌شوند، به سطح زمین می‌رسند. میانبارها شواهد باارزشی از چگونگی ترکیب شیمیایی اعماق پوسته و گوشته‌ی فوقانی را به‌دست می‌دهند. در هرحال میانبارها نمی‌توانند از اعماقی پایین‌تر از ناحیه‌ی خاستگاه ماگمایی که حاوی آن‌هاست، بالا آمده باشند. به‌طور مثال سنگ‌های الترابازیک (فوق بازی) حاوی الماس موسوم به کیمبرلیت گواه خوبی بر عمیق‌ترین خاستگاه ماگماها هستند. این سنگ‌ها از اعماق تقریباً ۲۰۰ کیلومتری زمین بالا آمده و به صورت تنوره‌های آتش‌فشانی در قاره‌ها یافت می‌شوند.

نمونه‌هایی از پوسته و گوشته‌ی فوقانی زیر اقیانوس‌ها در سنگ‌هایی موسوم به **اُفیولیت** به‌دست آمده است. اُفیولیت‌ها مجموعه‌ای از سنگ‌های لایه‌لایه به ضخامت حدود ۵۰۰۰ متر است که ترکیب آن را معادل پوسته‌ی اقیانوسی می‌دانند که در برخی نقاط در خشکی‌ها از جمله در کشور ما دیده می‌شوند. گفته می‌شود، در چنین نقاطی ورقه‌های سنگ کره به یکدیگر برخورد کرده‌اند و در قاره‌ها جای گرفته‌اند (شکل ۳ــ۲).



شکل ۳ــ۲ ــ مجموعه‌ی اُفیولیتی

فکر کنید

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

بیشتر بدانید

عمیق‌ترین چاه جهان

درسال ۱۹۷۰ دانشمندان اتحادجماهیر شوروی تصمیم گرفتند، عمیق‌ترین چاه جهان را حفر کنند و اطلاعاتی از درون زمین به‌دست آورند. آن‌ها برای این منظور شبه‌جزیره‌ی کولا در شمال شوروی در منطقه‌ای یخ‌زده را انتخاب کردند.

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

ــ در آخرین مراحل حفر چاه، جرم لوله حفاری به ۹۰۰ تن رسید. برای تعویض سرمتّه‌های فرسوده یا بیرون آوردن مغزه (نمونه‌ی سنگ‌ها) تمامی میله صدها بار به سطح زمین آورده شد و دوباره به ته چاه پایین فرستاده‌شد.

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

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

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

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

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

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

نـور نشان‌دهنده‌ی عنـاصر مختلف است. اکثـر ستارگان، حـداقل ازنظر دربرداشتن عناصراصلی کاملاً مشابه‌اند و ۹۰درصد آن‌ها نیز ازنظر ترکیب شبیه خورشیدند. بنابراین با تجزیه‌ی طیف نور خورشید می‌توان ترکیب شیمیایی اکثـر ستارگان و درواقع قسمت اعظم جرم جهان را تخمین زد. البته تشخیص و تعیین عناصر نادر مشکل است، ولی چون ترکیب عنـاصر اصلی خورشید (به‌جز گازها) به‌طور قـابل‌ملاحظه‌ای شبیه به شهاب‌سنگ‌های اوّلیـه است، مقادیر نسبی عناصر نادر در این شهاب‌سنگ‌ها را می‌توان برای برآورد عناصر نادر در بقیه‌ی منظومه‌ی شمسی و شاید جهان به‌کار گرفت. به‌هرحال با مطالعاتی از این نوع ترکیب‌شیمیایی کلی زمین معلوم شده است (جدول۲ــ۲).

جدول ۲ ــ۲ ــ ترکیب میانگین تقریبی کل زمین و مقایسه‌ی آن با پوسته (درصد وزنی)

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

امواج حاصل از زلزله‌ها می‌توانند بیش‌ترین اطلاعات را برای شناسایی **ضخامت**، **حالت** (مایع یا جامد)، **چگالی** و حتی **جنس** لایه‌های درون زمین در اختیار زمین‌شناسان قرار دهند. وقتی زمین‌لرزه‌ای رخ می‌دهد، بخشی از انرژی آزاد شده از منبع انرژی (کانون زلزله) به شکل امواج لرزه‌ای و با سرعت معینی که به خواص فیزیکی محیط بستگی دارد، در تمام جهات منتشر می‌شود. دانشمندان علوم زمین با مطالعه‌ی مسیر حرکت امواج لرزه‌ای و سرعت سیر آن‌ها در درون زمین، درمورد بعضی خواص فیزیکی مواد در اعماق زمین و ساختمان درونی آن نتیجه‌گیری می‌کنند.

پس از وقوع زمین‌لرزه دو نوع موج درونی و سطحی تولید می‌شود. امواج درونی خود از دو نوع‌اند: **موج طولی** یا P و **موج عرضی** یا S که این امواج در مطالعه‌ی داخل زمین بیش‌ترین کمک را به دانشمندان می‌کنند.

سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها به چگالی و کش‌سانی (الاستیسیته) آن‌ها بستگی دارد (کش‌سانی، خاصیتی است که براثر آن وقتی یک ماده‌ی جامد تحت‌تأثیر نیروهای مخالف قرار می‌گیرد تغییر شکل و اندازه می‌دهد ولی با ازبین‌رفتن نیرو به حالت اول برمی‌گردد).

