

زمین ساخت ورقه‌ای



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

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

عقیده‌ای پیشرفته در زمان خود

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



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

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

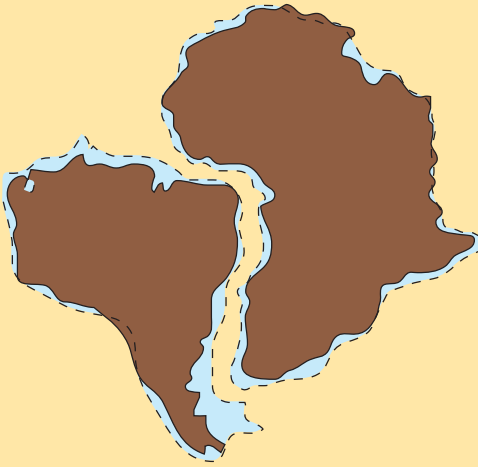
فاصله دو قاره لورازیا و گندوانا را دریایی به نام تتیس (Tethys) پر می کرده است که امروزه دریاهای مدیترانه، خزر و سیاه را بازمانده های آن می دانند.

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

البته، برای اثبات چنین ادعایی، ارائه شواهد مختلفی لازم می آمد که بعضی از آنها در زمان وگنر و برخی دیگر توسط محققان مختلف، در طول سالیان بعد عنوان شده اند. به طور کلی دلایلی که در کتاب وگنر برای درست بودن نظریه جابه جایی قاره ها ارائه شده اند عبارت اند از:

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

فکر کنید

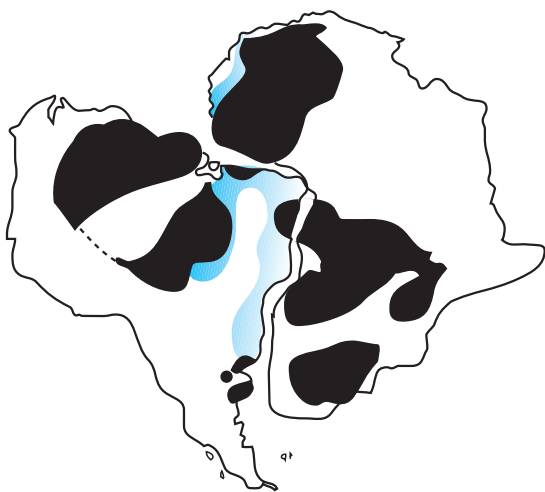


امروزه، که دلایل بیشتر و دقیق‌تری برای نظریه جابه‌جایی قاره‌ها جمع‌آوری شده، محل انطباق حاشیه قاره‌ها را در محل شیب قاره در نظر می‌گیرند، نه خط ساحلی. با توجه به شکل مقابل هم می‌بینید که قاره‌ها در محل خطوط ساحلی کاملاً برهم منطبق نیستند. زمین‌شناسان زمان و گتر نیز به همین صورت ادعای او را نپذیرفتند.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

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



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



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



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

۳- اقسام سنگ‌ها و

شباهت‌های ساختاری: اگر قاره‌ها در گذشته به هم متصل بوده‌اند، قاعدتاً باید سنگ‌هایی مربوط به زمان‌های گذشته که امروز در آنها یافت می‌شود، از لحاظ سن و جنس مشابه باشند. وجود چنین شباهتی میان سنگ‌های شمال غرب آفریقا و شرق برزیل به اثبات رسیده است. تشابه سنگ‌ها طوری است که فقط با فرض متصل بودن قاره‌ها به هم در گذشته‌های بسیار دور قابل توجیه است (شکل ۳-۳).

۴- آب و هوا: در قسمت‌هایی

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

عقاید موافق و مخالف

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

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

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

مغناطیس دیرین

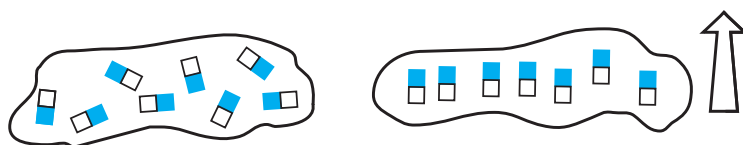


شکل ۵-۳- مقدار زاویه میل مغناطیسی، از صفر (در استوا) تا 90° (در قطب) تغییر می‌کند.

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

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

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

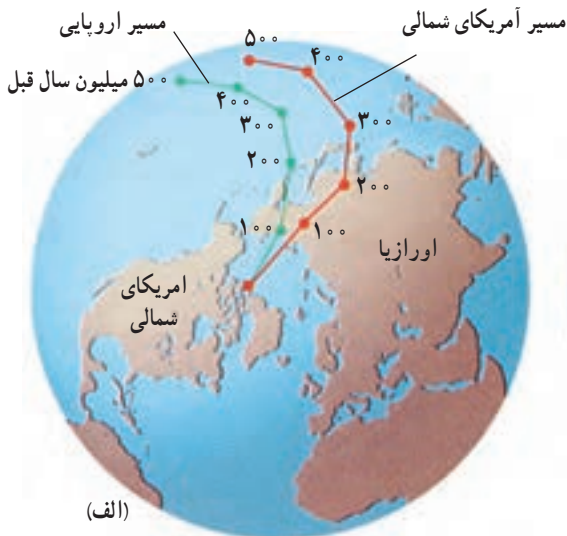


شکل ۳-۶- کانی‌های آهنربایی موجود در گدازه‌ها چگونه می‌توانند جهت میدان مغناطیسی گذشته‌های دور زمین را مشخص کنند؟

فکر کنید

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

مطالعه‌ای که در دهه ۱۹۵۰، در اروپا روی مغناطیس دیرین انجام گرفت، به کشف ارزنده‌ای منجر شد. به این معنا که آرایش دانه‌های مانیئتیت موجود در گدازه‌های زمان‌های مختلف، کاملاً باهم تفاوت داشت. هنگام ترسیم نقشه‌ای برای تعیین محل قطب شمال مغناطیسی در طول ۵۰ میلیون سال گذشته، معلوم شد که محل قطب تدریجاً از نزدیک جزایر هاوایی به سمت شمال حرکت کرده و از شرق سبیری گذشته و سرانجام به محل امروزی خود رسیده است. با این ترتیب، معلوم بود که یا نوعی سرگردانی قطبی در طول زمان وجود داشته، یا آنکه قاره‌ها جابه‌جا شده‌اند. با آنکه قطبین مغناطیسی جای خود را عوض می‌کنند، مطالعه بر روی میدان مغناطیسی زمین نشان می‌دهد که قطبین مغناطیسی تقریباً همیشه در نزدیکی قطبین جغرافیایی قرار می‌گیرند (به همین سبب هم هست که احتمال می‌دهند خاصیت مغناطیسی زمین، حاصل چرخش آن به دور محورش باشد). اگر قطب‌های جغرافیایی سرگردانی قابل ملاحظه‌ای نداشته باشند - که ما نیز به این واقعیت معتقدیم - قطب‌های مغناطیسی هم نباید زیاد جابه‌جا شوند. در این صورت، تنها دلیل سرگردانی قطبی را می‌توان به جابه‌جا شدن قاره‌ها نسبت داد. شواهد بهتری برای سرگردانی قطبی زمانی حاصل شد که زمین‌شناسان امریکایی نیز در صدد برآمدند مطالعه‌ای در این مورد انجام دهند (شکل ۷-۳). با کمال تعجب، میان منحنی حاصل از مطالعات اروپائیان و امریکایی‌ها شباهت زیادی وجود داشت به طوری که بین آن دو فقط معادل ۳ درجه طول جغرافیایی فاصله بود. آیا در گذشته دو قطب شمال مغناطیسی وجود داشته است؟ این احتمال، بسیار ضعیف است



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

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

سر آغاز یک تحول فکری

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

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

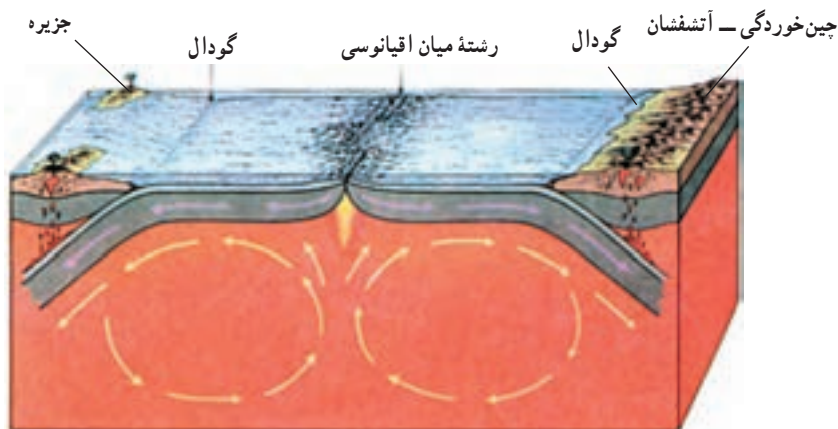
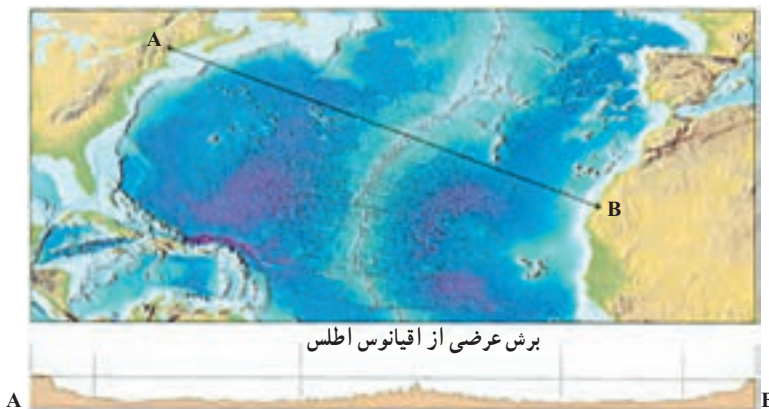
۲- جریان گدازه ها و فعالیت های آتشفشانی در محل رشته کوه میان اقیانوس مشاهده شد.

