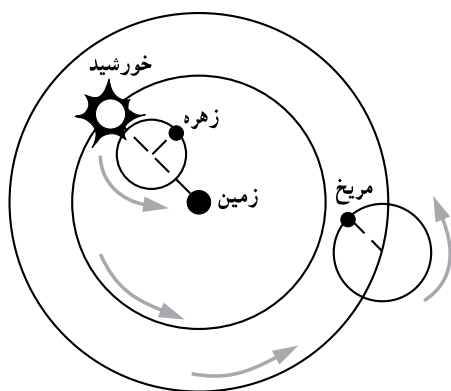


# جایگاه زمین در فضا



شکل ۱-۱

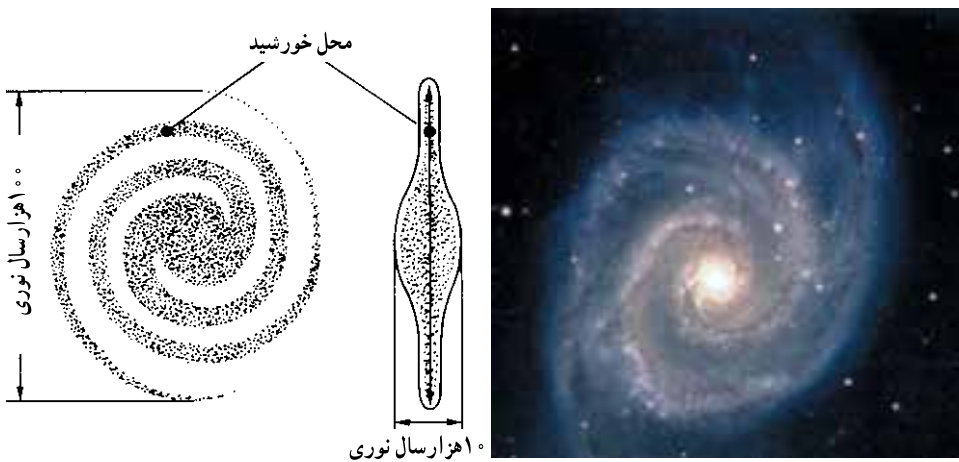
نخستین دانشمندانی که در آسیای صغیر زندگی می‌کردند و با تمدن‌های مصر و بین‌النهرین در تماس بودند، در توسعه دانش نجوم تأثیر عمده‌ای داشتند. یکی از پرسش‌هایی که پیوسته ذهن آنها را به خود مشغول داشت این بود که منظومه شمسی چگونه شکل گرفته است؟ اولین بار بطلمیوس، دانشمند یونانی نظریه زمین مرکزی را ارائه داد.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

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

## کهکشان

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



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

## ستارگان

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

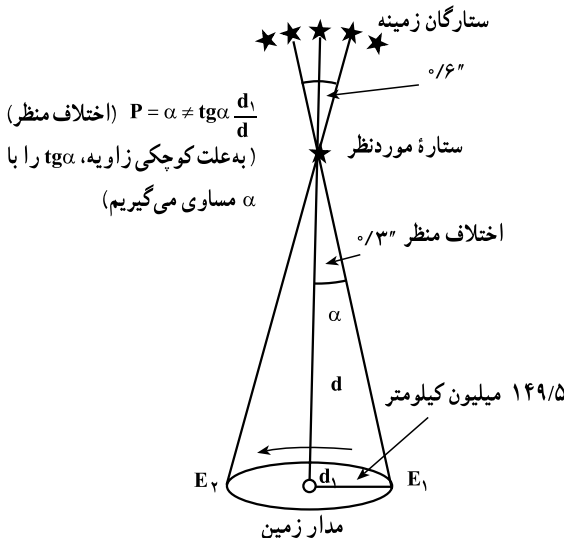
## ویژگی‌های ستارگان

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

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

**فاصله:** اندازه فاصله میان زمین و حدود ۶۰۰۰ ستاره ای که در نزدیکی زمین واقع اند، با استفاده از روشی به نام **اختلاف منظر (Parallax)** محاسبه می شود (شکل ۳-۱). البته باید توجه داشت که حتی برای نزدیک ترین ستاره ها هم مقدار جابه جایی ظاهری در فضا کم است و در مقایسه، از اندازه قطر یک سکه که از فاصله یک کیلومتری به آن نگاه شود بیشتر نیست. به همین سبب این روش برای تعیین فاصله ستارگان دور دست عملی نیست.

فاصله متوسط زمین از خورشید برابر ۱۵۰ میلیون کیلومتر است که برابر با یک واحد ستاره شناسی انتخاب می شود. فاصله نزدیک ترین ستاره به ما، بعد از خورشید، یعنی قنطورس نزدیک (Proxima centaury) برابر ۲۷ هزار واحد ستاره شناسی است؛ از آنجا که فاصله ستارگان با ما و نیز با ستارگان دیگر فوق العاده زیاد است، برای تعیین این فواصل از واحد دیگری به نام سال نوری (فاصله ای که نور در طول یک سال طی می کند) استفاده می شود<sup>۱</sup> و این فاصله نزدیک به ۱۰ تریلیون کیلومتر است (۹/۱×۱۰<sup>۱۲</sup> km). با این واحد، فاصله خورشید تا زمین حدود ۸ دقیقه نوری است.

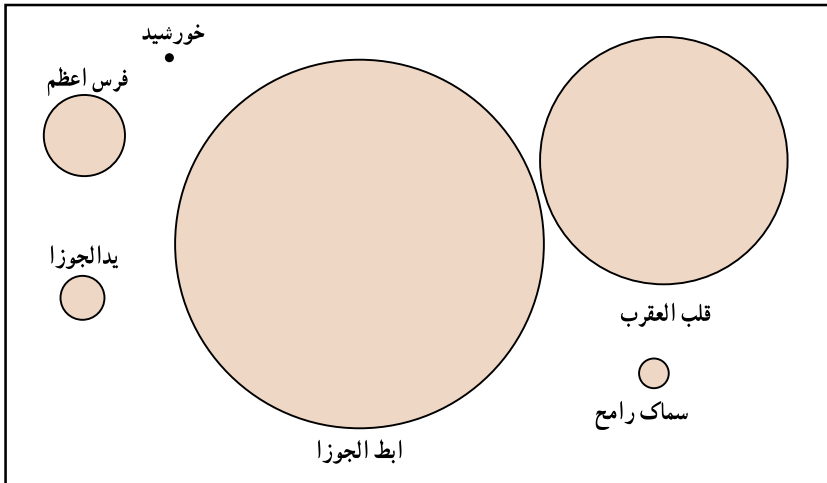


شکل ۳-۱- اخترشناس، شعاع مدار زمین به دور خورشید را به عنوان قاعده یک مثلث فرضی در نظر می گیرد و در فاصله ۶ ماه، از دو نقطه مختلف این مدار ستاره مورد نظرش را رصد می کند. بدیهی است که این ستاره، در زمینه ای از ستارگان دور دست تر، مقداری جابه جا می شود. با اندازه گیری این مقدار جابه جایی ستاره و تعیین فاصله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

۱- ستاره شناسان واحد دیگری نیز برای اندازه گیری مسافت دارند که پارسک (Parsec) نام دارد. نقطه ای که اختلاف منظرش یک ثانیه باشد، در فاصله ۳/۲×۱۰<sup>۱۳</sup> کیلومتری آن قرار می گیرد، این فاصله را معادل یک پارسک در نظر می گیرند.

**بزرگی و چگالی:** ستارگان از لحاظ بزرگی بسیار مختلف اند. کوچک ترین آنها کمی از زمین بزرگ تر است و بزرگ ترین آنها که تاکنون شناخته شده به نام **گیرنده عنان**، قطری در حدود  $3/2$  میلیارد کیلومتر دارد، یعنی حدود  $2300$  برابر قطر خورشید. اگر این ستاره در مرکز منظومه شمسی قرار داشت، تا حدود مدار زحل را دربر می گرفت!

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



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

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

از این جهت وضع ستاره ها هم تفاوتی با وضع چراغ های خیابان ندارد. مقدار نوری که از ستاره



به ما می‌رسد تابع دو چیز است: مقدار واقعی تشعشعاتی که از ستاره خارج می‌شوند (نور واقعی آن) و مقدار فاصله آن از زمین، که با ضرب کردن مجذور فاصله در مقدار نور ظاهری می‌توان مقدار نور واقعی ستاره را محاسبه کرد.

نور واقعی ستارگان از  $10^{-6}$  تا  $10^6$  برابر نور خورشید تغییر می‌کند. نکته جالبی که در این میان وجود دارد این است که بین مقدار نور و جرم ستاره‌های رشته اصلی 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).

