



آموزشی

سوزان لایونز

مترجم: منیژه رهبر

آشنایی با س

کلید واژه‌ها: سنگ سپهر، مرز صفحه‌ی همگرا و واگرا، زمین لرزه، گسل، تفتال، توانش اقیانوس، تکتونیک صفحه‌ای، منطقه‌ی فرورانش، مرز صفحه‌ی تراسیسی، سونامی.

مقدمه: کشور ما در منطقه زلزله‌خیز قرار دارد و همواره شاهد

زمین لرزه‌هایی با شدت‌های مختلف در نقاط مختلف آن هستیم. در گذشته زمین لرزه در سراسر جهان باعث تلفات و خرابی سنگین می‌شد. اما اکنون آگاهی از چگونگی وقوع زمین لرزه و اقدامات لازم در جهت مقابله با آن باعث شده که حتی زلزله‌های بسیار شدید، مانند زمین لرزه‌ای که اخیراً با شدت بیش از ۷ ریشتر در کشور نیوزیلند رخ داد، به‌رغم تخریب تلفاتی نداشته باشد. برای درک چگونگی وقوع زلزله شناخت ساختار لایه‌های مختلف زمین، و حرکت آن‌ها نسبت به یکدیگر ضروری است. نظریه‌ی مورد استفاده در این مورد نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای است که سبب تحولی عظیم در علم زمین‌شناسی شده است. امید است آشنایی خوانندگان با چگونگی روی دادن زمین لرزه باعث شود تا اقدام‌های لازم جهت مقابله با آن را در ساختمان‌سازی و غیره انجام دهند و کشور ما نیز در هنگام وقوع زمین لرزه تلفات چندانی نداشته باشد.

تکتونیک صفحه‌ای

تکتونیک صفحه‌ای نظریه‌ای است که تغییرات چشمگیر در سطح زمین را توصیف می‌کند. اهمیت این نظریه در زمین‌شناسی مانند نظریه‌ی تکامل در زیست‌شناسی است.

طبق نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای پوسته‌ی خارجی و سخت زمین، سنگ سپهر^۱، از هشت بخش بزرگ و تعدادی بخش‌های کوچک‌تر تشکیل شده است. هر بخش از سنگ سپهر یک صفحه تکتونیک^۲ یا صرفاً یک صفحه خوانده می‌شود (شکل ۱). ضخامت این صفحه‌ها به ۱۰۰ km هم می‌رسد.

صفحه‌های تکتونیک که تیغه‌هایی از سنگ سپهر هستند، بیرونی‌ترین بخش گوشته و پوسته را تشکیل می‌دهند. صفحه‌ها روی سست سپهر^۳ پلاستیکی زیرین قرار دارند. برخی صفحه‌ها بزرگ و صفحه‌های دیگر کوچک هستند. بعضی تقریباً بی حرکت، و برخی دیگر فعال‌ترند. توجه کنید که این صفحه‌ها بر روی سطح زمین تکان می‌خورند. قاره‌ها از این رو حرکت می‌کنند که در این صفحه‌ها جای گرفته‌اند. آنچه روی زمین به این سو و آن سو کشیده می‌شود صفحه‌های تکتونیک است نه صرفاً قاره‌ها.

مرزهای قاره‌ها و صفحه‌ها یکسان نیست. مثلاً، صفحه‌ی آمریکای شمالی بسیار بزرگ‌تر از قاره‌ی آمریکای شمالی است. بخش غربی صفحه‌ی آمریکای شمالی تقریباً در امتداد ساحل غربی این قاره است، اما بخش شرقی آن تا وسط اقیانوس اطلس و پشته‌ی^۴ اطلس میانی کشیده شده است.

صفحه‌های زمین با سرعت‌هایی که از ۲ cm تا ۱۵ cm در سال تغییر می‌کند در جهت‌های مختلف حرکت می‌کنند. صفحه‌های حامل قاره‌ها، مانند صفحه‌ی آمریکای شمالی، به کندی حرکت می‌کنند، در حالی که حرکت صفحه‌های اقیانوسی، مانند صفحه‌ی اقیانوس آرام، بسیار سریع‌تر است. زیرا قاره‌ها مانند شناورهای سنگینی هستند که بیش‌تر از صفحه‌های اقیانوسی در مواد زیر سطح زمین در گوشته‌ی آن فرو می‌روند. درست مانند شناوری که در برخورد با کف سنگی رودخانه با مقاومت روبه‌رو می‌شود، کف صفحه‌های قاره‌ای نیز هنگام کشیده شدن در سست سپهر با مقاومت مواجه می‌شوند. این صفحه‌ها در مقیاس زمین‌شناختی از هم دور می‌شوند، برخورد می‌کنند، و در هم ادغام می‌شوند. به علت این برهم‌کنش‌های بین صفحه‌ها، لبه‌های آن‌ها که مرز صفحه خوانده می‌شود ناحیه‌هایی با فعالیت زمین‌شناختی شدید هستند (شکل ۲). در حالی که درون صفحه‌ها نسبتاً آرام است، اغلب زمین لرزه‌ها،

