



دانشگاه ساه نور
پ

مبانی لوزه زمین ساخت

(کارشناسی ارشد زمین شناسی)

دکتر زمان ملک زاده کبریا

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب کتاب

نه

پیشگفتار

فصل اول: کلیات - هدف‌ها و مفاهیم لرزه‌زمین‌ساخت فعال، نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و

۱

نقش آن در کاهش خطرپذیری زمین‌لرزه

۱

هدف کلی

۱

هدف‌های یادگیری

۲

مقدمه

۴

۱-۱ زمین‌ساخت کوتاه‌تر

۶

۲-۱ مقدمه‌ای بر زمین‌ساخت صفحه‌ای

۱۰

۱-۲-۱ جدایش قاره‌ها

۱۴

۳-۱ دگرریختی‌های جوان و مخاطرات زمین‌ریخت‌شناسی

۱-۳-۱ دگرریختی در هولوسن و پاسخ‌های نشانگرهای موجود در سطح زمین در برابر این

۱۴

دگرریختی

۱۹

۲-۳-۱ دگرریختی میان‌مدت

۲۴

۴-۱ از نشانگرهای زمین‌شناسی تا گسل

۲۹

خلاصه فصل اول

۳۴

خودآزمایی تشریحی فصل اول

فصل دوم: خاستگاه (چشمه) زمین‌لرزه

۳۵

هدف کلی

۳۵

هدف‌های یادگیری

۳۶

مقدمه

۳۶

۱-۲ مکان زمین‌لرزه‌ها (مرز صفحه، درون صفحه)

۳۸

۲-۲ چرخه زمین‌لرزه

۳۹

۳-۲ دگرریختی کوتاه‌مدت

۴۰	۱-۳-۲ تغییر شکل کوتاه‌مدت: ژئودزی
۴۵	۲-۳-۲ روش‌های حوزه نزدیک
۴۷	۴-۲ زمین‌لرزه‌های سرشتی و مدل‌های گسل
۴۸	۵-۲ تغییرات جابه‌جایی در طول یک گسل، رشد گسل، و قطعه‌بندی گسل
۴۸	۱-۵-۲ طول گسل و تغییرات جابه‌جایی
۵۱	۲-۵-۲ ارتباط بین قطعات گسل
۵۵	۳-۵-۲ تقسیم جابه‌جایی در میان گسل‌های مختلف
۵۸	خودآزمایی تشریحی فصل دوم

فصل سوم: مدل‌های تجمع و رهایی تنش

۵۹	هدف کلی
۵۹	هدف‌های یادگیری
۶۰	مقدمه
۶۰	۱-۳ تنش، واتنش، و گسل‌ها
۶۰	۱-۱-۳ تنش
۶۱	۲-۱-۳ واتنش و گسل‌ها
۶۴	۲-۳ جهات تنش در عهد حاضر (در طول گسل)
۶۶	۳-۳ فرایند گسیختگی
۶۶	۱-۳-۳ سازوکار گسیختگی
۷۰	۲-۳-۳ لغزش اصطکاکی
۷۱	۳-۳-۳ ارتباط بین مدل ترک و مدل اصطکاکی
۷۲	۴-۳-۳ انرژی لازم برای گسیختگی
۷۶	۵-۳-۳ فرایندهایی که در منطقه گسل رخ می‌دهند.
۷۹	۴-۳ ارتباط فرایندهای گسلش با اطلاعات لرزه‌ای
۷۹	۱-۴-۳ تفسیر پارامترهای ماکروسکوپی زلزله‌شناسی
۸۱	۲-۴-۳ ارتباط بین راندمان تشعشع و سرعت گسیختگی
۸۲	۳-۴-۳ لغزش چسبنده
۸۳	۴-۴-۳ لغزش پایدار
۸۴	۵-۳ مدل‌های لرزه‌ای در ارتباط با تنش
۸۷	۶-۳ زبری، انسداد و زمین‌لرزه‌های سرشتی
۸۷	۱-۶-۳ چه عاملی گسیختگی را کنترل می‌کند؟
۸۸	خودآزمایی تشریحی فصل سوم

