

زمین شناسی مهندسی

فصل سوم: زلزله شناسی

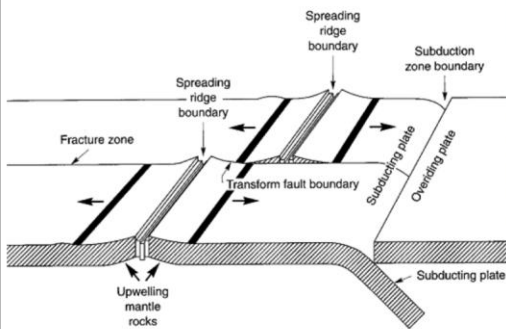
مقدمه

- زلزله به عنوان یکی از مهمترین فرآیندهای دینامیکی درون زمین، سبب تغییرهای عمده‌ای در این کره می‌شود.
- زلزله بیانگر آزادشدن انرژی ذخیره شده در پوسته زمین است.
- زلزله در طول گسل‌ها و در سطح شکستگی‌های صفحه‌ای در سنگ اتفاق می‌افتد.
- تنش‌های آزاد شده سبب لغزش و جابه‌جایی در طول گسل‌های قدیمی و ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌های جدید می‌شود.
- زمین‌لرزه‌ها دارای بزرگی‌های گوناگون از بسیار کوچک تا بسیار بزرگ هستند.
- میزان خسارت‌های ناشی از زلزله تابعی از مقدار انرژی آزاد شده در اثر وقوع زلزله است.

تغییر شکلهای قبل و بعد از گسیختگی

- اصطکاک بین سطح‌های ضعیف طبیعی موجود در سنگ‌ها و نیز ویژگی رفتار الاستیکی آنها در حین افزایش تنش، مانع از گسیختگی و شکسته شدن سنگ‌ها می‌شود؛ در نتیجه، تغییر شکل الاستیک یا برگشت‌پذیر در سنگ ایجاد می‌شود یا در اثر بسته شدن شکاف‌ها و سطح شکستگی‌های موجود، تغییر شکل ماندگار در سنگ به وجود می‌آید. این تغییر شکل‌های ایجاد شده، تغییر شکل‌های قبل از گسیختگی هستند.
- اگر تنش‌های ایجاد شده ادامه پیدا کند، تغییر شکل‌های بیشتری در پوسته زمین رخ می‌دهد.
- اگر انرژی ذخیره شده در سنگ از حد مقاومت سنگ بیشتر شود، سنگ به طور ناگهانی شکسته شده و انرژی آزاد شده به صورت موج‌های لرزه‌ای در پوسته زمین منتشر می‌شود و پوسته زمین مرتعش می‌شود. این ارتعاش را زلزله می‌نامند.

یادآوری مکانیسم گسلها



Before earthquake



After earthquake

ارگ بم قبل و بعد
از وقوع زمین لرزه

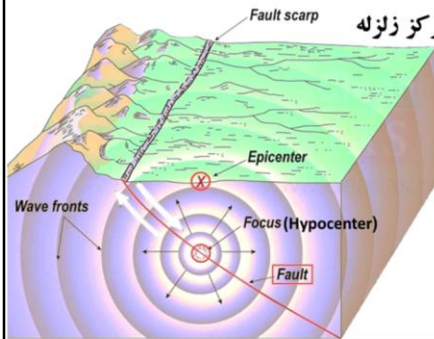
با آزاد شدن انرژی و وقوع زلزله، سنگ‌های پوسته به وضعیت قبل از ذخیره شدن انرژی بر می‌گردد و به حالت پایدار می‌رسد.

قبل و بعد از زلزله



ویژگی های زلزله

- نقطه ای روی سطح گسل که اولین حرکت یا شکست در اثر یک زلزله در آن شروع می شود، کانون زلزله (Focus) یا هیپوسنتر (Hypocenter) نامیده می شود.



- نقطه ای روی سطح زمین که به طور مستقیم بالای کانون زلزله قرار دارد را مرکز زلزله اپی سنتر (Epicenter) نامیده می شود.

- عمق زلزله فاصله بین مرکز سطحی و کانون زلزله است.

- بر اساس عمق وقوع، زلزله ها به سه دسته تقسیم می شوند:

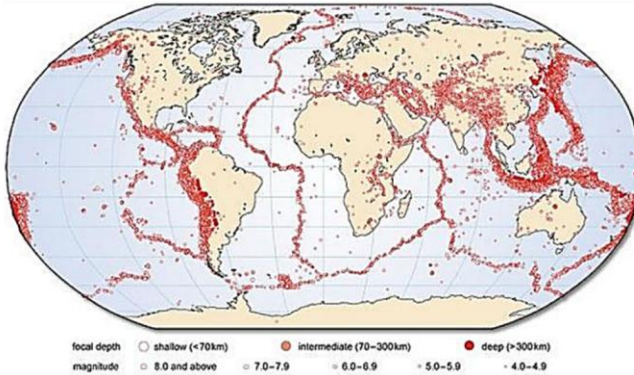
- زلزله های کم عمق: عمق وقوع آنها کمتر از ۶۰ کیلومتر است.

