مختصری درباره نقل مکان قاره‌ها[1]، زمین شناسی کف اقیانوسها و نظریه جدید درباره تکتونیک کره زمین[2]

نوشته :

منوچهر تکین

ازسازمان زمین‌شناسی کشور

نظریه نقل مکان قاره‌ها (قاره‌های سرگردان)

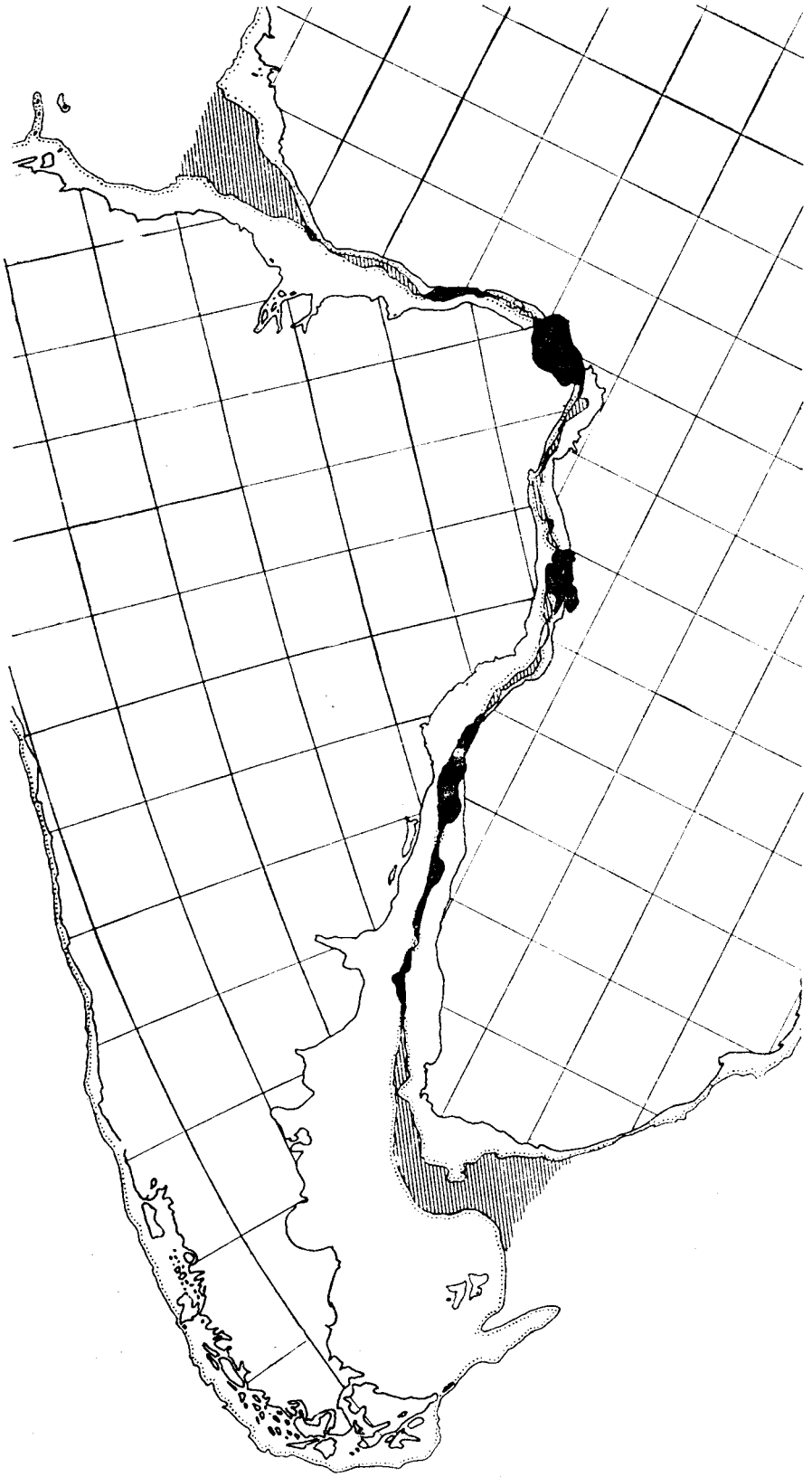
نظریه نقل مکان قاره‌ها (Continental drift) یک فکر تازه نیست بلکه درقرن نوزدهم نیز ذکر شده بود ولی Wegner (۱۹۱۲) این نظریه را برای اولین بار مورد مطالعه‌دقیق علمی قرار دارد واز آن‌ببعد بحث و مناظره بین دانشمندان علوم زمین شناسی بشدت رواج پیدا کرد. وهرچند سال یکبار که درعلوم‌زمین شناسی وژئوفیزیک اکتشافات تازه‌ای میشد برحسب آنکه اطلاعات جدید موافق‌ویا مخالف نظریه نقل‌مکان قاره‌ها باشد بحث از نودرمیگرفت واین‌نظریه طرفداران ویا مخالفان بیشتری پیدا میگرد . درچند سال اخیر که مخصوصاً مطالعات زمین شناسی وژئوفیزیکی در اقیانوسهادنبال میشده عده زیادی از دانشمندان متحرک بودن قاره‌ها را پذیرفته‌اند ولی بحث در جزئیات و چگونگی آن هنوز ادامه دارد .

تشابه شکل ظاهری ـ فکر اولیه این موضوع بانگاهی بنقشه جهان پیش میآید. مثلاً با کمی‌دقت متوجه میشویم که ساحل غربی قاره افریقا شباهت بسیار زیادی با ساحل شرقی آمریکای جنوبی دارد و اگر بتوانیم این دوقاره را برروی کره بسوی یکدیگر بلغزانیم برجستگی شمال شرق آمریکای جنوبی در فرورفتگی خلیج گینه در مغرب افریقا قرار میگیرد واگر خشکیهای دیگر روی کره جغرافیائی را بایکدیگر مقایکه کنیم شباهتهائی این چنین خواهیم دید. تحقیقات اولیه زمین‌شناسان از این مقایسه‌ها شروع شد و سپس بمطالعه

---

۱ - Continenental drift

۲ - این‌مقاله مطالبی است که نویسنده درسخنرانی بزبان انگلیسی در سازمان زمین شناسی کشور ایراد نمود و بعلت اظهار علاقمندان متن‌فارسی آن در اینجا عرضه میگردد .

