

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

موضوع سمینار

آشنایی با مفاهیم، مبانی و کاربردهای علم زلزله شناسی

An Introduction to fundamentals, theory and applications of seismology

توسط:

دکتر نادرفتحیان پور

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن

مکان:

دانشگاه اصفهان

زمان:

دوم آبان ۱۳۹۱

فهرست مطالب

- ✓ تعریف علم زلزله شناسی
- ✓ تاریخچه توسعه علم زلزله شناسی و ثبت رخداد های لرزه ای (تاریخی و دستگاهی)
- ✓ تاریخچه تحول روشهای برآورد پارامترهای لرزه خیزی
- ✓ مبانی و قوانین حاکم بر تولید و انتشار امواج لرزه ای
- ✓ مختصری پیرامون ارتباط گسلها و زمین لرزه و تکتونیک صفحه ای
- ✓ تعاریف کاربردی در تحلیل خطر زمین لرزه
- ✓ انواع روابط کاهندگی مهم جهان و ایران
- ✓ مبانی تحلیل خطر زمین لرزه ها
- ✓ معرفی انواع روشهای آماری توزیع زمانی زمین لرزه ها
- ✓ تحلیل ریسک زلزله
- ✓ انواع رهیافتهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین لرزه
- ✓ معیارهای کاربرد علم زلزله شناسی در صنعت ساختمان (استاندارد ۲۸۰۰)
- ✓ مطالعات موردی
- ✓ منابع

تعریف علم زلزله شناسی

علم زلزله شناسی عبارت است از مطالعه انتشار و نگاشته شدن موجهای الاستیک در زمین و سایر سیاره ها و چشمه ایجاد کننده این موجها. به عبارت دیگر زلزله شناسی علم مطالعه موجهای الاستیک یا موجهای لرزه ای در زمین جامد است. به طور کلی موجهای لرزه ای در یک چشمه تولید می شوند ، که این چشمه می تواند طبیعی باشد مانند زلزله و یا مصنوعی باشد مانند انفجار . موجهای حاصله ، از یک محیط که بخشهایی از زمین است ، عبور می کنند و در گیرنده نگاشته می شوند .

تاریخچه علم زلزله شناسی و ثبت رخداد های لرزه ای

قرنها ست که انسان به مطالعه زمین لرزه ها که موجب خسارتهای جانی و مالی وسیع می شده اند علاقه مند بوده است . اولین تلاشهای انجام شده در این راه عبارتند از :

✓ چینی ها در این راه پیش قدم بوده و در سال ۱۳۲ قبل از میلاد مسیح یک فیلسوف چینی به نام چانگ-هنگ لرزه نگاری به نام لرزه نما اختراع کرد که مشاهده بروز یک حرکت را امکان پذیر ساخته ولی میزان حرکت را اندازه گیری نمی کرد .

پس از دستگاه اختراع شده توسط چینی ها وسیله زلزله نگار دیگری در تاریخ ذکر نشده تا اینکه بعدها

✓ یک ایتالیایی بنام اندریا بینا در سال ۱۷۵۱ یک سیستم پاندولی را ابداع کرد که در آن یک قلم بر روی ماسه حرکت می کرد

✓ اولین تلاش برای ثبت زمان لرزش در سال ۱۷۸۴ توسط آ.چووالی صورت گرفته است که وی لرزه نماها را (که حاوی گوی های پر از جیوه بوده اند) در بالای یک صفحه گردان قرار داد که برای نمایش زمان سوراخ بود و این سوراخ ها محل تجمع جیوه بود که پس از وقوع جنبش از گوی ها سرازیر می شد .

✓ در سال ۱۸۵۱ رابرت مالت از یک گیرنده جنبش زمین استفاده کرد که در آن از انعکاس نور از یک مخزن جیوه برای اندازه گیری سرعت موجهای الاستیک در سنگهای سطحی بهره گیری می شد. این کار شروع زلزله شناسی تلقی می شود.

✓ اولین لرزه نگار واقعی که جنبش یک پاندول را نسبت به زمین به صورت تابعی از زمان ثبت می کرد توسط فیلیپو سچی در ایتالیا در سال ۱۸۷۵ ساخته شد و به گونه ای بود که یک ساعت و یک وسیله ثبت کننده را در اولین زمان لرزش به حرکت در آورد.

✓ پس از سال ۱۸۷۵ توسعه سریع دستگاههای لرزه نگاری در یک دوره زمانی کوتاه مدت رخ داد. گروهی از انگلیسی ها که در ژاپن تدریس می کردند از جمله جان میلن ، جیمز ادوینگ و توماس گری اولین سیستمهای نسبتا پیروود بلند و لرزه نگارهای مولفه قائم را ایجاد کردند.

✓ در سال ۱۸۸۹ اولین لرزه نگاشت روی کاغذ به طور همزمان در ایتالیا ، انگلستان و آلمان ساخته شد .

✓ در سال ۱۹۰۰ با استفاده از اولین آرایه جهانی با ۴۰ لرزه نگار مولفه افقی با نگاشت عکسی (ساخته شده توسط جان میلن ، و با همکاری سایر ایستگاههای لرزه نگاری در اروپا و ژاپن) اولین پایگاه داده های لرزه نگاری حاصل شد تا با استفاده از نظریه موجهای الاستیک مطالعه ارتعاشهای زمین آغاز گردد.

پیشرفتهای علمی و فنی در سده بیستم موجب شد تا دستگاههای سبکتر و کاراتر ساخته شود. استفاده از الکترونیته موجب شد تا تبدیل جابجائی یا شتاب زمین به سیگنال قابل اندازه گیری امکان پذیر شود .

در حال حاضر اندازه گیری جنبش زمین (Ground Motion) در حد خرد لرزه های طبیعی امکان پذیر است . با چنین امکاناتی نه تنها می توان مشخصات دقیق زمین لرزه ها را ثبت کرد ، بلکه ساختار درونی زمین را نیز می توان بررسی کرد.

✓ در سال ۱۹۶۲ شبکه WWSSN که شامل ۱۲۰ ایستگاه بود در ۶۰ کشور جهان از جمله ایران مستقر بودند .

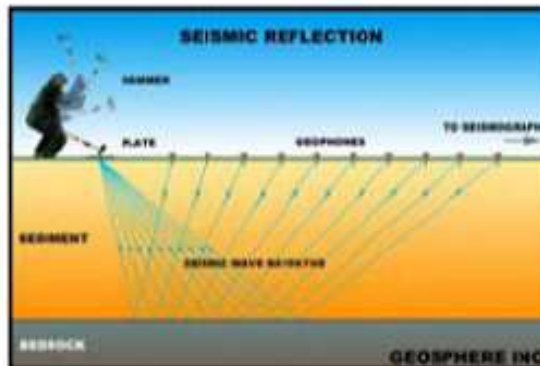
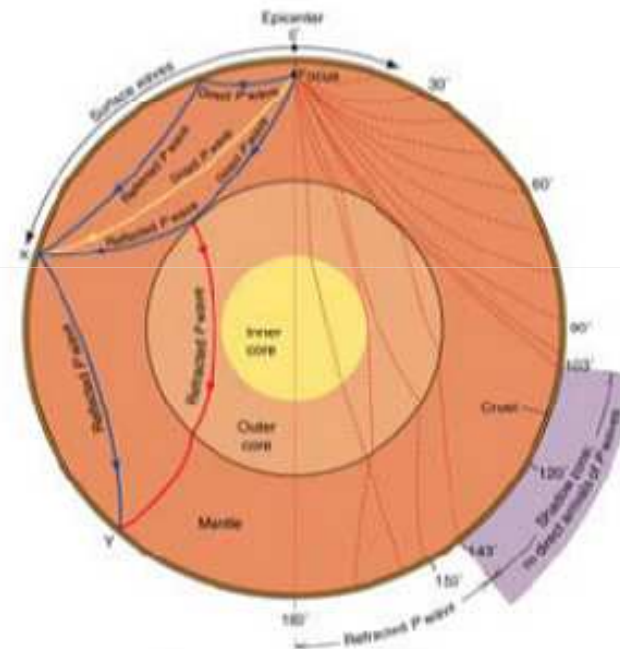
مبانی تولید و انتشار امواج لرزه ای

مبانی تئوریک روشهای لرزه ای

...think sources and targets

Global seismology

- Earthquake sources
- Global ray paths
- Imaging 3D structure of the Earth's interior



Refraction & Reflection seismology

- Controlled sources
- Crustal and uppermost mantle ray paths
- Crustal structure

امواج الاستيڪ

When a stress is applied (or released) the corresponding strain propagates out from the source.

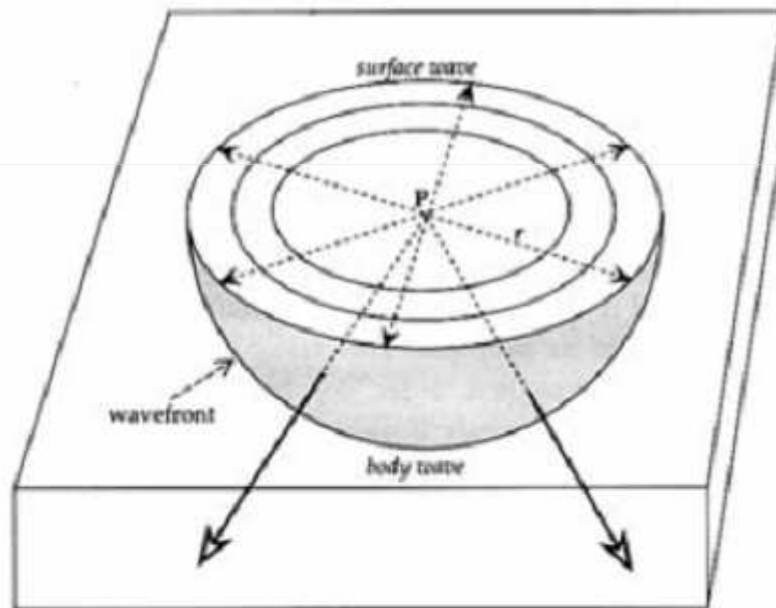


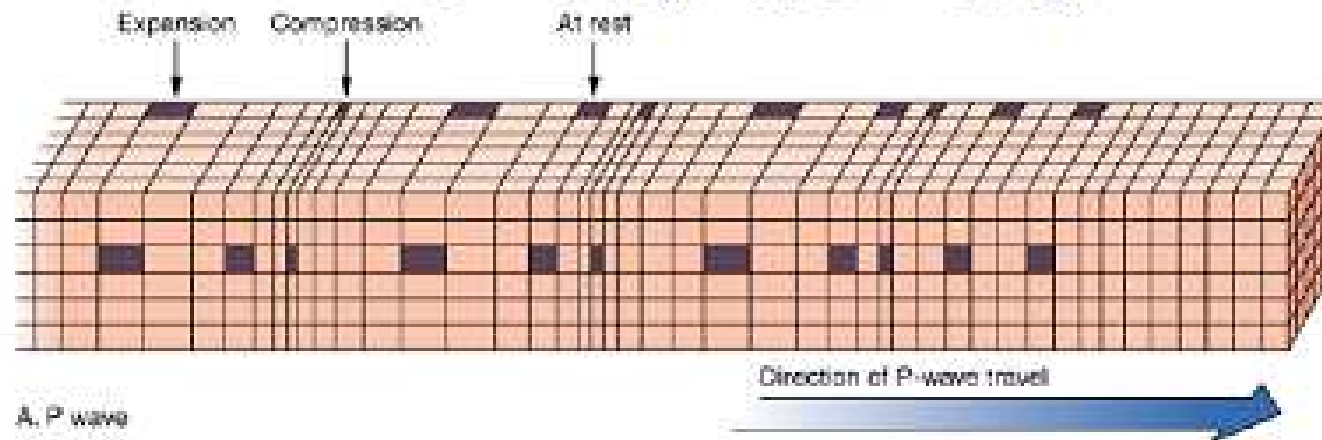
Fig. 3.9 Propagation of a seismic disturbance from a point source P near the surface of a homogeneous medium; the disturbance travels as a body wave through the medium and as a surface wave along the free surface.

Point source seismic disturbance:

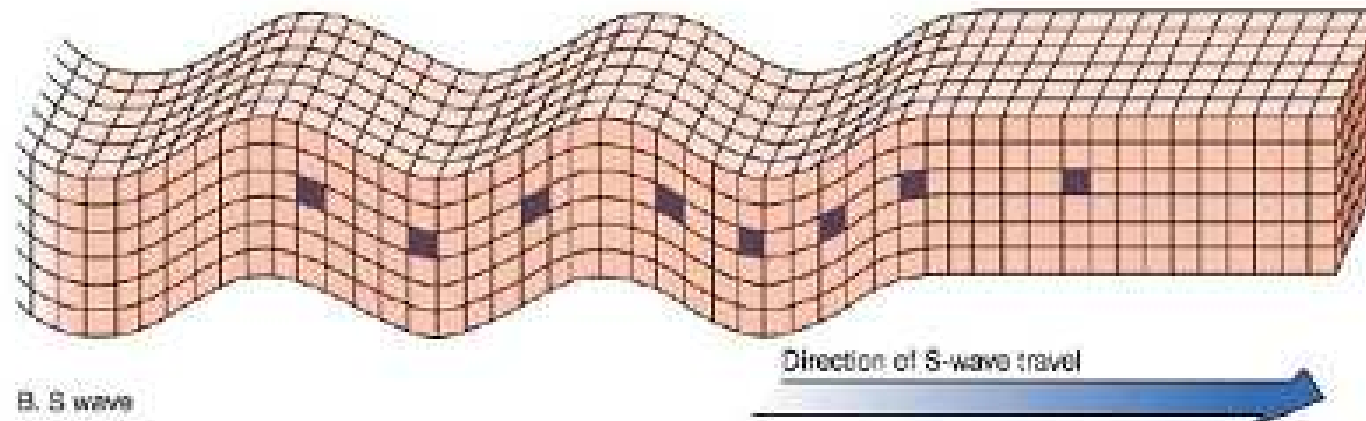
- Wavefront expands out from the point: **Huygen's Principle**
- Body waves: sphere
- Surface waves: circle
- **Rays**: perpendicular to wavefront

انواع امواج لرزه ای حجمی و سطحی (Body Waves)

امواج اولیه، فشاری و یا طولی (Primary Waves)

