۳ زمین‌ساخت ورقه‌ای

امروزه زمین‌شناسان چنین معتقد شده‌اند که بخش‌های خارجی زمین نسبت به هم در حرکت‌اند. اگر می‌توانستیم یک میلیارد سال به عقب برگردیم، زمین را سیّاره‌ای بسیار متفاوت با سیّاره‌ی امروزی می‌یافتیم. در آن‌صورت 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، به‌طوری که این دوره را با هیچ دوره‌ی دیگری نمی‌توان مقایسه کرد. البته نقطه‌ی آغاز این تحولات را باید در اوایل قرن بیستم جست‌وجو کرد. در آن‌هنگام، نظریه‌ای به نام جابه‌جایی قاره‌ها توسط **آلفرد وگنر**، هواشناس و زمین فیزیک‌دان آلمانی عنوان شد که با نظریه‌های قبلی درمورد ثابت‌بودن وضعیت قاره‌ها و اقیانوس‌ها، تضاد داشت. به همین‌سبب هم، این نظریه در ابتدا با شک و تردید تلقی شد و عده‌ای حتی آن‌را به مسخره گرفتند! درواقع بیشتر از ۵۰سال زمان لازم بود تا اطلاعات کافی برای تأیید نظریه‌ی جدید جمع‌آوری شود تا سرانجام آن نظریه‌ی ضعیف جای خود را به نظریه‌ی **زمین‌ساخت‌ورقه‌ای** 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 درحدود ۲۰۰میلیون سال پیش، شروع به قطعه قطعه‌شدن کرد و سرانجام قاره‌های امروزی را به‌وجود آورد (شکل ۱ــ۳).

امروزه ما تقریباً مطمئنیم که قاره‌ی پانگه‌آ درحدود ۲۰۰میلیون سال قبل وجود داشته است. این قاره چند میلیون سال بعد مبدل به دو قاره‌ی بزرگ **لورازیا** (Laurasia) و **گندوانا** (Gondwana) شد که اولی شامل امریکای‌شمالی، گرینلند و بیشتر قسمت‌های آسیا و اروپای امروزی است و دومی

شکل۱ــ۳ــ بازسازی قاره‌ی بزرگ پانگه‌آ، به‌شکلی که در حدود ۲۰۰میلیون سال پیش بوده است.

امریکای‌جنوبی، افریقا، قطب‌جنوب، هندوستان و استرالیای کنونی را شامل می‌شده است. مساحت لورازیا و گندوانا تقریباً مساوی بوده است. شواهد زیستی و زمین‌شناسی زیادی مبنی‌بر جداشدن این دو قاره ازهم وجود دارد، که وجود فسیل‌های مشابه فراوان در دو قاره‌ی مذکور از آن‌جمله است.

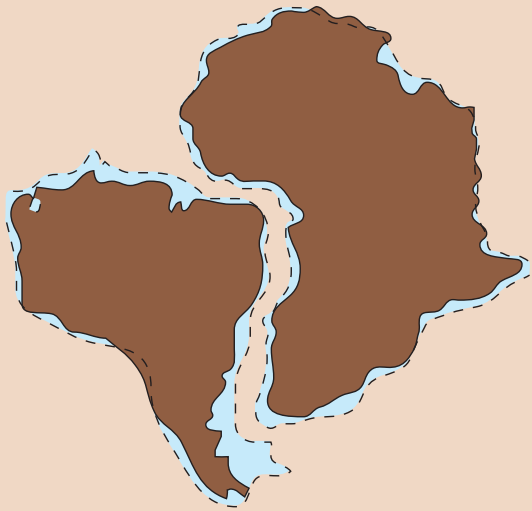
فاصله‌ی دو قاره‌ی لورازیا و گندوانا را دریایی به نام **تتیس** (Tethys) پر می‌کرده است که امروزه دریاهای مدیترانه، خزر و سیاه را بازمانده‌های آن می‌دانند. وسعت این دریای اولیه را هم از روی طبقات چین‌خورده‌ای که از جبل‌الطّارق تا اقیانوس آرام امتداد دارند می‌توان تشخیص داد، زیرا این رسوبات در کوه‌های پیرنه، آلپ، قفقاز، البرز، اطلس و هیمالیا یافت می‌شوند.

چیزی از تقسیم‌شدن پانگه‌آ نگذشته بود که امریکای‌جنوبی و افریقا نیز به‌صورت یک قطعه از گندوانا جدا شدند. بعدها با پدیدآمدن اقیانوس‌اطلس‌جنوبی، این دو قاره نیز از همدیگر مجزا گشتند. در حدود ۶۵میلیون سال قبل اقیانوس اطلس توسعه‌ی بیشتری به سمت شمال یافت، استرالیا از قطب‌جنوب جدا شد و هندوستان نیز شروع به حرکت به سمت شمال و پیوستن به آسیا کرد.

البته، برای اثبات چنین ادعایی، ارائه‌ی شواهد مختلفی لازم می‌آمد که بعضی از آن‌ها در زمان وگنر و برخی دیگر توسط محققان مختلف، در طول سالیان بعد عنوان شده‌اند. به‌طور کلی دلایلی که در کتاب وگنر برای درست بودن نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها ارائه شده‌اند عبارتند از :

۱ــ انطباق حاشیه‌ی قاره‌ها: وگنر، شباهت زیادی را میان دو حاشیه‌ی شرقی امریکای‌جنوبی و غربی افریقا یافته بود، و همین شباهت ظاهری می‌توانست دلیل براین موضوع باشد که درگذشته، این دو قاره به‌هم متصل بوده و بعدها ازهم جدا شده‌اند.

فکر کنید

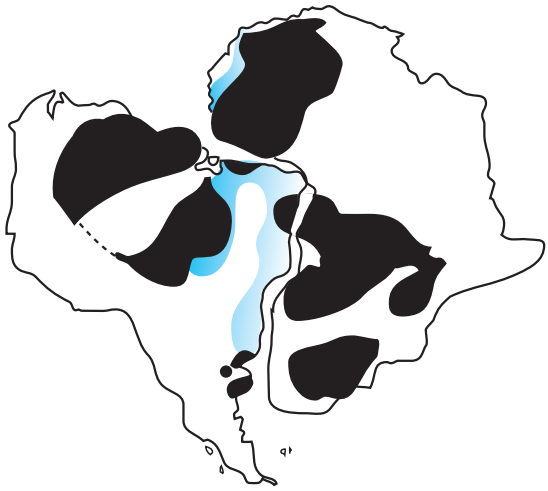


امروزه، که دلایل بیشتر و دقیق‌تری برای نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها جمع‌آوری شده، محل انطباق حاشیه‌ی قاره‌ها را در محل شیب قاره درنظر می‌گیرند، نه خط ساحلی. با توجه به شکل مقابل هم می‌بینید که قاره‌ها در محل خطوط ساحلی کاملاً برهم منطبق نیستند. زمین‌شناسان زمان وگنر نیز به‌همین‌صورت ادعای او را نپذیرفتند.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

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

شکل ۲ــ۳ــ در قسمت‌هایی از دو قاره‌ی افریقا و امریکای‌جنوبی، سنگواره‌های کاملاً مشابهی را می‌توان یافت.

