مقدمه‌ای بر نظریه اشتقاق قاره‌ها و تکتونیک صفحات

نوشتهٔ

دکتر پورمعتمد

استادیار دانشکده علوم

یادآوری و خلاصه .

یادآوری این نکته لازم است که امروزه زمین شناسان ترجیح میدهند اصطلاح «جابجائی قاره‌ها» یا «جابجائی قاره‌ای » Continental displacement را بجای اصطلاح « اشتقاق قاره‌ها » یا «شناوری قاره‌ای » Continental drift بکار برند، زیرا عنوان جابجائی قاره‌ها، نقطه نظرها وجنبه های مختلف نظریه اولیه پیشنهاد شده از طرف وگنر A. WEGENER را بهتر وبیشتر دربرمیگیرد. ولی دراین بحث کوتاه ،بعلل کاربرد فراوانتر اصطلاح اشتقاق قاره‌ها وآشنائی زمین‌شناسان کشورما باآن، اصطلاح فوق حفظ شده است.

درمورد تعریف جابجائی یا اشتقاق قاره‌ها میتوان گفت: بطورکلی حرکت های افقی مختلف لیتوسفر - Lithosphere سخت که برروی یک استنوسفر Asthenosphere شکل پذیر قرارگرفته است به‌سه‌صورت زیر میباشد:

۱- لیتوسفر برروی استنوسفر دارای حرکت چرخشی است. این حالت سبب سرگردانی قطبی Polar Wandering میشود .

۲- لیتوسفر به‌قطعاتی شکسته شده وقطعات مزبور نسبت بهم حرکت افقی ساده دارند. وگنر این نوع حرکت قطعات لیتوسفر را نسبت بهم، اشتقاق قاره‌ها ،نامید.

۳- لیتوسفر دارای هردونوع حرکت چرخشی وجابجائی ساده است.

بطورساده میتوان گفت وگنر در مورد اشتقاق قاره‌ها فرض میکرد که صفحات بزرگی از قشرقاره‌ای (sialic) بطور آزاد برروی قشر اقیانوسی (simatic) حرکت میکند ولی مکانیسم مربوط به‌این حرکت که از طرف وگنر پیشنهاد شده بود، برای اغلب زمین شناسان بقدری غیر قابل قبول می‌نمود که مفهوم نظریه او تاچندین دهه بی‌اعتبار ماند.

امروزه باپیشرفت های علوم مربوط به‌زمین مکانیسم های قابل قبول‌تری برای حرکت صفحات پیشنهاد شده و نظریه‌ای مشابه نظریه اولیه وگنر بمقیاس وسیعی مورد قبول واقع شده است.

مکانیسم های مربوط به‌حرکت صفحات را بصورت زیر میتوان خلاصه کرد:

۱- قاره‌ها نسبتاً ثابت‌اند ولی زمین منبسط شده است وبتدریج فاصله زیادی از پهنه اقیانوسی بین قاره‌ها بجا مانده‌است.

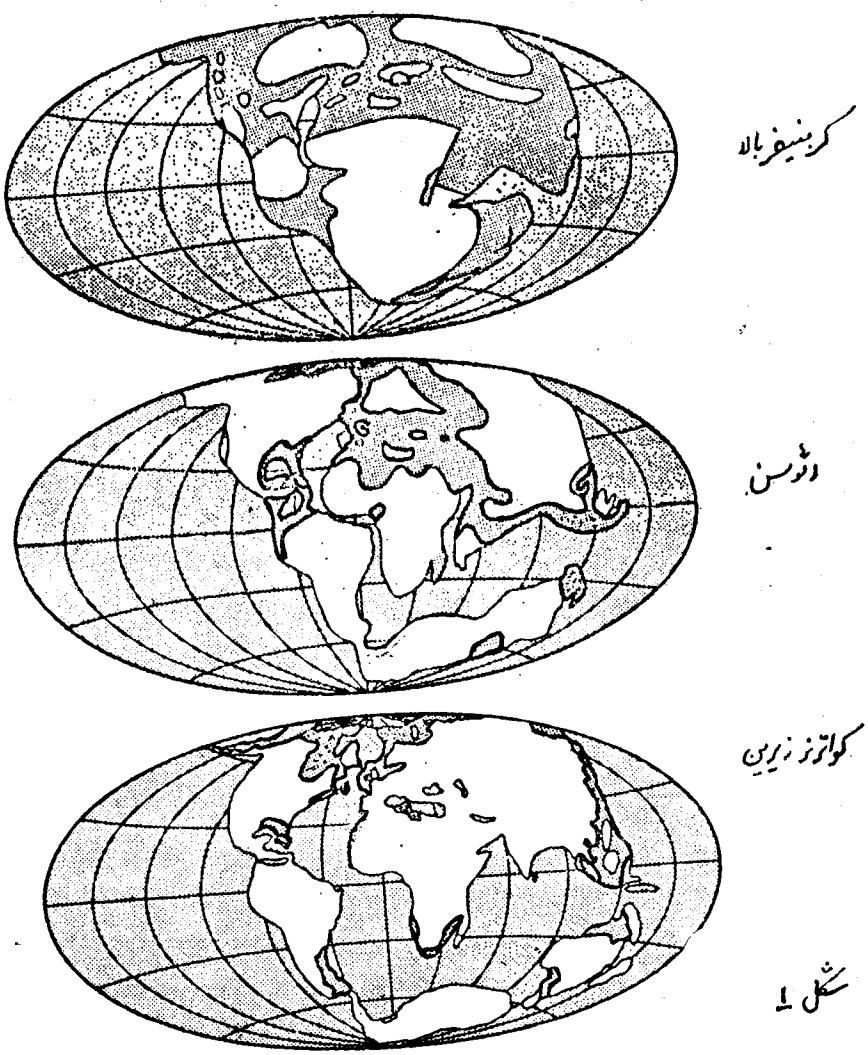
۲- قاره‌ها براثر گسترش کف اقیانوس‌ها در طول برجستگی وسط اقیانوسی نسبت بهم حرکت کرده‌اند وبه‌این ترتیب پهنه‌های اقیانوسی جدیدی بین قاره‌ها بوجود آمده است.

۳- توده‌هائیکه از برجستگی وسط اقیانوسی به‌دوطرف آن رانده شده‌اند شامل صفحات ضخیمی میباشند که‌از قشر اقیانوسی ویاازقشرهای قاره‌ای واقیانوسی هردو تشکیل شده‌اند ودر جهات مختلف مستقل از یکدیگر حرکت می‌کنند.

احتمالا تفسیر درست از تکتونیک زمین ترکیبی از دو یاهمه‌ی نظرهای پیشنهاد شده جدید میتواند باشد.

اشتقاق قاره‌ها و تکتونیک صفحه‌ای

علوم زمین شناسی در بیست وچندسال گذشته شاهد اکتشافات متعدد وعقاید تازه‌ای بوده‌است. اغراق آمیز نیست اگر همراه با ویلسون J. T. Wilson زمین شناس کانادائی بگوئیم که‌این اکتشافات و عقاید جدید، دگرگونی‌هائی



شکل ۱

مراحل مختلف اشتقاق قاره‌ها طبق نظر وگنر نقل از کتاب «منشاء قاره‌ها واقیانوس‌ها»
دراین شکل‌ها، لکه‌ها رسوبید وضع وموقع قاره‌ها و لکه‌ها ضخامت‌یره اطراف آنها، دریاها کم‌عمقی را نشان میدهد در زمان‌های معینی، بخش‌هائی از قاره‌ها را پوشانیده‌اند

درعلوم مربوط به‌زمین ایجاد کرده‌است که قابل مقایسه بادگرگونی‌های حاصل از نظریه تکامل داروین در زیست‌شناسی و یا نظریه مکانیک کوآنتیک در فیزیک میباشد.

عامل اصلی این دگرگونی‌ها نظریه جدید تکتونیک صفحه‌ای است که منشاء خودرا در بررسی نظریه اشتقاق قاره‌ها یافته‌است ونظریه‌اخیر در حدود نیم قرن پیش توسط هواشناس آلمانی آلفرد وگنر Alfred Wegener به‌دنیای علم پیشنهاد شد. بنظر میرسد که تکتونیک صفحه‌ای‌در حال حاضر بتواند توضیح منطقی ودرستی برای اغلب پدیده‌های اساسی زمین شناسی وژئوفیزیکی بدهد.

ظهور ، افول و تجدید حیات نظریهٔ اشتقاق قاره‌ها

مفهوم اشتقاق قاره‌ها قدیمی‌است. حتی در قرن اکتشافات‌بزرگ رابطه بین ساحل غربی افریقا و کناره شرقی امریکای جنوبی ،از دید محققین مخفی نبود، بطوریکه فرانسیس‌بیکن Sir Francis Bacon درکتاب‌خود بنام‌ارغنون جدید Novum Organum که درسال ۱۶۲۰/ میلادی منتشر شد،شباهت‌بسیار زیاد دوطرف‌افریقا وامریکای‌جنوبی‌را اتفاقی ندانست ولی تفسیری نیز در اینمورد ارائه نداد ویااینکه یکنفر فرانسوی بنام فرانسوا پلاسه R .P. Francois Placet درسال ۱۶۵۸/ میلادی نوشت که قاره‌های قدیم وجدید پس‌ازطوفان نوح ازهم جدا شده‌اند واین‌نظر درقرن‌های ۱۷و۱۸ رواج داشت. درسال/۱۸۰۰ میلادی‌الکساندرفن همبولت Alexandre von Humboldt چنین تصور میکرد که اقیانوس اطلس در مجموع یک دره آبرفتی بسیار عظیمی بوده‌است که کناره‌های‌آن‌بوسیله حجم‌بسیار زیاد آب‌ازهم‌جدا بوده وبرروی این آب فوق‌العاده‌زیاد کشتی نوح شناور بوده‌است.

اولین کسی که نه‌تنها شباهت هندسی وتطابق شکلی سواحل دوطرف اقیانوس اطلس،بلکه به‌شباهت زمین - شناسی قاره‌های دوطرف آن توجه کرد آنتونیو اسنیدر پلیگرینی Antonio Snider - Pelligrini بود که به‌سال۱۸۵۸ در کتاب خود بنام «خلقت ورازهای آشکار شده‌آن» برای توضیح وتفسیرگیاهان مشابهی که دررسوبات‌زغالی اروپا وامریکای شمالی پیداشده بود، اتصال‌قاره‌های دوطرف اقیانوس‌اطلس‌را پیشنهاد کرد. چارلز داروین Charles Darwin د رطول مسافرتهای خود، نشانه‌ها ودلایل قانع کننده‌ای از حرکات قائم قاره بدست آورده بود ولی هیچگونه علائمی از حرکات - افقی قاره‌ها پیدانکرد.

درابتدای قرن بیستم دو محقق امریکائی بنام‌های‌فرانک تیلر Frank B.Taylor وهواردبیکر H oward B. Baker بطورصریح عقاید مشابهی درمورد اشتقاق قاره‌ها ابراز داشتند. درسال ۱۹۰۸ میلادی‌تیلر برای بیان منشاء رشته‌کوههای‌امروزی به‌نظر اشتقاق قاره‌هاتکیه کرد. بنابراین‌اگر چه بسیاری‌از دانشمندان آلفردوگنرمنجم ، ژئوفیزیکدان و هواشناس آلمانی را پیشقدم واقعی نظریه اشتقاق قاره‌ها میدانند ، ولی در حقیقت تیلر بنیان‌گزار و مدافع بزرگ نظریه حرکت‌قاره‌ها است.

وگنر در شروع کارخود علاقه به‌شرح وبیان آب‌وهواهای گذشته زمین داشت، مثلا چرا سرخس‌های حاره‌ای درگذشته، درجاهائی میروئیدند که محل امروزی پاریس ، لندن وحتی گروئنلند است و یا اینکه چرا درگذشته یخچالهائی محل امروزی برزیل وکنگورا میپوشانیده است؟

وگنرنیز مانند پیشقدمان خود ضمن بررسی پراکندگی‌قاره‌ها مخصوصاً در دوطرف اقیانوس اطلس متوجه‌شد که شباهت کناره قاره ها باهمه‌دوری فعلی آنها از یکدیگر، بحدی است که میبایستی درگذشته‌دور، بهم متصل بوده وقاره‌واحد و یکپارچه‌ای را تشکیل داده باشند. شکل یک تشکیل قاره‌های اولیه را طبق نظر وگنر نشان میدهد،نام‌قاره عظیم اولیه پانژه‌آ Pangea بوده که قسمت شمالی آنرا لورازیا Laurasia وبخش جنوبی آنرا گندوانا Gondwana مینامند.

به‌این ترتیب حاصل بررسی‌های این دانشمند بصورت نظریه اشتقاق قاره‌ها درسال ۱۹۱۲ میلادی به‌دنیای علم پیشنهاد شد وازهمان زمان انتشار مشهورگردید. وگنردرکتاب خود بنام «منشاء قاره‌ها واقیانوس‌ها» که درسال۱۹۱۵ میلادی منتشر شد نه‌تنها از مطالعات‌خود درمورد آب‌وهوای گذشته زمین Paleoclimatoloy بلکه از تمام علوم‌مربوط

به‌زمین دلایلی برای اثبات نظر خود ارائه نمود که‌میتوان آنها را در چهارگروه زیر خلاصه کرد:

۱- جوربودن وباهم تطبیق کردن کناره بعضی از قاره‌ها . ۲- شبیه بودن تشکیلات وساختمان‌های زمین‌شناسی برخی ازقاره‌ها. ۳- همانندی دیرینه شناسی بعضی از قاره‌ها. ٤- شباهت آب‌وهوای های‌گذشته برخی از قاره‌ها.

بعنوان‌مثال میتوان‌گفت که دلایل آب‌وهواشناسی حاصل از بررسی‌های پرمو-کربنیفر(درحدود سیصد میلیون سال پیش) وجودیک‌یخچال قاره‌ای رادرآن زمان‌نشان میدهد که بعدهاقطعه قطعه شده واز هم‌فاصله گرفته‌اند . باپهلوی هم قرار دادن قاره‌ها طبق نظر وگنر، دیده میشود که قطعات یخچال جداشده ازیکدیگر بایك عرقچین یخچالی، کاملا تطبیق میکندشکل(۱). برای اینکه تصور درستی از چگونگی بررسی‌ها و نتیجه‌گیری دلایل چهارگانه نامبرده در بالابدست آید، در زیر بشرح تفصیلی دلایل آب‌وهوای گذشته زمین میپردازیم.

آب و هواهای‌گذشته Paleoclimatology

اثرآب‌وهوای‌گذشته، مانند آثار حیات وبخوبی آنها در تشکیلات سنگی زمین پیدا میشود . نخستین کویرهای گرم وقدیم‌ترین عرقچین‌های یخچالی در نقاط مختلف زمین شناخته شده است که ازآن میان میتوان آثارکویرهای گرم‌و سوزان نواحی قطبی‌کنونی وعرقچین‌های یخچالی جنگل‌های استوائی امروزی را نام برد (شکل ۲).

همزمانی این آب‌وهواهای متفاوت نشان میدهدکه انتشار مناطق آب‌وهوائی در دوره‌های‌گذشته کاملا با امروز فرق داشته‌است. این اختلاف را میتوان به‌دوطریق توضیح داد:

۱- قاره‌ها جابجا نشده‌اند، بنابراین عامل‌های‌کنترل‌کننده مناطق آب‌وهوائی باید تغییرکرده باشند.

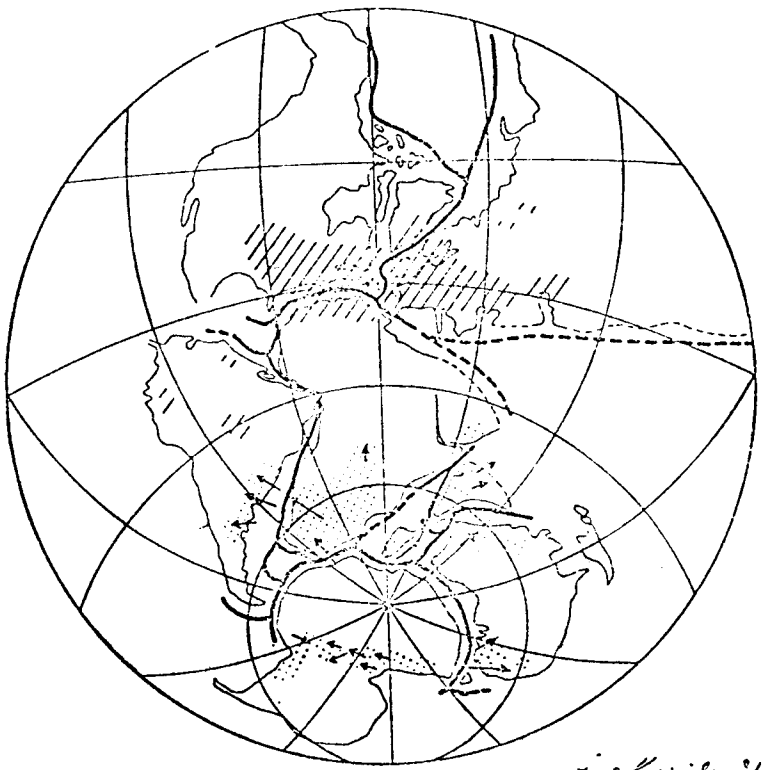
۲- نظریه جابجائی‌قاره‌ها را میپذیریم، بنابراین قاره‌هانسبت به‌امروز، در مناطق آب‌وهوائی دیگری بوده‌اند، درحالیکه پراکندگی مناطق آب‌وهوائی میتوانست مانند امروز باشد.

مناطق آب‌وهوائی امروزی زمین تابع عوامل متعددی مانند انتشار خشکی‌ها ودریاها، وجود یاعدم کوهستانها وغیره میباشد. ولی مهمترین عامل‌کنترل مناطق آب‌وهوائی وجود زاویه میل محور چرخش زمین نسبت به‌خورشید است. نتیجه‌اینکه میتوانستیم در طول زمان‌های زمین شناسی تغییرات آب‌وهوائی داشته‌باشیم، باین معنی‌که‌کوهها تشکیل - میشدند وپس‌ازآن براثر فرسایش ازبین میرفتند ودریاها برروی قاره‌ها پیشروی میکردند وسپس ازآن مناطق عقب می‌نشستند ولی همه‌ی این تغییرات درمقایسه بانتایج حاصل از تغییر عرض جغرافیائی خیلی‌کوچك بودند وامکان‌تغییرات اخیرمیسر نبود جزاینکه یا قاره‌ها جابجا میشدند ویااینکه زاویه میل محور چرخش زمین نسبت به‌موقعیت آن خورشید تغییر وضع میداد. مسلماً چنین تغییری مستلزم بکارگرفتن نیروی عظیمی بودکه تحت اثرآن سیاره ما میتوانست تکه‌تکه شود وبهر صورت چنین نیروهائی واقعاً میتوانست تاریخ زمین را عوض‌کند. اما هیچگونه آثاری از چنین دگرگونی‌ها تاکنون‌دیده نشده است. بعلاوه ممکنست پوسته زمین درمجموع نسبت به‌بخش‌های داخلی زمین لغزشی حاصل‌کرده باشدکه توجیه چنین نظریه‌ای پیچیده‌تراز جابجائی قاره‌هااست.

درحدود صد تادویست میلیون سال پیش زمین تحت تأثیرآب‌وهوای تقریباً یکنواختی که بطورکلی گرم‌تراز امروز بود، قرار داشته‌است واین‌امربدون شك نتیجه فقدان نواحی‌کوهستانی‌تقریباً در تمام‌زمین‌و وجود دریاهای‌کم‌عمق بسیارگسترده برروی اغلب قاره‌ها بوده‌است. مسلماً در مطالعه یك ناحیه معین بین تغییرات آب‌وهوائی‌حاصل‌از عوامل و حوادث زمین شناسی وتغییرات بزرگ حاصل از جابجائی قاره‌ها باید فرق گذاشت وآنهارا ازهم جداکرد.