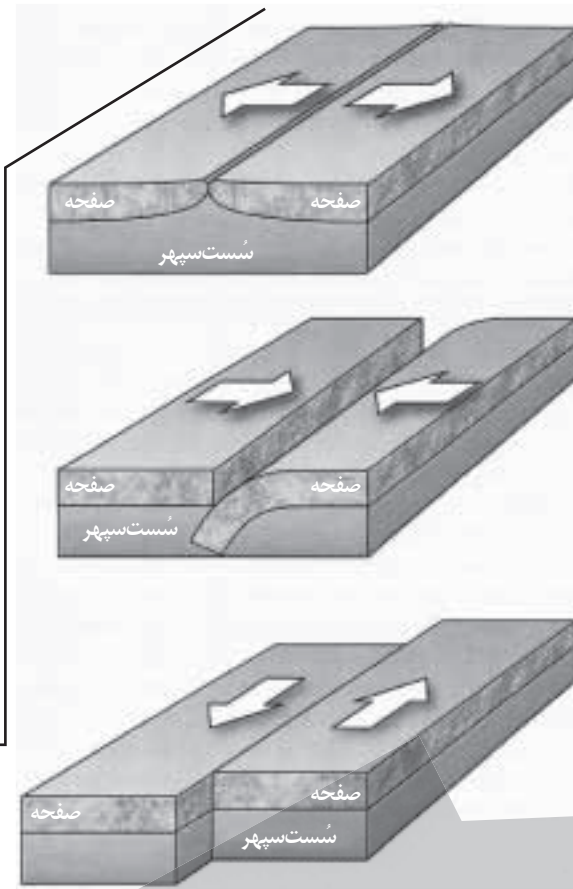
صفحه‌لرزه ساز و کار



فوران‌های آتشفشانی، و تشکیل کوه‌ها در محل تلاقی صفحه‌ها صورت می‌گیرد.
سه نوع مرز وجود دارد که عبارتند از:

مرزهای واگرا: که در آن‌ها صفحه‌ها از هم دور می‌شوند.
مرزهای همگرا: که در آن‌ها صفحه‌ها به طرف هم حرکت می‌کنند.
مرزهای ترادیدی گسل‌ها: که در آن‌ها گسل‌ها روی هم می‌لغزند.

شکل ۱: پوسته‌ی سخت خارجی زمین، سنگ سپهر، موزاییکی متشکل از هشت صفحه به علاوه تعدادی قطعه‌های کوچک‌تر است. صفحه‌های اصلی و جهت حرکت آن‌ها در شکل مشخص شده است.



چه نیرویی صفحه‌ها را به حرکت درمی‌آورد؟

می‌دانیم درون زمین حاوی مقدار عظیمی انرژی گرمایی است. طبق قانون دوم ترمودینامیک گرما به‌طور طبیعی از ناحیه‌ی گرم به ناحیه‌ی سرد حرکت می‌کند. زمین هم با پیروی از قانون‌های طبیعت، گرما را از هسته و گوشته به سطح خارجی خنک‌تر منتقل می‌کند. گمان می‌رود که این انتقال گرما باعث حرکت صفحه‌ها می‌گردد. **تکتونیک صفحه‌ای ناشی از انتقال گرما از درون زمین به طرف خارج است.**

این انتقال گرما از درون زمین عمدتاً از طریق همرفت صورت می‌گیرد. سنگ‌های موجود در گوشته گرمای کافی برای همرفت را دارند، گرچه این کار خیلی کند صورت می‌گیرد، چرخه‌ی بالا رفتن سنگ گرم از پایین گوشته به طرف بالا، خنک شدن، و فرو رفتن مجدد آن که یک

شکل ۲: صفحه‌ها در مرزهای خود بر هم کنش دارند که باعث فعالیت زمین‌شناختی شدید در این نواحی می‌شود.

زمین‌شناسان این مدل‌ها را بررسی می‌کنند تا معلوم شود نیروی محرک اصلی صفحه‌ها کدام است.

مرز صفحه‌های واگرا

ناحیه‌هایی که صفحه‌های مجاور از یکدیگر دور می‌شوند **مرز صفحه‌های واگرا** خوانده می‌شود. در این مرزها، وقتی گدازه‌ها شکاف در حال گسترش بین صفحه‌ها را پر کنند، پوسته‌ی جدید تشکیل می‌شود. صفحه‌ها از هم دور می‌شوند و با فوران گدازه‌ها، خاک می‌شوند، و انباشته شدن آن‌ها، کوه‌های آتشفشان شکل می‌گیرند.

گدازه‌های خروجی در این مورد سنگ‌های موجود در **سُست‌سپهر**ند که تا اندازه‌ای ذوب شده‌اند. به خاطر داشته باشید که **سُست‌سپهر** از سنگ‌های جامد پلاستیکی تشکیل شده است. با این همه، با دور شدن صفحه‌ها از هم، وزن روی **سُست‌سپهر** کاهش یافته و در نتیجه فشار کم می‌شود. سپس سنگ‌های موجود در **سُست‌سپهر** تا اندازه‌ای ذوب می‌شوند و به صورت تفتال (ماگما) درمی‌آیند. تفتال سنگ مذاب مایع شده است. وقتی تفتال از سطح زمین خارج شود، گدازه‌نامیده می‌شود. گدازه‌ها می‌توانند از ترک‌خوردگی‌های موجود در سطح زمین، یا یک سوراخ مرکزی، آتشفشان، خارج شوند. (این نوع ترک‌خوردگی‌ها تا اعماق زمین امتداد دارند و گدازه‌ها می‌توانند در آن حرکت کنند. ما با فوران آتشفشانی آشنایی بیشتری داریم زیرا هیجان‌انگیز و خطرناک هستند، اما خروج تفتال‌ها از شکاف‌های زمین بسیار متداول‌تر است. مثلاً شکاف موجود در پشته‌ی میان‌اقیانوسی یک ترک‌خوردگی است.

مرزهای واگرا در کف اقیانوس

سلول همرفت نامیده می‌شود حدود ۲۰۰ میلیون سال طول می‌کشد. زمین مانند کوره‌ی کروی عظیمی است که مشعل آن در مرکز قرار دارد و سنگ‌های گوشتی آن باعث همرفت به طرف خارج می‌شوند.