- زلزله های با عمق متوسط: زلزله هایی هستند که در اعماق ۶۰ تا ۳۰۰ کیلومتری از سطح زمین اتفاق می افتد.

- زلزله های عمیق: زلزله هایی که عمق وقوع آنها بیش از ۳۰۰ کیلومتر است.

مناطق زلزله خیز

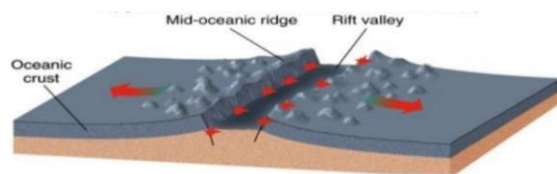
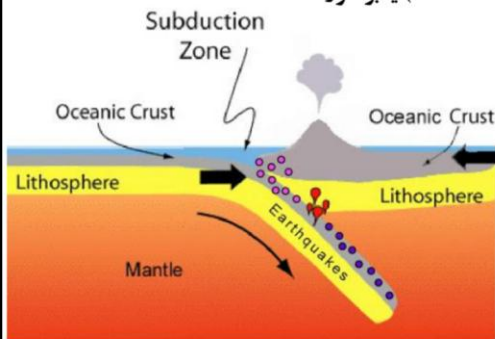
- بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که اکثر زلزله‌ها روی کمربندهای خطی (linear belts) متمرکز شده‌اند.



- این کمربندهای در ارتباط با مرز صفحه‌ها هستند.
- در مرزهای واگرا و محل گسل‌های تبدیلی، زلزله‌های با عمق کم رخ می‌دهد.

مناطق زلزله خیز

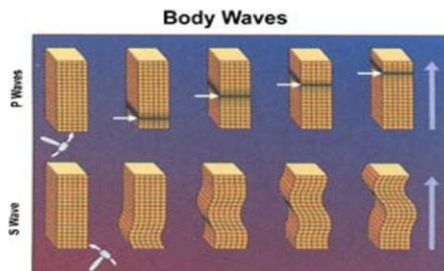
- اکثر زلزله‌ها در مرز صفحه‌های همگرا که محل فروانش (subduction zones) یا برخورد صفحه‌ها با یکدیگر هستند رخ می‌دهند.
- این مناطق محل تمرکز انرژی در سنگ‌ها هستند.



امواج زلزله

- در اثر وقوع زلزله، انرژی ذخیره شده در مواد تشکیل دهنده و به صورت موج های لرزه ای از محل کانون منتشر می شوند.

- انتشار این موج ها به صورت شعاعی (کروی) می باشند و در تمام جهات درون زمین منتشر می شوند.



- موج های لرزه ای شامل دو دسته موج های سطحی و پیکری هستند.

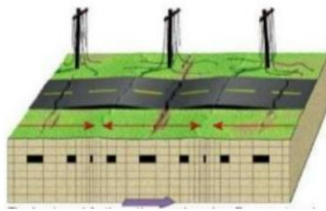
موج های پیکری (Body waves)

- این موج ها شامل دو موج P و S می شوند.
- این موج ها در قسمت های درونی کره زمین حرکت می کنند.

انواع امواج پیکری (جسمی، Body Waves)

- موج‌های P:

- موج‌های P از نوع موج‌های تراکمی هستند.
- هنگامی که موج‌های P از یک جسم عبور می‌کنند، جسم فشرده و سپس منبسط می‌شود.
- موج‌های P از درون زمین عبور می‌کنند و مانند موج‌های صوتی از هوا نیز عبور می‌کنند.
- این موج‌ها دارای سرعت بیشتری نسبت به دیگر انواع موج‌ها هستند و در نتیجه زودتر از موج‌های دیگر به دستگاه ثبت‌کننده می‌رسند. به همین جهت، این موج‌ها را موج‌های طولی یا موج‌های اولیه نیز می‌نامند.
- از نظر ماهیت حرکت، جهت انتشار این موج‌ها در راستای جهت ارتعاش آنها است.



انواع امواج پیکری (حجمی، Body Waves)

- موج‌های S:

- موج‌های S یا موج‌های عرضی، موج‌های ثانویه نیز نامیده می‌شوند.

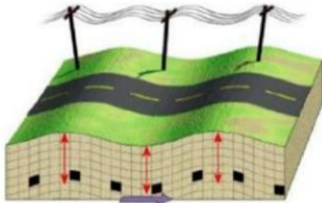
- این موج‌ها از درون زمین حرکت می‌کنند.

- نحوه حرکت این موج‌ها به گونه‌ای است که جهت انتشار آنها عمود بر جهت ارتعاش آنها است.