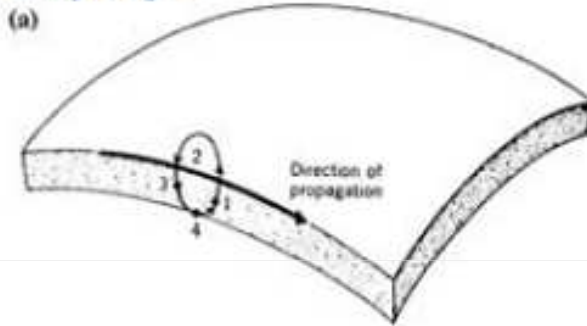


امواج برشی، عرضی و یا ثانویه (Shear Waves)

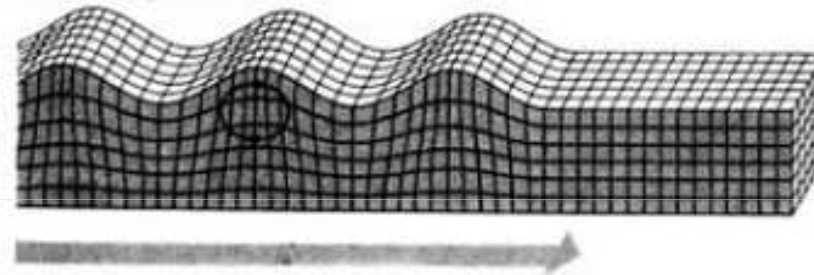


امواج سطحی ریلہ و لائو (Surface Waves, Rayleigh, Love Waves)

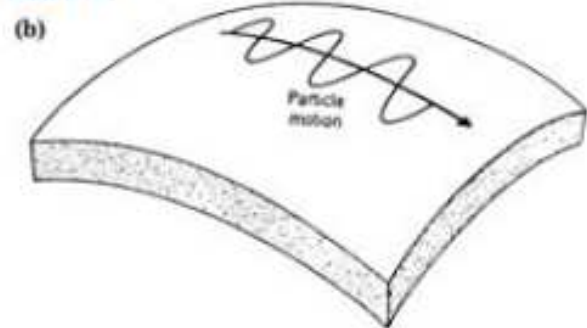
Rayleigh



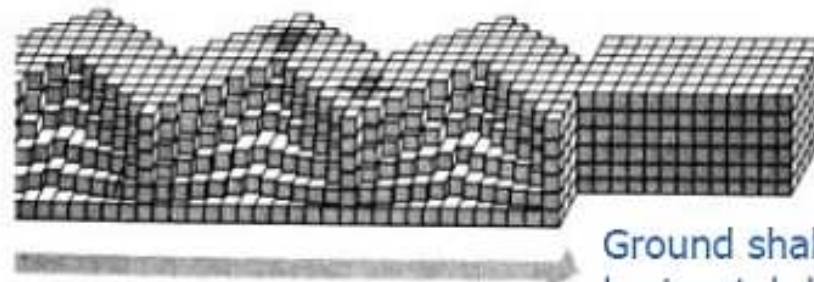
(a) Rayleigh wave



Love



(b) Love wave



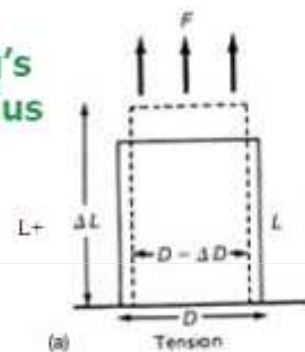
- Surface waves have lower velocities than body waves
- They are mainly a source of noise for us

مفاهیم پایه و تعریف مدولهای الاستیک

Elastic moduli

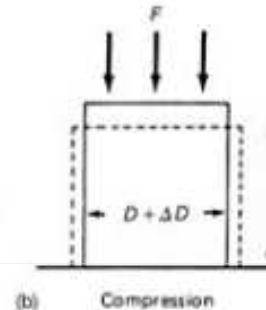
describe the physical properties of the rock
...and determine the seismic velocity

Young's modulus



$$E = \frac{\text{longitudinal stress}}{\text{longitudinal strain}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

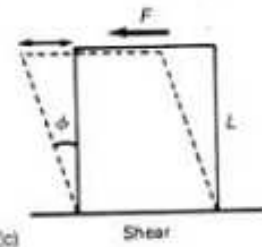
Poisson's ratio



$$\sigma = \frac{\text{transverse strain}}{\text{longitudinal strain}} = \frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$$

Shear modulus, μ

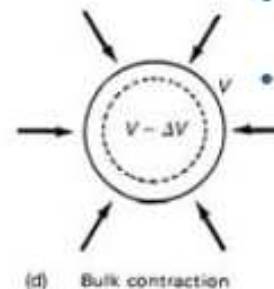
- Force per unit area to change the shape of the material



$$\mu = \frac{\text{shear stress}}{\text{shear strain}} = \frac{F/A}{\tan \phi}$$

Bulk modulus, κ

- Ratio of increase in pressure to associated volume change
- Always positive



$$K = \frac{\text{volume stress}}{\text{volume strain}} = \frac{P(\text{pressure})}{\Delta V/V}$$

Fig. 4.2 Common types of elastic stress and strain. Cross-sections of bodies shown before strain (solid line) and after strain (dashed line). Directions of stress are shown by thick arrows. The related elastic moduli are defined. (a,b) Young's modulus, E , and Poisson's ratio, σ ; (c) shear (or rigidity) modulus, μ ; (d) bulk modulus, K : application of uniform pressure shown by thick arrows around the body. Poisson's ratio is a measure of the relative deformation of the body in two perpendicular directions. F denotes the force acting on a cross-sectional area A .

مصادر انتشار امواج الاستيكا

Seismic sources

Rifles and guns

- Cheap
- Repeatable – fire into water filled hole
- Shallow targets 0-50m

Sledge hammer

- Cheap
- Repeatable once plate is stable (and with training!)
- Targets 15-50m



Weight drops

- Cheap
- Repeatable – automated
- Targets > 50m



- Energy input
- Repeatability
- Cost
- Convenience

Seismic sources

Vibroseis

- No pulse, frequency sweep
- Significant signal with stacking/deconvolution

Explosives

- Various sizes – target depth
- Safety and expense can be an issue

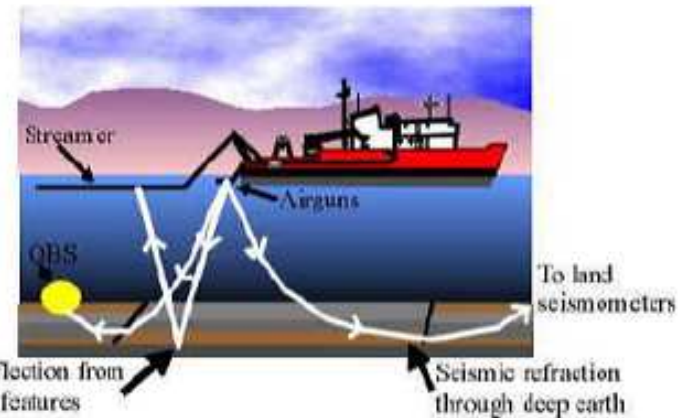
Air guns

- At sea
- Very repeatable
- Large array for big signal



Consider

- Energy input
- Repeatability
- Cost
- Convenience

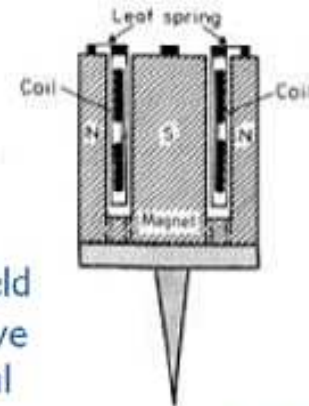


گیرنده های امواج لرزه ای (ژئوفونها)

Seismic receivers

Geophones

- Cylindrical coil suspended in a magnetic field
- The inertia of the coil causes motion relative to the magnet generating a electrical signal
- Geophones are sensitive to velocity



Instrument response

- The relation between the input ground motion and the output electrical signal

Natural frequency

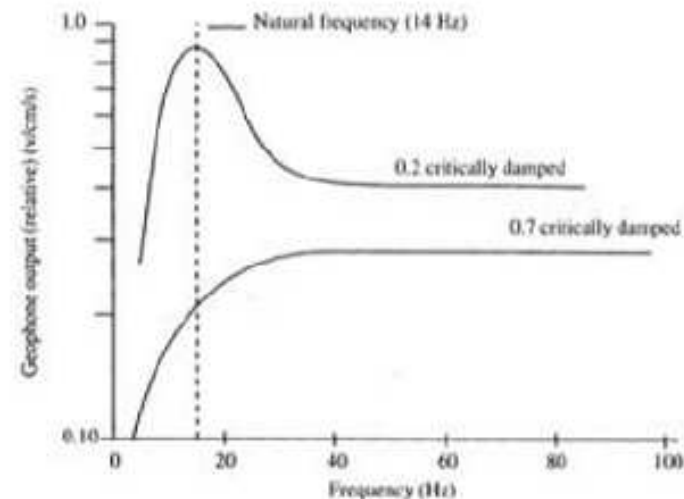
- The frequency which produces the maximum amplitude output

Damping

- Reduces the amplitude of the natural frequency response and prevents infinite oscillations
- Want a **flat response**

Hydrophones

- Used at sea
- Use piezoelectric minerals to sense pressure variations



ترقیق امواج لرزه ای

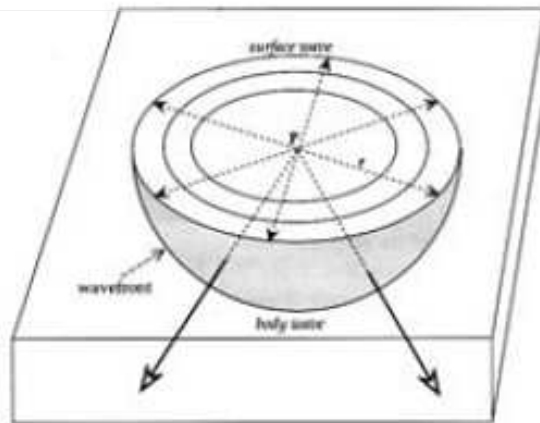
Attenuation

The amplitude of an arrival decreases with distance from the source

1. Geometric spreading

Energy spread over a sphere: $4\pi r^2$

Amplitude $\propto 1/r$



2. Intrinsic attenuation

Rocks are not perfectly elastic. Some energy is lost as heat due to frictional dissipation.

Amplitude $\propto e^{-\alpha r}$

where α is the absorption coefficient (dependent on wavelength)

Total attenuation

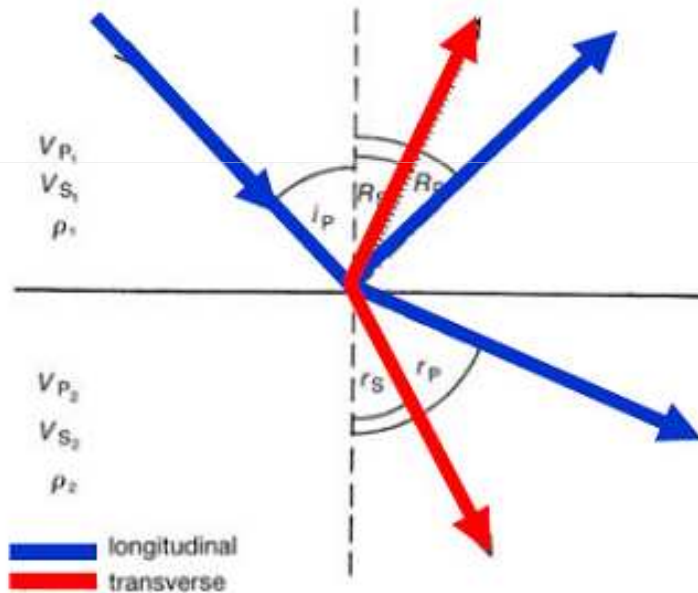
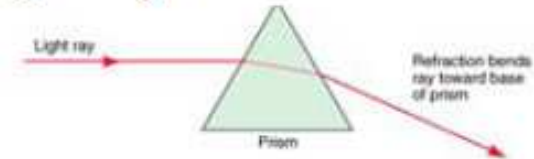
$$A = (A_0 e^{-\alpha r})/r$$

Higher frequencies attenuate over shorter distances due to their shorter wavelengths.

Therefore, high frequencies decay first leaving a low frequency signal remaining.

قانون اسنل (مبانی انعکاس و انکسار امواج الاستیک)

Reflection and transmission



Seismic rays obey Snell's Law

(just like in optics)

The angle of incidence equals the angle of reflection, and the angle of transmission is related to the angle of incidence through the velocity ratio.

But a conversion from P to S or vice versa can also occur. Still, the angles are determined by the velocity ratios.

$$\frac{\sin i_P}{V_{P1}} = \frac{\sin R_P}{V_{P1}} = \frac{\sin r_P}{V_{P2}} = \frac{\sin R_S}{V_{S1}} = \frac{\sin r_S}{V_{S2}} = p$$

تابعیت سرعت امواج طولی و عرضی با مدولهای الاستیک و فیزیکی محیط

Factors affecting velocity

$$V_P = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$
$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Density – velocity typically increases with density

(κ and μ are dependant on ρ and increase more rapidly than ρ)

Porosity and fluid saturation

Increasing porosity reduces velocity.

Filling the porosity with fluid increases the velocity.

$$\frac{1}{V_{sat}} = \frac{\phi}{V_F} + \frac{1-\phi}{V_M}$$

Poisson's ratio – related to V_P/V_S

This is used to distinguish between rock/sediment types. It is usually more sensitive than just V_P alone.

The significant variations in sediments are usually due to porosity variations and water saturation. Water saturation has no effect on V_S (for low porosities) but a significant effect on V_P .

ضرائب انعكاس و انكسار امواج الاستيک

Amplitudes reflected and transmitted

The amplitude of the reflected, transmitted and converted phases can be calculated as a function of the incidence angle using **Zoeppritz's equations**.