۳ــ اقسام سنگ‌ها و شباهت‌های ساختاری: اگر قاره‌ها در گذشته به‌هم متصل بوده‌اند، قاعدتاً باید سنگ‌هایی مربوط به زمان‌های گذشته که امروز در آن‌ها یافت می‌شود، ازلحاظ سن و جنس مشابه باشند. وجود چنین شباهتی میان سنگ‌های شمال‌غرب افریقا و شرق برزیل به اثبات رسیده است. در این مناطق، سنگ‌های متعلق به ۵۵۰ میلیون سال پیش، در کنار سنگ‌های قدیمی و دومیلیارد ساله هستند. تشابه سنگ‌ها طوری است که فقط با فرض متصل بودن قاره‌ها به‌هم در گذشته‌های بسیار دور قابل‌توجیه است (شکل ۳ــ۳). نظیر همین‌وضع را درمورد بعضی از کمربندهای کوه‌زایی نیز می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۳ــ۳ــ انطباق سنگ‌های منطقه‌ای از حاشیه‌ی دو قاره‌ی افریقا و امریکای‌جنوبی، دلیل دیگری بر اتصال این دو قاره در گذشته است.

۴ــ آب‌وهوا: وگنر، بنابر حرفه‌ای که داشت، به‌نوع آب‌وهوا در گذشته‌های دور توجه کرد تا بلکه از آن‌راه نظریه‌ی خود را به اثبات برساند. وقتی ثابت شد که در قسمت‌هایی از قاره‌های واقع در نیم‌کره‌ی جنوبی که امروزه درحدود منطقه‌ی استوا قرار دارند، آثار یخچالی مشاهده شده است وی نتیجه گرفت که درگذشته، همه‌ی آن مناطق در محل قطب و درکنار همدیگر واقع بوده‌اند (شکل ۴ــ۳).

شکل ۴ــ۳ــ اگر قاره‌ها براساس نظر وگنر بازسازی شوند، محل قرارگرفتن یخچال‌ها و جهت گسترش آن‌ها معین خواهد بود.

عقاید موافق و مخالف

وگنر، چون از خواص مکانیکی قسمت‌های مختلف پوسته‌ی زمین آگاهی نداشت، فقط قاره‌ها را به‌صورت شناور در روی گوشته (جبّه) به‌تصور می‌آورد ولی درباره‌ی وضع بستر اقیانوس‌ها فکری نمی‌کرد. با این فرض، نیروی زیادی برای به‌حرکت درآوردن قاره‌ها لازم نمی‌آمد که منشأ آن هم ازنظر وگنر چرخش زمین یا نیروی جزرومد بود. اما مسئله به‌این سادگی‌ها هم نبود، زیرا بستر اقیانوس‌ها محکم است و چنین نیست که قاره‌ها به‌آسانی بتوانند در روی آن‌ها حرکت کنند. بااین ترتیب، مسئله‌ی جابه‌جایی قاره‌ها تا پیدا شدن دلایل کافی، هم‌چنان مسکوت ماند.

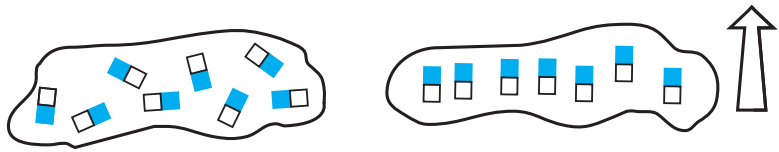
اگرچه بیشتر معاصران وگنر، با نظریات او مخالف بودند، ولی یک زمین‌شناس اهل افریقای‌جنوبی به نام **دوتوا** و یک زمین‌شناس اسکاتلندی به‌نام **هولْمز**، آن‌را شایسته‌ی توجه دانستند. دوتوا در سال ۱۹۳۷ مطلبی با عنوان **قاره‌های سرگردان ما** منتشر کرد و در آن، استدلال‌های ضعیف وگنر را کنار گذاشت و خود شواهد محکم‌تری در این زمینه ارائه داد. هولمز نیز در کتاب **زمین‌شناسی فیزیکی** خود پیشنهاد کرد که وجود جریان‌های کنوکسیون در داخل گوشته‌ی زمین می‌تواند دلیل احتمالی حرکت قاره‌ها باشد. نظریه‌ی هولمز هنوز هم با آن‌که تاکنون زمین‌شناسان درمورد عوامل حرکت‌دهنده‌ی قاره‌ها به توافق عمومی نرسیده‌اند، از اعتبار برخوردار است.

مغناطیس دیرین

مسئله‌ی جابه‌جا شدن قاره‌ها برای بار دوم وقتی برسر زبان‌ها افتاد که عده‌ای به کاوش در بستر اقیانوس‌ها علاقه‌مند شدند. شاید هم علت تجدید بحث، توجه به مغناطیس سنگ‌ها بود که زمینه‌ی تحقیق جدیدی را تشکیل می‌داد. محققان اولیه مغناطیس سنگ‌ها، می‌خواستند تغییرات قدیمی میدان مغناطیسی زمین را تعیین کنند تا بلکه به ماهیت امروزی این میدان، بهتر پی‌ببرند. چنان‌که در فصل گذشته خواندید زمین علاوه بر دو قطب شمال و جنوب جغرافیایی، دارای دو قطب شمال و جنوب مغناطیسی نیز هست، اما این قطبین جغرافیایی و مغناطیسی، برهم منطبق نیستند. روشی که در مطالعه‌ی دیرین به‌کار می‌رود، بر پذیرش این واقعیت

شکل ۵ ــ۳ــ مقدار زاویه‌ی میل مغناطیسی، ازصفر (در استوا) تا ۹۰° (درقطب) تغییر می‌کند.

استوار است که در بعضی از سنگ‌ها، کانی‌هایی وجود دارند که به‌عنوان قطب‌نماهای فسیل عمل می‌کنند. این نوع کانی‌ها (مثلاً مانیتیت) در گدازه‌های بازالتی فراوانند. بعد از آن‌که گدازه منجمد و سرد شد و دمای آن از «نقطه‌ی کوری» پایین‌تر رفت، کانی‌های یادشده در جهت میدان مغناطیسی زمین، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند، که اگر دوباره تا دمای کوری گرم نشوند، به‌طور دایم وضعیت جهت‌یافتگی مغناطیسی خود را حفظ می‌کنند. بنابراین مغناطیس موجود در این کانی‌ها می‌تواند وضعیت میدان مغناطیسی گذشته‌ی زمین را روشن کند و به‌اصطلاح، موقعیت قطبینِ‌مغناطیسی زمین را در لحظه‌ی انجماد سنگ، «به‌یاد خواهد آورد».



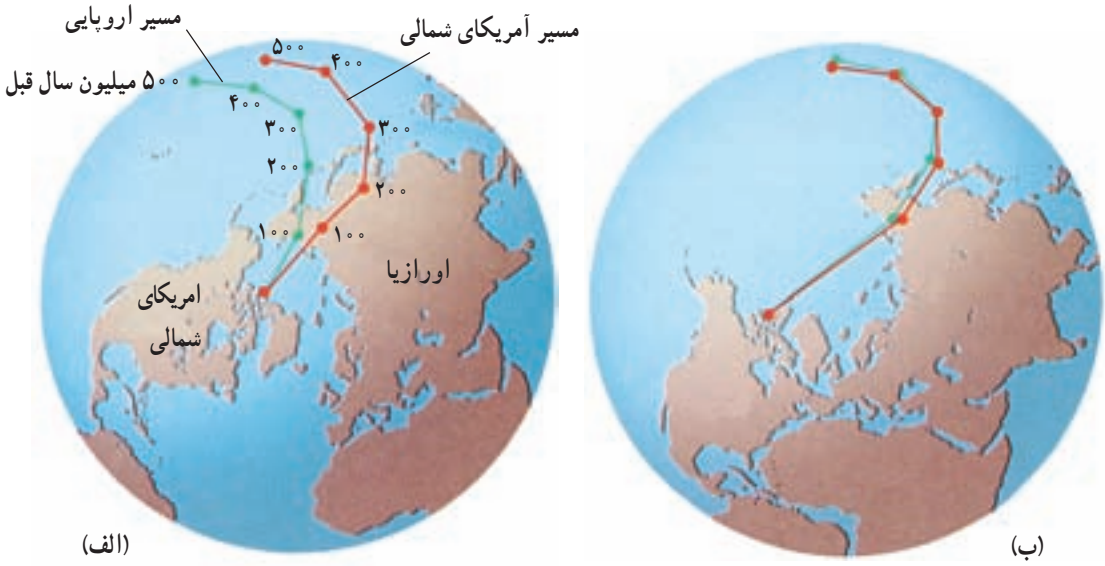
شکل ۶ــ۳ــ کانی‌های آهنربایی موجود در گدازه‌ها چگونه می‌توانند جهت میدان مغناطیسی گذشته‌های دور زمین را مشخص کنند؟

فکر کنید

نکته‌ی مهم دیگر در مغناطیس سنگ‌ها، گذشته از مشخص‌کردن محل قطبین (مانند قطب‌نما)، نشان دادن عرض جغرافیایی مربوطه است (چگونه؟).