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

۴- نمونه برداری از سنگ های بستر اقیانوس، در هیچ نقطه سنگ هایی قدیمی تر از ۲۰۰ میلیون سال را نشان نداد. در این صورت، آیا می توان گفت بستر اقیانوس ها می توانند از لحاظ زمین شناسی پدیده های

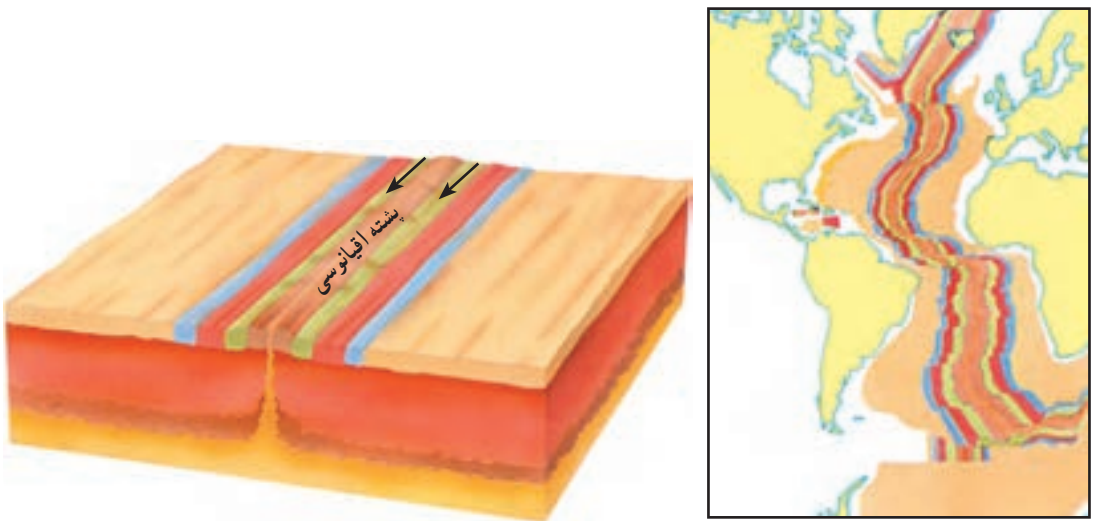
جوانی باشند؟

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



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

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

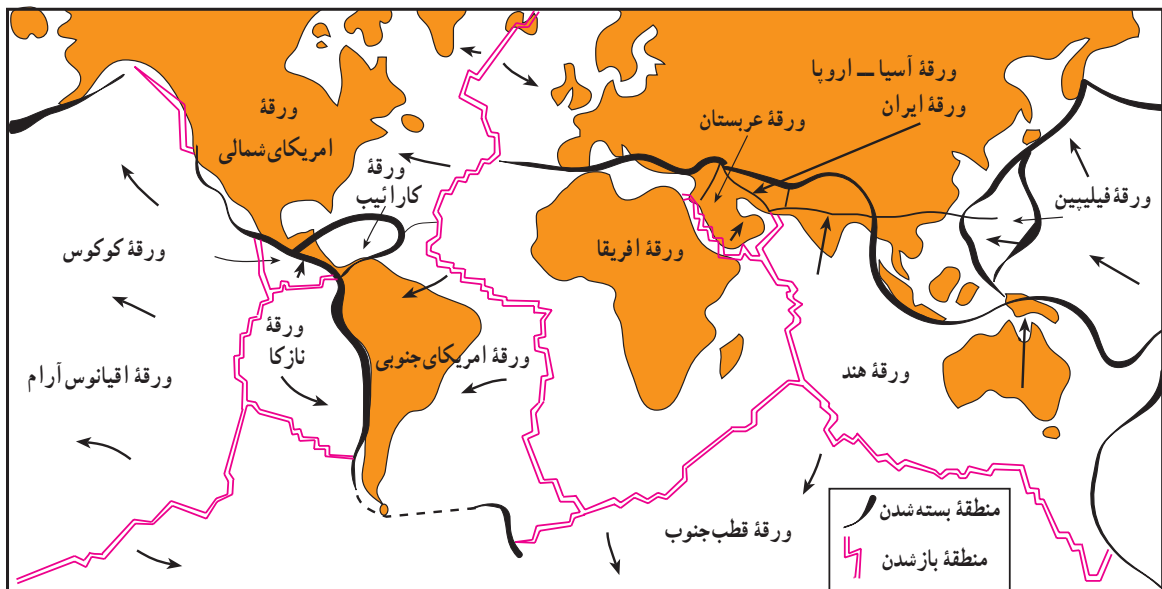


شکل ۹-۳- با توجه به این شکل‌ها، آیا می‌توان گفت که شواهد مغناطیسی، فرضیه گسترش بستر اقیانوس‌ها را تأیید می‌کند؟

نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای

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

براساس نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای، سنگ کره (لیتوسفر) خارجی و جامد شامل ۷ ورقه بزرگ و تعدادی ورقه کوچک‌تر است (شکل ۱۰-۳). در این میان، بزرگ‌ترین ورقه را ورقه اقیانوس آرام تشکیل می‌دهد که در همه جا از آب پوشیده شده است. بقیه ورقه‌های بزرگ، قسمت‌هایی از خشکی و دریا را باهم شامل‌اند. با این ترتیب، دیگر نمی‌توان به نظریه قدیمی جابه‌جا شدن قاره‌ها به تنهایی فکر



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

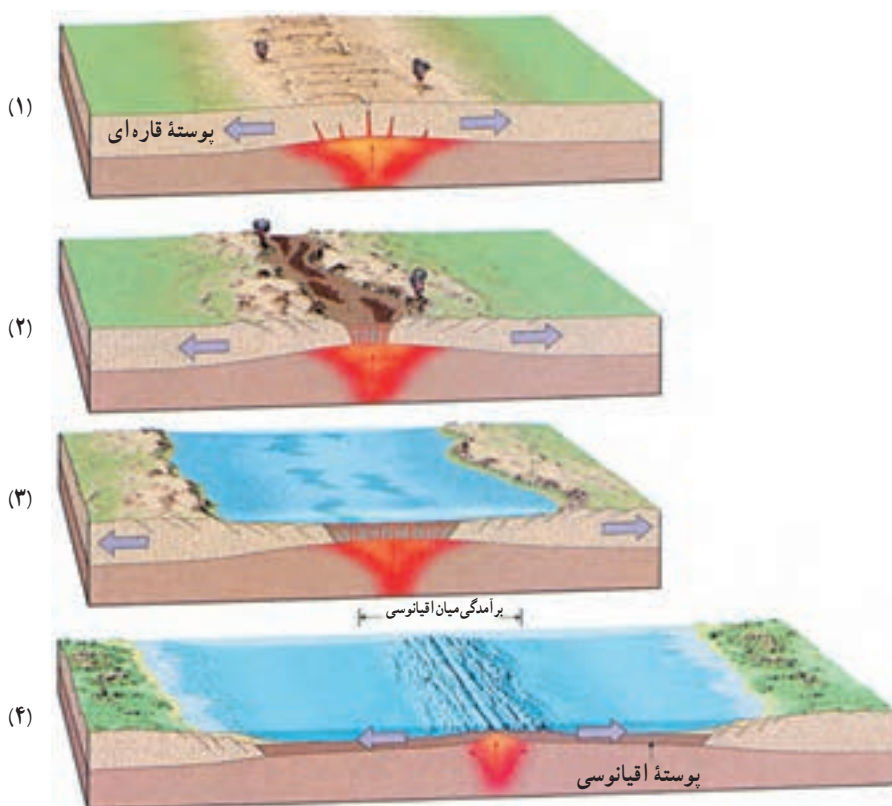
کرد، بلکه باید گفت که بستر اقیانوس نیز همراه قاره‌ها در حرکت است.

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

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

بستر اقیانوس اطلس، در فاصله ۱۶۰ میلیون سال گذشته به همین ترتیب، شکل گرفته است (گسترش بستر اقیانوس‌ها). سرعت متوسط باز شدن بستر دریاها، حدود ۵ سانتی متر در سال است. همین سرعت اندک باعث شده است که بستر اقیانوس‌ها در طول ۲۰۰ میلیون سال اخیر ایجاد شود.

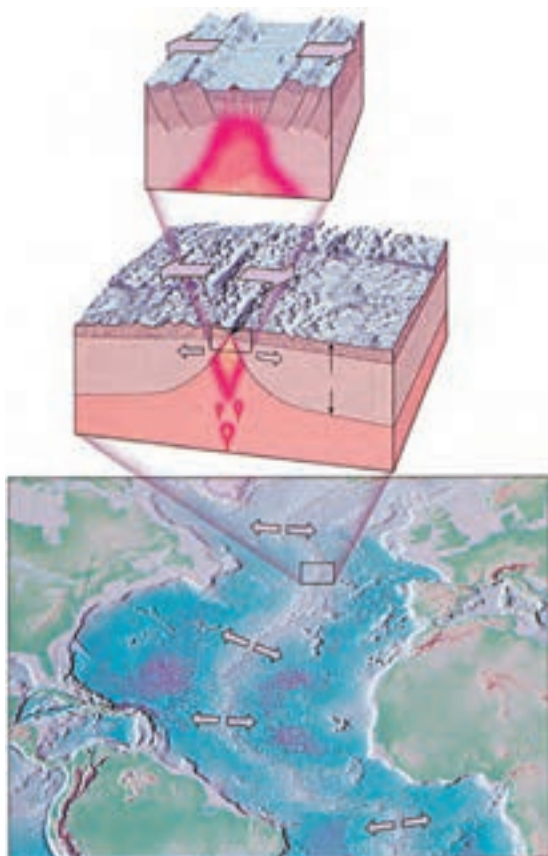
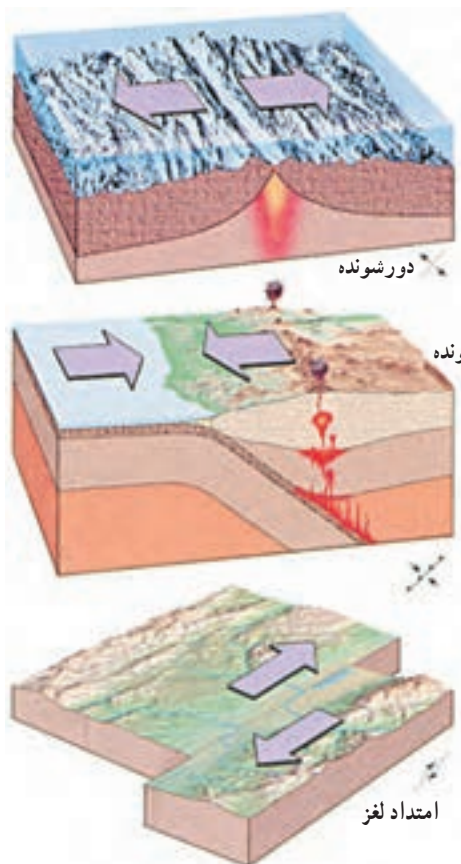
در امتداد حاشیه‌های دورشونده، برآمدگی‌هایی ایجاد شده است که طول مجموعه آنها در اقیانوس‌های جهان، به حدود ۶۰ هزار کیلومتر می‌رسد (شکل ۱۱-۳).