## منظومه شمسی

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

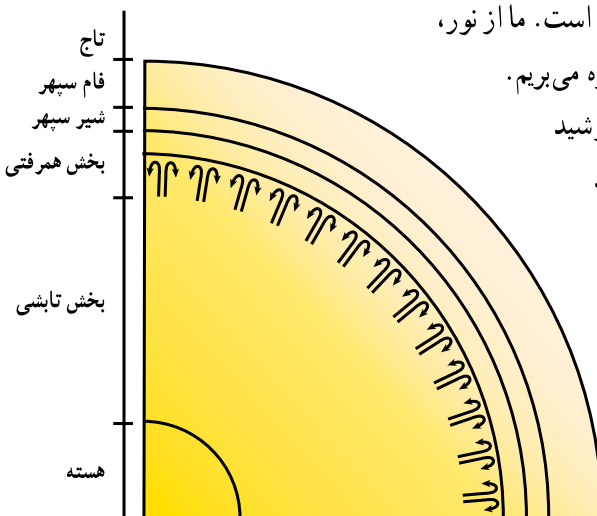
### تحقیق کنید

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

## خورشید

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

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



شکل ۱-۵

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

آیا آن چنان که قدما تصور می‌کردند، چیزی در خورشید می‌سوزد؟ اما، حتی از سوختن هر گرم بنزین که سوخت خوبی است فقط ۳۰۰۰ کالری حاصل می‌شود. عده‌ای هم در قرن گذشته، گرمای خورشید را حاصل متراکم شدن آن می‌شمردند. ولی مطالعات بعدی که توسط اینشتین صورت گرفت، معما را حل کرد. این دانشمند فرمول معروف خود  $E=MC^2$  را ارائه داد که از آن، تبدیل ماده به انرژی مستفاد می‌شود. در خورشید، هیدروژن به هلیوم مبدل می‌گردد و در حین تبدیل، از وزن هر گرم هیدروژن معادل ۰۰۰۷۲٪ گرم کاسته می‌شود.

جرم ۴ هسته هیدروژن برابر با  $4/0.3^0$  واحد جرم اتمی است. یک هسته هلیوم، در حدود  $4/0.3^0$  واحد وزن دارد. بدین ترتیب، هنگامی که یک هسته اتم هلیوم از چهار هسته هیدروژن حاصل شود، تفاوت جرم این دو مبدل به انرژی می‌شود. پس باید گفت که این تولید انرژی سبب می‌شود که جرم خورشید پیوسته در حال کاهش باشد. محاسبات نشان می‌دهد که این کاهش جرم معادل ۴ میلیون تن در ثانیه است! این کار تا چه مدت می‌تواند ادامه یابد؟ جرم کلی خورشید برابر با  $2 \times 10^{33}$  گرم است. با این ترتیب، خورشید می‌تواند میلیاردها سال دیگر هم به همین ترتیب نورافشانی کند.

## بادهای خورشیدی



شکل ۶-۱ - شفق قطبی

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

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

## سیارات منظومه شمسی

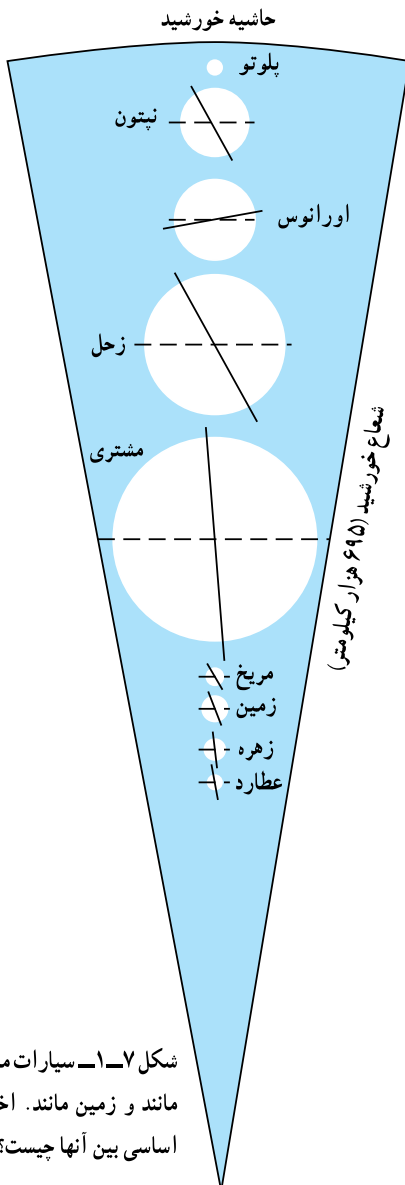
سیارات منظومه شمسی از داخل به خارج، شامل عطارد، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس و نپتون است. این سیارات به‌طور کلی به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

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

## ترکیب سیارات

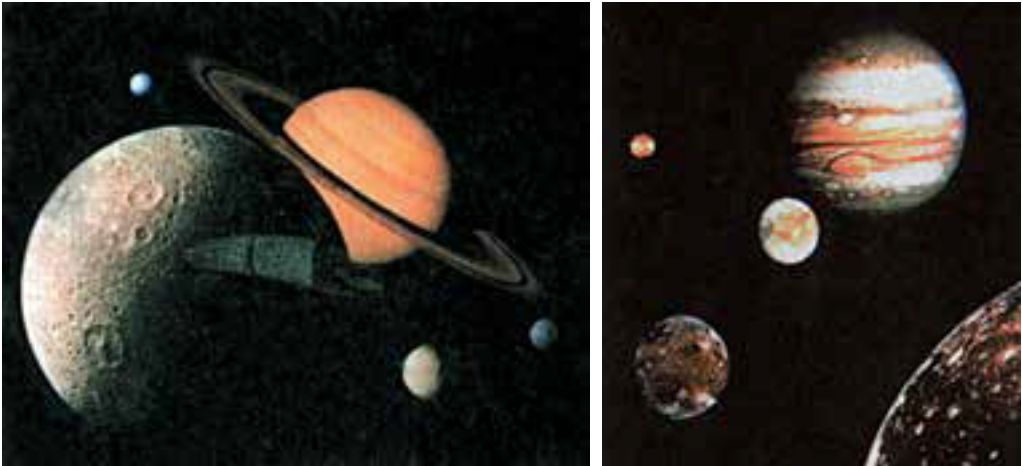
موادی که هردو گروه سیارات را تشکیل می‌دهند، براساس نقطه ذوب، به سه گروه گازها، سنگ‌ها و یخ قابل تقسیم‌اند. مواد گازی، آنهایی هستند که نقطه ذوبشان به صفر مطلق (۲۷۳- درجه سانتی‌گراد) نزدیک است و شامل هیدروژن و هلیوم اند. مواد سنگی را بیشتر، کانی‌های سیلیکاتی و آهن تشکیل می‌دهند. نقطه ذوب این مواد، از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر است. یخ‌ها، در بین این دو قرار دارند و شامل آمونیاک، متان، دی‌اکسید کربن و آب‌اند.

سیارات زمین‌مانند (عطارد، زهره، زمین و مریخ)، از مواد سنگی و فلزی و اندکی گاز تشکیل شده‌اند. سیارات مشتری‌مانند، از هیدروژن و هلیوم ساخته شده‌اند و مقادیر متفاوتی از گروه یخ‌ها (آب،



شکل ۶-۱- سیارات مشتری‌مانند و زمین‌مانند. اختلاف اساسی بین آنها چیست؟

آمونیاک و متان) دارند. البته، تصور می‌رود که در سیارات مشتری مانند، نیز مواد سنگی و فلزی موجود باشد و این مواد، در هسته مرکزی و بسیار متراکم آنها قرار گرفته‌اند. سیارات مشتری مانند (مشتری، زحل، اورانوس و نپتون)، اتمسفرهای بسیار غلیظی دارند که شامل هیدروژن، هلیوم، متان و آمونیاک است. در مقابل، اتمسفر سیارات زمین مانند، رقیق است.



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

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

### مشخصات سیارات منظومه 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

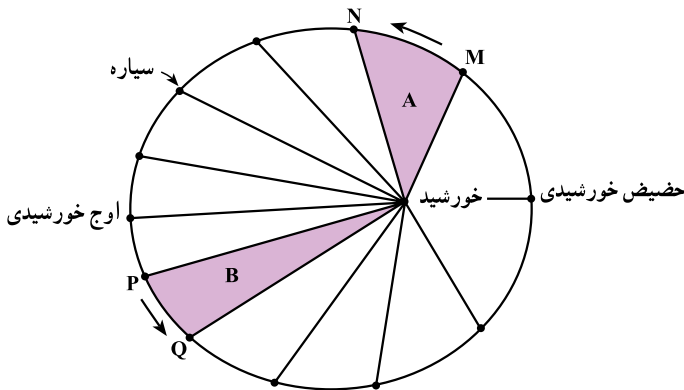
تعداد اقمار	۰	۰	۱	۰	۲	۱۵+ حلقه	۱۷+ حلقه	۵	۲
میانگین دما (کلون)	۹۶۰	۶۰۰	۲۸۷	۳۰۰	۲۸۵	۱۳۵	۱۲۰	۹۰	؟
ترکیب احتمالی	$\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{O}_2$				$\text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2, \text{NH}_3$	$\text{NH}_3, \text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$
اتمسفر	$\text{H}_2\text{CO}_3$				$\text{CO}_2$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

## حرکات سیارات

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

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

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



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

۳- زمان یک دور گردش سیارات به دور خورشید، با افزایش فاصله آنها از خورشید زیاد می شود و میان این دو، رابطه  $p^2$  با  $d^3$  برقرار است، که در این رابطه  $p$  زمان یک دور گردش سیاره بر حسب سال زمینی و  $d$  فاصله این سیاره از خورشید به واحد نجومی (فاصله متوسط زمین تا خورشید) است. دلیل فیزیکی این نوع حرکات تا زمان نیوتن (۱۷۲۷-۱۶۴۲) معلوم نشد. نیوتن، قوانین حرکت و

جاذبه را کشف کرد و روابط مربوط را در کتاب معروف خود (اصول ریاضیات) در سال ۱۶۸۷ توضیح داد.