مطالعه‌ای که در دهه‌ی ۱۹۵۰، در اروپا روی مغناطیس دیرین انجام گرفت، به کشف ارزنده‌ای منجر شد. به این معنی که آرایش دانه‌های مانیتیت موجود در گدازه‌های زمان‌های مختلف، کاملاً باهم تفاوت داشت. هنگام ترسیم نقشه‌ای برای تعیین محل قطب‌شمال مغناطیسی در طول ۵۰۰میلیون سال گذشته، معلوم شد که محل قطب تدریجاً از نزدیک جزایر هاوایی به سمت شمال حرکت کرده و از شرق سیبری گذشته و سرانجام به محل امروزی خود رسیده است . بااین‌ترتیب، معلوم بود که یا نوعی **سرگردانی قطبی** در طول زمان وجود داشته، یا آن‌که قاره‌ها جابه‌جا شده‌اند. باآن‌که قطبین‌مغناطیسی جای خود را عوض می‌کنند، مطالعه در روی میدان مغناطیسی زمین نشان می‌دهد که قطبین‌مغناطیسی تقریباً همیشه در نزدیکی قطبین‌جغرافیایی قرار می‌گیرند (به همین‌سبب هم هست که احتمال می‌دهند خاصیت مغناطیسی زمین، حاصل چرخش آن به‌دور محورش باشد). اگر قطب‌های جغرافیایی سرگردانی قابل‌ملاحظه‌ای نداشته باشند ــ که ما نیز به این واقعیت معتقدیم ــ قطب‌های مغناطیسی هم نباید زیاد جابه‌جا شوند. در این‌صورت، تنها دلیل سرگردانی‌قطبی را می‌توان به جابه‌جا شدن قاره‌ها نسبت داد.

شواهد بهتری برای سرگردانی‌قطبی زمانی حاصل شد که زمین‌شناسان امریکایی نیز درصدد



شکل ۷ــ۳ــ طرح ساده‌شده‌ی سرگردانی قطبی که حاصل دو اندازه‌گیری جداگانه در سنگ‌های اروپا و امریکا بوده است(الف). موقعیت سنگها بعد از انطباق دو قاره(ب). از مقایسه‌ی دوشکل، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

برآمدند مطالعه‌ای دراین‌مورد انجام دهند (شکل ۷ــ۳). باکمال تعجب، میان منحنی حاصل از مطالعات اروپائیان و امریکایی‌ها شباهت زیادی وجود داشت به‌طوری‌که بین آن‌دو فقط معادل ۳۰درجه طول‌جغرافیایی فاصله بود. آیا در گذشته دو قطب شمال مغناطیسی وجود داشته است؟ این احتمال، بسیار ضعیف است و این پدیده را تنها درصورتی می‌توان درست توجیه کرد که دو قاره را نزدیک همدیگر قرار بدهیم.

با این‌همه، یافته‌های مغناطیس‌دیرین هم نتوانست کمک چندانی به اثبات نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها بکند زیرا مغناطیس‌سنجی روشی جدید بود و هنوز مورد تأیید قرار نداشت. گذشته از آن، خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها به‌مرور ضعیف می‌شود و یا سنگ‌ها می‌توانند مجدداً مغناطیسی شوند.

سرآغاز یک تحول فکری

درطول دو دهه‌ی ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، اطلاعات زیادی درباره‌ی جزئیات ساختمانی بستر اقیانوس‌ها به‌دست آمد. ازجمله، معلوم شد که :

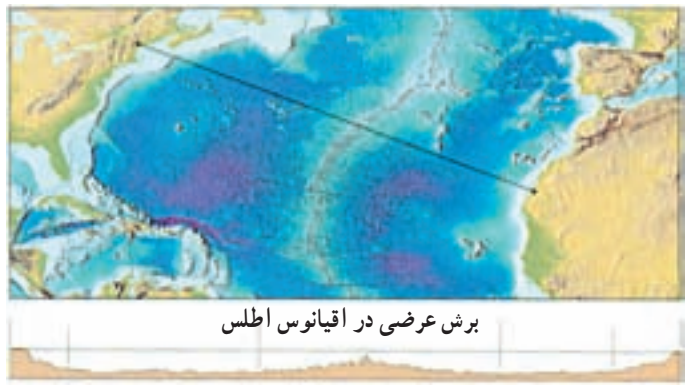
۱ــ رشته کوههای بسیار طویل در اقیانوس‌ها وجود دارد. بررسی این رشته‌کوه در وسط اقیانوس اطلس، موازی بودن آن‌را با ساحل دوطرف آشکار کرد.

۲ــ جریان گدازه‌ها و فعالیت‌های آتش‌فشانی در محل رشته‌کوه میان اقیانوس مشاهده شد.

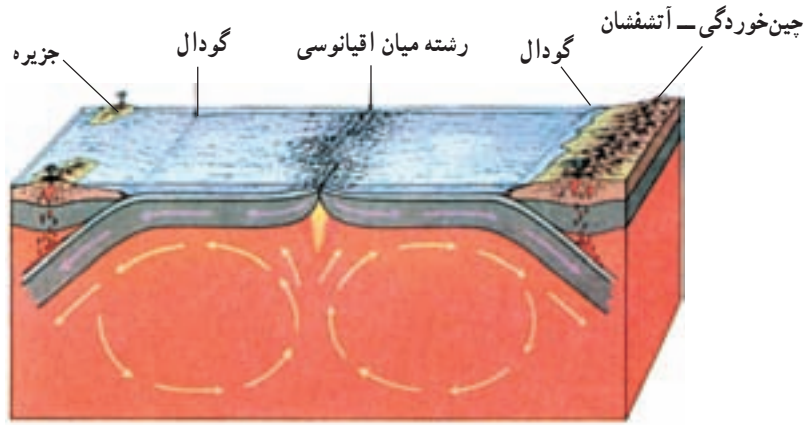
۳ــ مطالعات زلزله‌شناسی نشان داد که دراعماق پوسته‌ی اقیانوسی، فعالیت‌هایی درکار است.

۴ــ نمونه‌برداری از سنگ‌های بستر اقیانوس، در هیچ‌نقطه سنگ‌هایی قدیمی‌تر از ۲۰۰میلیون‌سال را نشان نداد. دراین‌صورت، آیا می‌توان گفت بستر اقیانوس‌ها می‌توانند ازلحاظ زمین‌شناسی پدیده‌های جوانی باشند؟

گسترش بستر اقیانوس‌ها: دراوایل دهه‌ی ۱۹۶۰، **هری‌هس**، زمین‌شناس امریکایی، این واقعیت‌ها را کنارهم گذاشت و از مجموعه‌ی آن‌ها فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را ارائه داد. البته خود او هم در این‌مورد اطمینان کافی نداشت، زیرا برخلاف نظریه‌ی جابه‌جایی قاره‌ها، فرضیه‌ی جدید با هیچ‌گونه شاهد عینی همراه نبود.



