



کانی زایی و زمین ساخت

(کارشناسی ارشد زمین شناسی)

دکتر حسن علیزاده سالو محله

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 پربار 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 دستاوردهای 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: «اقْرَأْ 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 ایران‌شمول 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 جوای 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 منزلگاه 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

پیشگفتار	نه
فصل اول. زمین ساخت صفحه‌ای.....	۱
هدف‌های کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۲
۱-۱ جدایش قاره‌ها.....	۳
۲-۱ گسترش بستر اقیانوس‌ها.....	۴
۳-۱ پیدایش زمین ساخت صفحه‌ای.....	۸
۴-۱ علت حرکت ورقه‌ها.....	۱۴
۵-۱ چرخه ویلسون.....	۱۷
خودآزمایی.....	۲۱
فصل دوم. ذخایر کانسنکی مرتبط با مرزهای واگرا.....	۲۳
هدف‌های کلی.....	۲۳
هدف‌های یادگیری.....	۲۳
مقدمه.....	۲۴
۱-۲ انواع مرزهای واگرا.....	۲۵
۱-۱-۲ کافت‌های قاره‌ای.....	۲۵
۲-۱-۲ پشته‌های اقیانوسی.....	۳۰

۳۴.....	۲-۲ کانسارهای مرتبط با مرزهای واگرا
۳۴.....	۱-۲-۲ کانسارهای همراه با کافت‌های قاره‌ای
۵۴.....	۲-۳-۲ کانسارهای همراه با پشته‌های اقیانوسی
۶۶.....	خودآزمایی

۶۷.....	فصل سوم. کانسارهای مرتبط با مرزهای همگرا
۶۷.....	هدف‌های کلی
۶۷.....	هدف‌های یادگیری
۶۸.....	مقدمه
۶۹.....	۱-۳ انواع مرزهای همگرا
۶۹.....	۱-۱-۳ حاشیه همگرای اقیانوسی-قاره‌ای
۷۱.....	۲-۱-۳ حاشیه همگرای اقیانوسی-اقیانوسی
۷۲.....	۳-۱-۳ حاشیه همگرای قاره-قاره
۷۳.....	۴-۱-۳ حاشیه همگرای کمان-قاره
۷۴.....	۲-۳ کانسارهای مرتبط با مرزهای همگرا
۷۴.....	۱-۲-۳ کانسارهای همراه با کمان‌های اصلی
۸۳.....	۲-۲-۳ کانسارهای مربوط به پیش کمان
۸۸.....	۳-۲-۳ کانسارهای مربوط به حوضه‌های پشت کمان (کمان‌های داخلی)
۹۳.....	۴-۲-۳ کانسارهای مرتبط با خط درز
۹۳.....	۵-۲-۳ کانسارهای مرتبط با حاشیه پشت کران (صفحه رورانده)
۹۴.....	۶-۲-۳ کانسارهای مربوط به کمربند تراستی پیش بوم
۹۵.....	۷-۲-۳ کانسارهای مرتبط با حوضه‌های پیش بوم
۹۷.....	خودآزمایی

۹۹.....	فصل چهارم. کانسارهای مرتبط با نقاط داغ
۹۹.....	هدف‌های کلی
۹۹.....	هدف‌های یادگیری
۹۹.....	مقدمه
۱۰۱.....	۱-۴ خصوصیات نقاط داغ
۱۰۱.....	۲-۴ کانسارهای مرتبط با نقاط داغ
۱۰۴.....	۱-۲-۴ ذخایر قلع و نیوبیوم همراه با سنگ‌های گرانیتی

۲-۲-۴ ذخایر آهن و تیتانیوم همراه با آنورتوزیت ها	۱۰۷.....
۳-۲-۴ توده‌های نفوذی مافیک لایه‌ای مرتبط با نقاط داغ و کانسنگ‌های همراه	۱۰۹.....
۴-۲-۴ ذخایر همراه با کربناتیت‌ها	۱۱۰.....
۵-۲-۴ ذخایر همراه با کیمبرلیت‌ها	۱۱۲.....
خودآزمایی	۱۱۳.....

فصل پنجم. کانسارهای مرتبط با گسل و شکستگی‌ها	۱۱۵.....
هدف‌های کلی	۱۱۵.....
هدف‌های یادگیری	۱۱۵.....
مقدمه	۱۱۵.....
۱-۵ خصوصیات مرزهای خنثی	۱۱۶.....
۱-۱-۵ گسل‌های امتداد لغز اقیانوسی	۱۱۶.....
۲-۱-۵ گسل‌های امتداد لغز قاره‌ای	۱۱۸.....
۲-۵ کانسارهای مرتبط با گسل‌های امتداد لغز و خطواره‌ها	۱۱۹.....
۳-۵ نقش عوامل ساختمانی در کانه‌زایی	۱۲۰.....
خودآزمایی	۱۲۹.....