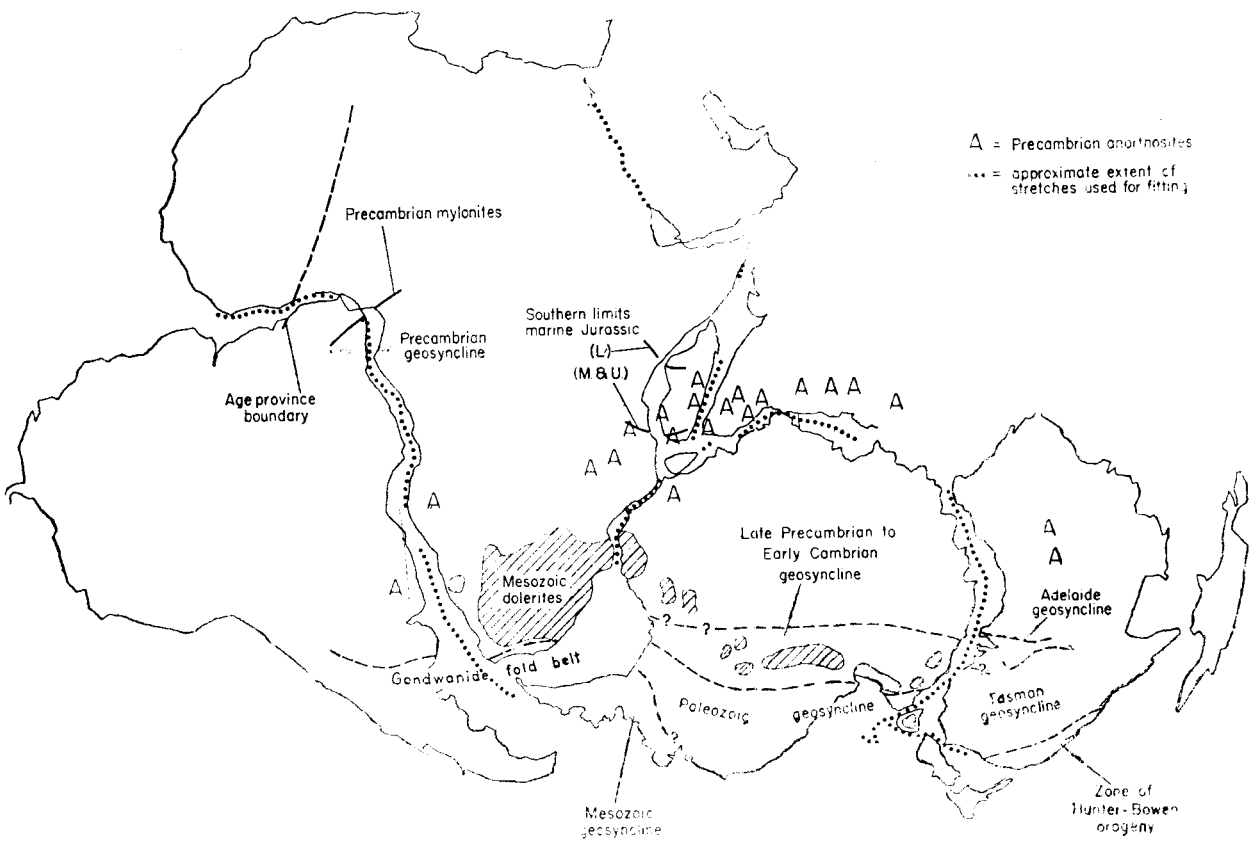


شکل ۱ ـ تطبیق سواحل آمریکای جنوبی وافریقا. لبهٔ فلات قاره درعمق ۵۰۰ فتوم (تقریباً یکهزارمتری) انتخاب شده است. نواحی سیاه شده قسمهتائی از دوقاره را که رویهم قرار گرفته‌اند نشان میدهد وهاشورهای عمودی فضای خالی بین آندو است. (اقتباس از: بولارد ـ اورت و اسمیت ۱۹۶۵)

ومقایسه جزئیات زمین‌شناسی قاره‌های مجاور پرداختند .

بااینکه مقایسه‌شکل لبه‌قاره‌ها انگیزه اصلی‌بوجود آمدن این تئوری بود وبیش‌از پنجاه سال‌بصورت تقریبی و مثلاً بامدلهای‌مقوائی برروی کره مورد استفاده محققین قرار میگرفت وبدیهی است که این‌مدلهای کوچک را باندازه مناسب میساختند ولی این مطالعات دقیق نبود تا اینکه Bullard et al. (۱۹۶۵) از دانشگاه کمبریج‌برای اولین بار این‌مقایسه ها راباارقام‌وبااستفاده‌از ماشینهای‌حساب‌الکترونیکی(Computer) وبادقت بسیار بیشتری انجام دادند.

باید دانست که ساحل دریالبه‌حقیقی قاره‌ها نیست بلکه‌مقداری از نواحی پوشیده از آب درمجاورت قاره‌ها که فلات قاره (Continental Shelf) خوانده میشود ودارای عمق کمی است درحقیقت از نظر زمین شناسی جزئی از قاره‌ها محسوب میگردد. عمق آب بعداز فلات قاره بیشتر شده با شیب نسبتاً زیادی تا کف اقیانوس حقیقی ادامه پیدا میکند . Bullard et al محاسبات خود را چندین بار تکرارکردند و هربار یک عمق را لبه‌دقیق‌فلات قاره فرض کردندتابهترین تطابق را پیدا کنند. شکل ۱ دوقاره آفریقا وآمریکای جنوبی را نشان میدهد که بدین‌ترتیب کنار یکدیگر قرار داده شده‌اند .



شکل ۲ - نقشهٔ خشکیهای نیمکره جنوبی قبل از اینکه شکستگی پیدا کرده‌وپرا کنده‌شوند. خطوط نقطه چین محل تقریبی‌لبهٔ فلات قاره را که برای تطبیق سواحل بکار برده شده‌است مشخص‌میسازد نکاتی از زمین‌شناسی خشکیهای مجاورکه بایکدیگر تطبیق میکنند در شکل نشان‌داده شده‌است.

(اقتباس از : اسمیت وهلم ۱۹۷۰)

لبه فلات قاره دراین شکل درعمق ۵۰۰ فاتوم[1](Fathom) (تقریباً ۱۰۰۰ متری) فرض شده است. در شکل ۲ تعدادبیشتری از قاره‌ها را در کنار هم می‌بینیم که توسط Smith and Hallam(۱۹۷۰) با متد شبیه Bullard et. al. (۱۹۶۵) بایکدیگر تطبیق داده شده‌اند.

تشابه زمین‌شناسی قاره‌ها :

حال اگر تشابه شکل سواحل قاره‌ها رابتنهائی دلیلی قانع کننده بدانیم بازهم بعدازکنار هم‌چیدن آنها باید کنجکاوی را ادامه داده ببینیم زمین‌شناسی‌قطعات مجاور چه‌رابطه‌ای باهم دارند وآیا میتوان‌پیوسته بودن این قاره‌ها و سپس‌جدا شدن آنها را درآثار زمین‌شناسی گذشته دید؟ بااین‌مطالعات بود که عدهٔ زیادی از زمین‌شناسان‌بخصوص آنهائی که در قاره‌های نیمکره جنوبی فعالیت داشتند طرفداران جدی نظریه قاره‌های متحرك شدند (مثلاً Duroit ۱۹۳۷ و King ۱۹۶۲). زیرا تشابه وضعیت زمین‌شناسی قاره‌های آفریقا، آمریکای جنوبی، استرالیا، هندوستان و قاره قطب جنوب بحدی است که نمیتوان هیچ راه دیگری برای توضیح آن یافت مگر آنکه بپذیریم این قاره‌ها قبلاً بهم متصل بوده‌اند.

دراینجا چند مورد از تشابه زمین‌شناسی آنها که توسط King(۱۹۶۲) و Smith and Hallam (۱۹۷۰) خلاصه شده است ذکر میشود :

۱- سن‌سنگهای متشکله سپر (Shield) مغرب آفریقا و شمال شرق برزیل با استفاده از ایزوتوپهای رادیواکتیو تعیین شده و در هریك دوناحیه متمایز تشخیص داده‌اند که دریکی سن سنگها بیش‌از ۲۰۰۰ میلیون سال و درناحیه دیگر درحدود ۶۰۰ (وبهر صورت کمتر از حدود ۱۰۰۰)میلیون سال است. این تقسیم بندی در دوطرف اقیانوس اطلس بخوبی تطبیق میکند.

۳ - رسوبات متعلق به‌پالئوزوئیك بالا و مزوزوئیك پائین که درآفریقای جنوبی بنام کارو - (Karroo) نامیده میشوند درآمریکای جنوبی، جزیره ماداگاسکار و هندوستان نیز وجود دارد و شباهتشان بحدی است که اگر چند نمونه از این سنگها از قاره‌های مختلف راکنارهم قرار دهیم تمایز آنها از یکدیگر بسیار مشکل خواهد بود.

٤ - رسوبات یخچالی (Tillite) متعلق ببالای دوره کربونیفر در تمام قاره‌های جنوبی و نیز در هندوستان وجود دارد ونشان میدهد که درهنگام گسترش هوای سرد این‌قاره‌ها کنار یکدیگر قرار داشته‌اند.

۵ - نوارهای کوه‌زائی آخر پالئوزوئیك و اول مزوزوئیك را du Toit (۱۹۳۷) در آفریقای جنوبی و آرژانتین بدقت مطالعه کرده ونشان داده است که کاملاً شبیه بوده و ازیك قاره بدیگری امتداد دارند.

۶ - رسوبات‌دریائی‌ژوراسیك وفسیلهای آنها (منجمله‌نوعی‌امونیت‌بنام Bouleiceras که‌مشخصات مخصوصی‌دارد) فقط در جزیره ماداگاسکار، شرق‌افریقا، عربستان، ناحیه کاچ درشمال‌غرب هندوستان ودر پاکستان‌غربی (Davies and Gardezi ۱۹۶۵ و ۱۹۶۶) دیده شده است.