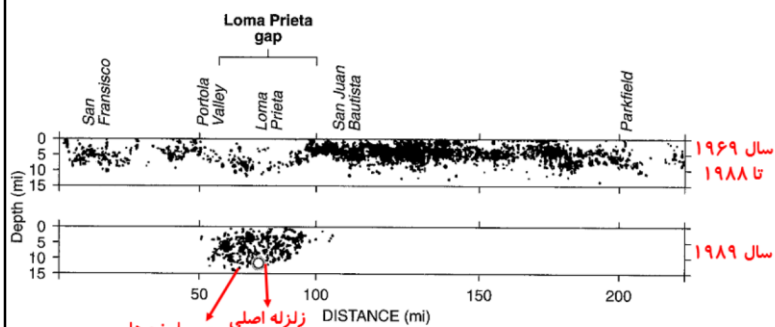
- این موج‌ها فقط از مواد جامد عبور می‌نمایند و قادر به عبور از محیط‌های سیال و هوا نیستند.

- موج‌های عرضی نمی‌توانند از محیط سیال گونه مانند هسته درونی زمین عبور نمایند.

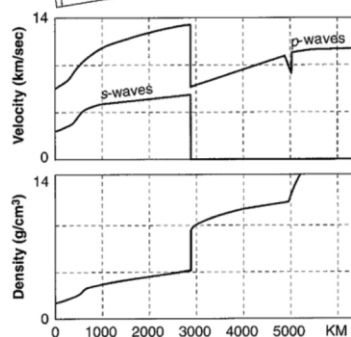
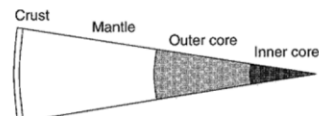
- موج‌های طولی قادر به حرکت و انتشار در هسته درونی زمین هستند.



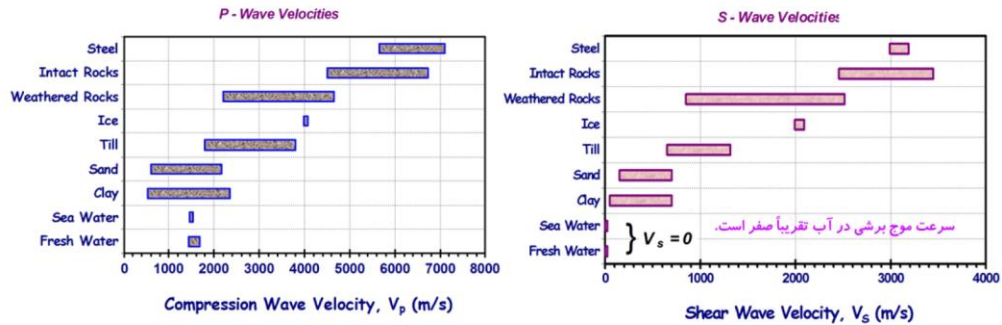
انتشار امواج حجمی به درون زمین



امتداد گسل سان آندریاس از شمال سان فرانسیسکو تا جنوب پارک فیلد



سرعت امواج حجمی زلزله

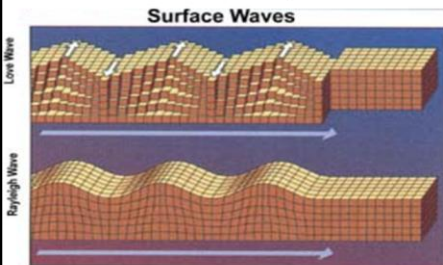


اگر آب زیر زمینی در خاک وجود داشته باشد، سرعت موج برشی کاهش می‌یابد.

$$\frac{V_p}{V_s} > \sqrt{2} \rightarrow \text{احتمال وجود آب زیرزمینی}$$

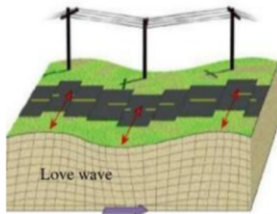
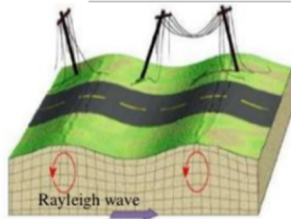
امواج سطحی (Surface Waves) زلزله

- موج‌های سطحی لرزه‌ای همان‌گونه که از نامشان مشخص است موج‌هایی هستند که در سطح زمین حرکت می‌کنند و انتشار می‌یابند. شبیه موج‌هایی که از سطح یک مایع عبور می‌کنند.
- موج‌های سطحی با توجه به ماهیت انتشار آنها باعث وارد شدن خسارت‌های زیادی در هنگام زلزله می‌شوند.



- این موج‌ها به دو دسته موج‌های ریلی (Rayleigh) و لَو (Love) تقسیم می‌شوند.
- سرعت این موج‌ها از موج‌های پیکری کمتر است.
- بیشتر خسارت‌های وارد شده به ساختمان‌ها در نتیجه عملکرد موج‌های سطحی زلزله است.