Simple case: **Normal incidence**

Reflection coefficient

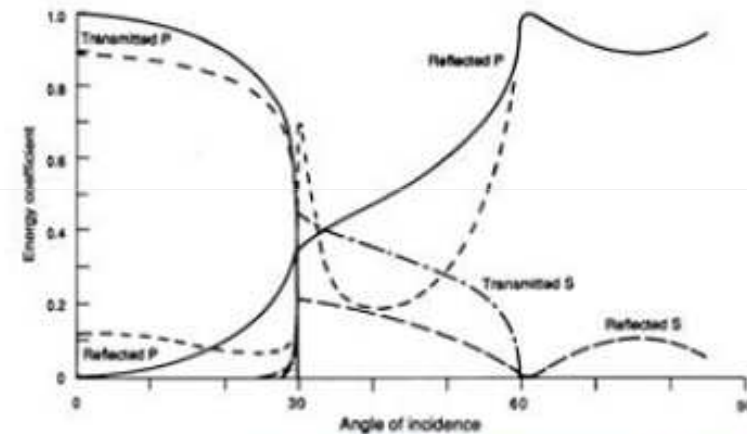
$$R_C = \frac{A_R}{A_i} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

Transmission coefficient

$$T_C = \frac{A_T}{A_i} = 1 - R_C = \frac{2\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

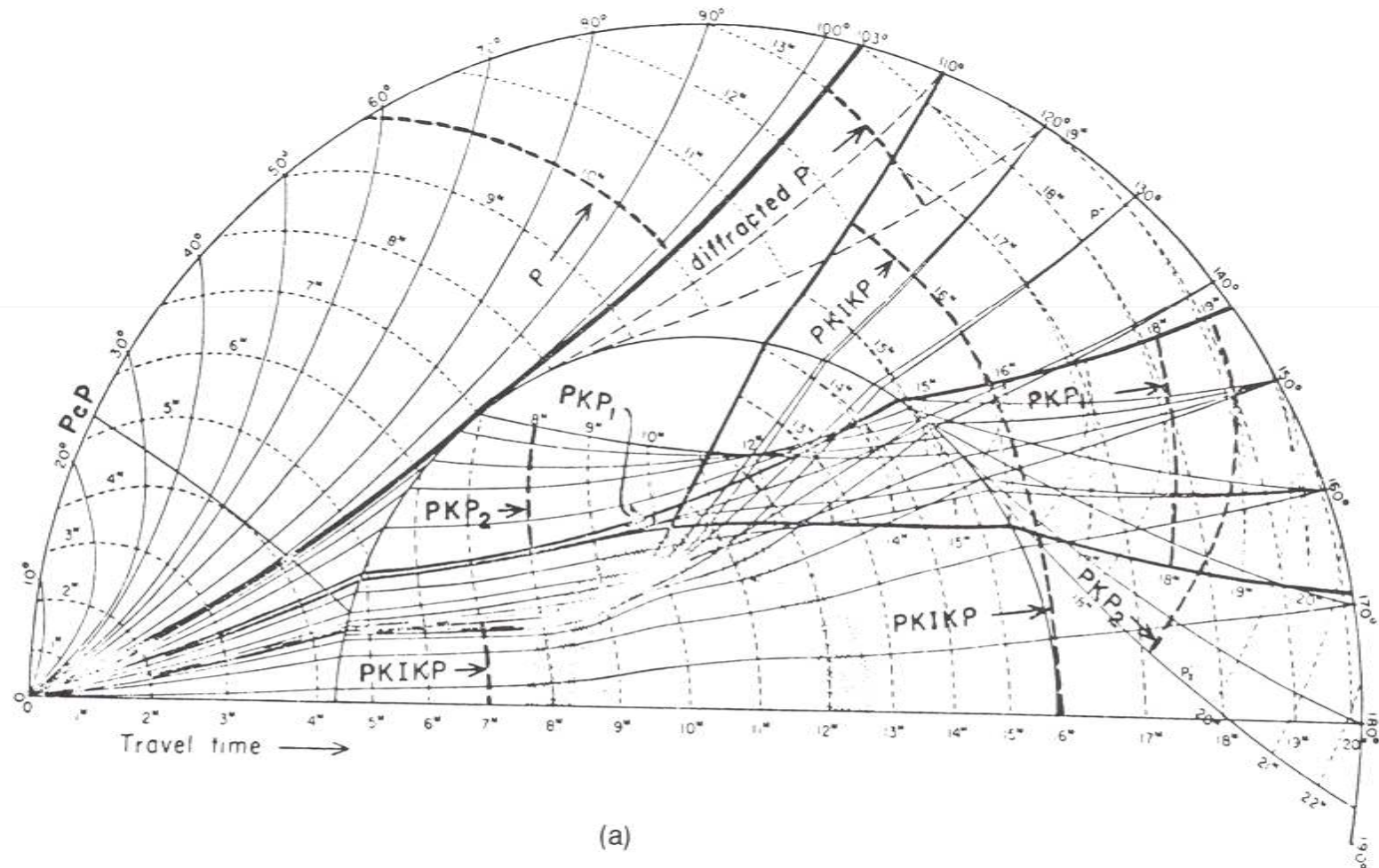
These coefficients are determined by from the product of velocity and density – the **impedance** of the material.

R_C usually small – typically 1% of energy is reflected.



Reflection and transmission coefficients for a specific impedance contrast

نمایش انواع مسیرهای انتشار امواج طولی زمین لرزه



نمایش لایه های زمین و تغییرات خواص فیزیکی آن با عمق

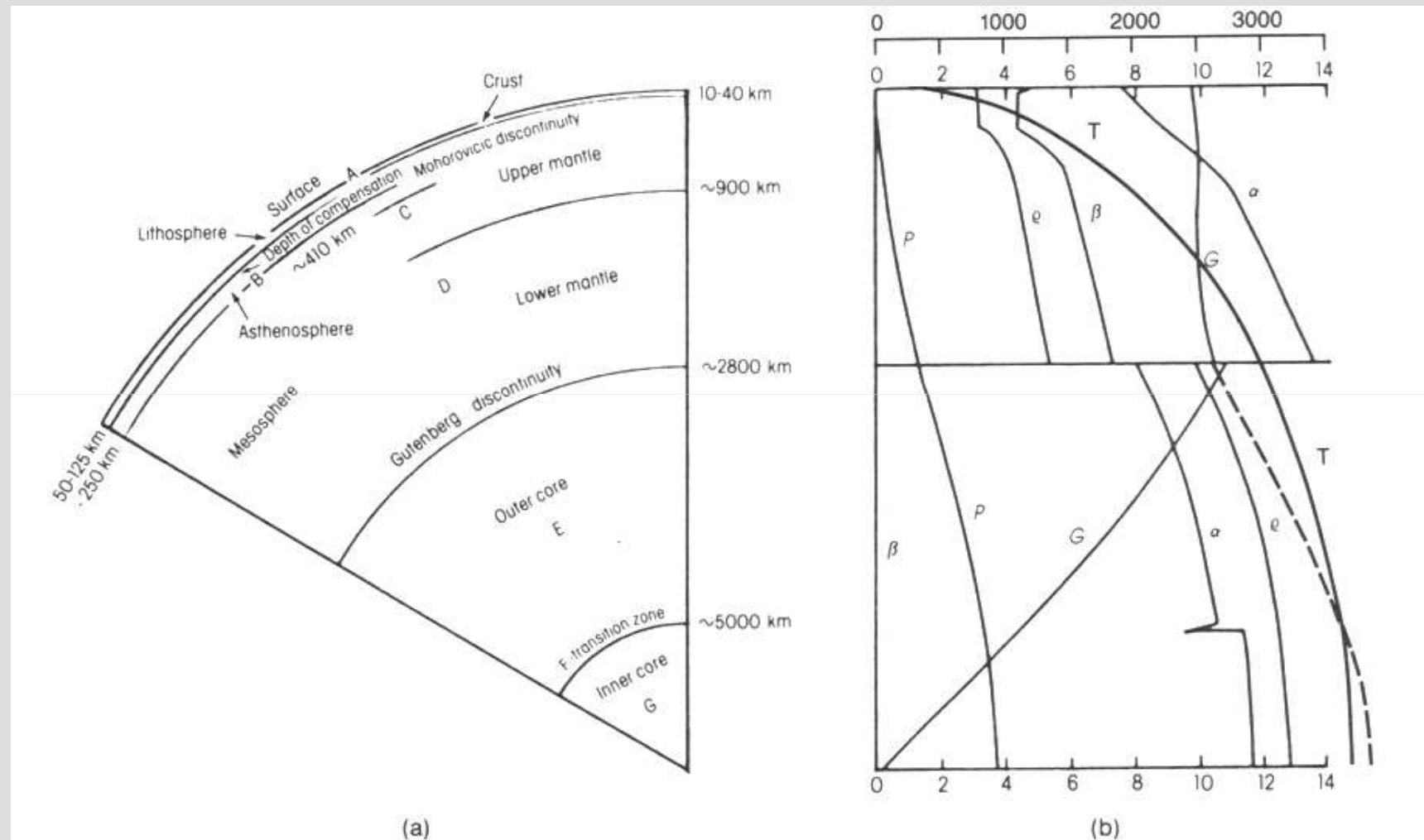
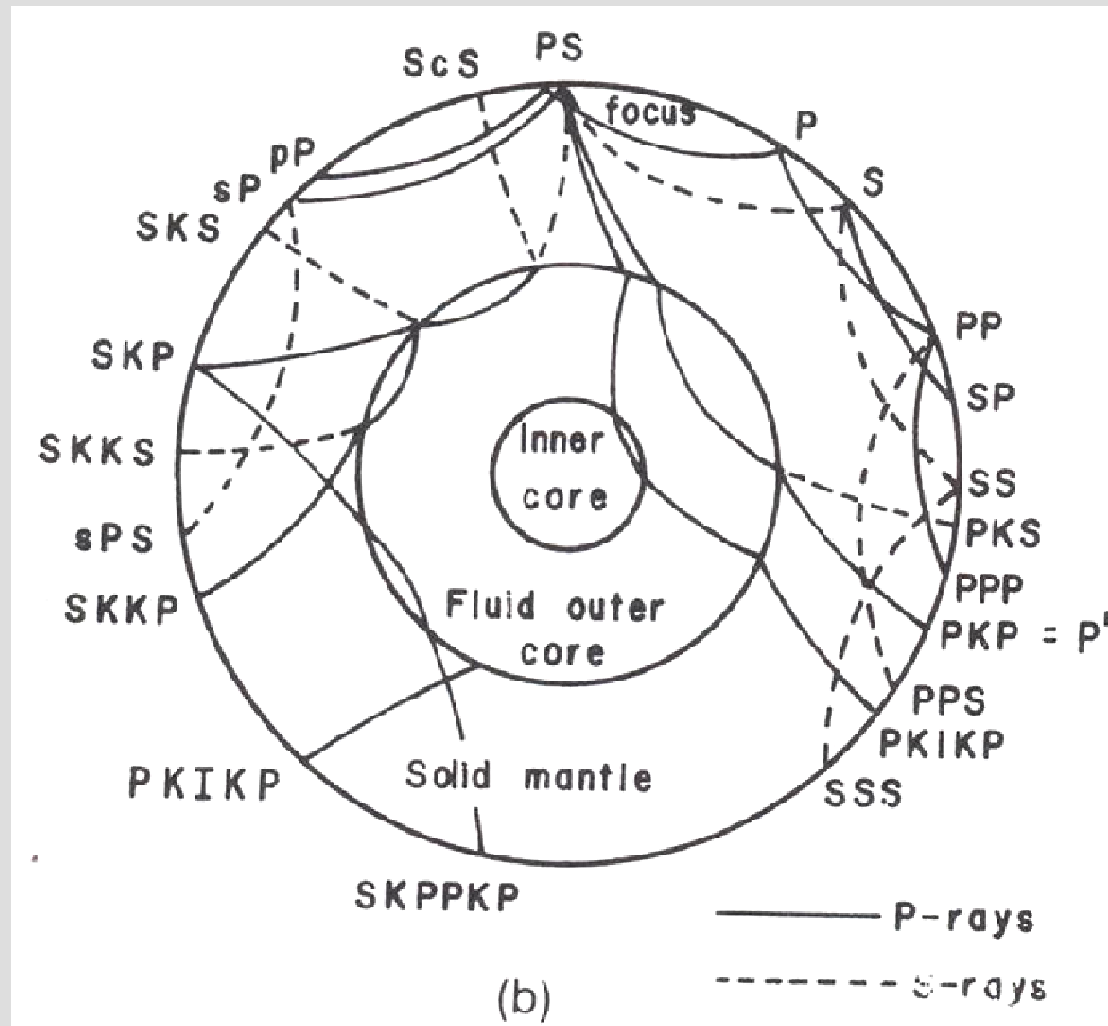


FIG. E-1. **Earth-layering.** (a) Terminology. (b) Variation of physical properties with depth within the Earth. P = pressure in 10^{11} Pa, ρ = density in g/cm^3 , β = S-wave velocity in km/s , α = P-wave velocity in km/s , G = gravity in Gal, T = temperature in K. Dashed curve represents solidus in the core. (After Haddon and Bullen, 1969.)

نمایش انواع مسیرهای انتشار امواج طولی زمین لرزه



نمایش شماتیک مؤلفه های قائم و افقی یک زمین لرزه

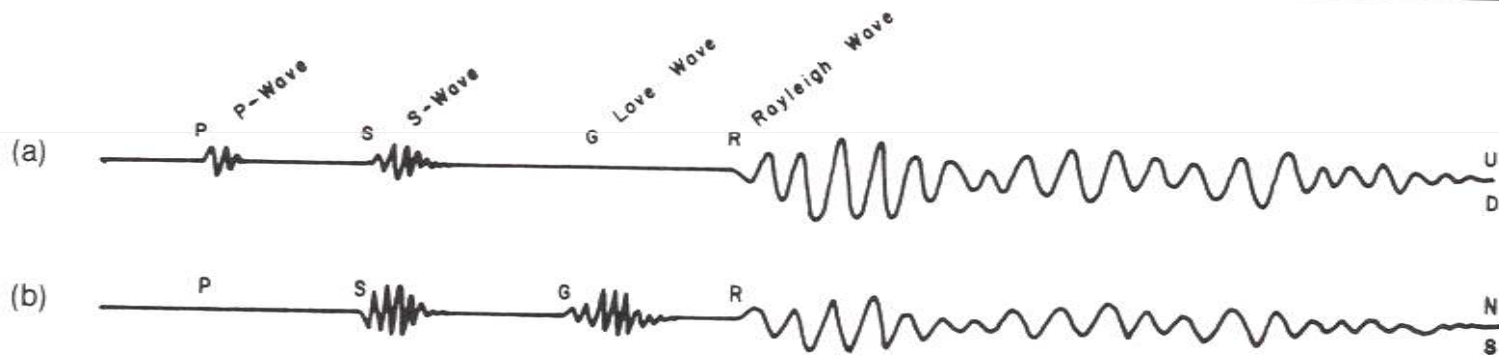


FIG. E-3. Earthquake seismogram schematic. (a) The vertical component. (b) One horizontal component.