شکل ۱۱-۳ طرز تشکیل اقیانوس جدید درمحل دورشدن ورقه‌ها

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

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

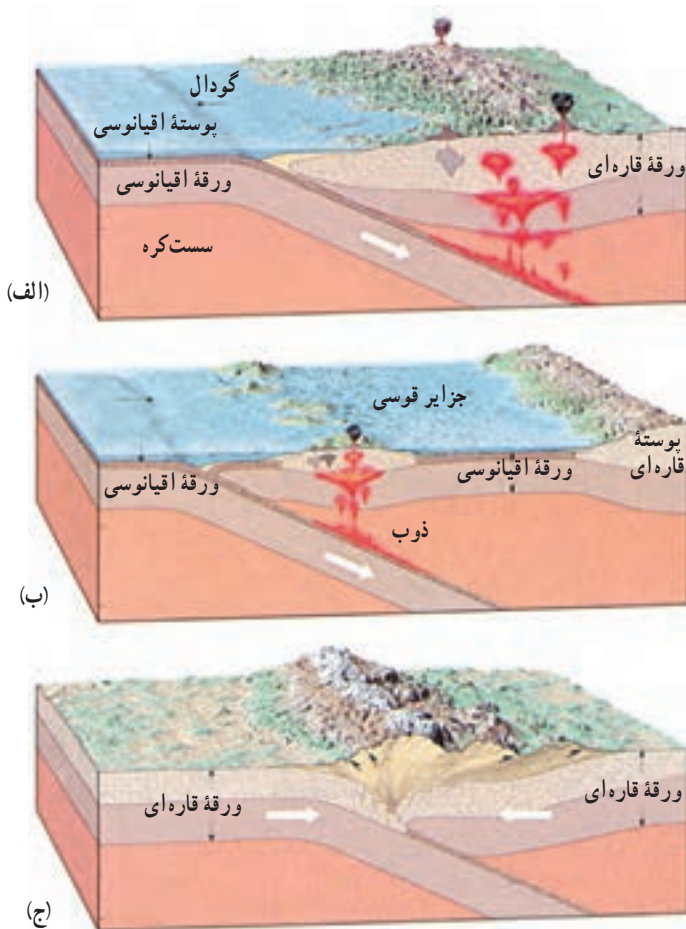


شکل ۱۳-۳ حالت های مختلف حرکت ورقه های سازنده پوسته زمین نسبت به هم. مثال ها را در متن جست و جو کنید.

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

۲- حرکت نزدیک شونده (همگرا): در این محل ها، معمولاً یک ورقه به زیر ورقه دیگر رانده می شود، این نوع مرزها، در محل گودال های عمیق اقیانوسی قرار دارند. بسته به اینکه ورقه های نزدیک شونده از چه نوعی باشند، پدیده حاصل به یکی از صورت های زیر خواهد بود:

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



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

سنگ‌های اطراف محل خود سبک‌ترند. بنابراین، وقتی مقدارشان به اندازه کافی زیاد شد، حرکتی آرام را به سمت بالا درپیش می‌گیرند و در میان لایه‌ها، منجمد و متبلور می‌شوند (سنگ‌های آذرین درونی). مقداری از این ماگما هم ممکن است به سطح زمین برسد و آتشفشان‌هایی از نوع انفجاری را باعث شود (شکل ۱۴-۳ الف).

ب) همگرایی دو ورقه اقیانوسی، یکی به زیر دیگری فرو می‌رود و پدیده آتشفشانی مشابه حالت قبل رخ می‌دهد. اما این بار، محل آتشفشان‌ها در بستر دریاست نه در روی خشکی. اگر فوران این آتشفشانی‌ها ادامه یابد، ممکن است بعد از مدتی جزایر آتشفشانی در دریا پدید آیند که به جزایر قوسی

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

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

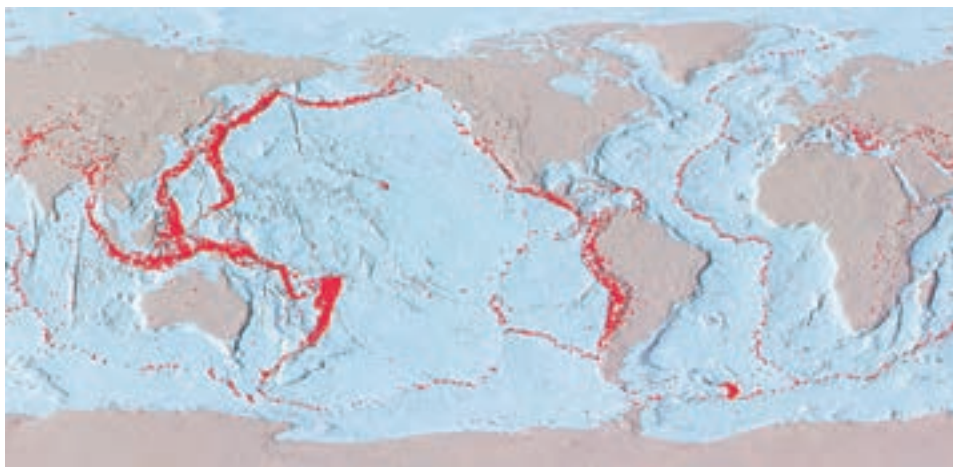
در سال ۱۹۶۵، توزو ویلسون، زمین‌شناس کانادایی با مطالعه این نوع گسل‌های امتداد لغز و بزرگ، کمربندهای فعال زمین را به هم ارتباط داد و برای نخستین بار، ایده وجود ورقه‌های تشکیل دهنده لیتوسفر زمین و مرز آنها را ارائه داد.

آزمون مدل نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای

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

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

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



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

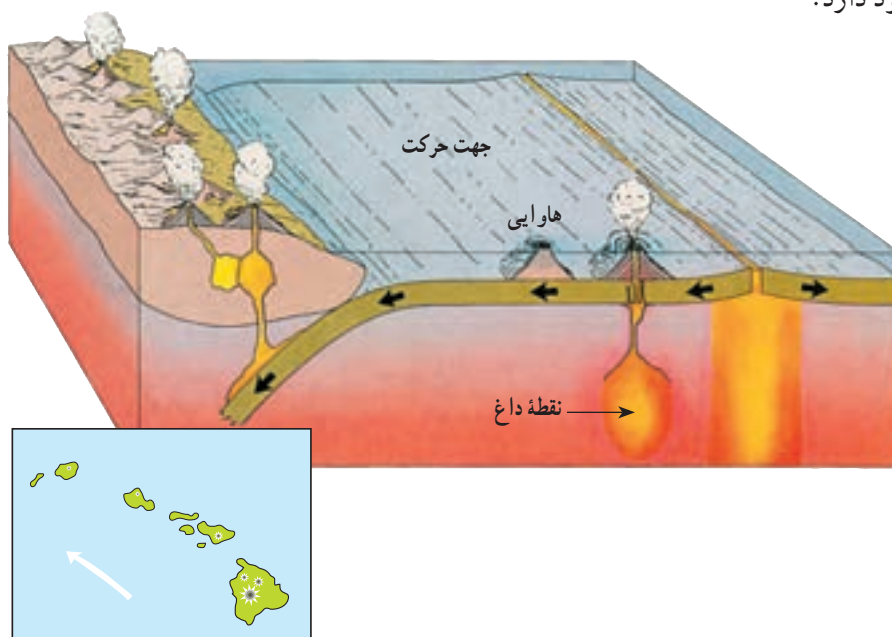
سن حوضه‌های اقیانوسی بود. محققان، با دستیابی مستقیم به نمونه رسوبات نواحی عمیق اقیانوس‌ها توانستند درست بودن فرضیه گسترش بستر اقیانوس‌ها را بیازمایند. در هنگام تعیین سن رسوبات، نمونه‌ها نشان دادند که هرچه از محل رشته کوه‌های میان اقیانوسی دورتر می‌شویم، عمر رسوبات زیادت‌ر می‌شود (این یافته را چگونه تفسیر می‌کنید؟). حداکثر عمری که برای رسوبات قدیمی تعیین شد، ۲۰۰ میلیون سال بود، حال آنکه سن بعضی از سنگ‌های روی قاره‌ها به ۴ میلیارد سال نزدیک است. ضمناً، در محل رشته کوه‌های میان اقیانوسی، رسوبی یافت نمی‌شد.

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

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

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

محققان عقیده دارند که نوعی مخزن در حال بالا آمدن از مواد گوشته، در زیر جزایر هاوایی قرار دارد. ذوب این مواد در هنگام رسیدن به اعماق کم و کاسته شدن از مقدار فشار، باعث پدید آمدن نوعی نقطه داغ می شود. با فرض اینکه صفحه اقیانوس آرام از روی این نقطه عبور می کند، به ترتیب، ساختارهای آتشفشانی حاصل می آیند. عمر هر آتشفشان نیز نشان دهنده زمانی است که آن کوه، در نزدیک نقطه داغ قرار داشته است. ۵ میلیون سال پیش، کائوایی یعنی قدیمی ترین جزایر هاوایی در روی نقطه داغ واقع بود. بنابراین، فقط همان یک آتشفشان که امروزه خاموش است در این محل تشکیل شد (شکل ۱۶-۳). اما امروزه، در جزیره هاوایی، ناظر بیرون آمدن گدازه های جدید از کوه های مونالوا و کیلوا هستیم. جالب آنکه در نقطه ای جنوبی تر واقع در ۳۵ کیلومتری هاوایی، یک جزیره دیگر در آینده به جمع جزایر هاوایی افزوده خواهد شد. در نقاط دیگر اقیانوس آرام هم نظیر همین رشته جزایر وجود دارد.



