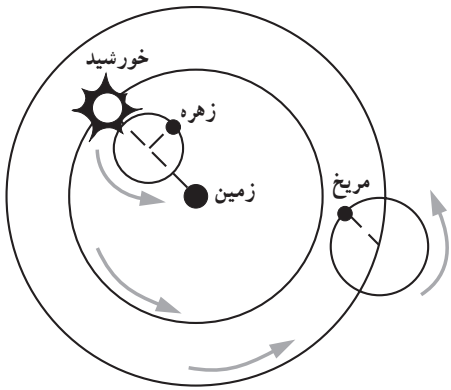
۱ جایگاه زمین در فضا

نخستین دانشمندانی که در آسیای صغیر زندگی می‌کردند و با تمدن‌های مصر و بین‌النهرین در تماس بودند، در توسعهٔ دانش نجوم تأثیر عمده‌ای داشتند. یکی از پرسش‌هایی که پیوسته ذهن آنها را به خود مشغول داشت این بود که منظومهٔ شمسی چگونه شکل گرفته است؟ اولین بار بطلمیوس، دانشمند یونانی نظریهٔ زمین مرکزی را ارائه داد. بر طبق این نظریه ، خورشید و سایر سیّارات منظومهٔ شمسی به دور زمین در حرکت‌اند (شکل ۱ــ۱). نظریه زمین مرکزی تا قرن شانزدهم میلادی حاکم بود. پس از آن در سال ۱۵۴۳ میلادی نیکلاس کوپرنیک نظریهٔ خورشید مرکزی را مطرح کرد که در آن، زمین همراه با پنج سیارهٔ 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 پی 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 دورهٔ نجوم نوین (کهکشانی) معروف است.



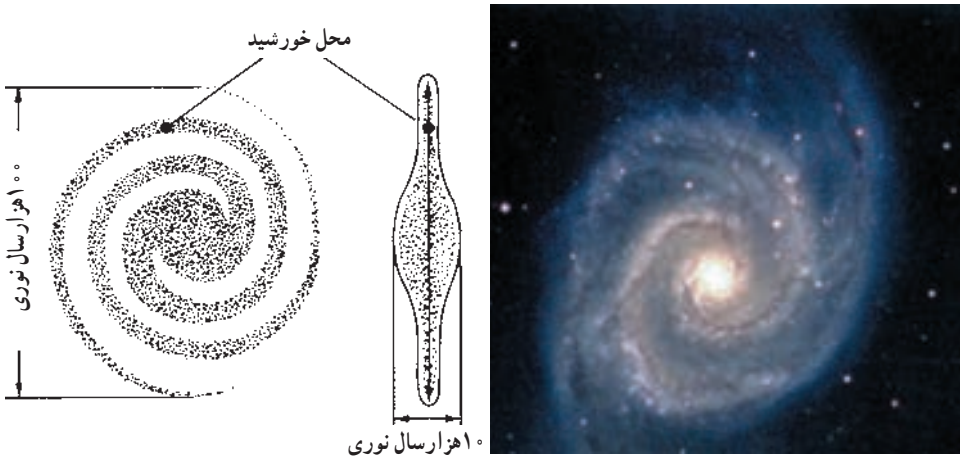
شکل ۱ــ۱ــ نظریه زمین مرکزی

کهکشان

سیارهٔ زمین در منظومهٔ شمسی که خود جزئی از کهکشان راه شیری به‌شمار 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. همهٔ ستاره‌هایی که شب هنگام در آسمان مشاهده می‌کنیم، در کهکشان راه شیری قرار دارند.

کهکشان راه شیری از پهلو شبیه عدسی محدّب و از بالا دارای بازوهای مارپیچی است (شکل ۲ــ۱). قطر آن یکصد هزار و ضخامت آن حدود ده هزار سال نوری است که مانند چرخی بزرگ به دور خودش می‌چرخد. منظومهٔ شمسی در یکی از بازوهای آن و در فاصلهٔ حدود سی هزار سال نوری از مرکز کهکشان واقع شده است. خورشید و ستارگان نزدیک ما با سرعت ۲۴۰ کیلومتر در ثانیه، حول مرکز کهکشان در حرکت‌اند؛ اما به علت عظمت کهکشان ۲۰۰ میلیون سال طول می‌کشد تا خورشید یک بار به دور مرکز آن بچرخد.



شکل ۲ــ۱ــ یک کهکشان مارپیچ از نوع کهکشان راه شیری

ستارگان

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

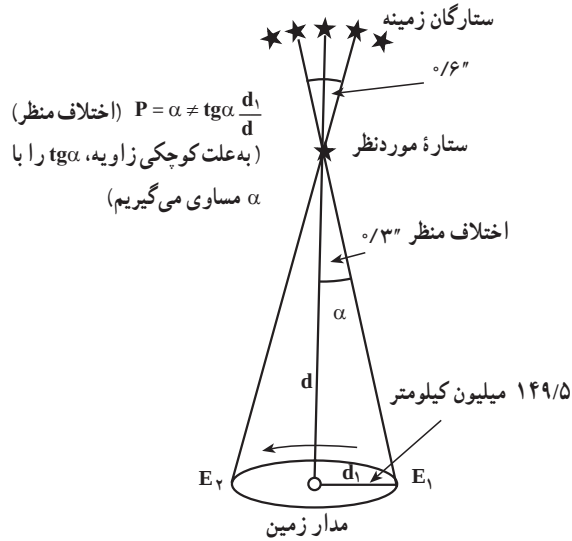
ویژگی‌های ستارگان

اخترشناسان با به‌کارگیری ابزارهای مناسب برای مشاهدهٔ ستارگان و با اطلاع از قوانین و اصول فیزیک، شیمی و ریاضیات دانش فراوانی دربارهٔ ستارگان به‌دست آورده‌اند. دربارهٔ روش‌های کار آنان

در قسمت‌های بعدی توضیح خواهیم داد، ولی شما می‌توانید خود با مطالعات بیشتر، آگاهی زیادتری از آنها به‌دست آورید.

فاصله : اندازهٔ فاصلهٔ میان زمین و حدود ۶۰۰۰ ستاره‌ای که در نزدیکی زمین واقع‌اند، با استفاده از روشی به‌نام **اختلاف منظر** (Parallax) محاسبه می‌شود (شکل ۳ــ۱). البته باید توجه داشت که حتی برای نزدیک‌ترین ستاره‌ها هم مقدار جابه‌جایی ظاهری درفضا کم است و در مقایسه، از اندازهٔ قطر یک سکه که از فاصلهٔ یک کیلومتری به آن نگاه شود بیشتر نیست. به‌همین سبب این روش برای تعیین فاصلهٔ ستارگان دوردست عملی نیست.

فاصلهٔ متوسط زمین ازخورشید برابر ۱۵۰ میلیون کیلومتر است که برابر با **یک واحد ستاره‌شناسی (واحد نجومی)** انتخاب می‌شود. فاصلهٔ نزدیک‌ترین ستاره به ما، بعد از خورشید، یعنی قنطورس‌نزدیک (Proxima centaury) برابر ۲۷۰ هزار واحد ستاره‌شناسی است! از آنجا که فاصلهٔ ستارگان با ما و نیز با ستارگان دیگر فوق‌العاده زیاد است، برای تعیین این فواصل ازواحد دیگری به نام **سال‌نوری** (فاصله‌ای که نور در طول یک سال طی می‌کند) استفاده می‌شود[1] و این فاصله نزدیک به ۱۰تریلیون کیلومتر است ($۹/۱\times۱۰^{۱۲}$km). با این واحد، فاصلهٔ خورشید تا زمین حدود ۸دقیقه نوری است.

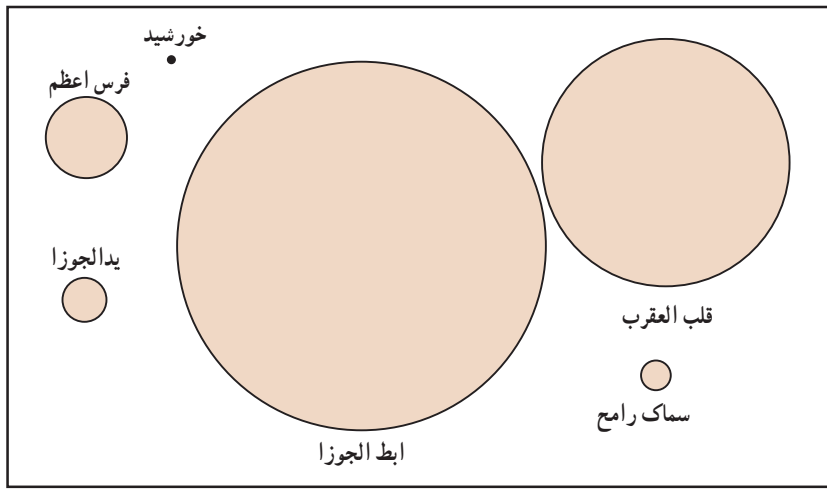


شکل ۳ــ۱ــ اخترشناس، شعاع مدار زمین به‌دور خورشید را به‌عنوان قاعدهٔ یک مثلث فرضی درنظر می‌گیرد و در فاصلهٔ ۶ماه، از دو نقطهٔ مختلف این مدار ستارهٔ موردنظرش را رصد می‌کند. بدیهی است که این ستاره، در زمینه‌ای از ستارگان دوردست‌تر، مقداری جابه‌جا می‌شود. با اندازه‌گیری این مقدار جابه‌جایی ستاره و تعیین فاصلهٔ دونقطه از مدار زمین که محل رصد بوده‌اند، ناظر می‌تواند فاصلهٔ ستاره تا زمین را محاسبه کند.