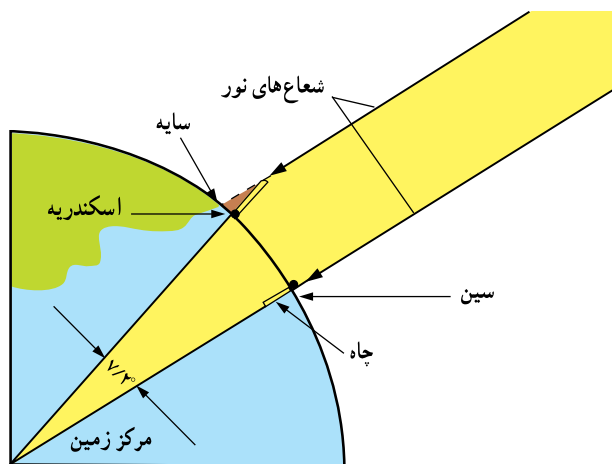
## سیاره زمین

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

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

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

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



شکل ۱۱-۱ نحوه کار اراتوستن

شد. وی با اندازه‌گیری سایه توانست زاویه تابش خورشید در شهر اسکندریه را به دست آورد که این مقدار  $7/2^\circ$  بود. بنابراین، او علاوه بر اثبات کرویت زمین، محیط آن را نیز محاسبه کرد.

فاصله شهر سین تا اسکندریه برابر با ۵۰۰۰ استادیوم (واحد اندازه‌گیری مسافت در آن زمان) بود. از آنجایی که زمین کروی است و در یک کره، اندازه زاویه مرکزی با کمان روبه‌روی آن، برابر است، بنابراین، زاویه اندازه‌گیری شده با فاصله شهر سین تا اسکندریه برابر است. با توجه به اینکه دایره  $36^\circ$  است اراتوستن با استفاده از تناسب زیر، محیط زمین را محاسبه کرد.

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

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

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

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

### بیشتر بدانید

اندازه‌گیری شعاع کره زمین به وسیله ابوریحان بیرونی

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

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

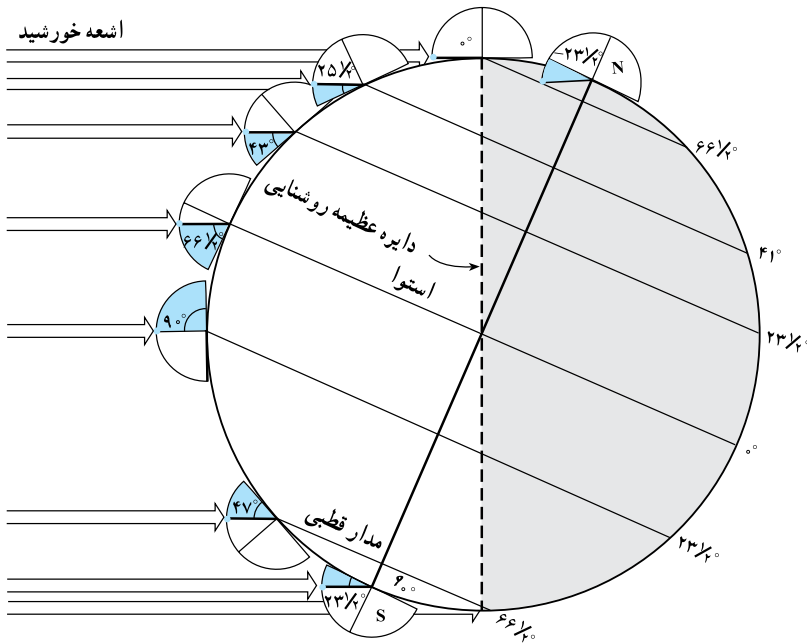
بیرونی مطابق با فرمول زیر، شعاع کره زمین را محاسبه و اندازه آن را معادل  $6340$  کیلومتر به دست آورد. بنابر محاسبات امروزی، سطح زمین بیش از  $15^\circ$  میلیون کیلومتر مربع، حجم آن در حدود  $1100$  میلیون کیلومتر مکعب، شعاع آن  $6371$  کیلومتر، شعاع قطبی  $6357$  کیلومتر و شعاع استوایی آن  $6378$  کیلومتر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

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

## حرکات زمین

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

شب و روز بر اثر حرکت وضعی به وجود می‌آید. انحراف  $23\frac{5}{6}^\circ$  درجه‌ای محور زمین نسبت به سطح مدار گردش زمین به دور خورشید، سبب ایجاد اختلاف مدت زمان روز و شب در عرض‌های جغرافیایی مختلف می‌شود. به طوری که در مناطق استوایی طول مدت روز و شب در تمام مدت سال با هم برابر (۱۲ ساعت روز و ۱۲ ساعت شب) است و با افزایش عرض جغرافیایی این اختلاف بیشتر می‌شود.



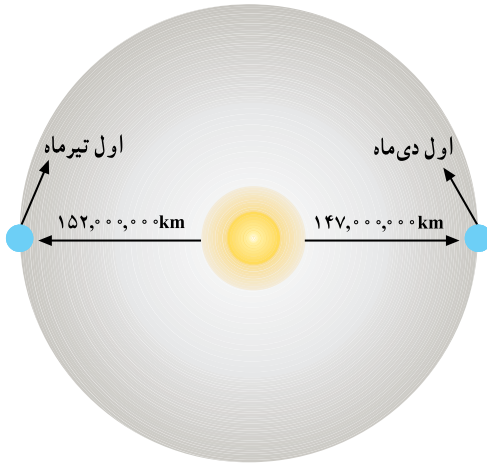
شکل ۱۲-۱. مقدار انحراف محور زمین و تأثیر آن در مقدار زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف

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

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



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

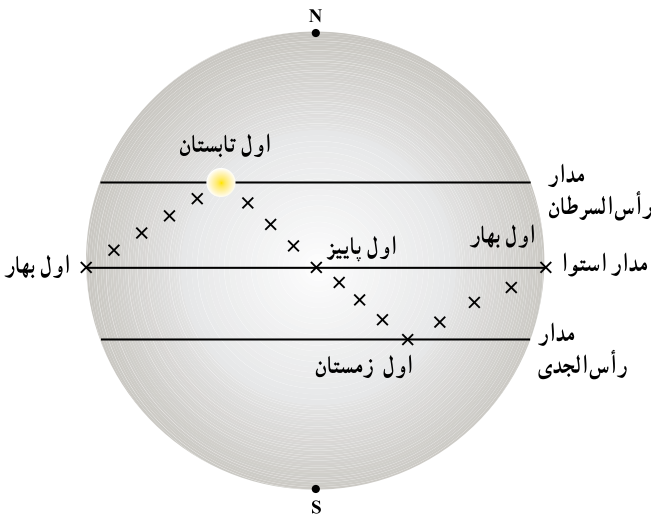


شکل ۱۳-۱- موقعیت زمین نسبت به خورشید ثابت نیست.

### تحقیق کنید

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

پیدایش فصل‌ها حاصل حرکت انتقالی زمین و انحراف  $23/5$  درجه‌ای محور زمین است؛ به علت کروی بودن زمین، زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف، در یک زمان، متفاوت



شکل ۱۴-۱- موقعیت فرضی خورشید نسبت به زمین

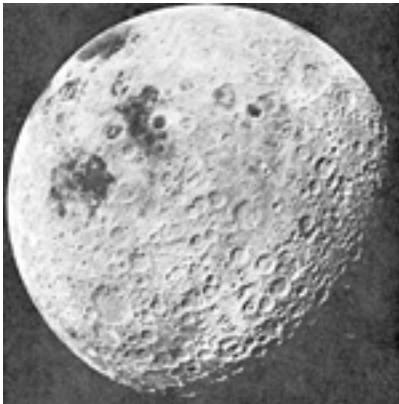
است. همچنین به علت انحراف محور زمین، زوایای تابش خورشید در یک عرض جغرافیایی نیز در طول سال تفاوت دارد. این تفاوت زاویه، سبب ایجاد فصل‌ها در نقاط مختلف کره زمین شده است (شکل ۱۴-۱).