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

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

عامل‌های حرکت دهنده

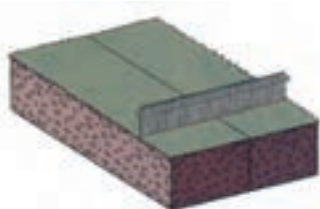
تئوری زمین‌ساخت ورقه‌ای، فقط از حرکت ورقه‌ها و آثار این حرکت بحث می‌کند بدون آنکه از نیرو یا نیروهای دست‌اندرکار در این فرایند صحبتی به میان آورد. در این باره البته، هنوز دلیل قانع‌کننده‌ای ارائه نشده است، اما به احتمال زیاد، توزیع نامساوی گرما در درون زمین باید عامل این حرکت باشد. مثلاً، چنان‌که گفته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

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

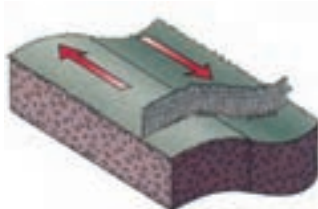
منشأ زمین لرزه

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

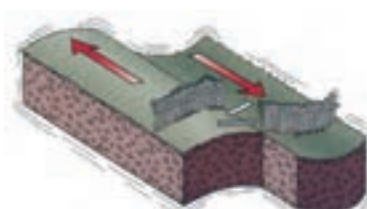
در این موقع انرژی ذخیره شده در سنگ ها، به صورت موج آزاد می شود و به اطراف حرکت می کند با رسیدن به سطح زمین سبب لرزش و تخریب بناها، ریزش کوه ها، ایجاد ترک های عمیق، امواج بزرگ



الف - قبل از وارد شدن نیرو



ب - وارد شدن نیرو و تغییر شکل



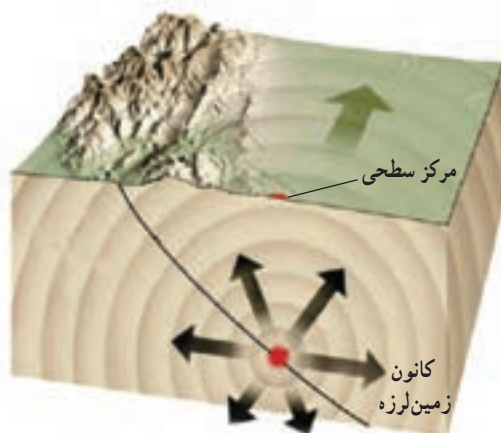
ج - شکستگی و رها شدن انرژی

شکل ۴-۱

در دریاها و پدیده‌های مختلف دیگر می‌شود.

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

باید توجه داشت که در یک زمین‌لرزه، تمام طول گسل جابه‌جا نمی‌شود. در یک زمان ممکن است بخش‌هایی از آن جابه‌جا شود و بخش‌های دیگر مقاومت کند. در ضمن، زمین‌لرزه معمولاً به صورت یک شکست منفرد و ساده سنگ به وجود نمی‌آید، در هر زمین‌لرزه باید از گروه لرزه‌ها صحبت کرد. ابتدا تعدادی زمین‌لرزه خفیف اتفاق می‌افتد که به آنها پیش‌لرزه گویند. سپس حرکت و زمین‌لرزه اصلی به وقوع می‌پیوندد و پس از آن حرکات و زمین‌لرزه‌های خفیف متعادل‌کننده صورت می‌گیرد که به آنها پس‌لرزه گویند.



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

فکر کنید

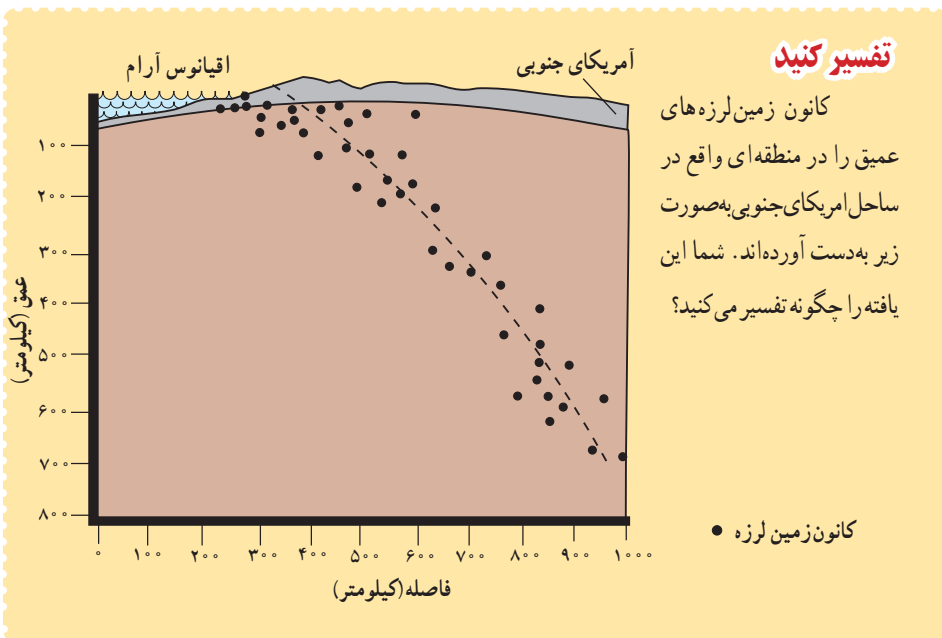
چرا گاهی پس لرزه‌ها، با وجود اینکه اغلب زمین لرزه‌های خفیفی محسوب می‌شوند، با خرابی و تلفات همراه اند؟

کانون و مرکز سطحی زمین لرزه

با وجود اینکه امواج زمین لرزه در صفحه گسل تولید می‌شوند، ولی برای سهولت مطالعه، خاستگاه امواج زمین لرزه را یک نقطه فرض می‌کنند و آن را کانون می‌نامند (شکل ۲-۴).

کانون اغلب زمین لرزه‌ها در اعماق کمتر از ۷۰ کیلومتر قرار دارد، اما کانون تعدادی از آنها هم در اعماق زیاد واقع است که عمق هیچ‌یک، از ۷۰۰ کیلومتر تجاوز نمی‌کند. زمین لرزه‌ها را از نظر عمق کانون می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

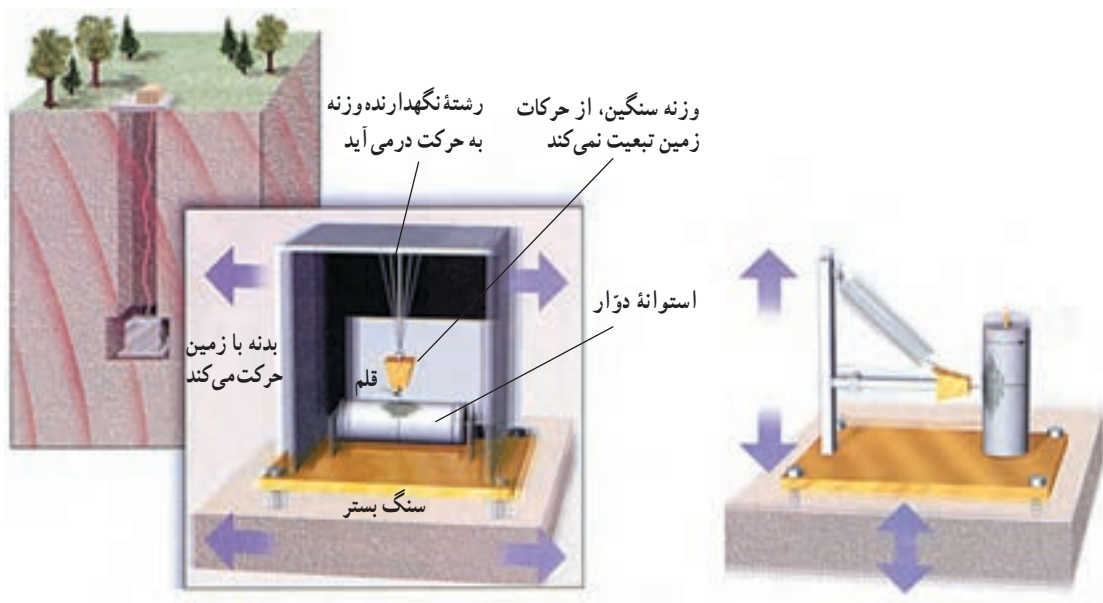
- زمین لرزه‌های کم عمق (عمق کانون کمتر از ۷۰ کیلومتر)
- زمین لرزه‌های با عمق متوسط (عمق کانون بین ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر)
- زمین لرزه‌های عمیق (عمق کانون بیش از ۳۰۰ کیلومتر)



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

ثبت امواج زمین‌لرزه

امواج حاصل از یک زمین‌لرزه توسط دستگاهی موسوم به لرزه‌نگار که در ایستگاه‌های لرزه‌شناسی کار گذاشته شده‌اند، ثبت می‌شود. به‌هنگام برخورد امواج زمین‌لرزه با لرزه‌نگار، قسمتی از دستگاه تقریباً ثابت می‌ماند و بقیه قسمت‌های آن که در ارتباط مستقیم با زمین‌اند، مرتعش می‌شوند. بدین وسیله امواج روی کاغذ، فیلم یا نوار مغناطیسی ثبت می‌شوند (شکل ۳-۴). در یک ایستگاه لرزه‌شناسی حداقل سه دستگاه لرزه‌نگار وجود دارد، که یکی ارتعاشات قائم و دوتای دیگر ارتعاشات افقی (شمالی - جنوبی و شرقی - غربی) را ثبت می‌کنند. مشخصات یک زمین‌لرزه مانند مرکز سطحی، زمان وقوع و عمق کانون را می‌توان با یافته‌های حاصل از چند ایستگاه لرزه‌شناسی محاسبه کرد.