فصل چهارم: گسل سنگ‌ها

۸۹	هدف کلی
۸۹	هدف‌های یادگیری
۹۰	مقدمه

۹۰	۱-۴ زودوتاکیلیت
۹۲	۱-۱-۴ هندسه زودوتاکیلیت در مقیاس متوسط
۹۴	۲-۱-۴ ریزساختارها و ژئوشیمیایی زودوتاکیلیت
۹۵	۳-۱-۴ پراکندگی زودوتاکیلیت زمین ساختی
۹۵	۴-۱-۴ محصول زودوتاکیلیت
۹۸	۵-۱-۴ نقش آب
۹۸	۶-۱-۴ دینامیک گسیختگی
۱۰۰	۲-۴ میلونیت‌ها
۱۰۱	۱-۲-۴ شاخص‌های بافتی میلونیت
۱۰۴	۲-۲-۴ طبقه‌بندی میلونیت‌ها
۱۰۵	۳-۲-۴ دینامیک توسعه میلونیت
۱۰۶	۴-۲-۴ توسعه میلونیت در شرایط دگرگونی متفاوت
۱۰۷	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۱۰۹	فصل پنجم: ویژگی‌های گسل، نمایش زمین - ریختی گسل‌ها و شاخص‌های زمین - ریختی
۱۰۹	هدف کلی
۱۰۹	هدف‌های یادگیری
۱۱۰	مقدمه
۱۱۰	۱-۵ گسل‌ها
۱۱۱	۱-۱-۵ گسل‌های عادی
۱۱۳	۲-۱-۵ گسل راندگی
۱۲۰	۳-۱-۵ گسل امتدادلغز
۱۲۵	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۱۲۷	فصل ششم: زمین ساخت ایران
۱۲۷	هدف کلی
۱۲۷	هدف‌های یادگیری
۱۲۸	مقدمه
۱۲۹	۱-۶ ایالت‌های زمین ساختی ایران
۱۲۹	۱-۱-۶ کپه‌داغ
۱۳۱	۲-۱-۶ خرد قاره شرق و مرکز ایران
۱۳۲	۳-۱-۶ مکران
۱۳۵	۴-۱-۶ البرز
۱۴۰	۵-۱-۶ زاگرس
۱۴۴	۲-۶ پهنه‌بندی زمین ساختی ایران
۱۴۵	خودآزمایی تشریحی فصل ششم

۱۴۷	فصل هفتم: پیش‌بینی زمین‌لرزه
۱۴۷	هدف کلی
۱۴۷	هدف‌های یادگیری
۱۴۷	مقدمه
۱۴۸	۱-۷ پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه
۱۴۸	۱-۱-۷ دستاوردهای اولیه در پیش‌بینی زمین‌لرزه
۱۵۰	۲-۱-۷ پیش‌بینی درازمدت زمین‌لرزه
۱۵۷	۳-۱-۷ علائم و هشدارهای میان‌مدت
۱۵۸	۴-۱-۷ هشدارهای زمین‌لرزه به سازمان‌های دولتی و مردم (پیش‌بینی کوتاه‌مدت)
۱۶۰	۲-۷ سازوکار پدیده‌های مربوط به پیش‌نشانگرها
۱۶۰	۱-۲-۷ مدل‌های هسته‌زایی
۱۶۲	۲-۲-۷ مدل اتساع
۱۶۴	۳-۲-۷ مدل بارگذاری لیتوسفری
۱۶۶	خودآزمایی تشریحی فصل هفتم
۱۶۷	فصل هشتم: زلزله‌شناسی دیرین
۱۶۷	هدف کلی
۱۶۷	هدف‌های یادگیری
۱۶۸	مقدمه
۱۷۰	۱-۸ مشاهدات مستقیم جابه‌جایی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های قدیمه
۱۷۰	۱-۱-۸ ترانسه‌زنی
۱۸۸	۲-۸ حلقه‌های درختان
۱۹۱	خودآزمایی تشریحی فصل هشتم
۱۹۳	منابع

تقدیم به روان پاک دانشجویان زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور مرکز ساری که در حادثه رانندگی بیستم اردیبهشت ۱۳۸۶ در جاده کیاسر و درحین بازدید صحرایی ناباورانه از بین ما رفتند:
سامره نیکبخت - محمد امینی - هادی رضوی - بابک عسگری

پیشگفتار

کتاب حاضر حاصل تلاش پیگیر جمع‌آوری و ترجمه متون تخصصی است که با پشتوانه تجربه چندساله این‌جانب در امر تدریس و تحقیق در علوم زمین همراه است. فارغ از مطالب و موضوعات زیادی که در این بسته نیامده‌است، بخش‌های مختلف این کتاب تلاش دارد تا با پیوستگی لازم، دانشجویان و دست‌داران این شاخه از دانش علوم زمین را به سمت درک فرایندهای زمین‌ساختی جوان حاکم بر پوسته جامد زمین هدایت کند. از مهم‌ترین این فرایندها، رویداد زمین‌لرزه است که توانایی بشر هوشمند را به چالش می‌کشانند چون همزیستی با این رویداد طبیعی محکی بر توسعه‌یافتگی فرهنگی، علمی و فناوری یک جامعه است.

در جمع‌آوری مطالب فصل‌های مختلف فرض بر این است که خواننده از زمین‌شناسی ساختمانی و مطالب پایه‌ای زلزله‌شناسی آگاه است. جداول و اشکال که مرجع برای آن نوشته نشده از منابعی که در پایان کتاب ذکر شده اقتباس شده‌است. با همه پافشاری که در طول نوشتن و برگردان از متن اصلی به‌عمل آمده نتوانستم تنها از واژگان فارسی استفاده کنم. با این پیشگفتار، وجود کاستی‌ها در این کتاب انکارناپذیر

است و مؤلف امیدوار است تا اهل علم با تذکر خود، در بهتر شدن این مجموعه او را یاری کنند. از دانشجویان دانشگاه پیام نور (به ویژه مرکز ساری و شرق تهران) که بدون آن‌ها تهیه این نوشتار ممکن نبود تشکر می‌کنم. از آقایان دکتر آریامنش و دکتر علیزاده (همکاران محترم در بخش زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور) به خاطر پیشنهادات ارزنده در تدوین این کتاب و سرکار خانم نوری به واسطه ویرایش ادبی و صفحه‌پردازی کتاب و همچنین از سرکار خانم قطبی همکار محترم در دفتر تدوین کتاب‌های درسی دانشگاه پیام نور قدردانی می‌شود. زمان زیادی برای تهیه این کتاب در خانه سپری شده است بنابراین از خانواده‌ام به خاطر صبر و شکیبایی سپاسگزارم.