فصل ششم. سایر ذخایر و زمین‌ساخت ورقی	۱۳۱.....
هدف‌های کلی	۱۳۱.....
هدف‌های یادگیری	۱۳۱.....
مقدمه	۱۳۱.....
۱-۶ سوخت‌های فسیلی و زمین‌ساخت صفحه‌ای	۱۳۲.....
۲-۶ ذخایر مرتبط با آب‌وهوا	۱۳۴.....
۳-۶ انرژی زمین گرمایی و زمین‌ساخت صفحه‌ای	۱۳۵.....
خودآزمایی	۱۳۶.....

فهرست نمایه	۱۳۷.....
کتابنامه	۱۳۹.....

پیشگفتار

کاربرد نظریه زمین ساخت صفحه‌ای در اکتشاف ذخایر معدنی از جمله موارد مهم در علم زمین شناسی اقتصادی است. زمین ساخت صفحه‌ای برای زمین شناسانی که درخصوص اکتشاف ذخایر معدنی فعالیت می‌کنند، افقی را گسترده است که به کمک آن می‌توانند محیط های زمین شناسی خاص را با موقعیت مکانی ذخایر معدنی خاص مرتبط نمایند. به علاوه، استفاده از زمین ساخت صفحه‌ای، امروزه در اکتشاف ذخایر معدنی پنهان کمک شایانی نموده است.

مطالب این کتاب براساس سرفصل‌های مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای دانش‌پژوهان رشته‌های زمین شناسی در دوره کارشناسی ارشد در رشته‌های زمین شناسی اقتصادی و زمین ساخت تدوین شده است. امیدوارم برای همه دانشجویان و اساتید بزرگوار که به بررسی تلفیقی کانی زایی در چارچوب زمین ساخت صفحه‌ای می‌پردازند، مفید واقع شود.

این کتاب در شش فصل تدوین شده که در فصل اول به مفاهیم کلی در زمینه زمین ساخت صفحه‌ای، جدایش قاره‌ها، گسترش بستر اقیانوس‌ها و چرخه ویلسون پرداخته شده است. فصل دوم به ارائه مطالبی درخصوص انواع مرزهای واگرا و بررسی ویژگی‌ها و کانسارهای مرتبط با این مرزها اختصاص یافته است. در فصل سوم انواع مرزهای همگرا، ویژگی‌های آنها و کانسارهای مرتبط با این مرزها مورد بحث قرار گرفته است. فصل چهارم در برگیرنده مطالبی در زمینه خصوصیات نقاط داغ و کانسارهای مرتبط با آنها است. مطالب مربوط به کانسارهای مرتبط با گسل و

شکستگی‌ها در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفته و در نهایت در فصل ششم ذخایر مربوط به سایر محیط‌های زمین ساختی ارائه شده‌است. سعی شده مطالب با بیانی ساده و روشن بیان شود.

این مجموعه که برای اولین بار منتشر گردیده است، به یقین خالی از اشکال نبوده و گردآورنده پیشاپیش مراتب امتنان خود را از صاحب نظرانی که با ارائه نقطه نظرات سودمند خود، موجب بهبودی هرچه بیشتر این نوشتار را فراهم می آورند، اعلام می‌دارد.

در پایان لازم است از تلاش‌های با ارزش همکاران ارجمند در دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی و چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور به‌خاطر مساعدن در مراحل مختلف آماده‌سازی این کتاب، جناب آقای دکتر ارسیا مقتدری به‌خاطر ویراستاری علمی و ارائه نکته نظرات ارزنده و سرکار خانم نرگس صالح‌نژاد به‌خاطر ویراستاری ادبی قدردانی نموده و برای این عزیزان توفیق روزافزون آرزو نمایم.

حسن علیزاده سالومحله

پاییز ۱۳۹۴

H_alizadehs@pnu.ac.ir

فصل اول

زمین ساخت صفحه‌ای

هدف‌های کلی

در این فصل نظریه زمین ساخت صفحه‌ای و حرکت صفحات مورد بررسی قرار گرفته و اجمالاً به مواردی از قبیل شواهد حرکت صفحات، پیدایش زمین ساخت صفحه‌ای، علت حرکت ورقه‌ها و چرخه ویلسون اشاره خواهد شد.

هدف‌های یادگیری

با توجه به هدف‌های کلی یاد شده شما قادر خواهید بود با مطالعه این فصل مطالب زیر را فرا گیرید:

۱. شواهد و علائم حرکت صفحات پوسته اقیانوسی و قاره‌ای را نام ببرید.
۲. دلایل اثبات فرضیه جدایش قاره‌ها توضیح دهید.
۳. فرضیه واین و ماتئوس درخصوص گسترش بستر اقیانوس‌ها را شرح دهید.
۴. انواع مرز صفحات را نام ببرید.
۵. مفاهیم نظریه زمین ساخت صفحه‌ای را توضیح دهید.
۶. علت حرکت صفحات را بیان کنید.
۷. چرخه ویلسون در حرکت صفحات را توضیح دهید.