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

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

### ماه، نزدیک‌ترین همسایه ما

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



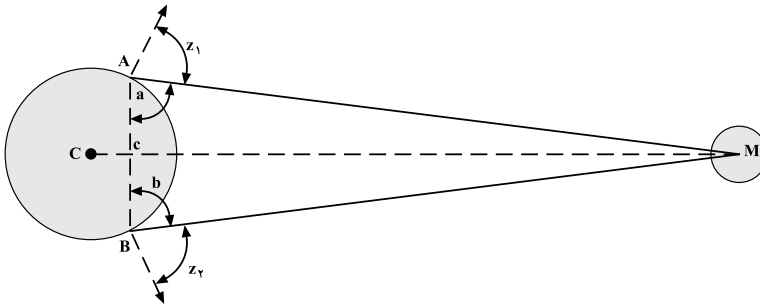
شکل ۱۵-۱- تصویری که در سال ۱۹۶۹ از سطح ماه گرفته شده است. شکل ۱۶-۱- منظره پشت ماه (این منظره از سطح زمین دیده نمی‌شود).

### فاصله ماه تا زمین

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

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

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



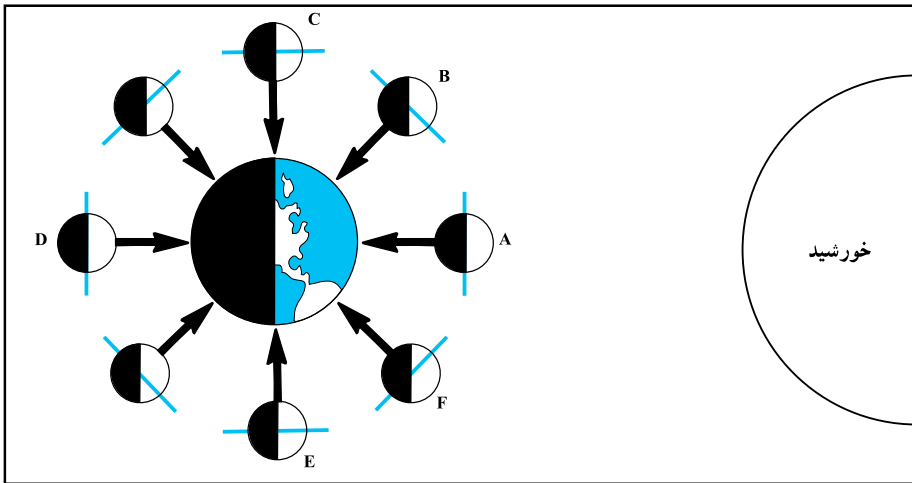
شکل ۱۷-۱- طرز تعیین فاصله ماه تا زمین به روش تیکوبراهه

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

## أَهْلَةُ قَمَر

آن مقدار از سطح ماه که توسط آفتاب روشن می شود و ما از سطح زمین آن را مشاهده می کنیم همواره در تغییر است. ماه از خود نوری ندارد و همیشه نیمی از آن توسط خورشید روشن است، پس ماه از این جهت به زمین می ماند. در هنگامی که ماه در موقعیت A (شکل ۱۸-۱) است، طرف روشن آن روبه زمین نیست و در آسمان مشاهده نخواهد شد. به این حالت، محاق گویند. در روزهای بعد (موقعیت B) هنوز بیشتر قسمت روشن ماه روبه زمین نیست، اما هلال باریکی از آن را می توان دید که شب به شب، به علت جابه جایی ماه، پهن تر می شود و سرانجام ۷ روز بعد به نیمی از سطح روشن می رسد که آن را در اصطلاح تربیع اول گویند. وقتی که ماه در موقعیت D است، تمام سطح روبه زمین آن روشن است. اکنون، چهاردهم ماه یا حالت بدر است. البته برای مشاهده حالت بدر، ما باید در فاصله خورشید و ماه قرار داشته باشیم. به همین سبب، طلوع ماه در این هنگام با غروب خورشید کمابیش هم زمان است.

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



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

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

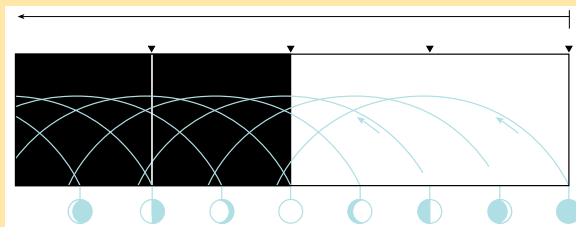
وقتی که ماه در حالت محاق یا بدر است، یعنی با زمین و خورشید در یک راستا قرار می‌گیرد، آب دریاها را بیشتر از مواقع دیگر به سوی خود می‌کشاند و پدیدهٔ جزر و مد شدیدتر می‌شود.

### مشاهده کنید

با مشاهدهٔ طلوع و غروب ماه در چند

شب متوالی، جدول روبه‌رو را کامل کنید.

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



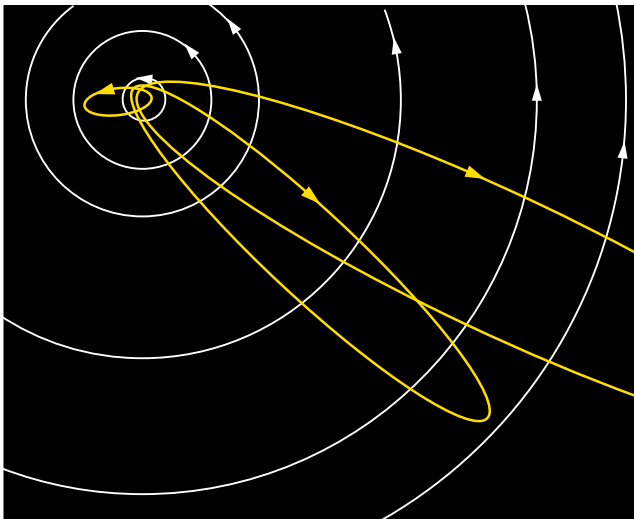
## فکر کنید

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

اگر ماه به دور زمین نمی چرخید، بایستی آن را هر روز در یک ساعت معین و در نقطه ای معین از آسمان می دیدیم. اما در مدتی که زمین یک بار به دور خود می چرخد، ماه  $\frac{1}{۲۷}$  مسیر خود را به دور زمین طی می کند (در حدود  $۱۲/۵$  درجه)، بنابراین، در جایی که روز قبل دیده می شد، مشاهده نمی شود و باید یک قوس  $۱۲/۵$  درجه ای اضافی را در مدت  $۵^\circ$  دقیقه طی کند.

## اجزای کوچک تر منظومهٔ شمسی

در شب های صاف، حتماً متوجه خطوط درخشان و گذرایی شده اید که در زمینهٔ آسمان پرستاره ظاهر می شوند و از میان می روند. این شهاب ها قطعات سنگ هایی اند که در فضا سرگردان اند و ضمن حرکت، با جو فوقانی زمین برخورد می کنند و حاصل اصطکاک آنها، تولید حرارت زیاد، سوختن و نورانی شدن است. اگر شهابی چنان بزرگ باشد که بتواند با سطح زمین برخورد کند، در این صورت شهاب سنگ (شخانه) نامیده می شود. همه ساله، مقداری شهاب سنگ در نقاط مختلف زمین (و اغلب در دریا) فرود می آید. دنباله دارها: به مجموعه ای از سنگ ریزه، غبار و گازهای منجمد معلق در فضا دنباله دار



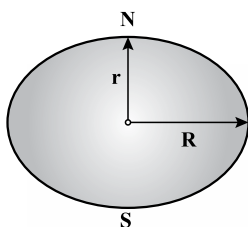
شکل ۱۹-۱- موقعیت دنباله دار، در حین گردش به دور خورشید

می‌گویند. مدار حرکت دنباله‌دارها بیضی بسیار کشیده است که گاهی از حاشیه منظومه شمسی نیز خارج می‌شود (شکل ۱۹-۱). معروف‌ترین دنباله‌دار که به اسم کاشف آن هالی نامیده شده است، هر ۷۵ سال یک بار ظاهر می‌شود. آخرین باری که این دنباله‌دار به زمین نزدیک شد سال ۱۹۸۵ بود. تصور می‌رود که در سال ۱۹۰۸، یکی از دنباله‌دارها در سرزمین سیبری فرود آمده و به یک منطقه جنگلی برخورد کرده و درختان را تا شعاع ۳۰ کیلومتری سوزانده است.