امواج لرزه‌ای درونی درست مانند امواج نوری، ممکن است ضمن انتشار، منعکس یا منکسر شوند. امواج لرزه‌ای دراثر برخورد با سطوح بسیاری در درون زمین، مثل سطح بین هسته و گوشته (انفصال گوتنبرگ) یا گوشته و پوسته (انفصال موهو) می‌توانند منعکس شوند. انکسار نیز زمانی رخ می‌دهد که سرعت امواج لرزه‌ای در محیط انتقال‌دهنده‌ی آنها تغییر کند.

خصوصیات و ترکیب پوسته

پوسته قشر نسبتاً نازکی در سطح یا بالاترین لایه‌های کره‌ی 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 درسال ۱۹۱۰ تشخیص داد **انفصال موهوروویچ** یا به اختصار **موهو** نامیده می‌شود.

براساس 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 به‌طورکلی در زیر رشته‌کوه‌های قاره‌ها حداکثر مقدار خود را دارد. ضخامت پوسته در دشت‌ها کمتر است و در فلات‌قاره از آن‌هم کمتر می‌شود. نازک‌ترین بخش پوسته را در اقیانوس‌ها، مخصوصاً در نزدیکی محور رشته کوه‌های اقیانوسی، می‌توان مشاهده کرد (شکل۱۲ ــ۳).

ترکیب شیمیایی پوسته در قاره‌ها با ترکیب آن در اقیانوس‌ها متفاوت است. ترکیب شیمیایی متوسط پوسته‌ی قاره‌ای مشابه ترکیب آندزیت است. بخش‌های رویی پوسته غنی از سیلیس (SiO_2) و آلومین (Al_2O_3) است.

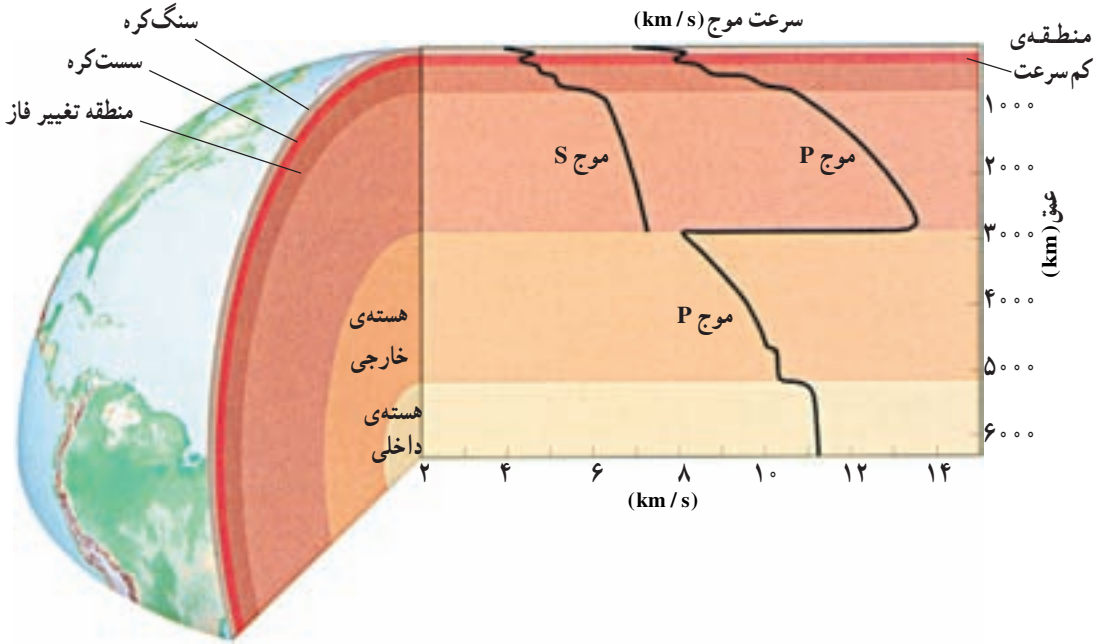
چگالی سنگ‌های قاره‌ای $2/8 g/cm^3$ است و سن قدیمی‌ترین آن‌ها به ۳/۸ میلیارد سال هم می‌رسد. اما چگالی سنگ‌های پوسته‌ی اقیانوسی حدود $3 g/cm^3$ است. پوسته‌ی اقیانوسی،اساساً از دو بخش رسوبی (نازک) و بازالتی تشکیل شده است.

خصوصیات و ترکیب گوشته

گوشته در زیر پوسته قرار دارد و تا عمق ۲۹۰۰ کیلومتری ادامه دارد. دامنه‌ی چگالی گوشته از ۳/۳گرم بر سانتی‌متر مکعب در نزدیکی پوسته تا ۵/۵گرم بر سانتی‌مترمکعب در نزدیک هسته تغییر می‌کند.

سرعت امواج P در پوسته بین ۶ تا ۷کیلومتربرثانیه تغییر می‌کند ولی در زیر مرز موهو به بیش از ۸کیلومتربرثانیه می‌رسد. تجربیات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در سنگ‌های غنی از کانی‌های الیوین و پیروکسن مثل پریدوتیت، سرعت امواج‌لرزه‌ای بیش از ۸ کیلومتربرثانیه است. بنابراین تصور می‌شود که این کانی‌ها باید جزء کانی‌های اصلی گوشته باشند. این نتیجه با اطلاعاتی که از راه‌های دیگر درباره‌ی ترکیب گوشته به‌دست آمده سازگار است.