مقدمه

زمین‌ساخت صفحه‌ای^۱ را می‌توان چشم‌انداز علمی جدیدی به جهان دانست که به‌طور گسترده عقیده دانشمندان علوم زمین را در مورد چگونگی سازوکارهای حاکم بر زمین تغییر داده است. علم زمین‌ساخت به‌طور کلی پیرامون نیروهای داخلی زمین بحث می‌کند که موجب تغییر و تکامل قاره‌ها، حوضه‌های اقیانوسی، رشته‌کوه‌ها، کمربندهای زمین‌لرزه و سایر رخدادهای بزرگ‌مقیاس سطح کره زمین شده‌اند.

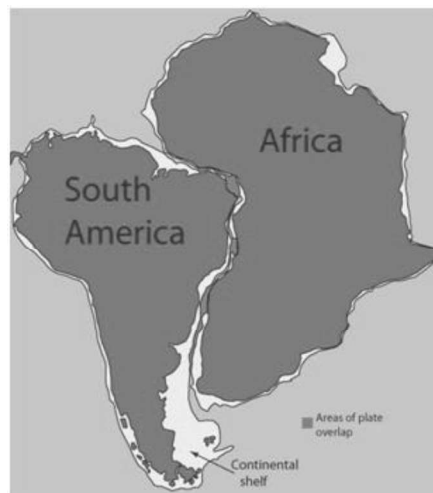
البته عقیده اولیه زمین‌ساخت صفحه‌ای یا همان نظریه جدایش قاره‌ها را قبل از دهه ۱۹۶۰ آلفرد واگنر بیان کرده بود. همچنین نظریه گسترش بستر اقیانوس‌ها، که به واقع می‌توان آن را پدر نظریه زمین‌ساخت صفحه‌ای به حساب آورد، نیز در سال ۱۹۲۹ از سوی آرتور هلمز^۲ برای اقیانوس اطلس مطرح شده بود. نظریه زمین‌ساخت صفحه‌ای ابتدا براساس شواهد و علائمی ارائه شد که دلیل بر حرکت پوسته‌های قاره‌ای و اقیانوسی است. از جمله شواهد و علائم مهم که در این زمینه ارائه شده می‌توان، به موارد زیر اشاره کرد:

- انطباق حاشیه قاره‌ها؛
 - شواهد زمین‌شناسی جدایش قاره‌ها؛
 - شواهد دیرین‌شناسی جغرافیایی و اقلیمی گذشته؛
 - مغناطیس دیرینه؛
 - متقارن و خطی بودن نوارهای مغناطیسی عادی و معکوس در اقیانوس اطلس.
- مطالعه گسترده انجام شده در زمینه‌های پترولوژی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی و ارتباط آن با زمین‌ساخت صفحه‌ای، منشأ زلزله‌ها، تغییرات مغناطیسی زمین در گذشته و همچنین مطالعه موقعیت مکانی و زمانی فسیل‌ها در گذشته موجب شده اینک نظریه زمین‌ساخت صفحه‌ای مورد قبول دانشمندان واقع شود.
- زمین‌ساخت صفحه‌ای در مقایسه با سایر نظریه‌های زمین‌ساختی که تاکنون ابراز شده‌اند، بسیار منطقی و متقاعدکننده‌تر است، زیرا بشر را قادر به پیش‌بینی‌هایی می‌کند که از طریق مشاهدات قابل آزمون است. مجموعه اطلاعاتی که درباره جابه‌جایی قاره‌ها و گسترش بستر اقیانوس‌ها گردآوری شده، پرسش‌های جدیدی را برای دانشمندان علوم زمین به همراه آورده است که در رأس تمامی سؤالات مطرح شده، مسئله فرایند جدایش

قاره‌ها و گسترش بستر اقیانوس‌ها قرار دارد.

۱-۱ جدایش قاره‌ها^۱

در قرن هجدهم میلادی برای اولین بار موضوع انطباق ظاهری سواحل غربی و شرقی اقیانوس اطلس مطرح شد. این فرضیه با انطباق خصوصیات زمین‌شناسی موجود در سواحل مجاور بیشتر تقویت شد. با بهره‌گیری از اطلاعات گوناگون ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی، تعیین موقعیت قاره‌ها قبل از آخرین جدایش آنها در حدود دویست میلیون سال قبل امری ممکن است. انطباق مرز قاره‌ها، مقاطع چینه‌شناسی و تجمع فسیل از اولین روش‌هایی بودند که در بازسازی موقعیت قاره‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. اولین روش در بازسازی موقعیت قاره‌ها نسبت به یکدیگر، استفاده از انطباق هندسی سواحل آنان بود. مطالعات بعدی نشان داد، لبه قاره‌ها در منطقه فلات قاره^۲ یا شیب قاره^۳ قرار دارند و برای انطباق بهتر قاره‌ها باید از حاشیه قاره‌ها^۴ بهره جست. شکل ۱-۱ نشانگر انطباق قاره‌های موجود در سواحل غربی و شرقی اقیانوس اطلس است که حداقل همپوشانی و انفصال را دارند. وجود اکثر مناطق همپوشانی را می‌توان