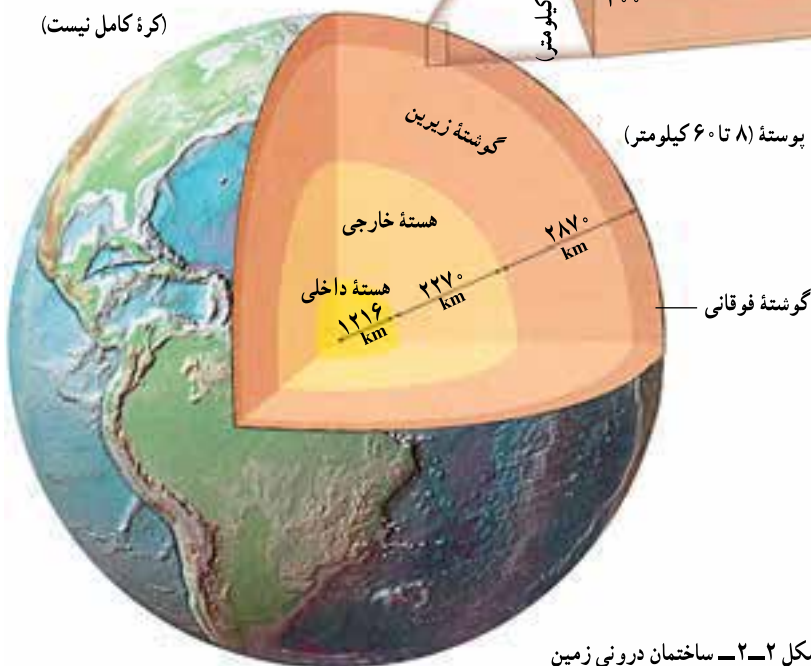
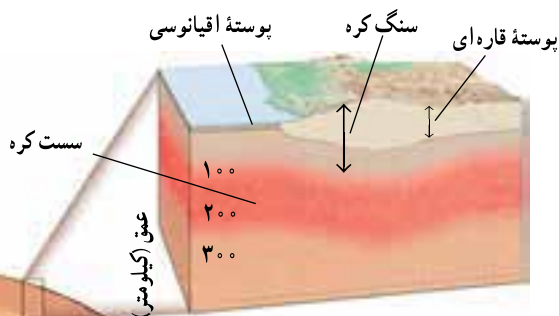
# ساختمان درونی زمین

۲

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



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

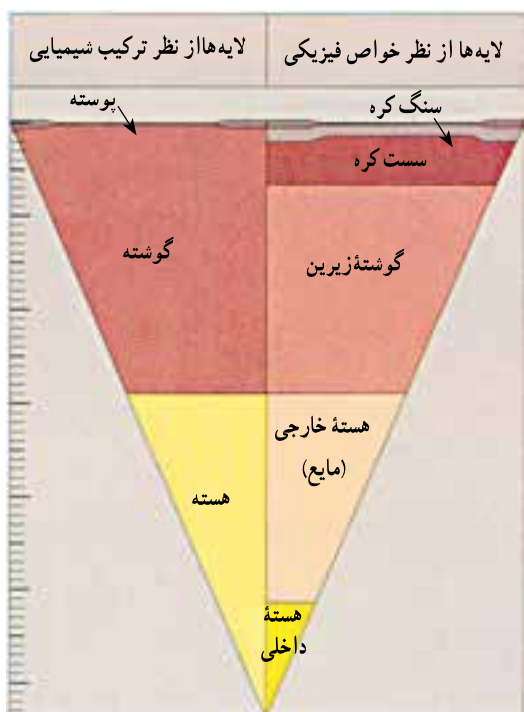


شکل ۲-۲ = ساختمان درونی زمین

## ترکیب شیمیایی زمین

برای مطالعه بر روی لایه‌های زمین از مشاهدات و اطلاعات گوناگون استفاده می‌شود. بخش‌های سطحی بیشتر با نمونه‌برداری مستقیم و مطالعات آزمایشگاهی بر روی سنگ‌ها و ماگماها مورد مطالعه قرار می‌گیرند. اما جز بخش‌های سطحی، دسترسی مستقیم به قسمت اعظم درون زمین امکان‌پذیر نیست.

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



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

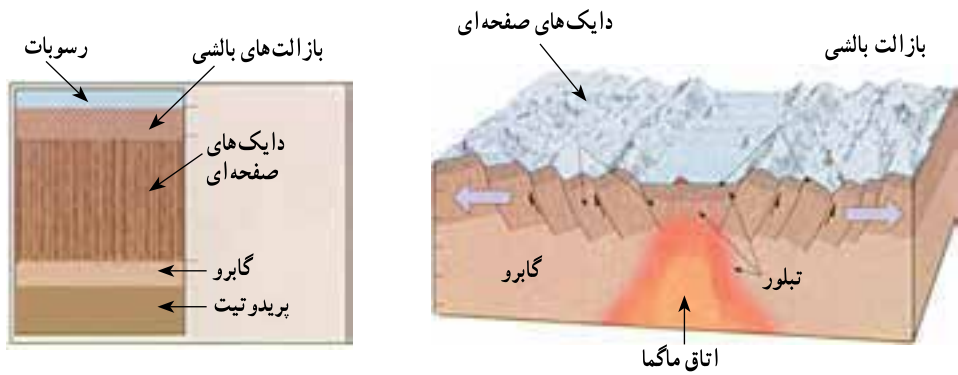
جدول ۲-۱- ترکیب پوسته زمین (درصد وزنی)

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



همچنین بر اثر فعالیت های آتش فشانی نیز نمونه هایی از بخش های عمیق تر پوسته و بخش های بالایی گوشته در زیر قاره ها به سطح زمین رسیده است. گاهی همراه مواد مذاب قطعات ذوب نشده و جامدی از قسمت های زیرین پوسته یا گوشته که میانبار نامیده می شوند، به سطح زمین می رسند. میانبارها شواهد بارزشی از چگونگی ترکیب شیمیایی اعماق پوسته و گوشته فوقانی را به دست می دهند. در هر حال میانبارها نمی توانند از اعماقی پایین تر از ناحیه خاستگاه ماگمایی که حاوی آنهاست، بالا آمده باشند. به طور مثال، سنگ های الترابازیک (فوق بازی) حاوی الماس موسوم به کیمبرلیت گواه خوبی بر عمیق ترین خاستگاه ماگماها هستند. این سنگ ها از اعماق تقریباً ۲۰۰ کیلومتری زمین بالا آمده و به صورت تنوره های آتش فشانی در قاره ها یافت می شوند.

نمونه هایی از پوسته و گوشته فوقانی زیر اقیانوس ها در سنگ هایی موسوم به اُفیولیت به دست آمده است. اُفیولیت ها مجموعه ای از سنگ های لایه لایه به ضخامت حدود ۵۰۰۰ متر است که ترکیب آن را معادل پوسته اقیانوسی می دانند که در برخی نقاط در خشکی ها از جمله در کشور ما دیده می شوند. گفته می شود، در چنین نقاطی ورقه های سنگ کره به یکدیگر برخورد کرده اند و در قاره ها جای گرفته اند (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴ - مجموعه اُفیولیتی

### فکر کنید

اُفیولیت ها به عنوان نمونه هایی از گوشته فوقانی معمولاً به سرعت هوا زده می شوند. آیا می توانید علت را بیابید؟

## بیشتر بدانید

### عمیق ترین چاه جهان

در سال ۱۹۷۰ دانشمندان اتحاد جماهیر شوروی تصمیم گرفتند، عمیق ترین چاه جهان را حفر کنند و اطلاعاتی از درون زمین به دست آورند. آنها برای این منظور شبه جزیره کولا در شمال شوروی در منطقه ای یخ زده را انتخاب کردند.

حفر این چاه پس از ۱۵ سال در عمق کمی بیشتر از ۱۲ کیلومتر، به علت کمبود بودجه و سختی شرایط کار، متوقف شد. ما در اینجا نمی خواهیم دستاوردهای علمی حفر این چاه را بازگو کنیم، اما شما را با پاره ای از مشکلات حفر آن آشنا می سازیم:

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

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

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

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

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

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

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

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

پوسته	کل زمین	عناصر
۴۸/۰	۵۹/۲	آهن
۱۵/۲	۱۵/۴	اکسیژن (O)
۱۰/۷	۷/۵	سیلیسیم
۷/۷	۴/۳	منیزیم
۱۲/۲	۶/۰	نیکل
۰/۶	۲/۶	کلسیم
۲/۶	۲/۸	آلمینیم
۲/۲	۱/۰	سدیم

زمین لرزه) به شکل امواج لرزه‌ای و با سرعت معینی که به خواص فیزیکی محیط بستگی دارد، در تمام جهات منتشر می‌شود. دانشمندان علوم زمین با مطالعه مسیر حرکت امواج لرزه‌ای و سرعت سیر آنها در درون زمین، در مورد بعضی خواص فیزیکی مواد در اعماق زمین و ساختمان درونی آن نتیجه‌گیری می‌کنند.

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

سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها به چگالی و کشسانی (الاستیسیته) آنها بستگی دارد

(کشسانی، خاصیتی است که بر اثر آن وقتی یک ماده جامد تحت تأثیر نیروهای مخالف قرار می‌گیرد تغییر شکل و اندازه می‌دهد ولی با ازین رفتن نیرو به حالت اول برمی‌گردد).