در رویارویی سنگ‌های همرفتی گرم **سُست‌سپهر**، با سنگ‌های نازک و شکننده‌ی **سنگ‌سپهر**، این بخش می‌تواند شکسته شود. در زیر منطقه‌ی شکاف پشته‌ی میان‌اقیانوسی، گدازه‌ها از ترک‌ها خارج می‌شوند و باعث گسترش کف دریا می‌شوند. در بالای سلول‌های همرفتی، صفحه‌ها در کنار هم حرکت می‌کنند. اصطکاک نقش چسبی را دارد که سنگ‌سپهر را به **سُست‌سپهر** متصل می‌کند. پس به‌طور خلاصه می‌توان گفت انتقال گرما از **سُست‌سپهر** به سنگ‌سپهر نیروی محرک صفحه‌های تکتونیک است.

مدل همرفت گوشه‌قدیمی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین توصیف برای حرکت صفحه‌هاست. با این همه، برخی زمین‌شناسان این مدل را نقد کرده‌اند. آن‌ها می‌گویند گرانی نقش اصلی را در حرکت صفحه‌ها ایفا می‌کند. برخی دانشمندان می‌گویند صفحه‌ها می‌توانند، مانند بیسکویت‌هایی که روی یک سینی کج شده می‌لغزند، از پشته‌های میان‌اقیانوسی مرتفع به طرف پایین و خارج حرکت کنند. این فرضیه‌ی «فشار-پشته» است. مدل دیگر سازوکار «کشش-تیغه» است که در آن گرانی قدیمی‌ترین (و در نتیجه خنک‌ترین و چگال‌ترین) لایه‌ی صفحه را در ترانشه‌ی اقیانوسی به زیر می‌کشد و باعث فرورفتن آن می‌شود. صفحه مثل یک رومیزی که به آرامی از روی میز پایین کشیده می‌شود در **سُست‌سپهر** پایین می‌رود (شکل ۳). در حال حاضر



شکل ۳. منظره‌ی ساده‌شده‌ی سلول‌های همرفتی در جبهه‌ی بخش پایین‌رونده‌ی صفحه «تیغه» با افزایش فشار و دما به عمق بیشتر جبهه فرو می‌رود. در عمق حدود ۷۰۰ km، تیغه نرم و جاری شده و در سنگ داغ موجود در **سُست‌سپهر** ادغام می‌شود.

رشته‌ی آتشفشانی

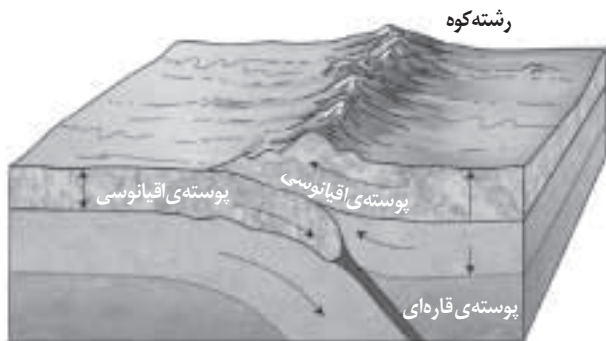


شکل ۴. همگرایی اقیانوسی-اقیانوسی وقتی رخ می‌دهد که صفحه‌هایی که حامل پوسته‌ی قاره‌ای در لبه‌ی پیشتاز خود نیستند به هم برسند. ترانشه‌ای در منطقه‌ی فرورائش تشکیل می‌شود، و جزیره‌ای هلالی، شکل از آتشفشان‌ها از گدازه‌های ناشی از برخورد به وجود می‌آید.

رشته‌ی آتشفشانی



شکل ۵. همگرایی اقیانوسی-قاره‌ای وقتی رخ می‌دهد که صفحه‌ای با پوسته‌ی اقیانوسی در لبه‌ی پیشتاز به زیر صفحه‌ای با پوسته‌ی قاره‌ای در لبه‌ی پیشتازش فرو رانده شود. در نتیجه یک ترانشه‌ی عمیق اقیانوسی و رشته‌کوه‌های ساحلی تشکیل می‌شود.



شکل ۶ همگرایی قاره‌ای-قاره‌ای وقتی رخ می‌دهد که لبه‌های پیش‌تاز صفحه‌های برخوردکننده از پوسته‌ی قاره‌ای تشکیل شده باشد. در محل چروکیدگی‌های پوسته‌ی کوه‌ها تشکیل می‌شوند و به طرف بالا می‌روند.

تکتونیک صفحه‌ای
که تغییرات چشمگیر
در سطح زمین را
توصیف می‌کند در
زمین‌شناسی اهمیت
مانند نظریه‌ی تکامل
در زیست‌شناسی دارد.
طبق این نظریه پوسته
خارجی و سخت زمین
از هشت بخش بزرگ
و تعدادی بخش‌های
کوچک‌تر تشکیل شده
است

به سطح می‌رسند و به صورت گدازه فوران می‌کنند. طی میلیون‌ها سال، گدازه‌های خروجی و تکه‌پاره‌های آتشفشانی در کف اقیانوس انباشته شده و به اندازه‌ی کافی بلند می‌شوند تا با خروج از سطح دریا جزیره‌ای آتشفشانی تشکیل دهند.

آتشفشان‌هایی از این نوع در **جزیره‌های هلالی شکل** دور هم جمع می‌شوند که موازی ترانشه‌هاست، مانند جزیره‌های البوشن^۴ دور از ساحل شبه جزیره‌ی آلاسکا. هنگام چسبیدن و لغزش صفحه‌ی فرورونده به صفحه‌ای که روی آن قرار دارد زمین‌لرزه‌های متوسط و شدید در این مرزها رخ می‌دهد.