شکل ۱-۱. انطباق قاره‌های پیرامون اقیانوس اطلس

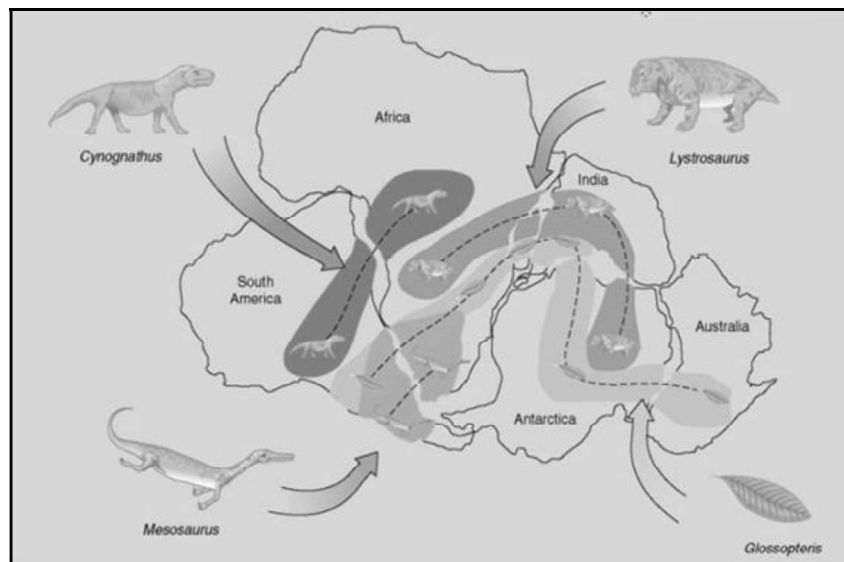
1. Continental drift
2. Continental shelf
3. Continental Slope
4. Continental margine

به مسئله افزوده شدن حاشیه قاره‌ها پس از جدایش آنان از یکدیگر مرتبط دانست. دومین روش در بازسازی موقعیت قاره‌ها نسبت به یکدیگر، استفاده از تشابهات دیرینه‌شناسی، سنی و چینه‌شناسی مقاطع موجود در حاشیه متقابل قاره‌ها است. از آنجا که هر جاننداری در شرایط خاصی زندگی می‌کند، یافتن سنگواره‌های جاننداری معین در دو نقطه دور از هم که امروزه شرایط آب و هوایی متفاوتی دارند، دلیلی بر مجاورت احتمالی دو مکان مزبور در زمان حیات جاندار است (شکل ۱-۲).

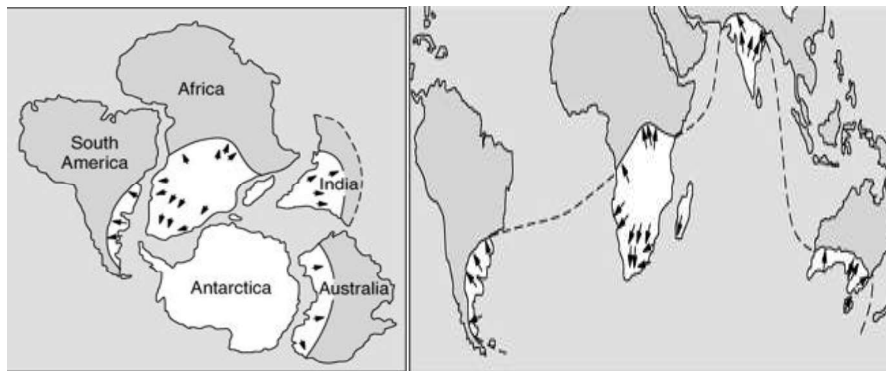
همچنین می‌توان به تشابه مقاطع چینه‌شناسی اواخر پالئوزوئیک در ابرقاره گندوانا اشاره کرد. لایه‌های کلیدی زغالی و تیلت‌دار را نیز می‌توان بین آفریقای جنوبی، آمریکای جنوبی، قاره قطب جنوب هند و استرالیا دنبال کرد (شکل ۱-۳). روش‌های دیگری در بازسازی موقعیت قاره‌ها نسبت به یکدیگر وجود دارد که شامل انطباق کمربندهای چین‌خورده، ایالت‌های فلززایی و مغناطیس دیرینه است.

۲-۱ گسترش بستر اقیانوس‌ها

تا دهه ۱۹۵۰ شواهد زیادی پیرامون جدایش قاره‌ها به دست آمده بود، اما نظریه جدایش قاره‌ها به‌طور عمومی پذیرفته نشده بود. تا این زمان فعالیت‌های روی تعیین

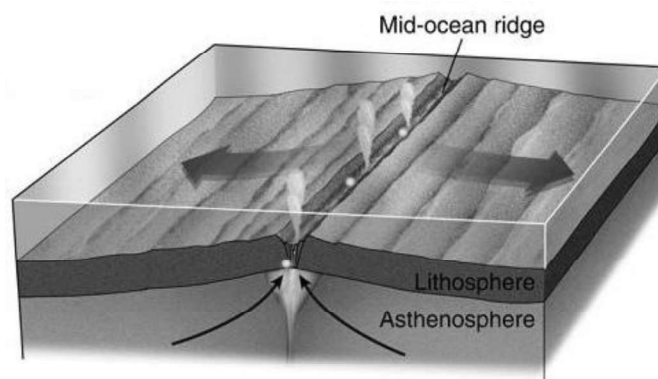


شکل ۲-۱. گونه‌هایی از خزندگان اواخر پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک که در قاره‌های مختلف یافت شده‌اند، بیانگر جدایش قاره‌ها است.