---

۱ - هر Fathom دقیقاً مساوی ۶ فوت و معادل ۱۸۹ سانتیمتر است.

در قاره‌های شمالی نیز چنین شباهتهائی ولی کمی پیچیده‌تر وجود دارد مثلاً جزئیات زمین شناسی نوارهای کوه زائی کالدونین در شمال غرب اروپا و آپالاش در مشرق آمریکای شمالی بدقت زیادی مطالعه شده و قرارگرفتن آنها در یک امتداد اخیراً توسط Dewey (۱۹۶۹) بیان گردیده است. وی نشان میدهد که در هنگام تشکیل این سلسله کوه‌ها دو قاره بیکدیگر متصل بوده و اقیانوس کنونی بین آنها وجود نداشته است.

دلائل زمین‌شناسی دراین‌مورد بسیار زیاد است ولی بحث بیشتر آنها در اینجا جایز نیست چون‌این مطالب با جزئیات بیشتر علاوه برمجلات علمی گوناگون بصورت جامع درکتابهائی که تقریباً جنبه کتاب درسی پیدا کرده است چاپ شده است.

کف اقیانوس‌ها :

بدنبال مطالب فوق این سئوال پیش میآید : دراقیانوسهائی که بعداز دورشدن این قاره‌ها پدید آمده‌اند چه وضعیتی‌وجود دارد و کف آنها از نظر پستی وبلندی‌ویازمین شناسی چگونه‌است. درابتدا اطلاعات بشر دراین مورد بسیار محدود و تقریباً ناچیز بود ولی خوشبختانه حس کنجکاوی ملل مختلف را باکتشاف و مطالعه اقیانوسها کشانده است و مخصوصاً بعدازجنگ جهانی اخیر این فعالیتها بمیزان‌قابل توجهی‌افزایش یافته و کشورهای غنی و پیشرفته بودجه‌های زیادی را باین مطالعات اختصاص داده‌اند.

طرزکار نسبتاً مشکل ومتضمن بودجه‌های هنگفتی‌است. کشتیهای‌تحقیقاتی باید مجهزبدستگاههای دقیق و پیچیده باشند و نتیجه گیری از این مطالعات تاحد زیادی منوط به‌توأم کردن جنبه‌های گوناگون‌علوم زمین شناسی است. توضیح چگونگی‌این مطالعات و متدهای‌مورد استفاده دراینجا میسر نیست و فقط خلاصه‌ای از نتایج که بموضوع این‌مقاله بستگی دارد ذکر میشود.

کتاب دنیای زیر اقیانوسها تألیف Geskell توسط آقای پوزشی بفارسی ترجمه شده است‌وخلاصه‌ای از این توضیحات را درآن کتاب میتوان یافت.

پستی وبلندیهای کف اقیانوسها :

مطالعات اقیانوسها نشان داده که کف آنها مسطح و ساده نیست که فقط روی آنها را آب پوشانده باشد بلکه کوهها ودره‌ها و پستی‌وبلندیها گوناگون در آنها موجوداست وحتی اختلاف ارتفاع بین‌برجستگیها و فرورفتگیهای کف دریا بیشتراز اختلافات‌موجود درسطح قاره‌ها است. همچنین‌اطلاعاتی که از نوع سنگهای متشکله پوسته زمین درکف دریا وچگونگی ساختمان کوههای دریائی جمع آوری شده است اختلاف فاحش آنها را باقاره‌ها بخوبی نشان میدهد. دراقیانوسها عمق متوسط آب $\frac{1}{2}$ ۵ کیلو متر و ضخامت پوسته خارجی زمین (Oceanic crust) درحدود ۵ تا ۱۰ کیلومتر میباشد درحالیکه در قاره‌ها این ضخامت درحدود ۳۰ کیلومتر است ویا ممکن است به ۴۰ کیلومتر ویا حتی بیشتر برسد. جنس پوسته زمین دراقیانوسها شبیه بازالت وگابرو است که در روی‌آن لایه‌ای از رسوبات بضخامت کمتراز یک کیلومتر ولی گاهی بیشتر قرار گرفته است. بطورکلی وضع ساختمانی این سنگها ورسوبات روی‌آنها نسبتاً ساده است وفاقد چین‌خوردگیهای شدید میباشد.

کوههای دریائی رامیتوان بدو دسته تقسیم کرد. یکی کوههای انفرادی وپراکنده (Seamount) که درقسمتهای مختلف اقیانوسها وجوددارند وبرجستگیهای مخروطی شکل میباشند که براثرآتشفشانی بوجود آمده‌اند. ودیگری رشته کوههای دریائی (Oceanic ridge) میباشد که هزاران کیلومتر طول دارند ومیتوان از یک اقیانوس به اقیانوس دیگر امتدادآنها رادنبال کرد. محل این کوهها بیقاعده نبوده ونسبت به خشکیهای مجاور موقعیت بخصوصی دارند. این کوهها نیز بارشته کوههای واقع درقاره‌ها اختلاف زیادی دارند چون جنس سنگهای رشته کوههای زیردریائی شبیه سنگهای بازالت وگابرو میباشد که بعضی بصورت خروجی و مقداری بصورت نفوذی بوجود آمده‌اند. تشکیل آنها براثر کشش (tension) بوده که درشکافهای تولید شده ماگما ببالا نفوذ کرده است ولی میدانیم که نوع سنگهای رشته کوههای قاره‌ها کاملاً متفاوت است واز نظر ساختمانی براثر فشارهای جانبی بوجود آمده و چین خوردگیهای شدیدی متحمل شده‌اند.

از طرف دیگر بخشهائی از اقیانوسها عمقشان از عمق متوسط زیادتراست وبصورت دره‌ها وگودالهائی طویل هستند که ژرفا (Oceanic trench) نامیده میشوند. عرض این ژرفاها ممکن است درحدود چندین ده کیلومتر باشدولی طولشان گاهی بهزاران کیلومتر میرسد. عمیق ترین این گودالها درجنوب شرقی ژاپن ونزدیک جزایرماریانا است که ۱۰۸۷۰ متر عمق دارد. شکل ژرفاها در روی نقشه جغرافیائی اغلب بصورت کمانهائی است که بموازات یک ردیف جزایر آتشفشانی (Island arcs) قرارگرفته‌اند ومیتوان تقریباً امتداد آنها را از یکی بدیگری دنبال کرد ولی این ارتباط از امتداد رشته کوههای دریائی پیچیده‌تر است. وضع ساختمانی ونیروهای تکتونیکی تولید کننده ژرفا مدتها مورد بحث بوده است ولی امروزه اکثر زمین شناسان آنها را مولود فشار (compression) میدانند.

اگر فرض کنیم آب اقیانوسها خالی شده باشد و نمائی از کف آنها را در نقشه دنیا درنظر بگیریم مطالب بالا را بوضوح بیشتر خواهیم دید. چنین نقشه‌ای در صفحات ۴۰، ۴۱ و ۲۰۶ کتاب دنیای زیر اقیانوسها (Gaskell ترجمه آقای پوزشی ۱۳۴۷) نشان داده شده است.