روابط مدولهای الاستیک سنگها با پارامترهای دینامیکی فیزیکی آنها

	E	σ	k	μ	λ	V_p	V_s, V_s
(E, σ)			$\frac{E}{3(1-2\sigma)}$	$\frac{E}{2(1+\sigma)}$	$\frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$	$\left[\frac{E(1-\sigma)}{(1+\sigma)(1-2\sigma)\rho} \right]^{1/2}$	$\left(\frac{E}{2(1+\sigma)\rho} \right)^{1/2}$
(E, k)		$\frac{3k-E}{6k}$		$\frac{3kE}{9k-E}$	$3k \left(\frac{3k-E}{9k-E} \right)$	$\left[\frac{3k+E}{(9k-E)\rho} \right]^{1/2}$	$\left(\frac{3kE}{(9k-E)\rho} \right)^{1/2}$
(E, μ)		$\frac{E-2\mu}{2\mu}$	$\frac{\mu E}{3(3\mu-E)}$		$\mu \left(\frac{E-2\mu}{3\mu-E} \right)$	$\left[\frac{\mu(4\mu-E)}{(3\mu-E)\rho} \right]^{1/2}$	$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2}$
(σ, k)	$3k(1-2\sigma)$			$\frac{3k}{2} \left(\frac{1-2\sigma}{1+\sigma} \right)$	$3k \left(\frac{\sigma}{1+\sigma} \right)$	$\left[\frac{3(k-\sigma)}{(1+\sigma)\rho} \right]^{1/2}$	$\left[\frac{3k}{2\rho} \left(\frac{1-2\sigma}{1+\sigma} \right) \right]^{1/2}$
(σ, μ)	$2\mu(1+\sigma)$		$\frac{2\mu(1+\sigma)}{3(1-2\sigma)}$		$\mu \left(\frac{2\sigma}{1-2\sigma} \right)$	$\left[\frac{2(\mu-2\sigma+\mu\sigma)}{(1-2\sigma)\rho} \right]^{1/2}$	$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2}$
(σ, λ)	$\lambda \frac{(1+\sigma)(1-2\sigma)}{\sigma}$		$\lambda \left(\frac{1+\sigma}{3\sigma} \right)$	$\lambda \left(\frac{1-2\sigma}{2\sigma} \right)$		$\left(\frac{2\lambda-2\sigma}{\rho} \right)^{1/2}$	$\left[\frac{\lambda}{\rho} \left(\frac{1-2\sigma}{2\sigma} \right) \right]^{1/2}$
(k, μ)	$\frac{9k\mu}{3k+\mu}$	$\frac{3k-2\mu}{2(3k+\mu)}$			$k-2\mu/3$	$\left(\frac{k+4\mu/3}{\rho} \right)^{1/2}$	$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2}$
(k, λ)	$9k \left(\frac{k-\lambda}{3k-\lambda} \right)$	$\frac{\lambda}{3k-\lambda}$		$\frac{2}{3}(k-\lambda)$		$\left(\frac{3k-2\lambda}{\rho} \right)^{1/2}$	$\left[\frac{3(k-\lambda)}{2\rho} \right]^{1/2}$
(μ, λ)	$\mu \left(\frac{3\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} \right)$	$\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$	$\lambda + \frac{2}{3}\mu$			$\left(\frac{\lambda+2\mu}{\rho} \right)^{1/2}$	$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2}$
(V_p, V_s)	$\rho V_s^2 \left(\frac{3V_p^2-2V_s^2}{V_p^2-\frac{4}{3}V_s^2} \right)$	$\frac{V_p^2-2V_s^2}{2(V_p^2-V_s^2)}$	$\rho(V_p^2-\frac{4}{3}V_s^2)$	ρV_s^2		$\rho(V_p^2-2V_s^2)$	

FIG. E-6. Elastic constants for isotropic media expressed in terms of each other, P- and S-wave velocities V_p and V_s and density ρ .

ارتباط گسل و زمین لرزه

✓ انواع گسل در تحلیل خطر زمین لرزه

ساختارهای زمین شناختی که در عصر حاضر زمین شناسی (هولوسن ، با سن حدود ۱۲۰۰۰ سال یا کمتر) جنبائی از خود نشان داده اند ، به عنوان پهنه های سر چشمه لرزه ای (Seismic Source Zones) که توان ایجاد زمین لرزه ای با بزرگای بیشینه (M_{max}) دارند ، شناخته می شوند . در یک طبقه بندی گسلها را از نظر فعالیت به دو دسته زیر تقسیم می کنند :

۱- **گسل فعال** : گسل فعال یا جنبا (Active Fault) به گسلی اطلاق می شود که در حال حاضر احتمال وقوع زمین لرزه در اثر فعالیت آن احساس می شود (Seismo Tectonic Fault)

۲- **گسل غیر فعال** : گسلی که قبلا بر روی آن زمین لرزه رخ داده و در طول آن احتمال وقوع مجدد نمی رود .

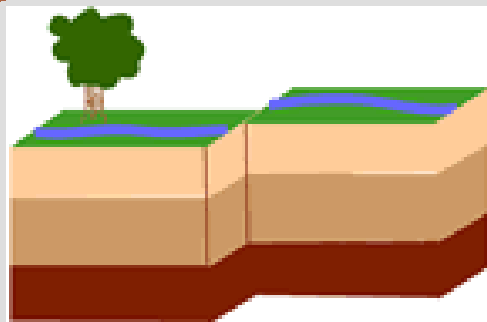
برای سدها اداره مهندسی ارتش ایالات متحده ، محدوده زمانی را برای گسل فعال ۳۵۰۰۰ هزار سال و اداره مسکن ایالات متحده ۱۰۰۰۰ سال در نظر گرفته اند . از سوی دیگر کمیسیون مقررات هسته ای ایالات متحده معیارهای سه گانه زیر را برای گسل مستعد فعالیت در نظر گرفته اند .

۱- جنبش در سطح یا نزدیک سطح زمین یک بار در ۳۵۰۰۰ سال یا چند بار در ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته .

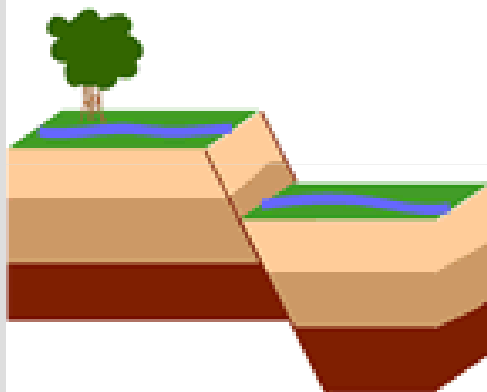
۲- زمین لرزه بزرگ که با لرزه نگار و با دقت مناسب به نحوی ثبت شده است که رابطه مستقیمی با گسل نشان دهد .

۳- رابطه ساختاری با یک گسل مستعد فعالیت مطابق ویژگیهای ۱ و ۲ به نحوی که جنبش در یکی به طور مستدل موجب جنبش در دیگری گردد.

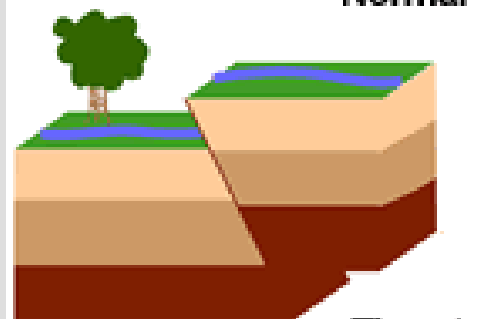
Earthquake fault types



Strike-slip



Normal



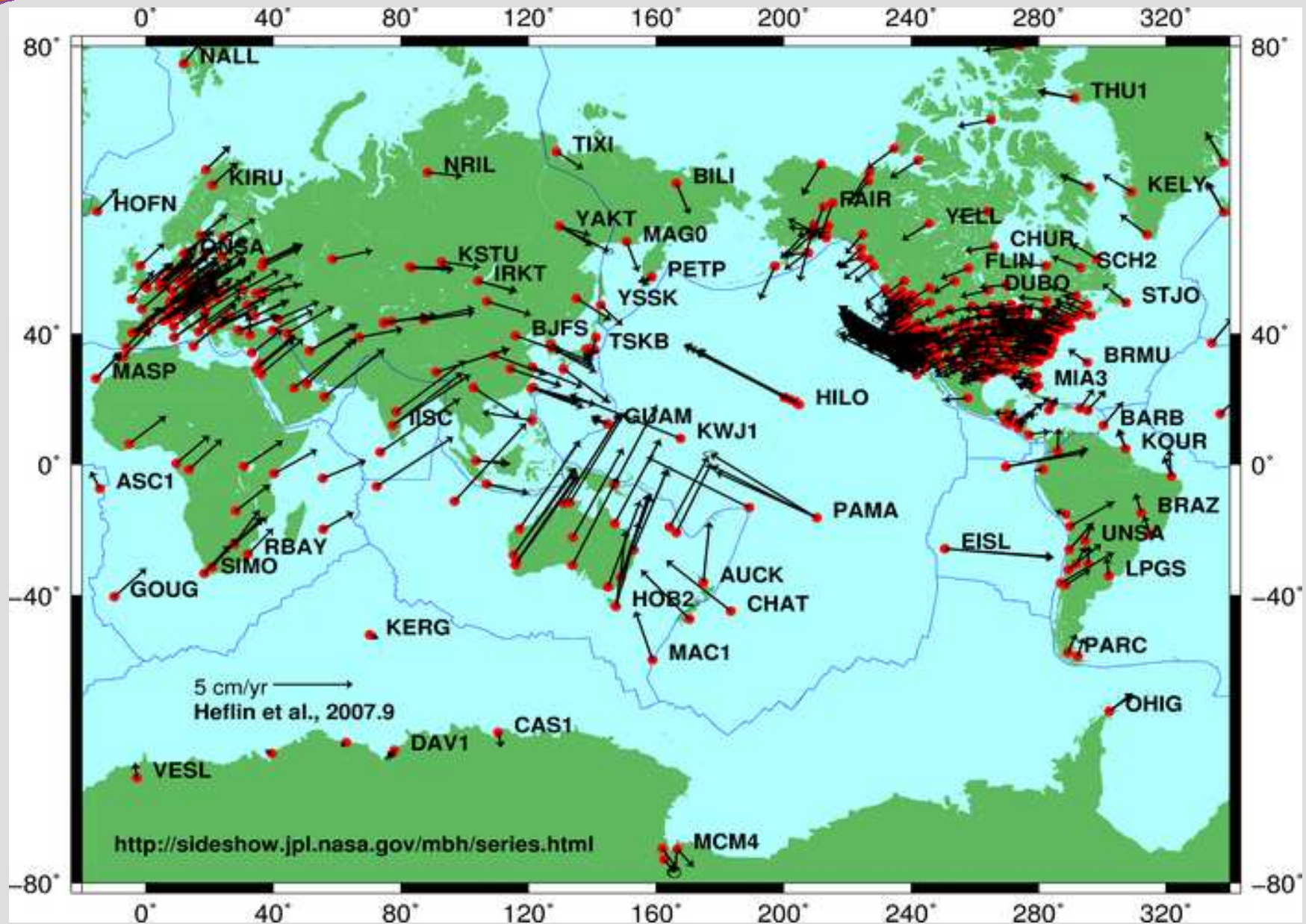
Thrust

مختصری پیرامون ارتباط گسلها و زمین لرزه و تکتونیک صفحه ای



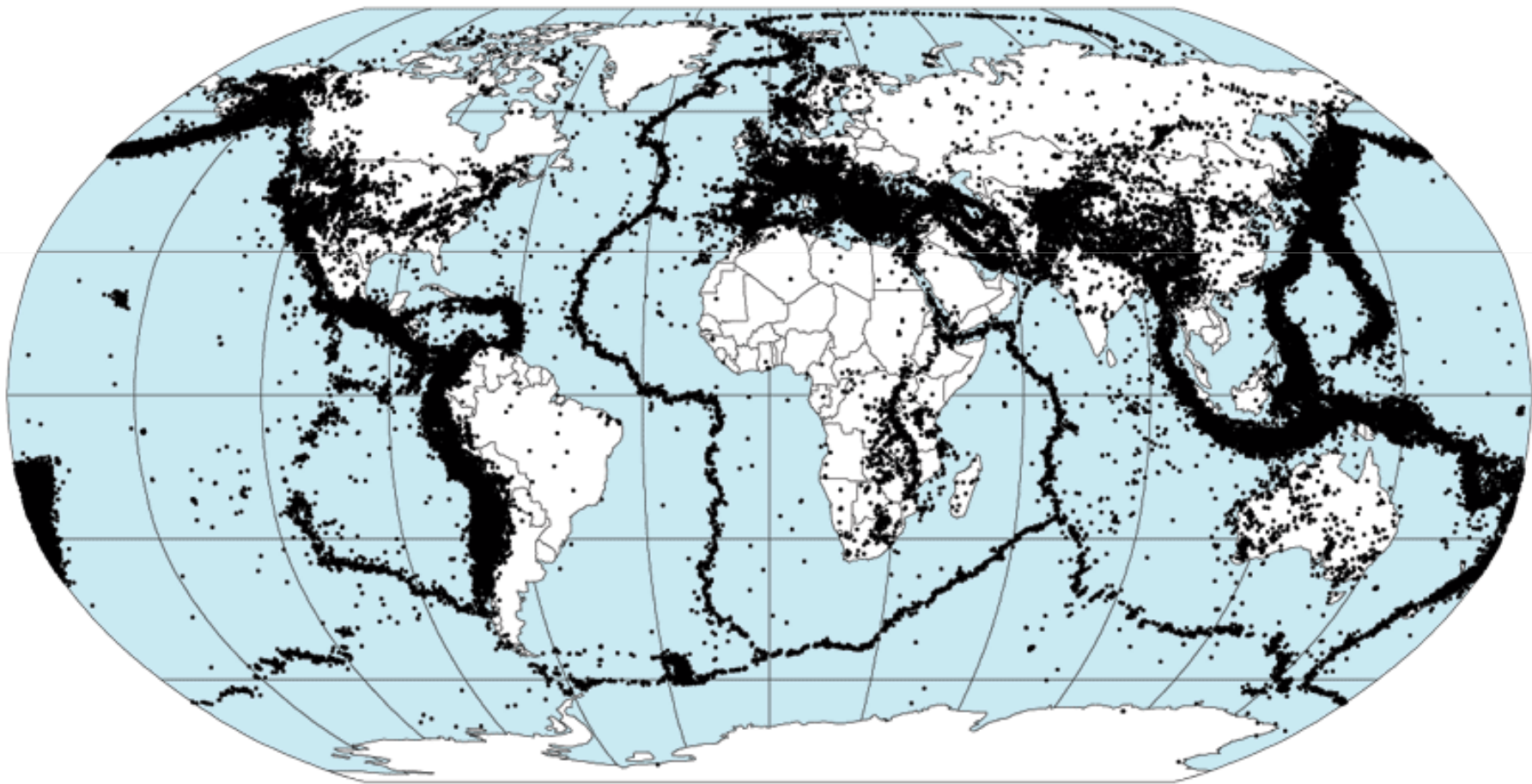
Aerial photo of the San Andreas Fault in the Carrizo Plain, northwest of Los Angeles

حرکات صفحات پوسته زمین در مقیاس جهانی



Preliminary Determination of Epicenters

358,214 Events, 1963 - 1998



Size and frequency of occurrence

It is estimated that around 500,000 earthquakes occur each year, detectable with current instrumentation. About 100,000 of these can be felt.^{[29][30]} Minor earthquakes occur nearly constantly around the world in places like California and Alaska in the U.S., as well as in Mexico, Guatemala, Chile, Peru, Indonesia, Iran, Pakistan, the Azores in Portugal, Turkey, New Zealand, Greece, Italy, and Japan, but earthquakes can occur almost anywhere, including New York City, London, and Australia.^[31] Larger earthquakes occur less frequently, the relationship being exponential; for example, roughly ten times as many earthquakes larger than magnitude 4 occur in a particular time period than earthquakes larger than magnitude 5. In the (low seismicity) United Kingdom, for example, it has been calculated that the average recurrences are: an earthquake of 3.7–4.6 every year, an earthquake of 4.7–5.5 every 10 years, and an earthquake of 5.6 or larger every 100 years.^[32] This is an example of the Gutenberg-Richter law.