شکل ۳-۱. تشابه لایه‌های زغال‌دار و تیلنی بین آفریقای جنوبی، آمریکای جنوبی، قاره قطب جنوب، هند و استرالیا

وضعیت قاره‌ها پیش از جدایش و ارزیابی نتایج زمین‌شناسی آن متمرکز شده بود، ولی مسیری که به وسیله آن قاره‌ها وضعیت کنونی خود را به دست آورده بودند، تعیین نشده بود. به منظور مطالعه جنبشی جدایش قاره‌ها احتیاج به مطالعه مناطقی است که در حال حاضر قاره‌های مجاورت هم را از یکدیگر جدا می‌کند. در نتیجه باید به حوضه‌های اقیانوسی موجود در حد فاصل قاره‌ها توجه کرد. گسترش بستر اقیانوس‌ها فرایندی است که طی آن سنگ‌کره در طول پشته‌های میان‌اقیانوسی^۱ شکافته شده و به طرفین حرکت می‌کند (شکل ۴-۱).

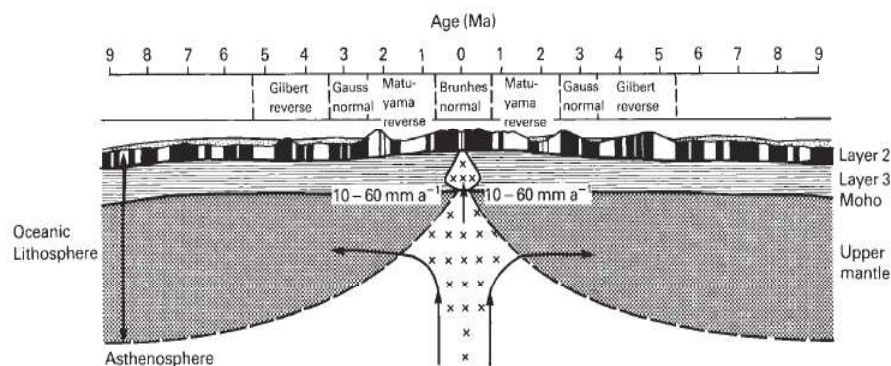


شکل ۴-۱. برشی نمونه از پشته‌های میان‌اقیانوسی

1. Mid-oceanic ridge

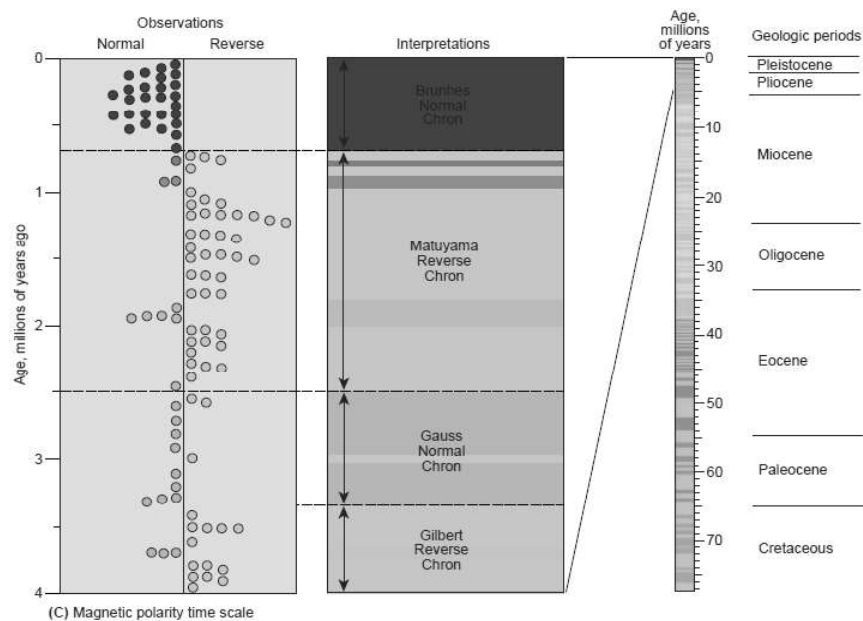
بر این اساس، سنگ‌کره اقیانوسی تازه از راه بالا آمدن و ذوب بخشی مواد از سست‌کره در پشته‌های اقیانوسی به‌وجود می‌آید. سنگ‌کره را می‌توان همانند مجموعه‌ای از ورقه‌ها که به‌وسیله پشته‌های میان‌اقیانوسی، مناطق فرورانش و گسل‌های ترادیدی محدود شده‌اند، در نظر گرفت. باور بر این است که سازوکار محرک این حرکت‌ها، جریان‌های همرفتی درون گوشته زیر سنگ‌کره است. تصور می‌شود، جریان‌های همرفتی، سلول‌هایی را تشکیل می‌دهند که در آنها گوشته در زیر پشته‌های اقیانوسی بالا آمده و ماده داغ را به سطح آورده و سنگ‌کره تازه‌ای ساخته است. با تشکیل سنگ‌کره جدید در طول پشته‌های میان‌اقیانوسی برای ایجاد تعادل و ثابت ماندن سطح کره زمین پوسته اقیانوسی در مناطق فرورانش در سست‌کره هضم می‌شود و از بین می‌رود.