انواع امواج سطحی



- موج‌های ریلی (LR):

- از تداخل موج‌های طولی و عرضی در سطح زمین به وجود می‌آیند.
- این امواج به نحو خاصی حرکت می‌کنند. بدین ترتیب که حرکت ذرات در امتداد مدارهای دایره‌ای (یا بیضوی) صورت می‌گیرد، درست مانند حرکت امواج در سطح اقیانوس.

- موج‌های لاو (LQ):

- این موج‌ها از تداخل موج‌های برشی افقی ایجاد می‌شوند.
- نحوه انتشار آنها به صورت افقی در سطح زمین است.
- نسبت به موج ریلی دارای سرعت بیشتری هستند ولی نسبت به موج‌های پیکری دارای سرعت کمتری هستند.

حرکت زمین توسط موج لاو، تقریباً شبیه موج S است با این تفاوت که ذرات ماده به موازات سطح زمین و در جهت عمود بر انتشار موج حرکت کرده و ذرات در صفحه قائم حرکت ندارند.

تعیین مرکز زلزله

- محل وقوع زلزله را می‌توان با استفاده از موج‌های لرزه‌ای پیکری مشخص کرد.
- هر دو نوع موج پیکری باعث حرکت زمین می‌شوند. این حرکت توسط لرزه‌نگار ثبت می‌شود.
- موج P سرعت بیشتری نسبت به موج S دارد و زودتر به دستگاه رسیده و ثبت می‌شود.
- تفاوت زمانی بین رسیدن این دو نوع موج به ایستگاه مشخص شده و فاصله ایستگاه تا مرکز زلزله تعیین می‌شود.

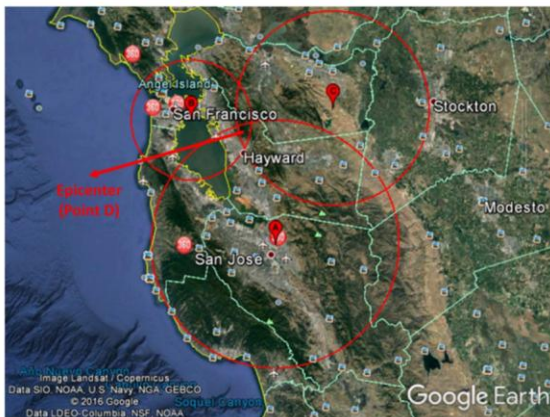
$$d = \frac{\Delta t_{p-s}}{1/v_s - 1/v_p}$$

- حداقل سه ایستگاه ثبت زلزله جهت مشخص نمودن محل وقوع زلزله نیاز است.
- عواملی مانند غیریکنواختی پوسته زمین، تشخیص محل وقوع زلزله را با مشکل مواجه می‌سازد.

تعیین مرکز زلزله

مثال:

فرض کنید امواج P و S با سرعتهای ۶ و ۳ کیلومتر در ثانیه در پوسته حرکت می کنند، موقعیت مرکز سطحی زلزله ای (طول و عرض جغرافیایی) که مشخصات آن در جدول زیر آمده است را تعیین کنید.



Seismograph

	Latitude	Longitude	p-wave arrival time	s-wave arrival time
A	37°22'30"	121°52'30"	06:11:18.93	06:11:26.90
B	37°45'00"	122°20'00"	06:11:14.84	06:11:18.71
C	37°52'33"	121°43'38"	06:11:17.26	06:11:23.53

Point	Δt_{P-S} (Sec)	V_P (Km/Sec)	V_S (Km/Sec)	d (Km)
A	7.97	6	3	47.82
B	3.87			23.22
C	6.27			37.62

Point D	Latitude	Longitude
Epicenter	37°43'17"N	122° 5'11"W

حرکت زمین

- اولین عارضه زلزله، حرکت افقی و قائم زمین می‌باشد که در زلزله‌های بزرگ قابل توجه است.
- برای جلوگیری از خسارت‌ها در حد امکان نباید روی گسل‌ها ساخت‌وساز صورت گیرد و خطوط شریان‌های حیاتی خط گسل را قطع نماید.
- ساختمان‌ها باید ضد زلزله طراحی و ساخته شوند و در برابر زلزله مقاوم باشند.
- یکی از معمول‌ترین آنها زمین‌لغزش است که در منطقه‌های کوهستانی به وقوع می‌پیوندد.
- زلزله به‌عنوان عامل محرک برای وقوع زمین‌لغزش است.



خطرات ناشی از زلزله



آتش سوزی



روانگرایی



سونامی



گسیختگی های زمین

خطرات ناشی از زلزله

- آتش سوزی ناشی از زلزله ممکن است بسیار مخرب تر از حرکت های زمین باشد.
- بیشتر آتش سوزی ها ناشی از خسارت های وارد شده به خطوط برق، گاز، نفت و ترکیدن تانک ها و کپسول های گاز می باشد.
- از آنجایی که خطوط انتقال آب نیز در اثر زلزله خسارت می بینند امکان مهار آتش سوزی به وسیله آب امکان پذیر نمی باشد و دامنه آتش سوزی می تواند به طور وحشتناکی گسترش یابد.
- روانگرایی در ماسه های سستی که سطح آب زیر زمینی در آنها بالا است به دلیل افزایش فشار آب حفره ای و برابری آن با مقاومت برشی خاک ها رخ می دهد.
- در اثر وقوع زلزله در دریاها، اقیانوس ها یا ناحیه های ساحلی موج های بلندی ایجاد می شود که به سونامی (Tsunami) معروف هستند.