۱ــ ستاره‌شناسان واحد دیگری نیز برای اندازه‌گیری مسافت دارند که پارسک (Parsec) نام دارد. نقطه‌ای که اختلاف منظرش یک ثانیه باشد، در فاصله $۳/۲\times۱۰^{۱۳}$ کیلومتری آن قرار می‌گیرد، این فاصله را معادل یک پارسک در نظر می‌گیرند.

بزرگی و چگالی : ستارگان از لحاظ بزرگی بسیار مختلف‌اند. کوچک‌ترین آنها کمی از زمین بزرگ‌تر است و بزرگ‌ترین آنها که تاکنون شناخته شده به‌نام **گیرندهٔ عنان**، قطری در حدود ۳/۲ میلیارد کیلومتر دارد، یعنی حدود ۲۳۰۰ برابر قطر خورشید. اگر این ستاره درمرکز منظومهٔ شمسی قرار داشت، تا حدود مدار زحل را دربر می‌گرفت!

اختلاف در چگالی یا تراکم ستارگان، از تفاوت بزرگی آنها زیادتر است. چگالی ستاره‌ای به‌نام **ابط‌الجوزا** درحدود یک‌ده‌میلیونیم تراکم خورشید است؛ یعنی رقیق‌تر از هرنوع خلأ ممکن که ما می‌توانیم پدید آوریم. ازطرف دیگر ستارگانی ازقبیل ستارهٔ همراه شعرای یمانی به نام **کوتولهٔ سفید** وجود دارند که یک سانتی‌مترمکعب از آنها، اگر درروی زمین باشد، بیشتر از یک‌تن وزن دارد! چگالی بیشتر ستارگان در بین این دو حد قرارمی‌گیرند.



شکل ۴ــ۱ــ ستارگان از لحاظ بزرگی، بسیار مختلف‌اند.

نور : اگر شما با یک نورسنج دوربین عکاسی به‌طرف چراغ خیابان بروید خواهید دید که عقربهٔ نورسنج درجهٔ بیشتر وبیشتری را نشان می‌دهد. حال اگر فاصلهٔ خود را با چراغ به نصف برسانید مشاهده خواهید کرد که نورسنج مقدار نور را **چهار** برابر (نه دو برابر) مقدار اولیه نشان می‌دهد. علت آن است که **شدت نور به نسبت عکس مجذور فاصله تغییر می‌کند** (چرا؟). بدین‌ترتیب، با دردست داشتن فاصله می‌توان مقدار نور یک چراغ را محاسبه کرد.

ازاین‌جهت وضع ستاره‌ها هم تفاوتی با وضع چراغ‌های خیابان ندارد. مقدارنوری که ازستاره

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 مقدارنور واقعی ستاره را محاسبه کرد.

نور واقعی ستارگان از 10^{-6} تا 10^{6} برابر نور خورشید تغییر می‌کند. نکته جالبی که در این‌میان وجود دارد این‌است که بین مقدارنور و جرم ستاره‌ها، رابطه‌ای وجود دارد و می‌توان گفت مقدار نور به نسبت مکعب جرم تغییر می‌کند (یعنی اگر جرم خورشید دوبرابر شود، مقدار نورش ۸ برابر می‌شود).

منظومهٔ شمسی

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

تحقیق کنید

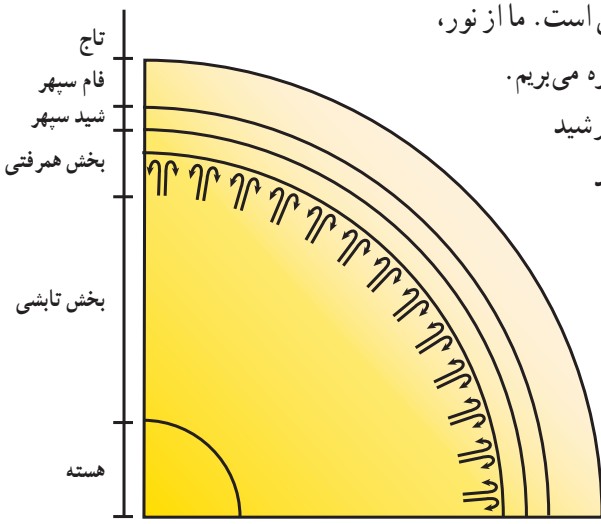
در مورد منشأ و نحوهٔ پیدایش منظومه شمسی تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را در کلاس ارائه دهید.

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 هلیم و ۲ درصد باقیمانده از ۶۰ عنصر دیگر ساخته شده است.

خورشید ستاره‌ای بسیار فعال است به‌طوری‌که تغییرات انرژی در سطح آن، به‌طور مستقیم بر اتمسفر، شرایط جوی‌و ارتباطات رادیویی سطح زمین تأثیر می‌گذارد.



شکل ۵ــ۱ــ 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)، منطقهٔ همرفتی، بخش تابشی و هسته است (شکل ۵ــ۱).

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 هرگرم 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 هلیم مبدل می‌گردد و درحین تبدیل، از وزن هرگرم هیدروژن معادل ۰/۰۰۷۲ گرم کاسته می‌شود.

جرم ۴ هستهٔ هیدروژن برابر با ۴/۰۳۰ واحد جرم اتمی است. یک هستهٔ هلیم، در حدود ۴/۰۰۳ واحد وزن دارد. بدین‌ترتیب، هنگامی که یک هستهٔ اتم هلیم از چهار هستهٔ هیدروژن حاصل شود، تفاوت جرم این‌دو مبدل به انرژی می‌شود. پس باید گفت که این تولید انرژی سبب می‌شود که جرم خورشید پیوسته درحال کاهش باشد. محاسبات نشان می‌دهد که این کاهش جرم معادل ۴ میلیون تن درثانیه است! این کار تا چه مدت می‌تواند ادامه یابد؟ جرم کلی خورشید برابر با 2×10^{33} گرم است. با این‌ترتیب، خورشید می‌تواند میلیاردها سال دیگر هم به همین‌ترتیب نورافشانی کند.

بادهای خورشیدی

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

شکل ۶ــ۱ ــ شفق قطبی

در سمت رو به خورشید، اختلال در سیستم‌های ماهواره‌ای، رادارها و ارتباطات رادیویی می‌شود. روشن‌شدن برخی از مناطق قطبی همراه با درخشش رنگ‌های مختلف در بعضی اوقات نتیجهٔ تشکیل شفق قطبی است که علت آن به دام‌افتادن ذرات باردار حاصل از بادهای خورشیدی در میدان مغناطیسی زمین و برخورد آنها با گازهای اتمسفر بالای سطح زمین در این مناطق است (شکل ۶ــ۱).

سیّارات منظومهٔ شمسی

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

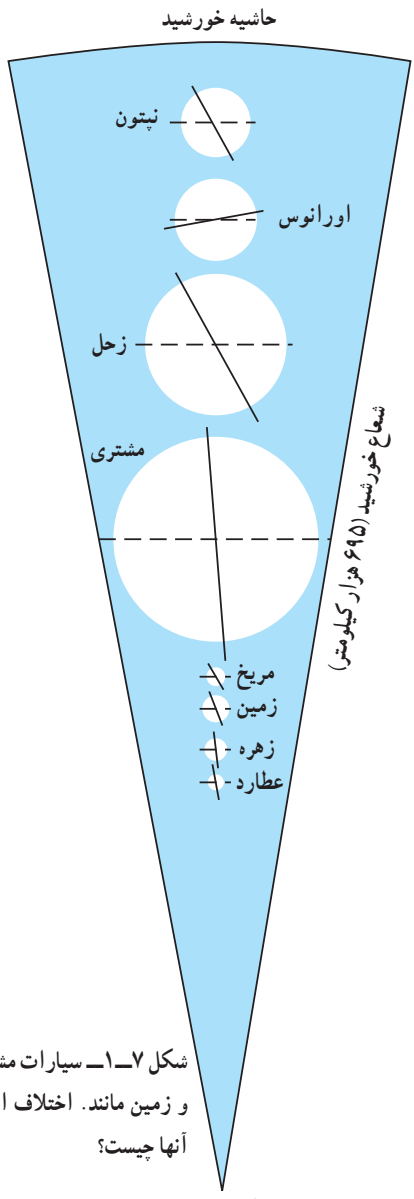
الف) سیّارات داخلی (زمین مانند)

ب) سیّارات خارجی (مشتری مانند)

ترکیب سیّارات

موادی که هر دو گروه **سیارات** را تشکیل می‌دهند، براساس نقطهٔ ذوب، به سه گروه **گازها**، **سنگ‌ها** و **یخ** قابل تقسیم‌اند. مواد گازی، آنهایی هستند که نقطهٔ ذوبشان به صفر مطلق (۲۷۳- درجهٔ سانتی‌گراد) نزدیک است و شامل هیدروژن و هلیم‌اند. مواد سنگی را بیشتر، کانی‌های سیلیکاتی و آهن تشکیل می‌دهند. نقطهٔ ذوب این مواد، از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر است. یخ‌ها، در بین این‌دو قرار دارند و شامل آمونیاک، متان، دی‌اکسیدکربن 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 ۷ــ۱ــ سیارات مشتری مانند و زمین مانند. 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 هستهٔ مرکزی و بسیار متراکم آنها قرار گرفته‌اند.

سیارات مشتری‌مانند (مشتری، زحل، اورانوس و نپتون)، اتمسفرهای بسیار غلیظی دارند که شامل هیدروژن، هلیم، متان و آمونیاک است. درمقابل، اتمسفر سیارات زمین‌مانند، رقیق است.

شکل ۸ ــ۱ــ مشتری و چهار قمر بزرگ آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).