نوع دیگر برخورد صفحه‌ای همگرایی اقیانوسی-قاره‌ای است (شکل ۵). در این مورد، صفحه‌ی با لبه‌ی پیش‌تاز قاره‌ای به آرامی با صفحه‌ی بالبه‌ی پیش‌تاز اقیانوسی برخورد می‌کند. صفحه‌ی اقیانوسی بازالتی چگال‌تر به زیر صفحه‌ی گرانیتی قاره‌ای با چگالی کمتر فرو می‌رود. یک ترانشه عمیق اقیانوسی دور از ساحل در محل برخورد صفحه‌ها تشکیل می‌شود. با ذوب بخشی از سنگ گواشته، تفتال از منطقه‌ی فرورانش بالا می‌آید و در سطح

فرایند **فرورانش** به زیر صفحه‌ی دیگر می‌رود. ناحیه‌ی اطراف یک صفحه‌ی فرورانشی را **منطقه‌ی فرورانش** می‌نامند.

صفحه‌ها، بسته به نوع سنگ‌سپهرشان، به سه روش همگرا می‌شوند. سه نوع صفحه‌ی همگرا عبارتند از:

- همگرایی اقیانوسی-اقیانوسی (شکل ۴)
- همگرایی اقیانوسی-قاره‌ای (شکل ۵)
- همگرایی قاره‌ای-قاره‌ای (شکل ۶)

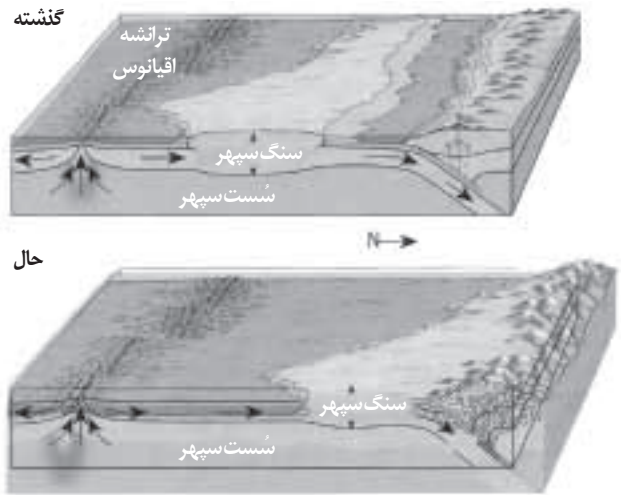
در **همگرایی اقیانوسی-اقیانوسی**، هر دو صفحه دارای لبه‌ی پیش‌تاز اقیانوسی‌اند. وقتی دو صفحه به هم می‌رسند، صفحه‌ی قدیمی‌تر (در نتیجه خنک‌تر و چگال‌تر) با چگالی کمتر اقیانوسی جوان‌تر و با چگالی کمتر می‌لغزد. در مرز همگرا، یک ترانشه^۵ عمیق اقیانوسی شکل می‌گیرد. بنابراین، ترانشه‌های اقیانوسی نشانه‌ی منطقه‌های فرورانشی فعالند (که در آن‌ها یک صفحه به زیر صفحه‌ی دیگر می‌رود). ترانشه‌های اقیانوسی موازی لبه‌ی صفحه‌های همگرا هستند. مثلاً، گودال ماریان محلی را نشان می‌دهد که صفحه‌ی اقیانوس آرام با صفحه‌ی باحرکت‌کنندتر فیلیپین برخورد می‌کند. ترانشه‌های اقیانوسی عمیق‌ترین نقاط روی زمین‌اند. گودال ماریان به عمق ۱۱۰۰m زیر سطح دریاست به طوری که اگر کوه اورست به ته آن فرو رود، هنوز بیش از ۲۰۰۰m آب در بالای آن باقی می‌ماند.

بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که سنگ‌های گوشه‌در منطقه‌ی فرورانش تا اندازه‌ای ذوب و تبدیل به تفتال می‌شوند. سپس بر اثر نیروی شناوری

باعث گسترش کف دریاها می‌شوند. پیشته‌ی میان اقیانوس اطلس یک مرز واگراست که در اقیانوس اطلس شمالی صفحه‌ی آمریکای شمالی را از صفحه‌ی اوراسیا و در اقیانوس اطلس جنوبی صفحه‌ی آمریکای جنوبی را از صفحه‌ی آفریقا دور می‌کند. آهنگ گسترش در پیشته‌ی میان اقیانوس اطلس بین ۱ تا ۶ سانتی‌متر در سال است. گرچه این آهنگ شاید بسیار کند به نظر برسد، اما در مقیاس زمان زمین‌شناختی، اثر آن بسیار عظیم می‌شود. در ۱۴۰ میلیون سال گذشته، گسترش کف دریا کانال باریک بین آفریقا، اروپا، و آمریکا را به اقیانوس اطلس پهناور فعلی تبدیل کرده است. مرزهای واگرا فقط در کف دریا وجود ندارند. آن‌ها می‌توانند در وسط قاره‌ها نیز باشند و باعث قطعه‌قطعه شدن آن‌ها شوند. مثال آن کاف دره‌ی^۶ شرق آفریقا است. اگر این گسترش ادامه یابد، کاف دره بلندتر و عمیق‌تر می‌شود و سرانجام به لبه‌ی قاره‌ی آفریقای فعلی می‌رسد. سپس قاره‌ی آفریقا از آن جدا می‌شود، و با ریختن آب اقیانوس اطلس به آن دریای باریکی را به وجود می‌آورد. در این صورت شرقی‌ترین گوشه‌ی آفریقا به صورت جزیره‌ای بزرگ درمی‌آید. در واقع، زمین پویاست!

مرز صفحه‌های همگرا

اندازه‌ی زمین از زمان تشکیل در ۴/۵ میلیارد سال پیش تاکنون چندان تغییر نکرده است. یعنی سرعت تشکیل سنگ‌سپهر با آهنگ از بین رفتن آن یکسان بوده است. تخریب سنگ‌سپهر در **مرزهای همگرا** رخ می‌دهد. در اینجا، صفحه‌ها در برخوردی کُند به هم نزدیک می‌شوند. معمولاً صفحه در



شکل ۷. برخورد قاره‌ای-قاره‌ای هندوستان با آسیا کوه‌های هیمالیا را به وجود آورده است.