عوامل اصلی موثر در خرابی زلزله

- در زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی خسارت وارد شده به بخشی از شهر که روی لایه‌های سست خاکسترهای آتشفشانی و رسی قرار گرفته به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ساختمان‌های واقع شده روی زمین‌های سخت و پی سنگ بوده است.
نوع خاک و فرکانس زلزله:
(مشاهده فیلم)
- تداوم لرزش نیز از دیگر عامل‌هایی است که بر خسارت‌های ناشی از زلزله مؤثر می‌باشد. هرچه تداوم زلزله بیشتر باشد خسارت‌های وارد شده به ساختمان‌ها زیادتر است.
مدت تداوم زلزله:
- پس‌لرزه‌ها هم مهم هستند. با توجه به اینکه در زلزله اصلی خسارت‌های وارد شده باعث سست و ناپدید شدن بسیاری از سازه‌ها می‌شود، پس‌لرزه‌ها می‌توانند خسارت‌های عمده‌ای ایجاد نمایند؛ به‌ویژه اگر پس‌لرزه‌ها زیاد و از نظر بزرگی به زلزله اصلی نزدیک باشند.
بزرگای زلزله و شتاب حداکثر آن:

شدت زلزله

- شدت زلزله، اندازه‌گیری تأثیر زلزله روی انسان و ویژگی‌های سطحی زمین است.
- میزان احساس انسان‌ها از زلزله متفاوت است.
- میزان تأثیر یک زلزله تابع عامل‌هایی مانند شرایط محلی زمین‌شناسی، کیفیت ساخت و فاصله از مرکز سطحی زلزله است.
- یک زلزله با بزرگی مشخص می‌تواند اثرات بسیار متنوعی را در محل‌های متفاوت ایجاد کند.
- نرخ شدت زلزله به‌طور مستقیم به‌وسیله مشاهده افراد بیان می‌شود. در نتیجه، مشاهده متفاوت افراد در یک محل برای یک زلزله مشخص می‌تواند شدت‌های گوناگونی از زلزله را ارائه دهد.
- در نتیجه، مقیاس‌های گوناگونی از شدت زلزله در دنیا وجود دارد که یکی از معروف‌ترین آنها، مقیاس اصلاح‌شده مرکالی است.

مقیاس مرکالی

بزرگی شدت	تأثیرها				
I	احساس نمی شود				
II	توسط شخص در حال استراحت یا در طبقات بالای ساختمان احساس می شود.				
III	در داخل ساختمان احساس می شود. اشیاء آویزان تکان می خورند ارتعاشی مثل گذار کامیونهای سبک دارند. مدت لرزش قابل برآورد است. ممکن است زلزله به حساب نیاید.				
IV	اشیاء آویزان تاب می خورند. ارتعاشی مثل گذار کامیونهای سنگین یا احساس ضربتی مثل برخورد یک توپ سنگین به دیوار دارد. ماشینهای پارک شده تکان می خورند. پنجره ها، بشقابها و درها به صدا در می آیند. شیشه ها به صدا در می آیند. ظروف سفالی به هم می خورند. در حد فوقانی آذینواره های چوبی و فلزها ترک بر می دارند.				
V	در خارج ساختمان احساس می شود. جهت آن قابل برآورد است. افراد خواب بیدار می شوند. مایعات به حرکت در می آیند و برخی از آنها به خارج ظرف خود می ریزند. اشیاء ناپایدار کوچک جا به جا یا واژگون می شوند. درها تکان می خورند و باز و بسته می شوند. سامانه های آونگی متوقف شود. به حرکت آمده یا سرعشان تغییر می کند.				
VI	توسط همه احساس می شود. بسیاری موحش شده و از ساختمانها خارج می شوند. اشخاص به طور نامتعادلی حرکت می کنند. پنجره ها، بشقابها و ظروف شیشه ای می شکنند. اشیاء، کتابها و چیزهای دیگر از قفسه ها به خارج می ریزند. مکندها از دیوارها فرو می افتند. مایها جا به جا شده یا واژگون می شوند. گوجهای ضعیف یا ساختمانهای نوع D ترک بر می دارند. رنگهای کوچک کلیساها و				
VII	۶	ایستادن مشکل می شود. توسط رانندگان وسایل نقلیه احساس می شود. اشیاء آویزان شدیداً نوسان می کنند. مایها و وسایل چوبی می شکنند. بناهای نوع D صدمه می بینند و ترک بر می دارند. دودکشهای ضعیف در محل انفجارشان به سقف می شکنند. قطعات گچ آجرهای سست، سنگ و کاشی سقوط می کنند. برخی از بناهای نوع C ترک بر می دارند. امواج آب در سطح حوضها و آبگیرها گل آلود می شود. لغزش ها و حفرات کوچکی در سواحل شنی و ماسه ای ایجاد می شود. رنگ های بزرگ کلیساها به صدا در می آیند. نهرهای آبیاری صدمه می بینند.			
VIII		حداً پت وسایل نقلیه مشکل می شود. بناهای نوع C صدمه می بینند و بعضی از آنها فرو می ریزند. به بناهای نوع II کتی صدمه وارد می آید بناهای نوع A بدون صدمه باقی می ماند. گچ کارها و برخی از دیوارها فرو می ریزند. دودکشها و بناهای بادبند، پرچها و مخازن مرتفع می چرخند و فرو می ریزند. دیوارهای جداکننده ای که محکم نباشد از محل خود خارج می شوند. شمعهای فرسوده شده می شکنند. شاخه های درختان می شکنند. میزان دما و چرین آب چشمه ها و چشمه ها تغییر می کند. در زمینهای مرطوب و دامنه های پرتیب ترک های ایجاد می شود.			
IX	۷	مردم مردم احساس وحشت می کنند. بناهای نوع D کاملاً تخریب می شوند. بناهای نوع C به شدت صدمه می بینند و گاه کاملاً فرو می ریزند. بناهای نوع B به طور جدی صدمه می بینند. ساختمانهای پیش ساخته، اگر خوب به هم متصل نشده باشند، از محل پی جا به جا می شوند مخازن شدیداً صدمه می بینند. لوله های زیرزمینی می برند. ترکهای آشکاری در زمین ایجاد می شود. در زمینهای آبرفتی، ماسه و گل به خارج فوران می کنند.			