Damaged buildings in Port-au-Prince, Haiti, January 2010.



Fires of the 1906 San Francisco earthquake

تعاریف کاربردی پایه در تحلیل خطر زمین لرزه

✓ بزرگا (Magnitude):

عددی است که بزرگی نسبی زمین لرزه را مشخص می کند. بزرگی بر مبنای بزرگترین جنبش ثبت شده توسط ساینموگراف اندازه گیری می شود. مقیاسهای متعددی وجود دارد. رایج ترین انواع مقیاس به شرح زیر است:

- (۱) بزرگای محلی (ML) که به آن بزرگی ریشتر هم گفته می شود .
- (۲) بزرگای امواج سطحی (Ms) : از دامنه موجهای سطحی با دوره ۲۰ ثانیه ای استفاده می کند.
- (۳) بزرگای امواج حجمی (mb) : از دوره موجهای پیکری با دوره ۱ تا ۱۰ ثانیه استفاده می کند.
- (۴) بزرگای گشتاوری (Mw)

نکته قابل ذکر اینکه دامنه مورد اندازه گیری توسط هر یک از مقیاسهای فوق به شرح زیر می باشد

mb تا حدود بزرگای ۵/۳ را اندازه گیری می کند

ML تا حدود بزرگای ۶ را اندازه گیری می کند

Ms بزرگی بین ۶ تا ۸ را اندازه گیری می کند و بزرگی موج سطحی کمتر از حدود ۶ غیر قابل اعتماد است

Mw اندازه گیری بزرگای بیشتر از ۸ تنها با بزرگی گشتاوری معتبر است

به غیر از مقیاس بزرگای گشتاوری Mw سایر مقیاسها در محدوده حوزه فرکانسی خود در نتیجه اشباع سیستم تهیه نگاشت لرزه نگار به سوی یک مقدار حدی گرایش دارند . برای رفع این حالت بهتر است از چند مقیاس مختلف و هم ارز نمودن آنها با بزرگای گشتاوری که وابسته به سیستم لرزه نگاشت نیست استفاده شود .

✓ **خطر زمین لرزه ای (Earthquake hazard) :**

هر نوع خطر همراه با زلزله که فعالیت طبیعی انسان ها را مختل کند. این خطرات شامل گسلش سطحی، جنبش زمین، زمین لغزش، آبگونی، دگرشکلی تکتونیکی، سونامی و سیچ می باشد.

✓ **ریسک زمین لرزه (Earthquake risk) :**

خسارات احتمالی ساختمانها و تعداد انسانهایی که انتظار می رود در زمین لرزه احتمالی ناشی از یک گسله کشته شده و یا آسیب ببینند. گاهی اوقات ریسک زمین لرزه و خطر زمین لرزه به جای هم به کار می روند

✓ **شتاب (Acceleration) :**

شتاب اوج (PGA)، بزرگترین شتاب ثبت شده در ایستگاه به هنگام وقوع زلزله است. شتاب حاصل از زلزله به صورت درصدی از شتاب گرانش (g) معرفی می شود .

✓ **دامنه (Amplitude) :**

اندازه جنبشها در یک ثبت زمین لرزه ای را دامنه می نامند .

✓ **کاهیدگی (Attenuation) :**

با دور شدن از کانون زلزله بتدریج اندازه یا دامنه امواج کاهش پیدا کرده که به آن کاهیدگی گفته می شود . با توجه به خصوصیات زمین شناختی و لرزه ساختی هر منطقه می توان رابطه کاهیدگی آن را بدست آورد .

✓ **جابجائی (Displacement) :**

تفاوت میان موقعیت اولیه یک نقطه مرجع و موقعیت بعدی آن. هر نقطه بسته به میزان اثر پذیری از زلزله ، نسبت به جایی که قبل از زمین لرزه قرار گرفته بود جابه جا می شود.

✓ **کانون زمین لرزه (Epicenter) :**

نقطه ای روی سطح زمین است که به طور قائم در بالای نقطه ای که در پوسته گسیختگی لرزه ای رخ داده قرار دارد.

✓ کانون ژرفی (Hypocenter)

نقطه ای درون زمین که گسیختگی لرزه ای از آنجا شروع می شود. معمولاً ژرفی کانون نامیده می شود.

✓ بر اساس ژرفا، زمین لرزه ها را می توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

○ - کم ژرفا: با ژرفای ۰ تا ۷۰ کیلومتر

○ - متوسط: با ژرفای ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر.

○ - عمیق: با ژرفای بیش از ۳۰۰ کیلومتر (به این ترتیب که تاکنون زمین لرزه ای در عمق بیش از ۷۲۰ کیلومتر رخ نداده است)

○ از نقطه نظر ژرفا، بیشتر زمین لرزه های ایران کم عمق می باشند.

○ مسأله عمق از نظر خسارت زمین لرزه نیز بسیار مهم است، چرا که در زمین لرزه بسیار کم عمق معمولاً خسارتها به ناحیه رومرکزی و حوزه نزدیک محدود می شود و سپس در حوزه دور (فاصله های بیش از ۵۰ کیلومتر از سرچشمه) خسارتها بسیار محدود می گردد (نمونه هایی از چنین زلزله-های کم عمق عبارتند از زلزله منجیل، زمین لرزه طبرستان با ژرفای ۱۰ کیلومتر و زلزله بم با عمق ۸ کیلومتر). از سوی دیگر، هنگامی که زمین لرزه ژرفای زیادی داشته باشد (زمین لرزه ۱۹۸۵ مکزیکو با ژرفای ۲۰۰ کیلومتر، که موجب خسارتهای فراوان در فاصله حدود ۲۸۰ کیلومتری در شهر مکزیکوسیتی به دلیل مسأله اثرهای ساختگاه گردید)، مشاهده می شود که خسارتها می تواند به دلایل ثانویه (نظیر اثر خاک) در فاصله های زیاد نیز گسترده شود..

✓ زمین لرزه اصلی (Main Shock):

بزرگترین زمین لرزه یک توالی لرزه ای که گاهی اوقات قبل از آن یک یا چند پیش لرزه رخ می دهد و تقریباً همیشه به دنبال آن پس لرزه های زیادی رخ می دهد.

✓ پس لرزه (Aftershocks) :

به زمین لرزه هایی گفته می شود که پس از زلزله اصلی به وقوع می پیوندند. این زلزله ها کوچکتر از زمین لرزه اصلی هستند و به اندازه یک تا دو برابر طول گسل دورتر از جایگاه گسل اصلی رخ می دهند. به طور کلی، زمین لرزه های بزرگتر، پس لرزه های بیشتر و بزرگتری هم دارند که تا مدت زمان طولانی تری به وقوع می پیوندند.

✓ پیش لرزه (Foresocks) :

پیش لرزه ها زمین لرزه های نسبتاً کوچکی هستند که قبل از زمین لرزه اصلی که Main shock نامیده می شود رخ می دهند. همه زمین لرزه ها پیش لرزه ندارند.

✓ جنبش زمین (Ground motion) :

حرکت سطح زمین در نتیجه زمین لرزه یا انفجار. جنبش زمین ناشی از امواجی است که در نتیجه لغزش ناگهانی روی گسل یا فشار ناگهانی در سرچشمه انفجاری ایجاد می شوند. این امواج در درون زمین و در طول سطح آن حرکت می کنند.

✓ نبود لرزه ای (Seismic gap) :

بخشی از گسل که در گذشته زمین لرزه هایی را ایجاد کرده است اما اکنون فاقد لرزه است. در بعضی از گپ های لرزه ای زمین لرزه تاریخی هم وجود ندارد، اما بر مبنای داده های دیگر، مثل داده های مربوط به حرکت ورقه ها یا اندازه گیری استرین احتمال وقوع زمین لرزه وجود دارد.

✓ طیف (Spectrum):

منحنی است که دامنه و فاز را به صورت تابعی از فرکانس یا دوره تناوب، یا میزان لرزش هر زمین لرزه نشان می دهد.

✓ گسلش سطحی (Surface faulting) :

جابه جایی و گسیختگی که به هنگام لغزش روی گسل به سطح زمین می رسد. معمولاً با دو زمین لرزه کم عمق همراه است که عمق اپی سنتر هر دو کمتر از ۲۰ کیلومتر است. گسلش سطحی میتواند با خزش غیر لرزه ای یا فرونشستهای ناشی از فعالیت های بشری هم همراه باشد

✓ دوره بازگشت (Recurrence interval) :

فاصله زمانی بین زمین لرزه های بزرگ یک منطقه. دوره بازگشت هم نامیده می شود.

✓ دیرینه لرزه شناختی (Paleo seismic) :

به تاریخچه رویدادهای لرزه ای اطلاق می شود که با بررسی لایه های سنگی زیر سطح و چگونگی انتقال آنها در اثر زمین لرزه در گذشته تعیین می شود.

✓ پهنه لرزه ای (Seismic zone) :

منطقه لرزه خیزی که احتمالاً دچار لرزش می شود. مثل زون لرزه ای نیو مادرید.

✓ بیشینه زمین لرزه محتمل (Maximum Probable Earthquake) :

بزرگترین زمین لرزه ای است که با احتمال کم به طور مثال در حدود ده درصد ممکن است در طول عمر مفید سازه واقع شود. در واقع این زمین لرزه اندکی کمتر از بیشینه زمین لرزه (M_{max}) یا بزرگترین رویدادی است که وقوع آن بالفعل احتمال داده می شود و یا از روی ثبت دستگاهی یا دیرینه لرزه شناسی وقوع آن مورد تایید است.

✓ زمین لرزه مبنای طراحی (Design Basis Earthquake) :

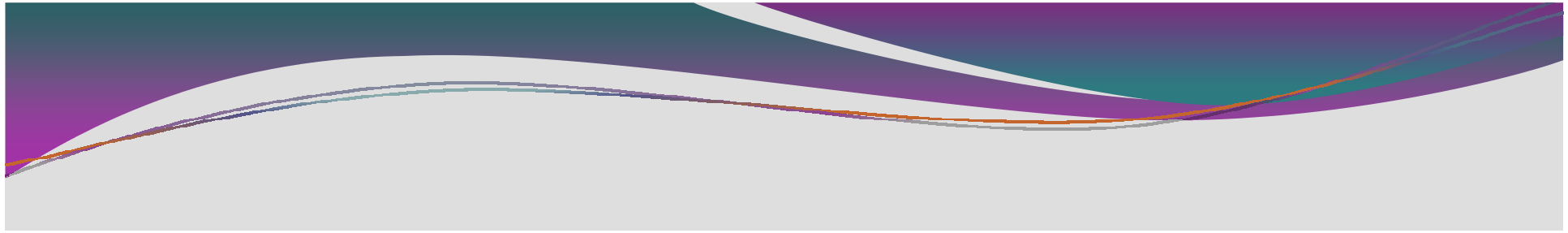
جنبشهای از زمین است که انتظار وقوع آن در طول عمر مفید سازه قابل انتظار است.

✓ بیشینه زمین لرزه طراحی (Maximum Design Earthquake) :

جنبشهای بزرگ زمین اما با احتمال کم است.

✓ بیشینه زمین لرزه باور پذیر (Maximum Credible Earthquake) :

عظیمترین جنبشهای زمین است که امکان وقوع آنها را لرزه خیزی تاریخی و تکتونیک منطقه اطراف ساختگاه بالقوه، تایید نموده باشد.

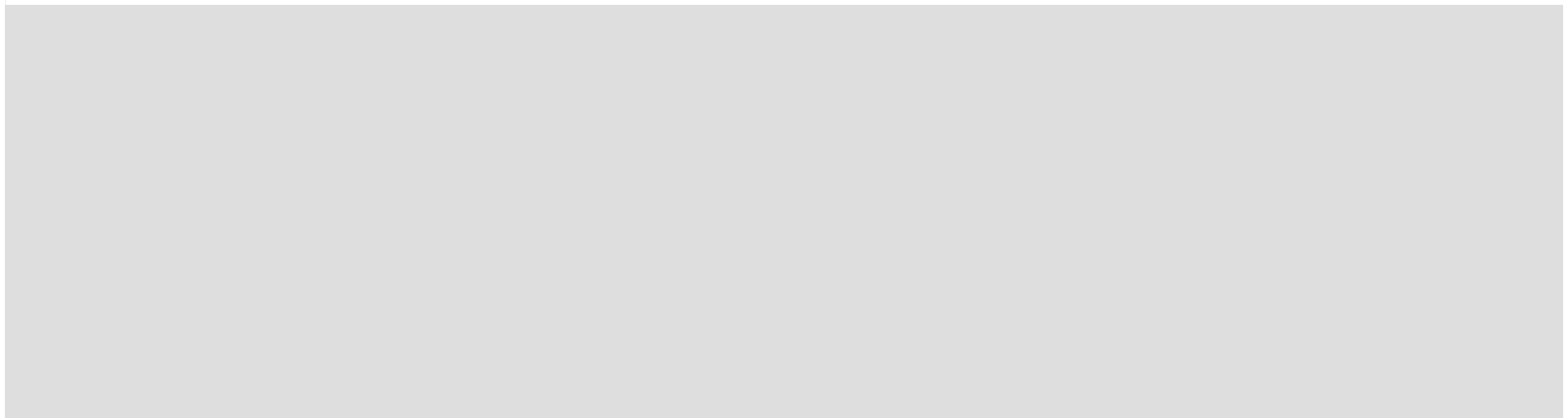


Richter magnitudes

The Richter magnitude of an earthquake is determined from the logarithm of the amplitude of waves recorded by seismographs (adjustments are included to compensate for the variation in the distance between the various seismographs and the epicenter of the earthquake). The original formula is:^[14]

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10} A_0(\delta) = \log_{10}[A/A_0(\delta)],$$

where A is the maximum excursion of the Wood-Anderson seismograph, the empirical function A_0 depends only on the epicentral distance of the station, δ . In practice, readings from all observing stations are averaged after adjustment with station-specific corrections to obtain the M_L value.