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

امواج زمین لرزه

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

امواج زمین لرزه را با توجه به اینکه از داخل یا سطح زمین عبور کنند به دو دسته امواج درونی و امواج سطحی تقسیم بندی می کنند. امواج درونی (انواع S, P، صفحه ۲۳) در کانون زمین لرزه ایجاد و در درون زمین منتشر می گردند، ولی امواج سطحی بر اثر برخورد امواج درونی با فصل مشترک لایه ها و نیز در سطح زمین تولید می شوند.

امواج سطحی، شکل های گوناگونی دارند، ولی متداول ترین آنها، امواج لاو (Love waves) و امواج ریلی (Rayleigh waves) هستند.

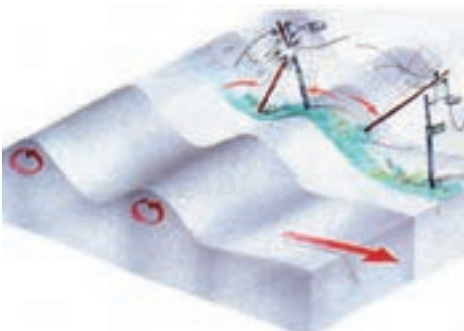
امواج لاو، حرکتی کم و بیش شبیه امواج S دارند، با این تفاوت که ذرات ماده به موازات سطح زمین جابه جا می شوند و هیچ گونه جابه جایی قائم ندارند (شکل ۴-۴-ج).



(ب) نحوه حرکت امواج عرضی (S)



(الف) نحوه حرکت امواج طولی (P)



(د) نحوه حرکت امواج ریلی (R)



(ج) نحوه حرکت امواج لاو (L)

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

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

شدت و بزرگی زمین لرزه

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

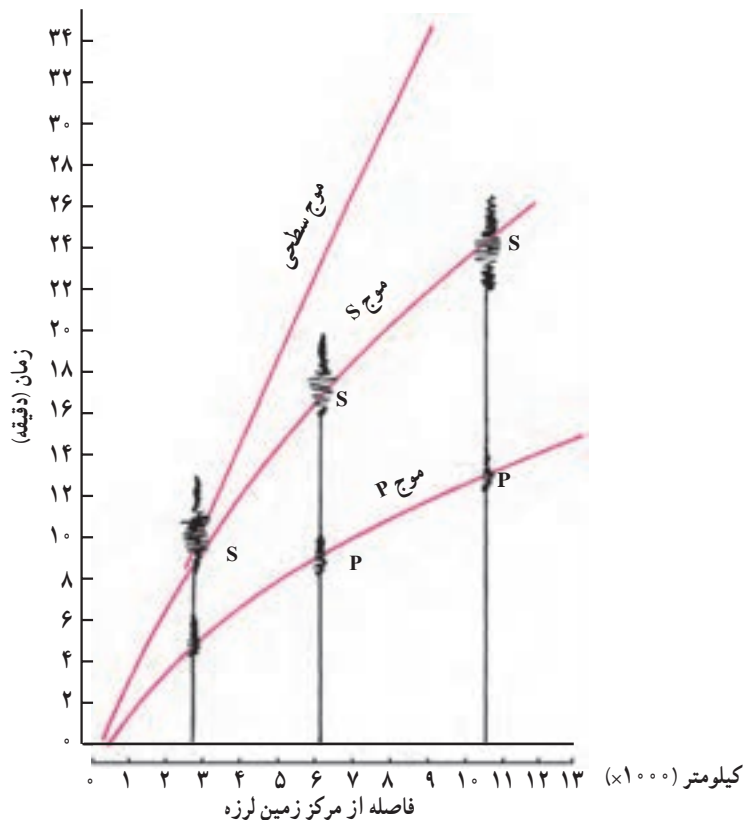
بزرگی (magnitude) زمین لرزه را براساس داده‌هایی که از دستگاه‌های لرزه‌نگار به دست می‌آورند تعیین می‌کنند. بزرگی زمین لرزه به مقدار انرژی که از کانون زمین لرزه آزاد می‌شود وابسته است. هر قدر انرژی آزاد شده توسط یک زمین لرزه زیادتر باشد ارتعاشات ناشی از آن شدیدتر و دامنه نوسانات امواج آن بزرگ‌تر خواهد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

چنان که در بالا اشاره شد بزرگی زمین لرزه را با مقیاس ریشتر (دانشمندی که اولین بار آن را به کار برد) بیان می‌کنند. در این مقیاس اگر دامنه موج 10^0 برابر بزرگ‌تر شود یک درجه بر مقیاس ریشتر

افزوده می‌شود. بزرگی زمین‌لرزه‌ها را معمولاً با یک عدد صحیح و یک رقم اعشاری نشان می‌دهند. مثلاً بزرگی زمین‌لرزه‌ای که در سال ۱۳۶۹ در رودبار اتفاق افتاد $7/4$ درجه در مقیاس ریشتر بود.

تعیین محل زمین‌لرزه

با داشتن اختلاف زمان رسیدن امواج P و S به دستگاه لرزه‌نگار، پیدا کردن مرکز سطحی زمین‌لرزه آسان است. برای این کار اختلاف زمان مزبور را در هر ایستگاه با منحنی ۱-۴ مقایسه و به این ترتیب، فاصله میان ایستگاه لرزه‌نگاری و مرکز سطحی زمین‌لرزه را مشخص می‌کنند. سپس به مرکز ایستگاه لرزه‌نگاری و به شعاع فاصله به دست آمده دایره‌ای رسم می‌کنیم. همین کار را برای حداقل دو ایستگاه لرزه‌نگاری دیگر انجام می‌دهیم. محل تلاقی سه دایره، همان مرکز سطحی زمین‌لرزه است.



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

فکر کنید



چگونه می‌توانیم شکل مقابل توضیح دهیم.
— اگر فقط از یک لرزه‌نگار استفاده کنیم
چه مشکلی در تعیین مرکز سطحی زمین لرزه پیش
می‌آید؟ دو لرزه‌نگار چه اشکالی دارد؟

خرابی‌های حاصل از زمین لرزه

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

تحقیق کنید

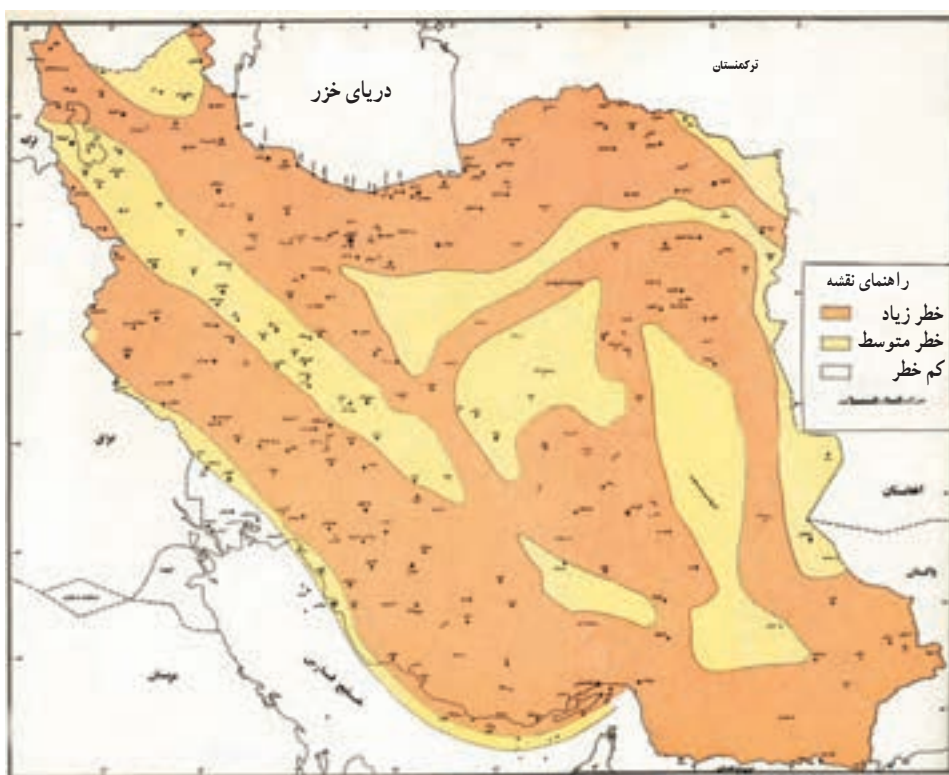
- کدام مصالح ساختمانی و چه شکل‌هایی از ساختمان در برابر زمین لرزه مقاومت بیشتری دارند؟
- پس از وقوع یک زمین لرزه مخرب، چه خطراتی جان افراد سالم را تهدید می‌کند؟
- آیا فعالیت‌های بشری هم ممکن است زمین لرزه ایجاد کند؟

زمین لرزه در کشور ما

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

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

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



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

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

بیشتر بدانید

قبل از وقوع چه باید کرد!

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

هنگام وقوع چه باید کرد؟

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

بعد از وقوع چه باید کرد؟

- مراقب پس لرزه ها باشید.
- دنبال زخمی ها بگردید. افرادی را که زخم شدید دارند، زیاد حرکت ندهید، مگر آنکه در خطر آسیب دیدگی های بعدی باشند.
- رادیو را باز کنید و به پیام ها و راهنمایی ها عمل کنید.
- اگر بوی گاز می آید، پنجره ها را باز کنید و شیر اصلی گاز را ببندید. نشت گاز را به مقامات مربوطه گزارش بدهید. در صورت آسیب دیدگی سیم های برق، کلید اصلی برق را از محل کنتور خاموش کنید.
- اگر لوله های آب صدمه دیده اند، شیر اصلی آب را ببندید.
- لوله های فاضلاب را کنترل کنید، با احتیاط به دودکش ها نزدیک شوید و آنها را از فاصله دور کنترل کنید.

- به سیم های برق افتاده دست نزنید. حتی به اشیایی هم که با این سیم ها تماس دارند، دست نزنید.
- داروها و مواد زیان آور پخش شده را فوراً جمع کنید.
- از ساختمان های آسیب دیده دور شوید؛ زیرا ممکن است پس لرزه ها سبب فرو ریختن آنها شوند.