نظریه گسترش کف اقیانوسها (Ocean floor spreading)

ده ساله اخیر دورانی بسیار پرهیجان و واقعاً جالب برای علاقمندان علوم زمین شناسی بوده است زیرا هرروز اخبار و مطالب تازه و غیر منتظره از نقاط مختلف جهان منتشر میشده است. با اکتشافات تازه در اقیانوسها وبا متدهای جدید مطالعات زمین شناسی در قاره‌ها مرتب نکاتی بس جالب پیدا میشد که فرضیه‌های قدیمی را دگرگون کرده هرروز دیدی تازه بوجود میآورد که خود آنها نیز یکی دوسال بعد تغییراتی یافته و کاملتر میشدند. یکی از فرضیه‌هائی که دراین دریای متلاطم سالم مانده و در رشته‌های جداگانه زمین شناسی وژئوفیزیک تأئید شده فرضیهٔ گسترش کف اقیانوسهامیباشد که تقریباً از چهارسال پیش به اینطرف توسط اکثر دانشمندان علاقمند باین رشته پذیرفته شده است. این فرضیه اولین بار توسط Dietz (۱۹۶۱) و Hess (۱۹۶۲) عنوان شد و خلاصه آن چنین است که درامتداد رشته کوههای دریائی فوق الذکر براثر بالا آمدن ماگما بخش تازه‌ای از پوستهٔ زمین بوجود میآید واین بخش جدید بتدریج پوسته‌های قدیمتر را بطرفین میراند

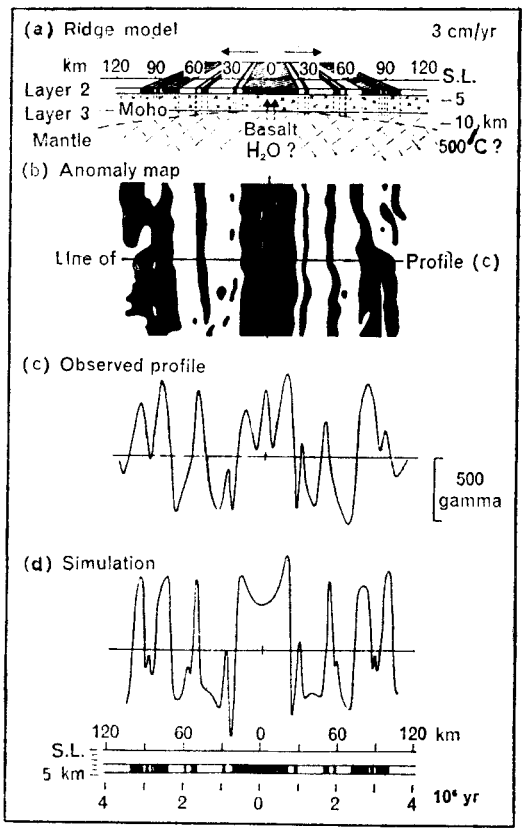
پس هرچه از رشته کوههای دریائی دورتر برویم بتدریج سن پوسته مزبور زیادتر خواهد بود مطالعات مربوط بمیدان مغناطیسی زمین وامکان معکوس شدن آن وضبط و محاسبهٔ محل وقوع زلزله‌ها ونیز مطالعهٔ دقیق مکانیزم مرکز زلزله وبالاخره دلایل دیگر همه‌این فرضیه راتأئید کرده‌اند که بطور خلاصه در زیر ببعضی‌از آنها اشاره میشود .

معکوس شدن جهت میدان مغناطیسی زمین و گسترش کف اقیانوسها :

یک پدیده واقعاً جالب که در حین گسترش کف اقیانوسها پیش میآید ضبط میدان مغناطیسی‌زمین در پوستهٔ جدیداست که مانند نوار ضبط صوت تاریخچهٔ این گسترش را ثبت میکند این بدین‌ترتیب است که در زمان انجماد بازالت بعضی ازکانیهای (minerals) آن درمیدان‌مغناطیسی زمین خاصیت آهنربائی‌دائمی کسب میکنند . جهت قطبهای شمال و جنوب این آهنرباهای کوچک داخل سنگ موازی جهت میدان مغناطیسی زمین در زمان و مکانی است که بازالت جامد میشود . ازطرفی دیگر ازسالها قبل کسانیکه‌روی خواص مغناطیسی سنگها در قاره‌ها کار میکردند متوجه شده بودند که گاهی اوقات جهت آهنربائی بعضی از این سنگها کاملاً مخالف جهت فعلی میدان‌مغناطیسی‌زمین است . بحث دراین باره‌مدتها بین متخصصین‌فیزیک جریان داشت که آیا کسب خاصیت مغناطیسی معکوس بسته بمواد متشکه سنگ‌است یا بعلت معکوس‌بودن میدان زمین درآنزمان . ولی بتدریج که نمونه‌های متعدد ازقسمتهای مختلف دنیا آزمایش میشد و ازطرفی سن نمونه‌ها را بااستفاده از ایزوتوپهای رادیواکتیو تعیین مینمودند مشاهده شد که دریکمزمان معین تمام سنگهای مطالعه شده از نقاط مختلف دریکجهت خاصیت‌مغناطیسی دارند که ممکن‌است درجهت ویا برخلاف جهت کنونی میدان مغناطیسی‌زمین باشد وبنابراین پذیرفته شده که درصورت اخیر علت معکوس بودن جهت میدان مغناطیسی زمین درآنموقع بوده است . Vine and Matthews (۱۹۶۳) پیشنهاد کردند که اگر چگونگی گسترش کف اقیانوسها را در زمانهای گذشته دنبال کنیم چنین پدیده‌ای باید در موردسنگهای‌جدید کف آنها نیز دیده‌شود . البته دسترسی بسنگهای کف اقیانوسها بسادگی‌امکان پذیر نیست و طرز قرارگرفتن قطعاتی که بدست میآید اغلب برای ما روشن نیست . اما میتوان وجود خاصیت مغناطیسی این آهن‌رباهای کف دریا را با دستگاه مغناطیس‌سنج که درکشتی‌نصب‌شده‌است اندازه‌گرفت . ازطرفی‌برطبق فرضیه گسترش کف اقیانوسها پوسته جدید بصورت نواری موازی طول رشته کوههای دریائی‌تولید میشود وبتدریج نوارهای قدیمی‌تر را بسمت خارج میراند . عرض این نوارها یعنی آن مقدار از پوسته جدید که در مدت زمان معینی بوجود آمده است بستگی بسرعت گسترش پوسته زمین درآن نقطه و در زمان تشکیل آن دارد . و همچنین برحسب آنکه چه مدت‌زمانی میدان مغناطیسی زمین جهت معینی داشته است جهت مغناطیسی شدن نوار تولید شده درآن فاصله زمانی دارای جهت معین وثابتی خواهد بود .

اندازه‌گیریهای مغناطیسی در دریاها این چنین وضعی را درنقاط مختلف جهان تأئید کرده است . در شکل ۳ یک نمونه ازآنومالیهای مغناطیسی (Magnetic anomalies) و ارتباط‌آنها باخاصیت مغناطیسی پوسته‌زمین نشان داده شده است . دراین‌شکل بخوبی دیده میشود که آنومالیهای مغناطیسی بصورت‌نوارهائی

موازی و متناوباً مثبت و منفی میباشند و محاسبات نشان میدهد که پوسته زمین نیز بصورت نوارهائی درجهت فعلی ویا برخلاف آن خاصیت آهن ربائی دارد واینها قسمتهائی از پوسته هستند که درهنگام تشکیلشان میدان مغناطیسی زمین در آن جهت بوده است. بنابراین میدان مغناطیسی زمین همیشه حالت کنونی را نداشته وبطور متناوب جهت آن معکوس میگشته است.



شکل ۳ - (a) ماکتی ازگسترش کف اقیانوسها. قسمتهائی از پوسته که سیاه‌نشان داده شده است درجهت فعلی میدان مغناطیسی زمین خاصیت آهنربائی کسب کرده‌اند و بخشهای سفید درجهتی معکوس خاصیت آهن ربائی دارند. (b) بخشی از نقشهٔ آنومالیهای مغناطیسی درشمالشرق اقیانوس آرام. آنومالیهای مثبت بارنگ سیاه مشخص شده و آنومالیهای منفی را بارنگ سفید نشان داده‌اند. (c) آنومالی مغناطیسی در امتداد خطی که درشکل (b) دیده میشود. (d) ماکتی از پوسته زمین در اقیانوس (شبیه (a)) و آنومالیهای مغناطیسی که برای این مدل محاسبه شده است