هر سال بیش از ۷۰۰ زمین لرزه نسبتاً شدید در جهان رخ می‌دهد که می‌تواند باعث مرگ، مجروح شدن، و آسیب مالی فراوان شود. حدود ۸۰ درصد زمین لرزه‌های بزرگ در حلقه‌ی آتش در اقیانوس آرام به وقوع می‌پیوندد

آب به صورت گدازه فوران می‌کند. گدازه فوران می‌کند، خنک می‌شود و طی زمان بارها انباشته شده و رشته‌های کوه‌های آتشفشانی را به وجود می‌آورد. با خروج تفتال‌ها، کوه‌های آتشفشان تشکیل می‌شوند اما چرا سنگ‌ها در منطقه‌ی فروانش تا اندازه‌ای ذوب و تفتال تشکیل می‌دهند؟ علت این امر داغ بودن صفحه‌ی فروانشی نیست. به خاطر داریم که سنگ سپهر فروانشی خنک و چگال است- زیرا سنگ نسبتاً سرد در سست سپهر فرو می‌رود. وقتی صفحه‌ی فروونده به عمق ۱۵۰-۱۰۰ km رسید، گرما و فشار محیط اطراف آب موجود در صفحه‌ی فروانشی را به گوشته‌ی روی آن می‌راند. آب مانند نمک روی یخ یا کمک ذوب در ریخته‌گری عمل می‌کند- نقطه‌ی انجماد سنگ گوشته را پایین می‌آورد. بنابراین، تزریق آب باعث می‌شود که گوشته‌ی بالای صفحه، بدون تغییر دما، تا اندازه‌ای ذوب شود. تفتال تولید شده و با نیروی شناوری بالا می‌رود. معمولاً، این

تفتال‌ها زیر پوسته‌ی قاره‌ای یک کاسه شده و می‌توانند بخشی از سنگ‌های پوسته‌ی اطراف را تا اندازه‌ای ذوب کنند. این سنگ‌های مذاب، سرانجام به سطح می‌رسند و به صورت آرام یا انفجاری فوران می‌کنند. ساکنان شمال غرب اقیانوس آرام باید این فرایند را ارج نهند چون کوه‌های زیبای کسکید رنج^۹ را به وجود آورده است. سرانجام، وقتی صفحه‌هایی که شاخ به شاخ برخورد می‌کنند دارای پوسته‌ی قاره‌ای در لبه‌ی پیش‌تاز باشند، **همگرایی قاره‌ای-قاره‌ای** از خود نشان می‌دهند (شکل ۶). در این مورد، پوسته‌های برخوردکننده از یک نوع سنگ گرانیته تشکیل شده‌اند. چون چگالی آن‌ها یکی است، هنگام برخورد هیچ کدام زیر دیگری فرو نمی‌رود- فروانشی وجود ندارد. در عوض، قاره‌ها یکدیگر را بالا می‌رانند، مثل پارچه‌ی مچاله شده، و رشته‌کوه‌های بلند، دندان‌دار تشکیل می‌شود. مثلاً، رشته کوه‌های هیمالیا بلندترین کوه‌ها در جهان هستند که تا ارتفاع ۸۸۵۴m از سطح دریا بالاترند. رشته‌کوه‌های هیمالیا هنگامی تشکیل شدند که ۵۰ میلیون سال پیش شبه‌قاره‌ی هند به آسیا اصابت کرد. با جوش خوردن آن‌ها به یکدیگر در امتداد مرز صفحه‌ها، هندوستان و آسیا در هم ادغام شدند. با تداوم همگرایی صفحه‌های هندوستان و اوراسیا، هنوز رشته‌کوه‌های هیمالیا با آهنگ ۱cm در سال بلند می‌شود.

مرزهای تراسیسی صفحه

یک مرز تراسیسی صفحه، یا صرفاً مرز تراسیسی، منطقه‌ای است که دو صفحه به هم می‌رسند، اما به جای همگرایی با جدا شدن از هم، در کنار هم می‌لغزند. در این مرزها، سنگ سپهر

تولید و مصرف نمی‌شود، زیرا صفحه‌ها هنگام حرکت در جهت‌های مخالف صرفاً به هم ساییده می‌شوند.

مرزهای تراسیسی گسل‌هایی بزرگ هستند. گسل شکافی است که دو قطعه سنگ در حرکت نسبت به یکدیگر را از هم جدا می‌کند. گسل‌ها می‌توانند بسیار کوچک‌تر از مرزهای تراسیسی باشند. شبکه‌ای از آن‌ها معمولاً در نزدیکی مرز صفحه‌ها تشکیل و به صورت شاخه‌شاخه وارد صفحه‌ها می‌شود.

معمولاً، مرزهای تراسیسی دو بخش از پشته‌ی میان‌اقیانوسی را به هم می‌پیوندند. مثلاً، پشته‌ی میان‌اقیانوس آرام به بخش‌هایی تقسیم شده است که با گسل‌های تراسیسی به هم متصل شده‌اند (شکل ۸). این گسل حرکت را از یک بخش پشته به بخش دیگر آن منتقل می‌کنند. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، سنگ سپهر در یک پشته در خلاف جهت سنگ سپهر پشته‌ی دیگر حرکت می‌کند. بنابراین، لغزش در امتداد مرزهای تراسیسی امکان حرکت صفحه‌های تکنونیک را فراهم می‌سازد.