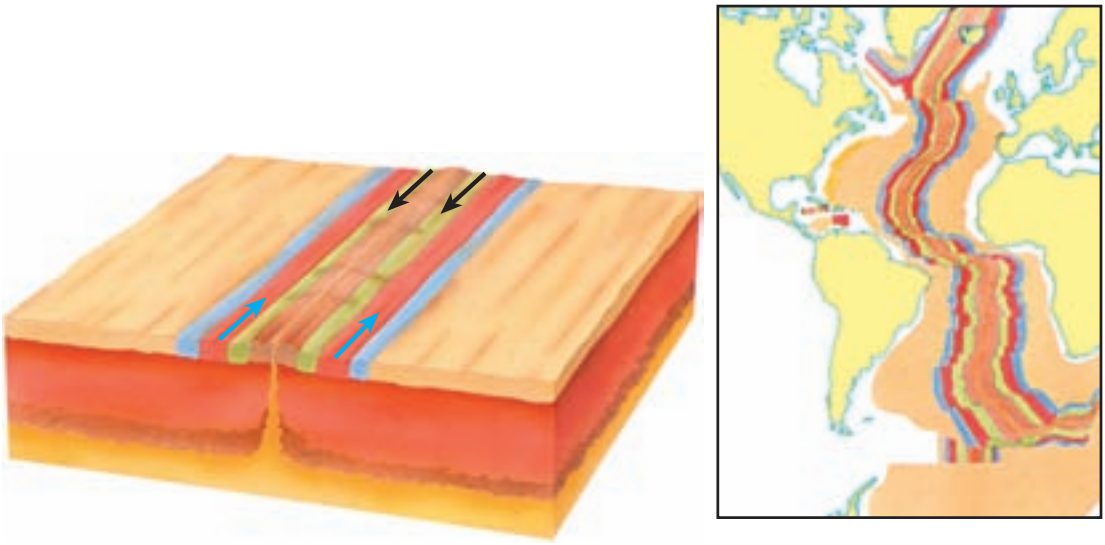
برش عرضی در اقیانوس اطلس



شکل ۸ــ۳ــ گسترش بستر اقیانوس (فرضیه‌ی هری‌هس) براساس این مدل، فرضیه را تفسیر کنید.

فرضیه‌ی هس این بود که، بستر اقیانوس‌ها درمحل جریان‌های کنوکسیونی ویژه‌ای که در گوشته رخ می‌دهند پدید می‌آید (شکل۸ــ۳). با خروج مواد از گوشته، بستر اقیانوس به دوطرف رانده می‌شود، پس مواد مذاب جایی برای بیرون آمدن و پخش شدن پیدا می‌کنند. دراین‌صورت، پوسته‌ی جدیدی در محل شکاف تشکیل می‌شود. هس، همچنین اعلام داشت که به‌جبران این افزوده‌شدن بر پوسته‌ی اقیانوسی، در محل گودال‌های عمیقی که در حاشیه‌ی بعضی از اقیانوس‌ها قراردارند، پوسته‌ی اقیانوسی قدیمی‌تر دوباره به درون گوشته کشانده و کم‌کم هضم می‌شود. پس، پوسته‌ی‌اقیانوسی گذشته از جوان بودن، دائماً درحال تجدید شدن است.

وارونه شدن میدان مغناطیسی زمین: در همان‌زمان که هس فرضیه‌ی خود را ارائه داد، عده‌ای ژئوفیزیک‌دان دریافته بودند که جهت میدان مغناطیسی زمین در گذشته، چندین‌بار وارونه شده، یعنی قطب‌شمال مبدل به قطب‌جنوب و بالعکس شده است. شواهد این تغییر جهت میدان‌مغناطیسی، از مطالعه روی گدازه‌ها و رسوبات بستر دریا در نقاط مختلف جهان حاصل آمد. بعد از تأیید این پدیده، دانشمندان به‌فکر افتادند تا نوعی مقیاس زمانی برای آن تدوین کنند. دراین‌میان، فقط کافی بود که جهت میدان در گدازه‌های مربوط به اعصار مختلف، تعیین شود (شکل ۹ــ۳).



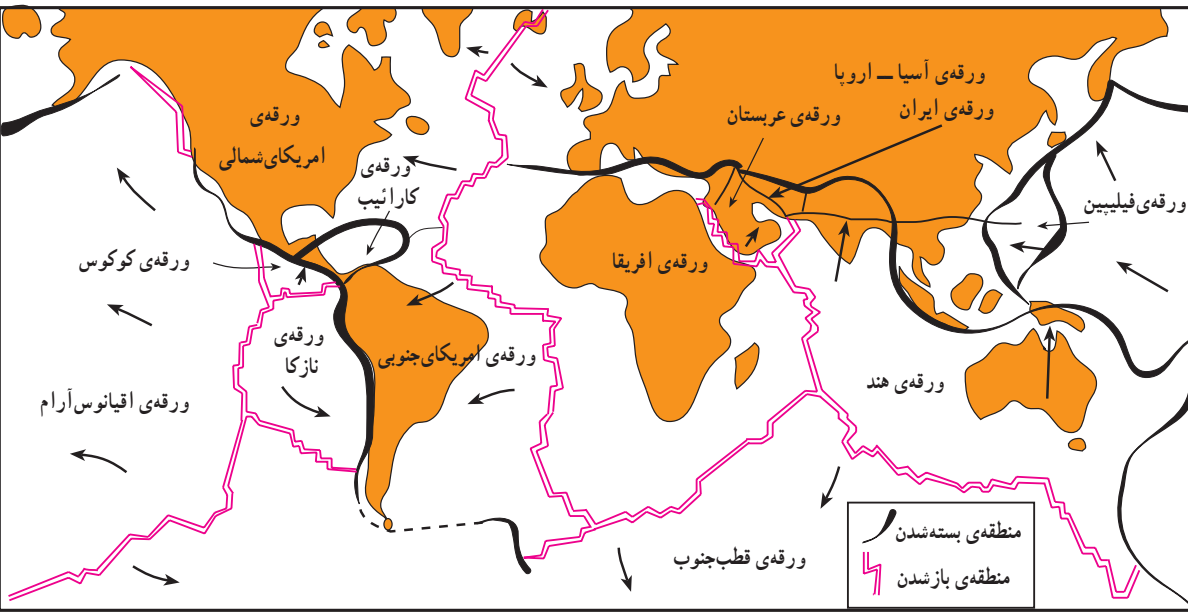
شکل ۹ــ۳ــ باتوجه به این شکل‌ها، آیا می‌توان گفت که شواهد مغناطیسی، فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را تأیید می‌کند؟