Magnitude empirical formulae

These formulae are an alternative method to calculate Richter magnitude instead of using Richter correlation tables based on Richter standard seismic event ($M_L=0$, $A=0.001\text{mm}$, $D=100\text{km}$).

The Lillie empirical formula:

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

Where:

- A is the amplitude (maximum ground displacement) of the P-wave, in micrometers, measured at 0.8 Hz.
- Δ is the epicentral distance, in km.

For distance less than 200km:

$$M_L = \log_{10} A + 1.6 \log_{10} D - 0.15$$

For distance between 200km and 600km:

$$M_L = \log_{10} A + 3.0 \log_{10} D - 3.38$$

where A is seismograph signal amplitude in mm, D distance in km.

The Bisztricsany (1958) empirical formula for epicentral distances between 4° to 160°:

$$M_L = 2.92 + 2.25 \log_{10}(\tau) - 0.001\Delta^\circ$$

Where:

- M_L is magnitude (mainly in the range of 5 to 8)
- τ is the duration of the surface wave in seconds
- Δ is the epicentral distance in degrees.

The Tsumura empirical formula:

$$M_L = -2.53 + 2.85 \log_{10}(F - P) + 0.0014\Delta^\circ$$

Where:

- M_L is the magnitude (mainly in the range of 3 to 5).
- $F - P$ is the total duration of oscillation in seconds.
- Δ is the epicentral distance in kilometers.

The Tsuboi, University of Tokio, empirical formula:

$$M_L = \log_{10} A + 1.73 \log_{10} \Delta - 0.83$$

Where:

- M_L is the magnitude.
- A is the amplitude in μm .
- Δ is the epicentral distance in kilometers.

جدول - ۱: مقایسه مقایسه‌های مختلف شدت

Mercalli	Rossi-Forel	JMA	EMS
I	I	0	I
II	I-II	I	II
III	III	II	III
IV	IV-V	II-III	IV
V	V-VI	III	V
VI	VI-VII	IV	VI
VII	VIII-	IV-V	VII
VIII	VIII+ to IX	V	VIII
IX	IX+	V-VI	IX
X	X	VI	X
XI	-	VII	XI
XII	-	-	XII

جدول ۲- مقایسه مقیاس‌های مختلف شدت

مقیاس (EMS)		مقیاس ژاپن (JMA)		روسی فورل (Rossi-Forel)		مرکالی (Mercalli)	
توصیف	شدت	توصیف	شدت	توصیف	شدت	توصیف	شدت
احساس نمی‌شود حتی در بهترین شرایط	I	قابل احساس توسط افراد نمی‌باشد		- توسط یک دستگاه لرزه‌نگار ثبت یا به وسیله تعدادی لرزه‌نگار یا خصوصیات یکسان ثبت شده ولی ممکن است توسط لرزه‌نگارهای از نوع متفاوت ثبت نگردد. - شوک ناشی از رویداد توسط یک مشاهده‌گر با تجربه احساس می‌شود.	I	زلزله احساس نمی‌شود مگر در شرایط بسیار ویژه، تنها توسط دستگاه لرزه‌نگار قابل ثبت است.	I
لرزش فقط توسط افراد در حال استراحت در خانه‌ها، به خصوص در طبقات بالا احساس می‌شود	II	فقط به وسیله برخی از افراد در داخل ساختمان‌ها احساس می‌شود		- به وسیله انواع لرزه‌نگار ثبت می‌شود. - به وسیله تعداد اندکی از مردم در حال استراحت احساس می‌شود.	III	زلزله فقط توسط تعداد کمی از افراد در حال استراحت به خصوص در طبقات بالای ساختمان‌ها احساس می‌شود. برخی اشیاء آویزان ممکن است نوسان کنند.	II
لرزش ضعیف و در داخل ساختمان‌ها به وسیله افراد کمی احساس می‌شود. افراد در حال استراحت حرکت ارتعاشی سبکی را متوجه می‌شوند.	III	به وسیله بسیاری از افراد در داخل ساختمان احساس و برخی از افراد از خواب بیدار می‌شوند.		- به وسیله تعداد زیادی از افراد در حال استراحت احساس می‌شود. - به قدر کافی نیرومند بوده تا مدت و جهت آن مشخص گردد.	III	زلزله، توسط افراد داخل ساختمان‌ها به آرامی احساس می‌شود به خصوص در طبقات بالای ساختمان‌ها خیلی‌ها نمی‌توانند آن را به عنوان زلزله تشخیص دهند. اتمبیل‌های متوقف ممکن است کمی تکان بخورند ارتعاش مانند عبور یک کامیون است. مدت لرزش قابل تخمین است.	III
زمین‌لرزه در فضای بسته توسط افراد بسیاری احساس می‌شود در فضای باز عده کمی آن را احساس می‌کنند عده‌ای از مردم از خواب بیدار می‌شوند. مقدار لرزش وحشت‌آورترین نمی‌باشد پنجره‌ها، درها و بشقاب‌ها به لرزش در می‌آیند اشیاء سنگین به ارتعاش در می‌آیند.	IV		II-III	- به وسیله افراد در حال حرکت احساس می‌شود. - درها و پنجره‌ها و اشیای معلق به لرزش در می‌آیند. - صدای غرغر از کف و سقف بلند می‌شود.	IV	در فضای بسته توسط بسیاری از افراد احساس می‌شود در فضای باز توسط عده معدودی قابل احساس است. در شب عده‌ای از خواب بیدار می‌شوند. بشقاب‌ها، پنجره‌ها و درب‌ها سرو صدا می‌کنند و دیوارها صدای ترک می‌دهند. زلزله همانند برخورد یک کامیون سنگین یا ساختمان است در اتمبیل‌های ایستاده ارتعاش قابل درک است.	IV

مقیاس (EMS)		مقیاس ژاپن (JMA)		روسی فورل (Rossi-Forel)		مرکالی (Mercalli)	
توصیف	شدت	توصیف	شدت	توصیف	شدت	توصیف	شدت
زمین لرزه‌ها در فضای بسته به وسیله همه احساس می‌شوند. در فضای باز عده کمتری متوجه می‌شوند. بیشتر افراد خوابیده بیدار می‌شوند. اشیاء سنگین قرار گرفته در مکان‌های مرتفع واژگون می‌شوند درها و پنجره‌ها به لرزش افتاده و باز و بسته می‌شوند.	V	به وسیله همه مردم در داخل ساختمان‌ها احساس شده و برخی از مردم وحشت‌زده می‌شوند.	III	- زمین لرزه به وسیله همه افراد احساس می‌شود. - میلمان و تختخواب‌ها به حرکت در می‌آیند. - ناقوس‌ها به صدا در می‌آیند.	V	زلزله توسط هر فردی قابل احساس است. بسیاری از خواب بیدار می‌شوند. برخی از پنجره‌ها و بشقاب‌ها شکسته می‌شوند. اشیای ناپایدار واژگون می‌شوند. ساعت‌های آونگ‌دار متوقف می‌شوند.	V
به وسیله همه در داخل و بسیاری از مردم در خارج از ساختمان‌ها احساس می‌شود. بسیاری از مردم داخل خانه‌ها وحشت‌زده شده و به خارج از ساختمان فرار می‌کنند. اشیاء کوچک سقوط می‌کنند. آسیب‌های اندکی به ساختمان‌های معمولی وارد می‌شود. مثل ترک خوردن و ریزش پوشش دیوارها.	VI	بسیاری از مردم وحشت‌زده شده. بعضی از افراد سعی می‌کنند تا از منطقه خطر فرار کنند. همه افراد خواب بیدار می‌شوند.	IV	- همه افراد در حال استراحت بیدار می‌شوند. - تمامی ناقوس‌ها به صدا در می‌آیند.	VI	زلزله به وسیله همه احساس شده و به خارج از ساختمان‌ها فرار می‌کنند راه رفتن مشکل می‌شود، پنجره‌ها و بشقاب‌ها شکسته. قفسه‌های کتاب واژگون، برخی میله‌های سنگین جا به جا و واژگون شده. پوشش دیوارها ترک برداشته، آسیب وارده به ساختمان‌ها اندک است.	VI
همه مردم وحشت‌زده و به بیرون منازل فرار می‌کنند. میلمان جابه‌جا شده و اشیاء به تعداد زیاد از قفسه‌ها سقوط می‌کنند. بیشتر ساختمان‌های معمولی آسیب‌های متوسطی می‌بینند. ترک‌های کوچکی در دیوارها مشاهده شده و یخشی از دودکش‌ها تخریب می‌شوند.	VII		IV-V		VIII-	ایستادن مشکل می‌شود. اشیاء و کمد‌ها شکسته، آسیب وارده به ساختمان‌های خوب ساخته شده، سازه‌های معمولی خوب ساخته شده دچار آسیب کم تا متوسط شده، در ساختمان‌های ضعیف آسیب‌های وارده قابل ملاحظه است. برخی دودکش‌ها تخریب شده و زلزله توسط افراد در حال رانندگی قابل احساس است.	VII

مقیاس (EMS)		مقیاس ژاپن (JMA)		روسی فورل (Rossi-Forel)		مرکالی (Mercalli)	
توصیف	رتبه	توصیف	رتبه	توصیف	رتبه	توصیف	رتبه
میدان و گملها ممکن است واژگون شود. بیشتر ساختمان‌های معمولی دچار آسیب‌های از قبیل سقوط دودکش‌ها، ترک‌های بزرگ در دیوارها و تعدادی از ساختمان‌ها ممکن است به صورت بخشی تخریب شوند.	VIII	موجب ترک خوردگی دیوارهای آجری و واژگونی آنها می‌شود. زمین لغزش در کوه‌های کم شیب مشاهده می‌شود.	V		VIII + IX	حسارت به ساختمان‌های با طراحی سازه‌های خاص کم. ساختمان‌های معمولی با حسارت قابل ملاحظه و تخریب بخشی از آنها آسیب فزاینده در ساختمان‌های ضعیف و بد ساخته شده سقوط دودکش‌ها، ستون‌ها و دیوارها، واژگونی تاور سنگی	VIII
بسیاری از ساختمان‌های معمولی به صورت بخشی تخریب و تعدادی کاملاً تخریب می‌شوند. بناهای تاریخی تخریب می‌گردند.	IX		V-VI		IX+	وحت عمومی. حسارت به سازه‌های با طراحی خاص قابل ملاحظه بوده. تأسیسات سازه‌ها با طراحی خوب تخریب شده. سازه‌ها از بی خود جدا شده. لوله‌های زیرزمینی می‌شکنند. زمین‌ها دچار ترک خوردگی می‌شوند.	IX
بسیاری از ساختمان‌های معمولی تخریب می‌شوند.	X	موجب تخریب بخشی از خانه‌های جوی زاپس- زمین لغزش، ترک- خوردگی کف زمین صاف و گاهی فوران آب و گل در زمین‌های پست می‌شود.	VI		X	برخی از سازه‌ها جوی خوب ساخته شده تخریب می‌شوند. بیشتر ساختمان‌های شایع و قابل‌تخریب شده و فونداسیون آنها نیز تخریب می‌شود. راه‌های آهن خم می‌شوند.	X
تقریباً اکثر ساختمان‌های معمولی تخریب می‌شوند.	XI	موجب ویرانی تقریباً همه خانه‌ها می‌شود. ترک‌های بزرگ و گسل‌های قابل مشاهده هستند.	VII		-	تعداد کمی از ساختمان‌های بنایی باقی می‌مانند. بناها تخریب می‌شوند. ریل‌های راه‌آهن به شدت خم می‌شوند. توله‌های مدفون در زمین به طور کامل تخریب می‌شوند.	XI
عملاً همه ساختمان‌ها در رو و ریز زمین تخریب و یا بسیار آسیب می‌بینند.	XII		-		-	حسارت کلی بوده اجسام به هوا پرتاب می‌شوند. حرکت امواج در زمین دیده می‌شود. خطوط تراز واقعی دید تغییر جهت می‌دهد.	XII

جدول ۱۳- مقایسه تقریبی بین اندازه‌گیری‌های مختلف یک زمین‌لرزه و میزان انرژی آزاد شده آورده شده است

تعداد وقوع سال	انرژی		اثرات	شدت (مرکالی) اصلاح شده	بزرگی (ریشر)
	ارگ*	معادل مواد منفجره			
بسیار زیاد	کمتر از $10^2 \times 10^7$	حدود ۰/۲۵ کیلوگرم TNT	فقط به وسیله دستگاه ثبت می‌شود.	I	۱٫۹ تا ۰
۳۰۰,۰۰۰	$10^3 \times 10^7$ تا $10^4 \times 10^7$	۲۵ تا ۲۵۰ کیلوگرم TNT	فقط به وسیله افراد بسیار حساس احساس می‌شود. اشیاء معلق به لرزش در می‌آیند.	II	۲٫۹ تا ۲
۲۹,۰۰۰	$10^5 \times 10^7$		به وسیله برخی از مردم احساس می‌شود. لرزه‌ای مثل حرکت یک وسیله نقلیه سنگین	III	۳٫۹ تا ۳
۶۲۰۰	$10^6 \times 10^7$	حدوداً معادل یک بمب اتمی کوچک (۲۰ کیلو تن)	به وسیله بیشتر مردم احساس می‌شود. اشیای سنگین به لرزش در می‌آیند. پنجره‌ها و ظروف به لرزه درآمده و ممکن است بشکنند.	V تا IV	۴٫۹ تا ۴
۸۰۰	$10^7 \times 10^7$		به وسیله همه مردم حس می‌شود و باعث فرار مردم می‌شود. مبلمان و کمد‌های سنگین جا به جا می‌شوند.	VI	۵٫۹ تا ۵
۱۲۰	$10^8 \times 10^7$	حدود یک بمب هیدروژنی (یک مکانی)	مردم وحشتزده می‌شوند. ساختمان‌ها ممکن است آسیب ببینند.	IX تا VII	۶٫۹ تا ۶
۱۸	$10^9 \times 10^7$	حدود ۱۰۰ بمب هیدروژنی	وحشت عمومی، ساختمان‌های کمی بر جای می‌مانند زمین لغزش - های بزرگ و ترک‌های مختلف در زمین	XI تا X	۷٫۹ تا ۷
۰/۲ (هر چند سال)	بیش از $10^{10} \times 10^7$	حدائق ۶۰۰۰۰ بمب هیدروژنی	تخریب کامل - حرکت موج‌دار زمین	XII	۸٫۶ تا ۸

* ارگ یک واحد انرژی است.