چیزهای لازمی که باید همیشه در دسترس باشند :

- رادیو و چراغ دستی با باتری های اضافی
- پلکان سبک برای ساختمان های چند طبقه
- جعبه کمک های اولیه با داروها و مواد ضروری و کتاب کمک های اولیه
- دستگاه خاموش کننده آتش و ظرف پر از آب
- آچار قابل تنظیم، کبریت، دربازکن قوطی و پول نقد
- غذاهای کنسرو شده و خشک برای مصرف یک هفته اعضای خانواده
- شماره تلفن پلیس، آتش نشانی و اورژانس
- اجاق گاز قابل حمل (پیک نیک)

مهم ترین علت های آسیب دیدگی در زمین لرزه

- فرو ریختن ساختمان
- شیشه پنجره های شکسته و در حال افتادن
- قطعات انائیه در حال افتادن
- آتش سوزی به علت شکستن لوله های گاز و یا اتصال سیم های برق
- بی آب ماندن به علت شکستن لوله های آب
- سیم های برق افتاده بر روی زمین

آتشفشان‌ها و فرایندهای آتشفشانی



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

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

بیشتر بدانید

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

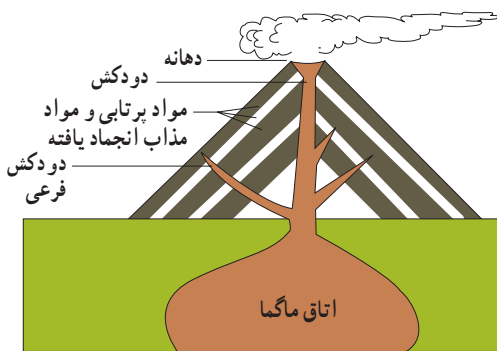
زمین‌های کشاورزی حاصلخیزی که در امریکای مرکزی و جنوبی وجود دارند و در آنها قهوه به عمل می‌آید، محصول خاک‌های مناسب آتشفشانی‌اند. بهترین نمونه این نوع خاک‌های پرارزش را در جزیره جاوه می‌توان یافت. در آنجا، خاک نرم حاصل از خاکستر آتشفشانی، آب را خوب نگه می‌دارد و مواد معدنی چون پتاسیم، کلسیم و سدیم همراه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

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

امروزه مطالعه آتشفشان‌ها از سه نظر برای ما اهمیت دارد :

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

مشخصات یک آتشفشان



شکل ۵-۱- مشخصات یک آتشفشان

به طور کلی آتشفشان‌ها، شکاف‌ها یا سوراخ‌هایی در سطح زمین‌اند که مواد آتشفشانی از آنها بیرون می‌ریزد. اگر مواد آتشفشانی تنها از یک مجرای اصلی بیرون بریزند در اطراف مجرای خروج مخروطی به وجود می‌آورند. در قلّه مخروط عموماً حفره‌ای وجود دارد که به آن دهانه می‌گویند (شکل ۵-۱). قطر دهانه ممکن است از چند متر تا بیشتر از ۱۰۰۰ متر باشد. مثلاً

قطر دهانه مخروط آتشفشان دماوند حدود ۴۰۰ متر است. دهانه معمولاً به وسیله مجرای که دودکش نامیده می‌شود به منبع مواد مذاب که به آن آشیانه یا اتاق ماگما می‌گویند، متصل است. در آشیانه ماگما، مواد مذاب به همراه حباب‌های گاز، قطعه بلورهای در حال رشد و حتی قطعات سنگی کنده شده از کناره آشیانه وجود دارد. در یک آتشفشان ممکن است چند آشیانه و چند دهانه و دودکش فرعی وجود داشته باشد.



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

مواد خروجی از دهانه آتشفشان‌ها

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

گازها: تمام ماگماها مقداری گاز و بخار آب دارند که ممکن است به تنهایی یا همراه مواد مایع و جامد از آتشفشان خارج شوند. سرعت خروج گاز از ماده مذاب بستگی به میزان گرانیوی ماده مذاب دارد به طوری که گازها از مواد مذاب دارای گرانیوی کم با سرعت بیشتری نسبت به مواد مذاب دارای گرانیوی زیاد خارج می‌شوند.

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

ترکیب شیمیایی گازهای خروجی در همه آتشفشان‌ها یکسان نیست و بسیار متفاوت است حتی گازهای خارج شده در مراحل مختلف یک آتشفشان هم باهم متفاوت‌اند. به طور کلی قسمت اعظم گازهای آتشفشانی را بخار آب تشکیل می‌دهد و پس از آن گازهای دی‌اکسید کربن، گازهای گوگردی و گازهای نیتروژن دار اهمیت بیشتری دارند. در درجه بعدی می‌توان از گازهای کلردار، گاز هیدروژن و گاز مونواکسید کربن نام برد.

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

مواد مایع: به ماده مذابی که از دهانه خارج می‌شود و به سطح زمین می‌رسد گدازه گویند. گدازه‌ها بسته به نوع سنگی که ذوب می‌شود و درجه حرارتی که ذوب در آن صورت می‌گیرد ترکیب شیمیایی متفاوتی دارند و دخالت مواد فزّار و به‌ویژه آب، سبب می‌شود که ماگماهایی متفاوت حاصل شود که خروج آنها به همراه ازدست دادن گازها، گدازه‌های مختلف را به وجود آورند. در حالت کلی، گدازه‌ها را به انواع اسیدی، بازی و حد واسط تقسیم می‌کنند. گدازه‌هایی که مقدار فراوانی SiO_2 دارند اسیدی خوانده می‌شوند و با کم شدن مقدار SiO_2 به ترتیب حد واسط و بازی نام می‌گیرند.

مقدار SiO_2 تا حد زیادی تعیین کننده گرانیوی گدازه خارج شده از دهانه آتشفشان است. گدازه‌های اسیدی نسبت به گدازه‌های حد واسط و بازی مقدار بیشتری سیلیسیم و اکسیژن دارند. (شکل ۵-۶) در نتیجه، در این گدازه‌ها، پیوندهای موقت بیشتری بین یون‌ها ایجاد می‌شود که موجب کاهش تحرک یونی در گدازه و گرانیوی بیشتر گدازه‌های اسیدی نسبت به گدازه‌های حد واسط می‌شوند. به همین ترتیب گدازه‌های حد واسط نیز گرانیوی بیشتری نسبت به گدازه‌های بازی دارند.

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

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

ذراتی با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر را خاکستر و ذراتی با قطر بین ۲ تا ۳۲ میلی‌متر را لاپیلی و قطعاتی بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر را قطعه سنگ و اگر دوکی شکل باشند بمب می‌نامند (شکل ۳-۵-الف). بازگشت تدریجی تفراها به زمین و ته‌نشست آنها در خشکی یا آب حالتی لایه‌لایه به آنها می‌دهد. از به هم چسبیدن و سخت شدن این ذرات گروهی از سنگ‌های آشفشانی به نام سنگ‌های آذر آواری ایجاد می‌شوند. این سنگ‌ها برخلاف سایر سنگ‌های آذرین عمدتاً غیر متبلورند و مانند سنگ‌های رسوبی، از روی اندازه ذراتشان دسته‌بندی می‌شوند.



ج) گازهای مختلف و تفرا



الف) مواد جامد (بمب‌های آتش‌فشانی)



ب) گدازه‌های خمیری

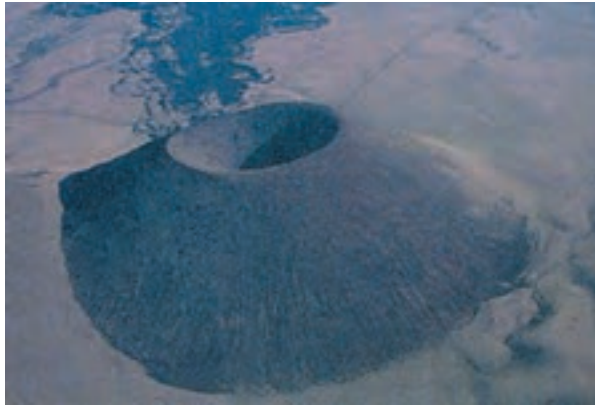
شکل ۳-۵- مواد مختلفی که از دهانه آتش‌فشان خارج می‌شوند.

بیشتر بدانید

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

فکر کنید

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



شکل ۴-۵- مخروط آتشفشان



شکل ۵-۵- مخروط آتشفشان دماوند



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

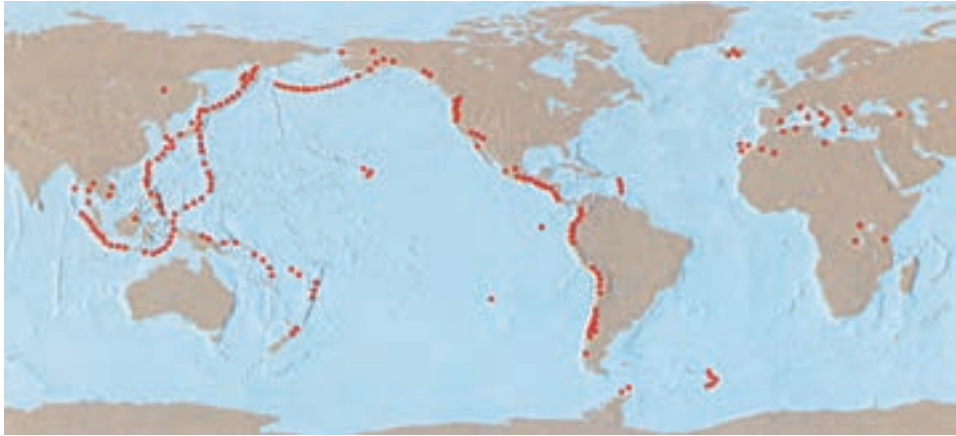
بیشتر بدانید

در روز ۸ ماه مه ۱۹۰۲ در ساعت ۸ و ۲ دقیقه کوه پله واقع در جزیره مارتینیک در اقیانوس اطلس شروع به فعالیت کرد و در ساعت ۸ و ۳ دقیقه فعالیت آن خاتمه یافت. در مدت یک دقیقه کوه با انرژی ۶۰۰ برابر بمب اتمی که در سال ۱۹۴۵ هیروشیما را ویران کرد منفجر شد و از محل تخریب، ابر سوزانی با دمای بیش از ۴۰۰ درجه سانتی گراد خارج شد و با سرعت ۵۴۰ کیلومتر در ساعت در مدت یک دقیقه به شهر سن پیر واقع در هشت کیلومتری محل آتشفشان رسید و ۳۰۰۰۰ نفر را کشت. فوران های شدید آتشفشانی و اثرات بعدی آنها، جزو حوادث مهم تاریخ زمین محسوب می شود. مثلاً، دریکی از جزایر غیرمسکونی اندونزی به نام کراکاتوا، در یکی از روزهای تابستان سال ۱۸۸۳، آتشفشانی که متجاوز از دو قرن غیرفعال بود، یک باره منفجر شد و جزیره را از میان برد. امواجی به ارتفاع ۲۷ متر که در نتیجه این حادثه پدید آمد، حدود ۱۰۰ هزار نفر ساکنان دهکده های ساحلی جزایر اطراف را غرق کرد.