تعبیری تازه از یک نظریه‌ی قدیمی

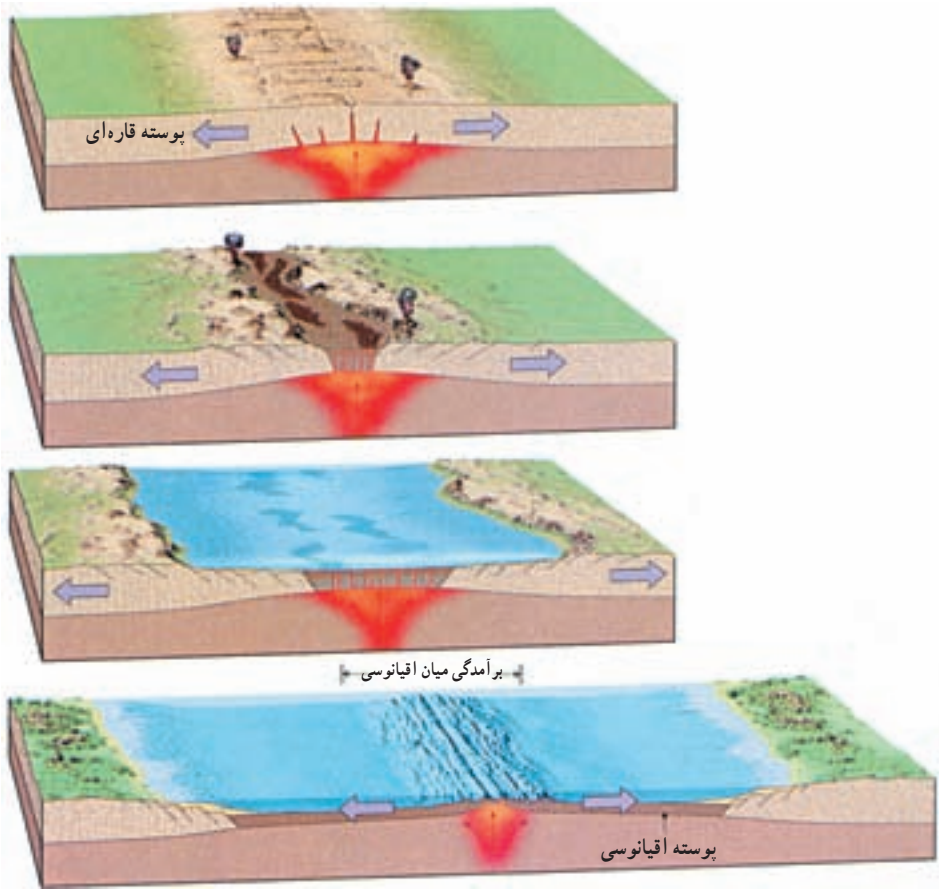
درسال ۱۹۶۸، از نظریه‌های جابه‌جایی قاره‌ها و گسترش بستر اقیانوس‌ها، نظریه‌ی کامل‌تری به نام **زمین‌ساخت ورقی** (تکتونیک ورقه‌ای) ارائه شد. این تئوری چنان جامع است که بیشتر فرایندهای زمین‌شناسی را به‌کمک آن می‌توان تعبیر کرد.

براساس نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای، سنگ‌کره (لیتوسفر) خارجی و جامد شامل ۷ ورقه‌ی بزرگ و تعدادی‌ورقه‌ی کوچک‌تر است (شکل ۱۰ــ۳). دراین‌میان، بزرگ‌ترین ورقه را ورقه‌ی اقیانوس آرام تشکیل می‌دهد که در همه‌جا از آب پوشیده شده است. بقیه‌ی ورقه‌های بزرگ، قسمت‌هایی از خشکی و دریا را باهم شاملند. بااین‌ترتیب، دیگر نمی‌توان به نظریه‌ی قدیمی **جابه‌جا شدن قاره‌ها** به‌تنهایی فکر کرد، بلکه باید گفت که بستر اقیانوس نیز همراه قاره‌ها در حرکت است.

ضخامت ورقه‌ها در محل اقیانوس‌ها اندک است و بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر (درمحل حوضه‌های عمیق اقیانوسی) تغییر می‌کند. در مقابل، ورقه‌ها در زیر قاره‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر و گاهی بیشتر، ضخامت دارند. ماهیت روان‌بودن نسبی سست‌کره، امکان حرکت سنگ‌کره‌ی جامد را فراهم می‌آورد.



شکل ۱۰ــ۳ــ لیتوسفر از تعدادی ورقه تشکیل شده است که نسبت به‌هم حرکت می‌کنند (مرز ورقه‌ها با خطوط رنگی و سیاه مشخص شده و پیکان‌ها جهت حرکات ورقه‌ها را نشان می‌دهند. ورقه‌ی افریقا ثابت فرض شده است).



شکل ۱۱ــ۳ــطرز تشکیل اقیانوس جدید درمحل دورشدن ورقه‌ها

حرکت ورقه‌ها نسبت به هم، به سه شکل مختلف زیر می‌تواند صورت بگیرد :

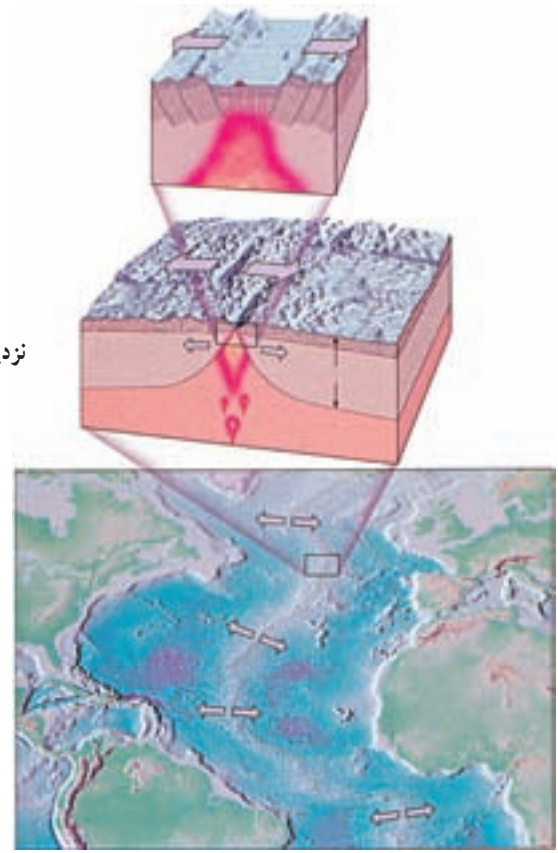
۱ــ ورقه‌های دورشونده (واگرا): در چنین محل‌هایی، ورقه‌ها از خط مرکزی رشته‌کوهی که در بستر دریا پدید می‌آید، فاصله می‌گیرند اما فاصله‌ی ایجاد شده را مواد مذابی که از درون زمین و سست‌کره‌ی داغ بالا می‌آیند، پر می‌کنند. بااین‌ترتیب، پس از سردشدن آن مواد، پوسته‌ی اقیانوسی جدیدی (لیتوسفر) دربین دو ورقه‌ی دورشونده پدید می‌آید.

بستر اقیانوس‌اطلس، درفاصله‌ی ۱۶۰میلیون سال گذشته به‌همین‌ترتیب شکل گرفته‌است (گسترش بستر اقیانوس‌ها). سرعت متوسط بازشدن بستر دریاها، حدود ۵سانتی‌متر درسال است. همین سرعت اندک باعث شده است که بستر اقیانوس‌ها درطول ۲۰۰میلیون سال اخیر ایجاد شود.

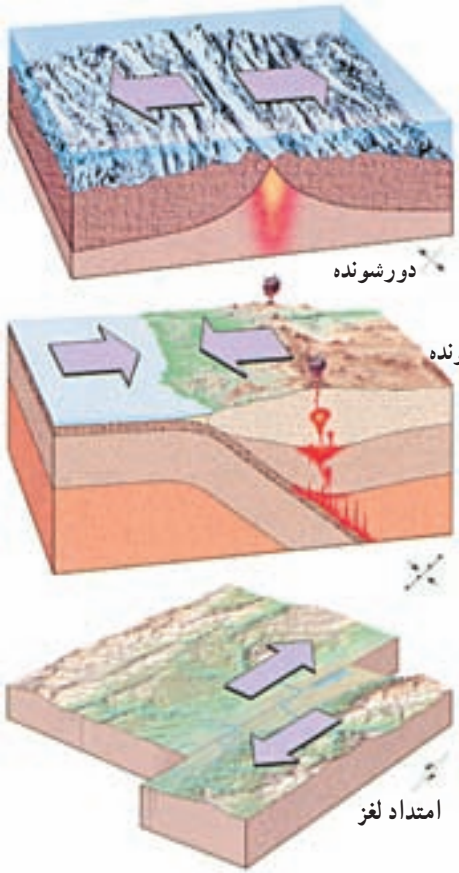
در امتداد حاشیه‌های دورشونده، برآمدگی‌هایی ایجاد شده است که طول مجموعه‌ی آن‌ها در اقیانوس‌های جهان، به‌حدود ۶۰ هزارکیلومتر می‌رسد (شکل۱۱ــ۳).