ساییدن صفحه‌ها به هم در مرز تراسیسی (یا مرزهای دیگر)، با حرکت معمولاً آرام و یکنواخت صورت می‌گیرد. اما در برخی جاها اصطکاک به اندازه‌ای زیاد است که بخش‌های بزرگی از سنگ‌ها به هم می‌چسبند. حرکت صفحه‌ها تداوم می‌یابد، و قطعه‌های «چسبیده به هم» متراکم یا کشیده می‌شوند. اگرچه سنگ‌ها شکننده به نظر می‌رسند، اما در واقع چنین نیستند، بلکه می‌توانند متراکم یا کشیده شوند و مثل فتر مقدار زیادی انرژی را در خود ذخیره کنند. وقتی نیروهای تراکمی یا کششی در سنگ



شکل ۸. بیشتر مرزهای ترادیسسی در حوضه‌های اقیانوسی تشکیل شده‌اند که در آن‌جا پشته‌های اقیانوسی را تعدیل کرده‌اند. مرزهای ترادیسسی، مطابق شکل، سنجش‌هایی از پشته‌های اقیانوسی را تعدیل و امکان حرکت جانبی صفحه‌ها در سطح زمین را فراهم ساخته‌اند. صفحه‌ها هنگام حرکت در امتداد مرز می‌چسبند و می‌لغزند و باعث زمین‌لرزه می‌شوند.



شکل ۹. (الف) - گسل سن آندرس یک مرز صفحه‌ی گسل ترادیسسی معروف به خاطر زمین‌لرزه‌هاست. بخشی از کالیفرنیا که به طرف شمال غرب حرکت می‌کند روی صفحه‌ی اقیانوس آرام قرار دارد، در حالی که بقیه‌ی کالیفرنیا روی صفحه‌ی آمریکای شمالی است. (ب) در این عکس گسل سن آندرس، به دره‌ی وسیع حاصل از ساییده شدن دراز مدت سنگ‌ها در امتداد گسل توجه کنید.

می‌تواند باعث مرگ، مجروح شدن، و آسیب مالی فراوان شود. همان‌گونه که گفته شد عامل زمین‌لرزه (نیروی) تنش است که به سنگ‌ها وارد می‌شود. تنش باعث کرنش (تراکم یا فشار) می‌شود. سنگ تغییر شکل می‌دهد تا این‌که دیگر نتواند بدون شکسته شدن خم شود. سپس ناگهان رها می‌شود و در وضعیت تازه‌ای قرار می‌گیرد، و در نتیجه انرژی کشسانی ذخیره شده را آزاد می‌کند. انرژی آزاد شده در سنگ به صورت امواج لرزه‌ای منتشر می‌شود. محل واقعی لغزش سنگ که امواج لرزه‌ای را تولید کرده است کانون زمین‌لرزه نامیده می‌شود (شکل ۱۱). امواج لرزه‌ای از کانون، مثل امواج صوتی ناشی از زنگی که به صدا درآمده، در تمام جهات منتشر می‌شوند. نقطه‌ای در سطح زمین که درست بالای کانون قرار دارد مرکز زلزله نامیده می‌شود.

زمین‌لرزه‌ها در سراسر جهان رخ می‌دهند. اغلب آن‌ها در مرز صفحه‌ها به وقوع می‌پیوندند، گرچه زمین‌لرزه‌های میان‌صفحه‌ای (که سازوکار آن به‌خوبی شناخته نشده است) نیز دور از مرزها رخ می‌دهند. یکی از این نوع زمین‌لرزه‌ها در زمستان ۱۸۱۲-۱۸۱۱ میلادی در نیومادرید میسوری در آمریکا رخ داد که در نتیجه‌ی آن دریاچه‌های جدید تشکیل و بیش از ۱۵۰/۰۰۰ جریب جنگل نابود شد، این زمین‌لرزه به علت جمعیت کم منطقه خسارت جانی چندانی نداشت.

حدود ۹۰ درصد زمین‌لرزه ناشی از حرکت در امتداد مرز صفحه‌های تکتونیک است. به‌طور کلی، لرزش‌های ملایم و کم‌عمق معمولاً در امتداد صفحه‌های واگرا صورت می‌گیرد. زمین‌لرزه‌های مربوط به مرز

از نیروی اصطکاک تجاوز کند، سنگ تحت فشار ناگهان رها می‌شود، می‌لغزد، و انرژی ذخیره‌شده‌ی خود را در یک تکان ناگهانی آزاد می‌کند. این چسبیدن و لغزیدن قطعات سنگ باعث زمین‌لرزه‌های می‌شوند.

گرچه اغلب گسل‌های ترادیسسی در حوضه‌ی اقیانوس‌ها قرار دارند، اما تعدادی از آن‌ها را می‌توان در صفحه‌های قاره‌ای یافت. یکی از گسل‌های ترادیسسی قاره‌ای مورد توجه گسل سن آندرس^{۱۰} در شکل ۹ است. این گسل ضخیم‌ترین رشته در گوریدگی گسل‌های دخیل در حرکت بین صفحه‌ی آمریکای شمالی و صفحه‌ی اقیانوس آرام در کالیفرنیا است.

بخشی از کالیفرنیا که در غرب گسل قرار دارد به آرامی به طرف شمال غربی حرکت می‌کند در حالی که بقیه‌ی کالیفرنیا به طرف جنوب شرقی در حرکت است. برخلاف باور عموم، از جهت صفحه‌ها می‌توان دید که لوس آنجلس از این بخش جدا نخواهد شد و به داخل اقیانوس نخواهد افتاد. بلکه در جهت شمال غرب و سانفرانسیسکو می‌رود در حالی که سانفرانسیسکو در جهت مخالف حرکت می‌کند. حدود شانزده میلیون سال دیگر دو شهر در کنار هم خواهند بود، اهالی کالیفرنیا باید منتظر زلزله‌های بسیار باشند. در کشور ما ایران نیز گسل‌های زیادی وجود دارند که در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند.