قدرت فوران کراکاتوا را معادل انرژی یک صد میلیون تن TNT در نظر می گیرند. گازها و غبارهای حاصل از این آتشفشان که وارد جو شدند، به همه جای زمین رسیدند و تغییرات آب و هوایی به وجود آوردند. صدای انفجار، از فاصله ۴۸۰۰ کیلومتری، در قسمت های مرکزی استرالیا شنیده شد. حاصل انفجار، ایجاد ابر سیاهی بود که تا ارتفاع ۸۰ کیلومتری به آسمان رفت و جلوی نور خورشید را گرفت و مناطقی را تا سه روز در تاریکی فروبرد. ذرات موجود در این ابر، که توسط بادهای مختلف پخش شدند، سبب کاهش تأثیر گرمای خورشید و یک درجه کاهش هوای عمومی کره زمین شدند.

جغرافیای آتشفشان‌ها

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

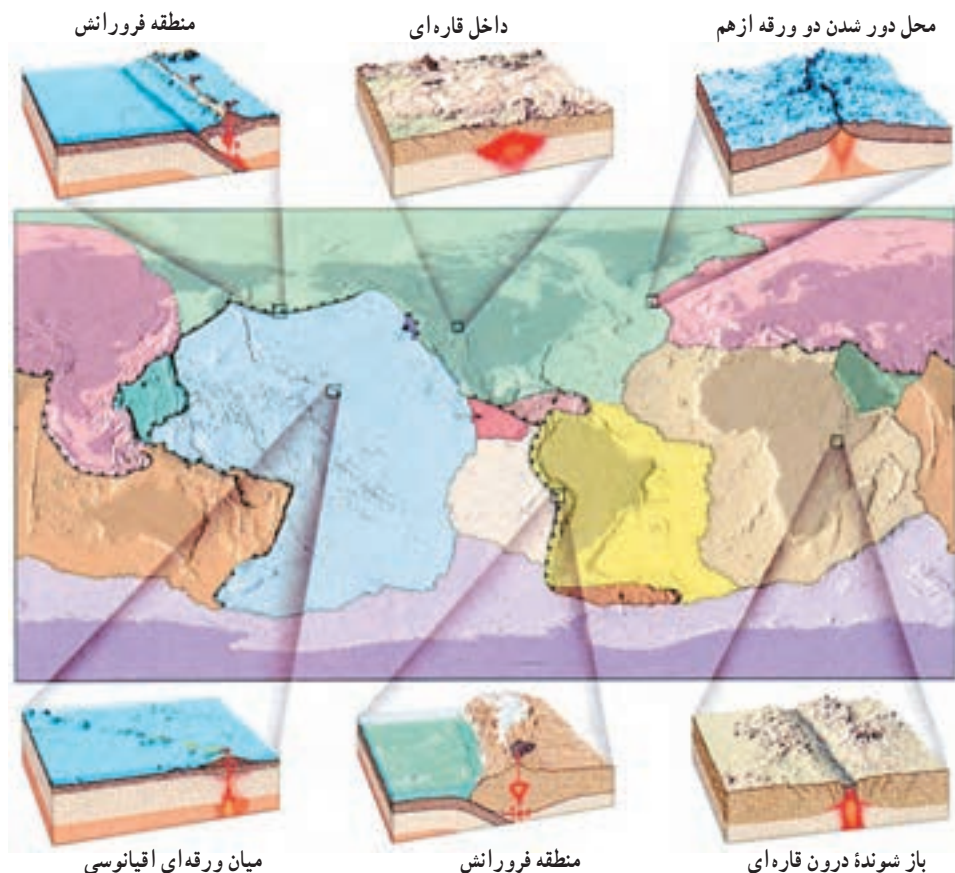


شکل ۵-۷ - موقعیت بعضی از مهم ترین کوه‌های آتشفشانی زمین

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

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

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



شکل ۵-۸- موقعیت‌های آتشفشانی مختلف در روی زمین

خارج می‌شوند. آتشفشان‌های هاوایی در این دسته جای می‌گیرند. برای پیدایش این قبیل آتشفشان‌ها فرض می‌شود که در داخل گویسته، نقاطی بسیار گرم (نقطه داغ) وجود دارد که سبب ذوب سنگ‌های عمقی می‌شود و آتشفشان‌هایی مانند جزایر هاوایی را به وجود می‌آورد. حرکت ورقه در بالای نقطه داغ باعث می‌شود که محل فعالیت آتشفشانی در زمان‌های مختلف تغییر کند و به همین دلیل در این مناطق تعدادی کوه آتشفشان با سن‌های مختلف به وجود آید، به طوری که همیشه قدیمی‌ترین آتشفشان فاصله زیادتری نسبت به نقطه داغ پیدا می‌کند و جدیدترین آتشفشان روی نقطه داغ قرار می‌گیرد (شکل ۱۶-۳).

خطرات آتشفشان‌ها

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

جریان‌های عظیم گِل و امواج حاصل از آتشفشان‌های دریایی می‌توانند زیان‌های جانی و مالی زیادی را به همراه بیاورند. خوشبختانه پیشرفت‌های اخیر در دانش لرزه‌شناسی و بهبود روش‌های اندازه‌گیری حرکات زمین قبل از وقوع آتشفشان این امکان را به وجود آورده که با جابه‌جا کردن مردم از منطقه خطر و همچنین جلوگیری از احداث ساختمان‌های جدید در نقاط خطرناک و حفر کانال‌هایی برای هدایت جریان‌های احتمالی گدازه و دور کردن آن از نواحی مسکونی خطرات ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی به حداقل برسد.

فکر کنید

چرا کاهش خطرات آتشفشان‌ها به مراتب آسان‌تر از کاهش خطر زمین‌لرزه‌هاست؟

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

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

البته، هنوز به طور قطع نمی‌دانیم آیا فعالیت‌های آتشفشانی، چنان تأثیری را در آب‌وهوا باقی می‌گذارند یا نه؛ این موضوع، نیاز به شواهد و بررسی‌های بیشتری دارد.

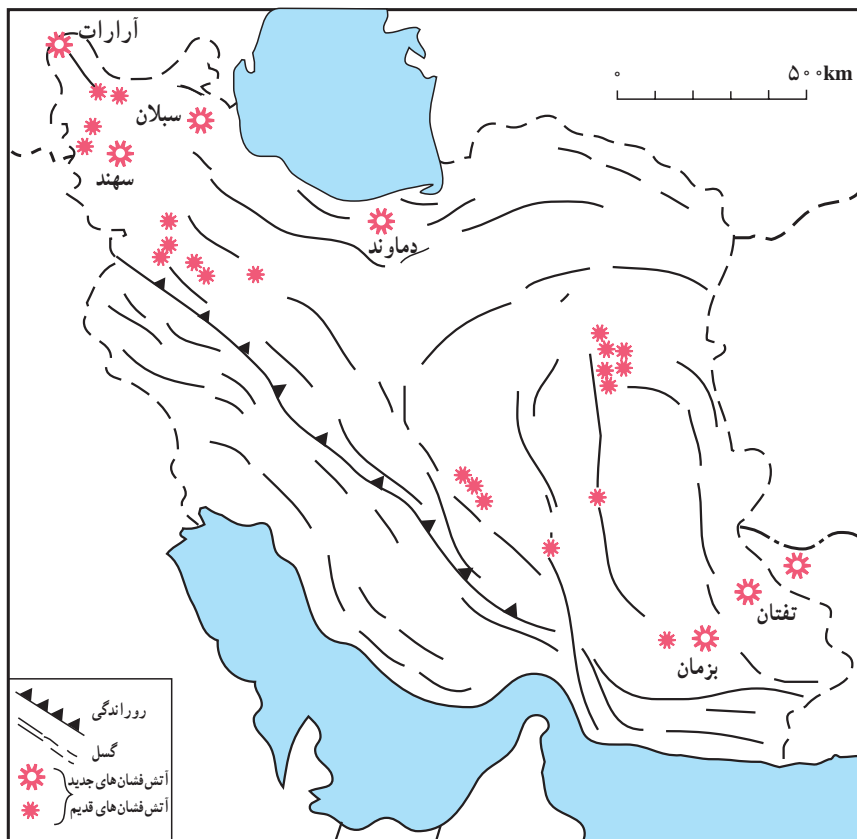
استفاده از آتشفشان‌ها

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

آتشفشانی‌های زیردریایی، تولید موادی که اغلب در اثر هوازدگی به خاک کشاورزی مرغوب تبدیل می‌شوند و برجای گذاردن برخی کانسارها را می‌توان از فواید آتشفشان دانست. شاید مهم‌ترین کمک فرایندهای آتشفشانی این باشد که پنجره‌ای به درون زمین باز کرده و نحوه عملکرد بعضی از فرایندهای درونی این کره را برای ما روشن ساخته است.