فصل اول

کلیات

هدف‌ها و مفاهیم لرزه‌زمین‌ساخت فعال، نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و نقش آن در کاهش خطرپذیری زمین‌لرزه

هدف کلی

هدف کلی این فصل تعریف و راهکارهای شناسایی گسل به‌عنوان عامل اصلی زمین‌لرزه است. چون برای شناسایی گسل اطلاعات دیگری از زمین‌شناسی نظیر دوران زمین‌شناسی و زمین‌ساخت نیاز است، در این فصل به مروری از این اطلاعات پرداخته شد. گسل‌ها با تأثیراتی که بر روی سیمای زمین می‌گذارند قابل شناسایی هستند. بنابراین به این تأثیرات به‌طور خلاصه نیز اشاره خواهد شد.

هدف‌های یادگیری

دانشجویان در این فصل با موارد زیر به‌طور خلاصه آشنا خواهند شد:

۱. گسل از جنبه‌های مختلف شناسانده می‌شود.
۲. دوران چهارم زمین‌شناسی به‌عنوان بستر زمانی عملکرد گسل فعال معرفی خواهد شد.
۳. زمین‌ساخت و زمین‌ساخت فعال تعریف می‌شود.
۴. شناسایی گسل‌ها توسط تأثیرات آن‌ها بر روی زمین‌ریخت منطقه تشریح می‌شود.

مقدمه

پوسته به‌عنوان سطحی‌ترین لایه زمین و ساختگاه بشر، پیوسته توسط فرایندهایی که در گوشته رخ می‌دهد، درحال دگرریختی است. این دگرریختی‌ها بر محیط زیست ما از دیدگاه مختلف تأثیر می‌گذارند. فقط بعضی از این دگرریختی‌ها منجر به زمین‌لرزه می‌شود که از میان آن‌ها جنبش قوی زمین موجب نگرانی بشر است. جنبش‌های قوی در مکان‌های مشخصی اتفاق می‌افتند. این مکان‌ها دارای ابعاد مختلفی هستند ولی اغلب آن‌ها در راستای صفحه‌ای موسوم به گسل (به‌عنوان چشمه زمین‌لرزه) قرار دارند. علوم مختلفی درگیر کنترل و مطالعه دگرریختی پوسته هستند. از جمله این گرایش‌ها شامل زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، مهندسی (شامل عمران و معدن)، و ژئوماتیک هستند. بنابراین می‌توان از دست‌آوردهای علوم نامبرده بالا برای شناسایی چشمه زمین‌لرزه، به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی علم لرزه‌زمین‌ساخت، سود برد.

لرزه‌زمین‌ساخت محصول مشارکت محققان علوم زمین‌شناسی و ژئوفیزیک است. اطلاعات دیگر شامل مطالعات تغییرات آب و هوا در زمان گذشته، باستان‌شناسی و اطلاعات تاریخی مکمل خوبی به‌شمار می‌آیند. این دست‌آوردها در جهت شناسایی چشمه زمین‌لرزه و مطالعه عملکرد گذشته و آینده آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه اغلب مباحث این کتاب در راستای شناسایی و مطالعه رفتار گسل قرار دارد، نیاز است تا تعاریفی را در این مورد بپذیریم^۱. درباره این تعاریف به‌تدریج در بخش‌های بعدی بحث خواهد شد.

۱. گسل‌ها شکستگی‌هایی در پوسته جامد زمین هستند که در راستای آن‌ها حرکت اتفاق افتاده و یا می‌افتد. بنابراین یا فعال هستند و یا غیرفعال. گسل‌ها همه‌جا حضور دارند. اغلب آن‌ها حاصل فعالیت زمین‌ساختی گذشته‌اند. این گسل‌ها ممکن است در اثر تغییرات زمین‌ساختی، شروع به فعالیت کنند. در هر حال فعالیت یک گسل را مطالعات نوزمین‌ساختی روشن می‌کند این مطالعات شامل شناسایی فعالیت گسل در ایجاد دگرشکلی در جدیدترین لایه زمین‌شناسی (زمین - ریختی) و ایجاد زمین‌لرزه است.
۲. یک گسل ممکن است فعال ولی بیلرزه باشد. این در صورتی است که حرکت در امتداد گسل کند باشد و یا موجب رهاسازی انرژی کافی (به‌عبارت ساده‌تر افت تنش) نشود.

این حرکت در امتداد گسل به صورت خزشی^۱ تعریف شده و به همراه لرزه نخواهد بود. دلایلی مختلفی را می‌توان نام برد که در پی آن‌ها گسل، فعالیت بی‌لرزه را دنبال می‌کند. از آن جمله می‌توان به وجود رسوبات نرم با حالت پلاستیک (نظیر دی‌پایر نمک)، حرکت رسوبات نرم در سراسیابی در امتداد گسل بی‌ریشه، نشست زمین در پی خروج آب از حفرات و حرکت گسل در اثر نیروهای زمین‌ساختی اشاره کرد. اگر یک گسل توانایی ایجاد زمین‌لرزه را داشته باشد، گسل توانا محسوب می‌شود.