شکل ۹ ــ۱ــ زحل و چهار عدد از اقمار آن (مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند).

مشخصات برخی اجزاء منظومهٔ شمسی

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

* حرکت به عقب

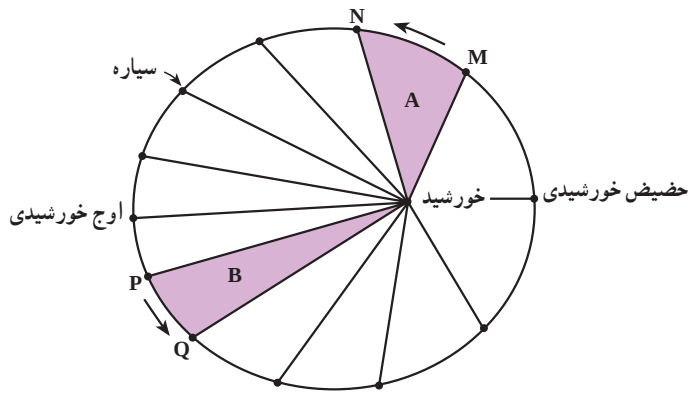
تعداد اقمار	۰	۰	۱	۰	۲	۱۵+ حلقه	۱۷+ حلقه	۵	۲
میانگین دما(کلوین)	۹۶۰	۶۰۰	۲۸۷	۳۰۰	۲۸۵	۱۳۵	۱۲۰	۹۰	؟
ترکیب احتمالی	CO_2، N_2، O_2				N_2 ، H_2O	H_2، NH_3	NH_3 ، H_2	CH_4	CH_4
اتمسفر	H_2O،CO_2				CO_2	CH_4	CH_4	H_2	H_2

حرکات سیّارات

وقتی که **کوپرنیک** فرضیهٔ خورشید مرکزی را ارائه داد، تصور می کرد که سیارات در مدارهای **دایره** مانند به‌دور خورشید می گردند. اما در اوایل قرن هفدهم، یک ریاضیدان آلمانی به‌نام **یوهان کپلر**، با مطالعات دقیق خود ابراز داشت که مدار سیارات بیضی‌شکل است نه دایره‌مانند. وی، موفق شد سه قانون زیر را برای حرکت سیارات کشف کند که تأکیدی بر نظریه کوپرنیک بودند :

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

۲ــ هر سیاره، چنان به دور خورشید می‌گردد که خطی که سیاره و خورشید را به هم وصل می‌کند، در زمان‌های مساوی، مساحت‌های مساوی ایجاد می‌کند (شکل ۱۰ــ۱).



شکل ۱۰ــ۱ــ طبق قانون دوم کپلر، مساحت این ۱۲ قسمت، مساوی است.

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

دلیل فیزیکی این نوع حرکات تا زمان **نیوتن** (۱۷۲۷ــ۱۶۴۲) 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.

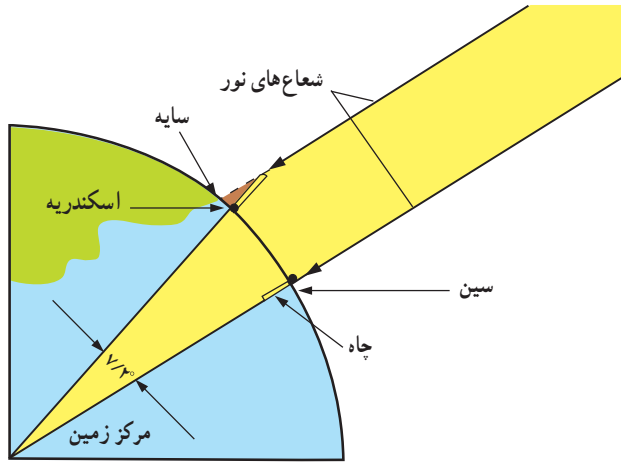
سیّارهٔ زمین

زمین سومین سیّاره از نظر نزدیکی به خورشید است و از نظر بزرگی پنجمین سیّاره محسوب می‌شود. در گذشته تصور بر این بود که زمین مسطح است. برای اولین بار ارسطو و سپس فیثاغورث (۵۸۰ـ۴۹۷ 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 مطالعهٔ کتابی در کتابخانهٔ 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 به‌صورت 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 فرضیهٔ زیر را مطرح نمود :

۱ـ 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.

۲ـ 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 اشعهٔ خورشید در شهر سین عمود می‌تابید، متوجه سایهٔ ستون در شهر اسکندریه



شکل ۱۱ـ۱ـ نحوه کار اراتوستن

شد. وی با اندازه‌گیری سایه توانست زاویهٔ تابش خورشید در شهر اسکندریه را به‌دست آورد که این مقدار $۷/۲^\circ$ بود. بنابراین، او علاوه بر اثبات کرویّت زمین، محیط آن‌را نیز محاسبه کرد (شکل ۱۱ــ۱).

فاصلهٔ 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، اندازهٔ زاویهٔ مرکزی با کمان روبه‌روی آن، برابر است، بنابراین، زاویهٔ اندازه‌گیری شده با فاصلهٔ شهر سین تا اسکندریه برابر است. با توجه به اینکه دایره ۳۶۰° است اراتوستن با استفاده از تناسب زیر، محیط زمین را محاسبه کرد.

$$\frac{۷/۲^\circ}{۳۶۰^\circ}=\frac{۵۰۰۰ \text{ استادیوم}}{x} \Rightarrow x=۲۵۰۰۰۰ \text{ استادیوم}$$

در گزارش‌های مختلف هر استادیوم را معادل ۱۵۷، ۱۸۵ و ۲۱۰ متر نوشته‌اند، احتمالاً اراتوستن اندازهٔ استادیوم را معادل ۱۵۷ در نظر گرفته بود که بر این اساس، محیط زمین برابر است با :

$$۲۵۰,۰۰۰\times۱۵۷=۳۹۲۵۰۰۰۰\text{m}=۳۹۲۵۰\text{km}$$

این عدد به مقدار واقعی آن (۴۰۰۰۰km) که با محاسبات امروزی به‌دست آمده است، بسیار نزدیک است.

بیشتر بدانید

اندازه‌گیری شعاع کرهٔ زمین به وسیلهٔ ابوریحان بیرونی

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

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

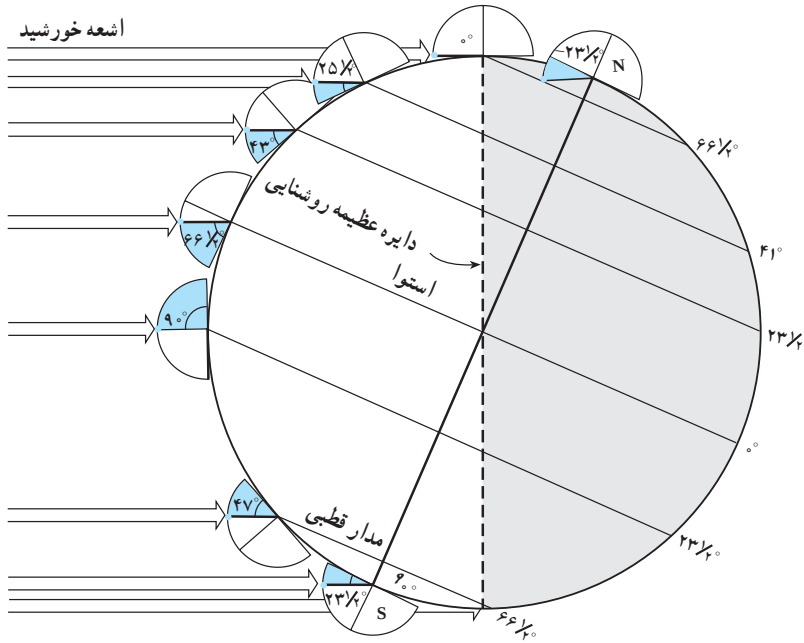
بیرونی مطابق با فرمول زیر، شعاع کرهٔ زمین را محاسبه و اندازهٔ آن‌را معادل ۶۳۴۰ کیلومتر به‌دست آورد. بنابر محاسبات امروزی، سطح زمین بیش از ۱۵۰ میلیون کیلومتر مربع، حجم آن در حدود ۱۱۰۰ میلیون کیلومتر مکعب، شعاع آن ۶۳۷۱ کیلومتر، شعاع قطبی ۶۳۵۷ کیلومتر و شعاع استوایی آن ۶۳۷۸ کیلومتر می‌باشد.

$$\cos\alpha=\frac{R}{R+H} \qquad R=H\frac{\cos\alpha}{۲\sin^۲\frac{\alpha}{۲}}$$

حرکات زمین

کرهٔ 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 براثر حرکت وضعی به‌وجود می‌آید. انحراف ۲۳/۵ 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. به‌طوری 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.

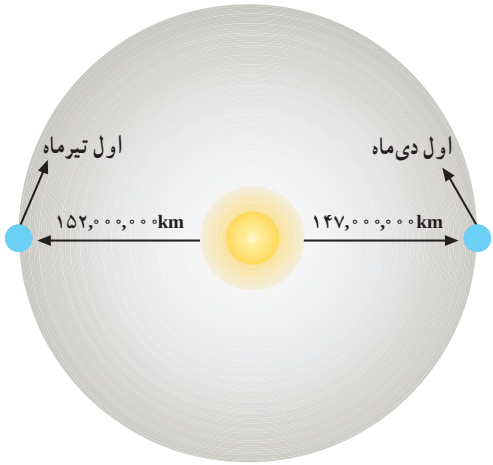


شکل ۱۲ــ۱ــ مقدار انحراف محور زمین و تأثیر آن در مقدار زاویهٔ تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف

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 فاصلهٔ خورشید از زمین حدود ۱۵۰ 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.