معادل سازی بزرگای محلی با شدت مرکالی

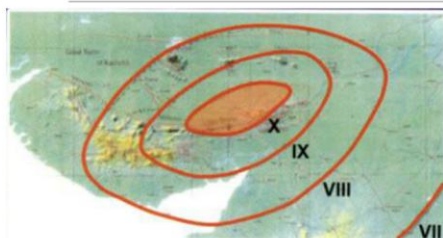


Figure 2: Isoseismal Map of the 2001 Bhuj (India) Earthquake (MSK Intensity)

درجه مرکالی را نمی‌توان با سرعت مشخص کرد و لازم است که محققان زمانی کافی برای بررسی اتفاقاتی که چین زمین لرزه روی داده است، در اختیار داشته باشند. هنگامی که تصور دقیقی از میزان خسارت‌های وارده به دست آمد، می‌توان درجه مرکالی مناسب را با توجه به تغییرات فیزیکی که در محدوده حس انسان هاست، تخمین زد.

معادل سازی تقریبی مقیاس ریشتر - مرکالی

برگی ریشتر	مرکالی (ساخت کمی بین ۱ تا ۱۲)	تعداد برآورد شده در یک سال
۲ و ۱۰	---	۷۰۰۰۰
۳، ۹ و ۳	۳	۳۰۰۰۰
۳، ۹ و ۳	---	۴۹۰۰۰
۴	۳	---
۴، ۹ و ۴	جزئی	۶۳۰۰
۵	۶	---
۵، ۹ و ۵	آسیب رساننده	۸۰۰
۶	۷	---
۷	۱۰	---
۷، ۹ و ۷	عمده	۱۸
۸	۱۲	---
۸، ۶ و ۸	عظیم	هر چند سال یکبار

بزرگای محلی زلزله

معایب مقیاس مرکالی: کیفی بودن، نیاز به مصاحبه با شاهدان دارد، نیاز به تعلیم در مناطق فعال لرزه ای

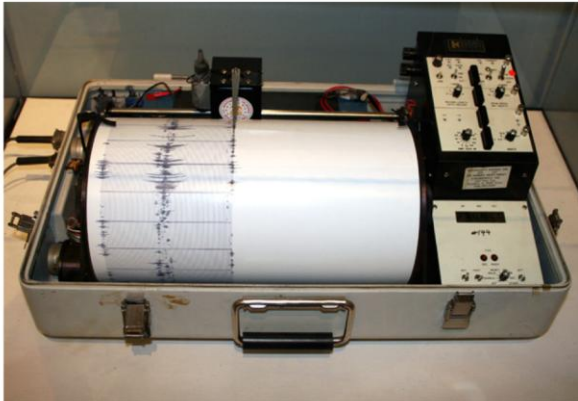
بزرگای محلی: • مقیاس ریشتر یک مقیاس کمی برای میزان انرژی آزادشده به وسیله زلزله است که بر اساس اطلاعات دستگاهی محاسبه می گردد.

• بزرگی زلزله به صورت لگاریتم حداکثر دامنه نوسان ثبت شده زلزله بر حسب میکرون بر لرزه نگاشت استاندارد *Wood-Anderson* که در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از مرکز آن زلزله قرار دارد، بیان می شود.