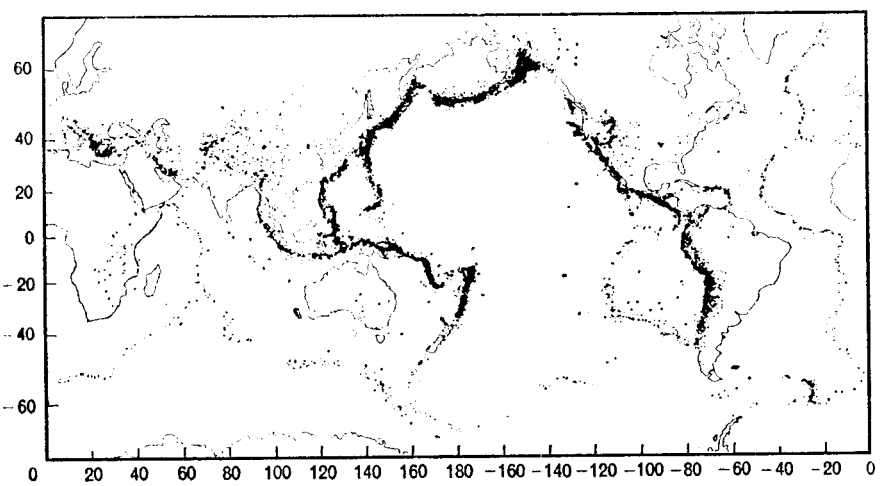
(اقتباس از: واین، ۱۹۶۸)

وقتی پدیده معکوس‌شدن جهت میدان مغناطیسی زمین در قاره‌ها مطالعه میشد سن نمونه‌های مورد آزمایش را با استفاده از ایزتوپهای رادیواکتیو تعیین میکردند وبدین ترتیب معلوم شد که معکوس شدن جهت میدان هرچند هزار سال تا چند میلیون سال اتفاق افتاده است. تاریخچه این تغییرات را امروزه با جزئیات میدانیم. آنها را شماره‌گذاری ویا حتی نامگذاری نموده از عصر حاضر بعقب تا بخشی

از دوران دوم را طبقه بندی کرده‌اند. بحث جامعی دراینمورد را در مقاله Heitzler et.al.(۲۹۶۸) میتوان یافت. این تقسیم بندیها را میتوان برای مطالعات چینه‌شناسی و تاریخچه زمین بکار برد. مثلاً بااستفاده از آنها سن آنومالیهای مختلف را معین کرده وبا توجه بعرض آنها سرعت گسترش کف اقیانوسها را در هرزمان معین حساب کرده‌اند واین سرعت در قسمتهای مختلف اقیانوسها متفاوت بوده از چند سانتیمر تا بیش از ده سانتیمتر در سال است.

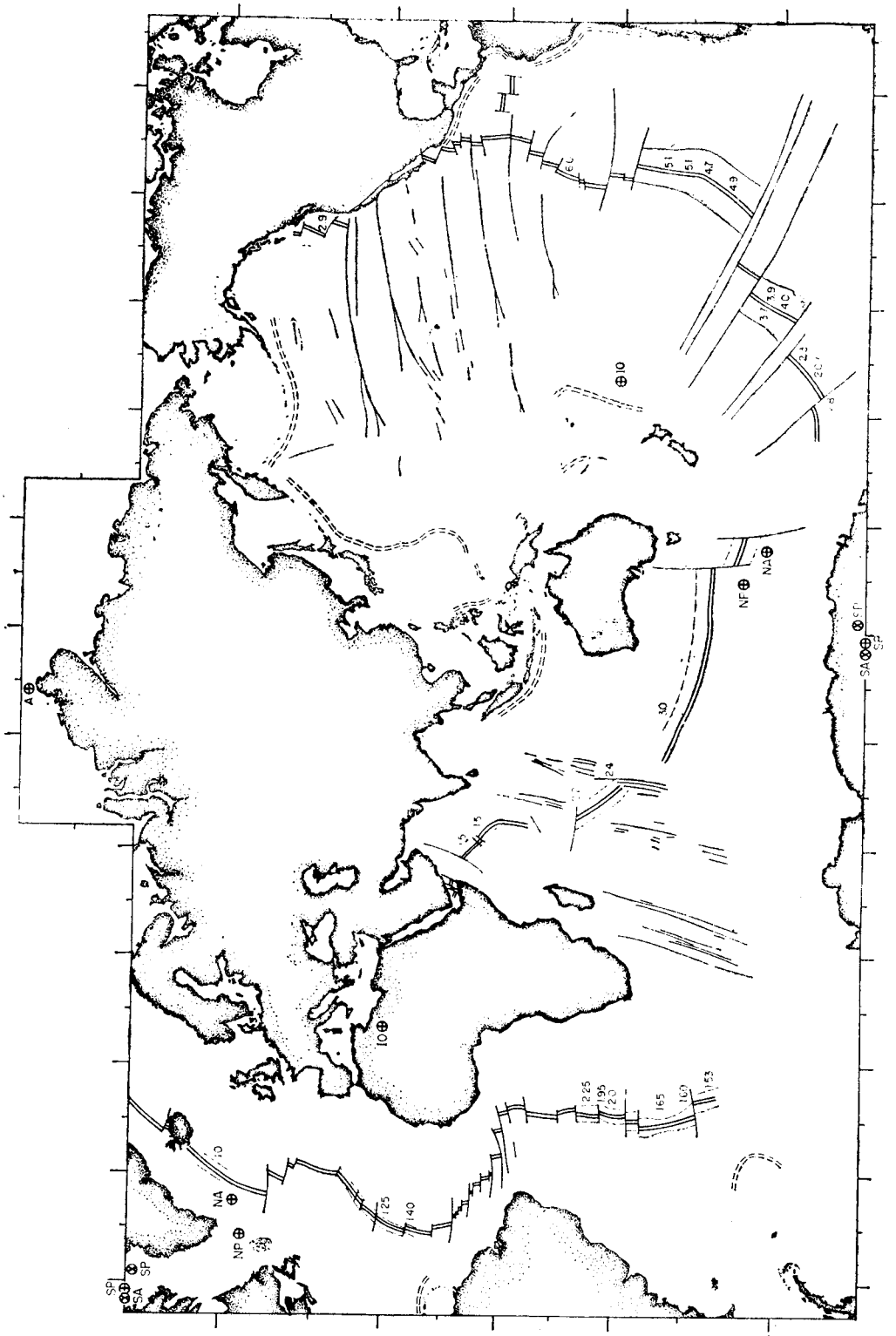
نوارهای زلزله خیز وگسترش کف اقیانوسها :

یکراه دیگر کسب اطلاعات در مورد زمین ثبت محل وقوع زلزله هااست. در شکل ٤ محل زلزله های کم عمقی که درجهان درسالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۰ رخ داده است توسط Barazangi and Dormao(۱۹۶۹) نشان داده شده بطوریکه مشاهده میشود محل این زلزله ها نواحی معینی است چنانکه تعدادی از زلزله های



شکل ٤ ـ نقشه جهانی که محل زلزله های کم عمق ثبت شده درسالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۷ را نشان میدهد. این زلزله ها از منابع Essa و Uscgs توسط بارازنگی و درسن (۱۹۶۹) تهیه شده است. خطوط زلزله خیز لبه های قطعات سا کت یعنی صفحات (plate) لیتوسفر را مشخص میسازد. فعالیت زلزله ها در امتداد رشته کوههای دریائی نسبتاً ملایمتر ولی محدود به نواری باریک است که مرکز این رشته کوهها رابخوبی مشخص میکند. مناطقی که صفحات بسوی یکدیگر درحرکت اند در امتداد نوارهائی پهن تر بوده فعالیت زلزله ها نیز زیادتر است مثلاً" پیرامون اقیانوس آرام ویاجنوب جزایراندونزی. درقاره ها نقاط زلزله خیز درامتداد نوارهائی نامشخص تربوده و نقاط محل وقوع زلزله پراکنده میباشند

اقیانوسها در امتداد خطوطی هستند که مثلاً" در مرکز اقیانوس اطلس از شمال بجنوب و تقریباً موازی ساحل طرفین امتداد دارد. این خط زلزله ها سپس از جنوب آفریقا تا اقیانوس هند ادامه دارد و درآنجا بخط دیگری از نقاط زلزله خیز متصل میگردد که تقریباً در وسط اقیانوس هند از شمال غرب بجنوب شرق ادامه داشته از آنجا بخط دیگری در اقیانوس آرام وصل میشود. این نقاط زلزله خیز درحقیقت ادامه رشته کوههای