اغلب شواهد گسترش بستر اقیانوس‌ها از مطالعه ناهنجاری‌های مغناطیسی خطی موجود در بستر اقیانوس‌ها به دست آمده است. واین و ماتیوس (۱۹۶۳) اولین کسانی بودند که وجود تناوب نوارهای مثبت و منفی ناهنجاری‌های مغناطیسی را با ایجاد نوارهایی از سنگ‌های بازالتی در پوسته اقیانوسی که در جهت میدان مغناطیسی زمین به‌صورت عادی و معکوس مغناطیسی شده‌اند، پیشنهاد کردند. براساس این فرضیه پوسته اقیانوسی بر اثر جامدشدن و سخت‌شدن ماگمای تزریقی و فوران یافته در امتداد خط‌الراس پشته‌های میان‌اقیانوسی ایجاد می‌شود (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱. گسترش بستر اقیانوس و تولید خطواره‌های مغناطیسی براساس فرضیه واین و ماتیوس

با سرد شدن بیشتر ماگما دمای آن از درجه حرارت کوری کمتر و خواص ذرات فرومغناطیس پدیدار می‌شود. در نتیجه ماگما سخت شده، خاصیت مغناطیسی هم‌جهت با میدان مغناطیسی زمین پیدا می‌کند. فرایند تشکیل سنگ‌کره به‌طور مستمر ادامه دارد و به‌صورت متقارن در هر دو طرف پشته انجام می‌گیرد. به هر حال در صورت واژگون شدن میدان مغناطیسی همچنان سنگ‌کره جدید تشکیل می‌شود. پسته در هر دو طرف پشته شامل یک سری قطعات موازی هم و موازی خط‌الراس پشته می‌شود. برای کنترل این فرضیه نیمرخ‌های مغناطیسی متعددی در جهت عمود بر محور پشته‌های اقیانوسی در نقاط مختلف تهیه شد. مقایسه داده‌های حاصل از پشته‌های میان‌اقیانوسی مختلف نشان می‌دهند، طرح واژگون شدن قطب‌های مغناطیسی در همه‌جا مشابه است (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶. مقیاس زمانی واژگونی میدان مغناطیسی

اختلاف مشخصی که در طرح ناهنجاری‌ها دیده می‌شود، عدم تساوی عرض ناهنجاری‌های مثبت و یا منفی در نقاط مختلف است. در صورتی که سرعت خروج

بازالت در همه جا یکسان باشد، باید انتظار نوارهایی با ناهنجاری‌های مشابه داشته باشیم، حال آنکه چنین نیست. تفاوت عرض ناهنجاری‌ها در پشته‌های مختلف معرف تفاوت سرعت گسترش آنهاست. در سال‌های اخیر نمونه‌های بسیاری از سنگ‌های قاره‌ای جهان مورد آزمایش قرار گرفته و سن و جهت میدان مغناطیسی در آنها تعیین شده‌است. از روی آنها مقیاسی به دست آمده که تعیین می‌کند در چه فاصله‌های زمانی میدان مغناطیسی زمین وضع کنونی (عادی) و در چه فاصله‌های زمانی وضع مخالف آن (واژگون) داشته است (شکل ۱-۶). این مقیاس که با دقت زیاد برای $4/5$ میلیون سال گذشته تهیه شده، نشان می‌دهد در خلال این مدت حداقل ۹ بار قطب‌های مغناطیسی زمین واژگون شده‌اند. با استفاده از روش‌های مقیاسه‌ای و ثابت فرض کردن سرعت گسترش در اقیانوس اطلس فواصل زمانی معکوس شدن میدان مغناطیسی برای ۱۶۰ میلیون سال گذشته نیز محاسبه شده‌است. دوره امروزی میدان مغناطیسی (عادی) از حدود ۷۰۰ هزار سال پیش آغاز شده‌است (شکل ۱-۶).

اندازه‌گیری‌های انجام شده به کمک ماهواره‌ها در مورد حرکت ورقه‌ها نیز مؤید میزان و جهت حرکت به دست آمده از نظریه گسترش بستر اقیانوس‌ها برای آنان است. اصولاً سرعت گسترش اقیانوس‌ها از یک سانتی‌متر در سال برای هر دامنه در رشته‌کوه ایسلند و نواحی استوایی اقیانوس آرام تا حدود ۱۰ سانتی‌متر در سال می‌رسد. برای مثال مشاهده افزایش سن و ضخامت رسوبات اعماق اقیانوس با دور شدن از پشته‌های میان‌اقیانوسی با این مدل قابل پیش‌بینی است. همچنین عدم وجود رسوبات قدیمی‌تر از ژوراسیک در اقیانوس‌ها خود بازتابی از میزان گسترش بستر اقیانوس‌ها در حد چند سانتی‌متر در سال است. این امر مبین این مطلب است که بستر اقیانوس‌ها باید در هر ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیون سال کاملاً تجدید شوند.