۳. زمین‌لرزه در امتداد گسل‌هایی رخ می‌دهد که پی‌سنگ را قطع کنند. منظور از پی‌سنگ لایه‌ای مرکب از سنگ‌های آذرین و دگرگونی است که بر روی آن‌ها لایه رسوبی نشسته است. به‌طور معمول عمق این پی‌سنگ در حدود ۷ تا ۲۰ کیلومتر است. پایین‌تر از این عمق به دلیل اینکه پوسته رفتار شکننده از خود نشان نمی‌دهد، حرکات و دگرشکلی‌های زمین بدون لرزه است. خردلرزه‌هایی (زمین‌لرزه با بزرگای کمتر از ۳٫۵) که در این اعماق رخ می‌دهند وقوع یک رویداد بزرگ (بزرگ‌تر از ۶) را محتمل می‌داند و خردلرزه‌هایی که در عمق کمتر از ۳ کیلومتر رخ می‌دهند دارای این توانایی نیستند. در اینجا بزرگای ۶ به‌عنوان آستانه بزرگای زمین‌لرزه‌هایی است که به سازه‌های مهندسی‌ساز صدمه وارد می‌کنند.

۴. گسل‌های موجود (فعال یا غیرفعال) در پوسته برای ایجاد زمین‌لرزه کافی بوده نیازی به گسل جدید نیست. هر چند ایجاد گسل جدید نیز محتمل است.

۵. کانون گسیختگی در امتداد گسل‌ها و در اعماق زمین بوده و ممکن است این گسیختگی به سطح زمین نرسد.

۶. لرزه‌خیزی ویژگی شاخص یک گسل فعال است. فعالیت مجدد یک گسل به آخرین تاریخ حرکت یک گسل وابسته است اگر زمان زیادی از آخرین حرکت گذشته باشد احتمال غیرفعال بودن آن وجود دارد.

۷. شواهد زمین - ریختی^۲ برای فعالیت یک گسل را همیشه نمی‌توان تعیین سن کرد. از این رو اگر زمین‌لرزه‌ای ثبت نشده باشد، ممکن است گسل، پتانسیل فعالیت نداشته باشد هر چند رسوبات آبرفتی (همه رسوبات دوره کواترنری) را هم قطع کرده باشد.

1. Creep

2. Geomorphic

۸. بزرگای زمین‌لرزه به بزرگی گسل وابسته است.
۹. گسل‌های توانای خیلی بزرگ به‌طورلازم زمین‌لرزه‌های بزرگ ایجاد نمی‌کنند. هر بار ممکن است فقط قطعه‌ای از طول گسل حرکت کرده و تولید زمین‌لرزه کند. این قطعات با مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی قابل شناسایی هستند. قطعه‌بندی گسل^۱ از جمله وظایف یک متخصص لرزه‌زمین‌ساخت است.
۱۰. گسل‌هایی که در سطح زمین کوچک و پلکانی دیده می‌شوند، ممکن است در ژرفا به هم پیوسته و یک گسل یک‌پارچه باشند. بنابراین نمی‌توان فقط به‌طول گسل که در سطح زمین دیده می‌شود در ارزیابی زمین‌لرزه آینده استناد شود.
۱۱. در بهترین شرایط نمی‌توان ادعا کرد که تمام گسل‌های یک ناحیه شناسایی شده‌اند.

۱-۱ زمین‌ساخت کواترنر

برای دانشمندان و محققانی که درگیر مسائل مربوط به رویدادهای زمین‌ساخت فعال هستند، دوره^۲ زمین‌شناسی کواترنری از اهمیت بیشتری برخوردار است. این دوره در حدود ۱,۶۵ میلیون سال و متشکل از آشکوب‌های^۳ پلیستوسن و هولوسن است. جدول ۱-۱ مروری است بر تقسیم‌بندی زمان زمین‌شناسی که با توجه به موضوع زمین‌ساخت فعال فقط به دوره پیدازیستی^۴ اشاره شده‌است. در این جدول پلیستوسن خود به سه قسمت تقسیم می‌شود: پلیستوسن پیشین، پلیستوسن میانه و پلیستوسن پسین. پلیستوسن پیشین که شامل بازه زمانی ۱,۶۵ میلیون تا ۷۸۰ هزارسال پیش است، با زمان آخرین وارونگی میدان مغناطیسی زمین منطبق است. پلیستوسن میانه که از ۷۸۰ هزارسال تا ۱۲۵ هزارسال پیش را شامل می‌شود، مصادف است با آخرین دوره بین یخچالی و بازه زمانی که در آن سطح آب اقیانوسی به بالاترین حد خود رسیده‌است. پلیستوسن پسین از ۱۲۵ هزارسال تا ۱۰ هزارسال پیش را شامل می‌شود. مرز ۱۰ هزارسال منطبق است بر آغاز هولوسن و همچنین آغاز تغییرات بزرگ آب و هوایی. محدوده زمانی ۱۸ تا ۱۰ هزارسال پیش را به‌عنوان دوره پایانی پلیستوسن تلقی کرده که با دوره زمانی مورد توجه در مطالعات زمین‌ساخت منطبق است. مرز ۱۸ هزارسال را به‌عنوان مرز زمانی بیشترین فعالیت یخچالی می‌شناسند.