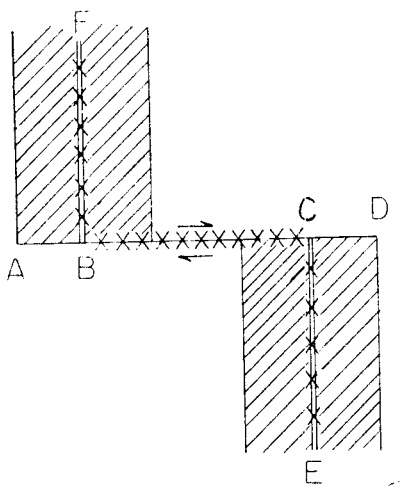


شکل ۵ ـ نقشه محل رشته کوههای دریائی، گودالهای طویل اقیانوسها (ژرفاها) و مناطق شکستگی که بیشتر گسلهای ترانسفورم هستند. خطوط دوتائی محور رشته کوهها است و ژرفاها را با خطوط تیره نشان داده‌اند خطوط نقطه‌چین که نزدیک و موازی با مرکز رشته کوهها کشیده شده است بخشی از قشر جدید اقیانوس را مشخص میکند که در ۱۰ میلیون سال گذشته تولید شده است. اعدادی که نزدیک مرکز رشته کوهها نوشته شده نصف سرعت گسترش کف اقیانوس برحسب سانتیمتر در سال میباشد. (اقتباس از هرتزلروهمکارانش ۱۹۶۸)

دریائی را که دربالا ذکر شده بود نشان میدهد. حتی در قسمتهائی از اقیانوسها باثبت نقاط وقوع زلزله محل رشته کوهها در این نواحی را قبل از عزیمت کشتیهای تحقیقاتی میدانستند.

موقعیت رشته کوههای دریائی بطور شماتیک در شکل ٥ با دو خط موازی نشانداده شده است. دراین شکل دیده میشود که این کوهها در قسمتهای مختلف بسیله گسلهائی قطع شده وظاهراً جابجا گشته اند. نمونه هائی از این گسلها درمرکز اقیانوس اطلس موجود بوده وامتداد شرقی وغربی دارند ویادر جنوب اقیانوس آرام دارای راستائی ازشمالغرب بجنوب شرق میباشند. این گسلها را همچنین میتوان بامقایسه آنومالیهای مغناطیسی درطرفین گسلها شناخت و جابجائی آنها در بعضی موارد به بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر نیز میرسد. این گسلها در نظر اول گسل کششی (tear fault) بنظر میآیند و سالها محققین زمین شناسی را بتعجب واداشته بود که دنباله آنهایکجا ادامه پیدا میکند. مثلاً درشرق اقیانوس آرام این گسلها شرقی غربی بوده و تا نزدیک ساحل ادامه دارند ولی زمین شناسان مغرب آمریکای شمالی نمیتوانستند آنها را در خشکی بیابند.

جابجا شدن امتداد رشته کوهها شامل نقاط وقوع زلزله نیز هست که در شکل ٦ بطور شماتیک نشان داده شده است. یک مثال حقیقی از رابطه نقاط وقوع زلزله با رشته کوه دریائی را Sykes(١٩٦٧) برای ناحیه استوائی اقیانوس اطلس ارائه داده است (شکل شماره ٤ آن مقاله). ولی مسأله اینجا است که نقاط



شکل ٦ - طرح شماتیک گسترش کف اقیانوسها در امتداد رشته کوههای دریائی (FB و CE) و گسل ترانسفورم (AD). بخش هاشور خورده پوسته جدیدی را که تولید شده است نشان میدهد. علامات ضربدر نقاط محل وقوع زلزله ها را مشخص میکند که فقط در بخش فعال (BC) ازگسل ترانسفورم رخ میدهد. فلشها جهت حرکت در بخش فعال گسل را نشان میدهد (اقتباس از: آیسکس، الیور وسایکس، ١٩٨٨)

وقوع زلزله فقط در بخشی ازگسل دیده میشوند که بین دو قسمت جابجا شده رشته کوه دریائی قرار دارد درحالیکه اگر این گسل کششی فعال باشد باید درتمام طول آن زلزله بوقوع پیوندد نه آنکه فقط قسمت محدودی ازگسل فعالیت داشته باشد.

گسلهای ترانسفورم (Transform faults) **و گسترش کف اقیانوسها :**

اولین بار Wilson (۱۹۶۵) توضیح علمی قانع کننده‌ای برای این گسلها پیشنهاد کرد و نشان داد که این جابجائی درحقیقت قدیمتر و یا همزمان باخود رشته کوههای دریائی است در حالیکه قبلاً همیشه تصور میشد گسلها جوانتر بوده رشته کوه را جابجا کرده‌اند. این توضیح زیرکانه Wilson معمای بزرگی راحل نمود و درضمن دلیل قانع کننده دیگری برای فرضیه گسترش کف اقیانوسها بود زیرا طبق این فرضیه پوسته جدید درامتداد رشته کوههای مرکزی تشکیل شده و بتدریج پوسته های قبلی را بعقب میراند و براثر تولید پوسته جدید قشر خارجی زمین در جهتی دور از مرکز رشته کوه بطرفین میلغزد وطبیعتاً دربخشی ازگسل که بین دوقسمت جابجا شده رشته کوه دریائی واقع شده است جهت لغزش پوسته جهت فلشهای شکل ۶ میباشد والبته دراینصورت باید انتظار داشت که درادامه گسل براست، یاچپ یعنی در AB و CD حرکتی رخ ندهد. اما آثار شکستگی درکف دریا مشهود است و انومالی‌های مغناطیسی و نیز سن آنها جابجائی را در قسمتهای CD و AB نشان میدهد. بنابراین نقاط وقوع زلزله در امتداد BF و CE است که قشر تازه ایجاد شده پوسته قبلی را کنار میراند و همچنین فقط درقسمت BC ازگسل که حرکت دوقسمت مخالف یکدیگراست زلزله اتفاق میافتد نه درامتداد راست ویا چپ آن. پس این گسلها کششی (Tear fault) نیستند وباین جهت Wilson (۱۹۶۵) آنهارا گسلهای ترانسفورم (Transform fault) نامید. مثلاً گسل سن اندراس - (San Andreas Fault) درکالیفرنیا یک گسل ترانسفورم میباشد.

مکانیزم مرکز زلزله وگسترش کف اقیانوسها :

بالاخره دلیل قانع کننده دیگر براثبات گسترش کف اقیانوسها از مطالعه دقیق‌تر مدارک ضبط شده از زلزله های فوق‌الذکر بدست آمد. زیرا میتوان با این مطالعات مکانیزم کانون زلزله (Earthquake focal mechanism) را تقریباً پیدا کرد. Sykes (۱۹۶۷) نشان داد که مکانیزم زلزله های واقع در رشته کوههای دریائی همانند گسلهای معمولی (Normal fault) است یعنی بعلت ازهم گسستگی (tension) بوجود آمده‌اند درحالیکه مکانیزم زلزله های روی گسل براثر حرکتی شبیه حرکت گسلهای کششی است ولی جهت این حرکت که از مدارک لرزه نگاری استنباط میشود در جهتی است که wilson (۱۹۶۵) پیش بینی کرده بود ودر شکل ۶ نشان داده شده است یعنی جهتی که برای گسلهای ترانسفورم انتظار میرود. بنابراین فرضیه گسترش کف اقیانوسها از چند جنبه مختلف تائید شده است.

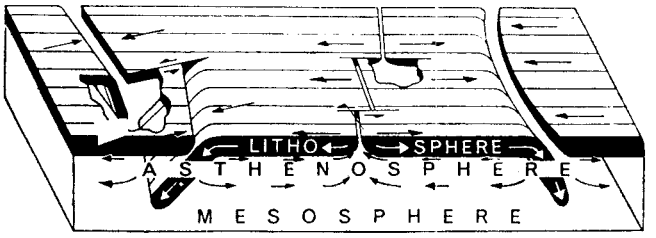
نظریه تکتونیک صفحه‌ای (Plate tectonics)

طبیعتاً سئوالی که بدنبال مطالب فوق پیش میآید این است که گسترش کف اقیاسها بکجا منتهی میشود و این پدیده درطی تاریخ گذشته زمین به‌چه‌نحو ادامه داشته است و رابطه این گسترش باقاره‌ها وبا نظریه نقل مکان آنها چیست (مثلاً Le Pichon ۱۹۶۸) ؟. بدنبال این سئوالات بود که نظریه نقل مکان قاره‌ها در دوسه‌سال اخیر تحولاتی یافته واکنون به‌نظریه تکتونیک صفحات (Plate tectonics) مشهورشده است (Mc Kenzie and Parker ۱۹۶۷ ، Mc Kenzie and Morgan ۱۹۶۹ ، Bullard ۱۹۶۹ ، Menard ۱۹۶۹ و Mc Kenzie ۱۹۷۰).