۳-۱ پیدایش زمین ساخت صفحه‌ای

زمین ساخت صفحه‌ای و دو مفهوم گسترش بستر اقیانوس‌ها و واژگونی میدان مغناطیسی زمین انقلاب بزرگی را در علم زمین‌ساخت ایجاد کردند. این سه مفهوم بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۶۸ با دلایل و مدارک کافی اثبات شده‌اند و پیشرفت‌های چشمگیری یافتند.

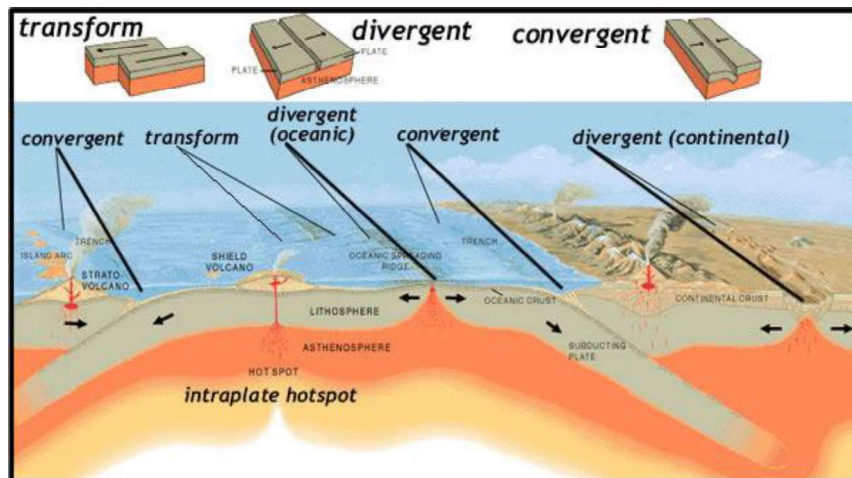
زمین ساخت صفحه‌ای ۹

زمین ساخت صفحه‌ای در مقایسه با سایر نظریه‌های زمین ساختی که تا کنون ارائه شده به دلیل دو عنصر کمی مهم، یعنی شواهد هندسی و تعیین زمان حقیقی، منطقی و متقاعدکننده‌تر است.

اولین تصور هندسی، لایه‌لایه بودن زمین است. خارجی‌ترین این لایه‌ها سنگ‌کره نام دارد که به صورت قشر کروی صلب و مقاومی در مقابل تغییر شکل‌ها با ضخامت حدود ۸۰ کیلومتر زمین را احاطه کرده است. در زیر سنگ‌کره، نرم کره با گرانیوی^۱ کمتر از سنگ‌کره و شکل‌پذیر^۲ قرار گرفته است. این اختلاف شدید مقاومت در مقابل تغییر شکل در بین نرم کره و سنگ‌کره باعث انتقال تنش‌ها در مسافت زیادی در داخل سنگ‌کره می‌شوند.

وجود ساختمان بسیار قوی لایه‌ای در سیاره زمین باعث شد که بتوان حرکت ورقه‌های سنگ‌کره را با حرکت قطعات یخ روی یک استخر آب قیاس کرد.

دومین تصور هندسی، قطعه‌قطعه بودن سنگ‌کره کروی زمین است. سنگ‌کره زمین شامل شش قطعه صلب اصلی و چندین قطعه کوچک‌تر است که مجزا از دیگری حرکت می‌کند. اولین قدم در زمین ساخت صفحه‌ای توجه دقیق به مرز بین ورقه‌ها و شناخت دقیق آنهاست. مرز بین صفحات را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۷-۱):