مراکز گسترش، فقط محدود به وسط اقیانوس‌ها نیستند. دریای سرخ، دریای جوانی است که قدمت چندانی ندارد و براثر جداشدن شبه‌جزیره‌ی عربستان از افریقا پدید آمده است. اگر عمل بازشدن در روی قاره‌ها صورت بگیرد، قاره ازهم می‌شکافد و در محل شکاف، ماگمای داغ بیرون می‌ریزد و در آنجا، برآمدگی‌هایی شکل می‌گیرند. در قسمت شرق افریقا، هم‌اکنون، پدیده‌ی باز شدن پوسته‌ی 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 شبه‌جزیره‌ی عربستان نیز در چندمیلیون سال پیش، به همین‌ترتیب از افریقا جدا شده است.

درمحل ورقه‌های دورشونده، مرتباً سنگ‌کره‌ی جدید تشکیل می‌شود. اگر پدیده‌ی جبرانی وجود نداشته باشد، باید بر وسعت زمین همچنان افزوده شود. حال‌آن‌که سطح زمین مقداری ثابت



شکل ۱۲ــ۳ــ چگونگی دورشدن تدریجی دوقاره و وسیع‌شدن اقیانوس، که در بین آن‌ها تشکیل می‌شود. عامل ایجاد این پدیده چیست؟



شکل ۱۳ــ ۳ــ حالت‌های مختلف حرکت ورقه‌های سازنده‌ی پوسته‌ی زمین نسبت‌به‌هم. مثال‌ها را در متن جست‌وجو کنید.

است، یعنی در مناطقی باید قسمتی از سنگ‌کره ازبین برود. محل برخورد ورقه‌های نزدیک‌شونده، ازاین‌جمله است.

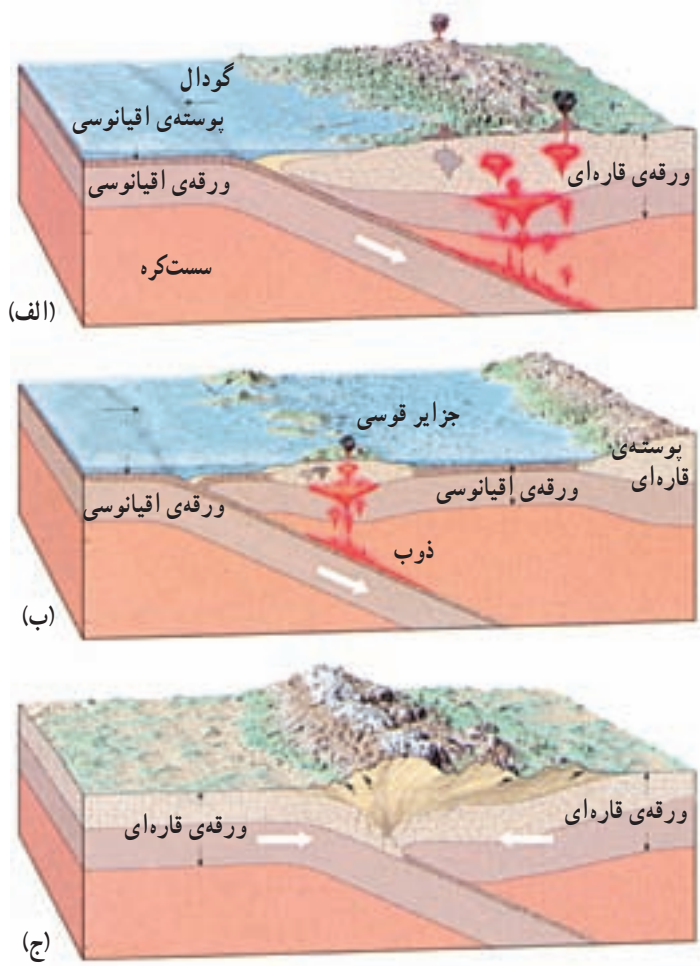
۲ــ ورقه‌های نزدیک‌شونده (همگرا): دراین محل‌ها، معمولاً یک ورقه به زیر ورقه‌ی دیگر رانده می‌شود، این نوع مرزها، در محل گودال‌های عمیق اقیانوسی قرار دارند.

بسته به‌این‌که صفحات نزدیک‌شونده از چه‌نوعی باشند، پدیده‌ی حاصل به یکی از صورت‌های زیر خواهد بود :

الف ــ در محل برخورد ورقه‌ی اقیانوسی با ورقه‌ی قاره‌ای، ورقه‌ی اقیانوسی خم می‌شود و به زیر می‌رود و به تدریج در گوشته هضم می‌شود که این فرآیند را اصطلاحاً فرورانش می‌گویند. در این‌حال، مقداری از رسوبات را نیز همراه خود به پایین می‌کشاند. وقتی این مواد به عمقی درحدود یک‌صد کیلومتر می‌رسند، حالت **ذوب‌بخشی** می‌یابند، که حاصل آن، ایجاد ماگمایی با ترکیب بازالتی و آندزیتی است. چنین ماگماهایی از سنگ‌های اطراف محل خود سبک‌ترند. بنابراین، وقتی مقدارشان به اندازه‌ی 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 ــ۳ ــ الف).

ب ــ وقتی دو ورقه‌ی اقیانوسی به‌هم برخورد کنند، یکی به زیر دیگری فرو می‌نشیند و پدیده‌ی آتش‌فشانی مشابه حالت قبل رخ می‌دهد. اما این‌بار، محل آتش‌فشان‌ها در بستر دریاست نه در روی خشکی. اگر این آتش‌فشانی‌ها ادامه یابد، ممکن است بعد از مدتی جزایر آتش‌فشانی در دریا پدید آیند که به **قوس جزایر** معروفند (درکنار قوس جزایر امروزی هم گودال‌های اقیانوسی مشاهده می‌شود.) (شکل ۱۴ ــ۳ ــ ب).

ج ــ هنگامی که دو ورقه‌ی قاره‌ای به‌هم برخورد کنند، هیچ‌یک، به داخل گوشته فرو نمی‌رود، زیرا چگالی هردو، کم است. نتیجه‌ی چنین برخوردی، ایجاد کوه است. تصور می‌رود که سرزمین هندوستان، در گذشته‌های دور از قاره‌ی آسیا جدا بوده و درحین‌حرکت از نوع نزدیک‌شونده، به آن برخورد کرده و کوه‌های هیمالیا را حاصل آورده است . رشته‌کوه‌های بزرگ اورال، آلپ و آپالاش نیز نتیجه‌ی چنین برخوردهایی هستند. کوه‌های زاگرس نیز باید حاصل برخورد ورقه‌ی عربستان به قاره‌ی آسیا باشد. البته، درمحل همه‌ی رشته‌کوه‌های 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 به‌صورت کوه درآورده است (شکل ۱۴ ــ۳ ــ ج).