نکته مهم این نظریه این است که حرکت قاره‌ها را نباید **نسبت به اقیانوسها** درنظر گرفت بلکه این **حرکت همراه** با بخش مجاور از اقیانوس است و خشکی و اقیانوس بصورت یک واحد یعنی یک صفحه (Plate) حرکت میکنند. مثلاً نیمه غربی اقیانوس اطلس و آمریکای جنوبی یک Plate است. ضخامت این صفحات در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر است یعنی شامل پوسته خارجی (crust) وقسمتی از جبه (mantle) میباشد. درامتداد رشته کوههای دریائی این صفحات بتدریج تولید شده بطرفین میلغزند. پس باید چنین تصور کرد کره زمین از تعدادی صفحات بضخامت در حدود ۱۰۰ کیلومتر پوشیده شده است که البته مطابق باانحنای سطح کره زمین این صفحات نیز خمیده میباشند. شکل این صفحات باشکال گوناگون بوده لبه های آنها با هم تماس دارند ولی وضع صفحات ثابت نبوده نسبت بیکدیگر در حرکت هستند. اصطلاح دیگر این صفحات لیتوسفر (Lithosphere) است. بخش زیرین لیتوسفر تاعمق تقریباً ۷۰۰ کیلومتر استنوسفر (Asthenosphere) خوانده میشود وقسمت پائین تر را مزوسفر (Mesosphere) مینامند. حدفاصل این لایه ها البته تدریجی است ولی اختلافات خواص فیزیکی آنها را از چگونگی انتشار امواج زلزله میتوان دریافت. مثلاً در استنوسفر سرعت انتشار امواج کمتر است و مخصوصاً انرژی امواج عرضی فرکانسهای زیاد بمقداری بیشتر از لایه های دیگر جذب میشود. دلایل زلزله شناسی دراینمورد و ارتباط آن بانظریه تکتونیک صفحه‌ای درمقاله جالبی توسط Isacks et.al. (۱۹۶۸) ارائه شده است.

شکل ۷ از این مقاله اقتباس شده ولایه های فوق را در یک مدل سه‌بعدی شماتیک تا حدودعمق هزار متری زمین نشان میدهد.

حرکات این صفحات نسبت بیکدیگر سه‌حالت ممکن است داشته باشد. یا از یکدیگر دور میشوند یعنی‌حرکتشان در راستائی عمود برامتداد لبه بین‌آن دواست ویا اینکه حرکت دوصفحه بسوی یکدیگراست



شکل ۷ - دیاگرام سه‌بعدی شماتیک از ساختمان کره زمین تا حدود عمق هزار کیلومتری لایه خارجی بضخامت تقریباً ۱۰۰ کیلومتر (lithorphere) سخت و محکم است میتواند درلایه زیرین (asthenosphere) فرورفته «غرق شود». فلشها جهت حرکت نسبی صفحات را نشان میدهد. شکاف وسط گسترش کف اقیانوسها را مجسم میدارد و در طرف راست یک صفحه زیر صفحه دیگر میلغزد. نمونه‌هائی از گسل ترانسفورم در مرکز وطرف چپ شکل دیده میشود. (اقتباس از: آیسکس، الیوروساکس ۱۹۶۸)

ویا ممکن است حرکتشان موازی لبه باشد که دوصفحه در مقابل هم درجهاتی موازی لبه تماس میلغزند. نوع اول یعنی جدا شدن صفحات و دورشدنشان پدیده‌ای است که درامتداد رشته کوههای دریائی اتفاق

میافتد و دربالا تحت عنوان فرضیه گسترش کف اقیانوسها بدان اشارهشد. نوع سوم که حرکت لغزشی صفحات درکنار یکدیگر است دراستداد گسلهای ترانسفورم رخ میدهد که آن نیز دربالا توضیح داده شد. ونوع دوم که دوصفحه حرکتشان بسوی یکدیگر است بهم فشردگی و رانده شدن یک صفحه برروی دیگری یعنی پدیدههای تکتونیکی فشار (Compression) ایجاد میکند. این وضعیت درنوارهای کوهزائی و در استداد ژرفاهای طویل اقیانوسها (Oceanic trench) وجود دارد.

وقتی دوصفحه بسوی یکدیگر میلغزند دوحالت ممکن است پیشآید یا یکیاز صفحات داخل جبه (Mantle) شده بتدریج پائینمیرود ویا اینکه هردوصفحه درسطح مانده شکستگی وچین خوردگی پیدا کرده ضخیمتر میگردند. حالت اول مخصوصاً وقتیکه صفحه زیرین صفحه اقیانوسی باشد بسهولت بیشتری انجام میگیرد چون مواد تشکیل دهند این صفحه شبیه مواد جبه بوده ولی بعلتسردی سنگینتر بوده درآنخواهد رفت ولی اگر صفحه شامل مواد قارهای باشد جرم ویژه آن کمتر از جبه بوده نمیتواند پائین فرورود. پدیده فرو رفتن یا «غرق شدن» صفحه احتمالاً در چند نقطهٔ دنیا درحال حاضر صورت میگیرد. در ژرفای تنگا - (Tonga Trench) درشمال شرق زلاند جدید مطالعه زلزلههای عمیق توسط Isacks et. al. (۱۹۶۹) امکان چنین وضعیتی را میرساند.

نظریه تکتونیک صفحهای وارتباط آن بانقل مکان قارهها و پدیدههای کوهزائی :

لغزش یکصفحهبزیر صفحه دیگر پدیدههای زمینشناسی گوناگونی را باعث میگردد و جزئیات آثار زمین شناسی حاصله برحسب سرعت این لغزش و موقعیت آن نسبت بقارهها متفاوت است و این توضیحات بسیاری از مسائل زمینشناسی رکه مدتها مورد بحث زمین شناسان بوده است روشن میسازد.

شکسته شدن قارهها ونقل مکان آنها فقط یکبار اتفاق نیفتادهاست بلکه لغزش صفحهها برروی کره زمین و شکستگی وازهم دورشدن ویا برخوردشان بایکدیگر و فرو رفتن یک صفحه زیر صفحه دیگر همیشه جریان داشته و دارد و فقط بعللی از قبیل برخورد دوصفحه که هردو شامل قاره و غیر قابل«غرقشدن» یعنی فرورفتن در جبه (Mantle) باشند ویا بعلت شکل هندسی یک صفحه ممکن استحرکات این صفحاتتندتر ویا کندتر صورت گیرد ویا حتی مدتی (مثلاً چندینمیلیون سال) متوقف گردد.

رابطه نظریه جدید صفحات بارشته کوهها را اخیراً Dewey (۱۹۷۰) مورد تجزیه و تحلیل قرار داده نتیجه گرفته است کهنوارهای کوهزائی درلبه قارهها توسعه مییابند وچگونگیچین خوردگی و تاریخچه تکتونیکی آنها بستگی بسیار نزدیک با چگونگی حرکت صفحات مربوطه درهنگامتشکیل رشته کوههادارد. ژئوسینکلینالها (Geosynclines) کهآنها را محل تشکیل چینخوردگیهای بعدی میدانند درحقیقتتکتوژن (tectogene) نیستند که بخشی از پوسته زمین انحناء و فرورفتگی پیدا کرده باشد بلکه محلهائی هستند که یک صفحه زیر صفحه دیگر میلغزد واحتیاجی بچند کیلومتر فرورفتن زمین و سپس بالاآمدن آن نیست.