سرعت امواج P و S در نواحی مختلف گوشته بی‌نظمی‌هایی نشان می‌دهد (شکل۴ــ۲). اولین تغییر مهم در عمق حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتری شروع می‌شود. یعنی از قاعده‌ی پوسته تا عمق حدود

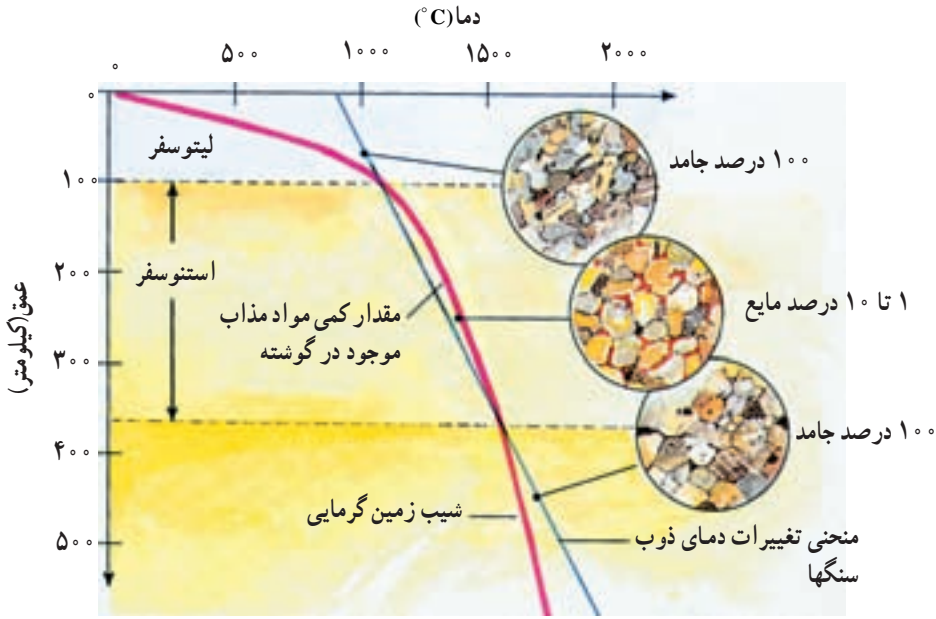


شکل ۴ــ۲ــ تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای نسبت به عمق. تغییرات ناگهانی درمرز پوسته ــ گوشته، در بخش‌های فوقانی گوشته و در مرز گوشته ــ هسته روی می‌دهد.

۱۰۰ کیلومتر، سرعت به‌تدریج از حدود ۸ به ۸/۳ کیلومتربرثانیه می‌رسد. مطالعات نشان می‌دهد که این قسمت سخت و سنگی است. این بخش از گوشته را به همراه پوسته سنگ کره (لیتوسفر) می‌گویند، در زیر لیتوسفر سرعت امواج زلزله شروع به افت می‌کند و کم‌کم به زیر ۸ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد و تا عمق حدود ۳۵۰ کیلومتر در حد کم باقی می‌ماند. این منطقه را اصطلاحاً «لایه‌ی کم‌سرعت» می‌گویند. مواد این قسمت به نقطه‌ی ذوب خود نزدیک هستند و از این‌رو تا حدی سختی خود را از دست داده و نرم شده‌اند و به همین علت به آن **سست کره** (استنوسفر) هم گویند. شواهدی که نشان‌دهنده‌ی تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در لایه‌ی کم‌سرعت باشد وجود ندارد.

یک توضیح احتمالی برای وجود لایه‌ی کم‌سرعت آن است که در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر درجه زمین گرمایی به دمای شروع ذوب سنگ‌های گوشته نزدیک می‌شود (شکل۵ــ۲). درنتیجه سنگ‌ها از حالت جامد و سخت فاصله می‌گیرند و به حالت خمیرسان نزدیک می‌شوند.

به هرحال، مقدار مواد مذاب (اگر وجود داشته باشد) باید خیلی کم باشد ؛ چون لایه‌ی کم‌سرعت موج S را عبور می‌دهد، درحالی‌که این موج نمی‌تواند از مایعات عبور کند. بنابراین می‌توان گفت سنگ‌ها در منطقه‌ی کم‌سرعت به صورت جامد ولی خیلی نزدیک به ذوب باقی می‌مانند.