✓ در طی چند دهه اخیر با پیشرفت علم زلزله شناسی مهندسی و مهندسی زلزله ، موسسات و مراکز زیادی در سرتاسر جهان جهت ثبت رخدادهای لرزه ای ، به صورت انی تاسیس گردید که از آنها میتوان به ، مرکز ملی اطلاعات زمین لرزه (NEIC) در ایالات متحده ، مرکز زلزله شناسی بین المللی (ISC) در انگلستان ، مرکز بین المللی جمع آوری داده های زمین لرزه (ISS) در انگلستان ، USGS در ایالات متحده و مسسه فیزیک زمین پاریس و همچنین رصد خانه لرزه نگاری گرونبل فرانسه (LGIT) اشاره کرد .

✓ هم اکنون در ایران موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران با ۷۱ ایستگاه (که ۱۱ تای آنها باند پهن است) و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله با ۲۱ ایستگاه باند پهن به ثبت رخدادهای زمین لرزه ای کشور مشغول می باشند .

تاریخ تحول روشهای برآورد پارامترهای لرزه خیزی

تاریخچه زلزله شناسی بر پایه ارائه مدل‌های تحلیلی و روشهای علمی - تجربی به کمتر از یک قرن بر می گردد که از جمله صاحب نظرانی که در این زمینه کار کرده اند می توان به موارد زیر اشاره نمود:

✓ گوتنبرگ و ریشتر در سال ۱۹۴۴ برای انجام تحلیل خطر زمین لرزه از پارامترهای بزرگا- فراوانی و رابطه بین آنها استفاده نمودند، به گونه ای که فراوانی زمین لرزه ها به طور نمایی با بزرگای زمین لرزه ها تغییر می کند ، به نحوی که زمین لرزه های کوچکتر معمولا فراوان تر از زمین لرزه های بزرگتر می باشند .

$$\text{Log } N = a - bM$$

در این رابطه N تعداد زمین لرزه ها با بزرگای M یا بیشتر در یک بازه زمانی و مکانی خاص و a و b اعداد ثابت و معرف لرزه خیزی و ویژگی بروز زمین لرزه در آن گستره می باشند .

✓ کرنل (۱۹۶۸) با در نظر گرفتن بیشینه بزرگی M_{max} و مرتس و کرنل (۱۹۷۴) اصلاح نمودن رابطه خطی گوتنبرگ - ریشتر را پیشنهاد نمودند .

✓ الیویرا (۱۹۷۴) مشخص نمود که ضرایب مورد نظر برای مناطق مختلف متفاوت میباشد در صورتی که برای تمامی مناطق دنیا یکسان گرفته شده است .

✓ لومنیتز (۱۹۷۹) عنوان کرد که به طور کلی برای زمین لرزه های کوچک در هر صورت رابطه ای غیر خطی وجود دارد .

✓ راندل (۱۹۸۹) نشان داد در برخی از حالت های ویژه ، این رابطه های خطی - لگاریتمی صادق نیستند . در واقع این رابطه های خطی برای مقادیر بالای رفتار رضایت بخشی از خود نشان نمی دهند .

✓ وسنوسکی (۱۹۸۳) ، شوارتز و کاپر اسمیت (۱۹۸۴) نشان دادند که اگر چشمه های خاص لرزه زا را به جای مناطق بزرگ مورد مطالعه لرزه خیزی قرار دهیم رابطه تجمعی بزرگا - فراوانی غیر خطی خواهد شد .

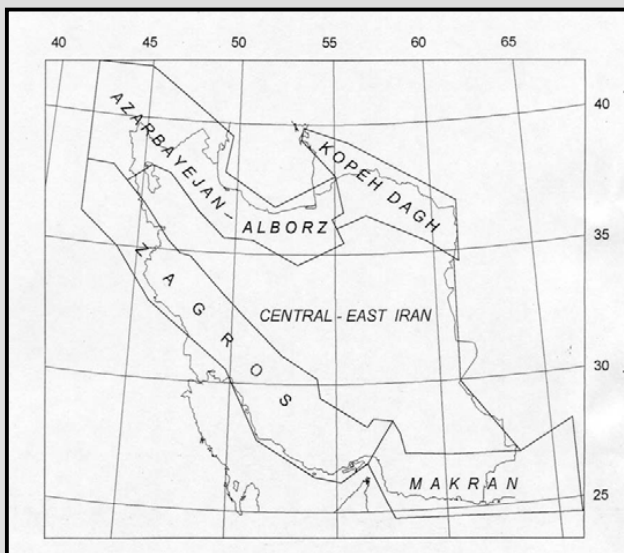
در ادامه بحث به بررسی مفاهیم بنیادی و پایه و ارائه انواع روش های تحلیل خطر زمین لرزه و مقایسه آنها بطور تفصیلی پرداخته خواهد شد . از جمله معروفترین اشخاصی که در این زمینه کار کرده اند می توان گوتنبرگ - ریشتر ، جوینر - بور ، ولز - کاپر اسمیت را نام برد .

ایالت‌های لرزه زمین ساختی ایران (بربریان ۱۹۷۶)

۱- ناحیه ایران مرکزی ۲- ناحیه البرز ۳- ناحیه زاگرس ۴- ناحیه کپه داغ

ایالت لرزه زمین ساخت ایران مرکزی

- ✓ پهنه ای درون صفحه ای است
- ✓ از شمال و شمال شرق به مناطق برخوردی البرز-آذربایجان و کپه داغ محدود است
- ✓ از غرب و جنوب غرب به منطقه برخورد قاره ای زاگرس محدود می باشد
- ✓ از شرق به منطقه فرورانشی مکران و از شرق به بلوک هلمند محدود است



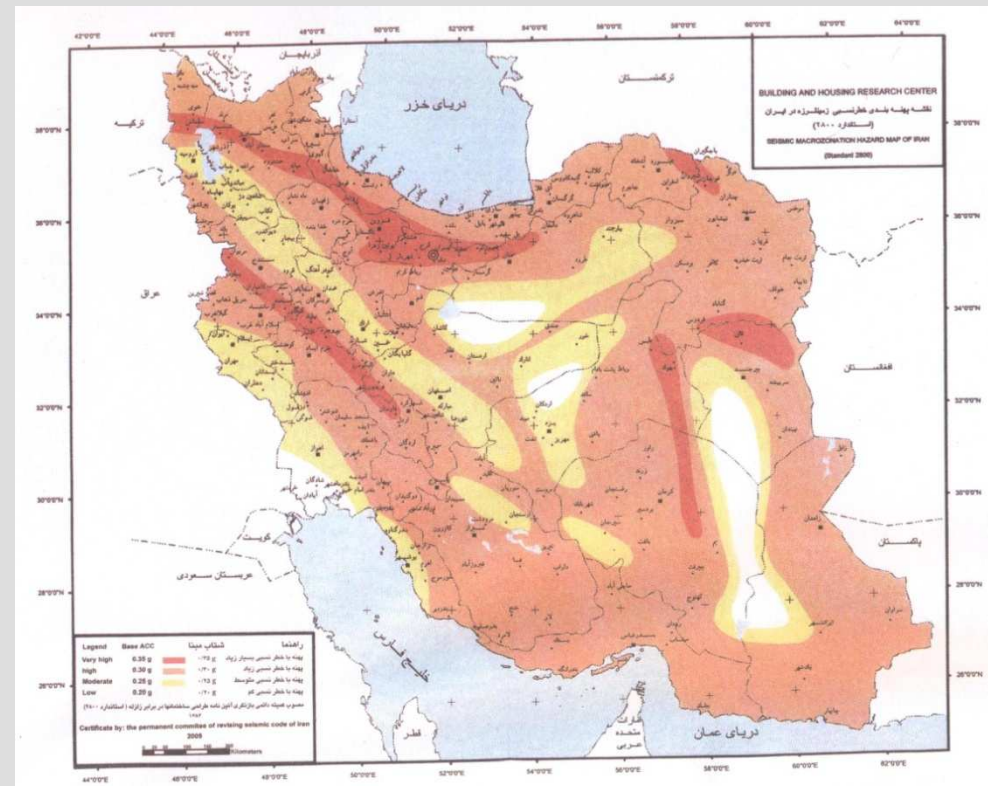
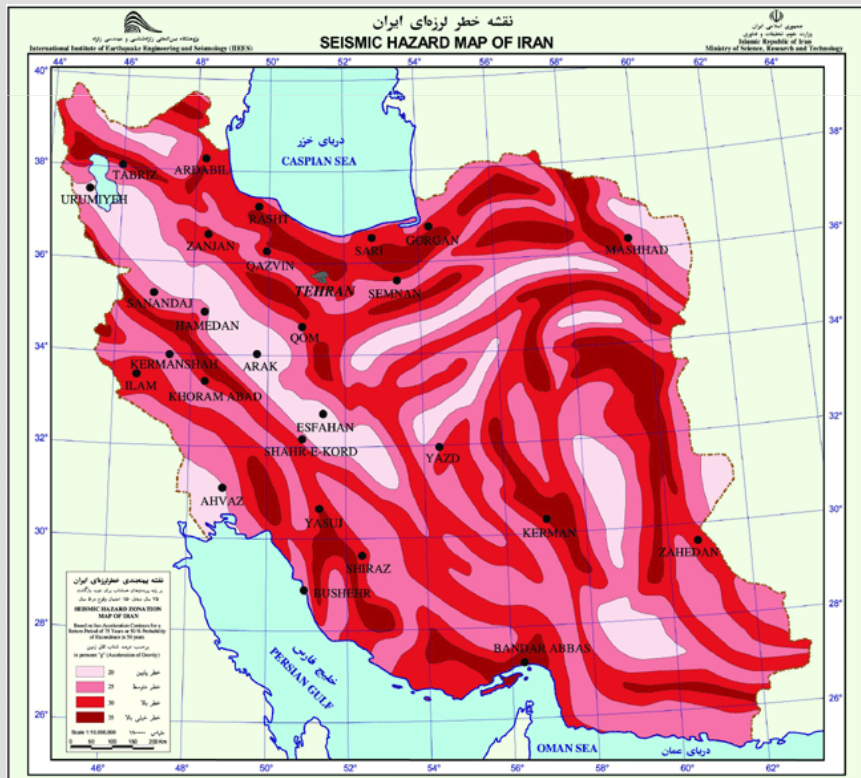
نواحی بسیار لرزه خیز و پهنه های با خطر بالای ایران مرکزی

✓ ناحیه کرمان (جنوب ایران مرکزی)

✓ شمال ناحیه لوت (شمال و شمال خاور ایران مرکزی)

✓ ناحیه فروافتادگی دشت تهران-دشت قزوین (شمال و شمال باختر ایران مرکزی)

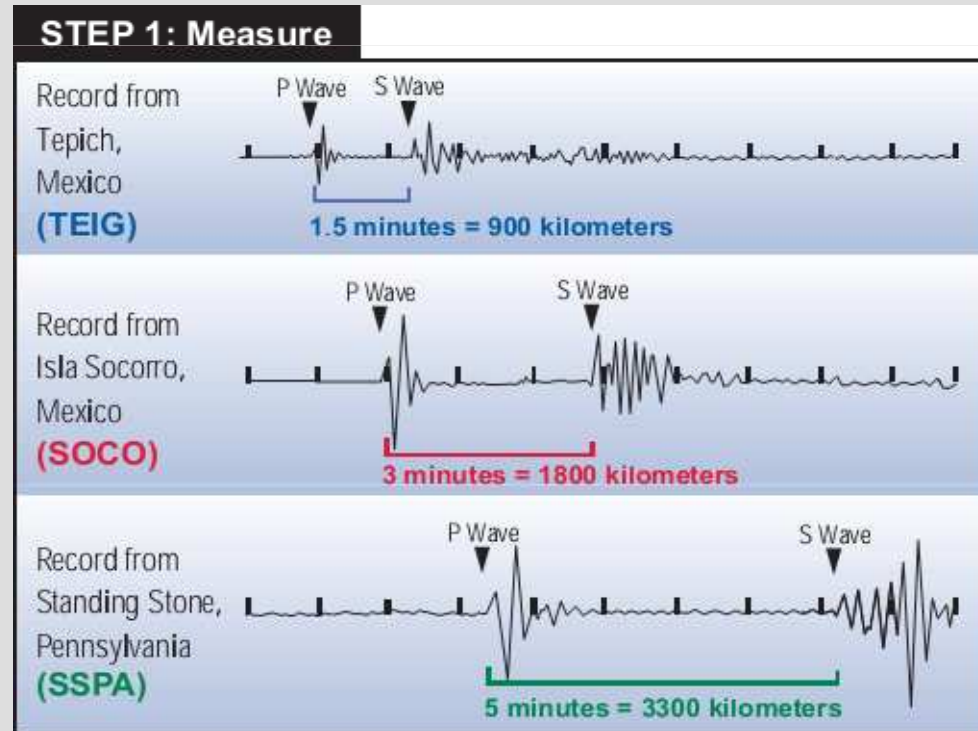
✓ مرکز ایران مرکزی



روش تعیین محل کانون سطحی زلزله ها

We can locate earthquakes using a simple fact: an earthquake creates different seismic waves (P waves, S waves, etc.) The different waves each travel at different speeds and therefore arrive at a seismic station at different times.