شکل ۱۴ــ۳ــ مناطق برخورد دو ورقه، الف: اقیانوسی، قاره‌ای ــ ب: اقیانوسی، اقیانوسی ــ ج: قاره‌ای، قاره‌ای. پدیده‌های حاصل از هر برخورد چیست؟

۳ــ ورقه‌های امتداد لغز: در این‌نوع حرکت، پوسته‌ی جدید ایجاد یا تخریب نمی‌شود، زیرا دو ورقه‌ی مجاور، در کنارهم می‌لغزند، بنابراین، عملاً دراین محل‌ها گسل‌های متعددی وجود دارد و زلزله‌های مکرری رخ می‌دهد.

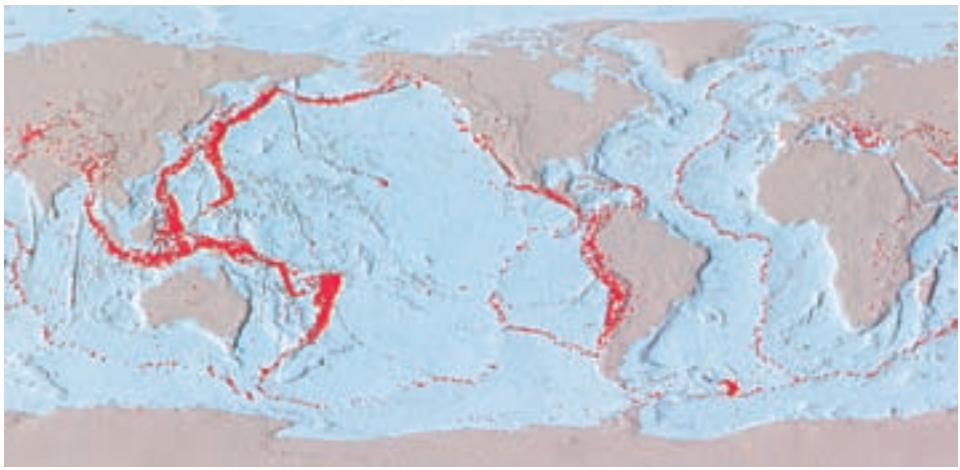
در سال ۱۹۶۵، **توزو ویلسون**، زمین‌شناس کانادایی با مطالعه در این‌نوع گسل‌های امتداد لغز و بزرگ، کمربندهای فعال زمین را به‌هم ارتباط داد و برای نخستین بار، ایده‌ی وجود ورقه‌های تشکیل‌دهنده‌ی لیتوسفر زمین و مرز آن‌ها را عنوان کرد.

آزمون مدل

با ارائه‌ی فرضیه‌ی زمین‌ساخت ورقه‌ای، محققان شاخه‌های گوناگون علم زمین‌شناسی، شروع به آزمون این فرضیه کردند. درنتیجه‌ی این رویکرد علاوه بر دلایلی که در ابتدای این فصل برای جابه‌جا شدن قاره‌ها آورده شد، شواهد زیادتری مبنی‌بر درست‌بودن آن نظریه یافت شد.

زمین‌ساخت ورقه‌ای و پراکندگی زلزله‌ها: درسال ۱۹۶۸، یعنی در همان‌زمان که نظریه‌ی زمین‌ساخت ورقی ارائه شد، سه زلزله‌شناس، مقاله‌ای منتشر کردند که نشان می‌داد چگونه نظریه‌ی مذکور با توزیع نقاط زلزله‌خیز جهان هماهنگی دارد (شکل ۱۵ــ۳). شما نیز نقشه‌ی توزیع زلزله‌ها را دقیقاً با الگوی ورقه‌ها (شکل ۱۰ــ۳) مقایسه کنید. جالب آن‌است‌که در نزدیکی گودال‌های عمیق اقیانوسی، فراوانی زمین‌لرزه‌ها زیادتر از نقاط دیگر است (چرا؟). نظیر چنین‌حالتی را در کنار ژاپن و حاشیه‌ی غربی امریکای‌جنوبی می‌توان ملاحظه کرد.

حفاری در بستر اقیانوس: در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۳، حفریاتی در ۱۰۹۲نقطه، درمیان رسوبات بستر اقیانوس‌ها صورت گرفته است. هدف از این فعالیت‌ها، دست‌یابی به اطلاعاتی درباره‌ی سن حوضه‌های اقیانوسی بود. محققان، با دست‌یابی مستقیم به نمونه‌ی رسوبات نواحی عمیق اقیانوس‌ها می‌توانستند درست بودن فرضیه‌ی گسترش بستر اقیانوس‌ها را بیازمایند. درهنگام تعیین سن رسوبات، یافته‌ی مهمی حاصل آمد، به‌این معنی که نمونه‌ها نشان دادند که هرچه ازمحل رشته کوه‌های میان‌اقیانوسی دورتر می‌شویم، عمر رسوبات زیادتر می‌شود (این یافته را چگونه تفسیر می‌کنید؟). حداکثر عمری که برای رسوبات قدیمی تعیین شد، ۱۶۰میلیون سال بود، حال آن‌که سن



شکل ۱۵ــ۳ــ مراکز ۳۰۰۰۰ زلزله‌ای که در فاصله‌ی سالیان ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۷ در روی زمین رخ داده‌اند، دراین نقشه پیداست. چه استنباطی درمورد آن‌ها می‌کنید؟

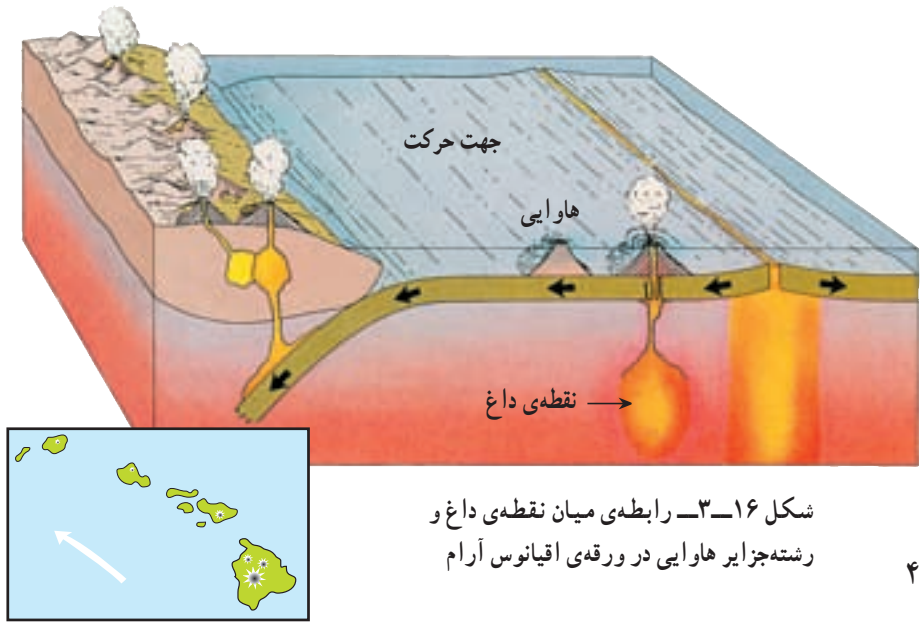
بعضی از سنگ‌های روی قاره‌ها به ۴میلیارد سال نزدیک است. ضمناً، در محل رشته کوه‌های میان‌اقیانوسی، رسوبی یافت نمی‌شد.

اندازه‌گیری‌های انجام شده در اقیانوس‌ها، نشان می‌دهد که سرعت رسوب‌گذاری، چیزی درحدود یک‌سانتی‌متر در یک‌هزار سال است. اگر قرار بود که بستر اقیانوس‌ها بسیار قدیمی باشد، بایستی رسوباتی به ضخامت چندین کیلومتر در آن‌ها یافت می‌شد، حال آن‌که حداکثرضخامت رسوبات بیشتراز چندصدمتر نشان داده نشد.