معایب بزرگای
ریشتر

میزان انرژی رسیده به هر نقطه از سطح زمین علاوه بر میزان انرژی آزادشده در کانون زمین لرزه به مجموعه عواملی نظیر عمق زمین لرزه (فاصله کانون زمین لرزه از مرکز روزمینی زمین لرزه)، جنس خاک و ... بستگی دارد. به بیان دیگر ریشتر تنها از روی دامنه بلندترین موج لرزه ها، بزرگی زمین لرزه را محاسبه می کند و هیچ مشخصه فیزیکی اساسی دیگری از امواج زمین لرزه برای محاسبه در نظر گرفته نمی شود. بزرگای محلی ریشتر هیچ تفاوتی بین انواع مختلف امواج قاتل نمی شود. بنابراین مقیاسهای بزرگای دیگری نیز تعریف شد.

بزرگای سطحی و حجمی زلزله



- با توجه به زلزله‌های دور و نزدیک و اهمیت نسبی موج‌های لرزه‌ای در هر کدام از این دو نوع زلزله، بزرگی موج‌های سطحی (M_s) و موج‌های پیکری (M_b) تعریف می‌شود.
- چون در زلزله‌های دور، موج‌های سطحی دارای تأثیر غالب هستند برای بیان آنها از بزرگی موج‌های سطحی و برای زلزله‌های نزدیک از بزرگی امواج پیکری استفاده می‌شود.

بزرگای سطحی و حجمی زلزله

در فواصل بزرگ از مرکز سطحی زلزله، امواج حجمی معمولاً میرا گشته و به اندازه‌ای پراکنده می‌شوند که حرکات غالب و مستجه امواج سطحی است.

«بزرگای موج سطحی» (گوتنبرگ و ریشتر، ۱۹۳۶) یک مقیاس بزرگای جهانی برپایه دامنه امواج رالی با پریود حدود ۲۰ ثانیه است.

برخلاف بزرگای محلی ریشتر، در بزرگای سطحی نوع موج مشخص بوده و می‌توان آنرا با هر نوع لرزه نگار تعیین نمود.

m_b never exceeds ~6.4

M_s never exceeds ~8.4

M_w defined from moment so never saturates

بزرگای سطحی مناسب برای } زلزله های متوسط تا بزرگ
 زلزله های کم عمق (کمتر از ۷۰ کیلومتر)
 زلزله های نسبتاً دور (فواصل بیشتر از ۱۰۰۰ کیلومتر)

برای زلزله‌های با کانون عمیق، امواج سطحی اغلب کوچکتر از آن است که امکان ارزیابی آنها با بزرگای موج سطحی باشد.

بزرگای موج حجمی (گوتنبرگ ۱۹۳۵) یک مقیاس جهانی برپایه دامنه چند سیکل اول امواج P است که چندان تحت تاثیر عمق کانونی قرار نگرفته باشند.

روابط بزرگای محلی، سطحی و حجمی زلزله

فرم کلی بزرگای محلی: $M_L = \log \frac{a}{a_0}$ (a) حداکثر دامنه نوسان موج لرزه‌ای ثبت شده روی لرزه نگار مقدار (a₀) را باید برای هر ایستگاه لرزه نگاری به دست آورد.

محاسبه a₀ نیاز به کالیبره کردن دارد به عنوان مثال:

The Lillie empirical formula is:

A is the maximum ground displacement in micrometers

$$M_L = \log_{10} A - 2.48 + 2.76 \log_{10} \Delta$$

Δ is the epicentral distance (in kilometers).

فرم کلی بزرگای سطحی یا حجمی: $M_s = \log \left(\frac{a}{T} \right) + f(d, h)$ یا m_b

در این رابطه، (a) حداکثر دامنه نوسان (ارتعاش) زمین، (T) دوره تناوب موج و تابع (f(d,h)) تأثیر عمق کانونی و فاصله بر دامنه موج لرزه‌ای است.

روابط بزرگای سطحی و حجمی زلزله

بزرگای سطحی: $M_s = \log(A/T) + 1.66 \log \Delta + 3.3$

A is the maximum ground displacement in micrometers

T is the wave period in seconds Δ بر حسب درجه

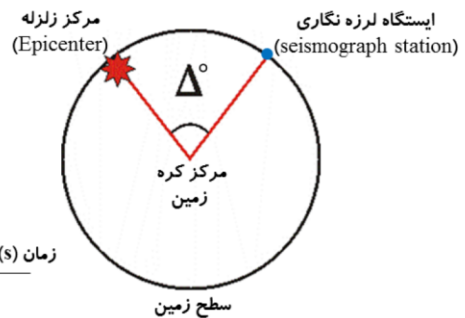
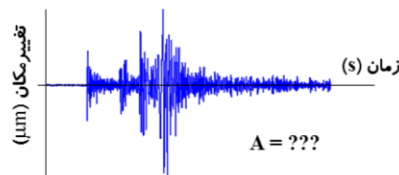
بزرگای حجمی: $m_b = \log A - \log T + 0.01 \Delta + 5.9$