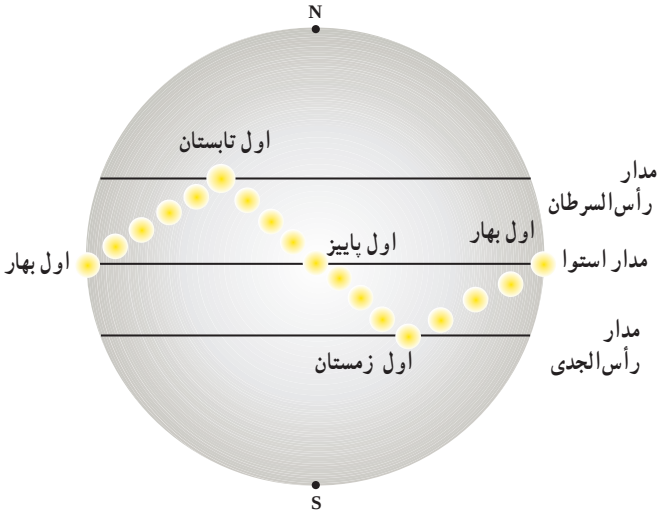


شکل ۱۳ــ۱ــ موقعیت زمین نسبت به خورشید ثابت نیست.

تحقیق کنید

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

پیدایش فصل‌ها حاصل حرکت انتقالی زمین و انحراف ۲۳/۵ درجه‌ای محور زمین است؛ به علت کروی‌بودن زمین، زاویهٔ 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 کرهٔ زمین شده است (شکل ۱۴ــ۱).



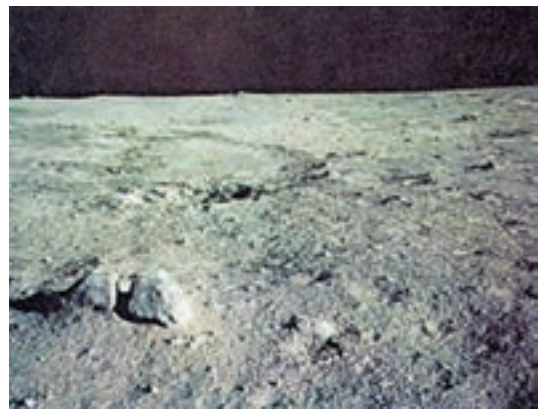
شکل ۱۴ــ۱ــ موقعیت فرضی خورشید نسبت به زمین

حرکت زمین و زاویهٔ انحراف محور آن به گونه‌ای است که می‌توان موقعیت خورشید را نسبت به زمین به‌صورت شکل (شکل ۱۴ــ۱) تصور کرد.

براساس شکل صفحه قبل در ابتدای بهار خورشید بر مدار استوا عمود می‌تابد و در طول بهار بر عرض‌های جغرافیایی بالاتر در نیمکرهٔ شمالی عمود می‌تابد به‌طوری‌که در آخر خرداد و اول تیرماه حداکثر بر مدار رأس‌السرطان تابش قائم دارد. سپس در طول تابستان بر مدارهای کمتر از ۲۳/۵ درجه شمالی، قائم است و مجدداً اول پاییز بر استوا و در ادامه در شش ماههٔ دوم سال، بر عرض‌های جغرافیایی صفر تا ۲۳/۵ درجهٔ جنوبی قائم می‌تابد.

ماه، نزدیک‌ترین همسایهٔ ما

کرهٔ ماه، ظاهری متفاوت با زمین دارد. سطح ماه از دره‌های عمیق و کوه‌های بلند پوشیده از سنگ و خاک و تعدادی فرورفتگی تشکیل شده است. این فرورفتگی‌ها حاصل برخورد شهاب‌سنگ‌ها با سطح این کره‌اند. قطر دهانهٔ این فرورفتگی‌ها از چندصد کیلومتر تا چند سانتی‌متر متغیر است. در روی ماه، نه دریایی وجود دارد، نه رودخانه، نه آب و هوا و ابر. پس صدایی هم به‌گوش نمی‌رسد و اثری از حیات در آن دیده نمی‌شود. سرعت تغییر در سطح ماه، بسیار کم است.



شکل ۱۵ــ۱ــ تصویری که در سال ۱۹۶۹ از سطح ماه گرفته شده است.

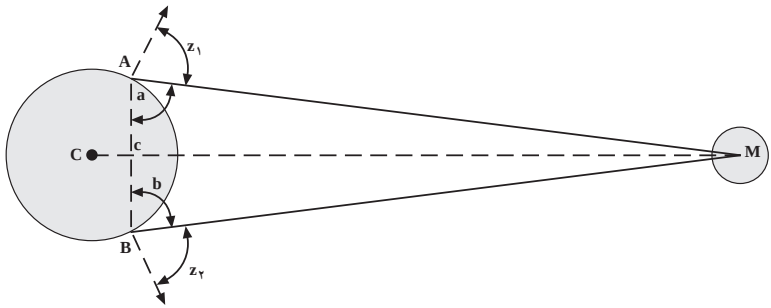
شکل ۱۶ــ۱ــ منظرهٔ پشت ماه (این منظره از سطح زمین دیده نمی‌شود).

فاصلهٔ ماه تا زمین

به‌علت بیضی بودن مدار گردش ماه به دور زمین، فاصلهٔ آن تا زمین هرلحظه در تغییر است (کمترین فاصله ۳۶۰۰۰۰ کیلومتر و بیشترین فاصله ۴۰۴۸۰۰ کیلومتر است).

تعیین دقیق فاصلهٔ ماه تا زمین، به سال ۱۵۹۰ برمی‌گردد که توسط **تیکوبراهه** اخترشناس دانمارکی صورت گرفت. او دونفر را در دونقطهٔ مختلف قرارداد تا به‌طور همزمان زاویهٔ ماه را با سطح

افق اندازه بگیرند (شکل ۱۷ــ۱). براهه، فاصلهٔ مکانی آن دونفر را تعیین کرده بود (قاعدهٔ مثلث). در این‌صورت، با استفاده از روابط مثلثاتی می‌توان مقدار زاویهٔ سوم، و طول وتر آن را که همان فاصلهٔ ماه تا زمین است، تعیین کرد.



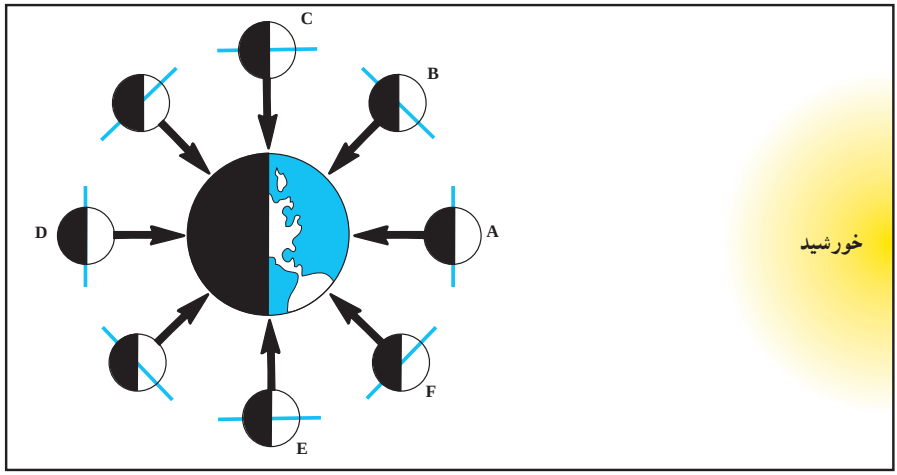
شکل ۱۷ــ۱ــ طرز تعیین فاصلهٔ ماه تا زمین به روش تیکوبراهه

● امروزه با استفاده از اشعهٔ لیزر و رادار، که به سطح ماه رفت و برگشت داده می‌شود، می‌توانند به‌طور دقیق فاصلهٔ ماه تا زمین را تعیین کنند. زمان رفت و برگشت امواج تا ماه (با سرعت نور) به‌طور متوسط ۲/۵ ثانیه است. دراین‌صورت، فاصلهٔ ماه تا زمین چه‌مقدار خواهد بود؟

اَهلّهٔ قمر

آن مقدار از سطح ماه که توسط آفتاب روشن می‌شود و ما از سطح زمین آن‌را مشاهده می‌کنیم همواره در تغییر است. ماه ازخود نوری ندارد و همیشه نیمی از آن توسط خورشید روشن است، پس ماه از این جهت به‌زمین می‌ماند. درهنگامی که ماه در موقعیت A (شکل ۱۸ــ۱) 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 آن‌را می‌توان دید که شب به‌شب، به‌علت جابه‌جایی ماه، پهن‌تر می‌شود و سرانجام ۷روز بعد به نیمی از سطح روشن می‌رسد که آن‌را در اصطلاح **تربیع اول** گویند. وقتی که ماه در موقعیت D است، تمام سطح روبه‌زمین آن روشن است. اکنون، چهاردهم ماه یا حالت **بدر** است. البته برای مشاهدهٔ حالت بدر، ما باید در فاصلهٔ خورشید و ماه قرار داشته باشیم. به‌همین‌سبب، طلوع ماه در این‌هنگام با غروب خورشید کمابیش هم‌زمان است.

هفت‌روز بعد، ماه به موقعیت E می‌رسد که بازهم نیمی از سطح آن را می‌بینیم. به این حالت **تربیع دوم** می‌گویند. ماه در تربیع دوم، در نیمهٔ شب طلوع می‌کند و از آن‌پس هرشب به خورشید نزدیک‌تر می‌شود تا آنکه سرانجام، اندکی قبل از طلوع خورشید، طلوع می‌کند. دراین‌حال نیز هلال باریکی از



شکل ۱۸ــ۱ــ اهلّهٔ قمر، عکس‌ها را با طرح بالا تطبیق بدهید.