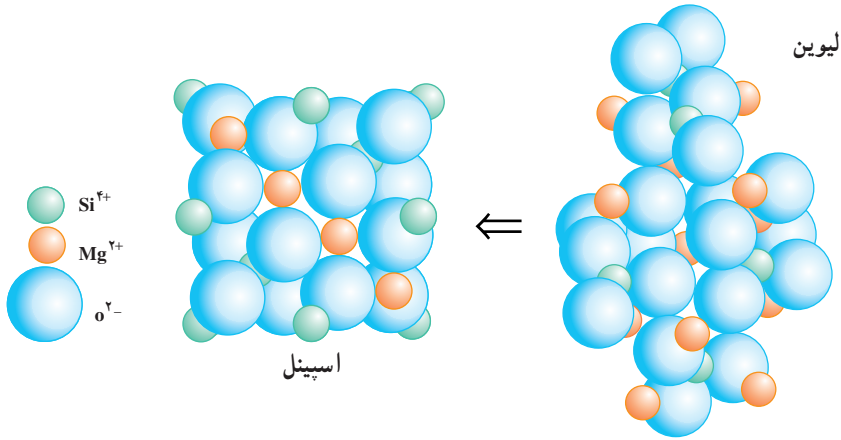


شکل ۵ــ۲ ــ بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی می‌توان منطقه کم سرعت را چنین توضیح داد. وقتی منحنیِ شروعِ ذوبِ سنگ‌های گوشته، منحنی زمین‌گرمایی را قطع می‌کند، مقدار کمی ماده‌ی مذاب تولید می‌شود. این مقدار کم ماده مذاب باعث تغییر خواص پلاستیک سنگ‌ها و تشکیل لایه‌ی کم‌سرعت می‌شود.

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

باتوجه به شکل (۴ــ۲) می‌بینیم که در اعماق حدود ۴۰۰ تا ۶۷۰ کیلومتر نیز افزایش نسبتاً تندی در سرعت امواج دیده می‌شود. براساس مطالعات آزمایشگاهی این تغییرات‌سرعت را ناشی از تغییرفاز (تغییرات در کانی‌شناسی یا ساختمان بلورین بدون آن‌که لزوماً تغییر در ترکیب ایجاد شود) می‌دانند (شکل۶ــ۲).

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



شکل ۶ــ۲ــ در داخل گوشته، با افزایش فشار کانی‌ها به شکل فشرده‌تری درمی‌آیند. به‌طور مثال کانی الیوین درگوشته ساختمان اسپینل را به خود می‌گیرد.

خصوصیات و ترکیب هسته

هسته از زیر گوشته تا مرکز زمین ادامه دارد. امواج P و S به‌شدت تحت‌تأثیر 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 سیّالات بگذرند، گرچه سرعت آن‌ها در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند. درعوض، امواج S نمی‌توانند از سیّالات عبور کنند.

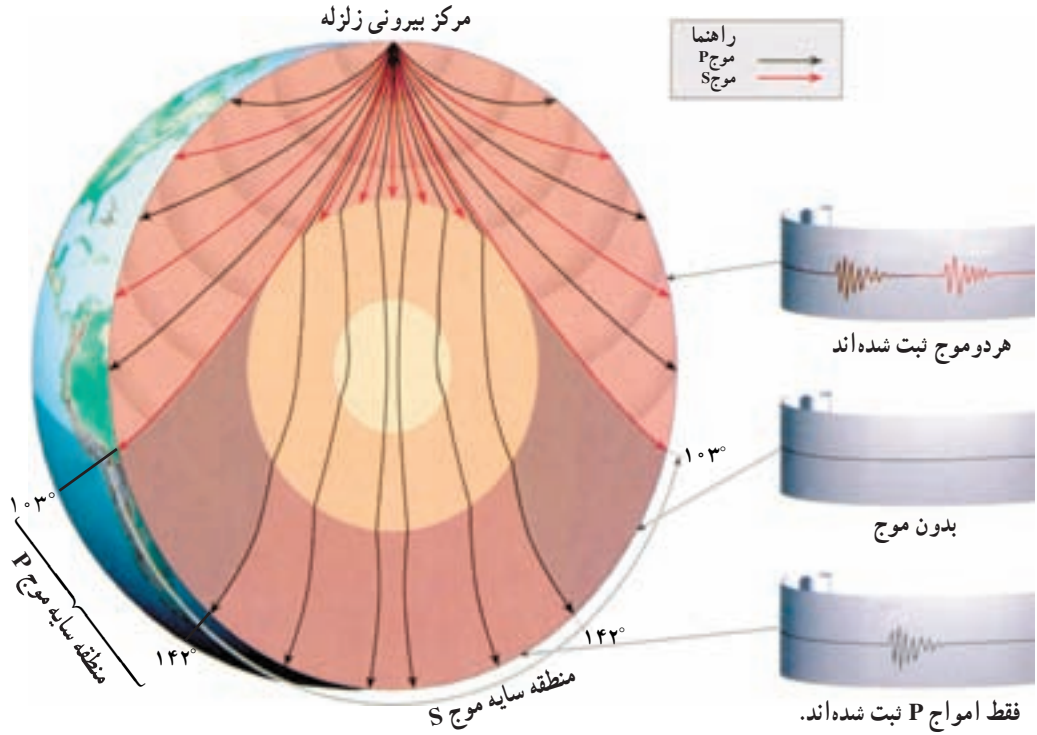
وقتی زمین‌لرزه‌ی بزرگی روی می‌دهد، در فاصله‌ی بیش از ۱۰۳درجه از مرکز سطحی زلزله، امواج S مستقیماً قابل دریافت نیستند. به‌عبارت دیگر یک «منطقه‌ی سایه» برای موج S از حدود ۱۰۳درجه به بعد در آن‌سوی زمین ایجاد می‌شود (شکل ۷ــ۲). بنابراین باید گفت که یک توده‌ی سیّال در درون زمین راه عبور امواج S را می‌بندد. این توده‌ی سیّال، هسته‌ی خارجی مایع زمین است. اندازه‌ی هسته‌ی خارجی باتوجه به وسعت منطقه‌ی سایه معلوم شده است. هسته‌ی خارجی یک منطقه‌ی سایه‌ی حلقه‌مانند برای موج P نیز ایجاد می‌کند (شکل ۷ــ۲). منطقه‌ی سایه در نواری حدود ۱۰۳ تا ۱۴۲ درجه نسبت به مرکز سطحی زلزله گسترده است. منطقه‌ی سایه‌ی موج P ناشی از شکست امواج P در مرز گوشته‌ــ هسته است.