شکل ۷-۱. انواع مرز صفحات

1. Viscosity
2. ductile

- درازگودال‌ها^۱: محلی که دو ورقه به یکدیگر نزدیک می‌شوند؛
 - پشته‌ها^۲: محلی که دو ورقه از یکدیگر دور می‌شوند؛
 - گسل‌های ترادیدی^۳: محلی که دو ورقه مماس یکدیگر حرکت می‌کنند.
- سومین تصور هندسی شناخت تفاوت میان حرکت در امتداد خطی مستقیم روی یک صفحه و حرکت در امتداد مسیری دایره‌ای روی سطح یک کره است. هرگاه جسمی که روی یک صفحه واقع است، تحت تأثیر یک نیروی ثابت قرار گیرد، در امتداد یک خط راست به جلو رانده می‌شود. در صورتی که اگر این جسم روی یک سطح کروی قرار داشته باشد، تحت تأثیر یک نیروی ثابت، گشتاور ثابتی در آن ایجاد شده و در طول یک مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به همین جهت ورقه‌های سنگ‌کره زمین در طول ده‌ها میلیون سال تحت تأثیر گشتاور تقریباً ثابتی قرار گرفته و حرکتشان در طول مسیری دایره‌ای بوده که می‌توان خط سیر آنان را با اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی مشخص کرد. این مسیر دایره‌ای را می‌توان به‌طور مؤثری به‌وسیله مختصات ویژه‌ای به نام قطب‌های اولر، که در مرکز دایره قرار گرفته‌اند، توصیف کرد.
- عنصر اصلی دیگر که در تکامل زمین‌ساخت صفحه‌ای نقش به سزایی دارد، اندازه‌گیری زمان است. تعیین سن سنگ‌ها از اولین موضوعات مهم در زمین‌شناسی بوده است.
- از اولین پیشرفت‌های مهم در علم زمین‌شناسی می‌توان سن‌یابی با کمک فسیل‌ها را نام برد که هم اکنون نیز همچنان معتبر است.
- دومین پیشرفت در این زمینه تعیین سن مطلق با کمک ایزوتوپ‌های رادیواکتیو بوده است. تا اوایل دهه ۱۹۶۰ زمین‌شناسان با استفاده از دو روش فوق سن بخش اعظم قاره‌ها را به دست آورده بودند. سومین پیشرفت در این زمینه در اوایل دهه ۱۹۶۰ روی داد که در این زمان ژئوفیزیکدان‌ها متوجه شدند، می‌توان سن بستر اقیانوس‌ها را با مطالعه میدان مغناطیسی از سطح دریاها و اقیانوس‌ها به دست آورند. از آنجا که این مطلب تصور هندسی واضحی از سنگ‌های با سن‌های مختلف را که در نتیجه فرایند گسترش بستر اقیانوس‌ها به‌وجود آمده بودند، به دست می‌داد، به‌صورت عاملی کلیدی در زمین‌ساخت صفحه‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

1. Trench
2. ridges or rises
3. transform faults

مفاهیم هندسی و اندازه‌گیری زمان حقیقی باعث شدند، زمین ساخت صفحه‌ای به صورت علمی کمی در بین نظریه و مشاهده درآید. در هر صورت زمین ساخت صفحه‌ای قادر به توضیح تمام مسائل موجود در مورد تاریخچه زمین و سیر تکامل جانداران نیست، ولی قادر به تفسیر برخی از مهم‌ترین مسائل موجود در زمین بوده و باید آن را به صورت دریاچه‌ای جدید در علم زمین‌شناسی در نظر گرفت که قادر به حل پاره‌ای از مسائل مهم زمین‌شناسی است.

مفاهیم نظریه زمین ساخت صفحه‌ای را می‌توان این گونه خلاصه کرد:

- بخش‌های خارجی زمین از تعدادی ورقه (صفحه) مجزا ساخته شده است که بندرت در داخل آنها زمین لرزه‌ای اتفاق می‌افتد، حاشیه این صفحات با لرزه‌خیزی زیاد مشخص می‌شوند. این صفحات را ورقه‌های سنگ‌کره می‌نامیم.
- نام‌گذاری ورقه‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایی کنونی‌شان صورت گرفته و به طور کلی سطح زمین از شش ورقه اصلی و بزرگ‌تر به نام‌های آفریقا، اوراسیا، هند، آرام، قطب جنوب و آمریکا و تعداد بیشتری ورقه کوچک‌تر تشکیل شده است (شکل ۱-۸).
- هر ورقه به طور متوسط ۱۵۰ کیلومتر ضخامت دارد و متشکل از پوسته و گوشته بالایی یعنی سنگ‌کره است. پوسته سازنده قسمت بالایی هر ورقه نشانگر آن است که ورقه قاره‌ای، اقیانوسی یا ترکیبی از این دو است. جایی که پوسته یک لایه‌ای وجود داشته باشد (از جنس سیما) آنچنان که در ورقه آرام دیده می‌شود، نشانه اقیانوسی بودن آن است و هر جا که پوسته دو لایه دارد (سیال در بالا و سیما در پایین) مانند ورقه ایران و عربستان معرف شرایط قاره‌ای است. برخی ورقه‌ها مانند آفریقا ترکیبی از هر دو نوع ورقه (یعنی قاره‌ای اقیانوسی) هستند.
- در زیر ورقه‌های سنگ‌کره لایه‌ای متشکل از سنگ‌های شکل‌پذیر به نام سست‌کره قرار گرفته است. کاهش سرعت حرکت امواج زلزله در سست‌کره وسیله مناسبی جهت تعیین موقعیت آن است. طبیعت خاص سست‌کره حرکت ورقه‌های سنگ‌کره را روی آن امکان‌پذیر می‌سازد.
- ورقه‌های سنگ‌کره در یکجا ثابت نیستند و نسبت به هم حرکت می‌کنند. از این رو حاشیه ورقه‌ها مناطق فعالیت‌های شدید زمین ساختی، آذرین و دگرگونی است. در مقابل بخش‌های داخلی ورقه‌ها از نظر این گونه فعالیت‌ها مناطق آرامی محسوب می‌شوند.