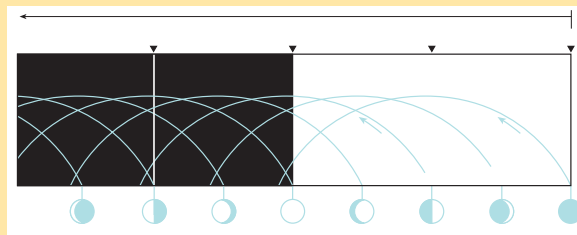
ماه مشاهده می‌شود (F) زیرا بیشتر قسمت روشنش به سوی خورشید است نه زمین. به مجموعهٔ این وضعیت‌های ماه **اهلّهٔ قمر** می‌گویند.

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

مشاهده کنید

با مشاهدهٔ طلوع و غروب ماه درچند 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 بیست‌و پنجم		



فکر کنید

۱ــ اتفاق افتادن حالت خورشیدگرفتگی و ماه‌گرفتگی، در کدام حالت از اهلهٔ قمر ممکن است؟

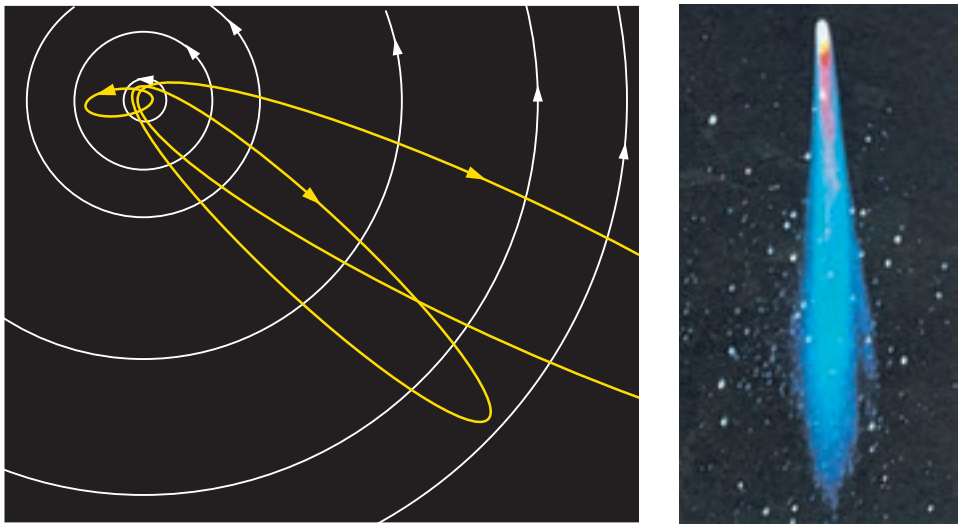
۲ــ آیا فضانوردان هم اهلّهٔ قمر را مانند ساکنان روی زمین می‌بینند؟

۳ــ چرا همیشه فقط یک‌طرف معین ماه را مشاهده می‌کنیم؟

اجزای کوچک‌تر منظومهٔ شمسی

در شب‌های صاف، حتماً متوجه خطوط درخشان و گذرایی شده‌اید که در زمینهٔ آسمان پرستاره ظاهر می‌شوند و ازمیان می‌روند. این شهاب‌ها قطعات سنگ‌هایی‌اند که در فضا سرگردان‌اند و ضمن حرکت، با جوّ فوقانی زمین برخورد می‌کنند 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 این‌صورت **شهاب‌سنگ (شخانه)** نامیده می‌شود. همه‌ساله، مقداری شهاب‌سنگ در نقاط مختلف زمین (و اغلب در دریا) فرود می‌آید.

دنباله‌دارها : به مجموعه‌ای از سنگ‌ریزه، غبار و گازهای منجمد معلق درفضا دنباله‌دار



شکل ۱۹ــ۱ــ موقعیت دنباله‌دار، در حین گردش به دور خورشید

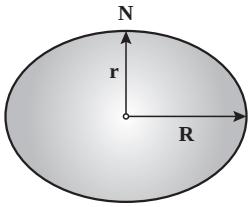
می‌گویند. مدار حرکت دنباله‌دارها بیضی بسیار کشیده است که گاهی از حاشیهٔ منظومهٔ شمسی نیز خارج می‌شود (شکل ۱۹ــ۱). معروف‌ترین دنباله‌دار که به‌اسم کاشف آن **هالی** نامیده شده

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

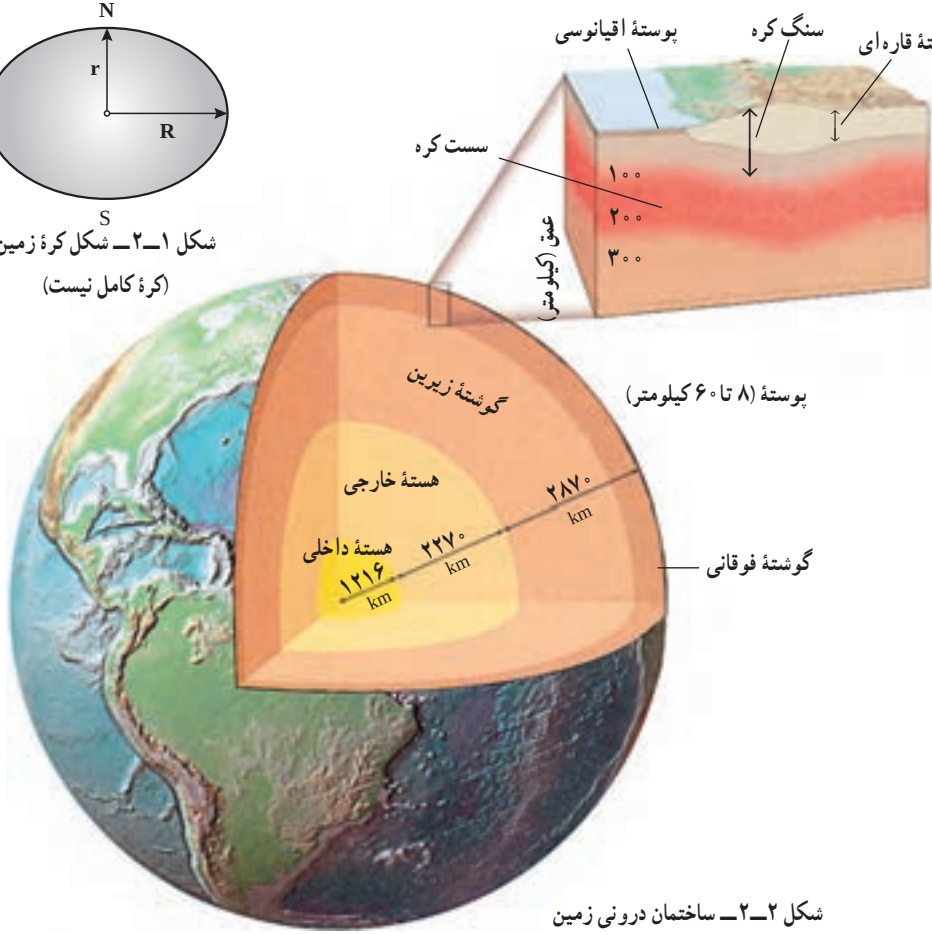
تصور می‌رود که در سال ۱۹۰۸، یکی از دنباله‌دارها در سرزمین سیبری فرود آمده و به یک منطقهٔ جنگلی برخورد کرده و درختان را تا شعاع ۳۰کیلومتری سوزانده است.

۲ ساختمان درونی زمین

زمینی که بر روی آن زندگی می‌کنیم، تقریباً کروی است (شکل ۱ــ۲). شعاع متوسط این کره حدود ۶۳۶۸ کیلومتر و چگالی نسبی آن ۵/۵ است. ازنظر ساختمانی، زمین حالت لایه‌لایه‌دارد و هر لایه، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت دارد (شکل ۲ــ۲).



شکل ۱ــ۲ــ شکل کرهٔ زمین
(کرهٔ کامل نیست)

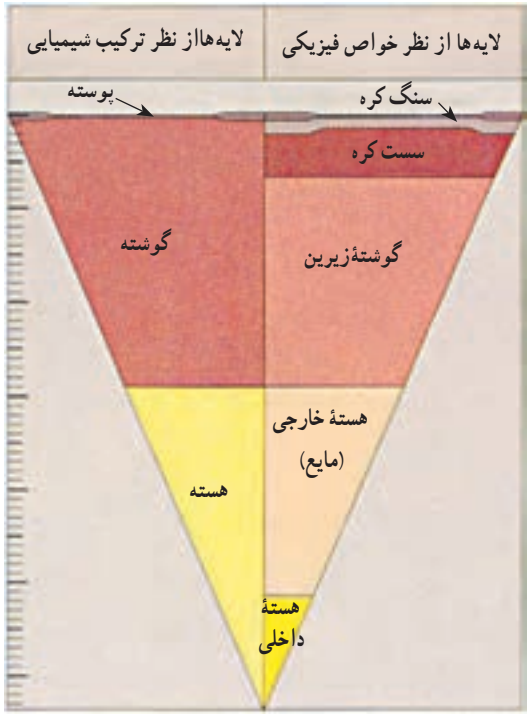


شکل ۲ــ۲ــ ساختمان درونی زمین

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 : تجزیهٔ شیمیایی انواع مختلف سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی سطح زمین با نمونه‌برداری از سطح زمین و یا نمونه‌های به‌دست آمده از حفاری‌ها می‌تواند تا حدودی نوع مواد سازندهٔ پوستهٔ زمین را مشخص کند (جدول ۱ــ۲).