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

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

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

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



شکل ۷ــ۲ــ مسیرعبورامواج P و S در داخل زمین. شکل را تفسیر کنید.

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

برخی از عناصری که ازنظر کیهانی فراوان و قابل امتزاج با آهن‌مذاب‌اند، مثل سیلیسیم‌فلزی، اکسیژن و گوگرد نیز به‌عنوان سازندگان فرعی هسته‌ی خارجی پیشنهاد شده‌اند.

فکر کنید

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

میدان مغناطیسی

هنوز به‌درستی نمی‌دانیم که علت وجود میدان مغناطیسی زمین چیست. تغییرات سریع و مکرر میدان مغناطیسی زمین دلالت بر این دارد که زمین دارای یک کانون مغناطیس پایدار و دایمی نیست. مطالعات لرزه‌شناسی نیز که درک ساختمان داخلی زمین را برای ما ممکن کرده است، هیچ‌گونه شاهدی که مبنی بر وجود تمرکز عظیم کانی مانیتیت در داخل زمین باشد، در اختیار نمی‌گذارد. گذشته از این، بیشتر کانی‌هایی از این‌قبیل فقط در ۳۰ کیلومتری بالایی پوسته وجود دارند و در اعماق بیشتر، به‌سبب وجود گرمای درونی زمین، مواد خاصیّت مغناطیسی خود را ازدست می‌دهند. به این دلایل، خاصیّت مغناطیسی زمین را نمی‌توان محصول ساده‌ی مغناطیس سنگ‌ها شمرد و باید به‌دنبال دلیل‌های دیگری بود.

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

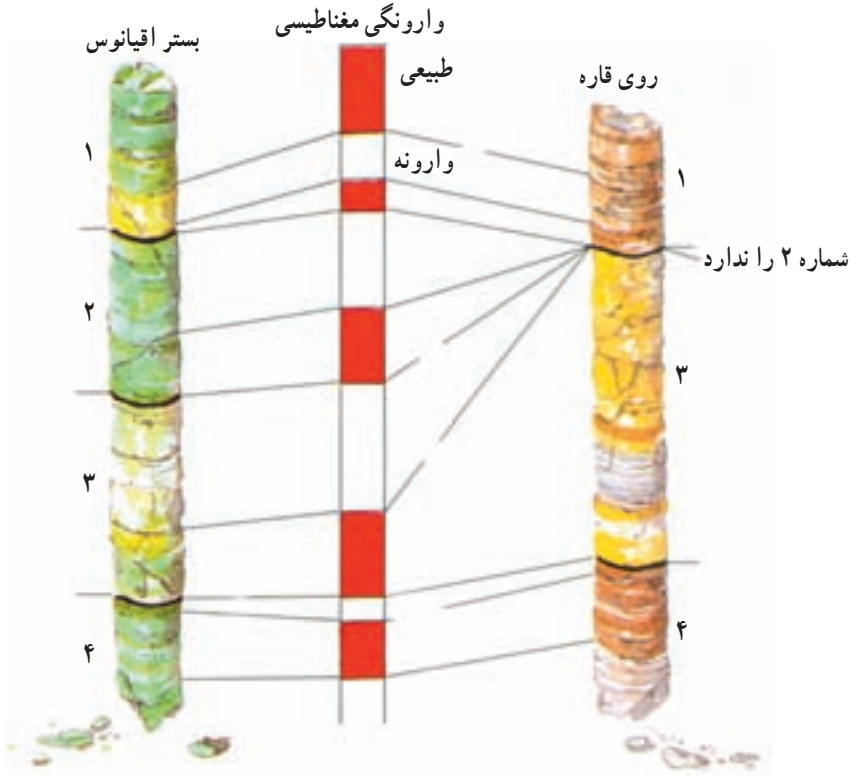
با استفاده از این یافته‌هاست که در نیروگاه‌ها با چرخاندن یک هادی الکتریکی در میدان مغناطیسی، برق تولید می‌کنند.

یک دینامو‌ی خودالقا با تحرّک خود، الکتریسیته‌ی بیشتری حاصل می‌آورد. الکتریسیته هم به‌نوبه‌ی خود، باعث ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تری می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد.

زمین را نیز می‌توان به یک دینامو‌ی خودالقای غول‌پیکر تشبیه کرد که حرکت الکترون‌ها در آهن‌مذاب موجود در هسته‌ی خارجی آن مولّد میدان مغناطیسی است. زمین، هم در گردش وضعی و هم در حرکت انتقالی خود پیوسته خطوط نیروی مغناطیسی خورشید را قطع می‌کند. حرکت دورانی زمین و همچنین اختلاف دمای هسته‌ی داخلی و گوشته سبب ایجاد جریان‌های کنوکسیون در آهن‌مذاب هسته‌ی خارجی می‌شود. از سوی‌دیگر قطع شدن میدان مغناطیسی خورشید توسط آهن‌مذابِ درحال‌حرکت جریان الکتریسیته ایجاد می‌کند. این جریان‌ها میدان مغناطیسی زمین را پدید می‌آورند که خود مولّد جریان‌های الکتریکی قوی‌تری می‌شود. این جریان‌ها هم به‌نوبه‌ی خود میدان مغناطیسی قوی‌تری را به‌وجود می‌آورند.