1. Segmentation
2. Period
3. Epoch
4. Phanerozoic

کلیات ۵

اما هولوسن که با توجه به توضیح فوق از ۱۰ هزارسال پیش آغاز می‌گردد با پیدایش تمدن بشری همراه است. از مشخصه این اشکوب پایداری وضعیت آب و هوایی و تشابه آن با وضعیت کنونی در اکثر نقاط کره زمین است. از هولوسن پیشین تا هولوسن میانی به نام عصر نوسنگی قلمداد می‌شود. در این عصر، جامعه انسانی با کشف ابزار ابتدایی و توسعه کشاورزی شکل می‌گیرد.

گسل‌های فعال به عنوان گسل‌هایی شناخته می‌شوند که در هولوسن حرکت کرده^۱ بنابراین مطالعه تاریخ زمین‌لرزه در هولوسن به ما اجازه می‌دهد تا خطر زمین‌لرزه آینده را ارزیابی کنیم. بنابراین در وهله اول باید زمان رویداد زمین‌لرزه را تشخیص داد. از این رو تعیین سن یکی از مهم‌ترین ابزارهای است که در فرایند تحلیل خطر زمین‌لرزه، تعیین زمان رویداد و در نتیجه محاسبه دوره بازگشت زمین‌لرزه کمک خواهد کرد.

جدول ۱-۱. زمان زمین‌شناسی از دوران پیدایستی (با توجه به اهمیت بیشتر این دوران در مطالعات زمین‌ساخت فعال، از ذکر دوران قدیمی‌تر چشم‌پوشی شده‌است).

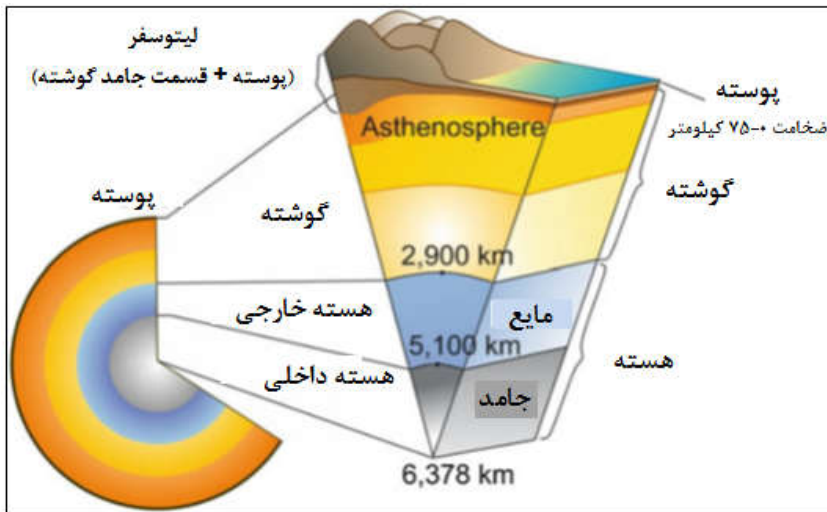
زمان	آشکوب	دوره	دور ^۳	دوران ^۲
هولوسن پسین	هولوسن	کواترنری	سنوزوئیک	پیدایستی
هولوسن میانی				
هولوسن پیشین				
10ka ^۴	پلیستوسن	نئوزن		
1.6Ma ^۵	پلیوسن			
	میوسن	پالتوزن		
23Ma	اولیگوسن			
	اتوسن			
	پالتوسن			

1. Keller (1996)
2. Eon
3. Era
4. 1Ka=1000 years
5. 1Ma=1000000 years

۲-۱ مقدمه‌ای بر زمین‌ساخت صفحه‌ای

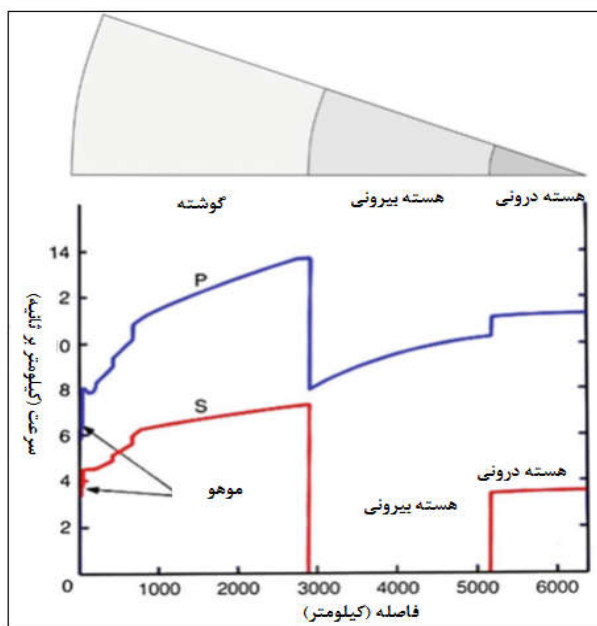
موضوع زمین‌ساخت به پویایی حرکت در لایه سطحی زمین اشاره دارد. زمین‌ساخت صفحه‌ای یا ورقه‌ای شکل ویژه‌ای از زمین‌ساخت است که در آن به موضوع بررسی تغییر شکل در ناحیه باریک (مرز صفحه)، می‌پردازد. این درحالی است که بخش عمده‌ای از سطح مرکزی همان‌صفحه بدون تغییر شکل مانده و یا دگرریختی کمتری را تجربه می‌کند. عوامل مؤثر در این تغییر شکل درجه حرارت، فشار و رفتار مواد موجود در سطح زمین در قبال تنش^۱ است.