A is the p-wave amplitude in micrometers

T is the period of the p-wave

A بیشینه جابجایی (مجموع برداری

دو جابجایی افقی) در یک زمان ثابت



بزرگای گشتاور زلزله

گشتاور لرزه ای (معیاری برای اندازه گیری کار انجام شده توسط زلزله) $M_0 = \mu A \bar{D}$ }
 μ مقاومت گسیختگی مصالح در امتداد گسل
 A سطح لغزش
 \bar{D} متوسط مقدار لغزش گسل

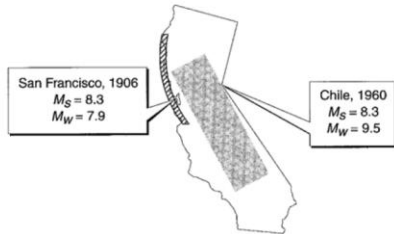
رابطه مناسبی با انرژی آزاد شده در زلزله دارد.

بزرگای گشتاور زلزله: $M_w = \frac{\log M_0}{1.5} - 10.7$ ← M_0 ممات لرزه ای بر حسب $\text{dyne}\cdot\text{cm}$ ($10^{-7} \text{ N}\cdot\text{m}$)

مقیاس بزرگای گشتاوری به غیر از دامنه از امواج زمین لرزه، داده های بیشتری مانند نقطه گسیختگی گسل، میزان حرکت گسل و نیروی فشار وارده به گسل را در نظر می گیرد. اگر فشار وارده به گسل از حد تحمل سنگ های پوسته در سطح گسل بیشتر شود، گسل به لغزش در آمده و باعث ایجاد زمین لرزه می شود.

این یکا برای زمین لرزه های متوسط (بزرگای گشتاوری تقریباً ۵) مشابه با مقیاس ریشتر است. اما برای زمین لرزه های بزرگ تر از این مقدار، یکای بزرگای گشتاوری، بسیار دقیق تر است. در حال حاضر این مقیاس رایج ترین مقیاس مورد استفاده در مطالعات زمین لرزه شناسی است.

بزرگای گشتاور زلزله



مقایسه سطوح نسبی گسیختگی گسل (سایه‌دار) و بزرگای، برای زلزله‌های سال ۱۹۰۶ و ۱۹۶۰ میلادی. اگرچه حرکات هر دو زلزله امواج سطحی با بزرگای ۸/۳ ایجاد نمودند، لیکن مقدار انرژی آزاد شده بسیار متفاوت بود که این اختلاف در مقادیر بزرگای گشتاور این دو زلزله منعکس می‌باشد.

مثال: یک زلزله، جابجایی متوسط امتداد لغزشی معادل ۲/۵ متر را در بخشی از یک گسل که ۸۰ کیلومتر طول و ۲۳ کیلومتر عمق دارد ایجاد کرده است. فرض کنید که سنگ در امتداد گسل دارای مقاومت گسیختگی متوسط (KPa) ۱۷۵ می‌باشد، گشتاور لرزه‌ای و بزرگای گشتاور آنرا محاسبه کنید.

طول گسل: ۸۰ کیلومتر، عمق گسل: ۲۳ کیلومتر، مقاومت گسیختگی: ۱۷۵ کیلوپاسکال ($1N = 10^5 \text{ dyne}$)، مقدار متوسط لغزش: ۲/۵ متر

$$M_0 = \mu A D = 175 \times 10^4 \times (80 \times 23 \times 10^{10}) \times 250 \\ = 8.05 \times 10^{21} \text{ dyne} - \text{cm}$$

$$M_W = \frac{\log M_0}{1.5} - 10.7 = \frac{\log (8.05 \times 10^{21})}{1.5} - 10.7 = 3.9 \text{ dyne} - \text{cm}$$

انرژی زلزله (رابطه گوتنبرگ ریشتر)

(Gutenberg and Richter, 1956)

اگر بزرگای سطحی زمین لرزه‌ای M_s باشد، آنگاه انرژی آزاد شده آن زمین لرزه E بر حسب ارگ خواهد بود:

$\log E = 11.8 + 1.5 M_s$

1 ارگ (erg) معادل 10^{-7} ژول (joule)

E is expressed in ergs

این رابطه را می‌توان برای بزرگای گشتاور نیز یکار برد

اضافه شدن هر یک درجه به بزرگی زمین لرزه، انرژی آزاد شده آن تقریباً $10^{1.5}$ یا 31.6 برابر بیشتر می‌شود. انرژی یک زمین لرزه ۸ ریشتری برابر با انرژی انفجار یک میلیارد TNT برآورد شده‌است.

انرژی آزاد شده ناشی از یک بمب اتمی مشابه آنچه که در فاجعه هیروشیما استفاده شده

(معادل ۲۰۰۰۰ تن TNT) متناظر با یک زلزله با بزرگای ۶ است. بر این پایه زلزله ۱۹۶۰

شیلی انرژی معادل ۱۷۸۰۰۰ برابر چنین بمب اتمی آزاد نمود