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

### خصوصیات و ترکیب پوسته

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

بر اساس مطالعات لرزه‌شناسی می‌توان ضخامت و ترکیب شیمیایی احتمالی پوسته را در هر نقطه تعیین کرد. ضخامت پوسته از جایی به جای دیگر فرق می‌کند، ولی به طور کلی در زیر رشته کوه‌های قاره‌ها حداکثر مقدار خود را دارد. ضخامت پوسته در دشت‌ها کمتر است و در فلات قاره از آن هم کمتر می‌شود. نازک‌ترین بخش پوسته را در اقیانوس‌ها، مخصوصاً در نزدیکی محور رشته کوه‌های

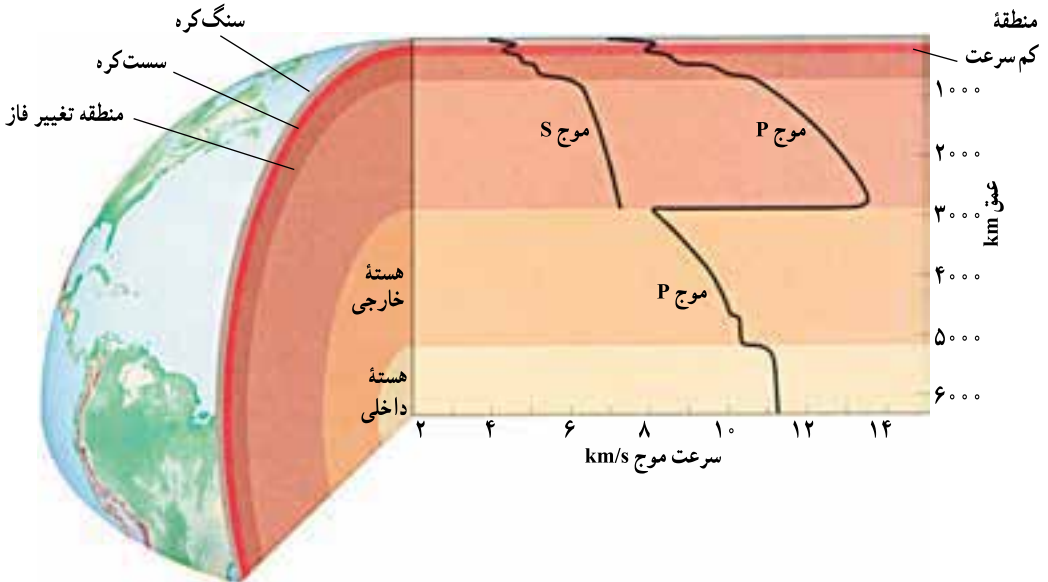
اقیانوسی، می توان مشاهده کرد (شکل ۱۱-۳).

ترکیب شیمیایی پوسته در قاره ها با ترکیب آن در اقیانوس ها متفاوت است. ترکیب شیمیایی متوسط پوسته قاره ای مشابه ترکیب آندزیت است. بخش های رویی پوسته غنی از سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) و آلومین ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) است.

چگالی سنگ های قاره ای  $2/8 \text{ g/cm}^3$  است و سن قدیمی ترین آنها به  $3/8$  میلیارد سال هم می رسد. اما چگالی سنگ های پوسته اقیانوسی حدود  $3 \text{ g/cm}^3$  است.

### خصوصیات و ترکیب گوشته

گوشته در زیر پوسته قرار دارد و تا عمق  $2900$  کیلومتری ادامه دارد. دامنه چگالی گوشته از  $3/3$  گرم بر سانتی متر مکعب در نزدیکی پوسته تا  $5/5$  گرم بر سانتی متر مکعب در نزدیک هسته تغییر می کند. سرعت امواج P در پوسته بین  $6$  تا  $7$  کیلومتر بر ثانیه تغییر می کند، ولی، در زیر مرز موهو به بیش از  $8$  کیلومتر بر ثانیه می رسد. تجربیات آزمایشگاهی نشان می دهد که در سنگ های غنی از کانی های الیوین و بیروکسن مثل پریدوتیت، سرعت امواج لرزه ای بیش از  $8$  کیلومتر بر ثانیه است. بنابراین، تصور می شود که این کانی ها باید جزء کانی های اصلی گوشته باشند. این نتیجه با اطلاعاتی که از راه های دیگر

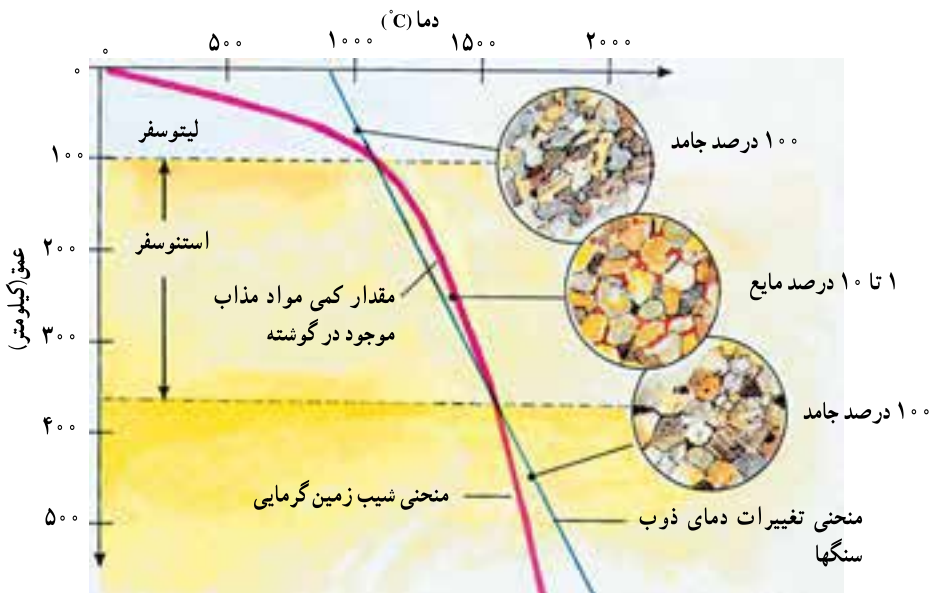


شکل ۵-۲- تغییرات سرعت امواج لرزه ای نسبت به عمق. تغییرات ناگهانی در مرز پوسته - گوشته، در بخش های فوقانی گوشته و در مرز گوشته - هسته روی می دهد.

در باره ترکیب گوشته به دست آمده سازگار است.

سرعت امواج P و S در نواحی مختلف گوشته بی‌نظمی‌هایی نشان می‌دهد (شکل ۵-۲). اولین تغییر مهم در عمق حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتری شروع می‌شود؛ یعنی از قاعده پوسته تا عمق حدود ۱۰۰ کیلومتر، سرعت به تدریج از حدود ۸ به ۸/۳ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد. مطالعات نشان می‌دهد که این قسمت سخت و سنگی است. این بخش از گوشته را به همراه 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 «لایه کم‌سرعت» می‌گویند. مواد این قسمت به نقطه ذوب خود نزدیک‌اند و از این رو، تا حدی سختی خود را از دست داده و نرم شده‌اند و به همین علت به آن سست کره (استنوسفر) هم گویند. شواهدی که نشان‌دهنده تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در لایه کم‌سرعت باشد وجود ندارد.

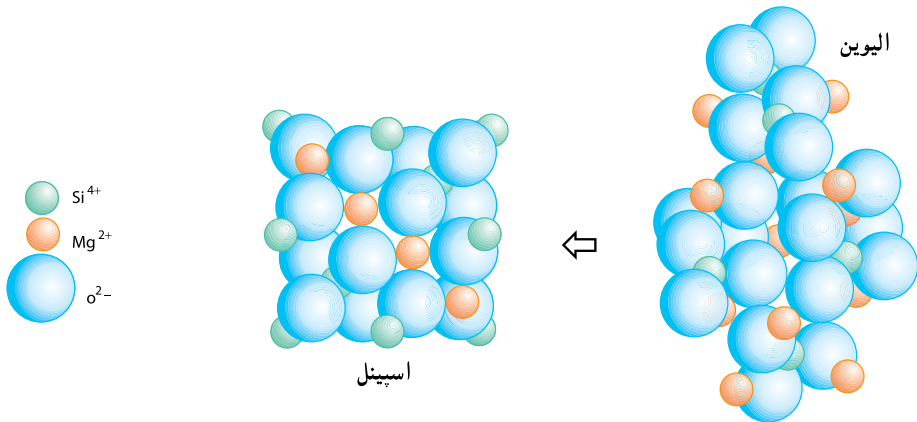
یک توضیح احتمالی برای وجود لایه کم‌سرعت آن است که در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر درجه زمین‌گرایی به دمای شروع ذوب سنگ‌های گوشته نزدیک می‌شود (شکل ۶-۲). در نتیجه سنگ‌ها از حالت جامد و سخت فاصله می‌گیرند و به حالت خمیرسان نزدیک می‌شوند.



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

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

باتوجه به شکل (۵-۲) می‌بینیم که در اعماق حدود ۴۰۰ تا ۶۷۰ کیلومتر نیز افزایش نسبتاً تندی در سرعت امواج دیده می‌شود. براساس مطالعات آزمایشگاهی این تغییرات سرعت را ناشی از تغییر فاز (تغییرات در کانی‌شناسی یا ساختمان بلورین بدون آنکه لزوماً تغییر در ترکیب ایجاد شود) می‌دانند (شکل ۷-۲). در زیر عمق ۶۷۰ کیلومتر فشردگی موجب می‌شود که سرعت امواج لرزه‌ای به آهستگی و به طور تقریباً منظم تا مرز گوشته - هسته افزایش یابد. در این قسمت سنگ‌ها چگال هستند.