زمین‌لرزه‌ها

زمین‌لرزه‌ها بسیار متداول و ویرانگرند. هر سال بیش از ۷۰۰ زمین‌لرزه‌ی نسبتاً شدید رخ می‌دهد که



شکل ۱۲. حلقه‌ی آتش منطقه‌ای با فعالیت زمین‌شناختی شدید است، زیرا صفحه‌ها در امتداد آن در مرزهای همگرا به هم می‌رسند. زمین‌لرزه‌های فرورائشی در آن بسیار متداول است. آتشفشان‌های بسیاری در امتداد آن وجود دارد که مسیر را مشخص می‌سازند. آتشفشان‌ها به صورت نقطه‌هایی نشان داده شده‌اند.

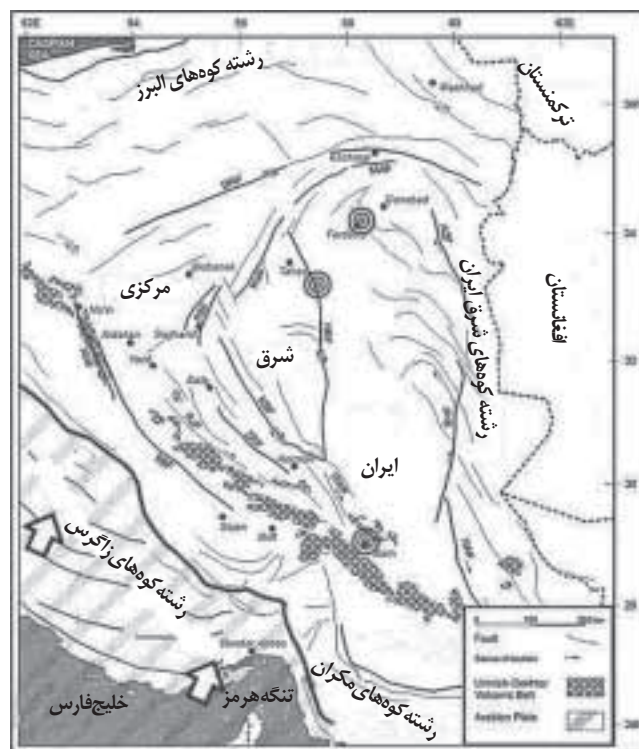
از ساحل غربی سوماترا بود. این محل مرز صفحه‌های فرورائشی هندوستان و صفحه‌ی بالایی برمه است. انرژی آزاد شده در این زمین‌لرزه برابر بمبی بود که از ۱۰۰ میلیارد تن TNT (اگر بتوان چنین بمبی را ساخت) ساخته شده باشد. اگرچه خود زمین‌لرزه تلفات زیادی به بار آورد، اما پیامدهای زمین‌لرزه از آن هم ویرانگرتر بود. چون مرکز آن زیر اقیانوس هند بود، امواج لرزه‌ای عظیم - سونامی - را به وجود آورد. ناحیه‌های ساحلی در سراسر حوضه‌ی اقیانوس هند ویران شدند. تلفات این سونامی بیش از ۱۸۴۰۰۰ نفر در ۱۱ کشور بود.

آیا می‌توان وقوع زمین‌لرزه را پیش‌بینی کرد؟

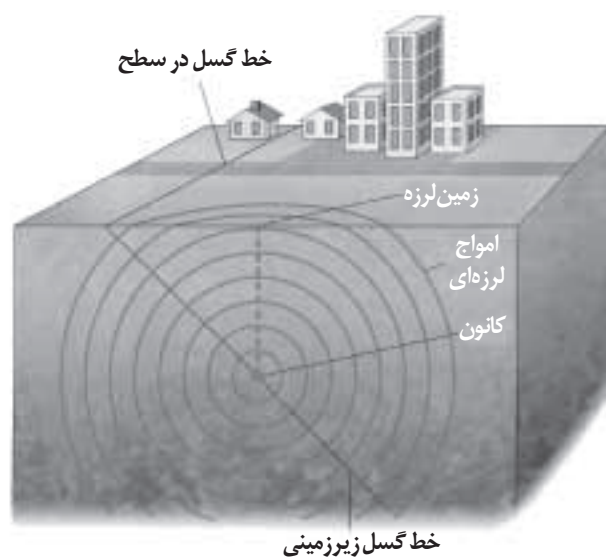
پاسخ این پرسش منفی است. دست‌کم پیش‌بینی دقیق آن امکان‌پذیر

صفحه‌های تراسی معمولاً ملایم یا متوسط است. شدیدترین تکان‌ها در مرز صفحه‌های همگرایی رخ می‌دهد که در آن فرورائش صورت می‌گیرد. صفحه‌های فرورائشی زیر صفحه‌های بالای خود ساییده می‌شوند، می‌چسبند، و به آن‌ها برخورد می‌کنند. این وضعیت در حلقه‌ی آتش، ناحیه‌ای که بیشتر اقیانوس آرام را فرا گرفته است، رخ می‌دهد (شکل ۱۲). حدود ۸۰ درصد زمین‌لرزه‌های بزرگ جهان در حلقه‌ی آتش به وقوع می‌پیوندند. هم‌چنین، میزان فرورائش در حلقه‌ی آتش فعالیت آتشفشانی شدیدی را به وجود می‌آورد. حدود ۷۵ درصد کوه‌های آتشفشان جهان در حلقه‌ی آتش قرار دارند.