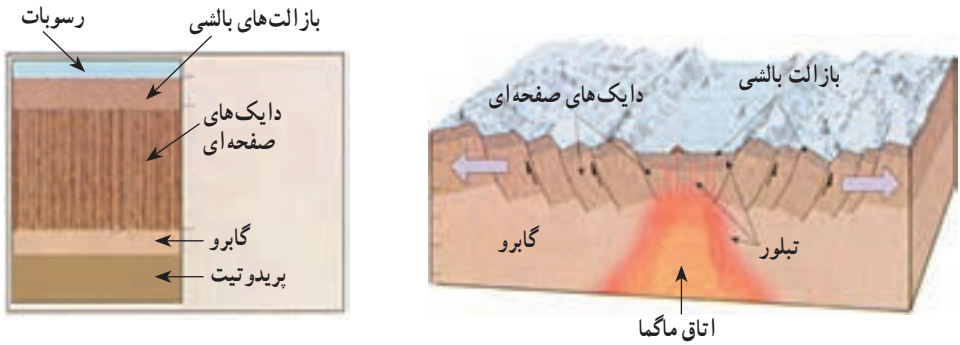
شکل ۳ــ۲ــ تقسیم‌بندی لایه‌های زمین از نظر خواص فیزیکی و خواص شیمیایی

جدول ۱ــ۲ــ ترکیب پوستهٔ زمین (درصد وزنی)

اکسیدها	پوستهٔ قاره‌ای	پوستهٔ 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

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 باارزشی از چگونگی ترکیب شیمیایی اعماق پوسته و گوشتهٔ فوقانی را به‌دست می‌دهند. در هرحال میانبارها نمی‌توانند از اعماقی پایین‌تر از ناحیهٔ خاستگاه ماگمایی که حاوی آنهاست، بالا آمده باشند. به‌طور مثال، سنگ‌های التـرابـازیک (فـوق بازی) حـاوی المـاس موسوم بـه کیمبـرلیت گـواه خوبـی بـر عمیق‌تـرین خاستگاه مـاگماها هستند. این سنگ‌ها از اعماق تقـریباً ۲۰۰ کیلومتـری زمیـن بالا آمـده و بـه صورت تنـوره‌های آتش‌فشانی در قـاره‌ها یـافت می‌شوند.

نمونه‌هایی از پوسته و گوشتهٔ 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 پوستهٔ 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 ۴ــ۲).



شکل ۴ــ۲ ــ مجموعهٔ اُفیولیتی

فکر کنید

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

بیشتر بدانید

عمیق‌ترین چاه جهان

درسال ۱۹۷۰ دانشمندان اتحاد جماهیر شوروی تصمیم گرفتند، عمیق‌ترین چاه جهان را حفر کنند و اطلاعاتی از درون زمین به‌دست آورند. آنها برای این منظور شبه‌جزیرهٔ 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 دستاوردهای 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 لولهٔ حفاری به ۹۰۰ تن رسید. برای تعویض سرمتّه‌های فرسوده یا بیرون آوردن مغزه (نمونهٔ 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 رسید. 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 مغزهٔ حفاری بعد از اینکه فشار از روی آنها برداشته می‌شد، از هم پاشیده می‌شدند.

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

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

ب) روش‌های غیرمستقیم : به دلیل عدم دسترسی به بخش‌های عمیق‌تر زمین، بخش زیادی از اطلاعات درون زمین از روش‌های غیرمستقیم حاصل می‌شود.

مطالعهٔ سنگ‌های ماه و شهاب‌سنگ‌ها، بررسی طیف نور خورشید و ستارگان، مطالعهٔ امواج لرزه‌ای و اندازه‌گیری برخی از خصوصیات فیزیکی مانند میدان مغناطیسی، گرانش زمین و ... ماهیت مواد سازندهٔ درون زمین را روشن‌تر می‌کند. در این میان امواج لرزه‌ای بیشترین اطلاعات را در مورد ضخامت، چگالی، حالت مواد (جامد، مایع و خمیری) و جنس لایه‌های درونی زمین در اختیار زمین‌شناسان قرار می‌دهند بدین ترتیب که وقتی زمین‌لرزه‌ای رخ می‌دهد، بخشی از انرژی آزاد شده از منبع انرژی (کانون

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 مطالعهٔ 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 مطالعهٔ 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 مادهٔ 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 انتقال‌دهندهٔ آنها تغییر کند.

جدول ۲ــ۲ــ ترکیب میانگین تقریبی کل زمین و مقایسهٔ 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

خصوصیات و ترکیب پوسته

پوسته قشر نسبتاً نازکی در سطح یا بالاترین لایه‌های کرهٔ 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 (شکل ۱۱ــ۳).

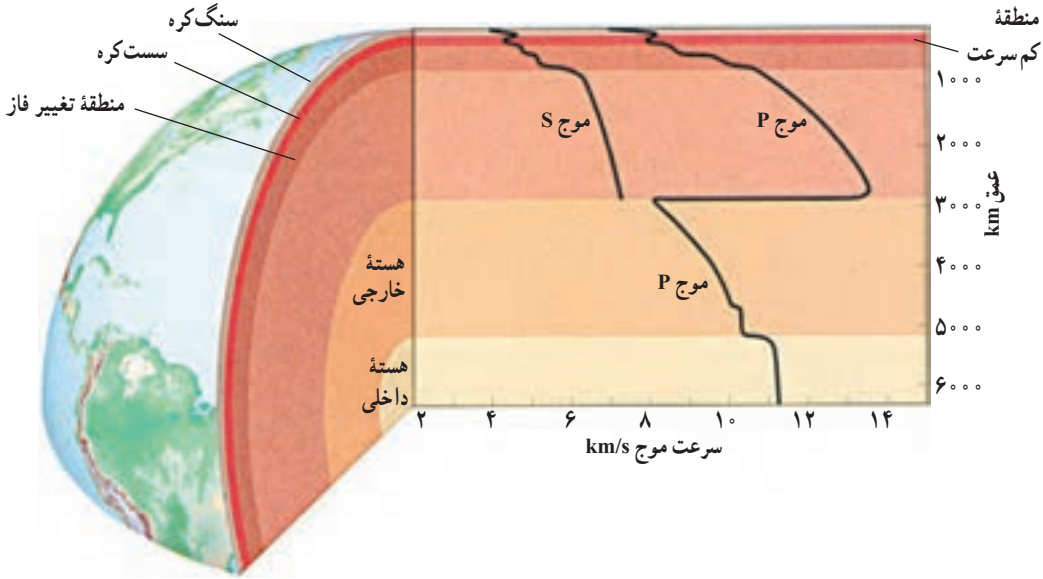
ترکیب شیمیایی پوسته در قاره‌ها با ترکیب آن در اقیانوس‌ها متفاوت است. ترکیب شیمیایی متوسط پوستهٔ قاره‌ای مشابه ترکیب آندزیت است. بخش‌های رویی پوسته غنی از سیلیس (SiO_2) و آلومین (Al_2O_3) است.

چگالی سنگ‌های قاره‌ای $2/8\ g/cm^3$ است و سنّ قدیمی‌ترین آنها به ۳/۸ میلیارد سال هم می‌رسد. اما چگالی سنگ‌های پوستهٔ اقیانوسی حدود $3g/cm^3$ و ترکیب آن بازالتی با سن کمتر از ۲۰۰ میلیون سال است.

خصوصیات و ترکیب گوشته

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

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

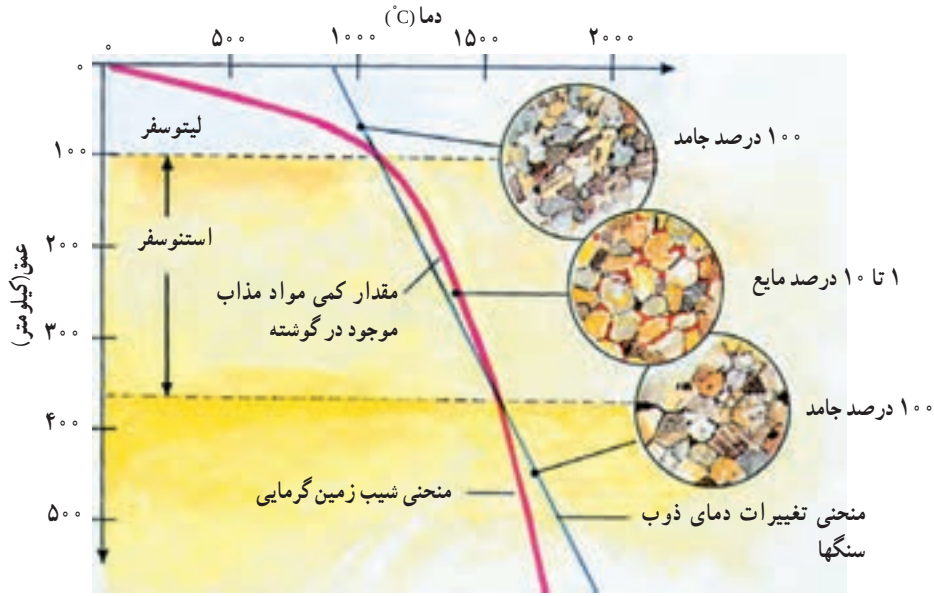


شکل ۵ــ۲ــ تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای نسبت به عمق. تغییرات ناگهانی درمرز پوسته ــ گوشته، در بخش‌های فوقانی گوشته و در مرز گوشته ــ هسته روی می‌دهد.