این مسئله نیز مورد شك وتردید نمیباشدکه بین ۰/۲۵۰و/۰۳۵۰ میلیون سال پیش نواحی قطب شمال‌کنونی ازبیابان‌های‌گرم ونواحی استوائی امروزی از یخچال‌ها پوشیده بوده‌است واختلاف مشخص آب‌وهوای این نواحی درگذشته با امروز قابل توجیه‌است. ولی‌این موضوع بهمان راحتی که بانظریه جابجائی قاره‌ها قابل تفسیراست، بااستفاده از نظریه‌های دیگر بسیار پیچیده ومشکل میشود.

بین ۰/۲۵۰و/۰۳۵۰ میلیون‌سال پیش یخچال‌های بزرگی جنوب‌شرقی امریکای جنوبی، افریقای مرکزی وجنوبی



شکل ۲

نواحی پوشیده شده از جنگل، حاره‌ای با متوسط تقریبی سیصد سیمون سال پیش در دیرزگذشت

۵۰٪ سیمون سال بصورت بیابان، گرم و سوزان وسیعی در آمدند.

سپس، یخچالی تقریباً ۲۵۰٪ تا ۳۰۰ سیمون سال پیش. فلش‌ها جهت، شناخته شده

جابجائی یخ را نشان میدهد.

نقشه یخچالهای قطبی و بیابان گرم قدیمی ۲۵۰٪ تا ۳۰۰ سیمون سال پیش.

بیابان گرم مشخص شده در نقشه از رو رسوبات ماسه‌ای و رسوبات نمکی برجای مانده در خشکی لورازیا تهیه شده است. درحالیکه در همان زمان یک عرقچین یخچالی در قاره گندوانا وجود داشته است.

رسوبات یخچالی در حرکت آنها در نقشه نشان داده شده، همگی همزمان نیستند و سن آنها از ۳۰۰ سیمون سال در برزیل شروع شده و تقریباً به ۲۵۰ سیمون سال در استرالیا و قاره قطب جنوب ختم میگردد.

در طول این ۵۰ سیمون سال لورازیا از وسط منطقه استوائی جدا شده و منطقه بیابانی بتدریج وضع و موقع خود را عوض کرده است. مناطق و عرض‌ها تصویر شده در نقشه، ۲۵۰ سیمون سال پیش را نشان میدهد.

هند، استرالیا وقاره‌قطب جنوب را میپوشانیده‌است. یخچال‌های فوق در بعضی نواحی تا ۰/۰ میلیون‌سال دوام داشته و تقریباً بصورت سفره‌های بزرگ یخی نظیر پوشش‌های یخی گرینلند وقطب جنوب امروزی بوده‌است.

برروی تمام قاره گندوانا، یخ ها ،سنگ‌هائیرا که براثر یخ بستن تکه‌تکه شده بودند ، سائیده وفرسوده ومخطط میکردند واین سنگهای خوردشده براثر ذوب یخ ها رویهم انباشته میشدند،این خورده‌های یخچالی امروزه برروی تمام‌قاره‌ها به‌ضخامت صدها متر دیده میشوند وگاهی اوقات تاضخامت هزار مترهم میرسند مانند برزیل که مساحتی در حدود چهار - میلیون کیلومترمربع ازخاك آنرا رسوبات یخچالی پوشانیده‌است. این یخ ها بسیار بادوام بوده وپهنه‌های وسیعی از زمین را میپوشانیده‌اند که معادل سفره‌های یخی پله‌ایستوسن یاآخرین یخبندان حاصل برسطح زمین بوده‌است. در طول دوسیلیون

سال گذشته یخ های قطب شمال تالندن، نیویورك، سن‌لوئی پائین آمدند ودر پشت‌سرخود تقریباً صدمتر از رسوبات یخچالی در نواحی زیادی از امریکا واروپای شمالی باقی‌گذاشتند. وسعت یخ بندان‌گندوانا نشان میدهد که یک سفره یخچالی‌قطبی وجود داشته وبعلاوه اغلب نواحی تحت تأثیر این یخ بندان دارای پستی‌وبلندیهای ملایمی‌بوده‌اند. بعلاوه یخچالهای نواحی کوهستانی نظیر آلپ‌ها وکوههای رشوز امروزی نمیتوانستند حجم فوق‌العاده زیادی از رسوبات یخچالی بوجودآورند. ضمناً یخبندان کوچکی دراین زمان در نواحی کوهستانی شمال استرالیا (ویلز جنوبی جدید) وجود داشته است.

یخبندان امریکای جنوبی وافریقا درست تا مرز ماداگاسکار وهند وجود داشته ومقدم بریخبندان قطب جنوب و استرالیابوده‌است بهرحال از روی توزیع کنونی قاره‌ها که آثار این یخچالهای قدیمی را در خود دارند، بنظر میرسد، نواحی ایکه از قطب جنوب کنونی تا شمال استواگسترده است، بوسیله یک قشر یخی تقریباً پیوسته ای پوشیده بوده‌است وشایدهم تمام کره دراین زمان از یخ پوشیده بوده است. اگر قاره‌های نیمکره جنوبی را دریک ابر قاره بنام گندوانا جمع کنیم ویگذاریم که منطقه سرد جنوب‌به‌آهستگی ازآن عبورکند ، عرقچین یخچالی جنوبی بتدریج از یک انتها به انتهای دیگر این ابر قاره میرسد . نه‌تنها این تفسیر سن متفاوتی را برای یخبندان داخل قاره گندوانا نشان میدهد ، بلکه در این زمان ، آب‌وهوای مجاور عرقچین های یخچالی‌را در عرض های درست و واقعی‌شان قرار میدهد. باین ترتیب آخرین مرحله یخبندان دراسترالیا همزمان باپیدایش بیابان‌های گرم مشرق امریکای جنوبی وشمال افریقا بوده که درحدود ۲۰/ درجه‌ای‌استوا قرار داشته‌است بعلاوه از روی موقعیت کنونی نقاط مقابل هم برروی کره زمین میتوان فرض کرد که این قاره‌هاآب‌وهواهای مشابهی بااسترالیا را تحمل کرده‌اند.

درستی بازسازی قاره‌گندوانا برمبنای وجود رسوبات یخچالی‌ودیگر آثار یخبندان که‌هنوز قابل شناسائی‌است بصورت دیگری نیز تأیید شده‌است. باین معنی که جهت حرکت یخچالهای قدیمی‌را ازروی خراش های حاصل ازسنگهای محموله‌ی آنها برکف حوضه یخچالی میتوان پیداکرد . از طرف دیگر مطالعه این سنگها بما اجازه تشخیص منشاء آنها را میدهدکه خود دلیل تکمیلی و اضافی برای شناخت جهت حرکت یخچال‌هااست .

در برزیل یخچال‌ها بطرف‌شرق یعنی جائیکه امروزه اقیانوس اطلس وجود دارد، جریان داشته ودر جنوب‌غربی افریقا شبکه زیادی از آثار یخچال دیده میشود که‌از سرزمین های بسیار مرتفع بطرف غرب تا اقیانوس اطلس کشیده شدهٔ است. یخچالهای‌برزیل رسوبات قاره‌ای را باخود حمل میکردند که دربین آنها سنگهائی شناخته شده است که در رسوبات یخچالی جنوب غربی افریقا دیده میشود ولی در نواحی مجاور آن در امریکای جنوبی شناخته نشده‌است. در تمام قاره‌گندوانا ازاین نوع علائم‌دیده میشودکه نشان میدهد منشاء قاره‌ای رسوبات محموله، از نقاطی است که امروزه جز در اقیانوس‌ها درجاهای دیگرگسترده نیست. در آخرین حد جنوبی افریقاسنگهای‌قاره‌ای از جنوب میآیند. درجنوب شرقی افریقانزدیک دوربانDurbanصدها متراز سنگهای یخچالی‌ازمحل کنونی‌اعماق قیانوس‌هند میآیندکه امروزه فقط چندکیلومترازآن‌دور است ودر استرالیا نزدیک آدلائید Adelaide یخچالها مقدار زیادی از سنگهای‌قاره‌ای را باخود آورده‌اندکه از محل امروزی خلیج‌بزرگ Grand Bay استرالیاحمل‌شده‌است. فقط باجمع کردن‌این‌قاره‌هادر داخل‌ابرقاره‌گندوانااست که میتوانیم از منشاء رسوبات عظیم یخچالی تفسیر قابل قبولی عرضه کنیم.

درهمین زمان برروی قاره‌های نیمکره شمالی کنونی، جنگل های سرسبز حاره‌ای، کم کم،جای‌خود را به‌بیابان - های ماسه‌ای وسیع‌وگرم دادندکه برروی آنها آب دریاهای کم‌عمق بسرعت تبخیر میشد ورسوبات ضخیم نمکی را برروی بخش بزرگی از امریکای شمالی واروپا بجا میگذاشت وتا جزایر قطبی کانادا وشمال گرینلند میرسد. این مواد تبخیری که امروزه ذخایر نمک وپتاس را تشکیل میدهند از نظر ساختمانهای زمین شناسی تله‌هائی برای حفظ وتجمع نفت‌وگازهای طبیعی میباشند مانند حالتی که در تکزاس ودریای شمال دیده میشود.

اختلاف موجود بین قاره‌های جنوب وشمال نشان میدهدکه درحدود ۲۰۰تا/۳۰۰ میلیون سال پیش تمام قاره ها موقعیت کاملا متفاوتی نسبت به‌امروز باهم داشته‌اند، ولی مناطق آب‌وهوائی خیلی‌گسترده‌بوده وتحت‌تأثیرپراکندگی محلی دریاها وخشکی‌ها بوده‌است، بطوریکه محل واقعی قاره‌ها را فقط بانشانه‌های آب‌وهوائی نمیتوان پیداکرد ومطالعه مغناطیس سنگ‌ها اطلاعات بیشتری بمامیدهد.

نتیجه اینکه‌وگنر وطرفدارانش با کمک‌گرفتن‌از دلائل وشواهد مختلف علوم مربوط به زمین سعی کردند نظریه خودرا جامع وکامل نشان دهند دراین زمان نظریه اشتقاق قاره‌ها از بحث در شباهت خط کناره‌قاره‌ها دورتر رفته وحتی مکانیسم کوهزائی یا چگونگی تشکیل کوههارا توضیح میداد مانند اینکه کوههای آلپ وهیمالیا در نتیجه برخورد وتصادم گندوانا ولورازیا بوجود آمده است، درحالیکه کوردیلرهای (Cordillera) قاره امریکا نتیجه بالا آمدنی‌است که براثر مقاومت قشر اقیانوسی در مقابل‌جابجائی قاره‌های امریکا ایجاد شده است. دلایل‌وشواهدی که دراین زمینه ارائه میشدهم قوی بود وهم جلب نظر میکرد ولی اکثر علمای زمین شناسی چنین نظریه‌ای را برای جابجائی قاره‌هادرفواصل هزاران کیلومتر نمی‌پذیرفتند زیرا مطابق قاعده ورسم زمان نبود. جای تأسف‌است که وگنر برای بیان وتوضیح یک‌امر کاملامنطقی‌از دلایلی استفاده کرد که بعضی ازآنها نادرست ومردود بوده‌است وارائه چنین دلایلی در طول سالهای ۱۹۲۰ جروبحث‌های شدیدی را بهمراه داشته‌است. ولی اغلب مباحثه‌ها ومجادله‌ها درسال ۱۹۲۴ بهنگام انتشار ترجمه انگلیسی چاپ۱۹۲۲ آلمانی کتاب وگنربروز کرد. البته قبل‌ازمرگ وگنر که درسال ۱۹۳۰ در جریان اکتشافاتی در گروئنلند روی داد نیزچاپ جدیدی از کتابش بعمل آمده بود.

بطورخلاصه میتوان‌گفت که بسیاری از مخالفین وگنر به‌این راضی بودند که ناباوری کامل خودرا بیان کنند بدون اینکه کمترین کوششی برای قضاوت در رد نظریه او بنمایند ومعمولا برای نشان دادن مخالفت خود یکی از دوراه زیررا انتخاب میکردند:

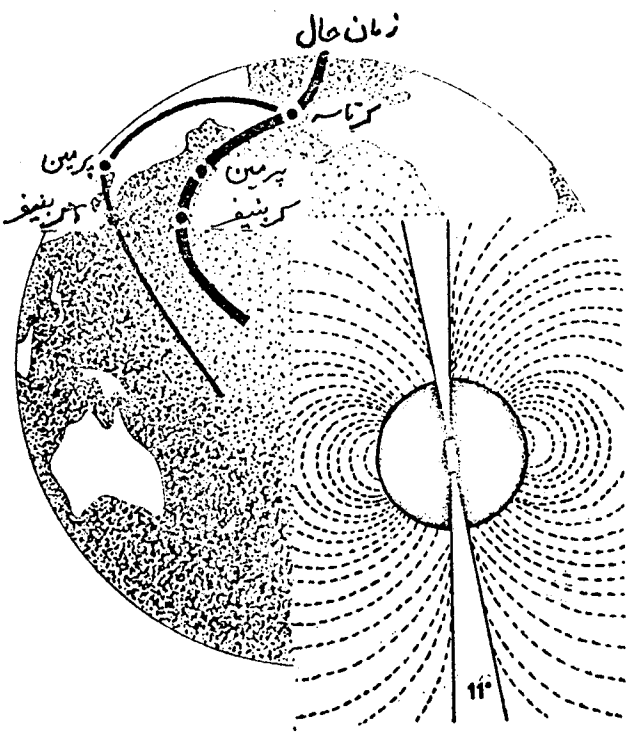
مثلامتخصصین رشته‌های‌مختلف علوم‌خطاهای کوچک‌وجزئی‌دلایل پیشنهادی‌وگنررا برمیشمردندوازآن نتیجه میگرفتند که پایه‌واساس نظریه او بکلی غلط است‌یااینکه خودرا از اینهم بی‌منطق‌تر نشانداده ودرستی دلایل وگنررا در زمینه تخصص خود می‌پذیرفتند ولی نظریه اشتقاق قاره‌ها را باارجاع آن‌به‌علوم دیگر رد میکردند باین معنی که علمای مختلفی از جغرافیای زیستی Biogeography نتایج‌ارائه شده ازطرف‌وگنر را درباره زندگی گیاهان‌وجانوران گذشته ولزوم ارتباط‌بین قاره‌ها درهمان زمانها را میپذیرفتند ولی درآخر به‌این دلیل که زمین شناسان نظریه اشتقاق قاره‌ها وارتباط‌های قدیمی بین‌آنها راقبول ندارند از پذیرش نظریه فوق سر، بازمیزدند.

نظریه وگنر یک نقطه ضعف داشت وآن این بود که‌از پدیده اشتقاق قاره‌ها هیچگونه توضیح فیزیکی نمیداد و از دلایل فیزیکی برای تأیید آن استفاده‌نمیکرد وعلت اصلی نا باوری یا بدبینی دانشمندان از اینجا سرچشمه میگرفت که درآن زمان مکانیسمی برای جدا کردن قاره‌ها بطریقی که‌وگنر ویا مدافعان نظراو در اذهان تلقین میکردند، نمیشناختند. بعلاوه قاره‌ها وکف اقیانوس‌ها از سنگهای سختی تشکیل شده‌اند وبرای بحرکت درآوردن حتی‌قاره کوچکی‌مانندا‌ستراليا که تقریباً پانصد میلیون ، میلیون میلیون کیلوگرم وزن دارد درکف اقیانوس نیروی فوق‌العاده عظیمی لازم است. بنابراین متخصصین ژئودینامیک برای مسخره‌کردن این فکر که قاره‌ها در دریائی از قشر محکم کف اقیانوسی میتوانند حرکت کنند، دلایل زیادی در اختیار داشتند. از طرف دیگر در حدود سالهای ۱۹۳۰ ژئوفیزیکدانهای‌طرفدار نظریه وگنر بسیار کم‌بودند واغلب علمای ژئوفیزیک عملا از بحث در باره اشتقاق قاره‌ها ابا داشتند ودنیای علم نیز نظریه فوق را درزمره افسانه‌های علمی برای کودکان قرار داده بود.

ولی‌پس‌از گذشت دهها سال فرضیه اشتقاق قاره‌ها بطور غیر منتظره‌ای در صف اول قرارگرفت. باین معنی که درحدود اواخر سالهای ۱۹۵۰ علمائیکه مغناطیس زمین را ازنظر دیرینه شناسی مطالعه‌میکردند باین نتیجه رسیدند که‌طبق گفته‌وگنر میبایستی‌قاره‌ها واقعاً جابجا شده باشند. مطالعه دیرینه‌شناسی مغناطیس زمین باانداز‌ه‌گیری مغناطیس باقیمانده‌در سنگها انجام میشود که آنراپالئومانیتیسیم Paleomagnetism نیز مینامند. وقتیکه یک‌سنگ‌آذرین یا رسوبی تشکیل میشود کانیهای قابل مغناطیس شدن آنها طوری توجیه میشود که‌گوئی این سنگها دارای یک نوع آهن ربای دائمی‌است که جهت آن همان جهت میدان مغناطیسی زمین در زمان تشکیل سنگ مزبور است. این آهن‌ربائی دائمی آنقدر ضعیف‌و ناچیزاست که دستگاه بسیار حساسی برای اندازه‌گیری آن لازم است ولی آنقدر ثابت است که درطول میلیاردها سال امتداد خودرا حفظ میکند. بنابراین میتوان نتیجه‌گرفت که امتداد میدان مغناطیسی زمین در دوره‌های مختلف زمین شناسی باامتداد میدان مغناطیس باقیمانده در سنگهای تشکیل شده درهمان دوره‌ها، یکی‌است.

دانشمندانی از قبیل L. Néel از دانشگاه گرنوبل و E. Tellier از دانشگاه پاریس و T. Nngata از دانشگاه توکیو مبانی فیزیکی پالئومانیتیسم را پایه‌گذاری کردند و مکتب‌های انگلیسی برهبری دانشمندانی چون P.M.S. Blackett از دانشگاه لندن و S.K. Runcorn از دانشگاه نیوکاسل آنرا در مقیاس‌های بزرگ گسترش دادند.

بااندازه‌گیری جهت آهن ربائی باقیمانده در سنگها میتوان نتیجه گرفت که قطب مغناطیسی زمین در دوره تشکیل آن سنگها چه موقعیتی داشته است. البته بافرض براینکه میدان مغناطیسی زمین یک وضع دو قطبی متمرکز برروی زمین داشته باشد شکل(۳).



شکل ۳

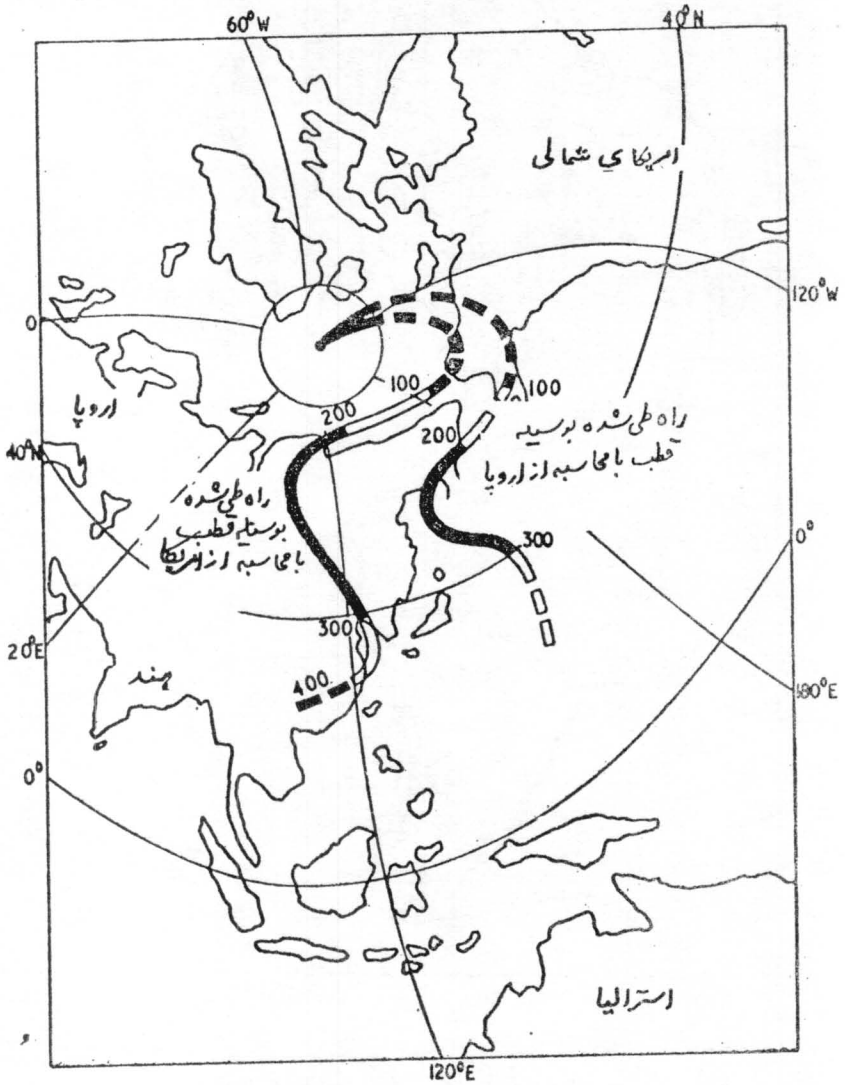
اگر فرضیه میدان مغناطیسی نوع دوقطبی متمرکز را قبول کنیم، علم مغناطیس گذشته با اجازه میدهد تا وضع و موقع قطب مغناطیسی زمین را در گذشته تعیین نمائیم.

جابجائی یا سرگردانی قطبی این معنی را میدهد در سیستم خطوط نیرو بدون اینکه شکل خارجی زمین تغییر کند، نسبت به زمین چرخشی حاصل کرده است. معنی ضخیم و نازک به ترتیب نشاندهنده جابجائی قطبی است در روی سنگهای قاره اروپا و امریکا تعیین شده است.

وجود نگارهای جابجائی متقاوت از شروع دهه ۱۹۶۰ دلیل تازه‌ای به نفع نظریه ایستقاق قاره‌ها شده است. شبیه اینکه دوگانگی نگار قطب‌ها اجزا دوگانگی قاره‌ها نمیتوان تفسیر کرد.

بابکار بردن این روش Runcorn وهمکارانش توانستنددر هرزمان معینی محل قطب مغناطیسی زمین راپیدا کنند وجزئیات حرکت این قطب را در طول زمان‌های زمین شناسی بدست آورند که به آن جابجائی قطبی مینامیدند. ولی

وقتیکه آنها منحنی جابجائی قطبی را رسم کردند ملاحظه نمودند که منحنی مربوط به‌سنگهای قاره اروپا ومنحنی مربوط به سنگهای قاره امریکا بطور منظم از هم دور میشود ومنحنی جابجائی قطبی قاره امریکا نسبت به‌منحنی جابجائی قطبی قاره اروپا بطرف مغرب تغییر مکان داده است‌شکل(۴و۳). باید گفت که بدست آوردن دو منحنی جابجائی قطبی در فرضیه دو قطبی مغناطیس زمین کاملا غیر عادی است. Runcorn نتیجه‌گرفت که‌تنهابارها کردن‌فرضیه دوقطبی‌نمیتوان‌دوقسمتی



منحنی‌ها جابجائی قطبی محاسبه‌شده از اروپا و امریکای شمالی

برای تهیه منحنی‌ها جابجائی قطبی یک قاره، موقعیت‌ها مختلف قطب را در طول زمان‌ها زمین‌شناسی بر حسب میلیون سال، در نقاطی در امکان اندازه‌گیری وجود دارد تعیین نموده (خطوط ممتد منحنی‌ها بالا) وسایر نقاط را با حدس وتخمین نزدیک به‌یقین مشخص میکنند (خطوط بریده منحنی‌ها). منحنی‌ها بالا باوجود اینکه ناکامل اند ولی بوضوح دیده میشوند در بوسیله بهنای اقیانوس اطلس از هم جدا شده اند وگر امریکای شمالی به‌اروپا متصل بود، منحنی‌های بالا بهم منطبق میشدند.

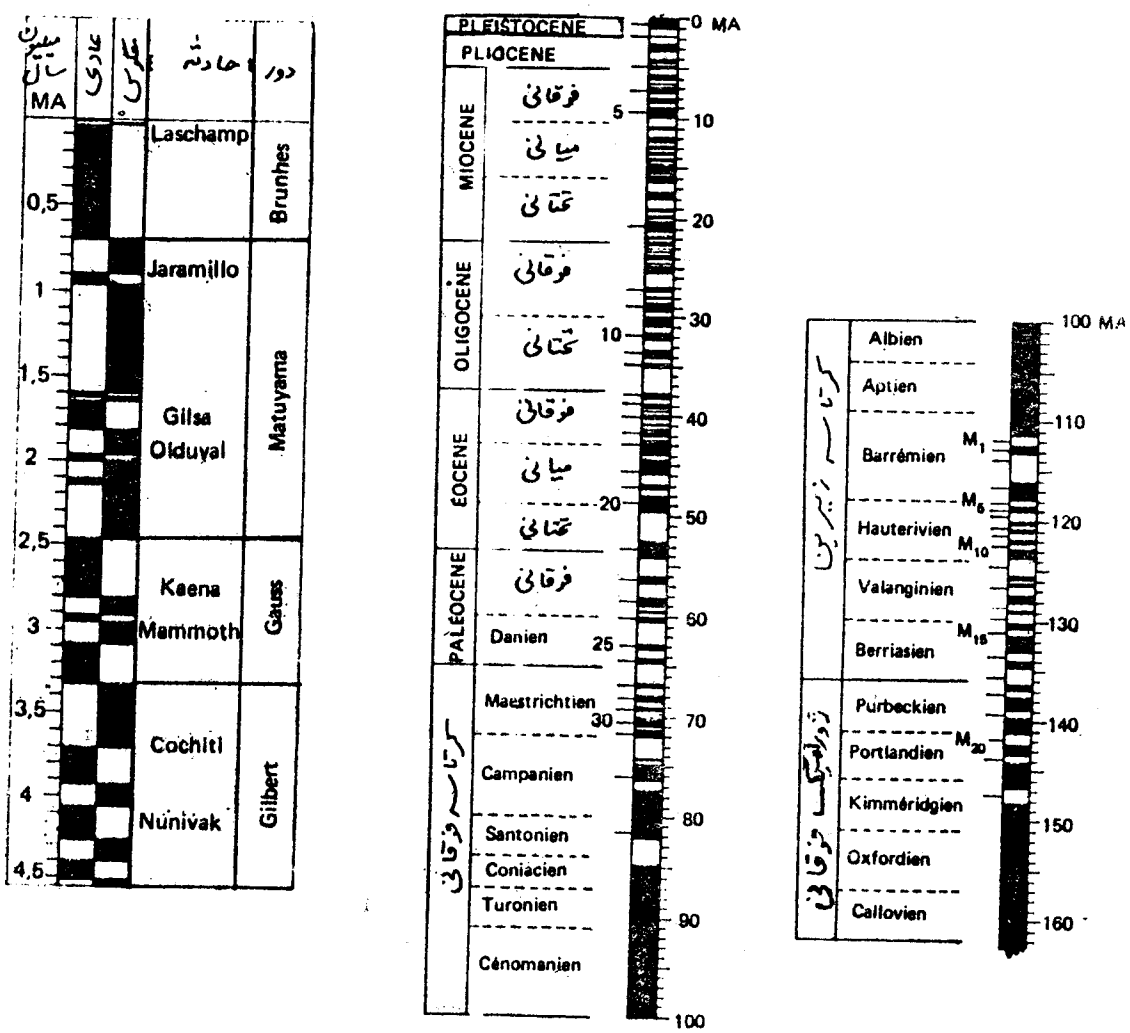
شکل ٤

۱. بولارد و همکارانش از دانشگاه کمبریج رابطه بین قاره‌ها را طوری تغییر دادند که بهترین انطباق را با استفاده از کامپیوتر در ۱۹۶۵ نشان دهد. لازم به تذکر است در نقاط اتصال قاره‌ها از ناحیه شیب قاره‌ها است. همانطور که در شکل بالا دیده می‌شود فاصله دارد و روی هم رفته خیلی کم است و نقاط تاشور زده بیانگر ایالات آبزمین شناسی مشابه قاره‌ها و امریکای جنوبی است.

شکل ۵

بودن منحنی‌های جابجائی قطبی را بیان کرد مگر اینکه قبول کنیم یک قاره اولیه به‌دوقاره اروپا وامریکا تقسیم شده باشدو این درست همان چیزی‌بود که سالها پیش‌وگنر بیان کرده بود. فرضیه فراموش شده اشتقاق قاره‌ها دوباره در خاطره‌ها زنده شد وما وارد دوران جدیدی از تاریخ علوم زمین شناسی شدیم وموضوع جالب توجه اینکه نظریه اشتقاق قاره‌ها ایندفعه بطور اتفاقی وغیر منتظره، مخصوصاًبرروی دلائل کاملا فیزیکی تکیه داشت وبادلایل تخیلی وقدیمی وگنر هیچ ارتباطی نداشت. ژئوفیزیک‌دانها شروع به کاوش هائی در باره مغناطیس گذشته‌قاره‌های مختلف مانند هند، استرالیا، افریقا امریکای جنوبی، روسیه، ژاپن، قطب جنوب وغیره کردند ودر بیشتر موارد به‌نتایجی رسیدند که بافرضیه وگنر تطبیق میکرد وعلوم مربوط به‌زمین شاهد فعالیت‌های‌گسترده‌ای در اطراف نظریه اشتقاق قاره‌ها بود وپس‌از انتشار بهترین مقاله توسطسربولارد Sir ,E.Bullard وهمکارانش راجع به رابطه بین قاره‌های‌اطراف‌اقیانوس اطلس که‌بوسیله ماشین های محاسبه‌آنروزتعیین‌شده ـ بود وهمچنین بعداز اینکه P.Hurley وهمکاران امریکای‌جنوبی وافریقائیش‌نشان دادند که سن مطلق سنگهای‌قدیمی اطراف اقیانوس‌اطلس کاملا باهم تطبیق میکند شکل ه. فقط تعداد معدودی‌از علما بودند که بانظریه اشتقاق قاره‌هامخالفت میکردند.

یک کشف‌بسیارمهم‌دیگر در باره مغناطیس گذشته یا پالئومانیتیسم عبارت‌از تغییر جهت‌هائیست که میدان



«مقیاس"مغناطیس گذشته»

شکل ٦

مغناطیسی زمین در طول زمانهای زمین‌شناسی پیدا کرده‌است. در اینمورد نیز پیشقدمان فرانسوی‌وژاپنی ازقبیل N. Matuyama و Bruhnes باتکیه برواقعیت‌های مربوط به‌مغناطیس گذشته، این فرضیه را بیان کردند که میدان مغناطیسی زمین درطول زمانهای زمین شناسی تغییر جهت زیادی پیدا کرده است. در اوائل دهه ۱۹۵۰ تضادی بین طرفداران فرضیه تغییر جهت میدان مغناطیسی ومخالفان آنها وجود داشت زیرا بعضی از سنگ‌ها نوعی آهن ربائی باقیمانده در جهتی مخالف باجهت میدان مغناطیسی امروزی از خودنشان میدادند واین پدیده را علمای ژئوفیزیک برگشت خودبخودی مغناطیس باقیمانده نامیدند. L. Neel بطور نظری امکان‌چنین پدیده‌ای‌را پیش‌بینی کرده بود وS. Uyeda وهمکارانش بطور آزمایشگاهی آنرا نشان دادند. بااینهمه پس‌از تحقیقات متعدد، شواهد تغییر جهت میدان مغناطیسی زمین بیش‌از پیش‌آشکار وقاطع شدو علمای پالئومانیتیسم دوره‌های پشت سرهمی راکه در طول آنها میدان مغناطیسی زمین هم جهت با امروز بود بنام میدان مغناطیسی عادی ودوره‌هائی راکه امتداد میدان مغناطیسی باامروز یکی ولی جهتشان مخالف‌میدان‌مغناطیسی امروزه زمین بود بنام میدان مغناطیسی معکوس نامیدند. کاکس A. Cox ودیگران از سازمان‌زمین‌شناسی کشور امریکا تحقیقات بسیار وسیعی دراین زمینه کردند وهمزمانی تغییر جهت‌های میدان مغناطیسی را در مقیاس کره زمین در حالات متعددی نشان دادند. از روی نتایج بدست آمده از تحقیقات دانشمندان مزبور، قطب میدان مغناطیسی زمین در زمانی معادل چندین صد هزار سال تغییر میکرده‌است واز روی همین خاصیت در طول میلیونها سال، یک نوع مقیاس زمانی ایجاد کردند وهردوره آنرا بنام یکی ازپیشقدمان مغناطیس زمین نامگذاری کردند (شکل ۶). کمی بعد معلوم شد که تغییر جهت‌های میدان‌مغناطیسی بامدت کمتر واز درجه چندین ده‌هزارسال نیز وجود داشته است شکل ۶. به‌این واحدهای کوچکتر «حادثه» نام دادند و برای نامگذاری آنها از اسامی محل هائیکه آنهارا برای اولین بار کشف کردند استفاده نمودند.

هرچند که رفتارهای غیرعادی میدان مغناطیسی زمین رابطه مستقیمی بانظریه اشتقاق قاره‌ها ندارد ولی رل‌مهمی درگسترش جدید این نظریه بازی میکند. این جمله را باید اضافه کرد که در زمان حاضر نظریه رضایت بخشی برای‌بیان ـ پدیده تغییر جهت میدان مغناطیسی زمین وجود ندارد وحتی‌نظریه کامل وجامعی در مورد منشاء میدان مغناطیسی زمین نداریم واین یکی از مشکلاتی است که باید در سالهای آینده توسط علمای ژئوفیزیک حل شود. باوجود اینکه توضیح و تفسیری برای تغییر جهت میدان مغناطیسی نمی‌شناسیم ولی در عوض پدیده فوق بخوبی تعریف وبیان شده است وخواهیم دید که در مورد اشتقاق قاره‌ها رل مهمی را نیز بازی کرده است.

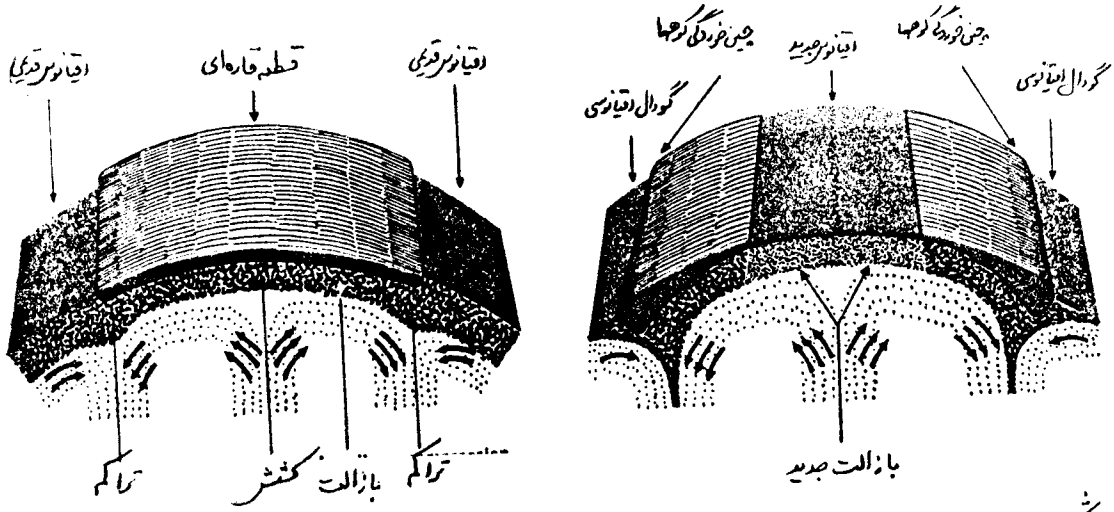
یک علت ممکن اشتقاق قاره‌ها ، انبساط کف اقیانوس‌ها است

هرچند که نتایج مغناطیس گذشته مبنای محکمی به فرضیه اشتقاق قاره‌ها داده است ولی هنوز نمیتواند علت‌های فیزیکی آنراحل کند یعنی نمیتواندمکانیسم اشتقاق‌را توضیح دهد. بین‌فرضیه‌های متعدد فقط‌فرضیه‌جریان همرفتی Convection Current گوشته زمین هنوز بدور افکنده نشده است. درسال ۱۹۲۸ هلمز A. Holmes از دانشگاه ادینبورگ این‌فرضیه‌را پیشنهاد کرد که جریان همرفتی گوشته میتواند یک علت اشتقاق باشد. هنوز خیلی زود بود که دانشمندان به‌این موضوع علاقمند شوند زیرا خواص گوشته زمین هنوز خیلی کمتر ازآن شناخته شده بود که دانشمندان‌فرضیه بالا را تأیید یارد کنند. شکل (۷) نظریه هلمزرا نشان میدهد که طبق آن قاره‌ها بخودی خود ازهم مشتق نمیشوند بلکه این اشتقاق بوسیله‌جریانی زیر زمینی بوجود میآید. برای بیان پیدایش اقیانوس اطلس میتوان فرض کرد که یک جریان بالا رو در وسط Pangea بوجود آمد وقاره‌های اروپاوامریکا را از دوطرف فشار داده است وباین ترتیب اقیانوس اطلس را بوجود آورده است. بالا ـ آمدگی‌های وسط اقیانوس‌هامانند بالاآمدگی وسط اقیانوس اطلس بانواحی ای تطبیق میکند که درآنجاها جریان پوسته بطرف بالا هنوز ادامه داشته وکف‌جدید اقیانوسی‌را تشکیل میدهد. معمولا محور بالاآمدگی دارای گودال وسیعی‌است که با لاآمدگی هرطرف آن دارای ستیغ تغییر شکل یافته وناهمواری است. زیر اقیانوس کبیر سیستم دیگری از جریان‌های‌گوشته بطرف قاره‌های امریکا وجود دارد. وقتی دو جریان بهم میرسد میتوان فرض کرد که هردو یا لااقل یکی ازآنها بطرف پائین

میرود واین جریان پائین رواست که منشاء تشکیل برجستگی‌های فشاری مانندگودال‌های عمیق اقیانوسی وچین‌خوردگی کوهها وزمین لرزه‌هائی میشود که در اطراف اقیانوس کبیر دیده میشود.

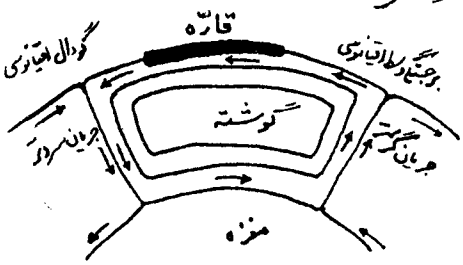
درحدودسال ۱۹۶۱ H. Hess ازدانشگاه‌پرینستون وR. Dietz ازسازمان U. S. Naval Oceanographic office فکر هلمزرا بروشنی نشان دادند. Dietz نام فرضیه انبساط کف اقیانوس‌ها را برآن گذاشت. این فرضیه نه‌تنها میتوانست اشتقاق قاره‌ها و کوهزائی‌ها راتوضیح بدهد بلکه پدیده‌های دیگری از قبیل اینکه چرا کف اقیانوس‌های زمین از سنگهای جوانتر از خود اقیانوس تشکیل شده‌است نیز توضیح میداد. اقیانوسی مانند اقیانوس کبیر میتوانسته از میلیاردها سال پیش پیش وجود داشته باشد ولی کف آن بطور دائم باسیستمی شبیه به‌پله‌های مکانیکی ویانوارهای حمل‌ونقل متحرك تجدید میشود.

تذکر این مسئله حائز اهمیت است که تمام فرضیه انبساط وگسترش کف‌دریاها برروی امکان وجود جریان همرفتی درگوشته زمین پایه‌گذاری‌شده است. امایک جریان همرفتی چیست؟ همانطوریکه همه میدانند لایه‌ای از مایع که بخش تحتانی آن گرم باشد حرکت همرفتی را ایجاد میکند، حرکت نامبرده باین موضوع وابسته است که مایع گرم درنتیجه انبساط سبکتر میشود وبراثر سبکتر شدن‌بطرف بالا میآید، درحالیکه مایع فوقانی سردتر بپائین میرود. غلیظ بودن مایع این حرکت را کند میکند. فیزیکدان‌فرانسوی بنام H. Bernard در ابتدای‌قرن‌بیستم پدیده بالارا برای اولین‌بار مطالعه کرد. این دانشمند نشان داد که حرکت همرفتی جز در بعضی شرایط ممکن نیست. کمی بعد در سال ۱۹۱۶ لرد رایله -



شکل ۷

طبق نظر هلمز (۱۹۴۵) جریان همرفتی درگوشته زمین میتواند یک علت برای توضیح وتفسیر اشتقاق قاره‌ها باشد. طبق این نظر جریانهائیکه بطرف بالا میروند و در سطح از هم جدا میشوند باعث تقسیم پوسته زمین شده و در حین حرکت، پوسته جدا شده را با خود میکشند. مدل جریان همرفتی شباهت زیادی با مدل انبساط کف اقیانوس‌ها دارد که در چند سال اخیر از آن پیشنهاد شده است.



Rayleigh نتایج برنار، را بطور نظری تفسیر کرد. طبق نظریه رایله برای اینکه جریان همرفتی بوجود بیاید میبایستی که عدد بدون بعد اختصاصی مایع که بنام عدد رایله معروف است ازحد بحرانی بگذرد. آیاگوشتهٔ زمین این شرط را میتواند بوجود بیاورد؟ همانطوریکه میدانیم گوشته زمین مانند یک جامد عمل میکند زیرا امواج زلزله‌ای حاصل از گسیختگی‌ها را منتقل میکند. بنابراین برای خیلی‌ها غیر قابل فهم است که گوشته بتواند جریان پیدا کند. ولی آزمایش‌های متعددی نشان میدهد که جسم جامد نیز میتواند جاری شود مانند جریان یافتن یخ یخچال‌ها. هلمز فرضیه خودرا چنین بیان میکرد:

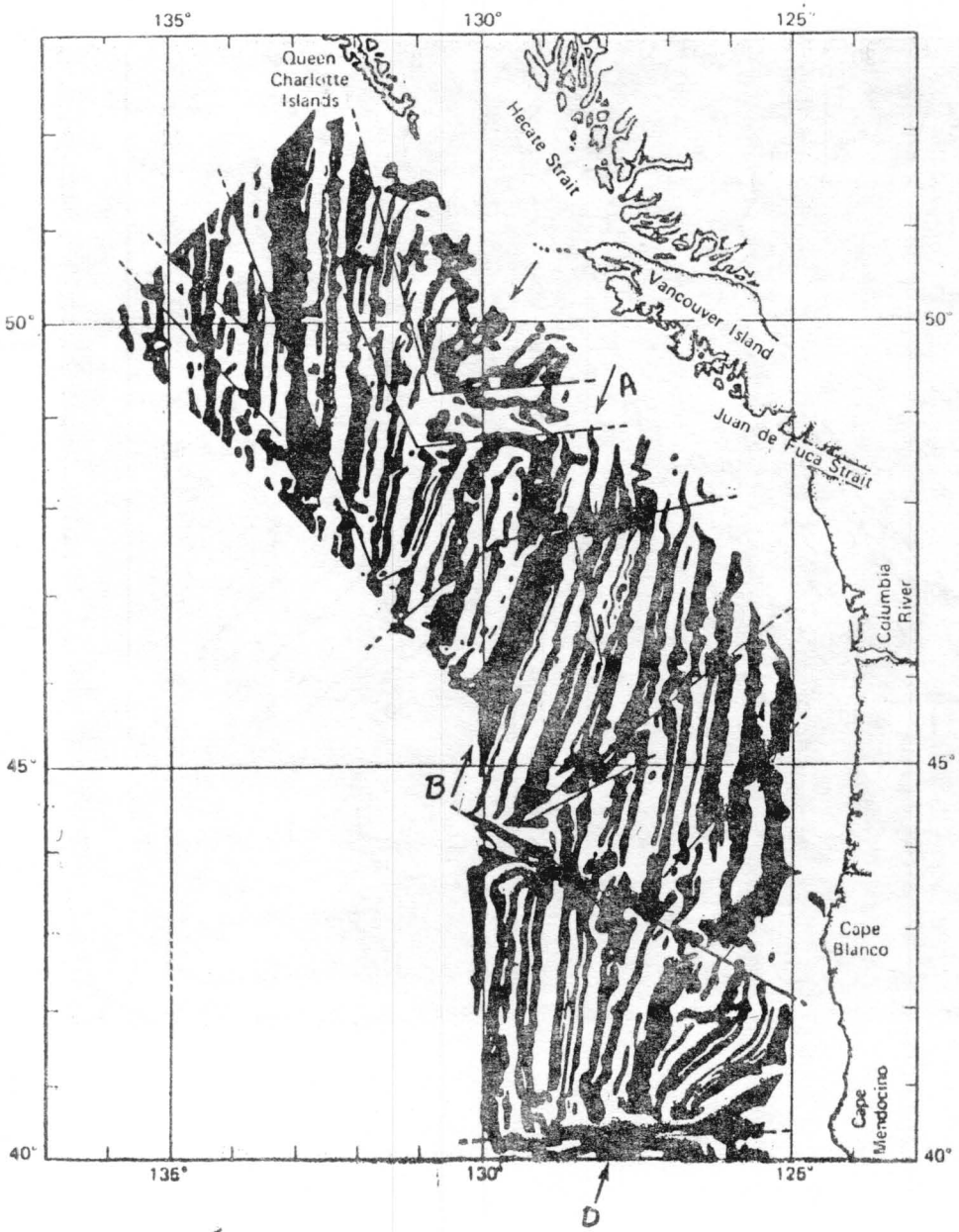
گوشته زمین مایعی در مقیاس زمان‌های زمین‌شناسی است. در حقیقت اگر عدد رایله را برای گذشته زمین محاسبه کنیم مقداری بزرگتر از ارزش بحرانی آن مییابیم. امروزه مطالعه دینامیک گوشته زمین یکی از حیطه‌های مهم تحقیق در قلمرو ژئوفیزیک است.

کاوش‌های ژئوفیزیکی در اقیانوس‌ها فرضیه اشتقاق قاره‌ها را تأیید میکند

درفاصله سالهای دهه ۱۹۶۰ علمای ژئوفیزیک فرضیه اشتقاق قاره هارا مورد بررسی وتحقیق قرار دادند. درطول این مدت ژئوفیزیک دانهای تمام جهان یک برنامه تحقیق جهانی را باهمکاری یکدیگر شروع کردند ونام آنرا «پروژه گوشته فوقانی» گذاشتند. گردش‌های علمی متعدد بین‌المللی بسوی نواحی ناشناخته دریاها وخشکی‌ها ترتیب داده شد و برای اطلاع از نتایج این بررسی‌ها وتبادل نظرها انجمن‌های بین‌المللی متعددی نیز تشکیل شد که علاوه برتحقیق درفرضیه اشتقاق قاره‌ها، شاهد ظهور فرضیه‌های جدید و اکتشافات تازه در طول این دوره بود.

یکی از نتایج مهم این بررسی‌ها، کشف انتشارنواری شکل بی‌نظمی‌های مغناطیس زمین دراقیانوس‌ها وپیدایش فرضیه واین-ماتیوز Vine - Mathiews برای بیان علت ومنشاء آن بود. وقتی عده‌ای ازمحققین مخصوصاً V. Vacquier از انستیتوی اقیانوس‌شناسی اسکریپس Scripps وابسته به‌دانشگاه کالیفرنیا وهمکارانش شروع به‌اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین در بالای اقیانوس‌ها کردند، متعجب شدندازاینکه بی‌نظمی‌های مغناطیس زمین را بصورت نوارهای‌طویلی شبیه نوارهای پوست گورخر، در قسمت‌بزرگی‌از اقیانوس کبیر یافتند شکل ۷. نوارهائی‌باهزاران کیلومتر طول ودهها کیلومتر عرض باعلائم متناوب ،همانطوریکه در شکل ۸ بخوبی مشخص است. پس کف اقیانوس‌ها میبایستی دارای ساختمان - مغناطیسی مخصوصی برای ایجاد چنین نتایجی باشد، اما هیچگونه توضیح وتفسیری برای آن پیدا نمیکردند تااینکه دو اقیانوس شناس جوان انگلیسی بنام‌های F.J. Vine و D. Mathiews به‌سال ۱۹۶۳ فرضیه جالب وروشنی در مورد منشاء این ساختمانهای نواری شکل عرضه کردند که در شکل های ۹ و ۱۰ مشخص شده‌است. آنهاچنین تصور کردند که نوارهای مغناطیسی کف اقیانوس‌ها باتغییر جهت‌های متناوبشان در زمان تشکیل پیوسته ودائمی سنگ‌ها ویادرطول دوره‌های‌متوالی مستقیم ومعکوس میدان مغناطیسی حاصل شده‌اند. باین معنی که سنگهای آذرین بطور پیوسته ودائمی در مرکز برجستگی وسط اقیانوسی نفوذمیکنند وپس‌از سردشدن در امتداد میدان مغناطیسی غالب زمین خاصیت آهن ربائی پیدامی کنند. پس ازآن سنگهای مذاب جدید درطول محور برجستگی وسط اقیانوسی جای‌سنگهای‌قدیم راگرفته وآنهارا باطراف میرانند وسنگهای جدید نیز بنوبه خود دارای خاصیت آهن ربائی میشوند. باین ترتیب در سنگهای دوطرف برجستگی وسط اقیانوسی اثـر تغییرات میدان مغناطیسی زمین حفظ میشود شکل ۹. فرضیه واین- ماتیوز نتیجه منطقی انبساط کف دریاها ومعکوس‌شدن میدان‌های مغناطیسی زمین‌است. بعلاوه واین نشان دادکه توزیع کنونی این ناهنجاری‌ها وبی‌نظمی‌ها از نظرکمی میتواند به‌شناخت زمان مغناطیسی زمین برای‌برجستگی‌های‌متعدد وسط اقیانوسی مربوط باشد شکل ۱۰. از روی تطبیق کمی‌ایـن بی‌نظمی‌ها سرعت انبساط کف دریاهارا میتوان ارزیابی کرد (چند سانتیمتر درسال) .

تقریباًدرهمین زمان‌اپدیک N. Opdyke و محققین‌دیگر از رصد خانه زمین‌شناسی‌لامون دوهرتی - Lamont Dohertyموفق به‌اندازه‌گیری جهت مغناطیس گذشته رسوبات کف‌اقیانوس‌ها شدند. سرعت‌رسوبگذاری معمولا برکف اقیانوس‌ها فوق‌العاده کند بوده بطوریکه مغزه‌های رسوبی بطول ده متر میتواند تاریخ مغناطیس زمین را در طول چندین میلیون سال در برداشته باشد . فقط مشکلات زمین شناسی تازمان فوق مانع کاربرد آن برای مطالعات مغناطیس گذشته زمین بود. نتایج بدست‌آمده ازمغناطیس گذشته اعماق زیاد دریاها دارای انطباق کامل باسن تغییر جهت جریانهای مغناطیسی یا برگشت‌های میدان مغناطیسی بدست‌آمده بود که بوسیله کاکس Cox وهمکارانش از مغناطیس گذشته سنگهای قاره‌ای تعیین

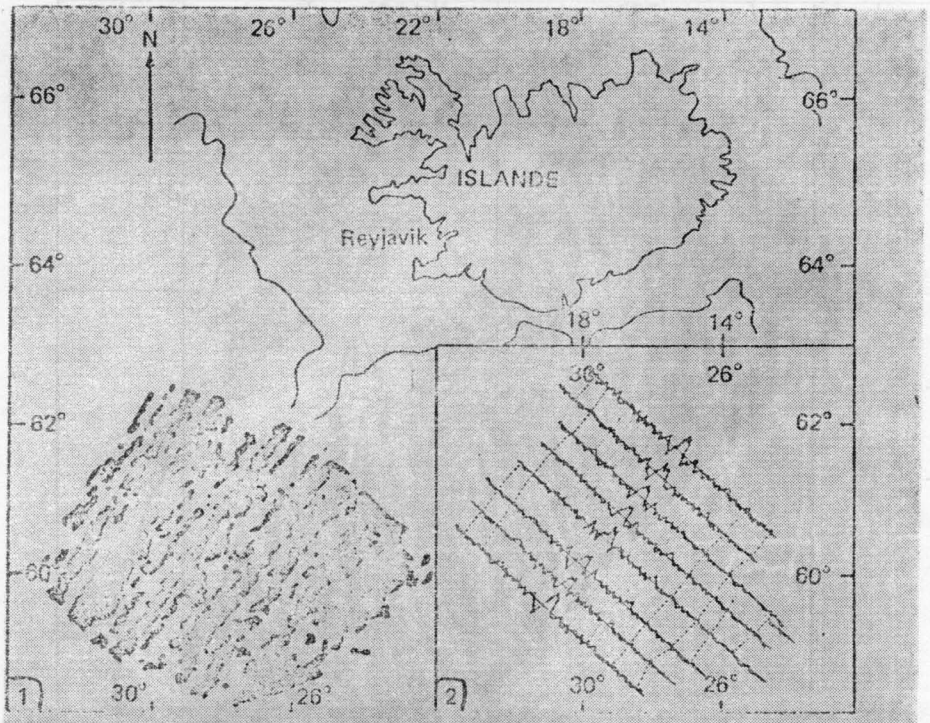


شکل ۸

دیاگرام ناهنجاریهای میدان مغناطیسی زمین در جنوب غرب جزیره ونکوور Vancouver در اقیانوس کبیر شرقی. در این دیاگرام علائم ناهنجاری مثبت و منفی به ترتیب بصورت خطوط سیاه و سفید شبیه نوار پوست گورخر دیده میشود. چنین ساختمانی در نواحی مختلف اقیانوس مخصوصاً در نواحی نزدیک به برجستگی وسط اقیانوسی دیده میشود. خطوط AB و CD عمود بر امتداد دیاگرام میباشند و بر محور برجستگی اوسط اقیانوسی در مرکز انبساط کف اقیانوس منطبق اند.

AB - برجستگی Juan de Fuca

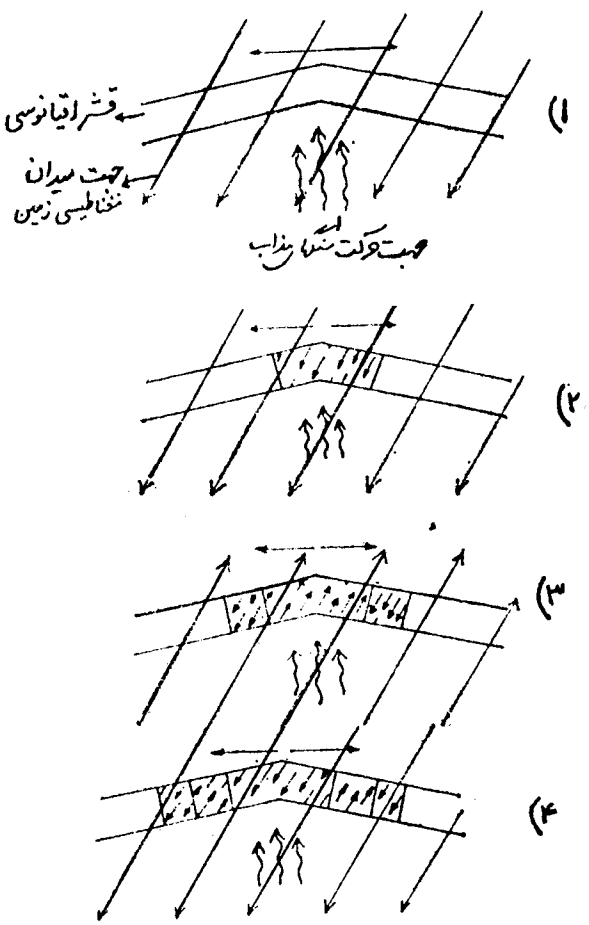
CD - برجستگی Gorda



۱- نقشه ناهنجاریهای مغناطیسی یک بخش از برجستگی وسط اقیانوسی در جنوب غربی ایسلند
نوارهای سیاه مربوط به نواحی دارای ناهنجاری مغناطیسی مثبت است.
۲- یک سری از پروفیلهای مغناطیسی مرا در روی آنومالی نقشه ناهنجاریها تهیه شده است.

برجستگی وسط اقیانوسی

شکل ۹



۱) سنگهای مذاب داخل زمین از راه درکز برجستگی وسط اقیانوسی بطرف سطح خارجی زمین بالا میآیند

۲- این سنگها سرد شده و در استداد میدان مغناطیسی غالب زمین دارای خاصیت آهن ربائی میشوند.

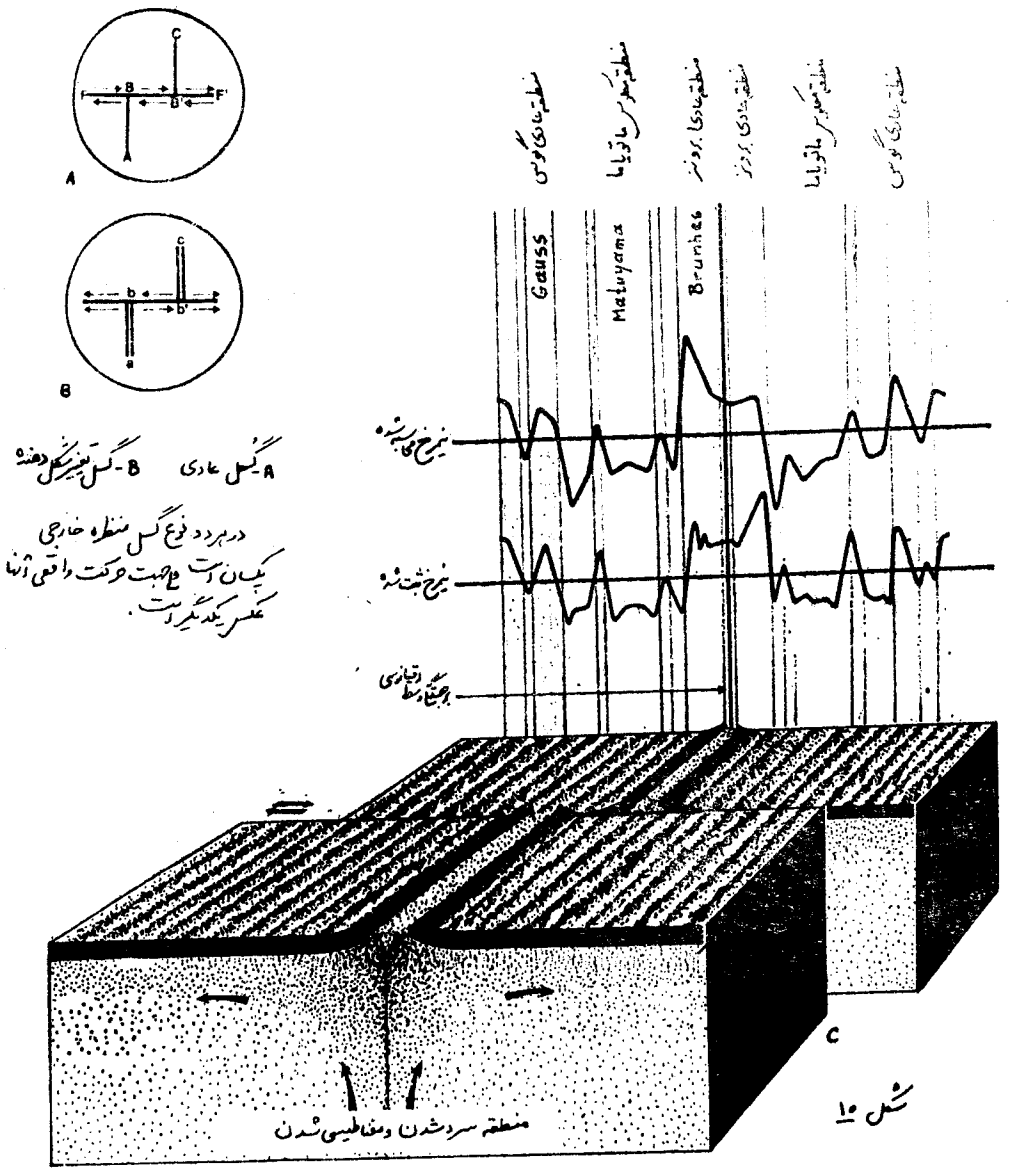
۳- سنگهای مذاب جدید بطرف بالا حرکت میکنند و بسطح میرسند و سنگهای قبلی سرد شده را به دو طرف برجستگی وسط اقیانوسی میرانند. این سنگها نیز سرد شده در میدان مغناطیسی زمین که در این زمان جهتش معکوس شده است، خاصیت آهن ربائی پیدا میکنند.

۴- سنگهای تازه ایکه بعداً به سطح میرسند، بنوبه خود خاصیت آهن ربائی پیدا نموده، سنگهای جابجا شده تغییر جهت میدان خود را حفظ میکنند و این تغییر جهت ها بر سیه کشتی دارای دستگاه ثبات بر سطح ژرف اقیانوس قابل ثبت است.

۵- مختص نیروی میدان مغناطیسی و تغییرات آن در بالای برجستگی وسط اقیانوسی (نیرخ)

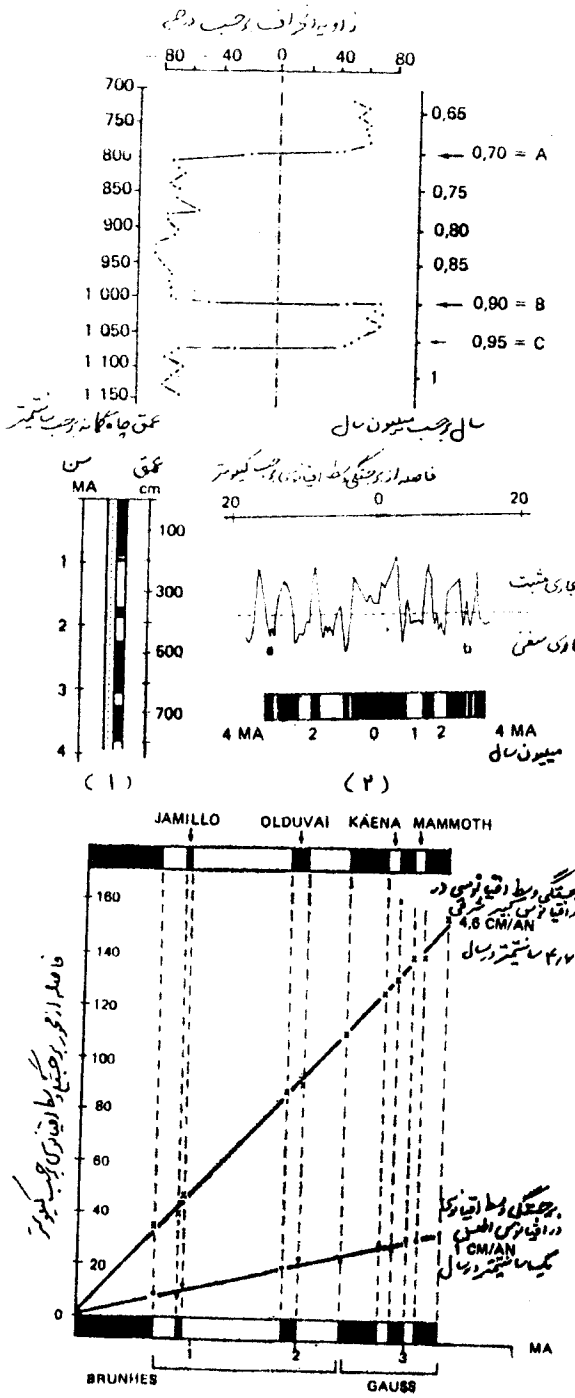
۶- نوار مغناطیسی

شکل ۹ - منشاء مدل مغناطیسی کف اقیانوس

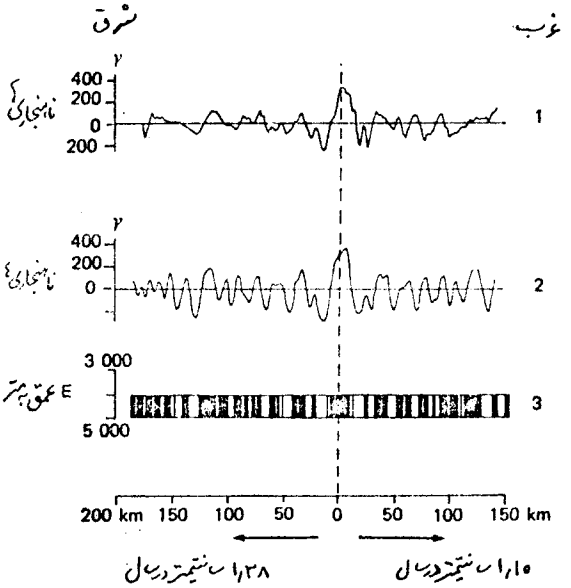


شکل ۱۰

فرضیه «واین - ماتیوز» نوار؟ حاصل از ناهنجاری؟ مغناطیسی زمین را برمبنای انبساط کف دریا؟ و متقارن شدن میدان؟ مغناطیسی تغییر میکند. بخش بالا شکل زمان؟ عادی و متقارن میدان مغناطیسی و بخش پائین آن ناهنجاری؟ مغناطیسی را در اطراف یک برجستگی وسط اقیانوسی نشان میدهد. در همین شکل ناهنجاریهای مغناطیسی بر اثر یک گسل تغییر شکل دهنده جابجا شده است. واین برای اولین بار نشان داد که دو منحنی بالا شکل با هم تطابق دارند.


زاویه انحراف برحسب درجه
80 40 0 40 80
700
750
800
850
900
950
1 000
1 050
1 100
1 150
0,65
0,70 = A
0,75
0,80
0,85
0,90 = B
0,95 = C
1
عمق چاه برحسب متر
سال برحسب میلیون سال
سن MA
عمق cm
100
300
600
700
1
2
3
4
فاصله از برجستگی وسط اقیانوس برحسب کیلومتر
20 0 20
ناهنجاری مثبت
ناهنجاری منفی
a
b
4 MA 2 0 1 2 4 MA
میلیون سال
(۱)
(۲)
JAMILLO
OLDUVAI
KAENA
MAMMOTH
فاصله از محور برجستگی وسط اقیانوسی برحسب کیلومتر
0 20 40 60 80 100 120 140 160
برجستگی وسط اقیانوسی در اقیانوس آرام شرقی
4,6 CM/AN
۴٫۶ سانتیمتر در سال
برجستگی وسط اقیانوسی در اقیانوس اطلس
1 CM/AN
یک سانتیمتر در سال
1 2 3 MA
BRUNHES
GAUSS

شکل ۱۱



مثالی از چگونگی تغییر یک نیمرخ ناهنجاری مغناطیسی

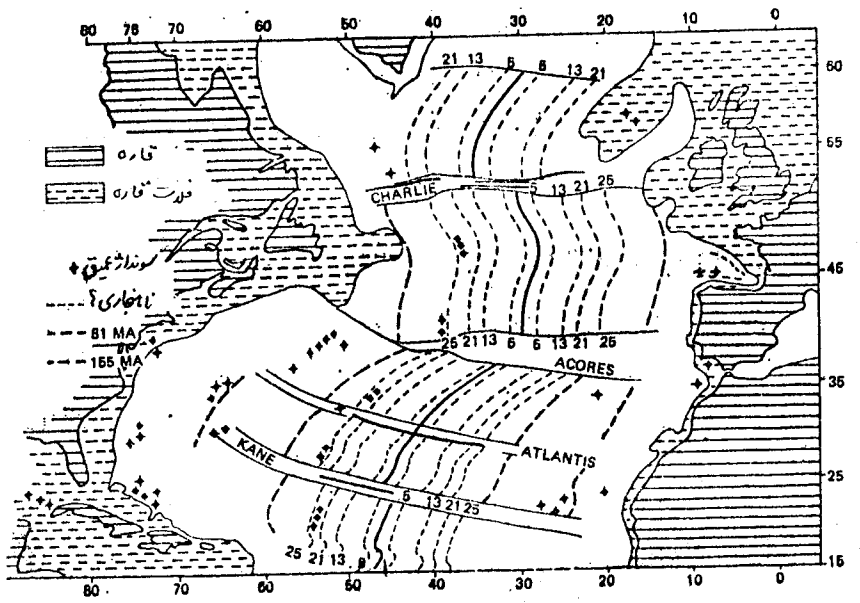
۱) منحنی ناهنجاری Z ثبت شده

۲) مدل نظری تهیه شده از منحنی شماره ۱

۳) تطبیق مدل فوق با مقیاس مغناطیسی.

در این تطبیق دره میان دو مقدار متوسط انسب طرف اقیانوس در طرف غرب و شرق با هم فرق میکنند.

شکل ۱۲



مناطق مغناطیسی مهم در اقیانوس اطلس شمالی. ناهنجاری Z با عدد مشخص شده اند.

مناطق در دو آنا ناهنجاری Z و توپوگرافی منظم است از مناطق پر نظم و مشخص بر سیلهٔ حوادث بزرگ توپوگرافی عرضی جدا شده است. اعداد ۵، ۱۳، ۲۱ و ۲۵ داخل نقطه شماره ناهنجاری Z است در سن مربوط به آنها به ترتیب ۹، ۳۸، ۵۳ و ۶۳ میلیون سال محاسبه شده است.

شده بود. وقتیکه نتایج بالا را نزدیک‌هم میگذاریم براحتی این مطلب را می‌پذیریم که انبساط کف اقیانوس‌ها ومعکوس شدنهای مغناطیسی زمین دیگر یک بررسی نظری‌نبوده بلکه نظریه‌هائی نزدیک به‌حقیقت‌اند.

از توضیحات بالا چنین برمیاید که هرنوار مغناطیسی‌برابربامدت زمانی‌است که جهت میدان مغناطیسی‌آن‌مشخص ومعلوم است واین بمعنی آنست که‌سن کف دریاهارا باشمارش نوارهای مغناطیسی از ابتدای محور برجستگی وسط‌اقیانوسی میتوان محاسبه کرد، همانطوریکه سن یک درخت را باشمارش لایه‌های چوب ثانویه آن محاسبه می‌کنند وبهمین دلیل نوارهای مغناطیسی را ایزوکرون‌های Isochrones کف دریا نامیده‌اند شکل ۱۲.

علمای‌فیزیک‌زمین رصدخانه‌لامونت‌دوهرتی Lamont – Doherty زیرنظر ج. هرتزلر Heirtzeler اطلاعات فراوانی از مغناطیس دریائی را مورد بررسی قرار دادند وتوانستند نقشه ایزوکرون‌های بخش بزرگی از اقیانوس‌ها راتهیه کنند. محققین مزبور،سنی راکه به‌این ترتیب وبااین روش برای کف دریاها بدست آوردند، کمی بعد باحفاری مستقیم نواحی برجسته وکم‌عمق کف‌دریاها، تأیید وتصدیق کردند.

ازطرف‌دیگر پژوهشگران مختلفی درسالهای اخیر برروی برجستگی‌های وسط اقیانوسی، بررسی‌های زمین‌شناسی‌و ژئوفیزیکی‌متعددی‌انجام‌داده‌اندیوانگ M. Ewing وهیزن B. Heezen ازرصدخانه‌لامونت‌-دوهرتی‌ومنارد H. Menard ازانستیتوی اقیانوس‌شناسی‌اسکریپس Scsripps از سال ۱۹۵۰ به‌این طرف نشان‌دادند که برجستگی‌های وسط اقیانوسی عملا تمام‌کره زمین را در برگرفته‌اند. توپوگرافی، فعالیت‌های زمین لرزه‌ای، انتشار رسوبات وتوزیع شدت جریان حرارتی‌یا فلوی حرارتی (Flux) این برجستگی‌ها به‌دقت از طرف محققین مختلف مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج بررسی فوق تایید کرد که برجستگی‌های وسط اقیانوسی از قدیم فعال بوده وقشر جدیدی را در اقیانوس‌ها ایجاد میکرده‌اند.

گسل‌های ترانسفورم یا تغییر شکل دهنده Transform faults

درحدود سال ۱۹۶۵ نظریه‌انبساط کف‌اقیانوس‌ها باپیدایش مفهوم‌جدیدی بنام‌گسل‌های‌تغییرشکل دهنده‌بوسیله ویلسون J. T. Wilson از دانشگاه‌تورونتو Toronto کانادا مورد حمایت‌وپشتیبانی‌قرارگرفت‌وبررسی‌های‌زمین‌لرزه‌نگاری توسط سایکس L. Sykes از رصدخانه لامونت‌دوهرتی آنرا تأیید کرد. همانطوریکه‌شکل۱۳ نشان میدهد برجستگی‌های وسط اقیانوسی بوسیله تعداد زیادی ازگسل‌ها قطع شده است. این قسمت را منطقه شکستگی‌ها مینامند. البته‌واکیه - V. Vacquier وهمکارانش چنین جابجائی‌هائیرا در ساختمان نوارهای مغناطیسی‌دیده بودند. ویلسون‌نشان‌داد که‌این گسل‌ها ازنوع گسل‌های امتدادی معمولی نیستند بلکه نوع جدیدی از گسل‌ها هستند که براثر انبساط کف‌اقیانوس در نواحی برجستگی کف‌اقیانوسی‌حاصل شده‌اند. برای یک گسل افقی معمولی جهت حرکت‌گسل مسلماً همان جهت جابجائی ظاهری ساختمانهای بریده شده است که درشکل ۱-A دیده میشود. وقتیکه حرکت‌گسل شروع میشود تمام پوسته‌دوطرف گسل FF′ جابجا میشود. اما درمورد منطقه شکستگی‌ها در یک برجستگی‌وسط اقیانوسی در حال انبساط شکل ۱-B جهت حرکات نسبی بین دوبخش‌گسل خورده برجستگی (bb′) عکس جهت جابجائی‌ظاهری آنست. دراین‌گسل حرکت نسبی در خارج از محدوده bb′ دیده نمیشود اگر سرعت انبساط برروی برجستگی‌های ab وb′c یکی باشد، چون‌حرکات‌اصولا بین دو برجستگی ab و b′c متمرکز میشوند. درطول‌زمان درگسلی‌از نوع‌شکل ۱-A جابجائی bb′ بطور طبیعی افزوده میشود. در حالیکه درگسل نوع‌جدید چنین چیزی‌پیش‌نمیاید زیرا دو برجستگی ab وb′c در فاصله bb′ درجهت عکس‌هم حرکت میکنند وباین ترتیب می‌توان‌گفت که جابجائی ظاهری bb′ نتیجه حرکت‌گسل‌نیست‌بلکه چیزی‌است که ازابتدا وجود داشته ومیتوان آنرا جابجائی «قدیم» نامید. ولی وقتیکه نظریه انبساط کف‌اقیانوس‌هارا می‌پذیریم می‌بینیم که‌مسائل فوق از نتایج‌منطقی وهندسی‌آنست. ویلسون این نوع‌جدید گسل‌را، گسل‌تغییرشکل دهنده Transform fault نامید. مسلماً لازم بود که دلیل یادشده درمورد گسل فوق باواقعیت‌تطبیق‌داده شود واین‌وظیفه را سایکس L. Sykes بعهده گرفت. محقق‌فوق،انتشار ومکانیسم‌صفحه کانونی(Focalisation) زمین لرزها راکه در زیر برجستگی‌های‌وسط اقیانوسی‌و منطقه شکستگی‌ها حاصل میشود، مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیقات سایکس اصول مسلم ویلسون را بطور بسیارمشخصی مورد تأیید و تصدیق قرار داد و معلوم شد که زمین لرزه‌ها فقط برروی برجستگی‌های وسط اقیانوسی و منطقه شکستگی‌ها ایجاد میشود همانطوریکه درشکل ۱۳ دیده میشود امتداد وجهت حرکات محاسبه شده از روی امواج حاصل بهنگام‌زمین‌لرزه‌ها، بانظریه گسل‌های تغییر شکل دهنده کاملا تطبیق میکند.

موقعیت جالب توجه دیگر نظریه گسل های تغییر شکل دهنده، در مورد تفسیرگسل مشهور سن آندره‌آس - San Andre as در مغرب‌امریکای شمالی میباشد. این گسل‌فعال‌در ساحل‌اقیانوس کبیرازخلیج کالیفرنیا تاشمال سان - فرانسیسکو ادامه دارد. میدانیم که‌این‌گسل فعالیت زمین لرزه ای شدیدی در تمام مدت‌داشته وامروزه‌نیز چنین فعالیت‌هائی در جهت پیکان‌های شکل ۱۳ دارد. در جنوب‌این‌گسل برجستگی میانی اقیانوس کبیر شرقی دیده میشود که فعالیت آن مسلماً باانبساط کف اقیانوس‌مشخص میشود وبنابراین از نوع کششی است. دلیلی که بخاطر آن خاصیت کششی برجستگی میانی اقیانوس کبیر شرقی به‌خاصیت برشی وگسلی تغییر شکل یافته هرگز روشن نبوده‌است ولی‌اگر قبول کنیم که گسل‌سن - آندره‌آس یک‌گسل تغییرشکل دهنده طویل بین برجستگی‌های وسط اقیانوسی است جواب بالا روشن میشود. باقبول این موضوع وجود برجستگی میانی دیگری را در شمال گسل‌سن‌آندره‌آس پیشگوئی کردند. این برجستگی که همان برجستگی میانی ژوآن دوفوکا Juan de Fuca است بفاصله کوتاهی کشف شد شکل ۱۳۹۸ . بطور دقیق بایدگفت که این برجستگی کشف‌شده ازدو برجستگی Juan de Fuca وگوردا Gorda درست شده که یک‌گسل کوتاه معکوس بین آنها قرار دارد شکل ۸.

تکتونیک کلی جدید

همانطوریکه‌گفته شد همزمان باپیشرفت‌های بزرگی که زمین‌شناسی زیر دریائی بدست میاورد، زمین‌لرزه‌شناسی نیز به‌موفقیت‌های سریع وجدیدی نایل میشد. در اینجا لازم است‌تذکرداده شود که‌زمین‌لرزه‌های کره‌زمین‌بطور یکنواخت برروی آن پخش نشده‌اندبلکه در نواحی برجستگی‌های وسط اقیانوسی،قوس‌های جزیره‌ای ورشته کوههای آلپی-هیمالایائی متمرکز شده‌اند. مطالعه امواجی که از زمین‌لرزه‌ها ثبت شده‌اند به‌متخصصین اجازه میدهد تاجهت‌ودامنه‌حرکت‌گسل‌های ایجاد شده بوسیله آنهارا پیدا ومحاسبه کنند. قبلا دیدیم که در مورد برجستگی‌های وسط اقیانوسی و منطقه شکستگی‌ها (گسل‌های تغییر شکل دهنده) نتیجه محاسبات بانظریه انبساط کف دریاها کاملا تطبیق میکند.

درهمین زمان (۱۹۶۷) مفهوم وتصور تکتونیک صفحه‌ای یاتکتونیک کلی تقریباً باهم بوسیله محققین‌جوان بسیار برجسته‌ای‌نظیرلوپیشون X. le Pichon از رصدخانه‌لامونت-دوهرتی،مورگان W.J.Morgan ازدانشگاه پرینستون ومک‌کنزی D.P.Mckenzie وپارکر R.L.Parker ازدانشگاه کمبریج‌عرضه‌شد. پیشنهاد دهندگان مفهوم‌جدیدچنین تصور میکنند که کره زمین از تعداد معدودی واحد درست شده وهرواحد مانند یک صفحه صلب وسخت عمل میکند. این صفحات از ناحیه برجستگی وسط اقیانوس بوجود میایند ونسبت بیکدیگر دارای حرکت‌اند. صفحات نامبرده پس‌از بوجود آمدن از ناحیه برجستگی‌های وسط اقیانوسی در امتدادعمود برمحور برجستگی‌ها از دوطرف رشدونمو کرده وبزرگ میشوند تا‌اینکه بافرورفتن درگوشته زمین در طول گودال‌های اقیانوسی رشد آنها خاتمه مییابد . حدود صفحات مناطق‌سه گانه زیر است:

۱- منطقه ایجاد پوسته یا منطقه برجستگی‌های وسط اقیانوسی که صفحات درآنجا تشکیل میشوند .

۲- منطقه هضم وجذب پوسته که ممکنست یک گودال اقیانوسی باشد که قشر اقیانوسی دراین منطقه درگوشته فرو میرود. .(=سابداکشن subduction) ویایک نوارکوهستانی باشد که درآنجا بخشی‌از قشر اقیانوسی درگوشته‌فرو رفته و بخش دیگر برروی قاره جمع و انباشته گردد (= ابداکشن Obduction)

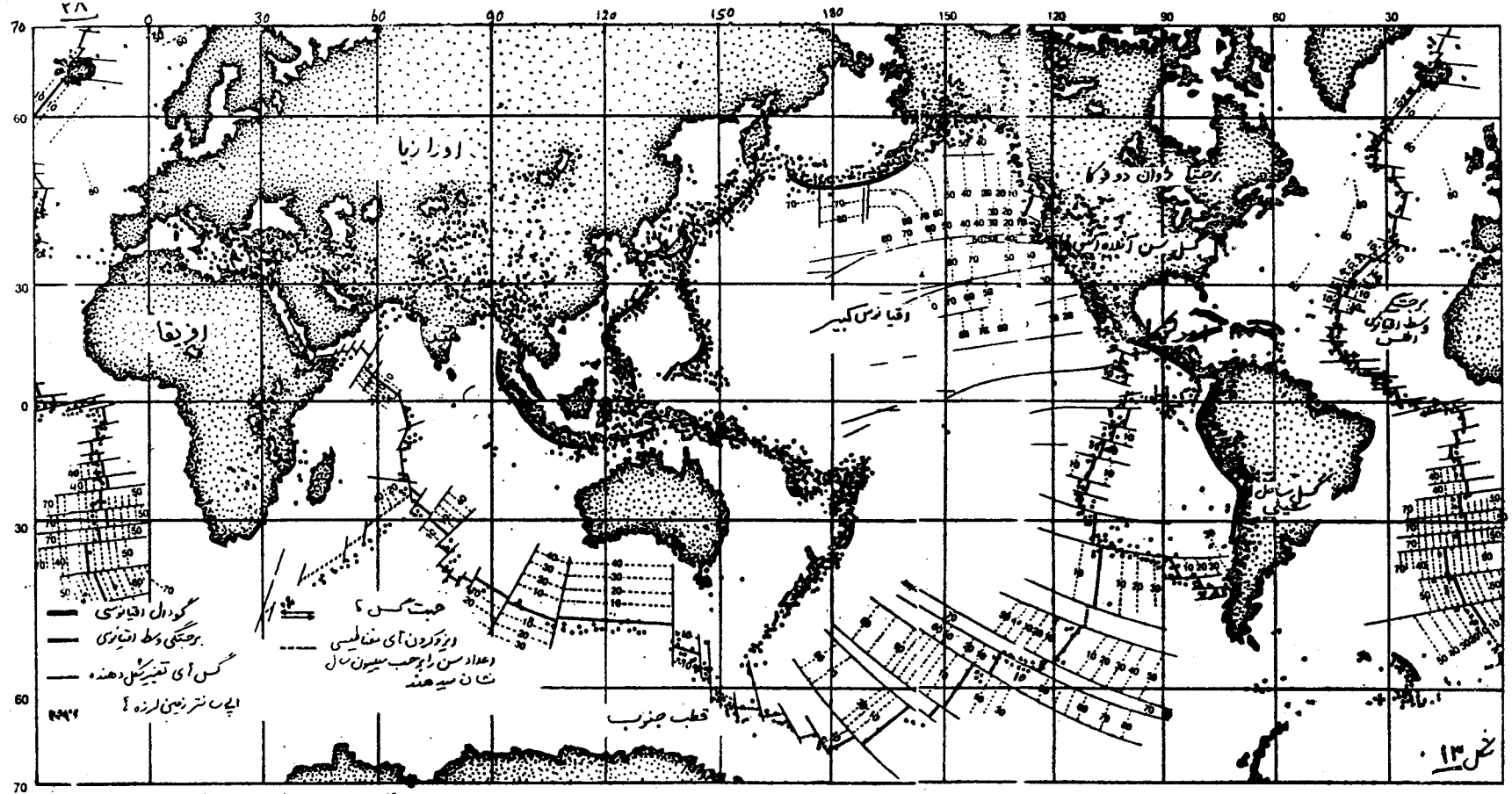
۳- منطقه‌گسل‌های تغییر شکل دهنده که دوصفحه‌موازی باکنارهاشان نسبت بهم جابجا میشوند.

اگر چنین در نظربگیریم که لرزش‌های زمین مربوط به‌عمل مکانیکی متقابل صفحات است، تقسیم‌بندی حدود صفحات، یک نوع تقسیم بندی زمین لرزه‌ای مربوط به‌آنها را در سه نوع اصلی بصورت زیر در ذهن ما بوجود میاورد:

۱- زلزله‌های کششی در ناحیه برجستگی‌های وسط اقیانوسی.

۲- زمین لرزه‌های فشاری وتراکمی برروی سیستم قوس‌های جزیره‌ای .

۳- زمین لرزه‌های برشی افقی برروی گسل‌های تغییر شکل دهنده .



شکل ۱۳ .

خطوط بین اطراف برجستگی وسط اقیانوسی ایزوکرون ها رکف دریا هستند در امتداد دو طرف این برجستگی ها نوارهای مغناطیسی متقارن مشاهده شده است . دیلیون فان دام این گسل ها نوع جدیدی از گسل ها و آنها را گسل تغییر شکل دهنده نامید . شکل جهت جابجائی قطعات زمین از زلزله ها را نشان نمیدهد . محل هر زلزله با یک دایره سیاه و جهت حرکت آنها بصورت کمربندی است . برجستگی وسط اقیانوسی و گسل تغییر شکل دهنده تقریبا زلزله ها کم عمق (کمتر از ۷۰ کیلومتر) هستند زلزله های عمیق در حدود ۷۰۰ کیلومتر در اعماق مختلف یافت میشوند . نقشه صفحه اصلی لوبیشون در شکل نگاهداری شده است .

شکل ۱۳ تقسیم کره زمین را به‌صفحات اصلی پیشنهاد شده از طرف لوپیشون نشان میدهد (مطالعات مفصل بعدی باعث شد که در بعضی از صفحات تقسیم‌بندی کوچکتری بعمل آورند ولی صفحه اولیه واصلی تمام نکات اساسی نظریه را در بر دارد).

اما یک صفحه چیست؟ زلزله شناسی اجازه تعریف نظری آنرا به‌محققین داده است. بخاطر مطالعه ساختمان گوشته فوقانی بابکار بردن انواع مختلف امواج زلزله‌ای که امواج سطحی بادوره تناوب طویل نیز جزء آنست، زلزله‌شناسان متعددی موفق به‌شناخت وتأیید وتصدیق لایه‌ای در عمق صد کیلومتری زمین شدند که درآن لایه، سرعت امواج زلزله‌ای کندتراز لایه بالائی بوده وهمچنین درآن لایه امواج بشدت خفیف وکند میشوند. البته وجود لایه‌ای باسرعت کم امواج درگوشته فوقانی سالها پیش بوسیله زلزله شناس معروف گوتنبرگ B. Gutenberg از کل تک Cal. Tech (انستیتوی فنی کالیفرنیا) شناخته وپیشنهاد شده بود. پدیده فوق را میتوان چنین تفسیر وتوجیه کرد که حرارت دراین عمق خیلی نزدیک به‌نقطه ذوب ماده‌است‌ویا حتی دراین عمق ذوب جزئی یا بخشی صورت میگیرد. هردلیلی‌باتکیه برگرادیان ژئوترمی‌یا درجه زمین گرمائی وخواص‌نقطه ذوب ماده ملاحظات بالا را تأیید میکند. ازطرف دیگر باشروع مطالعه نظری تغییر شکل‌های درازمدت زمین، نظیر بالاآمدن‌پوسته‌آن بعداز پسروی یخچال‌های اسکاندیناوی وامریکای شمالی عده‌ای از محققین دانشگاه توکیو نشان دادند که لایه‌ای درگوشته فوقانی وجود دارد که نسبت به‌لایه‌های بالاوپائین خود دارای غلظت کمتری است. باجمع آوری نتایج بالا بااطمینان‌زیادی میتوان‌گفت که زمین یک لایه سخت خارجی به‌ضخامت ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بنام لیتوسفر Lithosphere دارد. لیتوسفر لایه پلاستیک‌یا لااقل غلیظی‌بنام‌آستنوسفر Astenosphere را احاطه کرده‌است. ضخامت لایه آستنوسفر به‌چندین صد کیلومتر میرسد. لایه زیرین آستنوسفر راکه سخت‌تراز آن در نظر میگیرند مزوسفر - Mesosphere نامیده‌اند که ضخامت آن از حدتحتانی آستنوسفر تاهسته میباشد.

درتکتونیک صفحه‌ای، صفحه صلب وسخت عبارت از قطعه‌ای از لیتوسفر تغییر شکل ناپذیر است که از مواد ومصالح قشراقیانوسی ویااز مجموع قشرهای اقیانوسی وقاره‌ای تشکیل شده باشد. اما راجع به‌طرز تشکیل این صفحه نظریه - ایکه امروزه‌پذیرفته شده بصورت زیراست:

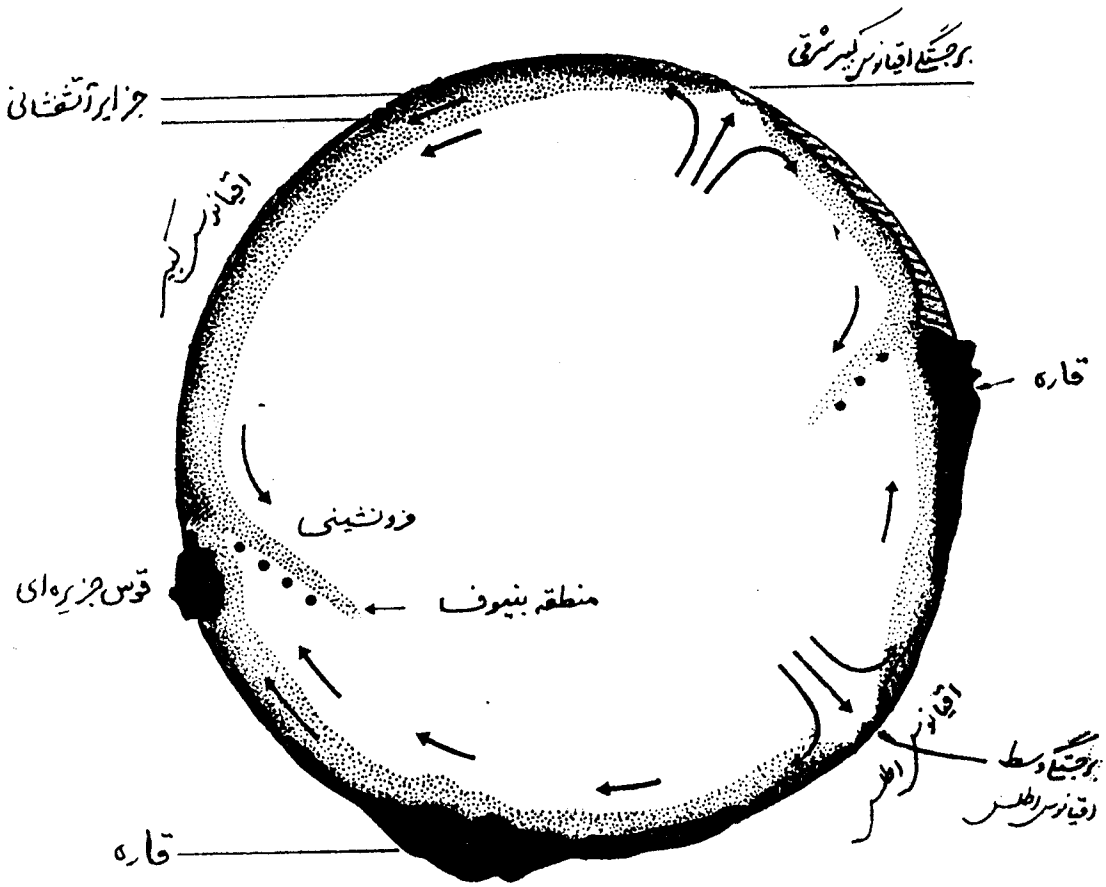
وقتیکه ماده در حال ذوب پوسته از منطقه برجستگی‌های وسط اقیانوسی خارج میشود، ضخامت صفحه عملا هیچ‌است ولی بمحض اینکه عمل سردشدن ماده خارج شده، شروع شود، پوسته نازکی تشکیل میگردد که برروی لایه اقیانوسی گسترده شده وضخامت آن بادورشدن‌از محور برجستگی، بدلیل ادامه‌سرد شدن، افزایش مییابد. صفحه وقتی دارای حداکثر ضخامت میشود که بیک منطقه «فرورو» برسد. دراین منطقه صفحه در زیر پوسته یعنی درگوشته فرومیرود، باپائین رفتن در منطقه فرو رو یا منطقه فرونشینی آستنوسفر، بدلیل بالا بودن درجه حرارت، صفحه نازك میشود شکل ۱۴.

اما درمورد حرکت صفحات طبق قضیه اولر Euler حرکات‌اولیه‌یک صفحه صلب وسخت برروی کره میتواند بصورت چرخش ساده آن صفحه درحول یک محور عملی شود. دراینحالت طبق معمول سرعت خطی نزدیک قطب‌های‌محور چرخش خیلی کوچک ودر استوای‌آن بسیاربزرگ است. رابطه ریاضی ساده‌ای بین سرعت خطی ومدارات‌درکره وجود داردو امتداد حرکت یک نقطه نامشخص همیشه موازی بامدارات‌درکره است. اما وقتیکه حرکت نسبی بین دوصفحه مورد بررسی قرار میگیرد ملاحظه میشود که امتداد حرکت موازی‌باگسل‌های تغییرشکل دهنده است وخود این‌گسل‌ها باهم موازی میباشند چونکه حرکت غالب، یک حرکت چرخشی است شکل ۱۵.

ازمطالب بالا چنین برمیاید که قطب‌های حرکت نسبی بین دوصفحه‌ی محدود شده بوسیله یک برجستگی‌وسط اقیانوسی در حال انبساط‌ومنطقه شکستگی‌ها، بدو صورت مستقل‌از یکدیگر میتواند مشخص‌شود: ۱- ازآغاز تغییر مقدار - انبساط درطول برجستگی وسط اقیانوسی که باپهنای‌نوارهای مغناطیسی بدست‌آمده متناسب است: ۲- ازابتدای جهت منطقه شکستگی‌ها. بین مؤلفین مختلف لوپیشون نشان داد که قطب‌های مشخص شده بوسیله این دو روش‌مستقل از یکدیگر، درمورد صفحات دوگانه مختلف بخوبی باهم قابل تطبیق است و چنین اندیشید که این موضوع یک دلیل تجربی از مفهوم تکتونیک کلی‌است شکل ۱۵. میتوان موقعیت‌های مشابهی در حدومرزهای فرونشینی پیدا کرد ولی واضح است که درمنطقه گودال‌های بی‌نظمی مغناطیسی‌سرعت‌فرونشینی‌را نمیتوان‌تعیین کرد بلکه‌آنرا از روی‌مطالعات‌زمین لرزه‌ای باید مشخص کرد.

مک کنزی وپارکر نشان دادند که حامل های لغزندگی نسبی همراه زمین‌لرزه‌ها، همانطوریکه شکل ۱۰ نشان میدهددر اطراف اقیانوس کبیرشمالی تماماً موازی‌اند ولی‌هنوز دامنه انتشار آنهارا دقیقاًمطالعه نکرده‌اند واین موضوعی است که در مورد سرعت حرکت، اطلاعاتی به‌محققین خواهد داد.

تکتونیک کلی باتکیه برملاحظات ژئوفیزیکی ادعامیکند که‌درطول‌دهها میلیون سال اخیری که‌گذشت،صفحات حرکت داشته‌اند وهنوز هم دارای حرکت‌اند. درمقیاس زمان‌های زمین‌شناسی، تکتونیک کلی ،زمان حال را موردبررسی

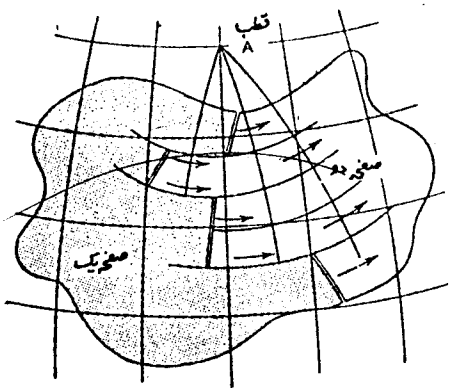


شکل ۱۴ - مقطع فرضی کره زمین -

صفحه‌ای در برجستگی وسط اقیانوسی تشکیل میشود وضخامت آن مرتباً زیادتر شده تا اینکه یک سیستم جزیره قوسی دگودالی میرسد . دراین حال صفحه پس‌رو فرونشینی (سابداکشن) براثر ذوب ازبین میرود . اقیانوس اطلس وکف آن هردو درحال انبساط اند زیرا در اقیانوس اطلس مناطق فرونشینی وجود ندارد، بنابراین برای اینکه اندازه کره زمین ثابت بماند لازم است که اقیانوس کبیر منقبض شود درصورتیکه کف آن در ناحیه شرقی درحال انبساط است.

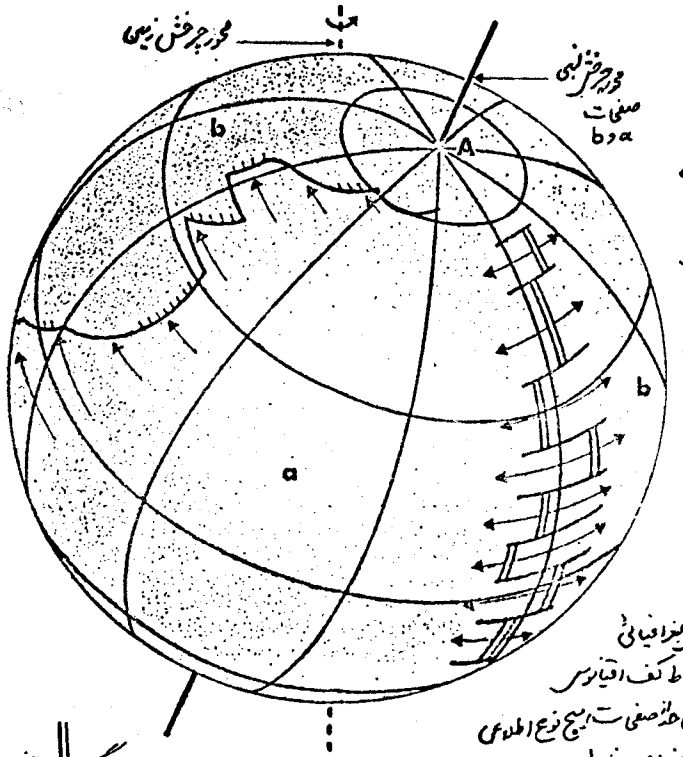
قرار میدهد وفقط دراین محدوده‌ها باارزش‌است وبرواقعیات تکیه میکند. باوجود این، اگر بپذیریم که حرکت صفحات،فقط باعث زمین‌لرزه‌ها وفعالیت‌های آتشفشانی دوران زمین شناسی «کنونی» نیست، بلکه علت پدیده‌های کوهزائی نیزهست، میتوان چنین اندیشید که حرکت صفحات ازاولین مراحل تکامل زمین وجود داشته است ازنظرمعتقدین به اصل «علل کنونی» این یک تعمیم طبیعی است. عده‌ای از زمین شناسان مخصوصاً ویلسون وجوئی از دانشگاه کمبریج وجان برد John Bird از دانشگاه‌ایالتی نیویورك، از مدافعین این نظریه‌اند. دانشمندان نامبرده نظریه‌ای را بوجود آوردند که در آن فرایند کوهزائی، مربوط به‌فرورفتن صفحات اقیانوسی است.

شکل ۱۵



«گسل تغییرشکل دهنده برسطح کروی»

بررویک کره حرکت صفحه دو نسبت به صفحه یک، براثر چرخش کره درحول یکی ازقطب آنها تمام گسل‌هائیکه درحدبین دوصفحه ایجاد شده‌اند بصورت کمان‌هائی متحدالمرکز نسبت به قطب A هستند.



حرکت صفحات سخت وتغییرشکل بایدبررویک کره

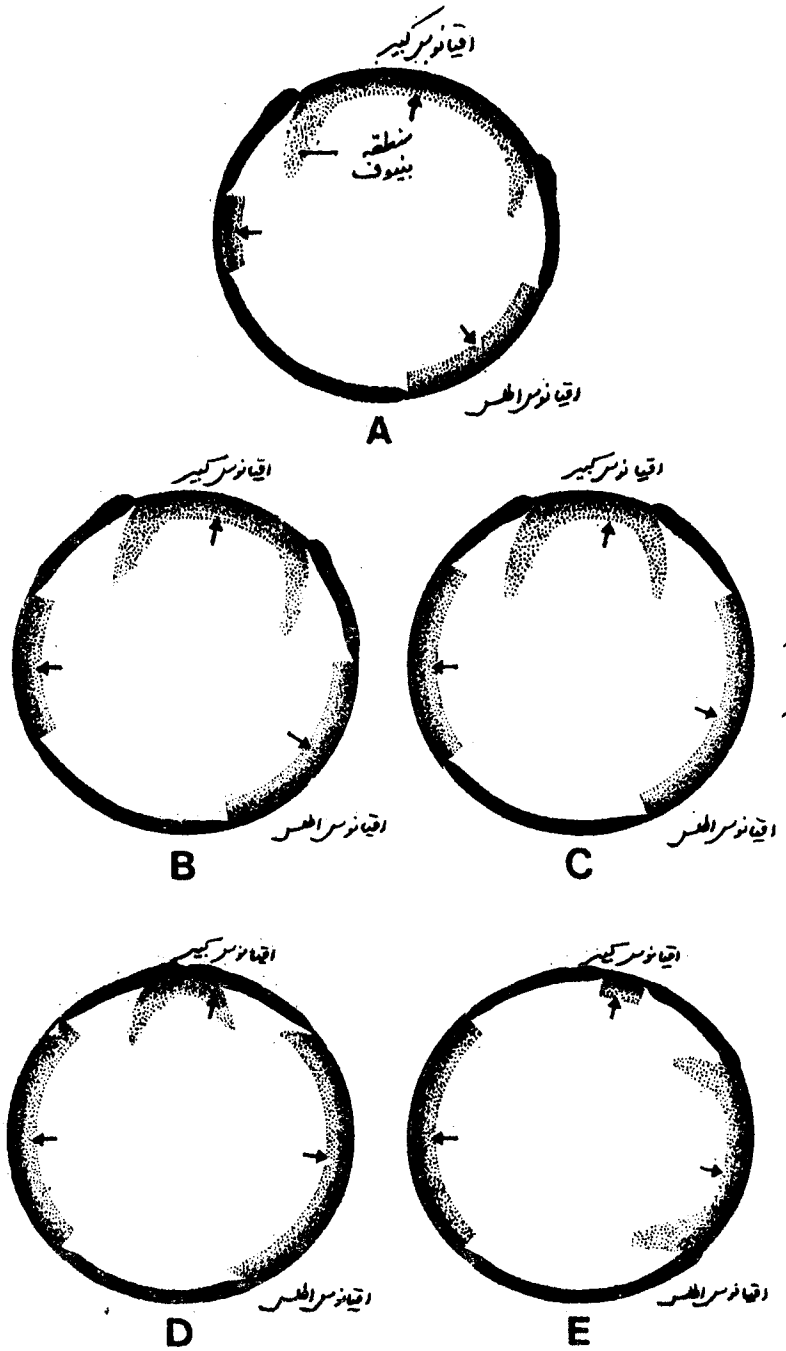
درطرف راست کره، حد صفحات بوسیله برجستگی وسط اقیانوسی درحال انبساط ونواحی شکستگی محدود شده است وقطب چرخش نسبی صفحات نیزدرزمین طرف دیده میشود این قطب را نباید باقطب چرخش زمین اشتباه کرد. لازم بتذکر است که گذر نواحی با عرض جغرافیائی کم سرعت انبساط منظور شده واستداد حرکت صفحات باگسل تغییرشکل دهنده موازی است.

درطرف چپ کره، حد صفحات ازنوع فرونشینی و گسل تغییرشکل دهنده تشکیل شده است.

رابطه موجود بین استداد ودامنه حرکت نسبی وعرض جغرافیائی درای سمت مشابه رابطه مثبت که درحد انبساط کف اقیانوس دیده میشود ولی ازنوع ناهنجاری مغناطیسی دراین حد صفحات هیچ نوع اطلاعی درمورد حرکت نسبی آنها بما نمیدهد، زیرا شکل ناهنجاری مغناطیسی فقط به حرکت نسبی صفحات در مراکز انبساط کف اقیانوسی وابسته‌اند چون دراین مراکز تشکیل شده‌اند.

نظری به کره زمین که درشکل ۱۴ داده شده، بیاندازیم. اگر پذیرش زمین در حال انبساط ویا در حال انقباض را کنار بگذاریم، چون محیط زمین ثابت است وچون اقیانوس اطلس در حال گسترش است، لازم مینماید که اقیانوس کبیر کنونی فشرده ومنقبض شود، هرچند که کف آن در حال انبساط باشد. همین دلیل جوئی را وادار به پیشنهاد تعمیم فرضی شکل ۱۶ کرد. طبق این تعمیم بعداز چندین صدمیلیون سال اقیانوس کبیر بسته خواهد شد وپس ازآن اقیانوس اطلس بایدبحال انقباض درآید. بنابراین اقیانوس‌ها بطور متناوب در فازهائی از نوع اقیانوس کبیر و اقیانوس طلس قرار خواهند گرفت مسلماً در مقابل چنین تعمیم‌جسورانه‌ای، انتقادهای زیادی نیز شده است وبدون‌شک طبیعت به‌سادگی نظریه بالا نیست، ولی یک نظریه مثبت‌وکاری همیشه یک ابزار مفید علمی است وبهمان اندازه‌که ساده است، قابل استفاده نیز میباشد.

یک مثال از حالاتی که درآن تکتونیک کلی توانسته است توضیح روشنی ارائه دهد، مربوط به‌تاریخ زمین -



شکل ۱۶

گذر از یک کناره قاره‌ای از نوع اقیانوس اطلس به کناره دیگر از نوع اقیانوس کبیر. هریک از شکل‌های ۴ محیط کره زمینی را نشان میدهد

در شکل A زمینی در حالت کنونی خود دیده میشود

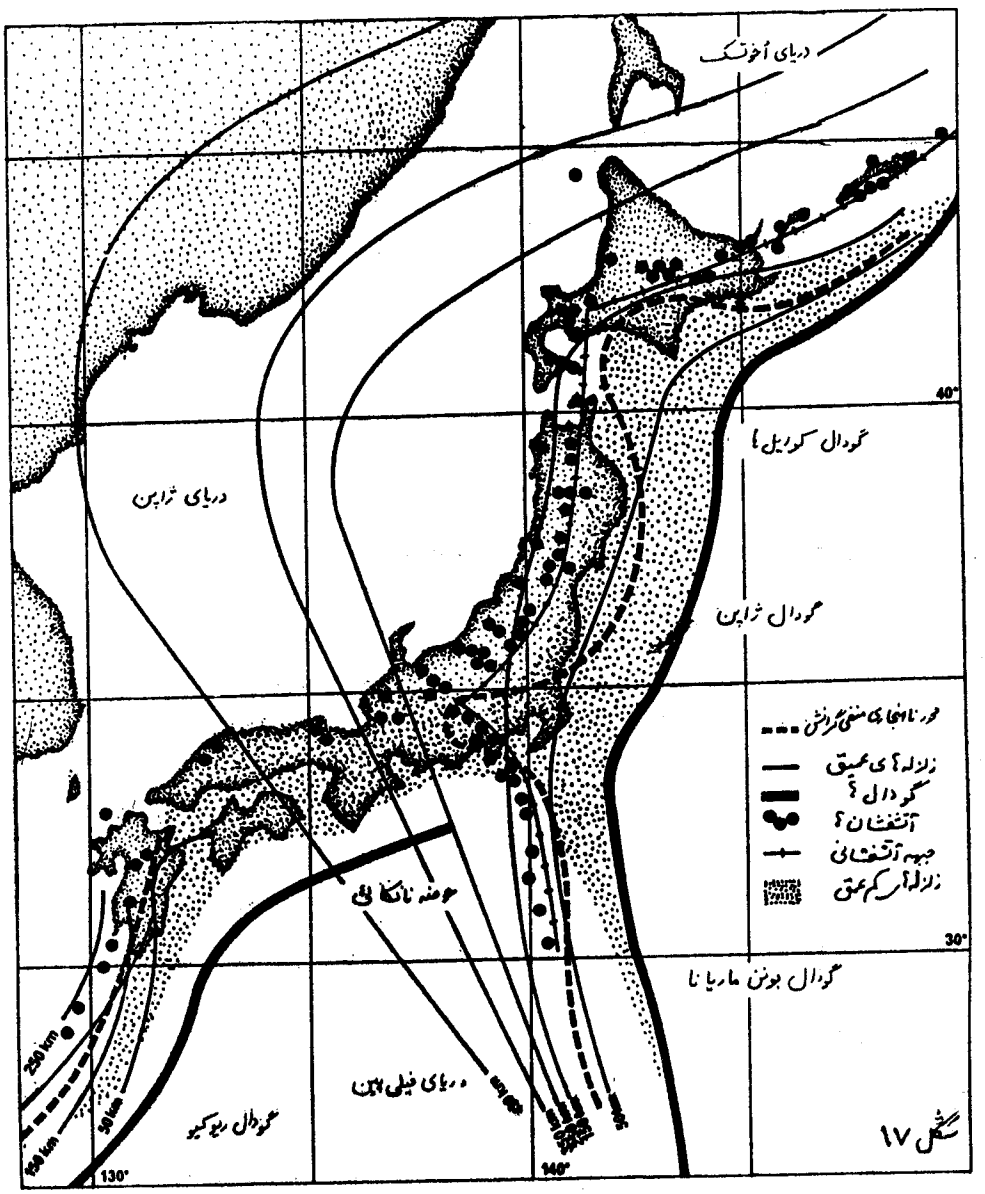
بهمانطور که در شکل فرضی D نشان میدهد در طول زمان اقیانوس کبیر بسته خواهد شد و دیگر فرونشینی نخواهد داشت

اقیانوس اطلس باز میشود و کناره‌های آن از رسوب پر شده و بصورت مناطق فرونشینی درخواهد آمد

اگر از ابتدا در طول زمان حرکت کنیم استدلال بالا را در مورد اقیانوس اطلس پیدا می‌کنیم در ابتدا بسته بوده و حتی قبل از بسته شدن اقیانوسی از نوع اقیانوس کبیر بوده است.

شناسی مغرب امریکای شمالی است. در منطقه دور اقیانوس کبیر، فقط ساحل غربی امریکای شمالی است که نه گودال اقیانوسی و نه جزیره قوسی دارد و فعالیت بارز این منطقه، بخاطر گسل سن آندره‌آس میباشد. دلیل این موضوع چیست؟

شواهد زمین شناسی مانند توزیع سنگ‌های دگرگونی وآتشفشانی نشان میدهد که این ناحیه درگذشته حرکات فرونشینی یاپائین رفتن راتحمل کرده‌است. باچنین شواهد زمین شناسی ومطالعه شبکه نوارهای ناهنجاری مغناطیسی دور از سواحل محققی از انستیتوی اقیانوس شناسی اسکریپس بنام تانیاآتواتر Tanya Atwater موفق به‌اثبات این موضوع شد که از دوران مزوزوئیک وشروع سنوزوئیک ، دوراز سواحل امریکای شمالی در اقیانوس کبیریک سیستم برجستگی وسط

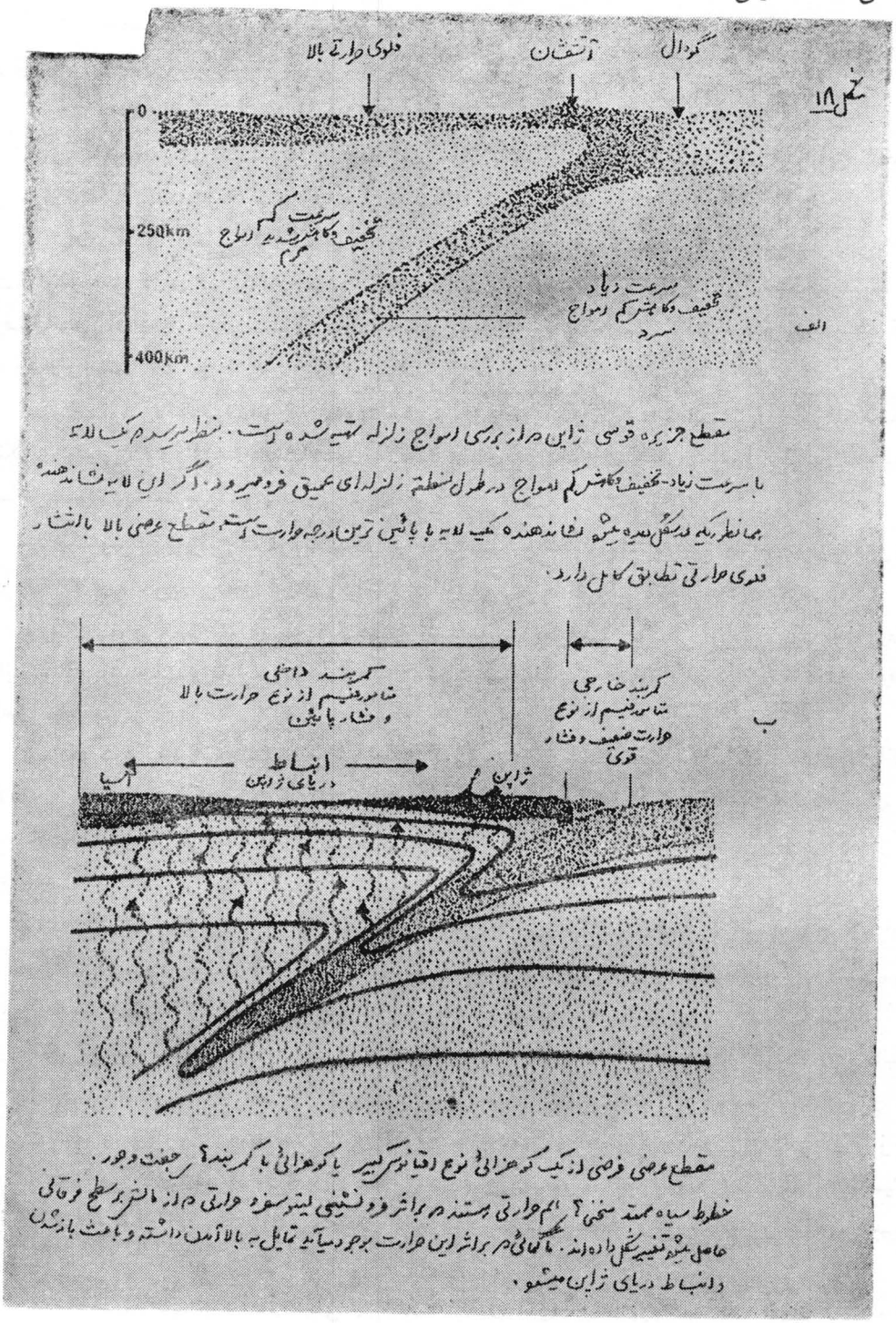


شکل ۱۷

اهمیت ژئوفیزیکی جزایر ژاپن

توپوگرافی یک ناحیه‌ای جزیره قوسی با یک گودال عمیق اقیانوسی و قوسی از جزایر مشخص است. با گذشتن از روی گودال و متوجه شدن بطرف قاره به ترتیب یک منطقه زلزله‌ای کم عمق، محور ناهنجاری؟ گرانشی منفی و یک منطقه فعالیت شدید آتشفشانی را می‌بینیم بالاخره فعالیت زلزله‌ای بسیار مهمی با کانونهای عمیق در بخش داخلی جزیره قوسی دیده میشود. عمق کانون؟ زلزله بطرف قاره افزوده میشود و سطح مایلی را بوجود میآورد (در بنام صفحه مایل زلزله‌ای عمیق یا منطقه بنیوف نامیده شده است.

اقیانوسی فعال وجود داشته وشبیه به‌سیستمی بوده که امروزه در جنوب اقیانوس کبیر شرقی در امریکای مرکزی دیده‌میشود وحرکات‌فرونشینی یا پائین رفتن دراین برجستگی وسط اقیانوسی‌اتفاق‌افتاده است. باوجود براین به‌دلیل موقعیت توصیف شده درشکل ۱۶ اقیانوس کبیر در حال انقباض بوده بقسمی که برجستگی وسط اقیانوسی‌به‌ساحل‌نزدیک بوده‌است. بالاخره این برجستگی وسط اقیانوسی احتمالا در میوسن، زیر قاره امریکای شمالی فرورفته است.



شکل ۱۶

جزیره‌های قوسی شکل

در چهارچوب انبساط کف اقیانوس‌ها وتکتونیک کلی،نواحی گودال‌های‌اقیانوسی وجزیره‌های قوسی، باسکان -

هائی تطبیق میکنند که درآنها، صفحات اقیانوسی بافرورفتن در زیر پوسته براثر سابداکشن Subduction ازبین میروند. البته این نوع طرز تفکر در مورد مناطق نامبرده در بالا تازگی ندارد. از سال ۱۹۲۰ یعنی زمانیکه ژئوفیزیکدان هلندی ونینگ‌ماینز Vening Meinez بی‌نظمی‌های مهمی از نیروی گرانشی منفی در بالای بسیاری از گودال‌های اقیانوسی از جمله در گودال اندونزی پیدا کرد، محققین متعددی از جمله خود ونینگ ماینز اینطور فکر میکردند که جریان‌های همرفتی در نواحی گودال‌های اقیانوسی فرو میروند ومواد سطحی پوسته بطرف پائین یااعماق زمین رانده میشوند. البته این نوع استدلال وطرز تفکر قبل از پیدایش تکتونیک کلی بود.

اکنون باتوجه به‌جزایر ژاپن، کمی به‌شرح اختصاصات جزیره‌های قوسی میپردازیم شکل ۱۷.

اصولا ناهمواریهای یک ناحیه از جزیره قوسی، بایک‌گودال عمیق اقیانوسی وقوسی از جزایر مشخص است. بطور دقیق اجزاء مشکله یک جزیره قوسی از اقیانوس بطرف قاره بقرار زیر است :

۱- یک گودال اقیانوسی که کف آن از نواحی بسیار عمیق کره زمین است ودر مورد جزایر ژاپن، این ناحیه تقریباً هشت‌هزارمتر عمق دارد. این گودال بشدت نامتقارن است. وپهلوی طرف قاره‌ای آن برآمده وچین‌خورده بوده ولی پهلوی طرف‌اقیانوسی آن بسیار آرم‌تر است و کف‌این بخش ازرسوبات غالباً ضخیم‌پوشیده شده ودر نتیجه سطح فوقانی آن بسیار صاف وهموار است.

۲- یک قوس فاقد آتشفشانی که بصورت یک دیوار واقعی مسلط برگودال است. این بخش ازآهک‌های غالباً رسیفی وسنگهای رسوبی (گری‌واک‌ها) درست شده که اصولا دارای خورده‌های سنگهای آتشفشانی است. تمام این سنگها دگرگونی حاصل نموده وبشدت چین خورده‌اند.

۳- یک‌قوس آتشفشانی که از آتشفشان‌های فعالی تشکیل شده ومواد آندریتی بخارج میریزند ودر زمین‌های قدیمی قرارگرفته که چین خورده بوده ودگرگون وگرانیتی شده وبراثرگسل‌ها بصورت لایه لایه درآمده‌اند.

٤- یک‌شیار بین‌قوسی که عبارت ازیک‌دالان زیر دریائی طویل‌است که‌گاهی اوقات باریک بوده وبطوربخشی یا جابجا از رسوبات پرشده‌است واین رسوبات‌همراه باذرات مواد آواری است که اصولا از قوس فاقد آتشفشانی وقطعاتی از گدازه‌ها حاصل شده‌اند.

٥- یک دریا که جزیره قوسی را از قاره جدامیکند. این دریا درکناره قاره دارای اختصاصات دریای کم‌عمق و از نوع فلات‌قاره بوده ودارای یک بخش فرونشسته‌است که تمام اختصاصات نواحی‌دشت‌اقیانوسی یامنطقه‌آبیسال را دارد.

اختصاصاً این نواحی دشت اقیانوسی سپری از نوع قاره‌ای نداشته واز طبقات ضخیم رسوبی (چندین کیلومتر) پوشیده شده است.

بنابراین همانطوریکه‌در بالاگفته‌شدبطور خلاصه هرجزیره قوسی‌ازیک‌گودال‌عمیق اقیانوسی‌وقوسی ازجزایرتشکیل شده است. محورکمربند نیروی گرانش‌منفی‌نسبت‌به‌محور گودال، تقریباً‌بطرف‌زمین‌های‌بیرون‌ازآب قرار گرفته است. میدانیم که با جزیره قوسی پدیده‌های زمین لرزه‌ای مهم همراه است و همچنین فعالیت‌های زلزله‌ای بزرگ باکانون‌های کم عمق (کانونهای کمتراز پنجاه کیلومتر عمق) در طرفی از جزیزه قوسی که بسوی اقیانوس است، پیدا کرده‌اند، در حالیکه عمق کانون زلزله بطرف قاره‌بیشتر میشود (بعضی ازکانونها در عمق هفتصد کیلومتری در ژاپن دیده شده‌اند) وچیزی را بوجود میآورد که به‌آن سطح مایل‌زلزله‌ای عمیق میگویند. البته این سطح درسال ۱۹۳۵ بوسیله واداتی K. Vadati از رصدخانه هوا شناسی مرکزی ژاپن کشف‌شده بود ولی‌امروزه سطح زلزله‌ای‌عمیق‌را معمولا منطقه بینوف Benioff Zone مینامند که از نام بینوف‌گرفته شده است. این محقق انستیتوی فنی کالیفرنیا در مورد زلزله‌های عمیق منطقه دور اقیانوس کبیرمطالعات فراوانی کرده‌است.

اختصاصات حرارتی جزیره‌های قوسی نیز اهمیت زیادی دارند. ابتدا از فعالیت‌های آتشفشانی مهمی میتوان نام برد که مشخص این قوس‌ها میباشند. همانطوریکه در شکل ۱۷ دیده میشود آتشفشانهای فعال بطور فشرده ومتراکم تقریباً برروی محور مرکزی جزایر پخش شده‌اند. بیشتر از ۹۰٪ آتشفشانهای فعال زمین برروی جزیره‌های قوسی قرار

گرفته‌اند وبهمین دلیل این‌قوس‌ها را غالباً کمربند آتش اقیانوس کبیر مینامند. نکته‌ای که در اینجا ارزش توقف وتأمل دارد اینست که اگر خط بزرگترین تراکم یا حداکثر تراکم آتشفشانهای موجود را رسم کنیم آتشفشانهای فعال طرف اقیانوس برروی آن دیده نمیشود. بعبارت دیگر آتشفشانهای فعال‌نسبت به‌این خط که به‌آن جبهه آتشفشانی نیزگفته‌میشود، قرینه نیستند. بنظر میرسد که این خط از مکانهائی میگذرد که عمق کانون‌های زلزله بین ۱۳۰/ تا ۱۵۰/ کیلو متر است

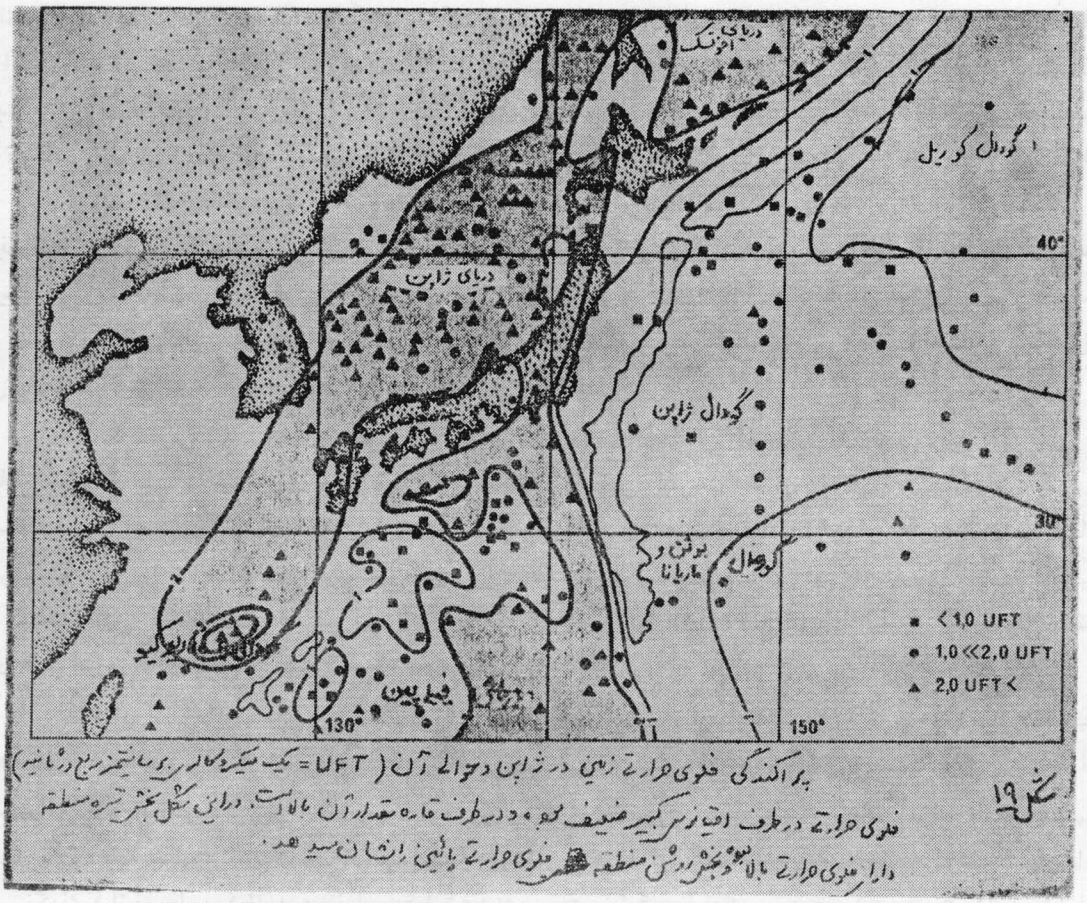
از طرف دیگر ضمن بررسی دقیق فلوی حرارتی زمین در نواحی ژاپن به‌این نتیجه رسیده‌اند که مقدار این فلو درطرف اقیانوسی جبهه آتشفشانی از متوسط کلی (تقریباً ۱/۵ میکرو کالری Cm^2/s) کمتر ودر طرف قاره‌ای‌جبهه‌آتشفشانی از متوسط کلی بیشتر است. گودال‌هائی مانند دریای ژاپن‌ودریای اخوتسک Okhotsk بایک فلوی حرارتی بطور یکنواخت بالا (بیشتراز ۲میکرو کالری Cm^2/s) مشخص است شکل ۱۹. وبنظر میرسد نشاندهنده‌این واقعیت است که پوسته وقشر فوقانی بطرف اقیانوس سرد است، در حالیکه بطرف قاره‌ها گرم است.

مطالعات زلزله‌شناسی دلایل خوب ومکملی‌در مورد ساختمان‌حرارتی زیرجزیره‌های قوسی‌عرضه کرده‌است. این مطالعات نشانداده است که ساختمان عمیق زیر ژاپن بایک‌منطقه مایل باسرعت انتشار زیاد امواج‌وتخفیف وکاهش کم آنها مشخص است (سرد) وبرروی‌آن لایه‌ای باسرعت کم‌امواج وتخفیف‌وکاهش زیاد آنها قرار دارد (گرم) شکل ۱۸. -الف بنابراین سطح مایل را که همان سطح فرونشینی است برروی طبقه غلیظ آستنوسفر میبابیم. این طرح فرضی بانظریه تکتونیک کلی کاملا تطبیق میکند(درمورد جزیره قوسی‌ناحیه‌تونگا- کرمادک- Tonga-kermadoc اقیانوس کبیرجنوبی محققین دیگری ضمن بررسی‌های جداگانه بهمین نتیجه رسیده‌اند).

تمام این مسائل وبسیاری‌از نتایج‌دیگر زمین شناسی‌بخوبی نشان میدهد که‌امروزه در جزیره‌های قوسی، تکتونیک کلی در حال عمل است. آیا از زمان‌های‌گذشته نیز چنین بوده‌است؟ میاشیرو A.Miyashiro مدتها ازاین موضوع دفاع کرده‌است که کمربندهای دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک ژاپن بصورتی ممتد هستند و یک کمربند بامتامورفیسم از نوع فشار بالا- درجه حرارت پائین بطرف اقیانوس کبیر در مقابل کمربند از نوع بافشار پائین-درجه حرارت بالا قرار دارد. بعلاوه سنگهای‌گرانیتی باسن کرتاسه در نواحی قرارگرفته در سمت خشکی، فراوان است وتاکره وسیبری کشیده شده‌اند، درحالیکه ازاین‌گونه سنگها در نواحی متمایل به‌اقیانوس هیچ‌اثری دیده نمیشود. باترکیب کردن اطلاعات حاصل از زمین شناسی وژئوفیزیک، دو دانشمند ژاپنی‌بنامهای T.Matsuda و S.Uyeda مفهوم کوهزائی‌ازنوع اقیانوس کبیر را بصورت شکل۱۸ب ترسیم نموده‌اند. در یک کمربند کوهزائی از نوع اقیانوس کبیر یک صفحه اقیانوسی در طول سطح بنیوف باتشکیل یک‌گودال فرومیرود گودال ونواحی جبهه‌ای آن در طرف خشکی مقر رسوبگذاری وفشردگی است. در زیر این ناحیه دگرگونی 'ز نوع فشار بالا- حرارت پائین میتواند بوجود بیاید. دو کمربند نامبرده قبلی را بنام کمربندهای خارجی وداخلی مینامند.

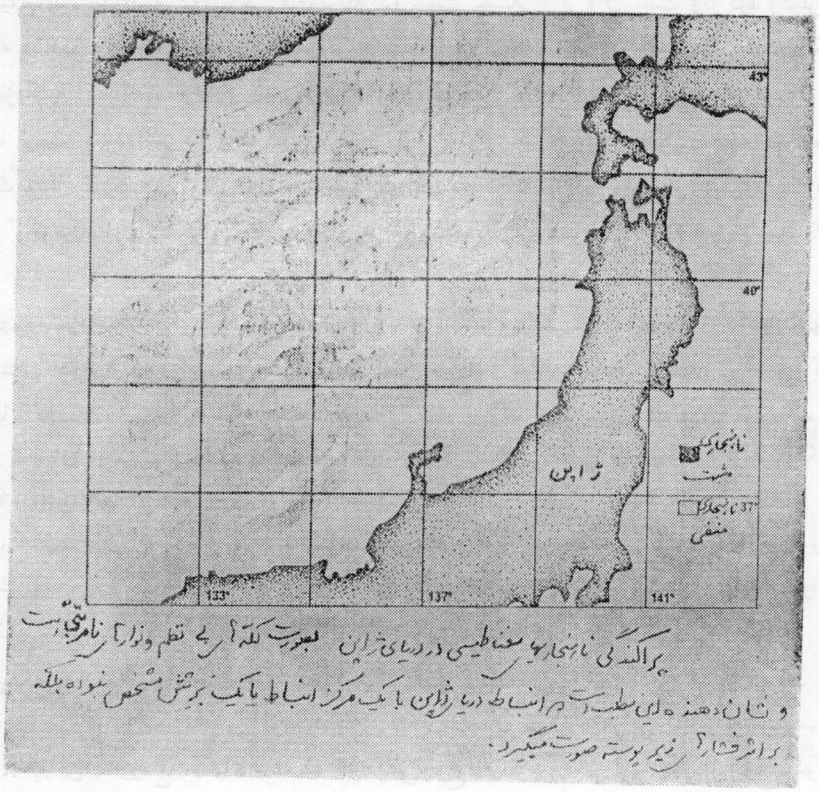
این مفهوم کمربندهای ژئوسنکلینالی دوگانه‌ی باهم، بنظر میرسد که بامفهوم قرار دادی ژئوسنکلینال که‌درآن رسوبگذاری وپدیده‌های آذرین‌و کوهزائی دریک کمربند اتفاق میافتد، بسیار متفاوت باشد. در طرحی که از کمربندهای دوگانه‌ی باهم، دربالا داده شد، کمربند خارجی سرد در طول تمام فرایند، سرد باقی میماند و کمربندگرم داخلی ازآن‌جداو مجزا میباشد. زمین شناسان از مدتها پیش میدانستند که آثار فعالیت‌های آذرین از بازیک تااولترابازیک در تشکیلات - او ژئو سنکلینالی Eugeosynclinal وجود داشته است‌واین سنگهای‌آذرین‌را افیولیت مینامیدند ،اما در اوژئوسنکلینال مورد بحث ما امکان فعالیت‌های آتشفشانی دیده نمیشود، بطوریکه وجود افیولیت‌ها درکمربند خارجی درد سر جدی بوجود میآورد. اما تکتونیک توضیح روشنی ازآن میدهد. طبق تکتونیک صفحه‌ای وجود افیولیت‌ها میتواند مربوط به‌نوعی خراش‌و کندن سنگهای اقیانوسی بازیک واولترابازیک در محل پائین رفتن باشد.

همانطوریکه قبلاگفته‌شد فعالیت فعلی جزایر بنظر ژئوفیزیکدانان ژاپنی چیزی جز تظاهرات کوهزائی از نوع اقیانوس کبیر نیست. باید متذکر شد که این نوع کوهزائی شاید همان نوع کوهزائی اقیانوس کبیراست که‌توسط جوئی قبلا توضیح داده‌شد.بنابراین بطورقطع میتوان‌گفت که کوهزائی نوع اقیانوس کبیر تنها یکی‌از انواع کوهزائی نیست‌بلکه اساسی‌ترین نوع کوهزائی ست.



شکل ۱۹

پراکندگی فلوی حرارتی زمینی در ژاپن و حوالی آن (UFT = یک میکرو کالری بر سانتیمتر مربع در ثانیه)
فلوی حرارتی در طرف اقیانوس کبیر ضعیف تر و در طرف قاره متعدد آن بالاست. در این شکل بخش تیره منطقه
دارای فلوی حرارتی بالا و بخش روشن منطقه فلوی حرارتی پائین را نشان میدهد.



پراکندگی ناهنجاری مغناطیسی در دریای ژاپن بصورت تکه ای بی نظم و ناموزون است
و نشان دهنده این مطلب است که ارتباط دریای ژاپن با یک مرکز انبساط یا یک برجستگی مشخص نبوده بلکه
بر اثر فشار از زیر پوسته صورت میگیرد.

باوجود توضیحات بالا یک مسئله جدی در نظریه کوهزائی از نوع اقیانوس کبیر باقی میماند وآن دانستن این مطلب است که چرا وبه‌چه‌دلیل کمربند داخلی گرم است؟ امروزه فرورفتن صفحات را به‌نیروی جاذبه مربوط میکنند. وزن مخصوص صفحه بیشتراز آستنوسفر است، مخصوصاً اینکه ازآن سردتر میباشد. بهمین دلیل درمورد کوهزائی از نوع اقیانوس کبیر، توضیح درباره کمربند خارجی سرد، بسیارآسان است،ولی‌در مورد کمربند داخلی‌گرم، آسان نیست. در سالهای اخیر بحث‌های زیادی دراینمورد شده‌است. Sugimura و Uyeda معتقدند که مالش بین صفحه ایکه پائین میرود وگوشته‌فوقانی که باعث‌گرم کردن‌است،علت‌گرم‌بودن کمربند داخلی‌است. بنابراین‌انتشار درجه حرارت در زیراین ناحیه از نوعی است که در شکل ۱۸ب نشان داده شده است.

محاسبات‌انجام شده برای بررسی صحت وسقم این فرضیه نشان میدهد که مثلابرای بدست آوردن فلوی‌حرارتی بالائی که در دریای ژاپن دیده میشود، بیک سرعت تولید حرارت واقعاً زیاد ویک مکانیسم انتقال حرارت فوق‌العاده‌مؤثر درکمربند داخلی، احتیاج میباشد. برای اینکه موضوع بالا صورت تحقق بخود بگیرد، بایستی از منطقه مالش بطرف‌سطح خارجی، مقدار بسیار مهمی از ماگمای مذاب بالا بیاید، واگر وزن کلی موادیکه باین ترتیب باید بالا بیاید، محاسبه‌شود، باین نتیجه میرسیم که‌یک نوع انبساط کف دریاها در ناحیه دریای ژاپن باید بوجود آید. همانطوریکه در شکل۱۸ب دیده میشود، انبساط دراین حالت، بوسیله مرکز انبساط ویاشکاف وحفره‌ای مشخص نشده ،بلکه بوسیله «فشارهای‌ازهمه‌جا» در نظرگرفته شده ست. اگر چنین است دریای ژاپن میبایستی از چندین صد میلیون سال پیش بسیار تنگ‌ترو باریک‌تر بوده ویاحتی وجود نداشته باشد و جزایر ژاپن در اینصورت به‌قاره آسیا چسبیده بود. بعلاوه کمربند داخلی اولیه‌باریک‌تراز حالتی میتواند باشد که در شکل ۱۸ب نشان داده شده است. بعلاوه‌میتوان انتظار داشت که بی‌نظمی‌های مغناطیسی دریای ژاپن اختصاص متقارنی را نشان ندهد بلکه منظره‌ای از نوارها ولکه‌های نامنظم باشد که در شکل ۱۹ نشان‌داده شده‌است فرضیه اخیر در مورد دریای ژاپن، نظری وصوری بوده، وباید مورد تأیید قرار بگیرد.

از بررسی‌های جدید علوم مربوط بزمین، نتایج ومفاهیم بسیار جالبی نظیر اشتقاق قاره‌ها، انبساط کف‌دریاها و تکتونیک کلی بدست آمده است. ولی‌اگر از نزدیک به‌آن نگاه کنیم ودر آن دقیق‌تر شویم، خواهیم دید، اصل ومبدء - نیروئیکه بوجودآورنده حرکات خارق‌العاده صفحات است، بصورت مشکلی دست نخورده باقیمانده است. همانطوریکه قبلا تذکرداده شد جریان همرفتی حرارتی وهیدرودینامیکی پوسته، مدتها تنها منشاء بوجود آورنده این نیرو بوده‌است. ولی نتایج جدید ایجاب میکند که جبهه برجستگی وسط اقیانوسی یعنی جائیکه در نظرمیگیرند که یک جریان بالارو درآن وجود دارد، نه‌تنها بتواند جابجا شود بلکه درگوشته نیز فرو رود. محققین متعددی امروزه فکر میکنند که یک صفحه تحت اثروزن خود درمناطق فرونشینی فرو میرود وباقیمانده صفحه براثر این پدیده بطور ساده کشیده میشود. این امکان نیز میتواند تحت بررسی قرار بگیرد ولی قبل از حل مشکل‌نیرو، نقاط تاریک زیادی وجود دارد که باید روشن شود، مهمترین موضوع مورد بررسی سالهای آینده مسئله توزیع‌حرارت‌درصفحه‌ای است که فرو میرود ودراین مقاله راجع به‌آن‌اشاره شده‌است. محققین‌علوم مربوط به‌زمین در تمام جهان در برنامه‌های بین‌المللی تحقیقی‌ای شرکت میکنند که بنام «طرح ژئودینامیک» موسوم است تا باارائه حاصل کوشش‌های خود بیکدیگر بحل مسائلی از قبیل بالا توفیق حاصل کنند.

منابع

1) J. Dercourt et J. Paquet. - Géologie, 1976 - Dunod

2) J. A. Jacobs and al - Physics and Geology. 2 ed. 1974 MeGraw - Hill

3) D. H et M. P. Tarling. La dérive des continents. 1973 Doin

4) Seiya Uyeda. Dérivedes continents et... La Recherche, n. 25, 1972.

5) P.J. Wyllie The Dynamic Earth, 1971, John Wiley.

6) Glossary of Geology. 1973. American Geological Institute.

7) Continents Adrift, 1972 - Scientific American.