مهم‌ترین مثال زمین‌لرزه‌ی فرورائشی در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ رخ داد. منشأ زمین‌لرزه زیر اقیانوس هند، دور



شکل ۱۰. تصویری از گسل‌های ایران



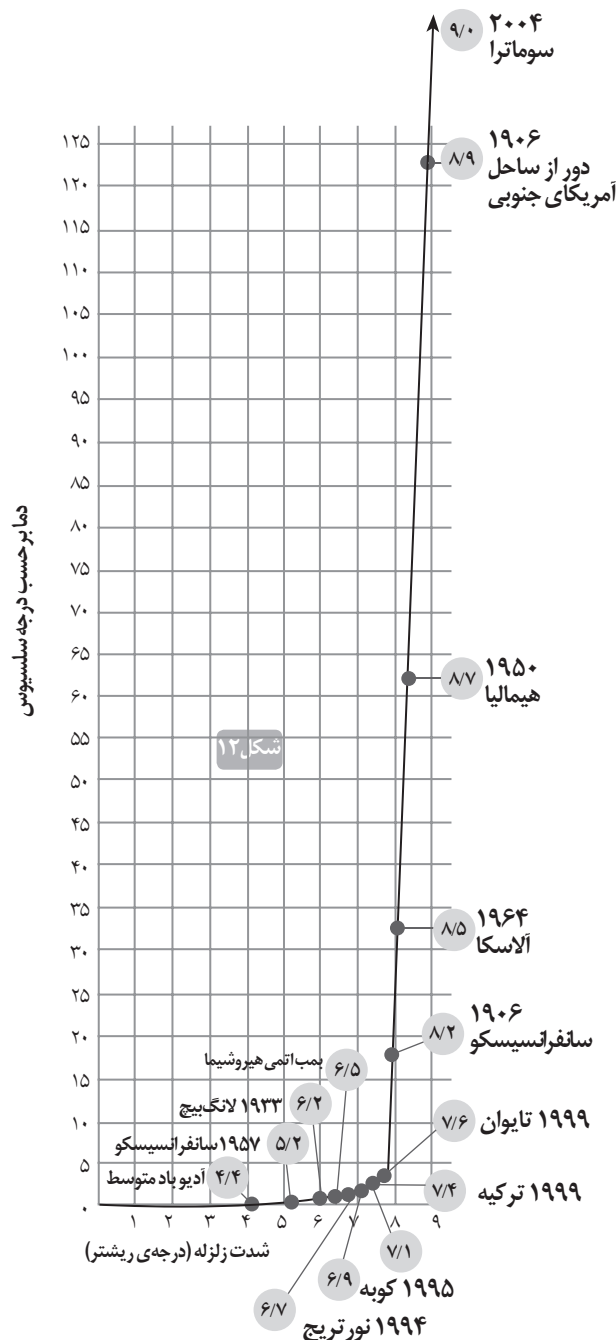
شکل ۱۱. وقتی سنگ ناگهان حرکت کند، این حرکت معمولاً در امتداد گسلی صورت می‌گیرد که قبلاً وجود دارد، گرچه لغزش سنگ می‌تواند گسلی را به وجود آورد. حرکت سنگ امواج لرزه‌ای به وجود می‌آورد که از کانون به طرف خارج حرکت می‌کنند. محل بالای کانون در سطح زمین مرکز زمین‌لرزه نامیده می‌شود.

چند روش برای ارزیابی شدت زمین‌لرزه وجود دارد که متداول‌ترین آن‌ها اندازه‌گیری شدت زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر^{۱۱} است در این مقیاس شدت معیاری از تکان خوردن زمین در طول زمین‌لرزه است.

مقیاس ریشتر

این مقیاس را چارلز لف. ریشتر، از انستیتوی فناوری کالیفرنیا، در سال ۱۹۳۵ ابداع کرد. این مقیاس لگاریتمی است و گستره‌ی وسیعی از شدت‌ها را دربرمی‌گیرد. هر یک درجه افزایش در مقیاس ریشتر قابلیت زمین‌لرزه برای تکان دادن زمین ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. بنابراین یک زمین‌لرزه‌ی ۷/۰ ریشتری زمین را ۱۰ بار بیشتر از زمین‌لرزه‌ی ۶/۰ ریشتری و ۱۰۰ بار بیشتر از زمین‌لرزه‌ی ۵/۰ ریشتری تکان می‌دهد.

توجه کنید که مقیاس ریشتر تکان دادن را اندازه می‌گیرد، نه انرژی کل ارتعاش‌ها را. با این همه، رابطه‌ی



شکل ۱۳. نمودار انرژی آزاد شده در برخی زمین‌لرزه‌ها در طی سده‌ی گذشته را برحسب مقدار دینامیت لازم برای تولید انفجار با همان اندازه را نشان می‌دهد. توجه کنید که چون در مقیاس ریستری افزایش در درجه متناظر با زیاد شدن ۳۰ برابری انرژی زمین‌لرزه است، انرژی آزاد شده در زمین‌لرزه با شیب زیاد افزایش می‌یابد.

ریشتری ۳۰ برابر زلزله‌ی ۵/۳ ریشتری
انرژی آزاد می‌کند. نمودار شکل ۱۳
انرژی زمین‌لرزه‌های مختلف را در
مقیاس ریشتری نشان می‌دهد.

ساده‌ای بین تکان دادن و انرژی وجود دارد. یک درجه افزایش در مقیاس ریشتر تقریباً نظیر افزایش ۳۰ برابری انرژی، زلزله است. بنابراین، زلزله ۶/۳

وقوع زمین لرزه را
نمی توان پیش بینی
کرد دست کم
پیش بینی دقیق آن
امکان پذیر نیست.
دانشمندان می توانند
تشکیل فشار در
سنگ ها، در نتیجه
احتمال وقوع زمین لرزه
را در چارچوب زمانی،
شاید چند دهه،
پیش بینی کنند، اما
این با تعیین این که
زمین لرزه کجا و در چه
زمان رخ می دهد فرق
بسیار دارد

پی نوشت:

1. Lithosphere
2. tectonic plate
3. asthenosphere
4. ridge
5. faults
6. rift valley
7. trench
8. Aleutian
9. Cascade Range
10. San Andreas Fault
11. Richter Scale

..... منبع
Conceptual Integrated
Science, Suzanne Lyons,
2007