تعبیر و تفسیر تاریخچه زمین شناسی یک ناحیه مخصوصاً تجزیه و تحلیل تکتونیکی آن باید با درنظرگرفتن نواحی اطراف و مخصوصاً باارتباط بوضع اقیانوسهای کنونی صورت گیرد و نکته مهم ازنظر زمین

شناسی این است که باید پذیرفت که نواحی مجاور ویا شاید بخشهائی از خود آن ناحیه ممکن است در دورانهای پیشین زمین‌شناسی صدها وهزاران کیلومتر بایکدیگر فاصله داشته وتوسطاقیانوسی جداشده بودند. تحول و تکامل زمین‌شناسی این ناحیه بستگی بمواد تشکیل دهنده لبه‌قاره‌ها و اقیانوسهای آنزمان دارد وبا اطلاعات جدید در مورد سنگ‌شناسی قشراقیانوسها (Miyashiro et. al. ۱۹۷۰ و Cann ۱۹۷۰) وچگونگی ساختمان کنونی ژرفاها (Oceanic trenches)میتوان بسیاری از معماهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی این نواحی را حل نمود.

بادرنظرگرفتن مطالب فوق در دوسال اخیر تجدید نظر و تعبیر و تفسیر جدید در مورد زمین‌شناسی بسیاری از نقاط دنیا صورت گرفته و تحولات جالبی در علوم زمین‌شناسی ایجاد شده است. مثلاً کوههای کالدونین شمالغرب اروپا و آپالاش در مشرق آمریکای شمالی توسط Dewey(۱۹۶۹)، کوههای اورال در شوروی توسط Hamilton (۱۹۷۰) وکوههای ساحل غربی آمریکای شمالی توسط Hamilton(۱۹۶۹) و Ernst (۱۹۷۰) باین گونه مطالعه و تعبیر و تفسیر شده‌اند و نتایج آنها از بخشهای بسیار شیرین برای علاقمندان باین رشته است. این مطالب و جزئیات بیشتر تجدید نظرها و تعبیر ساختمان رشته کوهها مثلاً تجزیه و تحلیلی که در مورد زمین‌شناسی ایران میتوان نمود فصلی بسیار جالب اما مفصل است که دراین مقاله نمیگنجد.

دراینجا لازم میدانم که از دوست دانشمند آقای دکتر کاظم سید امامی صمیمانه تشکر کنم که مرابنوشتن این مقاله تشویق کرده متن فارسی آنرا مطالعه و تصحیح نموده‌اند.

منابعی که درمتن مقاله بآنها اشاره شده است

Barazangi, M. and Dorman, J., 1965, World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, epicenter data, 1961 - 1967. Bulletin of the the Seismological Society of America, Vol. 59, No. 1, pp. 369 - 380.

Bullard, E.C., Everett, J.E. and Smith, A.G., 1965, The fit of continents around the Atlantic : Philosophical Transactions of the Royal Society, Vol, 58, pp. 41-51.

Bullard, E.C., 1969, The origin of the oceans : Scientific American, Vol. 221, No. 3, pp. 66 - 75.

Cann, J.R. 1970, New model for the structure of the oceanic crust : Nature, Vol . 226, pp. 928 - 930 .

Davies , R.G. and Gardezi, A.H. , 1965, The presence of Bouleiceras in Hazara and its geological implications : Geological Bulletin of the Panjab University, No. 3, pp. 23 - 30 .

Davies, R.G. and Gardezi, A.H. 1966, The problem of the Trias in Hazara,West Pakistan: Journal of Scientific Research, University of Panjab, Vol 1, No. 2, pp. 1 - 11.

Dewey, J.F., 1969, Evolution of the Appalachian/Caledonian orogen: Nature, Vol. 222, pp. 124-129 .

Dewey, J.F. and Bird, J.M., 1970, Mountain belts and the new global tectonics ; Journal of Geophysical Research, Vol. 75, No. 14, pp 2625-2647 .

Dietz, R.S. 1961, Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor : Nature , Vol. 190, p. 854 .

Ernst, W.G. , 1970, Tectonic contact between the Franciscan Melange and the Great Valley Sequence - crustal expression of a Late Mesozoic Benioff Zone : Journal of Geophysical Research, Vol. 75, No. 5, pp. 886 - 901 .

Gaskell, T.F. , World beneathe the oceans, Persian translation by M. Poozeshi , Tehran 1969 ;

دنیای زیر اقیانوسها تألیف دکتر تی.اف. گاسل ترجمه مهندس محمود پوزشی . مجموعه معارف عمومی شماره ٤٠ بنگاه ترجمه و نشر کتاب. تهران ١٣٤٧ .

Hamilton, W.,1969, Mesozoic California and the underflow of Pacific mantle: Geologica Society of America Bullettn, Vol. 80, pp. 2409 - 2430 .

Hamilton, W. 1970, The Uralides and the motion of the Russian and Siberian platforms : Geological Society of America Bulletin, Vol. No. 9, pp. 2553 - 2576 .

Heirtzler, J.R., Dickson, G.O. , Herron, E.M. , Pitman , III, W.C. and Le Pichon, X., 1968, Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motion of the acean floor and continents : Journal of Geophysical Research, Vol. 73, No. 6, pp. 2119 - 2136 .

Hess, H.H. , 1962, History of the ocean basins , in Petrological Studies : A Volume in

Honour of A.F. Buddingtion, edited by A.E. J. Engel et. al., p. 599, Geological Society of America New York.

Isacks, B., Oliver, J. and Sykes, L.R. , 1968, Seismology and the new global tectonics : Journal of Geophysieal Research, Vol. 73, No. 18, pp. 5855 - 5899.

Isacks, B., Sykes , L.R. and Oliver, J. , 1969, Focal mechanism of deep end shallow earthquakes in the Tonge–Kermadec region and the tectonics of island arcs : Geological Society of America Bulletin, Vol. 80, pp. 1443-1470.

King, L.C., 1962, The morphology of the earth, a study and synthesis of world scenery : 699 p., New York (Hafner Publishing Gompany) .

Le Pichon, X., 1968, Sea-floor spreading and continental drift : Journal of Geophysical Research, Vol. 73, No. 12, pp, 3661-3697 .

Mc Kenzie , D.P. and Packer , R.L., 1967, The North Pacific : an example of tectonics on a sphere : Nature, Vol. 216, No. 5122, pp. 1276-1280.

Mc Kenzie, D.P. and Morgan, W. J. , 1969, Evolution of triple junctions : Nature Vol. 224, No. 5215, pp. 125–133 .

Mc Kenzie, D.P. 1970, Plate tectonics and continental drift : Endeavour, Vol. XXIX, No. 106, pp. 39 - 44 .

Menard, H.W., 1969, The deep-ocean floor : Scientific American , Vol. 221, No. 3, pp. 126 - 142.

Miyashiro, A., Shido, F. and Ewing , M. , 1970, Petrologic models for the Mid - Atlantic Ridge : Deep-Sea Research, Vol. 17, pp. 109-123.

Smith, A.G. and Hallam, A., 1970, The fit of the southern continents : Nature, Vol. 225, No. 5228, pp. 139,144.

Sykes, L.R. 1967, Mechanism of earthquakes and nature of faulting on the mid-ocean ridges : Journal of Geophysical Research, Vol. 72, No. 8, pp. 2131-2153.

du Toit, A. L., 1937, Our wandering continents : 366 p., Edinburgh (Oliver and Boyd).

Vine, F.J. and Mathews, D. H. , 1963, Magnetic anomalies over oceanic ridges : Nature, Vol. 199, No. 4897, pp. 947–949.

Vine, F.J. 1968, Magnetic anomalies associated with Mid-ocean Ridges : In'History of the Earth's Crust' (Ed. : . R.A. Phinney). Princeton University Press.

Wegner, A., 1912, Petermanns Geog. Mitt., Vol. 58, 184, 253, 253, 305. Mew Engtish edition with an introductioo by B.C. King, 1967 : The origin of continents and oceans : 248 p., London (Methuen and Co· Ltd.).

Wilson, J.T. 1965, A new class of faults and their bearing on cotinental drift : Nature, Vol. 207, 4995, pp. 343-347 .