وارونگی مغناطیسی: میدان مغناطیسی زمین به‌طور دائم در حال تغییر است. مثلاً موقعیّت قطب‌های مغناطیسی زمین نسبت به قطب‌های جغرافیایی آن ثابت نیست و فعلاً، با سرعت ۰/۲ درجه در سال، درحال جابه‌جایی است. علاوه بر این میدان‌مغناطیسی زمین در فواصل زمانی که به‌طور متوسط نیم‌میلیون‌سال طول می‌کشد، ضعیف می‌شود و به‌تدریج به‌سمت نابودی می‌رود (از سال ۱۸۳۰ تاکنون، ۶درصد از قدرت آن کاسته شده است و اگراین روند با همین سرعت ادامه یابد، درحدود ۲۰۰۰ سال دیگر به صفر خواهد رسید). اما بعد از نابودی، میدان دوباره شروع به تشکیل می‌کند و اغلب، جهت کنوکسیونی مواد، مخالف جهت قبلی خواهد شد که در این‌صورت محل قطب‌های مغناطیسی جابه‌جا خواهد شد (وارونگی مغناطیسی). پس می‌توان گفت قطبین مغناطیسی شمال و جنوب زمین در طول تاریخ خود صدها و بلکه هزارها بار جابه‌جا شده‌اند. نتیجه‌ی چنین **وارونگی مغناطیسی** را نخستین بار در قرن گذشته و در کشور فرانسه دریافتند. در آن‌هنگام دانشمندان متوجه شدند که بعضی از لایه‌های سنگ‌های آذرین در جهتی مخالف جهت لایه‌های دیگر مغناطیسی شده‌اند.

به‌نظر می‌رسد وارونگی مغناطیسی، حاصل تغییراتی است که در جریان‌های همرفتی (کنوکسیونی) هسته‌ی خارجی ایجاد می‌شود. وقتی مقدار گرمای موجود در درون زمین تغییر کند، جریان‌های همرفتی هم تغییر می‌کنند. آشفتگی حاصل از این جریان تغییرپذیر، ممکن است میدان مغناطیسی زمین را تضعیف یا تقویت کند. مدت‌زمانی که زمین فاقد میدان‌مغناطیسی است، ممکن است چند قرن طول بکشد. یک وارونگی مغناطیسی ــ از یک حالت ناپایدار تا حالت پایدار بعدی ــ بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال طول می‌کشد. روشن است که **عقربه‌ی قطب‌نما** در حالت **وارونگی مغناطیسی** برعکس حالت امروزی خواهد ایستاد.



شکل ۸ــ۲ــ وارونگی مغناطیسی در رسوبات واقع در خشکی و دریا. به تفاوت دو نمونه توجه کنید.

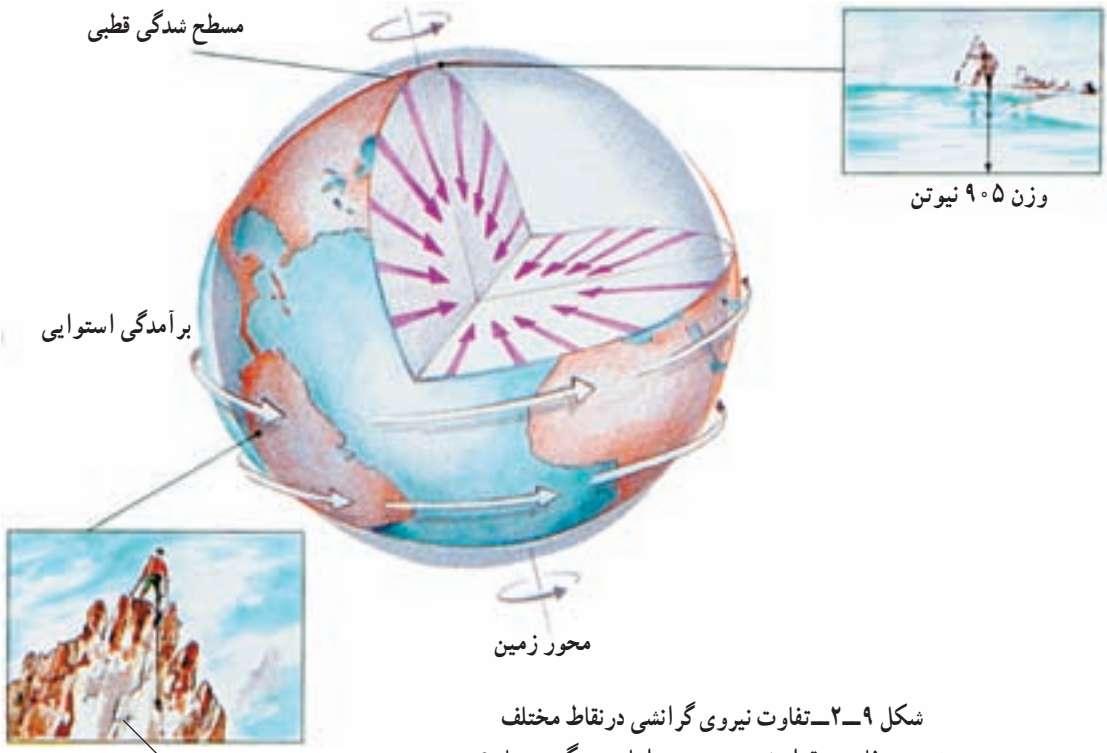
نیروی گرانشی

نیروی **گرانش** یا **جاذبه** به‌طور دائم و در همه‌جای زمین عمل می‌کند ولی شدت آن در جاهای مختلف متفاوت است.