فعالیت‌های آتشفشانی در ایران

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



شکل ۹-۵- محل گسل‌ها و آتشفشان‌های مهم ایران

ساختهای تکتونیکی و کوهزایی



مجموعه فرایندهایی را که سبب تغییر شکل فیزیکی و تغییر در ساخت اولیه سنگ‌ها می‌شود، فرایندهای ساختمانی گویند. فرایندهای ساختمانی باعث ایجاد ساخت‌های جدید (ساخت ثانویه) و متنوعی در پوسته زمین می‌شوند. بخشی از علم زمین‌شناسی که ساخت‌های حاصل از تغییر شکل سنگ‌ها را در ارتباط با فرایندهای ایجادکننده آنها بررسی می‌کند تکتونیک یا زمین‌ساخت می‌نامند. فشار و دما که از عوامل اصلی دگرگونی‌اند، در فرایندهای ساختمانی نیز اهمیت اساسی دارند. مدت زمان وارد شدن فشار، عامل سوم مؤثر در فرایندهای ساختمانی است. بنابراین، در فرایندهای ساختمانی همواره اثر عوامل سه‌گانه فشار، دما و زمان بررسی می‌شود. چون طرز اثر این عوامل عموماً به‌طور مستقیم در طبیعت قابل مشاهده نیست، آن‌را با مدل‌هایی کم‌وبیش مشابه با حالات طبیعی در آزمایشگاه بررسی می‌کنند.

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

ساخت‌های اولیه

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

در یک محیط رسوبی مواد رسوبی به‌صورت لایه‌های موازی بر روی هم ته‌نشین می‌شوند و پس از سخت شدن این لایه‌ها، سنگ‌های رسوبی ایجاد می‌شوند. هر لایه یا طبقه، جسم ورقه‌مانندی است



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

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

فکر کنید

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

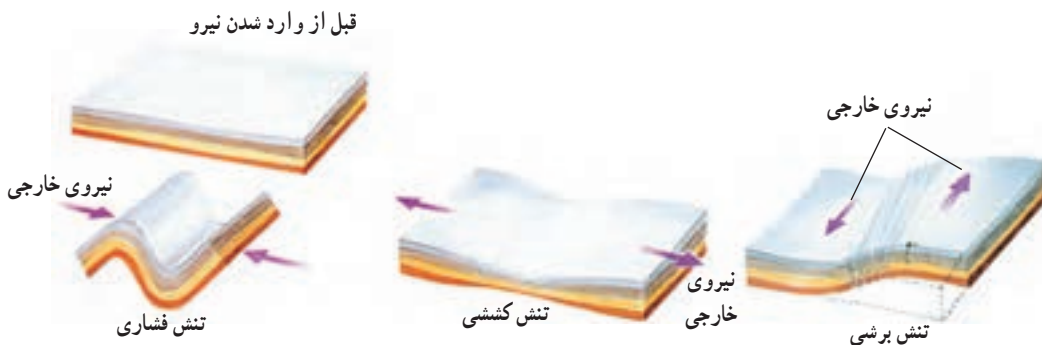
ساخت‌های ثانویه

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

تنش

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

تنش‌های ایجاد شده در سنگ به یکی از سه صورت فشاری، کششی یا برشی‌اند. نیروهای خارجی که به سمت هم عمل نمایند در داخل سنگ تنش‌های فشاری ایجاد می‌کنند، در جایی که نیروهای خارجی از هم دور شوند باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌شوند و وقتی جسمی تحت تأثیر نیروهای برشی قرار گیرد (مشابه حرکت لبه‌های قیچی) در مقاطع آن تنش‌های برشی به وجود می‌آید (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶

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

فکر کنید

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

می آورد؟

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

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

شکستگی	خمیری	
		<p>– سنگ در اعماق زمین قرار دارد.</p> <p>– سنگ در روی زمین قرار دارد.</p> <p>– سنگ در محل بسیار گرمی قرار دارد.</p> <p>– تنش به‌طور ناگهانی به سنگ وارد می‌شود.</p> <p>– تنش در مدت زمان طولانی و به آرامی به سنگ وارد می‌شود.</p> <p>– سنگ آبدار است.</p> <p>– سنگ خشک است.</p>

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

انواع چین

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



شکل ۳-۶ – انواع چین

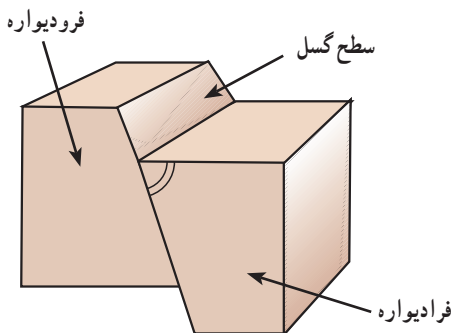
شکستگی‌ها

شکستگی‌ها، ساخت‌های ثانویه‌ای هستند که به دو صورت درز و گسل نمایان می‌شوند. درزها و گسل‌ها در مطالعات زمین‌شناسی اهمیت ویژه‌ای دارند. به‌هنگام ساختن جاده‌ها، سدها، تونل‌ها و سایر سازه‌های مهندسی، آگاهی از وضعیت درزها و گسل‌ها بسیار حائز اهمیت است. از نظر تجمع آب زیرزمینی و ذخایر نفت و گاز نیز درزها و گسل‌ها اهمیت دارند و در تشکیل کانسارهای گرمایی عامل مهمی به حساب می‌آیند.

درز: به نوعی شکستگی گفته می‌شود که، سنگ‌های دو طرف سطح درز نسبت به هم جابه‌جا نشده باشند (شکل ۴-۶). درزها را از نظرهای مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. اگر موقعیت صفحه درز را نسبت به سطح افق در نظر بگیریم، می‌توان آنها را به انواع قائم، افقی و مایل تقسیم‌بندی کرد.



شکل ۴-۶- نمایی از درزه که با ایجاد شکستگی در سنگ آشکار شده است



شکل ۵-۶- مشخصات گسل

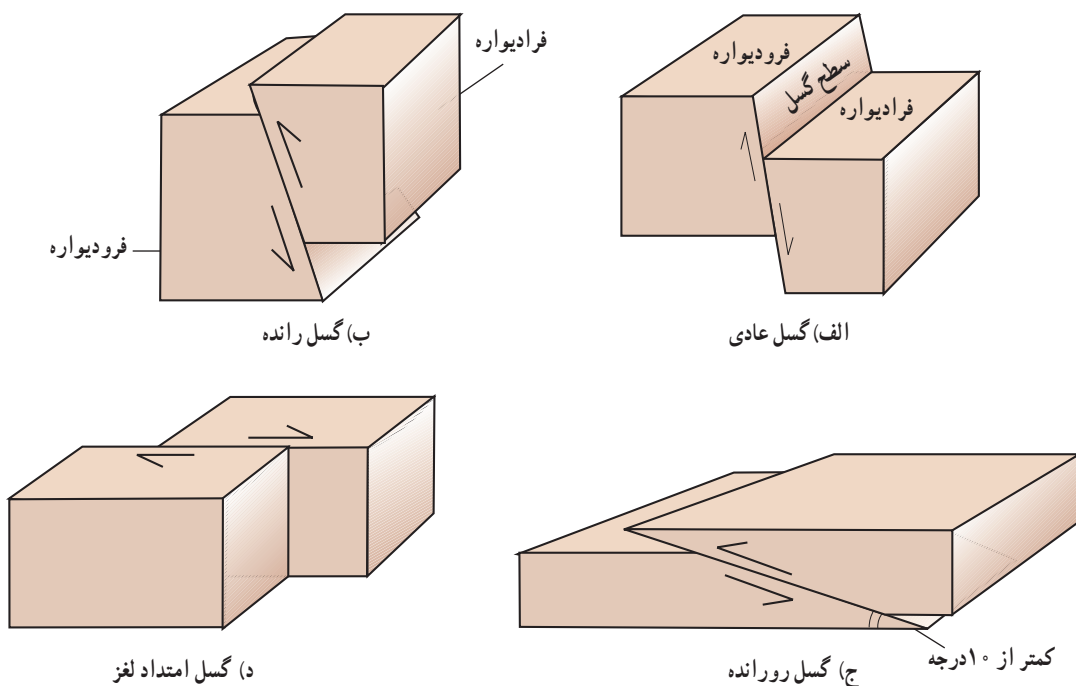
گسل‌ها: گسل‌ها شکستگی‌هایی هستند که در آن، سنگ‌های طرفین شکستگی نسبت به هم لغزش پیدا کرده‌اند. مقدار لغزش از حدود یک سانتی‌متر تا چند کیلومتر تغییر می‌کند (شکل ۵-۶).

سطح گسل : سطحی که شکستگی و جابه جایی در امتداد آن اتفاق افتاده است سطح گسل نام دارد. سطح گسل ممکن است قائم، مایل و یا افقی باشد. در گسل هایی که سطح گسل مایل است طبقات روی سطح گسل را فرادیواره و طبقات سنگی زیر سطح گسل را فرودیواره می نامند.

انواع گسل

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

در صورتی که فرادیواره نسبت به فرودیواره به سمت بالا یا فرودیواره نسبت به فرادیواره به سمت پایین حرکت کرده باشد، گسل را رانده یا معکوس گویند (شکل ۶-۶-ب). اگر در گسل های رانده مقدار جابه جایی بیش از یک کیلومتر و زاویه سطح گسل کمتر از 10° درجه باشد، گسل را رورانندگی یا رورانده گویند (شکل ۶-۶-ج). گاهی بر اثر تنش برشی، لغزش سنگ ها در امتداد سطح گسل اتفاق می افتد، در این صورت گسل را امتداد لغز گویند (شکل ۶-۶-د).



شکل ۶-۶- اقسام گسل ساده

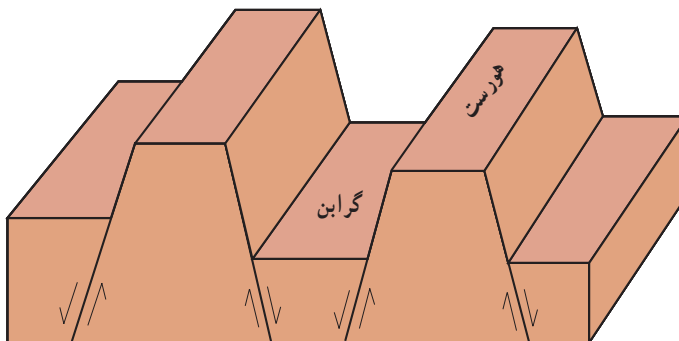


شکل ۶-۷ الف - گسل عادی



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

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



شکل ۶-۸ - گراین و هورست