اما برای فهم زمین‌لرزه و سازوکار ایجاد آن، که موضوع اصلی در مطالعات زمین‌ساخت فعال و لرزه‌زمین‌ساخت محسوب می‌شود، نیاز است تا نگاهی هرچند مختصر به ساختمان داخلی زمین داشته باشیم. کره زمین را می‌توان از این‌نظر به سه لایه متمرکز تقسیم کرد (شکل ۱-۱): لایه داخلی زمین را هسته زمین تشکیل می‌دهد که ترکیب آن از عنصر آهن است. این لایه خود به دو قسمت خارجی و داخلی تقسیم می‌شود. هسته داخلی از نظر فیزیکی جامد و هسته بیرونی مایع است. لایه دیگر گوشته است که مابین هسته و پوسته (به‌عنوان خارجی‌ترین لایه) قرار می‌گیرد.



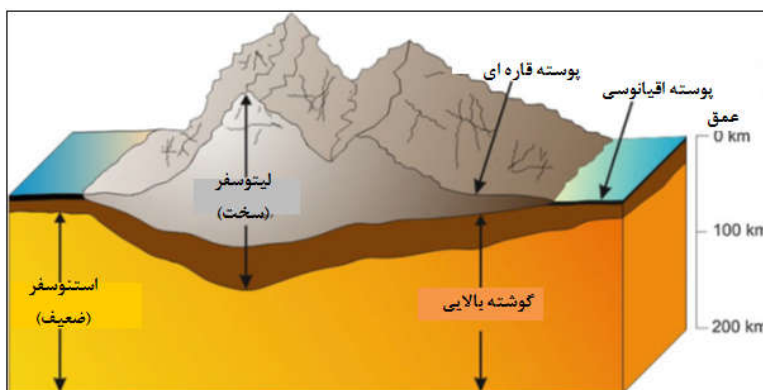
شکل ۱-۱. لایه‌های مختلف زمین (اقتباس از: Sucuoglu H., Akar S, 2014)

یکی از ویژگی‌های گوشته تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای در مجاورت آن با پوسته و هسته است (شکل ۱-۲). همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، سرعت امواج لرزه‌ای به محض رسیدن آن از پوسته به گوشته (موسوم به مرز موهو) به سرعت افزایش یافته و در مسیر خود از گوشته به هسته به سرعت کاهش می‌یابد.



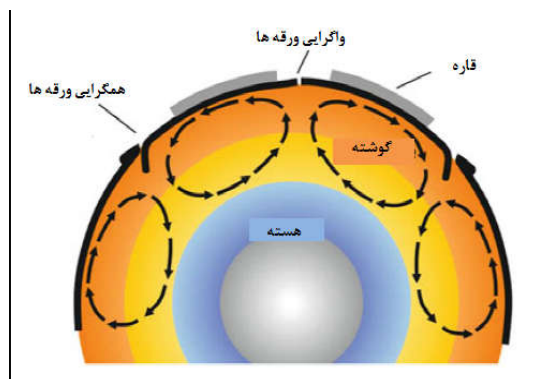
شکل ۱-۲. تغییرات سرعت موج برشی (s) و تراکمی (p) در لایه‌های مختلف (اقتباس از: Sucuoglu H., Akar S, 2014)

این تغییرات سرعت راه خواص فیزیکی مواد موجود در این مناطق کنترل می‌کنند. ضخامت پوسته متغیر است و در کوه‌ها (با ترکیب گرانیتی و بازالتی) به مقدار بیشینه تا حدود ۷۰ کیلومتر و در اقیانوس‌ها (با ترکیب بازالتی) به مقدار متوسط حدود ۷ کیلومتر می‌رسد. اگر خواسته باشیم قشر بالای زمین را از نظر فیزیکی (مقاومت مواد و سختی) تقسیم کنیم دو لایه لیتوسفر (سنگ کره) و استنوسفر (نرم کره) را شامل خواهند شد (شکل ۱-۳). لیتوسفر سخت و مقاوم است. این لایه به‌طور عمده از پوسته و بخش بالایی گوشته تشکیل می‌شود. ضخامت آن به ۱۲۵ کیلومتر می‌رسد. استنوسفر لایه ضعیف محسوب شده و تغییرشکل در آن به‌صورت خزش جبران می‌شود.