دربارهٔ ترکیب گوشته به‌دست آمده سازگار است.

سرعت امواج P و S در نواحی مختلف گوشته بی‌نظمی‌هایی نشان می‌دهد (شکل۵ــ۲). اولین تغییر مهم در عمق حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتری شروع می‌شود؛ یعنی از قاعدهٔ پوسته تا عمق حدود 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 «لایهٔ کم‌سرعت» می‌گویند. مواد این قسمت به نقطهٔ ذوب خود نزدیک‌اند 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 نشان‌دهندهٔ تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در لایهٔ کم‌سرعت باشد وجود ندارد.

یک توضیح احتمالی برای وجود لایهٔ کم‌سرعت آن است که در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر درجهٔ زمین گرمایی به دمای شروع ذوب سنگ‌های گوشته نزدیک می‌شود (شکل۶ــ۲). درنتیجه سنگ‌ها از حالت جامد و سخت فاصله می‌گیرند و به حالت خمیرسان نزدیک می‌شوند.



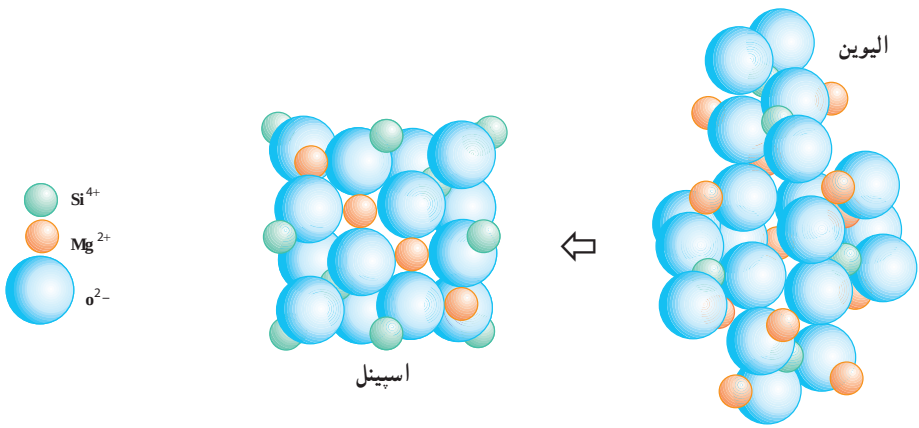
شکل ۶ــ۲ــ بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی می‌توان منطقهٔ کم سرعت را چنین توضیح داد. وقتی منحنیِ شروعِ ذوبِ سنگ‌های گوشته، منحنی زمین‌گرمایی را قطع می‌کند، مقدار کمی مادهٔ مذاب تولید می‌شود. این مقدار کم مادهٔ مذاب باعث تغییر خواص پلاستیک سنگ‌ها و تشکیل لایهٔ کم‌سرعت می‌شود.

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

لایهٔ کم‌سرعت اهمیت زیادی در توجیه نظریهٔ زمین‌ساخت ورقه‌ای (فصل ۳) دارد؛ زیرا در این نظریه، ورقه‌های سنگ کره باید بتوانند بر روی یک منطقهٔ تقریباً پلاستیک بلغزند. به‌علاوه چنان‌که می‌دانیم ماگمای بازالتی نیز براثر ذوب‌بخشی سنگ‌ها در گوشتهٔ فوقانی از اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر منشأ می‌گیرد.

باتوجه به شکل (۵ــ۲) 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 (شکل۷ــ۲).

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 هستند.



شکل ۷ــ۲ــ در داخل گوشته، با افزایش فشار کانی‌ها به شکل فشرده‌تری درمی‌آیند. به‌طور مثال، کانی الیوین درگوشته ساختمان اسپینل را به خود می‌گیرد.

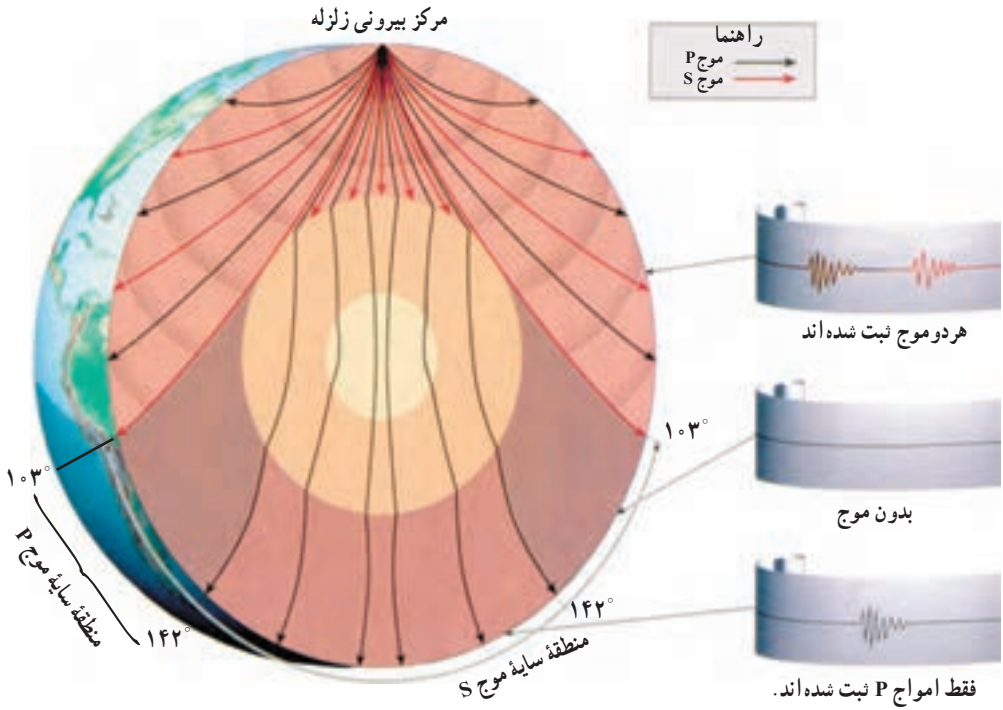
خصوصیات و ترکیب هسته

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 زمین‌لرزهٔ بزرگی روی می‌دهد، در فاصلهٔ بیش از ۱۰۳درجه از مرکز سطحی زمین لرزه، امواج S مستقیماً قابل دریافت نیستند. به‌عبارت دیگر یک «منطقهٔ سایه» برای موج S از حدود ۱۰۳درجه به بعد در آن‌سوی زمین ایجاد می‌شود (شکل ۸ــ۲). بنابراین، باید گفت که یک تودهٔ سیّال در درون زمین راه عبور امواج S را می‌بندد. این تودهٔ سیّال، هستهٔ خارجی مایع زمین است. اندازهٔ هستهٔ خارجی باتوجه به وسعت منطقهٔ سایه معلوم شده است. هستهٔ خارجی یک منطقهٔ سایهٔ حلقه‌مانند برای موج P نیز ایجاد می‌کند (شکل ۸ــ۲). منطقهٔ سایه در نواری حدود ۱۰۳ تا ۱۴۲ درجه نسبت به مرکز سطحی زمین لرزه گسترده است. منطقهٔ سایهٔ موج P ناشی از شکست امواج P در مرز گوشته‌ــ هسته است.

چنان‌که گفتیم امواج لرزه‌ای می‌توانند در مرزهای بین لایه‌های با خصوصیاتِ لرزه‌ایِ متفاوت منعکس شوند. به‌این‌ترتیب است که وجود هستهٔ داخلی مشخص شده است، بخشی از امواج P دراثر برخورد با مرز بین هستهٔ داخلی و خارجی منعکس می‌شود و از آنجا که سرعت‌ها در گوشته و هستهٔ خارجی معلوم است، با محاسبهٔ زمان‌های سیر امواج P منعکس‌شده از هستهٔ داخلی می‌توان عمق این هسته را برآورد نمود.



شکل ۸ــ۲ــ مسیرعبورامواج P و S در داخل زمین. شکل را تفسیر کنید.

سرعت موج P در هستهٔ داخلی خیلی بیشتر از هستهٔ خارجی است. از این مطلب نتیجه‌گیری می‌شود که هستهٔ 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 هستهٔ داخلی و خارجی یکسان باشد، هستهٔ داخلی به‌علت فشارهای زیاد می‌تواند به‌صورت جامد باشد، درحالی که هستهٔ خارجی مایع است.

دانشمندان با استناد به نتایج حاصل از تجربیات آزمایشگاهی، ترکیب شهاب‌سنگ‌ها و وجود میدان مغناطیسی زمین، این احتمال را می‌دهند که ترکیب هستهٔ زمین از آهن و نیکل باشد.

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

فکر کنید

با آنکه چگالی هستهٔ 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 دائمی 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 از دست می‌دهند. به این دلایل، خاصیّت مغناطیسی زمین را نمی‌توان محصول سادهٔ مغناطیس سنگ‌ها شمرد و باید به‌دنبال دلیل‌های دیگری بود.

دانش امروزی ما از منشأ میدان مغناطیسی زمین، محصول یافته‌هایی است که دربارهٔ 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 **دینامو 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، الکتریسیتهٔ بیشتری حاصل می‌آورد. الکتریسیته هم به‌نوبهٔ 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 هستهٔ 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 هستهٔ داخلی و گوشته سبب ایجاد جریان‌های کنوکسیون در آهن‌مذاب هستهٔ 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 به‌نوبهٔ 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 میدان مغناطیسی 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 اگر این 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.

به‌نظر می‌رسد وارونگی مغناطیسی، حاصل تغییراتی است که در جریان‌های همرفتی (کنوکسیونی) هستهٔ 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 **عقربهٔ قطب‌نما** در حالت **وارونگی مغناطیسی** برعکس حالت امروزی خواهد ایستاد.