تغییرات شدت گرانش اطلاعات باارزشی از ساختمان زمین و ترکیب داخل آن، در نقاط مختلف، به‌دست می‌دهد.

طبق‌نظر نیوتن در قانون گرانش عمومی، بین دو جسم به جرم m و m'، صرف‌نظر از جنس آن‌ها، همواره نیروی جاذبه‌ی (F) وجود دارد. اندازه‌ی این نیرو با حاصل‌ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر نسبت وارون دارد. قانون گرانش عمومی را به‌صورت $F = G\frac{m \cdot m'}{R^2}$ می‌نویسند. (G ثابت جهانی گرانش و مقدار آن $۶/۶۷۲ \times ۱۰^{-۱۱} \frac{m^3}{kgs^2}$ است).

در معادله‌ی بالا می‌توان به جای m' جرم زمین (E) و به جای m جرم هر جسمی که در بیرون



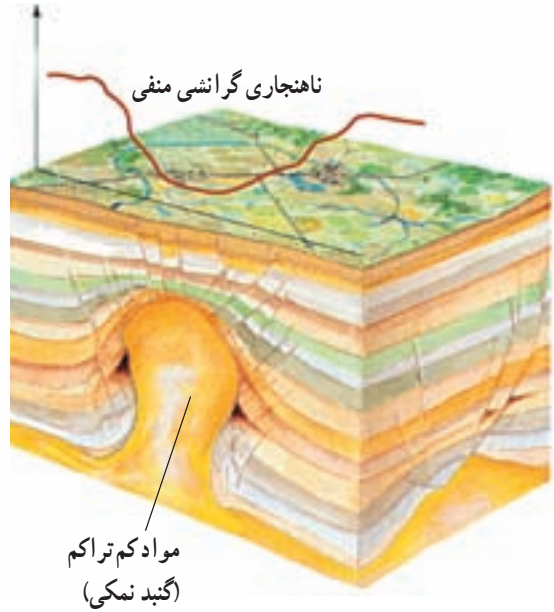
شکل ۹ــ۲ــتفاوت نیروی گرانشی درنقاط مختلف زمین. تفاوت مقدار نیرو، به چه عواملی بستگی می‌یابد؟

از زمین قراردارد و مقدار R را هم فاصله‌ی جسم تا مرکز زمین درنظر گرفت و به‌این طریق نیروی گرانش زمین را در هر نقطه‌ای به‌دست آورد. مقدار شدت گرانش را توسط ابزاری به نام **گرانی‌سنج** اندازه‌گیری می‌کنند.

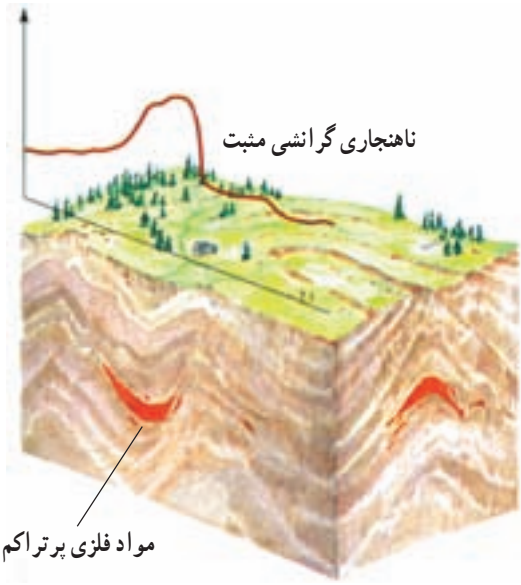
کم یا زیاد شدن شدت گرانش در هرنقطه می‌تواند اطلاعاتی درباره‌ی مواد سازنده‌ی زمین در آن نقطه به ما بدهد.

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

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



شکل ۱۰ــ۲ــ الف ــ شدت گرانشی منفی به‌علت وجود گنبد نمکی کم‌تراکم در زیر پوسته



شکل ۱۰ــ۲ــ ب ــ شدت گرانشی مثبت به علت وجود سنگ‌های پرتراکم در زیر پوسته

فکر کنید

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

بیشتر بدانید

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

قانون دوم نیوتن درباره‌ی حرکت $F = ma = mg$

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

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

می‌دانیم که g برابر $9/8\ \frac{m}{s^2}$، G برابر $6/672\times10^{-11}\ \frac{m^3}{kgs^2}$ و R برابر ۶۳۶۸ کیلومتر یا ۶۳۶۸۰۰۰ متر است، پس:

$$9/8\frac{m}{s^2} = \frac{6/672\times10^{-11}\frac{m^3}{kgs^2}\times E}{(6368000m)^2} \Rightarrow E = 5/975\times10^{24}\ kg$$