نقاط داغ: نقشه‌برداری از برآمدگی‌های زیر دریا در اقیانوس‌آرام، رشته‌ای ازجزایر آتش‌فشان را از جزایر هاوایی تا محل گودال الئوشین (نزدیک آلاسکا) نشان داد.

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

محققان عقیده دارند که نوعی مخزن درحال بالا آمدن از مواد گوشته، در زیر جزایر هاوایی قرار دارد. ذوب این مواد درهنگام رسیدن به اعماق کم و کاسته شدن از مقدار فشار، باعث پدیدآمدن نوعی **نقطه‌ی‌داغ** می‌شود. با فرض این‌که صفحه‌ی اقیانوس‌آرام از روی این‌نقطه عبور می‌کند، به‌ترتیب، ساختارهای آتش‌فشانی حاصل می‌آیند. عمر هر آتش‌فشان نیز نشان‌دهنده‌ی زمانی است که آن‌کوه، در نزدیک نقطه‌ی‌داغ قرار داشته است. ۵میلیون سال پیش، کائوایی یعنی قدیمی‌ترین جزایر هاوایی در روی نقطه‌ی داغ واقع بود. بنابراین، فقط همان یک آتش‌فشان که امروزه خاموش است در این محل تشکیل شد



شکل ۱۶ــ۳ــ رابطه‌ی میان نقطه‌ی داغ و رشته‌جزایر هاوایی در ورقه‌ی اقیانوس آرام

(شکل ۱۶ــ۳). اما امروزه، در جزیره‌ی هاوایی، ناظر بیرون‌آمدن گدازه‌های جدید ازکوه‌های مونالوآ و کیلوا هستیم. جالب آن‌که درنقطه‌ای جنوبی‌تر واقع در ۳۵ کیلومتری هاوایی، یک جزیره‌ی دیگر در آینده به جمع جزایر هاوایی افزوده خواهد شد. در نقاط دیگر اقیانوس‌آرام هم نظیر همین‌رشته‌جزایر وجود دارد.

نقاط‌داغ نیز دلیلی دیگر بر حرکت ورقه‌ها و حتی جهت آن هستند. البته هنوز درمورد چگونگی تشکیل نقاط‌داغ و نقش آن‌ها در زمین‌ساخت‌ورقی بحث وجود دارد. تعداد نقاط‌داغ، حدود ۵۰ تا ۱۲۰مورد تعیین شده است. محل یکی از این نقاط در زیر جزیره‌ی ایسلند در شمال اروپاست.

عامل‌های حرکت دهنده

تئوری زمین‌ساخت ورقی، فقط از حرکت ورقه‌ها و آثار این حرکت بحث می‌کند بدون آن‌که از نیرو یا نیروهای دست‌اندرکار در این فرآیند صحبتی به‌میان آورد. دراین‌باره البته، هنوز دلیل قانع‌کننده‌ای داده 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 کنوکسیونی در داخل گوشته می‌داند (شکل ۸ــ۳) درحالی‌که زمین‌شناسان امروزی، چگونگی انجام این حرکات را بسیار پیچیده‌تر از آن می‌شمارند که بتوان با جریان ساده‌ی کنوکسیونی نشان داد. درضمن، معلوم نیست آیا چنین حرکاتی محدود به ۷۰۰ کیلومتر اول، یعنی گوشته‌ی فوقانی است یا آن‌که تمام قطر گوشته را شامل می‌شود؟

بیشتر بدانید

۱ ــ آزمونی تازه درمورد اثبات حرکات ورقه‌ای

تا اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، دلایل وجود ورقه‌ها و حرکات آن‌ها را از روی پدیده‌های زمین‌شناختی چون آتش‌فشان، زلزله، رسوبات بستردریا و غیره استنباط می‌کردند، اما اخیراً امکان آزمون مستقیم‌تری فراهم آمده است و دانشمندان به روشی ابداعی، می‌توانند متوجه نوع حرکات ورقه‌ها نسبت به هم و حتی میزان سرعت آن‌ها در سال شوند.

دراین روش، فاصله‌ی میان دو نقطه‌ی دور ازهم روی زمین را بادقتی فوق‌العاده زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. برای این‌کار، اشعه‌ی لیزر را از چند ایستگاه به سوی ماهواره‌ای که جای آن کاملاً در فضا ثابت است ارسال می‌دارند و به کمک این اشعه، جای دقیق هر ایستگاه زمینی را تعیین می‌کنند. اگر بعد از مدتی، فاصله‌ی دو ایستگاه ارسال اشعه حتی در حد سانتی‌متر تغییر کند، مقدار جابه‌جایی و جهت آن معلوم خواهد شد.

با استفاده از این روش، دیگر تردیدی درمورد حرکات ورقه‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی

زمین نسبت به‌هم باقی نمی‌ماند. محاسبات نشان داده‌اند که هاوایی رو به شمال‌غرب در حرکت است و با سرعتی معادل ۸/۳ سانتی‌متر درسال، به ژاپن نزدیک می‌شود. همچنین، نقطه‌ای واقع در مریلند در شرق امریکا، با سرعت ۱/۷ سانتی‌متر درسال، از انگلیس دور می‌شود. قبلاً سرعت گسترش بستر اقیانوس اطلس را به روش مغناطیس‌سنجی، معادل ۲/۲ سانتی‌متر درسال تعیین کرده‌بودند.

۲ ــ دگرگونی و زمین‌ساخت ورقی

بیشتر اطلاعاتی که درباره‌ی فرآیند دگرگونی دراختیار است، با آن‌چه که درباره‌ی حرکات زمین و زمین‌ساخت ورقی می‌دانیم، هماهنگ است. براین‌اساس، بیشتر سنگ‌های دگرگون شده، درمحل برخورد **دو ورقه‌ی نزدیک شونده**، تشکیل می‌شوند. دراین‌نوع محل‌ها، فشار زیاد حاصل از تصادم دو ورقه، کوه‌هایی را پدید می‌آورد و در لبه‌ی دو ورقه، سنگ‌ها دگرگون می‌شوند. بسیاری از رشته‌کوه‌های بزرگ زمین مانند آلپ، هیمالیا و آپالاش به‌همین‌ترتیب ایجاد شده‌اند. در ایران نیز به موازات رشته کوه‌های زاگرس از سنندج تا حاجی‌آباد (شمال بندرعباس)، این نوع دگرگونی دیده می‌شود. در همه‌ی این کوه‌ها نیز به مقادیر متفاوتی، سنگ‌های دگرگون شده به صورت نوار طویل و باریک وجود دارد.

دگرگونی در مقیاس بزرگ نیز در امتداد مناطق فرورانش، صورت می‌گیرد. دراین محل‌ها، سنگ‌ها به‌طرف گوشته پایین می‌روند. با فرورفتن، سنگ‌های لیتوسفری تحت‌فشار و دمای بالاتری قرار می‌گیرند. البته، در این محل‌ها دما پایین‌تر از گوشته‌ی اطراف باقی می‌ماند، زیرا سنگ، ناقل گرمای خوبی نیست، سنگ‌هایی که دراین محل‌ها، یعنی تحت‌فشار زیاد و دمای کم تشکیل می‌شوند، **بلوشیست** نام دارند، زیرا کانی‌های سیلیکاتی آبی‌رنگ در آن‌ها زیاد است.

رسوب‌گذاری در حاشیه قاره

در محلهای فرورانش، دگرگونی ناحیه‌ای اتفاق می‌افتد، زیرا سنگها بین دو ورقه نزدیک شونده فشردگی می‌یابند.