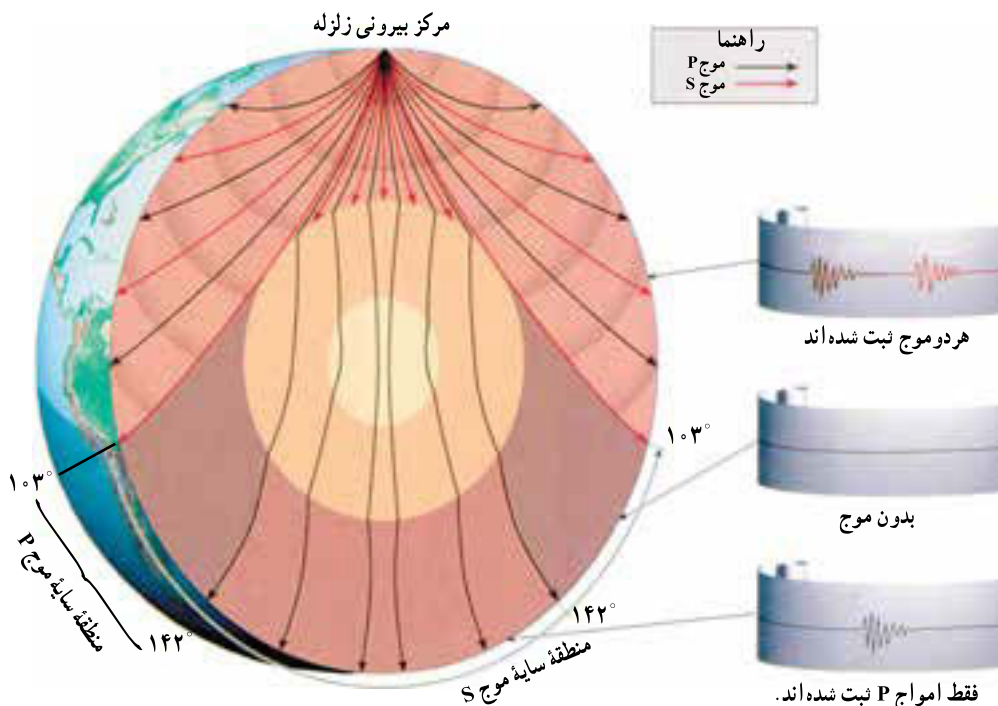
شکل ۷-۲- در داخل گوشته، با افزایش فشار کانی‌ها به شکل فشرده‌تری درمی‌آیند. به طور مثال، کانی الیون در گوشته ساختمان اسپینل را به خود می‌گیرد.

## خصوصیات و ترکیب هسته

هسته از زیر گوشته تا مرکز زمین ادامه دارد. امواج P و S به شدت تحت تأثیر مرزی که در عمق ۲۹۰۰ کیلومتری زمین است قرار می‌گیرند. در این عمق از سرعت موج P شدیداً کاسته شده و موج S حذف می‌شود. مرز بین گوشته و هسته در این عمق قرار دارد.

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

وقتی زمین لرزه بزرگی روی می‌دهد، در فاصله بیش از  $10.3^\circ$  درجه از مرکز سطحی زمین لرزه، امواج S مستقیماً قابل دریافت نیستند. به عبارت دیگر یک «منطقه سایه» برای موج S از حدود  $10.3^\circ$  درجه به بعد در آن سوی زمین ایجاد می‌شود (شکل ۸-۲). بنابراین، باید گفت که یک توده سیال در درون زمین راه عبور امواج S را می‌بندد. این توده سیال، هسته خارجی مایع زمین است. اندازه هسته خارجی با توجه به وسعت منطقه سایه معلوم شده است. هسته خارجی یک منطقه سایه حلقه مانند برای موج P نیز ایجاد می‌کند (شکل ۸-۲). منطقه سایه در نواری حدود  $10.3^\circ$  تا  $142^\circ$  درجه نسبت به مرکز سطحی زمین لرزه گسترده است. منطقه سایه موج P ناشی از شکست امواج P در مرز گوشته-هسته است. چنان‌که گفتیم امواج لرزه‌ای می‌توانند در مرزهای بین لایه‌های با خصوصیات لرزه‌ای متفاوت منعکس شوند. به این ترتیب است که وجود هسته داخلی مشخص شده است، بخشی از امواج P در اثر برخورد با مرز بین هسته داخلی و خارجی منعکس می‌شود و از آنجا که سرعت‌ها در گوشته و هسته خارجی معلوم است، با محاسبه زمان‌های سیر امواج P منعکس شده از هسته داخلی می‌توان عمق این هسته را برآورد نمود.



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

### فکر کنید

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

## میدان مغناطیسی

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

دانش امروزی ما از منشأ میدان مغناطیسی زمین، محصول یافته هایی است که درباره حرکت الکترون ها در اختیار داریم. فیزیکدان ها دریافته اند که با استفاده از جریان الکتریسیته می توان میدان مغناطیسی ایجاد کرد و برعکس با حرکت دادن یک جسم هادی الکتریسیته از درون یک میدان مغناطیسی جریان الکتریکی به وجود آورد. دستگاهی که چنین عملی را انجام می دهد دیناموی خود القا نام دارد.



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

یک دیناموی خودالقا با تحرک خود، الکتریسیته بیشتری حاصل می‌آورد. الکتریسیته هم به نوبه خود، باعث ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تری می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد. زمین را نیز می‌توان به یک دیناموی خودالقای غول‌پیکر تشبیه کرد که حرکت الکترون‌ها در آهن مذاب موجود در هسته خارجی آن مولد میدان مغناطیسی است. زمین، هم در گردش وضعی و هم در حرکت انتقالی خود پیوسته خطوط نیروی مغناطیسی خورشید را قطع می‌کند. حرکت دورانی زمین و همچنین اختلاف دمای هسته داخلی و گوشته سبب ایجاد جریان‌های کنوکسیون در آهن مذاب هسته خارجی می‌شود. از سوی دیگر قطع شدن میدان مغناطیسی خورشید توسط آهن مذاب در حال حرکت جریان الکتریسیته ایجاد می‌کند. این جریان‌ها میدان مغناطیسی زمین را پدید می‌آورند که خود مولد جریان‌های الکتریکی قوی‌تری می‌شود. این جریان‌ها هم به نوبه خود میدان مغناطیسی قوی‌تری را به وجود می‌آورند. **وارونگی مغناطیسی**: میدان مغناطیسی زمین به طور دائم در حال تغییر است. مثلاً موقعیت قطب‌های مغناطیسی زمین نسبت به قطب‌های جغرافیایی آن ثابت نیست و فعلاً، با سرعت  $2^\circ$  درجه در سال، در حال جابه‌جایی است. علاوه بر این میدان مغناطیسی زمین در فواصل زمانی که به طور متوسط نیم میلیون سال طول می‌کشد، ضعیف می‌شود و به تدریج به سمت نابودی می‌رود (از سال  $1830^\circ$  تاکنون، ۶ درصد از قدرت آن کاسته شده است و اگر این روند با همین سرعت ادامه یابد، در حدود  $2000$  سال دیگر به صفر خواهد رسید). اما بعد از نابودی، میدان دوباره شروع به تشکیل می‌کند و اغلب، جهت کنوکسیونی مواد، مخالف جهت قبلی خواهد شد که در این صورت محل قطب‌های مغناطیسی جابه‌جا خواهد شد (وارونگی مغناطیسی). پس می‌توان گفت قطبین مغناطیسی شمال و جنوب زمین در طول تاریخ خود صدها و بلکه هزارها بار جابه‌جا شده‌اند.