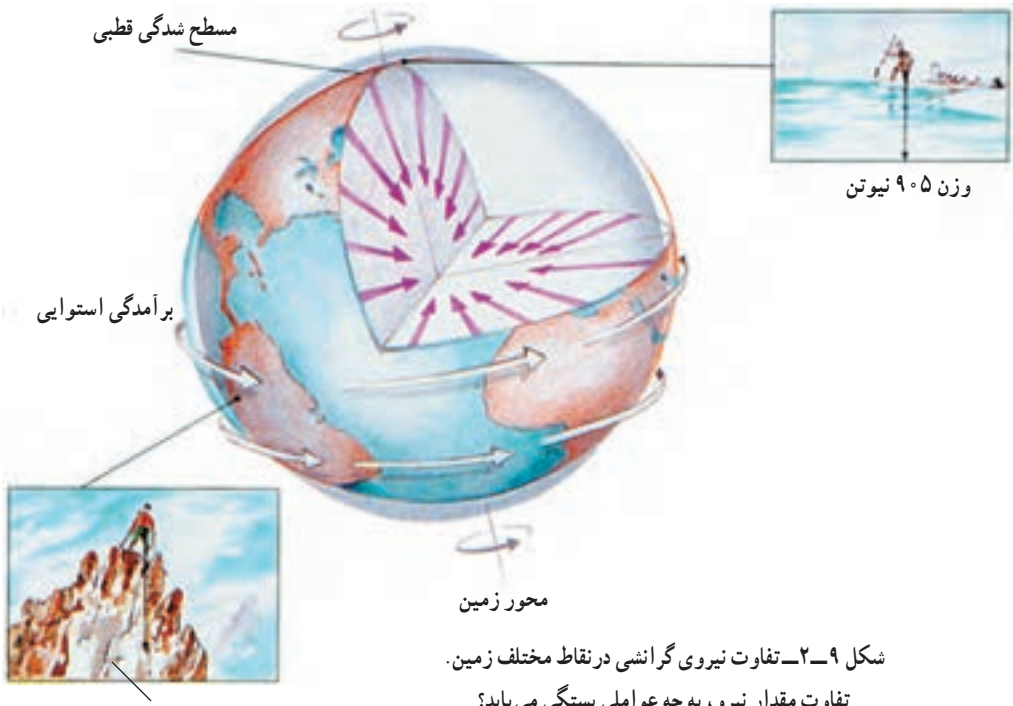
نیروی گرانشی

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 جاذبهٔ (F) وجود دارد. اندازهٔ این نیرو با حاصل‌ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد. قانون گرانش عمومی را به‌صورت $F = G\frac{m \times m'}{R^2}$ می‌نویسند. (G ثابت جهانی گرانش و مقدار آن $۶/۶۷۲ \times ۱۰^{-۱۱} \frac{m^3}{kgs^2}$ است).

در معادلهٔ بالا می‌توان به جای m' جرم زمین (E) و به جای m جرم هر جسمی که در بیرون از زمین قراردارد و مقدار R را هم فاصلهٔ 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.

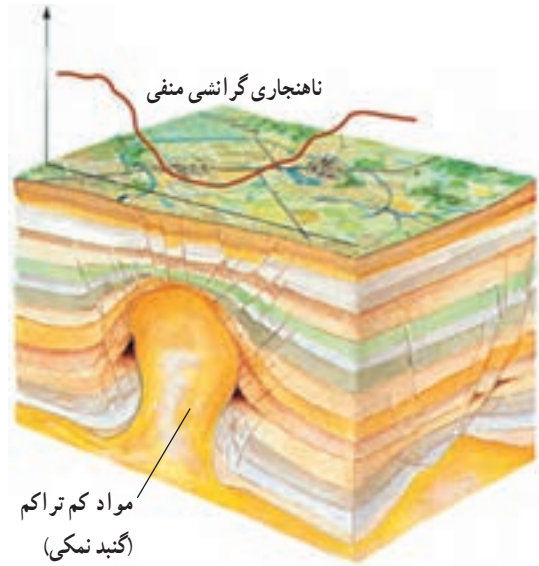


شکل ۹ــ۲ــ تفاوت نیروی گرانشی درنقاط مختلف زمین.
تفاوت مقدار نیرو، به چه عواملی بستگی می‌یابد؟

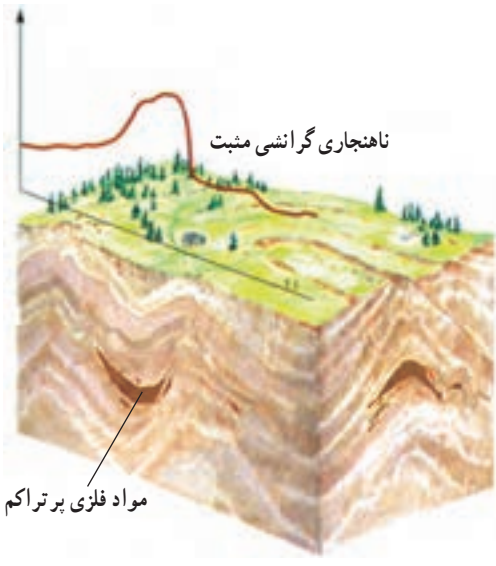
کم یا زیاد شدن شدت گرانش در هرنقطه می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ مواد سازندهٔ زمین در آن نقطه به ما بدهد.

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 بر مقدار جرم و در نهایت، بر مقدار شدت گرانشی تأثیر می‌گذارد.

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



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



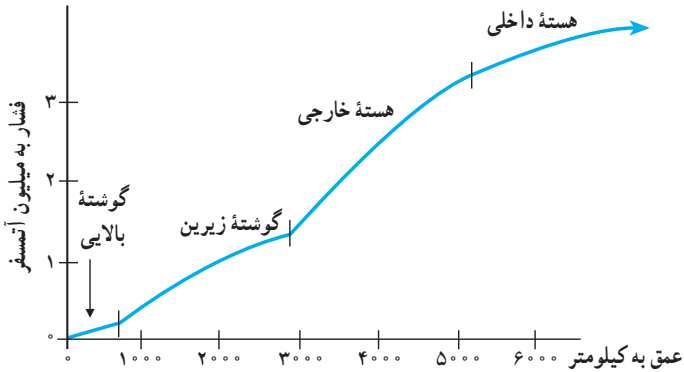
شکل ۱۰ــ۲ــ ب ــ شدت گرانشی مثبت به علت وجود سنگ‌های پرتراکم در زیر پوسته

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؟

فشار

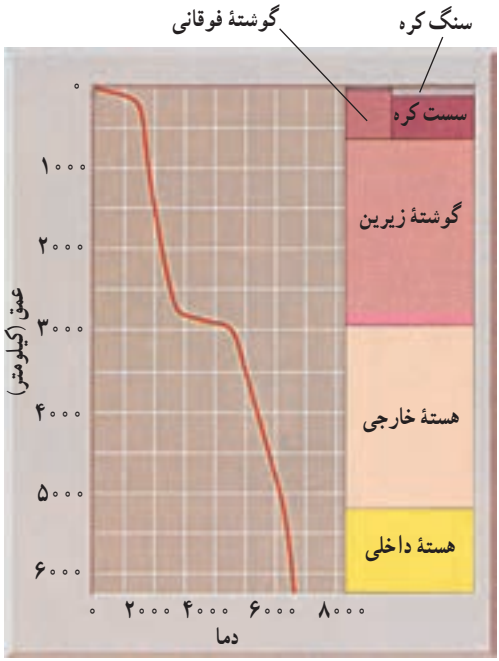
فشار درونی زمین نسبتاً به‌آسانی قابل‌برآورد است. فشار هرنقطه، در زیر سنگ‌کره، باتوجه به ضخامت و چگالی سنگ‌های فوقانی تعیین می‌شود (در سنگ‌کره تنش‌های جانبی اضافی براثر حرکت ورقه‌ها نیز ایجاد می‌شود). چنان‌که گفتیم چگالی لایه‌های مختلف را می‌توان براساس داده‌های امواج لرزه‌ای به‌دست آورد. این موضوع امکان محاسبهٔ فشار را به‌عنوان تابعی از عمق زمین فراهم می‌کند (شکل ۱۱ــ۲). 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 پوستهٔ زمین به‌ازای هر کیلومتر که به عمق برویم حدود ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. که به آن اصطلاحاً شیب زمین‌گرمایی می‌گویند. 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 درجهٔ سانتی‌گراد و در ۶۰۰۰ کیلومتری (هستهٔ داخلی) به ۱۸۰۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسید، که در



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

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

بیشتر بدانید

تاکنون دانشمندان دمای مرز گوشته ــ هسته را حدود ۴۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و دمای مرز هستهٔ خارجی ــ هستهٔ داخلی را حدود ۶۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در مرکز زمین متجاوز از ۶۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تخمین می‌زده‌اند، اما به‌تازگی زمین‌شناسی به نام دکتر **بهلر** ترکیبی از آهن و ترکیبات آهن ــ اکسیژن را در یک محفظهٔ فشارقوی میان دو قطعه الماس تحت فشار ۱/۴ میلیون آتمسفر (معادل فشار مرز گوشته ــ هستهٔ خارجی) قرار داد و آنها را به‌وسیلهٔ لیزر تا چندهزار درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داد. او از این آزمایش‌ها نتیجه گرفت که دمای مرز گوشته ــ هسته حدود ۳۷۰۰ درجهٔ 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 نتیجهٔ همان آزمایش را به هسته تعمیم داد؛ لذا طبق محاسبات این دانشمند دمای هسته حدود ۴۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست آمد.