جرم زمین

حجم کل زمین نیز $۱/۰۸۳\times۱۰^{۲۷}\,cm^{۳}$ است بنابر این چگالی متوسط زمین برابر خواهد شد با :

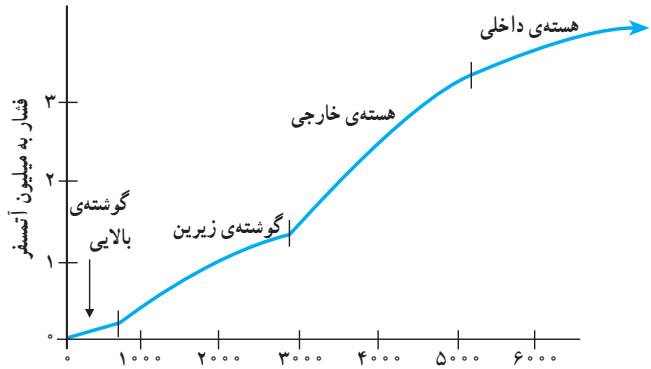
$$\rho=\frac{m}{v}\qquad \rho=\frac{۵/۹۷۵\times۱۰^{۲۷}\,g}{۱/۰۸۳\times۱۰^{۲۷}\,cm^{۳}}=۵/۵۱۷\,g/cm^{۳}$$ چگالی متوسط زمین

چگالی متوسط پوسته‌ی زمین $۲/۷\,g/cm^{۳}$ است، باتوجه به چگالی کلی زمین باید در قسمت‌های درونی زمین موادی با چگالی بیشتر وجود داشته باشد.

با توجه به اطلاعات حاصل از امواج لرزه‌ای، چگالی مواد سازنده‌ی زمین در مرز گوشته ــ هسته باید حدود $۱۰\,g/cm^{۳}$ و در مرکز زمین حدود $۱۲/۵\,g/cm^{۳}$ باشد. آهن و نیکل می‌توانند در فشارهایی برابر با فشار هسته، چگالی حدود $۱۲/۵\,g/cm^{۳}$ داشته باشند.

فشار

فشار درونی زمین نسبتاً به‌آسانی قابل‌برآورد است. فشار هرنقطه، در زیر سنگ‌کره، باتوجه به ضخامت و چگالی سنگ‌های فوقانی تعیین می‌شود (در سنگ‌کره تنش‌های جانبی اضافی براثر حرکت ورقه‌ها نیز ایجاد می‌شود). چنان‌که گفتیم چگالی لایه‌های مختلف را می‌توان براساس داده‌های امواج لرزه‌ای به‌دست آورد. این موضوع امکان محاسبه‌ی فشار را به‌عنوان تابعی از عمق زمین فراهم می‌کند (شکل ۱۱ ــ ۲). فشار در مرکز زمین به بیش از ۳/۵ میلیون برابر فشارآتمسفر در سطح زمین می‌رسد.



شکل ۱۱ــ۲ــ تغییرات فشار به‌عنوان تابعی از عمق زمین

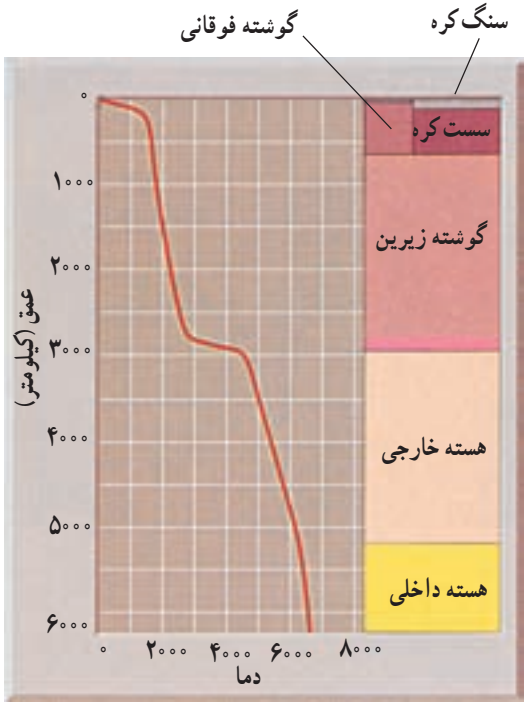
دما

دما در پوسته‌ی زمین به‌ازای هر کیلومتر که به عمق برویم حدود ۳۰درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. البته برای قسمت‌های عمیق‌تر این روند افزایش کندتر می‌شود، زیرا در غیراین‌صورت به‌طور مثال در عمق ۲۸۰۰ کیلومتری (تقریباً انتهای گوشته) دما باید به ۸۴۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و در

۶۰۰۰ کیلومتری (هسته‌ی داخلی) به ۱۸۰۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسید، که در چنین دمایی سنگ‌ها دیگر نمی‌توانند به‌صورت جامد یا حتی مایع باشند. بنابراین دمای گوشته و هسته باید خیلی کم‌تر از این مقادیر باشد.

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

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



شکل ۱۲ــ۲ ــ شیب زمین‌گرمایی تخمینی در داخل زمین (تفاوت، در حدود ۵۰۰ درجه کم‌تر یا زیادتر از حد تخمینی است)

بیشتر بدانید

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

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

بخش ۲

زمین ناآرام

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