شکل ۱-۳. خارجی ترین قشر کره زمین متشکل از سنگ کره (شامل پوسته و بخش بالایی گوشته) و استنوسفر (اقتباس از: Sucuoglu H., Akar S, 2014).

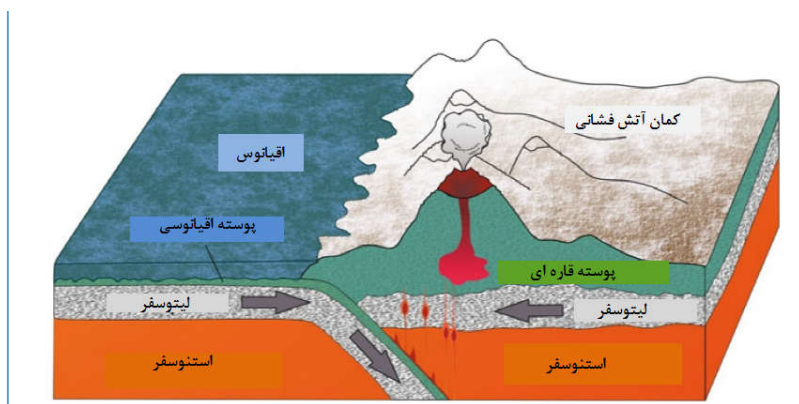
درواقع می‌توان لیتوسفر را به صورت شناور بر روی استنوسفر در نظر گرفت. داخل زمین دارای جنبش یکنواختی است که از حرارت ناشی می‌شود. این حرارت به صورت همرفتی است و حاصل این حرکت در اعمال نیرو به قشر سخت لیتوسفر و جابه‌جا کردن آن (به صورت صفحات زمین‌ساختی) نمایان می‌شود (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴. سازوکاری که منجر به حرکت صفحات زمین‌ساختی می‌شود (اقتباس از: Sucuoglu H., Akar S, 2014).

جابه‌جایی نسبی دو صفحه در مجاورت هم اشکال مختلفی از نیرو و در نتیجه دگرریختی را سبب می‌شود. در شرایطی که دو صفحه حرکت هم‌گرا داشته باشند، بعد از برخورد ممکن است یکی به‌زیر دیگری فرورفته و گونه‌های مختلفی از دگرریختی

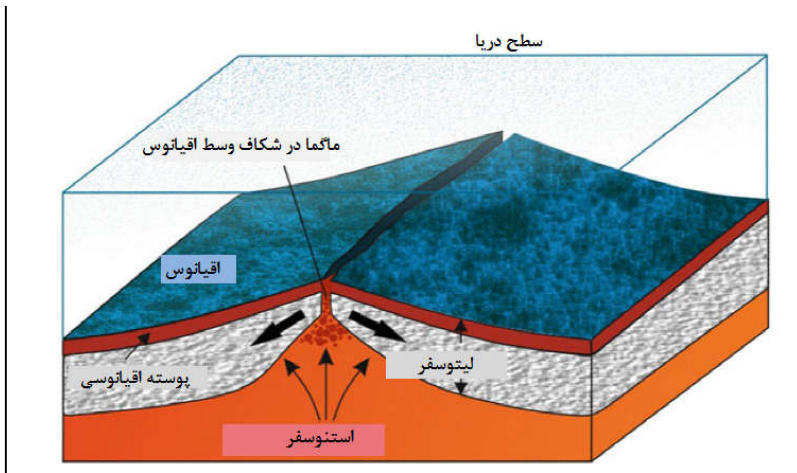
که عمده‌ترین آن ضخیم‌شدن پوسته است را موجب شود. اگر دو صفحه‌ای که با هم برخورد می‌کنند اقیانوسی باشند، یکی از آن‌ها که دارای سرعت بیشتر و یا سنگین‌تر از دیگری باشد در زیر دیگری قرار خواهد گرفت و مناطق فرورانش^۱ را در حاشیه صفحات ایجاد خواهند کرد. در این مناطق به دلیل ذوب‌شدن صفحه فروراند، قوس یا کمان آتش‌فشانی شکل می‌گیرد (شکل ۱-۵). اگر دو صفحه مذکور قاره‌ای باشند قاعده فوق‌مجدد حاکم بوده و با برخورد دو صفحه مناطق مرتفع کوهستان شکل خواهد گرفت. نمونه بارز این رویداد را شکل‌گیری هیمالیا در اثر برخورد هند و اورازیا می‌توان نام برد.