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

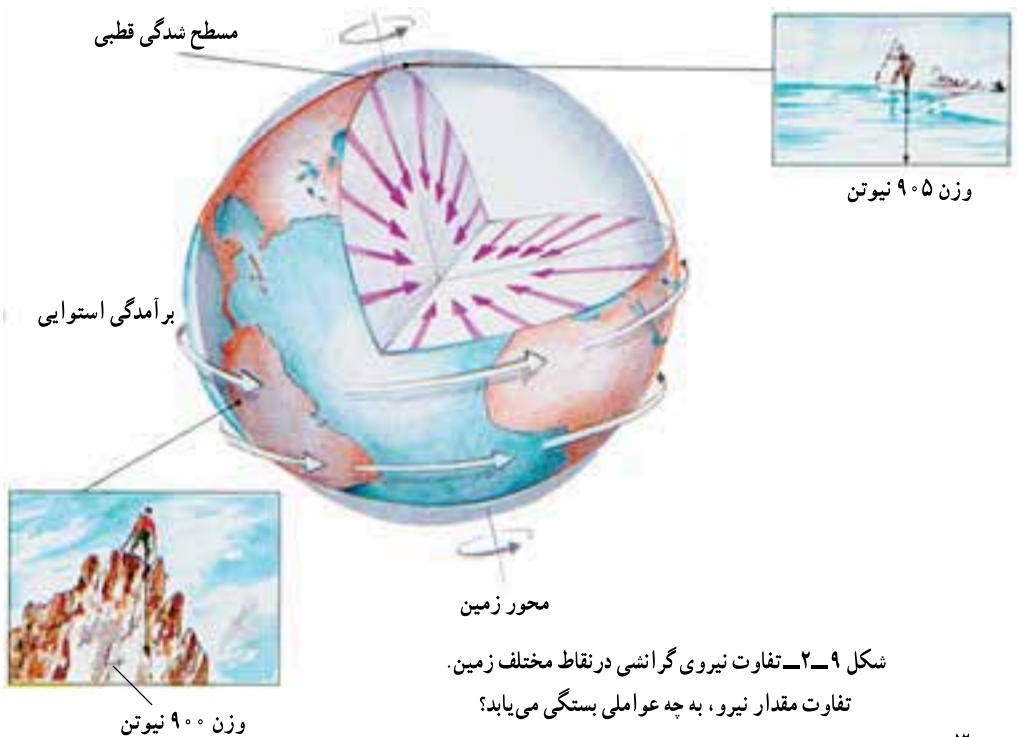
## نیروی گرانشی

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

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

طبق نظر نیوتن در قانون گرانش عمومی، بین دو جسم به جرم  $m$  و  $m'$ ، صرف نظر از جنس آنها، همواره نیروی جاذبه ( $F$ ) وجود دارد. اندازه این نیرو با حاصل ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد. قانون گرانش عمومی را به صورت  $F = G \frac{m \times m'}{R^2}$  می نویسند. ( $G$  ثابت جهانی گرانش و مقدار آن  $6.672 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$  است).

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

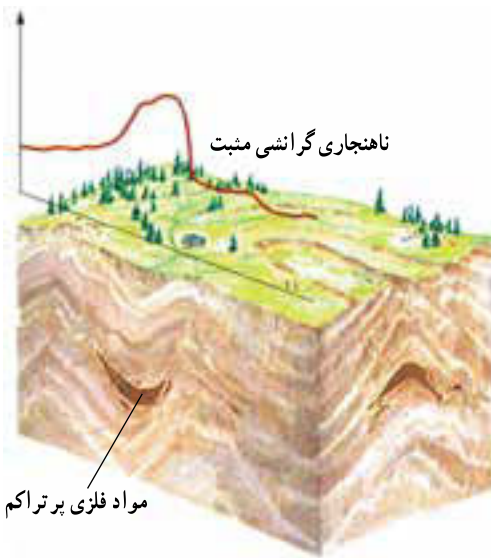


شکل ۹-۲ تفاوت نیروی گرانشی در نقاط مختلف زمین.  
تفاوت مقدار نیرو، به چه عواملی بستگی می یابد؟

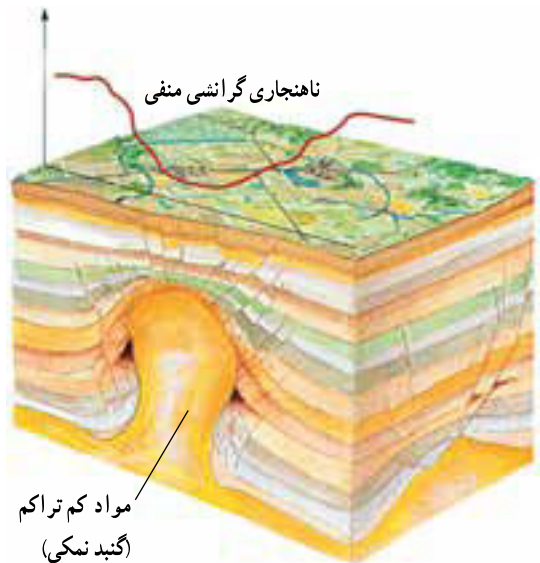
کم یا زیاد شدن شدت گرانش در هر نقطه می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ مواد سازندهٔ زمین در آن نقطه به ما بدهد.

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

باتوجه به شکل‌های 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 ۱-۲-ب - شدت گرانشی مثبت به علت وجود سنگ‌های پرتراکم در زیر پوسته



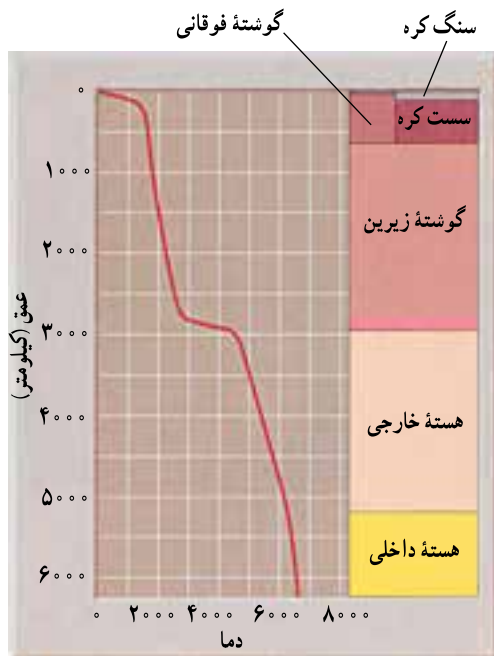
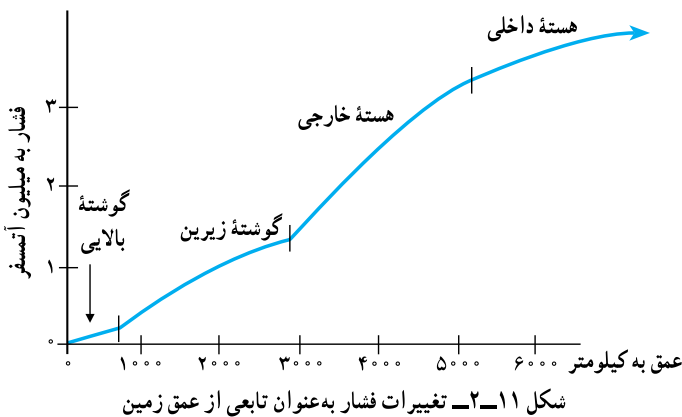
شکل ۱-۲-الف - شدت گرانشی منفی به علت وجود گنبد نمکی کم تراکم در زیر پوسته

### فکر کنید

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

## فشار

فشار درونی زمین نسبتاً به آسانی قابل برآورد است. فشار هر نقطه، در زیر سنگ کره، با توجه به ضخامت و چگالی سنگ‌های فوقانی تعیین می‌شود (در سنگ کره تنش‌های جانبی اضافی بر اثر حرکت ورقه‌ها نیز ایجاد می‌شود). چنان‌که گفتیم چگالی لایه‌های مختلف را می‌توان براساس داده‌های امواج لرزه‌ای به دست آورد. این موضوع امکان محاسبه فشار را به عنوان تابعی از عمق زمین فراهم می‌کند (شکل ۱۱-۲). فشار در مرکز زمین به بیش از ۳/۵ میلیون برابر فشار اتمسفر در سطح زمین می‌رسد.



## دما

دما در پوسته زمین به ازای هر کیلومتر که به عمق برویم حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. که به آن اصطلاحاً شیب زمین‌گرایی می‌گویند. البته برای قسمت‌های عمیق‌تر این روند افزایش، کندتر می‌شود؛ زیرا در غیراین صورت، به طور مثال در عمق ۲۸۰۰ کیلومتری (تقریباً انتهای گوشته) دما باید به ۸۴۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و در ۶۰۰۰ کیلومتری (هسته داخلی) به ۱۸۰۰۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسید، که در

شکل ۱۲-۲- شیب زمین‌گرایی 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 گویسته و هسته باید خیلی کمتر از این مقادیر باشد.

### بیشتر بدانید

تاکنون دانشمندان دمای مرز گویسته - هسته را حدود ۴۶ درجه سانتی‌گراد و دمای مرز هسته خارجی - هسته داخلی را حدود ۶۳ درجه سانتی‌گراد و در مرکز زمین متجاوز از ۶۶ درجه سانتی‌گراد تخمین می‌زده‌اند، اما به‌تازگی زمین‌شناسی به نام دکتر بهلر ترکیبی از آهن و ترکیبات آهن - اکسیژن را در یک محفظه فشارقوی میان دو قطعه الماس تحت فشار ۱/۴ میلیون اتمسفر (معادل فشار مرز گویسته - هسته خارجی) قرار داد و آنها را به وسیله لیزر تا چند هزار درجه سانتی‌گراد حرارت داد و از این آزمایش‌ها نتیجه گرفت که دمای مرز گویسته - هسته حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد است از آنجا که فشار موجود حاکم بر هسته (۳/۳ میلیون اتمسفر در عمق ۵۱ کیلومتری) خارج از توان قطعات الماس برای انجام آزمایش مشابه بود، بهلر نتیجه همان آزمایش را به هسته تعمیم داد؛ لذا طبق محاسبات این دانشمند دمای هسته حدود ۴۶ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد