پیش بینی زلزله با استفاده از تداخل سنجی راداری و تکنیک آنالیزابرها

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه iman.elyasian@Gmail.com
حسین میسمی ، دکترای مهندسی عمران h.meysam@Gmail.com

خلاصه

به کمک دانش امروزی علت لرزیدن زمین را می دانیم ولی زمان و مکان وقوع آن را دقیق و به موقع تشخیص نمی دهیم به طور کلی تاکنون جندین روش کلی به منظور پیش بینی زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره ای ارائه شده اند .در اینجا 4 روش تداخل سنجی راداری , استفاده از GPS و نقشه های درجه حرارت وروش آنالیز ابرهارا توضیح خواهیم داد ,سپس روش تداخل سنجی راداری را کاملا معرفی خواهیم کرد

کلمات کلیدی

پیش بینی و قوع زلزله ، تداخل سنجی راداری، آنلیز ابرها، نقشه های درجه حرارت و باندهای حرارتی،GPS

مقدمه:

بحث پیش بینی زلزله توسط بشر همچنان بین محققان دنیا جریان دارد اما واضح است که پس از یک سده تحقیقات جدی , هنوز یک روش قابل اطمینان برای پیش بینی زلزله ارائه نشده است . به عبارت دیگر , دانش نوین در آستانه قرن بیست و یکم راهی طولانی تا یافتن روشهای پیش بینی دقیق زلزله در پیش رو دارد.در این جابا معرفی کوتاهی از چندین روش استفاده از ماهواره برای سنجش از راه دور برای پیش بینی زلزله روش تداخل سنجی راداری و تکنیک آنالیز ابر ها با استفاده از ماهواره مورد بررسی قرار گرفته شده است.

معمولا , پیش از وقوع انواع زلزله ها مجموعه ای از اتفاقات غیر عادی در طبیعت رخ می دهند که می توان آنها را علائم هشدار دهنده ای برای وقوع زلزله به حساب آورد.از جمله این اتفاقات تغییرات ناگهانی در وضع آب وهوا، بررسی تاریخچه زازله های گذشته و تأهیر احتمالی زلزله یا Seismic Gap تشکیل ابرهایی با ویژگی های خاص در منطقه زلزله, براثر تبخیر آنی آب منطقه ناهنجاری های رفتاری در حیوانات ، مرگ گروهی ماهیان و آبزیان صداهایی که از داخل زمین شنیده می شود، بالا یا پایین رفتن سطح آب های زیر زمینی وجاهها ، برقهای ناگهانی که بلافاصله قبل از وقوع زلزله در آسمان دیده می شود، مجموعه ای از لرزه های خفیف یا پیش لرزه Foreshock، گرم شدن پوسته زمین برآمدگی و انبساط قابل اندازه گیری توسط انحنا سنج ها ، تغییر در سرعت و شتاب امواج و افزایش سرعت امواج درخاک به دلیل افزایش تنش پوسته زمین ، وجود گاز رادوندرآبهای زیر زمینی، وجئد گازهلیوم درگازهای خروجی از گسل یا خروج ماگما از مناطق آتشفشانی، تغییر رسانایی الکتریکی و تغییر درخواص مغناطیسی و الکتریکی ، افزایش دمای آی سفره های زیرزمینی ، ایجاد شکاف و ترکهای موضعی و نشستهای نا متقارن را می توان نام برد.بدون شک دستاورد های تحقیقات انجام شده در این زمینه می تواند چشم اندازی روشن را هم در زمینه پیش بینی زلزله و هم در

ارتباط با سرنوشت فن آوری ماهواره ای که در حال حاضر مرکز سنجش از راه دور ایران متولی آن است ترسیم کند.

لازم به ذکر است که تصاویر مورد استفاده در تحقیقات اخیر در حال حاضر در کشور ما توسط مرکز یاد شده و برخی دیگر از سازمان های دولتی به طور مستقیم دریافت و در طرحهای متعددی از جمله بررسی خشکسالی،سیل،آتش سوزی ,و بلاهای عمده دیگر استفاده می شوند .نکته ای که کماکان باید بر آن تاکید کرد تفاوت میان پیش بینی علمی و پیش بینی پدیده ای طبیعی مانند زلزله است.درک تفاوت این گونه پیش بینی های علمی با پیش بینی که تنها بر اساس گوشه ای از شواهد رخ می دهد .(حتی اگر به واقعیت تبدیل شود.) نکته ای است که باید آن را در نظر داشت و این ۲ را به جای هم قرار نداد ,اگر چه تحقیق برروی روشهای پیش بینی زلزله که برمبنای مشاهدات تجربی استوارند ,می تواند پژوهشگران را در رسیدن به روش علمی برای پیش بینی علمی و دقیق زلزله یاری دهد.

علل وقوع زلزله براساس مطالعات و تحقیقات

. الف) **زمین با عملکرد حرکات قاره ها -فوران آتشفشان ها و کوه زایی** می خواهد به حالت تعادل و توزیع مناسب و زنی در سطح خود برسد تا حرکت دورانی یکنواخت و هارمونیکی داشته باشد اما عواملی مانند عوامل انسانی و فرسایش در رسوب گذاری و تغییرات نیروی جاذبه بین خورشید و زمین، هیچ گاه به تعادل کامل نمی رسد و همواره احتمال وقوع زلزله می باشد.

ب) **اوج نوسانات و زمین لرزه ها** در اوایل و اواخر فصل بهار و پاییز است ولی بیشترین و کمترین فاصله زمین تا خورشید که نتیجه آن تغییرات نیروی گریز از مرکز سطح زمین و نیروی جاذبه وزنی زمین می باشد .جرم با توجه به تحقیقات در مورد نتایج فوق می توان از نمودار تغییرات وزنی و تغییرات لرزه ای موسسات لرزه نگاری و یک تفسیر صحیح زمان وقوع زلزله را تا حدودی تخمین زد (همانند پیش بینی وضعیت آب وهوا) و همچنین چون اکثر زلزله های مخرب در دو زمان فوق صورت می گیرد پس می بایست از نظر ایمنی بیشتر وقت و دقت را در این دو زمان قرار داد.

زمین دریک مدار بیضوی شکل به دور خورشید می گردد که طبق قانون نیوتن نیروی جاذبه بین دو جرم $F = \frac{GM.M_2}{r^2}$ در اوایل دیماه به دلیل بیشترین نیرو به دلیل حداقل فاصله تا خورشید و مجذور فاصله در مخرج کسر و بالعکس در اوایل تیرماه کمنرین نیرو به دلیل بیشترین فاصله داریم که این نیرو تعادل جرمی را به هم زده و منجر به تغیرات تنش و جابجایی پوسته زمین می گردد و نوسانات وزن داریم ، در اواخربهار اجسام سبک تر و در اواخر پاییز اجسام سنگین تر می شوند ولی جرم آنها تغییری نمی کند به عبارت دیگر در دورترین فاصله زمین از خورشید سرعت جرخش زمین به دور خودش بیشتر می شود ودر نتیچه نیروی گریز ازمرکز افزایش می یابد

ج) **نظریه اشتقاق قاره ها**

در سال 1800 دانشمندی از آلمان به نام Alexander Von Humboldt این گونه اظهار عقیده کرد که اقیانوس اطلس در اصل رودخانه عظیمی بوده که به علت وقوع طوفان نوح و جاری شدن سیل بر عرض آن افزوده شده است. هماهنگ با پیشرفت علم در سال 1870 جرج داروین ، پسر چارلز داروین معروف بنا به نظریه ای اعلام داشت کره ماه در آغاز بخشی از کره زمین بوده که به دلیل چرخش زمین از آن جدا شده و به فضا پرتاب گردیده است و گودالی که امروزه اقیانوس آرام نامیده می شود، جای قدیم کره ی ماه بوده است . با وجودی که این عقیده ظاهراً موجه و قابل قبول می نمود ولی ازآنجایی که حجم اقیانوس آرام در مقایسه با حجم کره ی ماه ناچیز می بود، لذا نظریه ی داروین دیری نپایید و مردود شناخته شد.در اوایل قرن بیستم نظریه ی **رانه قاره ای** Alfred Wegener بیش از سایرین اذهان را به خود جلب نمود. وگنر نخستین کتاب خود را در سال 1912 درهمین زمینه به چاپ رسانید. انتشار کتاب او سروصدای زیادی برپاکرد .عده ای از زمین شناسان نظریه وی را جدی گرفتند. عده ای نیز آن را مردود ودور از عقل پنداشتند. دودستگی دانشمندان مباحثات زیادی را مطرح ساخت واساس مطالعات بعدی را تشکیل داد .

چون مباحثات به جایی نرسید لذا نظریه ی وگنر برای چند دهه به فراموشی سپرده شد تا این که در اواخر دهه 60- 1950 تحولات و دگرگونی های سریعی در افکار علمی پدید آمد. وارن کاری (Warren Carey) زمین شناس استرالیایی ، کره ای ساخت که قاره های زمین را هم در حالت باز و هم در حالت یکپارچه بودن نشان می داد. کره ی وارن کاری طوری طراحی شده بود که قاره های روی آن را قابل لغزش می ساخت و نحوه جمع و باز شدن آنها را عملاً نشان می داد . در سال 1965 ، ادوارد بولارد (Edward Bullard) که از یک کامپیوتر کمک گرفته بود، نظریه ی وارن کاری را تأیید نمود و بالاخره به گفتگو ها و جدال ها خاتمه داد. وی موضوع رانه قاره ای را از قالب یک نظریه خارج ساخت و به عنوان حقیقتی در زمین شناسی به جهانیان اعلام نمود . بدین وسیله چهل سال پس از مرگ آلفرد وگنر تئوری او به صورت یک حقیقت زنده و مسلم در علم زمین شناسی جایگاه بسیار مهمی به خود اختصاص داد و نام وی را جاودانه ساخت .

از زمانی که نقشه های پیشرفته ی زمین تهیه شد ، این فکر قوت گرفت که قاره ها ، به ویژه آمریکای جنوبی وآفریقا مثل قطعات یک بشقاب چینی شکسته با یکدیگر جور می شوند . اما، این فکر اشتقاق از اهمیت چندانی برخوردار نبود . تا اینکه آلفرد وگنر، هوا شناس و ژئو فیزیکدان آلمانی درسال1915، سخنرانی قبلی خود در سال 1912 را پس از تکمیل در کتابی به نام خاستگاه قاره ها و اقیانوسها منتشر ساخت. در این رساله ، وگنر نظریه انقلابی خود یعنی **اشتقاق قاره ها** را طرح ریزی کرد . بنـا به عقیده وی زمانی ابر قاره پانگه آ به معنای "تمام سرزمین ها" به صورت خشکی یک پارچه وجود داشته است. وی چنین استدلال کرد که در حدود 200 میلیون سال قبل ، این ابر قاره آغاز به شکافتن کرد و قاره های کوچکتری را پدید آورد که بعداً هریک به محـــل کنونی خود رانده شدند . او برای اثبات ادعای خود به جمع آوری مدارک مشغول شد. انطباق آمریکای جنوبی و آفریقا ، تشابه آب وهوایـــی دیرینه ، شواهد فسیل شناسی و ساختارهای سنگی همه حاکی ازآن بودند که زمانی این خشکی هـا به یکدیگر متصل بوده اند.

مناظرهٔ بزرگ

نظریات وگنر تا سال 1924 که کتاب او به انگلیسی ترجمه شد مورد انتقاد زیادی قرار نگرفت. از این تاریخ به بعد تا هنگام مرگ او در سال 1930 ، نظریه اشتقاق قاره ها آماج انتقادات شدید گشت . در این میان یکی از زمین شناسان عالی رتبه آمریکا به نام **چمبرلین** اظهار داشت :« به طور کلی نظریه پایه واساس محکمی ندارد . چون زمین را بسیار آزاد انگاشته، نسبت به نظریه های رقیب کمتر آن را با قوانین و حقایق وفق داده است. جاذبه آن در این حقیقت نهفته که او چیز هایی را در نظر گرفته که قانونی بر آن حکم فرما نیست .»

مهترین اعتراضی که به نظریه ی وگنر وارد شد، عدم توانایی او در ارائه مکانیزمی برای اشتقاق قاره ها بود . وگنر دو منبع انرژی ممکن برای اشتقاق قاره ها ارائه کرد . یکی از اینها نیروی جزر و مد ماه بود که به نظر وگنر دارای قدرت کافی برای حرکت قاره ها به طرف غرب بود . اما دیری نپایید که هارولد جفریز فیزکدان **ب**رجسته هم عصر او ، این نظر را رد کرد و اظهار دا شت که چنین نیرویی که بتواند بر اصطکاک قاره ها غلبه کرده ، آنها را جا به جا کند ، می تواند در عرض چند سال سرعت دوران زمین را نصف نماید . به علاوه ، وگنر اظهار نمود :" همچنان که کشتی یخ شکن یخ را می شکند ، قاره های بزرگتر و سسبکتر نیز از محل پوسته اقیانوسی شکسته میشوند . " اما شواهدی وجود نداشت تا نشان دهد که کف اقیانوس به قدر کافی ضعیف بوده تا اجازه دهد قاره ها جا بجا شوند ، بی آنکه خود تغییر شکل زیادی را متحمل شوند . تا سال 1929 از جانب مجامع علمی انتقاد زیادی بر نظریه وگنر وارد شد . با وجود این حملات ، وگنر چاپ چهارم و آخرین چاپ کتاب خود را با حفظ اصول نظریه ی خود و با دلایل بیشتر، به رشته تحریر در آورد. گرچه اکثر معاصران وگنر مخالف نظریات وی بودند و حتی بعضی از آنها او را مسخره می کردند ، اما تعداد کمی از زمین شناسان نظریه ی وی را تحسین انگیز خواندند. برای آن دسته از زمین شناسان که پیرامون این مسئله تحقیق می کردند ، **نظریه حرکت قاره ها** برای حل مسا ئلی که تا آن زمان لا ینحل بود، قابل استفاده می نمود.

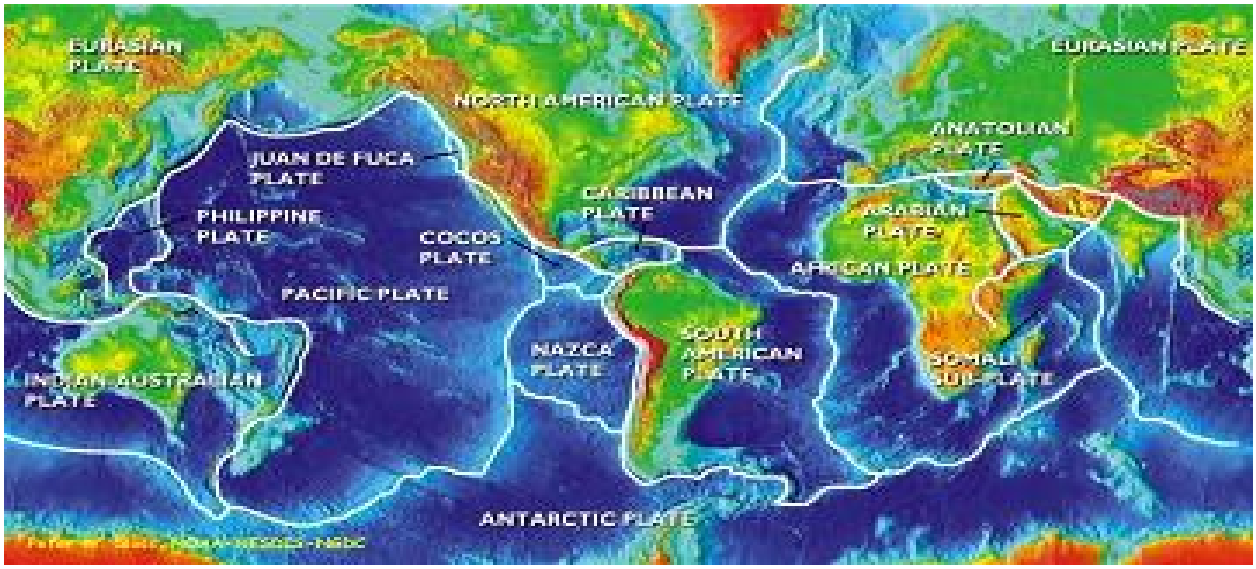
شکل جدید یک نظریه ی قدیمی

در پی ارائه نظریه ی وگنر و در طول سال های پس از مرگ وی ، پیشرفت های علم و تکنولوژی ، امکان مطالعه کف اقیانوس ها ، جمع آوری اطلاعات مربوط به فعالیت لرزه ای و میدان مغناطیسی زمین را میسر ساخت. این پیشرفت ها سبب شد که در سال 1968 نظریه ی بسیار جامع تری نسبت به اشتقاق قاره ها و با عنوان **زمین ساخت صفحه ای** مطرح شود . تأثیر این نظریه چنان گسترده است که آن را می توان به صورت چهارچوبی در نظر گرفت و اکثر فرایند های زمین شناسی را از دیدگاه آن نگریست . چون این موضوع نسبتاً تازه است ، لذا با به دست آمدن اطلاعات کافی مسلماً دچار تغییر و تحول خواهد شد . هر چند اصول آن معتبر و پا بر جاست .

د) **نظریه تکتونیک صفحه ای** Plate Tectonics : لیتوسفر زمین متشکل از 6 صفحه اصلی صلب بوده که خود به صفحات کوچکتری تقسیم می شوند که فصل مشترک این صفحات براثر فشار وارد به یکدیگر کانون زلزله می باشند. و مرزهای آن می تواند همگرا ،واگرا و یا لغزشی باشد

طبق نظریه ی زمین ساخت صفحه ای سنگ کره تقریباً از 20 قطعه مستحکم به نام **صفحه** ساخته شده است . در بین این صفحه ها ، صفحه ی اقیانوس آرام از همه بزرگتر است و به استثنای قسمت کوچکی از آمریکای

شمالی که شامل جنوب غربی کالیفرنیا وشبه جزیره باجا است ، تماماً درموقعیت اقیانوسی قرار دارد .ولی بقیه صفحات بزرگ ، هم دارای پوسته قاره ای وهم پوسته اقیانوسی هستند .یعنی مغایر با اصل نظریه ی اشتقاق قاره هاست که می گوید "قاره ها از وسط اقیانوس حرکت می کنند ، نه همراه با کف اقیانوس ." از طرف دیگر ، اکثر صفحات کوچکتر ، از سنگ کره ی اقیانوسی تشکیل یافته اند ، مثل صفحه نازکا که در نزدیکی سواحل آمریکای جنوبی قرار گرفته است.

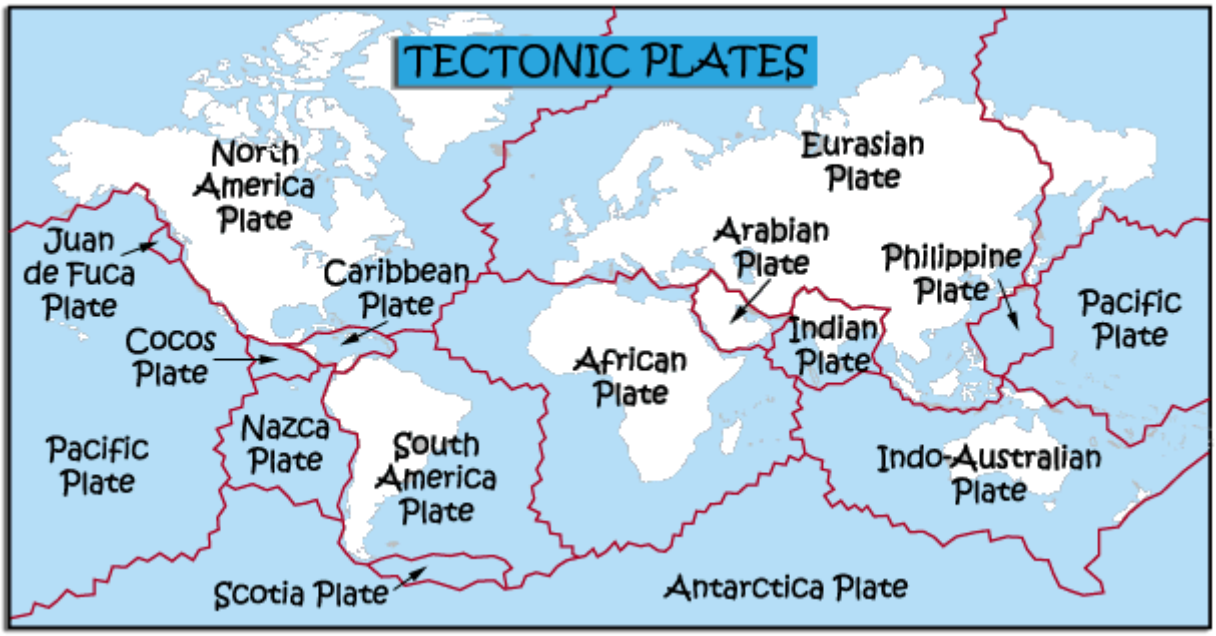


سنگ کره بر روی منطقه ای ضعیف تر ولی داغتر موسوم به سست کره قرار دارد . به این ترتیب که صفحات سنگ کره پوسته ی خارجی سختی هستند که از زیر توسط مواد خمیری شکل سست کره نگهداری می شوند . به نظر میرسد که بین ضخامت صفحات سنگ کره و نوع مواد پوسته ای بالای آنها روابطی وجود دارد. چنانکه صفحات اقیانوسی کمترین ضخامت را داشته و بین 50 تا 100 کیلومتر متغیر اند. در عوض ضخامت قطعات قاره ای 100کیلومتر و در مواردی متجاوز از 150 کیلومتر است.

یکی از اصول نظریه زمینساخت صفحه ای آن است که هر صفحه نسبت به صفحات دیگر به صورت یک واحد مستقل حرکت می کند . تصور میشود که علت حرکت پوسته خارجی زمین با طبیعت متحرک و پویای سنگهای سست کره در ارتباط باشد. به هنگام حرکت صفحات ، فاصله دو شهر موجود بر روی یک صفحه مثلاً نیویورک و دنور ثابت می ماند، حال آنکه فاصله ی دو شهری که بر روی دو صفحه ی مجزا قرار دارند، مثل نیویورک و لندن ، مرتباً تغییر میکند. چون هر صفحه به صورت واحد جداگانه ای حرکت میکند ، لذا تمام عکس العمل هایِ مهمِ بینِ صفحه ای در طولِ مرزِ صفحات اتفاق می افتد. به این ترتیب ، اکثر فعالیت های لرزه ای مهم ، آتشفشانی و کوهزایی در این حاشیه های پر تحرک رخ می دهد.

در ادامه به بررسی شواهدی که وگنر و دیگر دانشمندان برای تایید نظریه ی تکتونیک صفحات به کار بردند، می پردازیم : 1 . انطباق قاره ها 2 . شواهد آب و هوای دیرینه 3 . شواهد فسیل شناسی 4 . پارینه مغناطیس 5 . سرگردانی قطب ها 6 . شواهد حاصل از حفاری کف اقیانوس ها

انطباق قاره ها وگنر همانند معدود افراد پیش از خود وقتی مشابهت زیاد قاره های دو طرف اقیانوس اطلس را مشاهده کرد ، به این فکر افتاد که این قاره ها زمانی به یکدیگر متصل بوده اند . اما تلاش او در بکار گیری خطوط ساحلی امروزی بلا فاصله توسط دانشمندان دیگر مورد انتقاد قرار گرفت . آنها اظهار داشتند که خطوط ساحلی پیوسته فرسایش و تغییر شکل می یابند و اگر جابه جایی ای هم صورت گرفته باشد ، مطابقت کامل امروزی آنها امکان پذیر نیست ، ظاهرا" وگنر ازاین امر آگاه بود ، در واقع او قاره هارا به طور ناقص به هم وصل می کرد. .بهترین مرز قاره ها در محل لبه رو به دریای سکوی قاره ای است . امروزه لبه سکوی قاره چند صد متر زیر سطح دریاست . نقشه ای که ادوارد بولارد و همکارانش در سال 1965 به کمک کامپیوتر تهیه کردند، قاره ها را از عمق 900متری کنارهم قرار می داد .گر چه قاره ها در چندین نقطه روی یکدیگر را می پوشانند ، اما اینها نقاطی هستند که در آنها رودخانه ها حجم زیادی رسوب ازخود بجا می گذارند و قاره هارا بزرگتر می نمایند. تطابق کلی که توسط بولارد و همکاران وی صورت گرفت ، بهتر از آن بود که حتی طرفداران اشتقاق قاره ها تصور می کردند.



شواهد آب وهوای دیرینه

آلفرد وگنر متخصص رشته ی آب و هوا شناسی بود . وی علاقه داشت تا از داده های آب و هواشناسی دیرینه (آب و هوای گذشته) درجهت تأئید نظریه اشتقاق قاره ها استفاده کند .زحمات او با پیدا کردن شواهدی برای تغییرات ناگهانی آب و هوا جبران شد. برای مثال: نهشته های یخزاری نشان می دهد که تقریباً در اواخر دوران پالئو زوئیک (بین 220 و 300 میلیون سال پیش) لایه های یخ ناحیه بزرگی از نیمکره ی جنوبی را پوشانده بود . لایه هایی از تیل یخزاری (رسوب یخزاری) درقسمت جنوبی آفریقا ، آمریکا ی جنوبی وهندوستان و استرالیا پیدا شده که در زیر این لایه ها سنگ بستر مختط و شیار داری قرار دارد که حاکی ازآن است که یخ از دریا به طرف خشکی حرکت کرده است . زمین هایی که در آنها شواهدی از یخ بندان اواخر دوران

پالئوزوئیک پسین وجود دارد ، امروزه بین خط استوا و عرض جغرافیایی 30 درجه و در شرایط آب و هوایی نیمه استوایی یا استوایی قرار دارند . آیا در گذشته ، زمین دوره های بسیار سردی را پشت سر گذاشته ، به طوری که در نواحی استوایی امروزی یخزارهای قاره ای گسترده ای را از خود به جا نهاده است؟ وگنر این استدلال را رد کرد . زیرا در پالئوزوئیک پسین باتلاق های بزرگی در نیمکره ی شمالی وجود داشته است . این باتلاق ها با محتویات گیاهی خود مهمترین میدان های ذغال سنگ شرق ایالات متحده ، اروپا و سیبری را به وجود آورده است .سنگواره های به دست آمده از این میدان های ذغالسنگی ، حاکی از آن است که سرخس های درختی به وجود آورنده ی نهشته های ذغالی به نواحی استوایی تعلق داشته اند . چون برگ و ساقهٔ آنها پهن و تنهٔ آنها فاقد حلقه های رشد بود . وگنر معتقد بود که استدلال بهتر برای این رژیم آب و هوایی دیرینه هنگامی صورت پذیر است که قاره ها به صورت یک ابرقاره کنار هم در نظر گرفته شوند. به طوری که آفریقای جنوبی با قطب جنوب تطبیق کند. در چنین شرایطی حجم زیادی از یخ قسمت اعظم نیمکره جنوبی را پوشانده . در همان زمان خشکی های شمال نزدیک خط استوا بودند و این امر موجب تشکیل نهشته های گسترده ذغالسنگی شده بود . وگنر چنان به درستی تفسیرش اطمینان داشت که نوشت:« این شواهد آنچنان قوی است که سایر معیار ها در مقایسه با آن در درجه ی دوم اهمیت قرار می گیرند .»

- چگونه ممکن است یخ در منطقه ی گرم و خشکی چون استرالیا توسعه یابد؟
- چگونه جانوران خشکی از گستره ی عریض دریا عبور نموده اند؟

با وجود این که این شواهد بسیار مستند و قوی بودند ، پنجاه سال طول کشید تا بسیاری از جوامع علمی آنها را بپذیرند و نتایج علمی حاصل از آنها را به کار برند.

شواهد فسیل شناسی

گر چه وگنر مسحور تشابه بارز خطوط ساحلی دو طرف اقیا نوس اطلس شد ، اما وی ابتدا تصور می کرد که نظریه ی زمینی پویا نامحتمل است. تا اینکه مقاله ای یافت که در آن به کمک شواهد فسیل شناسی وجود یک راه خشکی بین آمریکای جنوبی و افریقا را تایید می کرد . با مطالعه ی نوشتارهای مختلف، وگنر دریافت که به عقیده اکثر دیرینه شناسان باید نوعی راه ارتباطی وجود داشته باشد تا وجودسنگواره های مشابه بین این دو قاره ی دور از هم را توجیه کند. وگنر جهت اعتبار بخشیدن به ادعای خود در مورد وجود ابرقاره ی پانگه آ به بعضی از سنگواره های موجودات مختلف استناد می جست که روی قاره های مختلف یافت می شوند . ولی این موجودات نمی توانسته اند از اقیانوس وسیع امروزی بین آنها عبور نمایند . در این میان موجوداتی بیشتر مورد توجه اند که پراکندگی آنها به ناحیه ی جغرافیایی خاص محدود بوده اما امروز آنها را در دوناحیه یا بیشتر که به وسیله مانعی بزرگ از هم جدا شده اند می بینیم . از بهترین نمونه ها نوعی خزنده ی آبی به نام مزوزوروس است که سنگواره آن محدود به قسمت های شرقی آمریکای جنوبی و جنوب آفریقاست . اگر مزوزوروس قادر به شنا و گذشتن از این اقیانوس پهناور بود، می بایستی بقایای آن بسیار گسترده تر می بود ، اما چنین نیست .
وگنر با توجه به این شواهد، استدلال کرد که این دوقاره زمانی به یکدیگر متصل بوده اند.

وگنر همچنین انتشار و پراکندگی سنگواره ی سرخس گلوسوپتریس را به عنوان دلیل وجود پانگه آذکر میکند .زیرا این گیاه گسترش قابل توجهی درآفریقا ، استرالیا ، هندوستان و آمریکای جنوبی دارد. وگنر به خوبی می دانست که این سرخس ها دانه دار و گیاهان همراه آن فقط در آب و هوای نیمه استوایی رشد میکنند. بنا بر این او نتیجه گیری کرد که این خشکی ها باید به یکدیگر متصل بوده باشند. به علاوه این مناطق امروزه دارای آب و هوای آنچنان متفاوتی هستند که چنین گیاهانی نمی توانند در آن رشد کنند . سنگواره ها وگنر را متقاعد ساختند که چنین ابر قاره ای وجود داشته است. چگونه این سنگواره های گیاهی و جانوری میتوانند مشابه هم باشند در حالی که اقیانوسی به وسعت چندین هزار کیلومتر بین آنها وجود دارد؟

نظریه ای که بیانگر وجود پل هایی از خشکی به نام باریکهٔ ایستمین بود ، به طور گسترده ای برای توجیه مسئلهٔ مهاجرت پذیرفته شده بود . به عنوان مثال میدانیم که طی دورهٔ یخبندان اخیر ، پایین رفتن سطح دریا به جانوران فرصت داد تا از تنگهٔ باریک برینگ بین آسیا وآمریکای شمالی عبور کنند . آیا امکان داشت که چنین تنگه ای آفریقا و آمریکای جنوبی را نیز به هم متصل کرده باشد ؟ امروزه کاملاً مطمئن هستیم که پلهایی از خشکی در چنین مقیاسی وجود نداشته است ، اگر چنین بود باید بقایای آنها هنوز در زیر دریا باقی مانده باشد . اما چنین چیزی در هیچ کجا یافت نمی شود .

زمین ساخت صفحه ای و پارینه مغناطیس

شاید یکی ازمهمترین شواهدی که مجامع زمین شناسی را در قبول نظریه ی زمینساخت صفحه ای متقاعد کرده است ، مطالعه میدان مغناطیسی زمین باشد . اشخاصی که برای یافتن جهت از قطب نما استفاده کرده اند به خوبی می دانند که زمین دارای یک قطب شمال و یک قطب جنوب است . قطب های مغناطیسی به قطب های جغرافیایی بسیار نزدیک بوده ولی روی آن قرار نمی گیرند . میدان مغناطیسی زمین ازبسیاری جهات شبیه میدان یک آهنربای مغناطیسی است . خطوط غیر قابل رؤیت نیرو از میان زمین عبور کرده و از یک قطب به قطب دیگر امتداد می یابند . عقربه ی قطب نما نیز مغناطیسی است . این عقربه آزادانه حرکت می کند و در امتداد خطوط نیرو قرار گرفته ، قطب های مغناطیسی رانشان می دهد .

تکنیکی که برای مطالعه ی میدان مغناطیسی به کار رفته بر این حقیقت استوار است که بعضی ازسنگها دارای کانیهایی هستند که مثل یک قطب نمای فسیل عمل می کنند. کانیهای قوی آهن مانند مگنتیت درگدازه هایی با ترکیب بازالتی فراوان هستند . وقتی این کانی ها تا درجه حرارت معینی که نقطه ی کوری (curie point) نامیده می شود،گرم شوند ، خاصیت مغناطیسی خود را ازدست می دهند . اما ، اگر دانه های قوی از آهن درحرارتی کمتر از نقطه ی کوری (حدود 580درجه سانتی گراد) سرد شوند در امتدادی به موازات میدان مغناطیسی موجود خاصیت مغناطیسی پیدا می کنند . وقتی کانیها جامد می شوند ، خاصیت مغناطیسی آنها به همان صورت باقی می ماند . به همین جهت آنها مثل یک عقربه ی قطب نما عمل کرده و جهت قطبها ی مغناطیسی زمان تشکیل خودرا نشان می دهند . اگر سنگ ازجای خود حرکت کند یا قطب مغناطیسی زمین عوض شود در بسیاری از موارد مغناطیس سنگها امتداد خود را حفظ می کنند . سنگهایی که هزاران یا میلیونها

سال پیش تشکیل شده اند ، امتداد مغناطیسی زمان تشکیل خود را حفظ می کنند و گفته می شود که دارای خاصیت مغناطیس سنگواره ای یا **پارینه مغناطیس**(paleomagnetism) هستند .

سرگردانی قطب ها

مطالعه ی جریان های گدازه ای در اروپا در دهه ی 1950 منجر به کشف جالبی شد. امتداد مغناطیسی کانی های غنی از آهن موجود در گدازه های دارای سن های متفاوت، تغییرات زیادی را نشان می داد. ترسیم موقعیت مغناطیسی قطب شمال در گذر زمان نشان می دهد که موقعیت این قطب در 500 میلیون سال گذشته از نقطه ای نزدیک هاوایی به طرف قسمت های شرقی سیبری و از آن جا به محل فعلی خود حرکت کرده است. این موضوع به خوبی روشن می سازد که یا قطب های مغناطیسی در گذر زمان مهاجرت نموده اند، یعنی نظریه ای که سرگردانی قطب ها (polar wandering) نامیده می شود و یا این که قاره ها جا به جا شده اند. گرچه معلوم شده است که قطب های مغناطیسی در حال حرکتند، اما بررسی میدان مغناطیسی حاکی از این است که میانگین موقعیت قطب های مغناطیسی بر قطب های جغرافیایی منطبق میشود. این امر با دانسته های بشر در مورد میدان مغناطیسی زمین که بخشی از آن بر اثر چرخش به دور خود ایجاد می شود تطبیق می کند. اگر قطب های جغرافیایی به طور قابل ملاحظه جا به جا نشده باشندکه این واقعیت قابل قبول به نظر می رسد.

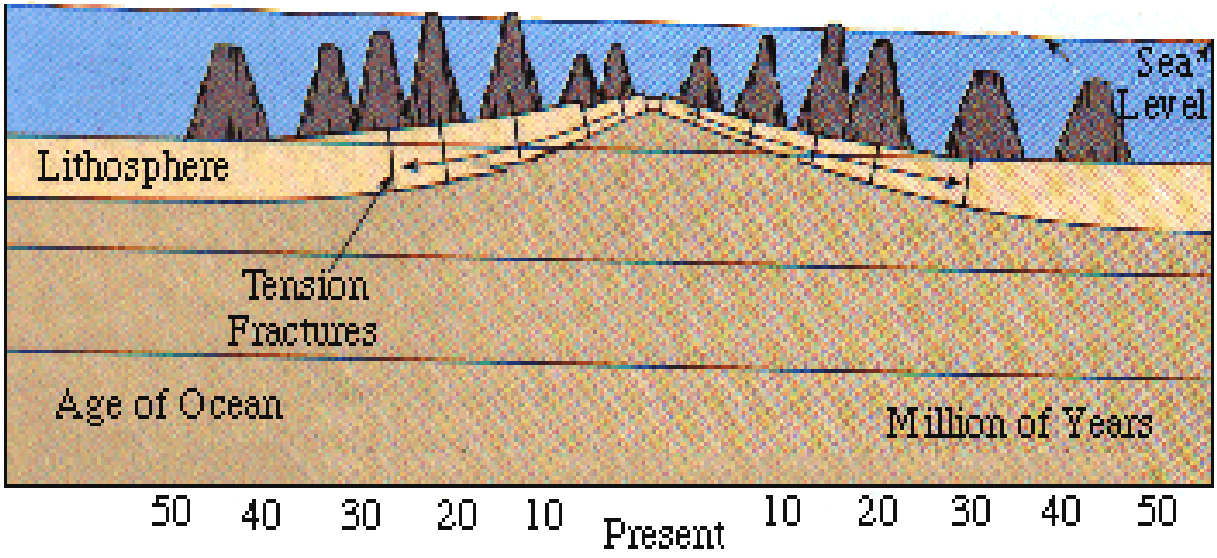
لذا قطب های مغناطیسی هم نمی توانند در حرکت باشند. بنا براین نظریه زمینساخت صفحه ای توجیه قابل قبول تری برای سرگردانی قطب ها به دست می دهد.

اگر قطب های مغناطیسی ساکن باشند ، حرکت ظاهری آن ها بر اثر حرکت قاره ها حاصل می شود. شواهد بیشتر برای زمین ساخت صفحه ای هنگامی به دست آمد که منحنی سرگردانی قطبی در مورد آمریکای شمالی باز سازی شد. جالب اینکه منحنی های حاصل برای آمریکای شمالی و اروپا مسیر مشابهی را نشان می داد . با این تفاوت که آن ها در حدود 30 درجه طول جغرافیایی از یکدیگر جدا بودند. آیا دو قطب شمال مغناطیسی وجود داشته است ؟ این موضوع صحت ندارد . اما اگر این دو قاره ی جدا از یکدیگر را همانند وضعیتی که قبل از پیدایش اقیانوس اطلس داشته اند ، کنار هم قرار دهیم این تفاوت از بین می رود .

شواهد حاصل از حفاری کف اقیانوس ها

بعضی شواهد قانع کننده تری که نظریه ی زمین ساخت صفحه ای را تأیید کردند، از حفاری هایی حاصل شده که مستقیماً از رسوبات کف اقیانوس به دست آمده است. منبع این اطلاعات مهم پروژه ی حفاری قسمتهای عمیق دریاست که از سال 1968 تا 1983به صورت یک برنامه بین المللی به اجرا درآمد و بودجه ی آن نیز توسط چندین انستیتوی اقیانوس شناسی و بنیاد ملی علوم تأمین شده بود. مهم ترین هدف این پروژه جمع آوری اطلاعات دست اول در مورد سن حوضه های اقیانوسی و بررسی نحوه تشکیل حوضه ی اقیانوسی بود. پژوهشگران احساس کردند که پیش بینی های مربوط به گسترش کف اقیانوس ها که بر پایه ی اطلاعات پارینه مغناطیسی استوار بود ، به خوبی می تواند به وسیله ی نمونه برداری مستقیم از رسوبات کف حوضه های ژرف اقیانوسی به تأیید برسند. بدین منظور کشتی حفاری جدیدی به نام گلومرچلنجر (Glomer challenger) ساخته شد.گلومر چلنجر بسیار پیشرفته بود. زیرا این کشتی قادر بود که لوله های حفاری را تا هزاران متر به

پایین و کف اقیانوس برساند و صدها متر از رسوبات کف اقیانوس و پوسته ی بازالتی زیر آن را حفاری کند . عملیات در ماه اوت 1968 آغاز گردید و در مدت کوتاهی شواهد مهمی در قسمت جنوبی اقیانوس اطلس جمع آوری شد. در چندین محل چاه هایی حفر شد و از تمام ضخامت رسوبات عبور کرد و به پوسته ی بازالتی زیرین رسید. مهمترین هدف نمونه برداری از رسوبات در محلی درست در بالای پوسته ی آذرین، تعیین سن کف دریا در هر ناحیه بود. چون رسوب گذاری بلافاصله پس از تشکیل پوسته اقیانوسی آغاز می شود ، لذا قدیمی ترین سنگواره ای که در هر نقطه یافت شود (یعنی آنهایی که درست بر روی لایه ی بازالتی هستند) می تواند برای تعیین سن همان محل به کار رود. وقتی قدیمی ترین سن رسوب هر یک از چاه ها نسبت به فاصله ی آن ها از برآمدگی میان اقیانوسی رسم گردید ، معلوم شد که سن رسوبات با ازدیاد فاصله ی آن ها از بلندی میان اقیانوسی افزایش می یابد. این کشف با فرضیه ی گسترش کف دریاها مطابقت می کرد. زیرا طبق این فرضیه انتظار می رفت که جدیدترین پوسته ی اقیانوسی در محل بلندی میان اقیانوسی و قدیمی ترین پوسته در حاشیه ی قاره ها یافت شود. به علاوه سرعت گسترش کف اقیانوس که براساس سن رسوبات محاسبه شد نزدیک به مقداری بود که قبلاً براساس شواهد مغناطیسی محاسبه شده بود..



اطلاعات حاصل از پروژه ی حفاری کف دریا (Deep Sea Drilling Project) همچنین این فکر را به وجود آورد که حوضه های اقیانوسی از نظر زمین شناسی جوان هستند . زیرا هیچ رسوبی با سن بیش از 160 میلیون سال در آن یافت نشد. در عوض سن بعضی از پوسته های قاره ای بیش از 3/8 میلیارد سال است. ضخامت رسوبات کف اقیانوس نیز دلالت بر گسترش کف دریا ها دارد . کمانه های حفاری گلومر چلنجر نشان داد که ضخامت رسوبات بر روی بلندی میان اقیانوسی تقریباً صفر است و با ازدیاد فاصله از محور بلندی به ضخامت رسوبات افزوده می شود . چون قله ی بلندی میان اقیانوسی جوان تر از قسمت های دورتر از آن است ، لذا چنین وضعی توسط نظریه ی زمینساخت صفحه ای نیز پیش بینی گردیده بود . طی 15 سال 1094 حلقه چاه توسط گلومر چلنجر حفر شد و بیش از 96 کیلومتر مغزه ی ارزشمند بدست آمد. گرچه پروژه ی

حفاری دریاهای ژرف به پایان رسید و گلومر چلنجر بازنشسته شد، اما کار پر اهمیت نمونه گیری کف حوضه های اقیانوسی جهان همچنان ادامه دارد. برنامه ی حفاری اقیانوسی **(**Ocean Drilling Program**)** متعاقب پروژه ی حفاری دریای ژرف آغاز شد و مانند پروژه ی قبلی یک برنامه ی بزرگ بین المللی است.

ه) **نظریه برگشت الاستیک** : صفحات لیتوسفری در مرزشان یا گسلها به آرامی حرکت می کنند که ایجاد تنش و کرنش در سنگهای دو طرف گسل می نماید سنگها و صخره ها در این مرزها تغییر شکل الاستیک داده ییت بوسیله نیروی برشی و اصطکاک ایجاد شده تغییر شکل داده تا جایی که این تنش و کرنش به حدی می رشد که بر مقاومت سنگها و گسلهای دو طرف گسل غلبه می کند. دراین هنگام صخرها با خراش نسبت یه یکدیگر لغزیده وبه طور ناگهانی چابجا می شوند،لفزشمزبور منجربه رها شدن انرژی پتانسیل الاستیک انبارشده درسنگ ها می گرددوبه صورت امواج منتشر می شود،در اثر امواج زمین دجار حرکتهای شدیدی در همه جهات می شود وزلزله اتفاق می افتد. امواج لرزه ای ساطع شده،انرژی آزاد شده راباخود جابجا می کنند. این امواج در مسیر خود اجرا و ساختمانها را حرکت داده و به آنها آسیب وارد می کنند.برطبق این نظریه نیروهای فعالی که سبب تغییر شکل پوسته ی زمین هستند موجب تغییر شکل صفحه ها (خم شدگی ، کشیدگی و فشردگی) ، اصطکاک بین صفحه های برخورد کننده ،گرادیان تفاوت بالای دما و ... می شوند و به طرز قابل توجهی در افزایش تنش نقش دارند این نیروها درقسمت های سطحی که سنگ ها رفتار خمیدگی کمتری از خود نشان میدهند، بتدریج باعث تغییر شکل کشسان سنگ ها می شوند .زمانی که میزان تغییر شکل کشسان از لایه ها ، به حالت اولیه خود باز می گردند، ترک خوردن سنگ معمولاً از نقطه ی کانون شروع و با سرعت حدود 3 کیلومتر بر ثانیه در امتداد صفحه منتشر می شود. به این ترتیب انرژی که به صورت " تنش کشسان " در سنگ ذخیره شده بود بطور ناگهانی آزاد شده و زمین لرزه را ایجاد می نماید.بنابراین حرکت گسل نتیجه جمع شدن تدریجی انرژی الاستیک ناشی از برش ورها شدن ناگهانی تنش مربوط درتوده سنگ است که اصطلاحاً به آن برگشت الاستیک گویند.

گسل عبارت است از سطح ناپیوسته (غالباًمسطح)که 2 مجموعه سنگی را ازهم جدا می کنددر واقع گسل معرف صفحه ای است که درطول آن حرکت زمین رخ می دهدومبدأحرکت زمین دریک زلزله ازآن ناشی می شود.سفحه همه گسلها در سطح پوسته زمین بریده نشده تا با چشم قابل رویت باشند بنابراین بعضی گسلها در سطح زمین اثری از خود ندارند. حرکت گسل مسلماً از یک نقطه شروع می شود ولی آزاد شدن انرژی آن در طول صدها کیلومتر(طول پاره شدگی)رخ می دهد و در صورتی که مقاومت سنگ ها و صخره ها و اتصال بین آنها در محل گسل نسبتاً کم باشد،انرژی الاستیک کمی در اثر تغییر شکل گسل جمع شده و تغییر شکل و انرژی زلزله ایجاد شده کوچک می باشد. عکس این قضیه نیز صادق است.نود درسد زلزله ها در گسلهای مجاور سفحات تکتونیک رخ می دهدو ده درصد دیگر در گسلهایی که در صفحات اصلی قرار دارند رخ می دهند سطوح گسل معمولاً درجهت قائم یا مورب هستند..سرعت گسلها معمولاً 3 تا 10 سانتیمتر در سال می باشد گسلهای در حال حرکت و یا آنهایی که برای مدت زمان کوتاه حرکت نداشته را فعال گویند ممکن است یک گشل فعال

نباشد ولی در هنگام زلزله فعال گردد و به گسلهایی که مدت زمان طولی به عنوان مثال 1000 سال هیچ گونه حرکتی نداشته اند گسل خوابده گویند.

گسل انواع مختلفی دارد1- ساکن 2- نرمال یا کششی و سازنده Normal or Subduction or Constructive که صفحات تکتونیک را ازهم جدا کرده و مرز مشترک آنها را واگرا می کنند 3- معکوس یا فشاری و مخرب Reverse or Thrust or Destructive که صفحات تکتونیک را نزدیک کرده و مرز مشترک آنها راهمگرا می کنند 4- لغزشی- جانبی Strike-Slip که 2 نوع چپگرد وراستگرد دارد. درگسل فشاری کاهش سطح وجود دارد ولی در گسل کششی گسترش سطح داریم.

وجود گسلها را معمولا می توان به طور وضوح در داده ی لرزه ای دید آنها غالبا مطابق با شگستگی و قطع شدن افقی باز تابنده ها به وسیله پراشهای قطع کننده هستند این پراشها را می توان با استفاده از عمل گوج در داده پردازی حذف کرد که باعث تفسیر بهتر محل تقاطع صفحه گسل با لایه ی ها می شود.

گسلهای تبدیل (ترانسفورمانت)

نوعی ازمرز صفحات ، گسل های تبدیل است که در امتداد آنها بی آنکه همچون بلندیهای کف اقیانوس پوسته جدیدی تشکیل شود و یا مانند فرورانش پوسته تخریب حاصل کند، صفحات نسبت به یکدیگرمی لغزند . گسلهای تبدیل تقریباً به موازات جهت حرکت صفحات قرار داشته و ابتدا درجایی که قطعات سیستم بلندیهای میان اقیانوسی به هم متصل می شوند ، قابل تشخیص اند . عملکرد این گسلها اولین بار درسال 1965 توسط **ویلسن** از دانشگاه تورنتو عرضه شد . او اظهار داشت که این گسلهای بزرگ مرزهای همگرا و واگرا را به شبکه ی ممتدی متصل می کند که در مجموع پوسته ی خارجی زمین را به صفحات متعددی تقسیم می نماید . دراین مورد ، گسلهای تبدیل وسیله ای هستند که پوسته ی ساخته شده در محل بلندیهای میان اقیانوسی را انتقال می دهند . به عنوان مثال ، صفحه ی **جوآن _ دو _ فوکا** در جهت جنوب شرقی حرکت نموده و در نهایت به زیر لبه غربی ایالات متحده رانده می شود. انتهای جنوبی این صفحه نسبتاً کوچک به پرتگاه گسلی **مندوسینو** محدود می شود . این مرز گسلی یک مرکز گسترش فعال را به یک منطقه ی فرورانش متصل می کند . بنا براین گسلهای مزبور حرکت مواد پوسته ای که در ستیغ بلندیهای میان اقیا نوسی ایجاد می شود به مقصد آنها واقع درزیر قاره ی آمریکای شمالی را تسهیل می کند . ویلسون این نوع گسلها را به علت آنکه حرکت صفحات در طول آنهاتغییر می کند ویا در امتداد آنها تبدیل می یابد ، **گسلهای تبدیل**(transform faults) می نامد . زیرا همانطور که در مثالهای آینده خواهیم دید حرکت واگرایی یک مرکز گسترش به حرکت همگرایی یک منطقه فرورانش تبدیل می شود .

منشأ و قوع زلزله

زلزله یا منشأ**طبیعی** مثل فورانهای آتشفشانی، فرو ریختن غارهای زیرزمینی ،زمین لرزه های تکتونیکی دارد یا مصنوعی مثل**پرو** خالی کردن مخازن و دریاچه های سدهای بزرگ با طول تاج بیشتر 100 متر،ایجادچاههای بهره برداری و تزریق آب،انفجارات هسته ای و HARP،انفجارات معادن و باربرداری از آنها بصورت برداشتن حجم زیادی از سنگها

1-زلزله های ناشی ازآتشفشان2-زلزله های فروریختگی3-زلزله ناشی از انفجار4-زلزله های ناشی از اتساع سنگهای درونی زمین 5-زلزله های توخته یا القایی یا واداری6-زلزله های تکتونیکی7-زلزله های اقیانوسی 8-زلزله غیر تکتونیک براثر ریزش کوهها یا فروریختن غارها و فعالیتهای آتشفشانی و انسانی چون زمین لرزه های القایی ، ناشی از رویدادهای کنترل شده ، ساخت سد و انفجارات هسته ای می باشد.

قاره ها ، نظریه ای فراتر از زمان خود

فرضیه های پیش بینی درازمدت زمین لرزه

1-توجه به فاصله بازگشت یا پریود و احتمال وقوع

2- پیگیری تغییر شکل های زمین از طریق اندازه گیری میزان جابه جایی زمین در طول یک گسل

3- فرضیه شکاف لرزه ای

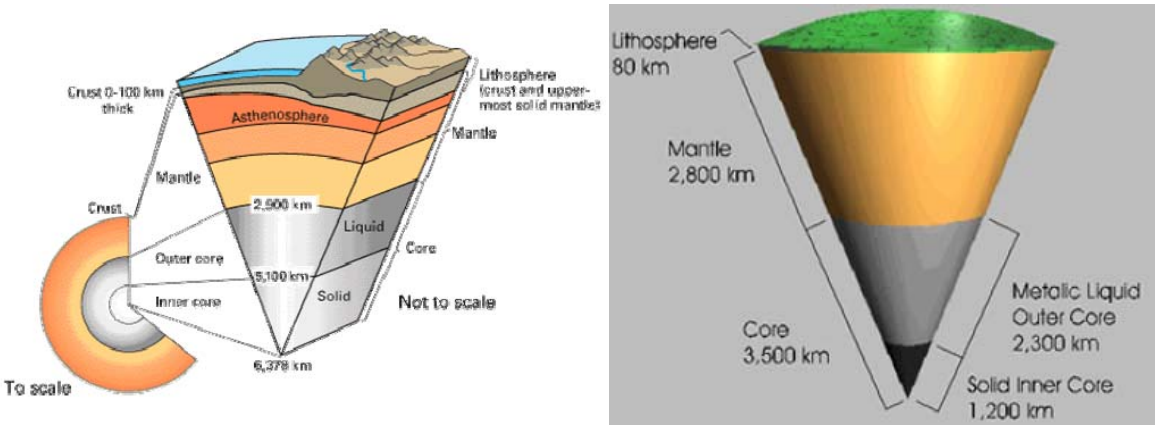
زلزله های بزرگ گرایش دارند که به دلیل شکاف لرزه ای هر بار در مکان مشابهی رخ دهند

4- یافتن گسل های جدید: گسل ها در چشم انداز منطقه برجستگی های مستقیم طولانی ای تشکیل می دهند که می توانند توپوگرافی محلی و زهکشی طبیعی را تغییر دهند. بنابراین آنها زمین هایی اعوجاج یافته و دریاچه و حوضچه هایی تشکیل شده از انحنای زمین به سمت پایین به جای می گذارند. آنها می توانند محل ظهور چشمه ها باشند و به خاطر زهکشی طبیعی اغلب در طول مسیرشان از پوشش گیاهی انبوهی پوشیده شده اند. گسل ها را می توان به وسیله بررسی های انعکاس امواج شناسایی کرد، که از طریق ثبت امواج انعکاس یافته که یک شوک انفجاری از حد مرزهای لایه های پوسته زمین انجام می شود.

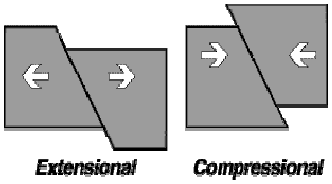
صخره های موجود در طول خطوط گسل گاه به گاه به علت زلزله ها متلاشی می شوند. همه یخچال ها و نهرها در طول شکاف های حاصل به راه می افتند و ممکن است دره های بزرگی در طول یک گسل پوسته زمین به وجود آید.

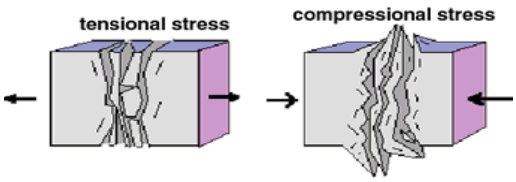
هنگام وقوع زلزله خصوصیات ارتعاشی هر یک از نقاط زمین تابع عوامل مختلفی به شرح زیر است

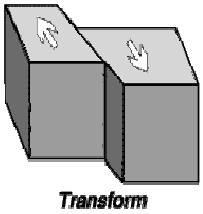
1-بزرگای زلزله 2-فاصله منطقه از مرکز رها شدن انرژی 3-خصوصیات زمین شناختی(اثرساختگاه)

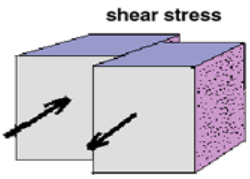


لایه های مختلف زمین

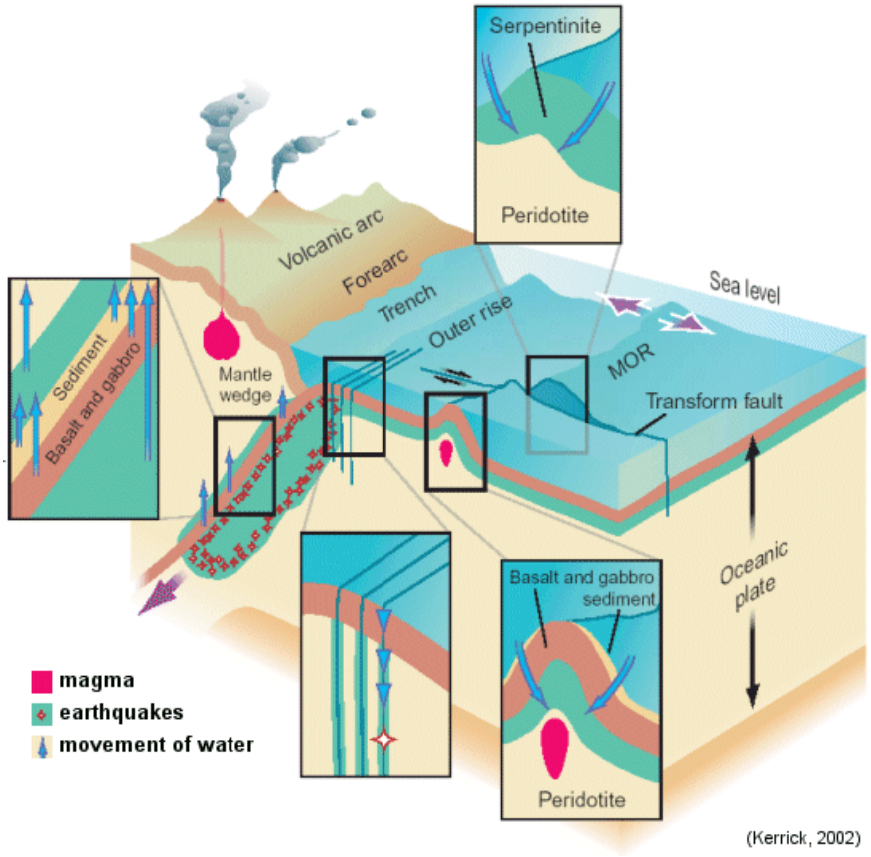


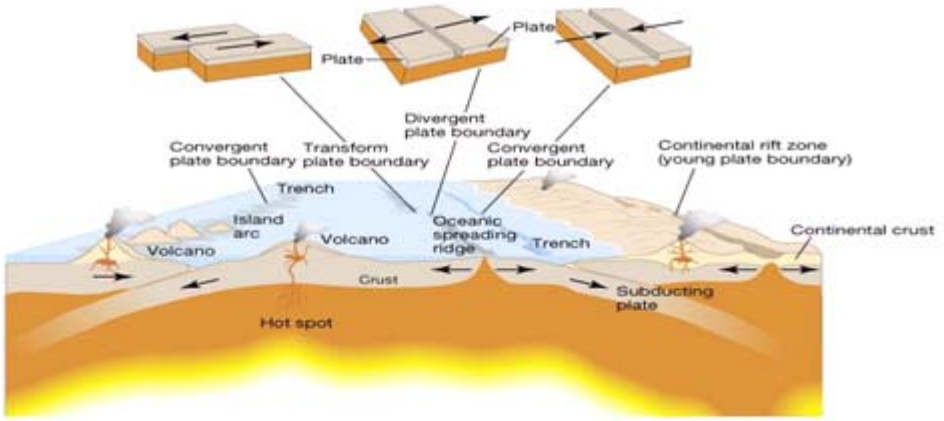




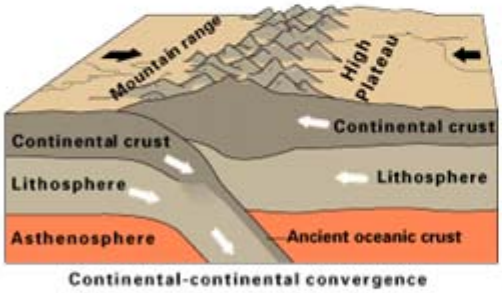


پدیده های همراه زلزله 1- تسونامی یآ موج بندر یا آبرانش 2- روانگرایی 3- گشبش 4- زمین لغزش و . . . را می توان نام برد

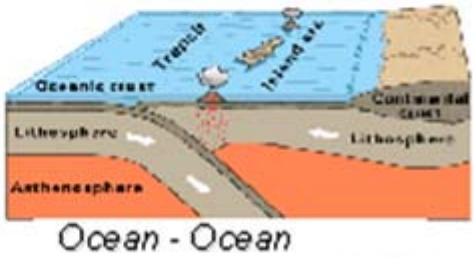




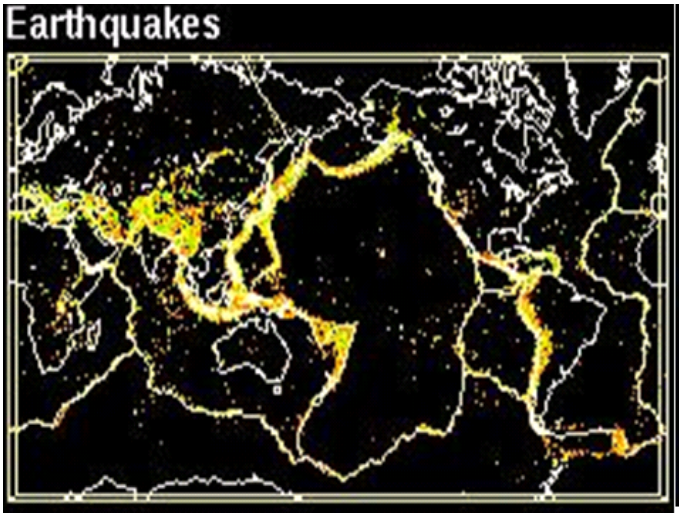
همگرایی اقیانوسی - قاره ای

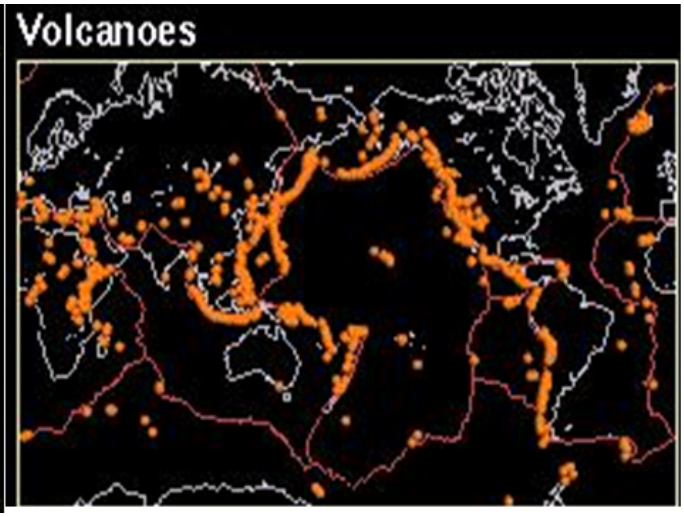


همگرایی قاره ای - قاره ای



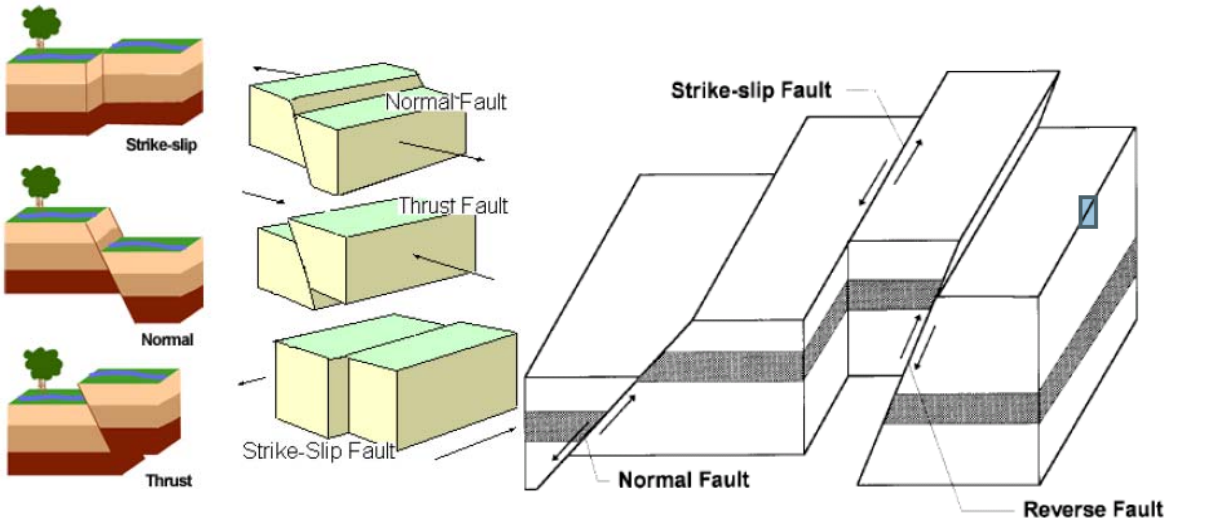
همگرایی اقیانوسی - اقیانوسی

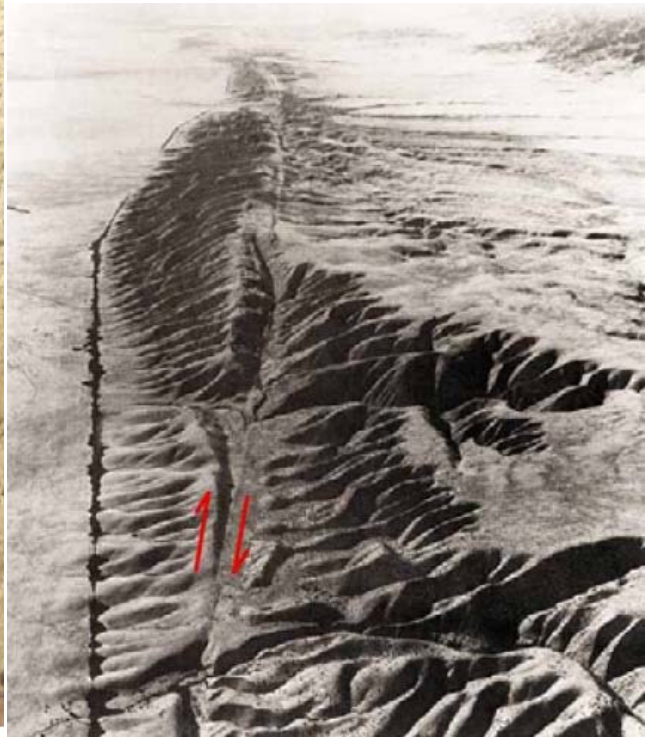




کمربند زلزله

1- نوار محیط اقیانوس آرام 2-نوارآلپاید 3-نوار وسط اقیانوساطلس

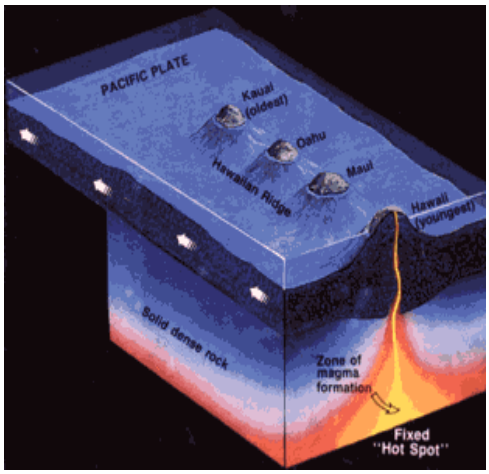


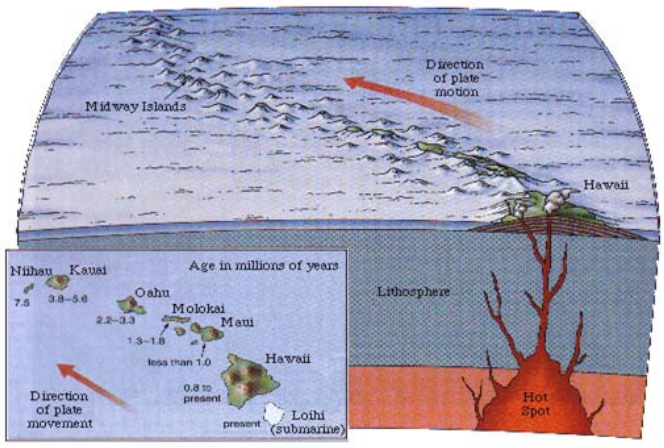


نقاط داغ

نقشه برداری برآمدگی های زیر آبی اقیانوس آرام زنجیره ای از ساختمان های آتشفشانی را آشکار ساخته است که از جزایر هاوایی تا جزایر میدوی و از آن جا به سمت شمال و به طرف دراز گودال آلئوسین ادامه دارد . سن تعدادی از آتشفشان های این زنجیره با روش پتاسیم - آرگون تعیین شده و نشان می دهد که سن این آتشفشان ها با ازدیاد فاصله ی آن ها از هاوایی بیشتر می شود. پژوهش های انجام شده نشان می دهد که نقاط داغی (hot spots)در گوشته وجود دارد که از آن ها ماگما تا کف دریا بالا می آید . بر اساس نظریه های موجود ، هنگامی که صفحه ی اقیانوس آرام از روی نقاط داغ عبور کرده، ساختمان های آتشفشانی پی در پی

سر از آب بیرون آوردند. سن هر یک از آتشفشان ها حاکی از زمانی است که این محل ها روی نقاط داغی قرار داشته اند.





کایویی قدیمی ترین جزیره ی بزرگ مجمع الجزایر زنجیره ای هاوایی است و 5 میلیون سال پیش وقتی این محل روی نقطه ی داغ قرار داشت ، کایویی تنها جزیره ی موجود در هاوایی بود. وجود قله های فرو ریخته و دره های عریض در آتشفشان های خاموش از شواهد قابل رؤیت سن کایویی به حساب می آیند. در عوض نشیب های دامنه ی جنوبی جزایر هاوایی از گدازه های تازه ای ساخته شده و دو آتشفشان هاوایی مونالوآ و کیلوئه نیز هنوز فعال هستند . شواهد موجود نشان می دهد که دسته ای از آتشفشان های جدید کمی دورتر از سواحل هاوایی در حال شکل گیری اند . از نظر زمین شناسی طولی نخواهد کشید که جزیره ی دیگری به زنجیره ی هاوایی افزوده شود.

دو گروه جزیره به موازات زنجیره ی کوه های دریایی امپراتور جزیره ی هاوایی قرار دارند. جزایر گروه اول شامل توآموتو و لاین و گروه دوم شامل جزایر استرال گیلبرت و مارشال هستند. در هر دو حالت جدیدترین فعالیت آتشفشانی در انتهای جنوب شرقی زنجیره رخ داده و به طرف شمال غربی جزایر به تدریج مسن تر می شوند. همچنین مثل زنجیره ی کوه های دریای امپراتور این ساختمان های آتشفشانی ظاهراً بر اثر همان حرکت صفحه ی اقیانوس آرام بر روی نقطه ی داغ ثابتی ایجاد شده اند. در حقیقت این شواهد نشان می دهند که صفحات نسبت به قسمت های داخلی زمین در حرکتند و می توان با استفاده از آثار نقاط داغ جهت حرکت یک صفحه را ردیابی کرد.

با آنکه وجود نقاط داغ به خوبی محرزشده است ، اما هنوز طبیعت واقعی آن ها و نقش آن ها در زمینساخت صفحه ای به خوبی روشن نشده است. ظاهراً نقاط داغ نواحی به شدت گرمی هستند که در داخل گوشته ی زمین یافت می شوند . در این نقاط دمای زیاد سبب بالا آمدن سنگ های مذاب و بروز فوران های پی در پی آتشفشان ها در سطح زمین می شود. بسیاری از شواهد حاکی از آن است که نقاط داغ حالت سکون دارند . اما بعضی از آن ها نیز حرکاتی را نشان می دهند . از میان 50 تا 120 نقطه ی داغ موجود در زمین حدود 20 عدد در مرز صفحات قرار دارند .در حالی که بقیه در مرز صفحات قرار ندارند.

باز هم آوری قاره ها:

موضوع جفت سازی وبه هم رساندن مجدد قاره ها عیناً به همان حالت که در دوران دیرین وجود داشته است ، ازجمله مسائلی است که توجه بیشتر زمین شناسان را به خود مشغول ساخته ودر تهیه مدل بازهم آوری شده خشکی های زمین تلاش فراوان به کار رفته است . با وجودی که بین مدل های گوناگونی که دانشمندان مختلف تهیه کرده اند، تفاوت های نسبتاً چشمگیری وجود دارد ، مواردی نیز موجود است که همگی نسبت به آنها اتفاق نظر داشته و اختلاف ها راجزیی و نا چیز شمرده اند . به طور مثال کلیه زمین شناسان در این که آمریکای شمالی و گرینلند بایستی در غرب اروپا جایگزین گردند و آفریقا و آمریکای جنوبی نیز باید درکنار هم قرار داده شوند ، هماهنگی کامل دارند و معتقدند که مجموعه ی خشکی های مزبور که ابر قاره ی **هورسیا** نام دارد ، به وسیله ی کمربند متحرک آلپ-هیمالیا از ابر قاره ی **گنداوانا** جدا می گردد.

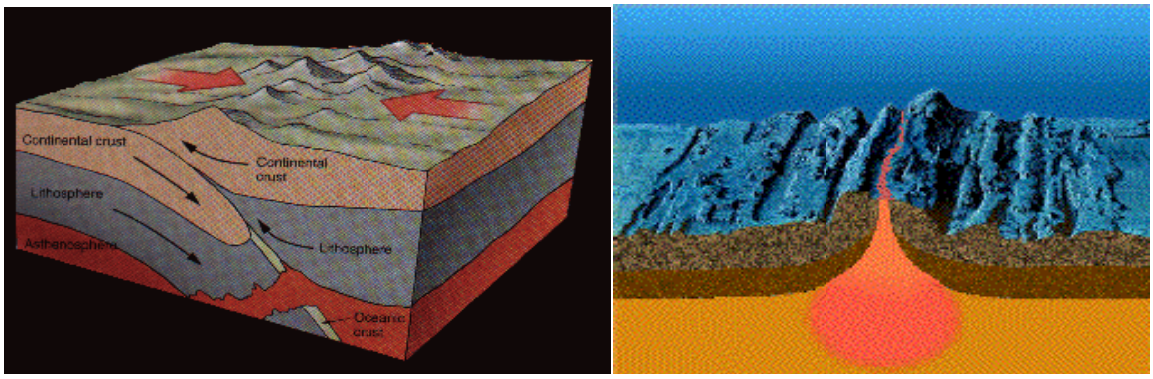
درجنوب زنجیره ی آلپ ، قاره ی آفریقا قرار دارد که از غرب به آمریکای جنوبی می پیوندد و قاره های استرالیا جنوب آن و شبه جزیره ی هندوستان در شرق آن جای می گیرند. غالب زمین شناسان از کنار هم چیدن سرزمین ها ابر قاره ای به نام **گندوانا** را که دراواخردوره ی پیش کامبرین وجود داشته بازسازی کرده اند . در نواحی مدیترانه ، هیمالیا و نیزآمریکای مرکزی آثاری به دست آمده که موجودیت قبلی چنین ابر قاره ای را تایید می نماید.به نظر می رسد حدود 200میلیون سال پیش از اتصال **اوراسیا** و **گندوانا** ابر قاره ی بزرگتری که **پانگه آ** نام داشته پدید آمده است. در اواخر دوران دیرین دوابر قاره ی اوراسیا وگندوانا که به ویژه در حدود آفریقای شمالی و نواحی شمالی آمریکای جنوبی و کرانه های شرقی آمریکای شمالی با یکدیگر مشترک بوده اند ، به مرور از هم فاصله گرفته اند و دریای پهناوری به نام دریای **تتیس** جای آن را پر کرده است و میلیون ها سال به همین وضعیت باقی بوده. اگر کیفیت پراکندگی قاره های قدیم را در اواخر دوران پیش کامبرین و اوایل دوران دیرین زیوی در نظر بگیریم ، در خواهیم یافت که قاعدتاً بایستی بین آنها پهن آب های کوچکی وجود می داشته و خود نیز مجمو عاً درمیان اقیانوس عظیمی قرار گرفته باشند . به عبارت دیگر درآن روزگار اقیانوس بسیار پهناوری سراسر کره ی زمین را می پوشانیده که خشکی ها در گوشه ای از آن جای داشته اند.

تحقیقات نشان می دهد که ابر قاره ی گندوانا در آغاز دوران دیرین زیوی ، به صورت یک واحد سرزمینی مستقل که دیگر هیچ گونه پیوندی با ابر قاره ی اوراسیا نداشته به موجودیت خود ادامه می داده است . هم چنین نتایج حاصله از مغناطیس دیرین گواه بر این است که سیبری طی دوران دیرین زیوی هیچ گونه ارتباطی با قاره ی اروپا نداشته و کاملاً از آن جدا بوده است . این وضعیت تا دوران کربونیفر و پرمین به همین حالت ادامه داشته وکمربند متحرک اورالید (uralide) از پیوند و جوش خوردگی بعدی آنها پدید آمده است

حرکت صفحات تکتونیکی و کوهزایی:

اساساً باید پذیرفت که عمل کوهزایی در محل برخورد صفحات همگرا یا نزدیک شونده ی سنگ لایه روی میدهد. برخورد صفحات مزبور موجب می گردد تا رسوباتی که در حاشیه ی قاره ها انباشته شده اند ، درهم کوبیده شده و یا خرد گردند و سنگها یا دیواره ها تا خوردگی پیدا کرده و روی هم رانده شوند .

در پاره ای اوقات صفحه ای که بخشی از پوسته ی قاره ای روی آن سوار است با صفحه ای دیگر که بخشی از پوسته ی قاره ای دیگر را حمل می نماید تصادف می کنند و در نتیجه لبه ی جلویی صفحه ی اول به زیر لبه ی جلویی صفحه ی دوم فرو می رود و موجبات چین خوردگی را در محل تصادف فراهم می سازد. در صورتی که فروروی صفحه ی اول همچنان ادامه یابد، ممکن است صفحه ی مزبوربه مرور از حرکت باز ایستد. این گونه نهشت ها را **ملانژ** گویند.



کمربند های ملانژی که در مجاورت مناطق بسیار فعال آذرین قرار دارند ، همراه با صفحات تکتونیکی به حرکت در می آیند ودر اثر مالش و اصطکاک و فروروی به اعماق زمین ، گداخته می گردند و به ماگما هایی که در عمق 100 تا 200 کیلومتری سطح زمین قرار دارند ، مبدل می شوند . این گونه ماگماها که در مقایسه با مواد گداخته ی اطراف خود از تراکم کمتری برخوردارند ، به حالت شناور درآمده و به سرعت به طرف بالا صعود و از دهانه های خروجی موجود در مرز صفحات تکتونیکی به خارج فوران می کنند و گدازه هایی را که دارای ترکیب آندزیتی (Andesite) هستند ، در سطح زمین می گسترانند و پاره ای از آنها نیز قبل از رسیدن به سطح زمین سرد و جامد می گردند و سنگ های خارایی را پدید می آورند.

کاربرد های بررسی تکتونیک صفحات در زندگی

- به کمک تکتونیک صفحات می توان راجع به انتشار جغرافیایی زلزله و آتشفشانها گام های مؤثری برداشت . اگر تکتونیک صفحه ای و مناطق زیرانده حاشیه ی قاره ها را کنار هم قرار دهیم ، می توانیم به آسانی نتیجه بگیریم که مناطق زیرانده حاشیه قاره ها برای زندگی انسانها بسیار خطر ناک است . زیرا هم محل وقوع زلزله می باشد و هم محل بروز آتشفشان . مناطق گسل های تغییر شکل دهنده که از مناطق قاره ای عبور می کنند ، از نظر زلزله خطر آفرین ولی فاقد تظاهرات آتشفشانی اند.
- نظریه ی صفحات تکتونیکی علاوه بر جنبه های علمی ما را در شناسایی و کاوش منابع طبیعی مانند گاز و نفت یاری می کند .
- همچنین ممکن است در آینده ما را در پیش بینی زلزله و فوران آتشفشانها نیز موفق سازد .

خطرات ناشی از زلزله:

عواملی که در یک زلزله باعث ایجاد خسارت می گردند عبارتند از:

- نیروهای درونی شدید ایجاد شده بر اثر جنبش شدید زمین
- آتش سوزی های ناشی از زمین لرزه
- تغییر در خواص فیزیکی خاک ها (نشست ها، پدیده آبگونگی و ....)
- بر اثر جابجایی مستقیم گسل ها در محل ساخت سازه ها به واسطه زمین لغزش ها

(زمین لغزش عبارت است از فروریزش دامنه شیب ها)

- به واسطه موج های بلند ایجاد شده توسط زلزله در دریا ها(آبرانش یآ تسونامی یا موج بندرو....)

نحوه ی آزاد شدن انرژی

پیشلرزه ، لرزه ی اصلی، پسلرزه، دسته لرزه

استفاده از GPS های پیشرفته (برای اندازه گیری تغییر شکل زمین و تعیین گسل)

تحقیق بر روی استفاده از GPS یا سیستم موقعیت یاب جهانی به منظور بررسی حرکات پیوسته های سطح زمین و تغییرات و جابجایی های انجام شده قبل از وقوع زلزله , از سال ۱۹۹۴ آغاز شده است . در حال حاضر با استفاده از این روش و GPS های پیشرفته جابجایی های پوسته سطح زمین قبل از وقوع زلزله و تغییرات مختصات ناشی از آن در حد دقیقه قابل محاسبه و بررسی است . این روش نیز مانند داده های راداری نیاز به تحقیق بیشتر دارد ,اما با تلفیق ۲ داده تداخل سنجی راداری GPS می توان با دقت بالایی تغییرات لایه های زمین را در اثر زلزله تعیین نمود.

بررسی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از باند های حرارتی

بر اساس آخرین تحقیقات انجام شده بر روی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره ای مشخص شده است که در برخی از موارد ناهنجاریهایی در وضعیت درجه حرارت زمین در فاصله زمانی ۲ الی ۷ روز قبل از وقوع زلزله مشاهده می شود.این ناهنجاری ها بویژه در مناطقی که در نزدیکی

دریاها و اقیانوس ها قرار دارند بیشتر به چشم می خورد.از جمله کاربردهای مهم تصاویر ماهواره ای تهیه نقشه های نمایش دهنده درجه حرارت زمین و درجه حرارت سطح دریا است .با استفاده از این نقشه ها می توان وضعیت درجه حرارت سطح را قبل از وقوع زلزله بررسی و با مدلسازی ناهنجاری های موجود در هر منطقه از آن در پیشگویی زلزله استفاده کرد.

تکنیک آنالیز ابرها وپیش بینی زلزله

در این قسمت قبل از بحث بر روی روش آنالیز حرکت ابرها با استفاده از تصاویر ماهواره ای و استفاده از آن در پیش بینی زلزله که ابتکار یک محقق چینی به نام ژونگ هاوشو(Zhongh HaoShou) است و بارها زلزله های مهم نظیر رودبار و بم را پیش بینی کرده است .یک محقق چینی چندین سال با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجش از دور و تکنیک بررسی حرکت ابرها موسوم به ابرهای زلزله (Earthquake clouds) پیش بینی های جالب توجهی انجام داده است . (Zhong HaoShou ۱۹۹۹) اولین زلزله ای که توسط این محقق پیش بینی شده بود زلزله رودبار در سال ۱۹۹۰ بود که یک روز قبل از آن صورت گرفت .همچنین ۶ روز قبل از وقوع زلزله بم در تاریخ ۱۹,۲,۲۰۰۳ وی برای اولین بار توانست ابرهای زلزله را به کمک تصاویر ماهواره ای تشخیص دهد و سپس مجددا ۲ روز بعد یعنی در تاریخ ۲۱,۲,۲۰۰۳ دومین ابر زلزله را مشاهده کرد.

استفاده از تابشهای فروسرخ(IR)

بر اثر برخورد سنگهای گرانیتی در اثر فعالیتهای درونی زمین گرما بصورت تابش فروسرخ قابل آشکار سازی توسط ماهواره های هواشناسی است

رانش زمین

عکسهای ماهواره ای میتوانند جابجایی زمین، تغییرات در گسلها و مکانهایی که شدت تخریب در آنها زیاد است به تفکیک نشان دهند

تشکیل ابر بخار آب روی گسل

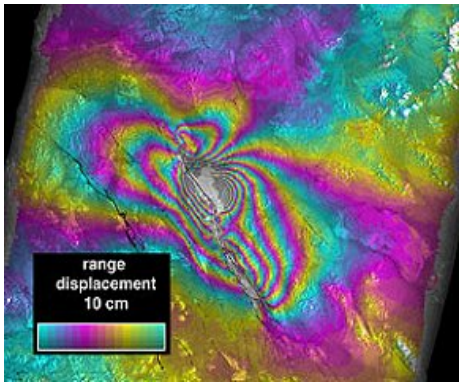
در اثر فعالیت زمین و تکانهای آن و خروج بخارهای آب از زمین ابرهای نگهانی (که همراه باد از سمتی آورده نشده اند) ظاهر میگردد. همچنین سنگ گرانیت بر اثر فشار زیاد تابشی با فرکانس بسیار پایین دارد که باعث یونیزه شدن این ابرها و سیاه دیده شدن آنها میشود

انواع ابرهای زلزله

ابرهای زلزله، کالیفرنیای شمالی

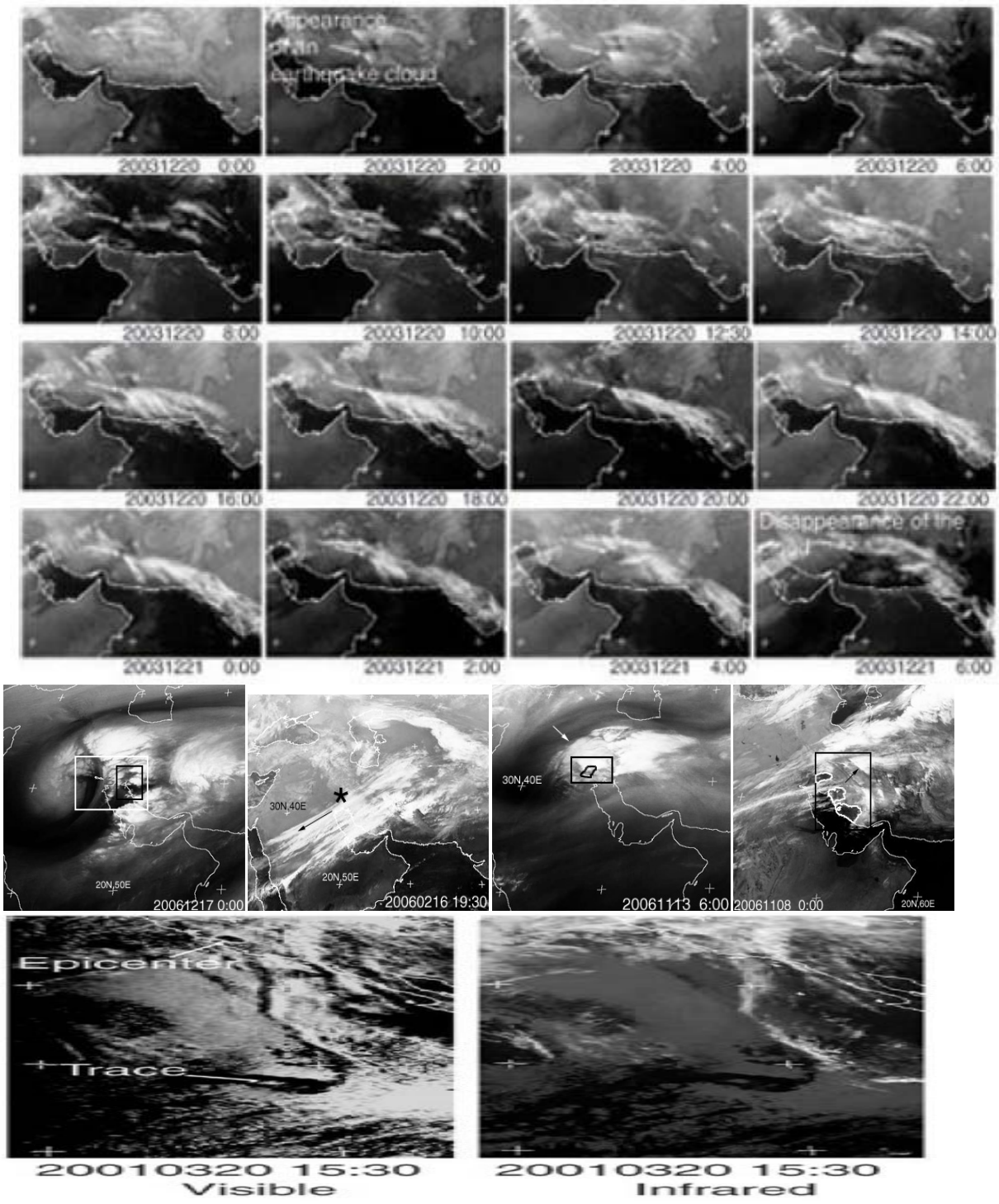
این عکس توسط آقای شو در پاسادنای کالیفرنیای آمریکا و به سمت شمال در تاریخ 3 آگوست 1997 گرفنه شد که در آن 4 خط در فاصله های زمانی 10 و 8و 3 و کمتر از 1 دقیقه به ترتیب پدیدار شدند که خطوط 1و2 ابرندو خط 3تقریبا ابراست و خط 4 شش دقیقه پس از عکس به ابر تبدیل شد.

تصویر ماهواره ای نشان دهنده رانش زمین



یک سری زمانی از ابر زلزله بم

این سری عکس های به دست آمده از ماهواره به طور ناگهانی درساعت 2در روز 20 دسامبر نمایان شدند و به سمت شرق .گسترش یافتند و درساعت 6روز 21 دسامبر ناپدید شدند



EARTHQUAKE CLOUDS AND SHORT TERM PREDICTION
Earthquake Death Toll (since 19900101)

Date	Time	Dep.	Mag.	Location	Killed	Injured	Precursor P (predicted rightly)
19900620	21:00	18	7.7		50,000 (50,000*15)	320,000	P 6/20/90 3:00
20020622	2:58	10	6.5	W Iran	261	1,300	P .9 4/20,21/02
20031226	1:56	10	6.8Ms(6.5Mb)	Bam, Iran	25,000 (26,200*15)	50,000	P.16 12/21/03
20040528	12:38	28.3	6.3	Baladeh, Iran	6	8	P.17 2/26/04
20041226	0:58, 4:21	10, 10	9.0, 7.3	Sumatra, Indonesia,Nicobar, India	283,106		P.22 12/13/04
20050222	2:22	10	6.4	Kerman, Iran	400	950	P.22 12/15/04
20060331	1:17	7	6.1	W Iran	66(70*15)	1,200	P.29 2/16/06
20070912	11:10	34	8.4	Sumatra, Indonesia	25	*15	P.32 8/14/07

توزیع Poisson : مدل زمان مستقل احتمال زلزله:توصیف حوادث نادر:

تحلیل آماری لرزه های زمین

درباره لرزه ها و پیش لرزه ها با هم متفاوتند و با مطالعه این خواص می توان به نشانه هایی خواص آماری پس وقوع زلزله دست یافت. از این روش اطلاعات مهم و دقیقی بدست می آید

شامل فورانهای آتشفشان ,پوسیدگی پرتوزا و شمارش سربازهای کشته شده بوسیله اسب هایشان ساده ترین مدل رویداد زلزله را بوسیله یک توزیع ما فرض می نماییم که N زلزله های بزرگ در یک مساحت یا روی یک که اغلب مربوط به حوادث نادر است توصیف می کند. **poisson** برابر است با:T گسل در طی زمان

مقادیر گوناگون می باشد. یا gutenberg_richter عددی انتظار داشته شده در یک سال از توزیع منطقه ای $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\tau}}$همه جا اتفاق نخواهند افتاد پیدا شده است$(P = 1)$ زمان تکرار میانگین است. احتمال یک یا چند زلزله که هیچکدام با ضریب اطمینان T بنابراین $\mathbf{p(n > 1, t, \tau)_1 - p(0, t, \tau)_1 - \frac{e_t^{(-\frac{t}{\tau})}}{t}}$ که این زلزله ممکن است اتفاق بیافتد یا نیافتد و برابراست با

در این مدل احتمال آن که یک زلزله در یک مدت زمانی $\mathbf{t << \tau}$ و تا زمانی معتبر است که $\mathbf{e^x \approx 1 - x}$ گام آخر بسط سری تیلور t حافظه ندارد. در میانگین زلزله ها بوسیله زمان **Poisson Process** رخ خواهد داد به حال بستگی ندارد برای اینکه یک **T**ساده ترین فرضیه است که ما می توانیم با مدل های دیگر قیاس**Poisson** کنیم اما وقتی آخرین زلزله اتفاق می افتد تاثیری ندارد.

. هرکدام از زلزله هایی که دارای حوادث تصادفی هستند خوشایند نیستند برای اینکه تقریبا تمامی غریزه های زلزله شناسی خودمان مدل های دوره زلزله اند که بعدا این تغییر شکل ها بطور آهسته از یک زلزله اصلی به دیگری رشد می یابد.بنابراین احتمال یک زلزله بسیار کوچک بلافاصله بعد از یک زلزله بزرگ و سپس رشد با زمان باید باشد.

امواج فراصوت

در لحظات قبل از زلزله امواج صوتی تولید میشود که بسامد آنها برای گوش انسان قابل درک نیست ولی بعضی حیوانات آنها را درک میکنند و واکنشهایی از خود نشان می دهند.

انواع تنش هایی که منجر به زلزله می شوند:

زلزله ها به خاطر تنش هایی که از شکستگی صفحه ها و همچنین لغزش آنها بر روی هم ایجاد میشوند.
نیروهای حاصل از تنش ها بیشتر از مقاومت صخره ها است. گسیختگی صخره ها در زلزله نیرو های زیادی آزاد میکند.

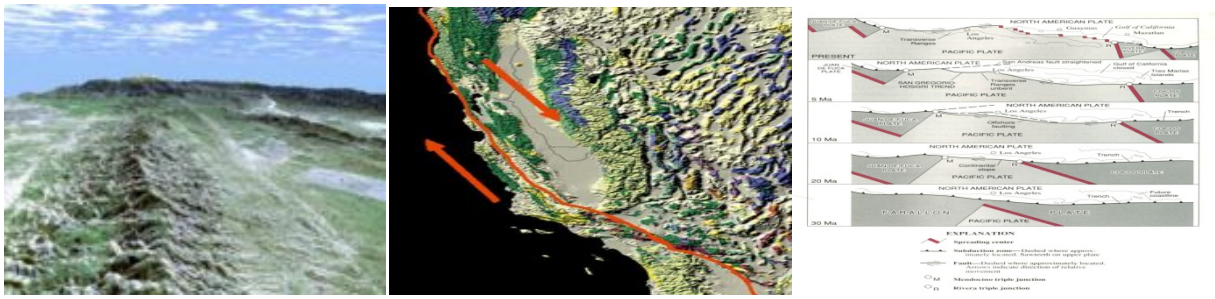
تداخل سنجی راداری (Radar Interferometry)

دانشمندان همواره به دنبال سیستم ماهواره ای بوده اند که بتوان با استفاده از آن تغییرات ایجاد شده در سطح زمین را بر اثر زلزله مشخص نمود.در این روش از داده های سنجش از راه دور راداری (ماهواره هایی که در ارتفاع ۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین قرار دارند).استفاده می شود.تکنیک به کار رفته در این روش تداخل

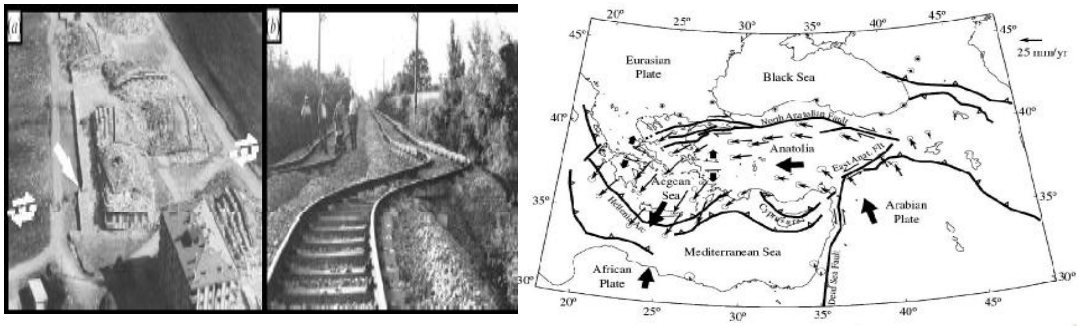
سنجی (Interferometry) است. به نظر می رسد این روش برای پیشگویی زلزله توانمندی زیادی دارد .اما تحقیقات محققان از سال ۱۹۹۲ تاکنون ادامه دارد.آخرین تکنیک ارائه شده در این زمینه با استفاده از تصاویر راداری است . در این روش با استفاده از زوج تصویر می توان جابجایی های مربوط به لایه های سطحی زمین را در حد میلی متر , مشخص ونقشه این تغییرات را تهیه کردو سپس با آنالیز آنها به یک مدل برای پیش بینی دست یافت. برای اینکه در مورد این روش اطلاعات بیشتری بدست آوریم ابتدا به معرفی یک پدیده می پردازیم:

چرخه زلزله

(Tim J. -1998) در عرض چندین ساعت در ۱۷ اگوست ۱۹۹۹ بزرگترین زلزله ۶۰ سال اخیر در ترکیه و شهر ازمیت و محدوده های اطراف آن را با خاک یکسان کرد . بیش از ۱۸۰۰۰ کشته و ۲۵۰۰۰۰ نفر بی خانمان شدند.زلزله هزینه ای بالغ بر ۶بیلیون دلار به ترکیه به ارمغان آورد.زلزله ازمیت مثل همه زلزله های قاره ای زمین را پاره کرده است. قسمت جنوبی در مقایسه با شمال آن به سمت غرب حرکت کرده بود.



(L. W.Braile - ۱۹۹۹) به فرم ساده تر ایده چرخه زلزله توسط هری فیلد برای توضیح مشاهدات زمین لرزه سال ۱۹۰۶سان فرانسیسکو گسترش داده شد .که مرتبط با گسل سن اندریس (San Andrias) بود.برای نخست این مشاهدات تغییر شکل سطح که توسط زلزله ایجاد شده بود را نشان می داد.محیط های قسمت جنوبی گسل سن اندریس به سمت شمال در طول زلزله حرکت کرده بودند.

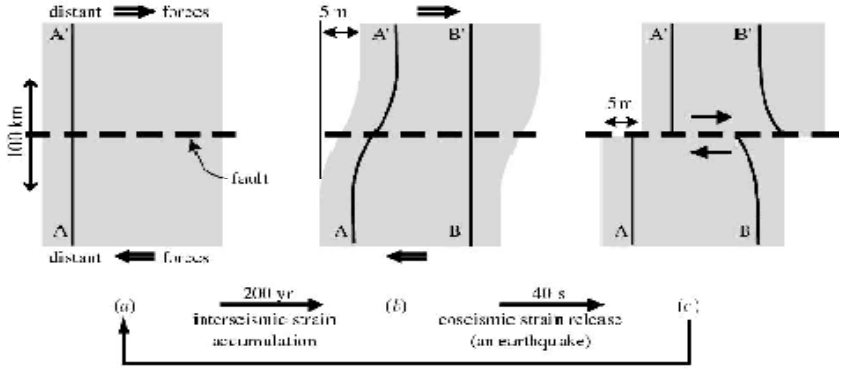


توضیح شکل ۱ -سطح گسیختگی زلزله ازمیت الف) بلوکهای تطبیقی کامل شده جدید – بدبختانه درست در بالای گسل آناتولی قرار دارد.گسیختگی سطح و احساس حرکت با خطوط بریده نشان داده شده موقعیت خط

سفید ۴ متر انحراف را در دیوار نشان می دهد. ب) یک پیچ ایجاد شده ۲-۳ متری در خط آهن آنکارا استانبول

توضیح شکل ۲ -محیط تکتونیکی ترکیه , سرعت با استفاده ازGPS اندازه گیری شده در طول سالهای ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸ و ارتباط آن با اروپا نشان دهده شده است . صفحه آناتولی بین حرکت شمالی عربستان و صفحه اروپا محصور شده است.

(تصویر ۱)این اولین زلزله در این منطقه نبود.نتایج تاریخی نشان می دهد که اتفاقات مشابهی در سالهای ۱۷۱۹ تا ۱۸۹۴ رخ داده است . این زلزله ها در گسل آناتولی شمالی رخ داده , یک گسل فعال که غربی ترین قسمت ترکیه را در خود جای داده و بین دو صفحه عربستان و اروپا فشرده می شود .(تصویر ۲)این تکرار زلزله ها را با نام چرخه زلزله نامگذاری می کنیم.



شکل- ۳

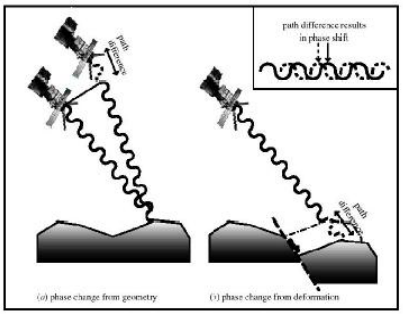
توضیح شکل ۳ -شماتیکی از مدل واکنش الاستیک فیلد در چرخه زلزله. الف) نقشه نمایش ناحیه گسل فرضی در زمانی پس از آخرین زلزله ب) ناحیه ۲۰۰ سال بعد مقطع AA’ در اول چرخه مستقیم بود اما حال خم شده است. ج) چهل سال بعد زلزله AA’ دوباره خط مستقیم است ولی بریده شده و ۵متر با جایگاه اولیه خود فاصله دارد . نقطه BB’ قبل از وقوع زلزله مستقیم بود ولی حالا با ۵ متر اختلاف خم شده است . زمان وتغییرمکانهای نشان داده شده در زلزله های عمومی مانند ازمیت است.

ماهواره تداخل سنجی راداری

(Tim J. -1998)اکثر ماهواره هایی که با حس گر از راه دور به صورت طول موج های نوری کارمی کنند , نخست نورپدید آمده از خورشید را که به سنسورهای ماهواره برخورد می کند یادداشت می کنند و به سطح زمین پراکنده یا منعکس میکنند.ماهواره های راداری مثل ماهواره های منابع زمینی بنگاه فضایی اروپا ERS 2, ERS1 متفاوت هستند.آنها بصورت فعال از زمین توضیح می دهند.رادار از میان ابرها عبور می کند .ماهواره های راداری معمولا شب وروز و در همه شرایط آب وهوایی قادر به ادامه کار می باشند.

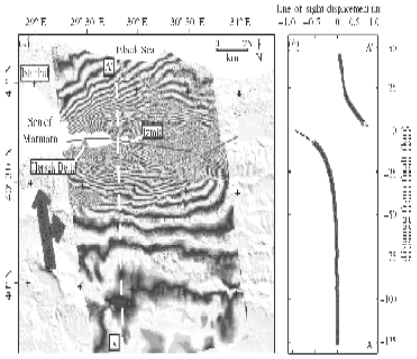
توضیح شکل ۴ – طرح شماتیک تداخل سنجی راداری(الف)- دو ماهواره از یک نقطه از موقعیتهای متفاوت تصویر برداری می کنند ویک شیفت فازی ایجاد می شود.

(ب)- یک نقطه در زمین که از نقطه ای مشخص در فضا در قبل وبعد از زلزله تصویر برداری شده است.



شکل ۴

توضیح شکل ۵ -الف) نقشه تداخل سنجی راداری زمین تغییر شکل داده که زلزله ازمیت ترکیه را نشان می دهد .گسیختگی با خطوط قرمز نشان داده شده . هرقسمت حاشیه دار رنگی معادل ۲۸ میلیمتر از تغییر شکل سطح در خط ماهواره است.(خط دید ماهواره قرمز رنگ است.) ب) تغییر مکانهای خط دید ماهواره در قسمت AA’ یک فرم جهش الاستیکی را آشکار می کند. خط بریده بریده یک خاصیت از مدل الاستیکی ساده از زمین لرزه را نشان می دهد.



شکل ۵

مشکلات موجود برسرراه استفاده از این روش را به طور خلاصه می توان چنین طبقه بندی کرد:

۱ -همانگونه که می دانیم هیچ یک از ماهواره های تداخل سنجی راداری برای این کار طراحی نشده اند .اما بصورت شانسی یک مورد استفاده دیگر نیز دارند.

۲ -با این وجود طراحی ماهواره جاری برای تداخل سنجی راداری بهینه نشده و همیشه اولین دغدغه طراحان نبوده است.

۳ -تصاویر آنگونه که ما انتظار داریم بدست نمی آید و مدار ماهواره هم همیشه درست در راستای خودش منطبق نیست.

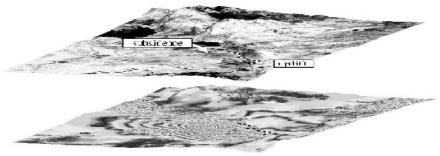
۴ -علاوه براینها تداخل سنجی راداری زمانی ممکن است که رفتار سطح زمین بین دوتصویر گرفته شده عوض نشود با وجود این تغییراتی در سهم فاز تصادفی با توجه به اثر متقابل بین موجهای رادار و زمین وجود دارد که باعث تغییر اندازه گیری با توجه به فاز بی معنی می شود. (دوره عدم تطابق).

۵ -سازه های سنگی و . . . نیز ساخته شده توسط بشر اغلب برای دوره های زمانی طولانی تطابق می کنند اما در باند C(طول موج ۶سانتی متر) تداخل سنجی محیط های جنگلی برای مثال می تواند عدم مطابقت را نشان دهد. حتی اگر تصاویر بدست آمده در روزهای جدا از هم باشند.

۶ -همچنین مشکل دیگر تغییرات جو زمین است تبخیر متمرکز آب ,بویژه , نقش فاز را تحریف می کند.وباعث می شود که شیفتهای فازی با شکل پذیری قاطی شوند .یک گردباد برای مثال می تواند باعث تغییرات حرکت زمین تا ۱۰ سانتی متر بشود.علاوه تداخل سنجی راداری فقط تغییر شکلهای سطح را در خط دید ماهواره اندازه گیری می کند.در حقیقت کاراکترهای سه بعدی حرکت وجود ندارد و ما تها اطلاعاتی از یک بعد در اختیار داریم .

تغییر شکلهای میان لرزه ای – تصاویر از زلزله ها

قسمت اعظم قرن بیستم لرزه شناسی به عنوان تنها راه مطالعه زمین لرزه های قاره به شمار می آمد.در هر حال اغلب عدم قطعیت در بعضی از پارامترهای زلزله برای زلزله های سطحی کم عمق دیده می شود.عمق گسلها اغلب به سختی توسط لرزه شناسی بدست می آید.مگردر زلزله های بسیار بزرگ که گسترش لغزش در گسل بطور مشخص قابل تشخیص نیست . زلزله ۱۹۹۲ کالیفرنیا مجهز به اولین تصویر از زمینه تغییر شکل زلزله بود و آن زمان تداخل سنجی راداری برای نتایج تغییر شکل نزدیک به ۳۰ زلزله مورد استفاده قرار گرفت .زلزله ازمیت نشان داد که چقدر تداخل سنجی راداری مهم جلوه می کند.تام پارسون وهمکارانش در موسسه زمین شناسی امریکا امکان تکانهای شدید در منطقه استانبول پس از زلزله ازمیت را بررسی کردند وقتی که دو بریدگی دراز پس از آخرین زلزله ترکیب شد پارسون ارزیابی کرد که ۶۲ % احتمال دارد که یک زلزله بزرگتر ممکن است در طی ۳۰ سال اخیر در استانبول اتفاق بیافتد .که یکی از بزرگترین پیش بینی های ممکن در این ناحیه از جهان به شمار می رود (BBC.com- 2002) .با استفاده از تداخل سنجی این بالاآمدگی و نشست عکس برداری شده است در طول زلزله دینار قسمت بزرگتر گسل حدود ۷ سانتی متر یا بیشتر برآمده و قسمت کوچکتر حدود ۶۱ سانتی متر نشست دارد



توضیح شکل ۶ -دو تصویر سه بعدی که گسل دینار را نشان می دهد . در بالا تصویر هوایی زمین که سطح آن با یک مدل توپوگرافی دیجیتالی پوشیده شده است .

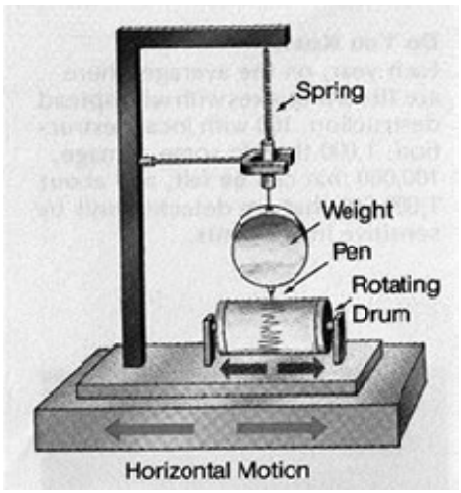
شکل ۶

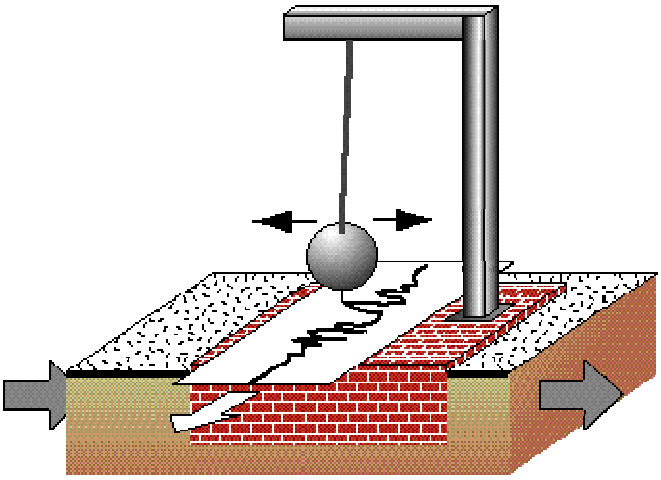
درجه بالارفتن به نشست غیرمتقارن ۹:۱ در این مورد با پیش بینی های تئوری الاستیک ساده پیروی می کند.اما یک معما را بوجود می آورد.در دوره های طولانی مدت مطالعات زمین شناسی گسل های معمولی نشان می دهد که درجهبالا رفتن به نشست بیشتر از مقدار ۲:۱ تا ۳:۱ است و هنوز این بالارفتن و نشست با جمع تغییر شکلهای زلزله های زیادی حاصل می شود.برای حل این اختلاف نیازمند راحتی های پس لرزه ای هستیم.

جدول طبقه بندی شدت زلزله

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
MODIFIED MERCALLI INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

لرزه نگار Seismograph اصول کار براساس حرکت آزادآونگ می باشد، اگر لرزه نگار بیش از حد به مرکز زلزله نزدیک یا شدت زلزله خیلی بزرگ باشد عقربه ثبت کننده به حد خود رسده و به اصطلاح اشباع می گردد و نمی تواند مقدارواقعی زلزله راثبت نماید لرزه نگار و شتاب نگاشت با هم متفاوت هستند ولرزه نگار ابزار لرزه شناسان برای تعیین مرکز زلزله، بزرگی،فیزیک امواج زلزله،جنس لایه ها و مشخصات هندسی خاک می باشد





شتاب نگار accelerograph سرعت نگار velocity seismograph

شتاب نگار برای ثبت شتاب زلزله بکار می رود و ساختارآن به مراتب ساده تر از لرزه نگار است، .نگهداری و نصب آن ارزانتراست لرزه نگارمداوم کار می کند ولی شتاب نگار زمانی که شتاب بیش از 0.01 شتاب ثقل می گردد ثبت می کند براساس اصول ریاضی ستاب نگاشت مشتق دوم لرزه نگاررا می دهد و بوسیله شتاب تگار می توان محتوای فرکانسی زلزله رابدست آوردستاب قائم زلزله در بیشتر موارد کمتر از شتاب افقی ودرحدود $\frac{2}{3}$ آن

می باشد و مدت آن کم است لذا در طراحی لرزه ای بجز کنسولها و ساختمانهای نزدیک به گسل از تأثیرات مولفه قائم زلزله صرف نظر می کنیم و شتاب نگار اطلاعاتی چون شتاب بیَشینه زمین، ندت زلزله یا duration و محتوای فرکانسی زلزله را می دهد. شتاب نگاشتها به دلایل مختلف و ازجمله ثبت پس از آستانه حرکت ، لقی نوارکاغذی،اختلالات الکتریکی، خطای رند کردن و . . . دارای خطا می باشند که رکورد شتاب نگاشت به 2 روش تصحیح محورنمودارو فیلتر کردن فرکانسهای خاص اسلاح نمود

شتاب نگاشت مصنوعی

درشبیه سازی و آنالیز سازه ها بایستی شتلب نگاشتهای ثبت شده متأثر از مکانیزم پیدایش ، ساختار زمین، مسیر حرکت موج شرایط محلی خاک و . . .را به یک روش آماری از روی محتوای فرکانسی، تغییرات دامنه های شتابوطول تداوم لرزش، امواج لرزه ای مصنوعی بر سازه اعمال کرده واز روی آن طیف پاسخ پیوسته ساخته که برای تهیه آن 1- ترکیب تعداد زیادی امواج هارمونیکی که دارای دامنه های مختلف و زوایای فاز متفاوت هستند2-استفاده از طیف پاسخ سیتم تک درجه آزادی خطی تحت اغتشاش سفید 3- روش توزیع تصادفی و ضربه های مختلف در طول محور زمان یک موج استفاده کرد که روش اول بیش از دو روش بعدی برای تهیه طیف ستاب زلزله به صورت تابع پوش که نماینگر تغییرات دامنه بر حسب زمان است , بهره می بریم.

طبقه بندی امواج زلزله 1- تک صربه 2- ارتعاش نسبتاض طولانی و بی قاعده 3-ارتعش طولانی با تناوب غالب 4-ارتعاش با جابجایی دائمی زمین

انفجار بر اثردینامیت: یکی از قدیمی ترین چشمه های زلزله است دینامیت در محیط خشک و در موقعیت مختلف در سطح یا در داخل حفره ای که معمولا با عمق لایه هوا زده بستگی دارد، مورد استفاده قرار می گیرد.

ویبرو سایز: شرکت نفت فلات قاره یکی از بهترین روشها در اندازه گیری لرزه ای را توسعه داد ویبرو سایز یک چشمه مرتعش کننده ای است که ضربان های با طول مدت کم ولی ممتد تولید می کند.

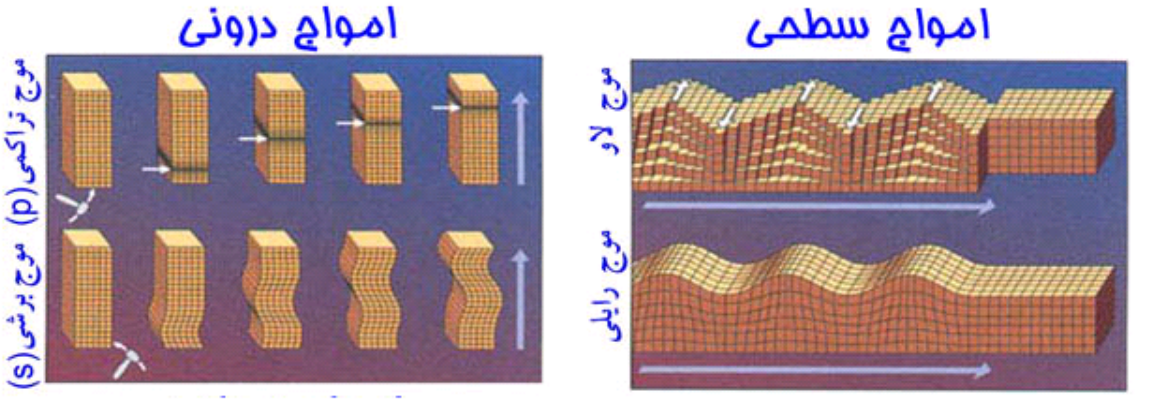
اساس عمل کرد ویبرو سایز به این صورت است که یک ارتعاش گیر صفحه ای فولادی به زمین فشرده تحریک می کند قطار موجی برونداد شامل یک موجذ سینوسی است که بسامد ان به طور پیوسته مثلا از تقریباً 6 تا 50 هرتز در طول هر ثانیه جاروب افزایش می یابد که به ان اصطلا حا upsweep گویندر .نتیجه هر رویداد برگشتی بازتابی نیز یک قطار موج مشابه به طول 7 ثانیه خواهد بود این قطار موجی ثبت شده مستقیما قابل استفاده نبوده و داده پردازی متعاقب ان را به اتفاقات لرزه ای تبدیل می کند یاد آوری می شود که حد فاصل بسامد درجه تغیرات وطول زمان جاروب نسبتاً به هدف و عمق بستگی دارد.به علت توانایی این چشمه در تولید قابل تکرار امواج و همچنین به وجود نیاوردن اثرات نا مناسب محیطی امروزه به طور وسیع مورد استفاده قرار می گیرد حتی این چشمه در نواحی مسکونی و جاده ها نیز به راحتی قابل استفاده است .

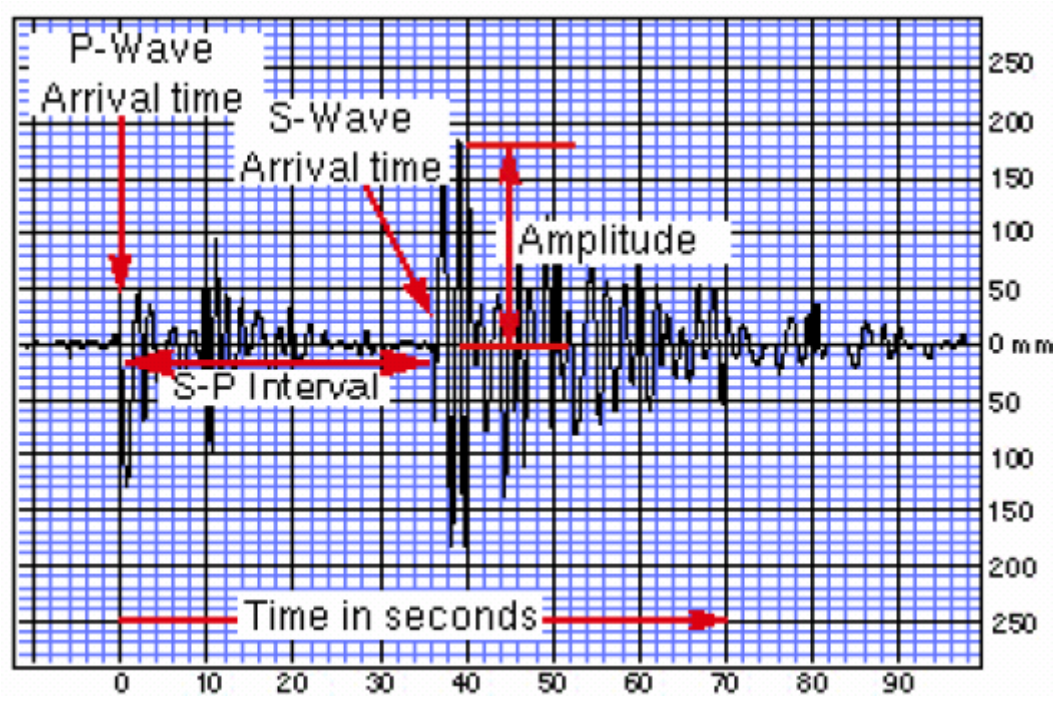
ژئوفون (گیرنده در محیط خشک) : ژئوفون از یک مغناطیس (آهنربا) و از یک پیچه تشکیل شده است که به وسیله ی میخی کوتاه در سطح زمین قرار داده می شود پس از شلیک و رسیدن بازتاب به سطح زمین این سطح در جهت عمومی حرکت کرده وهمزمان با ثبت نمودن پیچه مغناطیس زئوفون به حرکت در می اید

این حرکت نسبی در دو سر پیچ ولتاژ الکتریکی متناسب با سرعت حرکت ایجاد می کند .این ولتاژبه دست امده پس از گذشت از تقویت کننده به وسیله کابل اندازه گیری در دستگاه ثابت به ثبت می رسد.

هیدروفون(گیرنده در محیط دریایی):

هیدروفون ها اغلب از نوع لیزر الکتریک بوده که ار مواد لیزرالکتریک مصنوعی مانند زیرکونات باریم ساخته می شود در مواد لیزرالکتریک نسبت به فشار وارده و بین دو سطح خود اختلافات پتانسیل الکتریکی ایجاد می شود این اختلاف پتانسیل به وسیله ی کابل رابط به دستگاه ثبات منتقل می شود.





زمان رسیدن موج S به ایستگاه $t_s = \frac{d}{v_s}$

زمان رسیدن موج P به ایستگاه $t_p = \frac{d}{v}$

$$t_s - t_p = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p} \rightarrow d = \frac{t_s - t_p}{\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p}}$$

فاصله مرکز زلزله تا ایستگاه لرزه نگاری

ثابت $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

ثابت $\eta = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$

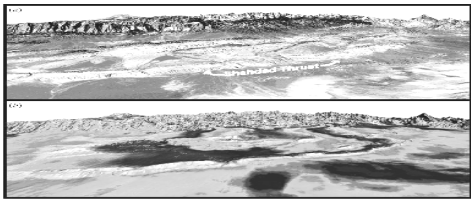
سرعت امواج برشی $V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

سرعت امواج P $V_P = \sqrt{\frac{\eta+2}{\rho}}$

امواج حجمی (طولی یا عرضی) و سطحی(لاو یا ریلی) می باشند سرعت انتشار و فرکانس این امواج با یکدیگر متفاوت است اولین موجی که به دستگاه لرزه نگار می رسد طولی (به آن موج فشاری، تراکمی یآ اولیه نیز می گویند) است امواج دریا ازنوع ریلی هستند. امواج لاو مولفه قائم ندارند در امواج سطحی سرعت انتشار به سرعت ارتعاش ارتباط دارد و بستگی به جنس محیط ارتعاش و پریود دارد (هرچه پریود موج بیشتر باشد سرعت انتسار بیشتر وزودتر به لرزه نگار می رسد)ولی امواج حجمی مستقل از سرعت ارتعاش هستند. امواج برشی یا عرضی ولاو (به دلیل نداشتن مولفه قائم) صرفاً ازجامدات عبور می کند جون مایعات نمی توانند برش را انتقال دهند زمانی که امواج از یک محیط یا فاز واردمحیطی دیگر می شوند در ناپیوستگی دچار بازتاب یا شکست می گردند ودر مرزناپیوستگی برخی از آنها روی سطح منشر می شوند که امواج سطحی را بوجود می آورند. دامنه امواج سطحی لاو وریلی بیشتر از امواج حجمی طولی و عرضی هستند قدرت تخریب موج عرشی بیشتر از موج طولی سات چون وزن ساختمان مانع از تکان خوردن آن بوسیله موج طولی می شود ولی در مورد موج برشی بی تأثیر است ولی و موج لاو نسبت به موج ریلی مخرب تر است به سور کلی می توان گفت قدرت تخریب امواج سطحی بیشتر از امواج حجمی می یاشد و استهلاک امواج سطحی کمتر از امواج حجمی است و هرچه فاصله از مرکز موج بیشتر باشد استهلاک بیشتر است (انرژی بیتر کاهش می یابد) و دونوع استهلاک غیر الاستیک و هندسی برای مواد وجود ودر امواج زلزله به دلیل این که چهت نیرو مرتب عوض می شود انرژی کرنش حلقه هیسترزیس آن به شدت کاهش می یابد اگر دامنه موج زیاد و فرکانی آن کم باسد موج میافت طولانی تری راطی کرده و انرژی آن بیشتر مستهلک می شود.طبیعت امواج طولی صوتی است و غرش وصدای مهیب زلزله ناشی ازآن است.

لغزش های رها شده

لغزش های رها شده نمونه ای از پدیده ای است که اندازه گیری آن با روشهای عرفی معمول بسیار مشکل است . اما با استفاده از تداخل سنجی راداری بسیار ساده است . این امر به عنوان لغزشی که در طول زلزله در گسل یا گسل هایی را که شامل تکان اصلی نیستند،تعریف می شود.در این موارد لغزش یک دقیقه پس از تکان اصلی شروع شده و زمانی بین چند ساعت تا چندین هفته را در پی دارد.با این سرعت آرام اتفاقات لغزش های رهاشده هیچ موج لرزه ای تولید نمیکند و بنابراین توسط لرزه نگاری نمی توان آن را تشخیص داد. به عبارت دیگر تداخل سنجی راداری به صورت ایده آل مناسب برای مشاهده لغزش های رهاشده است.زیرا که بزرگی را توسط تداخل سنج پوشش می دهد.براستی تداخل سنجی راداری هم اکنون فواصل زیادی در لغزش های رها شده را زلزله ۶,۶ ریشتری فاندوکای ایران است . با توجه به لغزش اصلی شیب گسل تداخل سنجی راداری حدود ۸ سانتی متر لغزش رها شده اتفاق افتاده در رانش گسل سطحی در رانش شهداد در ناحیه ای به طول m ۲۸۰۰و در نزدیکی محور عمومی که روی گسل اصلی قرار دارد.



توضیح شکل ۷ -مشاهدات پسپکتیو الف) سطح زمین ب) تداخل سنج که در جنوب ایران به سوی کوههای آباریک جاییکه گسل اصلی در طول زلزله ۱۹۹۸ فوندوکا لغزیده است نشان داده شده است.

شکل ۷

تغییر شکل های حین لرزه ای

زلزله ها بدون برپا شدن کشش الاستیک نمی توانند اتفاق بیافتند برای جمع آوری نقشه های کشش حین لرزه ای توسط تداخل سنجی راداری پتانسیل زیادی به عنوان ابزار پیش بینی با درجه متوسط وجود دارد.توجه شود که من با دقت از پیش بینی امتناع می کنم درست است که این مورد یک هشدار از زلزله دوروز قبل از آن می باشد.یک پیش بینی زلزله احتمال وقوع آن را در یک دوره مشخص نشان می دهدمثلا ۶۲ درصد احتمال وجود دارد که زلزله قویتری در استانبول در عرض ۳۰ سال آینده صورت گیرد این پیش بینی های تا درجه متوسط حیاتی هستند زیرا بنگاههای دفاع عمرانی را فعال می کنند که با آموزش , دوباره سازی ,وبرنامه های پیشگیری خود را آماده سازند.درجه کشش الاستیک بسیار مقدار کوچکی است به عنوان مثال گسل آناتولی شمالی حدود ۲۴ میلی متر در سال حرکت دارد بنابراین حدود ۳ سال برای ایجاد یک حاشیه کوچک زمان لازم است. در یک جهان ایده آل ما در بازه های زمانی زیاد می توانیم به تداخل سنج ها نظر کنیم .

رها شدگی پس لرزه ای

اندازه گیری پاسخ زمین به تکانهای ناشناخته یک زلزله می تواند اثرات حیاتی به خواص پوسته زمین وجبه بالایی وارد سازد.تداخل سنجی زلزله دینار شاهد غیر مستقیمی برای جریان پوسته کمتر یا جبه بالایی در عواقب بعدی زلزله باشد.در هر حال مثل تغییرات حین لرزه ای , تغییرات پس لرزه ای کوچک است وبه

آرامی اتفاق می افتد و اندازه گیری مستقیم آن سخت تر است. با وجود اینها با استفاده از تکینیک های برآورد بر پایه زمینی شماری از آنها گرفته شده است و اخیرا نیز با استفاده از تداخل سنجی راداری این کار انجام می شود .افت فشار به صخره هایی که به لایه های پایین تر القا می کند که از مناطق با فشار زیاد دور شوند و باعث ایجاد یک گسترده فضایی بین بالارونده و نشست کننده باشند.برای انجام این کار نیاز به این است که جبه بالایی دوبرابر چسبندگی کمتری از پوسته کمتر در مدل باشد و از اینرو توانایی برای تنظیم با سرعت زیاد پس از زلزله وجود داشته باشد.به همان خوبی که جبه بالایی جریان می یابد زلزله می تواند همچنین تغییراتی در روزنه های فشار آب و در بعضی موارد در مقاطع عمیق تر گسل ایجاد کند که پس لغزش نامیده می شوند.

نتیجه گیری و نگاهی به آینده

آینده نزدیک برای تداخل سنجی راداری خوب به نظر می رسد (BBC.com-2002) . با پرتاب ماهواره Envy sat و طراحی برای پرتاب ماهواره AIOS توسط ژاپنی ها و Radar sat-2 توسط کانادایی ها در تابستان ۲۰۰۴ تداخل سنجی راداری موقعیت بهتری پیدا می کند . این ماهواره ها این تکنولوژی جدید را گسترش می دهند اما هیچ یک از آنها بواقع توانایی های جاری را افزایش نمی دهند . این امر نیازمند چیزهای جدیدی است . اما در کل استفاده از این طرح نیازمند توجیه اقتصادی آن است . هزینه اختصاص دادن برای عملیات تداخل سنجی راداری بالاست ولی می توان یک شهر را پس از پیش بینی از طریق تداخل سنجی راداری از تخریبات زلزله در امان نگه داشت. همچنین یک سیستم بر پایه ماهواره بسیار ارزانتر از تلاش برای اندازه گیری های مشابه با استفاده از تکنیکهای برپایه زمینی نظیرGPS می باشد.

منابع و ماخذ

[1] Tim J. Wright,1 Zhong Lu,2 and Chuck Wicks3- Earthquake (Alaska) from InSAR-2000

[2] Source model for the Mw 6.7, 23 October 2002, Nenana Mountain – bbc.com

[3] Tim J. Wright Department of Earth Sciences, University of Oxford,1998 - Remote monitoring of the earthquake cycle using satellite radar interferometry

[4] Zhong hao Shou - Published in Science and Utopya 64, page 53~57, October 1999 (in Turkish) Earthquake clouads and short term prediction earthquake clouds reliable precursor

[5] http : //www.quake.com

[6] http : //www.civilica.ir

[7] مهرداد کردزنگنه ،" عوامل اصلی وقوع زمی نلرزه و راه پی شبینی و پـی شـگیری از آن" اولـین همـایش مقاوم سازی ارزه ای دانشگاه امیرکبیر اردیبهشت 1385
[8] ثنایی، ابراهیم ـ فصلنامه انجمن مهندسین عمران ایران ـ زمستان 79.
[9] داووی صفری" مهندسی زلزله" دانشگاه شیراز
[10] حسن مقدم" اصول مهندسی زلزله" انتشارات فرهنگ 1381
[11] حجت ا... عادلی" اصول مهندسی زلزله" انتشارات ف دهخدا 1359
[12] رضایی پژند, مویدیان" تحلیل لرزه ای سازه ه"انتشارات دانشگاه امام رضا1378
[13] مینورواکابایشی "ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله" ترجـه محمـد مهـدی سـعادتپور انتشـارات دانشـگاه صنعتی اصفهان
[14] آیین نامه طراحی اختمانها در برابر زلزله, استاندارد2800،مرکز تحقیقت ساختمان ومسکن،1384
[15] آناند آریا" پایدار سازی ساختمانهای آموزشی در برابر زمین لرزه" ترجه ابولحسن رده،موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
[16] پیتر ج . وایلی "مبانی زمین شناسی جدید" مرکز نشر دانشگاهی
[17] پاتریک مور – پیتر کتر مول "سرگذشت زمین" ،موسسه ی جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی
[18] ادوارد جی. تاربوک، فردریک ک . لوتگن "مبانی زمین شناسی" انتشارات مدرسه
[19] The structure of scientific revolutions , 2nd ed. University of Chicago Press , Kuhn , T.S.,