شکل ۱-۵. فرورانش صفحه اقیانوسی بزر صفحه قاره‌ای (اقتباس از: Sucuoglu H.,

Akar S, 2014

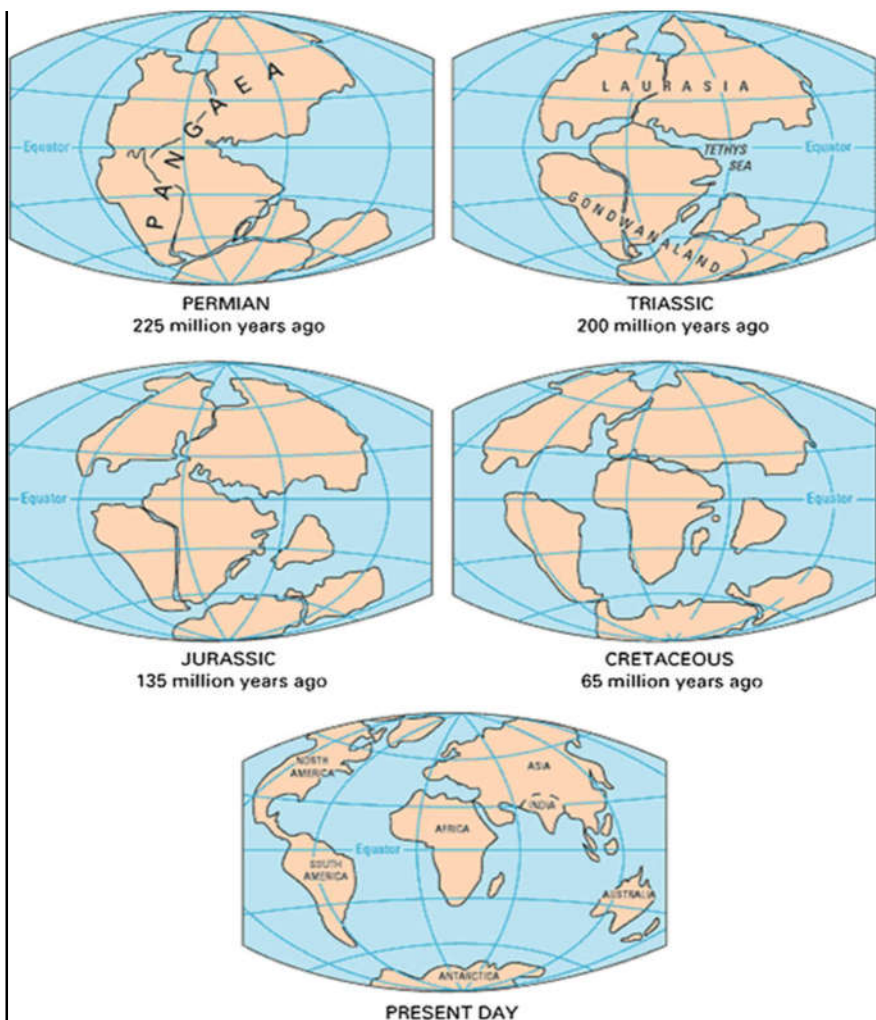
به‌همین‌روال و در صورت حرکت واگرایی دو صفحه نسبت به‌هم، نیروی کششی در بین دو صفحه گسترش‌یافته و ساختار کششی و درنهایت ایجاد بستر اقیانوسی جدید همانند دریای سرخ که بین دو صفحه عربی و آفریقا در حال شکل‌گیری است را به‌ارمغان خواهد آورد (شکل ۱-۶). در بعضی از موارد دو صفحه در مجاورت هم بدون واگرایی و هم‌گرایی حرکت می‌کنند که در این شرایط ساختارهای برشی بین دو صفحه شکل می‌گیرند. از جمله این ساختارهای برشی می‌توان گسل سان آندریاس را نام برد که در اثر حرکت صفحه اقیانوس آرام و آمریکای شمالی ایجاد شده‌است.



شکل ۱-۶. سازوکار واگرایی صفحات و ایجاد بستر اقیانوسی جدید (اقتباس از: (Sucuoglu H., Akar S, 2014

۱-۲-۱ جدایش قاره‌ها

سازوکار زمین ساخت صفحه‌ای که در فصل قبل ذکر شد فرایندی پیوسته است. بنابراین تصور می‌شود در ۲۲۵ میلیون سال پیش زمین از یک صفحه موسوم به پانگه آ تشکیل شده است. این صفحه پس از آن گسیخته شده و تشکیل دو قاره بزرگ به نام لورازیا و گندوانا در ۲۰۰ میلیون سال پیش را داده است. در ۱۳۵ میلیون سال پیش لورازیا به دو قاره آمریکا و اورازیا تقسیم شده است. در همین هنگام گنونا به هند، استرالیا، قطب جنوب، و آفریقا تقسیم گردید. در ۵۰ میلیون سال پیش و در راستای جدایش قاره‌ها، صفحه هند با اورازیا برخورد کرده و بخش مهمی از کمر بند کوهزایی آلپ - هیمالیا را ایجاد کرده است. تاریخچه این حرکات در شکل ۱-۷ به تصویر کشیده شده است. توجه داشته باشید که به دلیل زایش بستر اقیانوسی در ناحیه برجسته کف اقیانوسی از یک سو و زوال آن در فرایند فرورانش، پوسته اقیانوسی جوان تر از پوسته قاره است به نحوی که سن قدیم ترین پوسته اقیانوسی فعال به بیش از دوره ژوراسیک نمی‌رسد.



شکل ۱-۷. نگاهی سریع به تاریخچه انشقاق قاره‌ها از بدو تکوین تاکنون (اقتباس از: Sucuoglu H., Akar S, 2014)

انشقاق قاره‌ها در بستر اقیانوس‌ها و درون قاره‌ها به وقوع می‌پیوندد. در این راستا صفحاتی را می‌توان در نظر گرفت که توسط گسل‌های انتقالی از هم دور می‌شوند (شکل ۱-۸).