P waves travel the fastest, so they arrive first. S waves, which travel at about half the speed of P waves, arrive later. A seismic station close to the earthquake records P waves and S waves in quick succession. With increasing distance from the earthquake the time difference between the arrival of the P waves and the arrival of the S waves increases.



STEP 2: Locate



مبانی تحلیل خطر زمین لرزه

تعریف تحلیل خطر زمین لرزه

تحلیل خطر لرزه ای عبارتست از محاسبه احتمال اینکه سطحهای مختلف شتاب (سرعت یا پارامترهای دیگر جنبش نیرومند زمین) در مدت یک پریود زمانی خاص رخ دهد این کار معمولا با در نظر گرفتن یک مدل برای رویداد زمین لرزه ها ، تابع کاهندگی و مقدارهای عددی برای پارامترهای ورودی انجام می گیرد. تعیین بزرگای یک زمین لرزه که می تواند در بخشی از طول یک گسل یا در ناحیه ای رخ دهد عنصر اساسی هر تحلیل خطر زمین لرزه می باشد.

✓ یک فرایند تخمین زمین لرزه در پنج بخش سازماندهی می شود که در زیر قابل ملاحظه است



سازمان دهی انواع تخمین خطر لرزه ای ، رهیافت ها ، پارامترهای اندازه گیری ، روش ها و داده ها (دی پولو و اسلوموتر ۱۹۹۰)

داده ها	روش ها	پارامترهای لرزه خیزی	رهیافت ها	انواع تخمین خطر لرزه ای
<ul style="list-style-type: none">• اندازه گیری طول گسل• شکل هندسی گسل• میزان لغزش• کاتالوگ زمین لرزه های تاریخی• مدول برشی• ژرفای پهنه لرزه زا (Seismogenic Zone)	<ul style="list-style-type: none">• هم ارزی پارامترهای گسل - اندازه زلزله• طول گسل چند بخشی• قطعه بندی• اندازه گیری ممان لرزه ای• رابطه های بزرگا - فراوانی• آمار احتمال بیشینه	<ul style="list-style-type: none">• لرزه خیزی تاریخی• طول گسیختگی گسل• مساحت گسیختگی گسل• تغییر مکان گسل• ممان لرزه ای• میزان تغییر شکل	<ul style="list-style-type: none">• زمین لرزه تاریخی• دیرینه لرزه شناسی• تعیین مشخصات سرچشمه• ناحیه ای• مقایسه نسبی	<ul style="list-style-type: none">• زمین لرزه شناور• زمین لرزه شاخص• زمین لرزه بیشینه• بیشینه زمین لرزه باور کردنی

انواع تخمین خطر لرزه ای

(۱) زمین لرزه شاخص (Characteristic Earthquake) :

زمین لرزه سرشتی که توسط شوارتز و همکاران (۱۹۸۱) تعریف شده است ، به زمین لرزه هایی اطلاق می شود که برای یک ناحیه خاص یا پهنه گسله شاخص باشد. همانند گسل شمال تبریز که زلزله های زیادی با بزرگای مشابه در آن اتفاق افتاده است. زمین لرزه سرشتی معمولا با یک دوره بازگشت مشخص می شود و می توان آن را از روشهای لرزه ای ، دیرینه لرزه شناسی ، و زمین شناختی تعیین نمود .

(۲) زمین لرزه بیشینه (Maximum Earthquake) :

از دهه ۱۹۶۰ میلادی تا کنون مورد استفاده می باشد . و به عنوان بزرگترین زمین لرزه ای که وقوع آن در یک بازه زمانی یا در یک زمان مشخص قابل انتظار است نام برده می شود و با روشهای زمین شناختی و زلزله شناختی با بهره گیری از روابط بزرگا-طول گسل ، ویژگیهای سرچشمه و زلزله خیزی تاریخی تخمین زده می شود .

(۳) بیشینه زلزله باور کردنی (Maximum Credible Earthquake) :

بزرگترین یا بیشترین زمین لرزه ای است که امکان وقوع آن در یک ناحیه یا در طول یک گسل وجود دارد به عبارت دیگر زمین لرزه ای تخمینی و مستقل از زمان است و به این ترتیب از زمین لرزه بیشینه تمیز داده می شود . معمولا برای سازه های با عمر زیاد و پروژه های مهندسی با خطر پذیری بالا (نظیر نیروگاههای هسته ای) مبنای طراحی قرار می گیرد .

(۴) زمین لرزه شناور (Floating Earthquake) :

زمین لرزه ای که امکان وقوع آن در تمام بخش های ساختار لرزه زا (Seismogenic Structure) وجود داشته و یا از سرچشمه ای نامشخص ناشی می شود .

انواع رهیافت مورد استفاده در تحلیل خطر زمین لرزه

(۱) رهیافت سابقه لرزه خیزی (Historical Earthquake) :

رهیافت سابقه لرزه خیزی شامل بررسی زمین لرزه های است که قبلا بر روی و یا در نزدیکی سرچشمه لرزه ای مورد بررسی رخ داده اند. روشهای مورد استفاده شامل بررسی رخداد زمین لرزه های تاریخی (پیش از سده بیستم) و سده بیستم، داده های زلزله شناختی و اندازه گیری تغییر مکان های سطحی وابسته به یک گسیختگی تاریخی می باشد.

(۲) رهیافت دیرینه لرزه شناسی (Paleoseismology):

رهیافت دیرینه لرزه شناسی حاصل توسعه رهیافت سابقه لرزه خیزی بوده و شامل تشخیص و تعیین زمین لرزه های رخ داده در پیش از زمان تاریخی است. که شامل بررسی تفصیلی زمین شناختی در مکانی مستقیم بر روی سرچشمه لرزه زا و بررسی غیر مستقیم بر روی نواحی نزدیک سرچشمه لرزه زا که تحت تاثیر رویداد دیرینه لرزه ای قرار گرفته است می باشد. (حفر ترانشه و تعیین سن برای تخمین بزرگا)

نکته (دو رهیافت سابقه لرزه خیزی و دیرینه لرزه شناسی از این نظر که هر دو تلاش دارند تا رویداد لرزه ای مشخصی را به یک سرچشمه لرزه ای مشخص نسبت دهند با هم شباهت دارند و تفاوت آنها در ابزار مورد استفاده و عدم قطعیت بیشتر دیرینه لرزه شناسی است.

(۳) رهیافت تعیین ویژگیهای سرچشمه (Source Characterization) :

این رهیافت که در حال حاضر بیشترین کاربرد را دارد، به تحلیل وی ژگیهای فیزیکی سرچشمه های محتمل لرزه ای نظیر طول، میزان گستردگی گسل و گسیختگی محتمل و نسبت دادن یک زمین لرزه با اندازه متناسب با آن می پردازد.

دلایل کاربرد زیاد این رهیافت عبارتند از :

- اکثر زمین لرزه های تاریخی را نمی توان دقیقا به سرچشمه های لرزه زا منتسب کرد
- مشکل و پرهزینه بودن رهیافت دیرینه لرزه شناسی
- دقیق و سریع بودن این رهیافت در صورت وجود داده های مناسب

۴) رهیافت ناحیه ای (Regional) :

در پهنه هایی که در آنها گسلهای زمین لرزه ای یا گسلهای با فعالیت لرزه خیزی مشخص موجود نیست بکار می رود . همانند ناحیه زاگرس ایران که لرزه خیزی را نمی توان به گسل خاصی نسبت داد .

۵) رهیافت مقایسه نسبی (Relative Comparison) :

در این رهیافت سرچشمه های مورد نظر با سرچشمه های لرزه ای مشابه مقایسه می شوند . در واقع رژیم زمین ساختی ، نوع تغییر مکان ، اندازه پهنه لرزه زا و پارامترهای گسل باید مشابه باشد . به عنوان روش کمکی استفاده می شود .

پارامترهای لرزه خیزی (Scaling Parameters) :

✓ روش لرزه خیزی (Seismicity) :

در این روش از زمین لرزه های تاریخی برای تخمین بزرگای زمین لرزه بهره گیری می شود . کاتالوگ زمین لرزه های موجود ممکن است در مقایسه با دوره بازگشت رویدادهای مهم بسیار کوتاه باشند (مثلا ۵۰ سال کاتالوگ داده ها در مقایسه با ۵۰۰ سال دوره بازگشت یک زمین لرزه مهم) . در این موارد معمولا رابطه ای بر اساس داده های موجود توسعه داده شده و بر اساس برون یابی مقدار مورد نظر یافته می شود .

$$\text{Log } \lambda_m = a - bm$$

$$\lambda_m = N_m / T$$

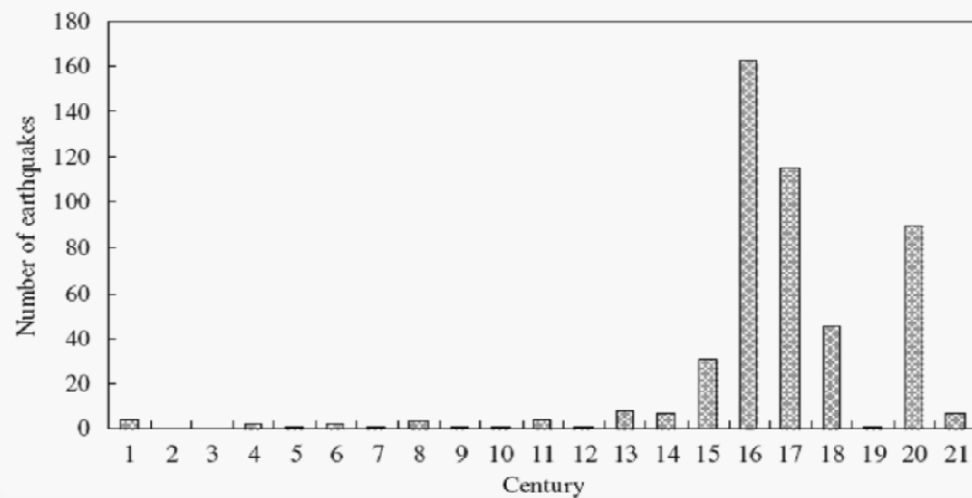
محاسبه روابط بزرگا - فراوانی (گوتنبرگ و ریشتر ۱۹۴۴ ، ریشتر ۱۹۵۸)

N تعداد زمین لرزه ها با بزرگای $M \geq m$ در واحد زمان و a و b ضرائب ثابت مثبت هستند.

T زمان به سال و λ_m اهنگ سالانه میانگین رویداد می باشد.

رابطه گوتنبرگ - ریشتر به صورت زیر نیز نوشته می شود .

$$\lambda_m = 10^{a-bm} = \exp(\alpha - \beta m) \quad \alpha = 2/303a \quad \beta = 2/303b$$



شکل ۲) تعداد زلزله های رخ داده برای قرون مختلف در شبه جزیره کره

Annual occurrence rate of earthquakes with $M > m$ (λ_m)

Period	N_4	λ_4	$N_{4.5}$	$\lambda_{4.5}$	N_5	λ_5	$N_{5.5}$	$\lambda_{5.5}$	N_6	λ_6	$N_{6.5}$	$\lambda_{6.5}$
1-1391	35	0.025	16	0.011	15	0.010	13	0.009	8	0.005	0	0
1392-1904	354	0.690	152	0.296	32	0.062	18	0.035	4	0.008	0	0
1904-2005	96	0.941	53	0.520	19	0.186	7	0.069	5	0.049	2	0.020

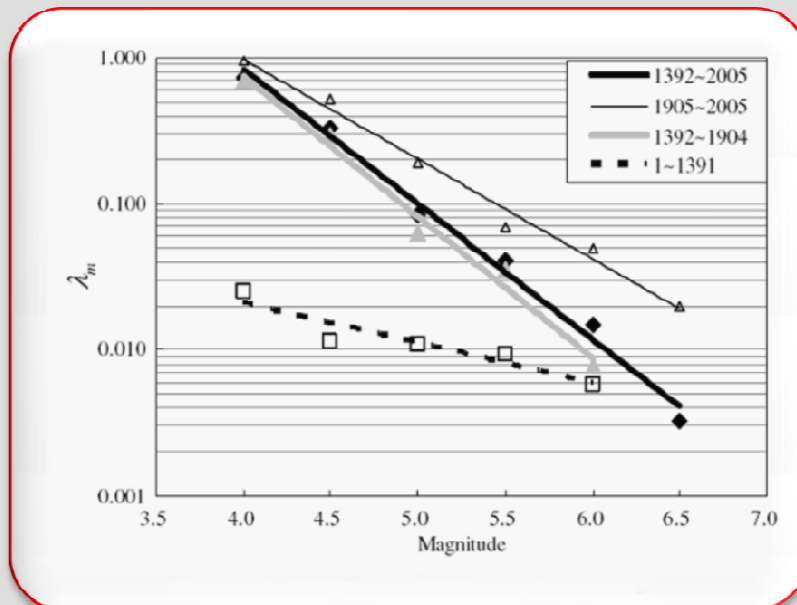
N_m is the number of earthquakes with $M > m$, $\lambda_m = N_m/T$, and T is duration in year.

جدول (۱) آهنگ رخداد سالیانه زلزله ها

Table 2
Coefficients a and b , and calculated λ_4

Period	a	b	λ_4	Actual λ_4
1-1391	-0.583	0.274	0.021	0.025
1392-1903	3.730	0.964	0.748	0.690
1904-2005	2.705	0.681	0.957	0.941

جدول ۲) محاسبه ضرائب ثابت a و b در رابطه بازگشتی گوتنبرگ-ریشتر



✓ هرچه مقدار b افزایش یابد تعداد زمین لرزه های بزرگ (به نسبت زمین لرزه های با بزرگای کمتر) کاهش می یابد و درمقابل کاهش b (یا β) بیانگر تعداد زمین لرزه های زیاد با بزرگای کم می باشد.

شکل ۳) آهنگ سالیانه میانگین زلزله ها ($\lambda_m, M \geq m$)

✓ روش بزرگا - طول گسیختگی

این روش یکی از معمول ترین روشها برای تخمین بزرگای زمین لرزه است . در این روش طول احتمالی یک گسیختگی زمین لرزه اندازه گیری شده و با استفاده از روابط تجربی بزرگای بالقوه زمین لرزه حدس زده می شود (اسلمونز، ۱۹۷۷، زارع، ۱۳۷۴). زمین لرزه های با بزرگای ۶ یا بیشتر می توانند با گسیختگی سطحی همراه باشند .

بر اساس بزرگای های حدس زده شده برای زمین لرزه های تاریخی (امبرسیز و ملویل ۱۹۸۲) و همچنین بزرگای های دستگاهی گزارش شده برای زلزله های سده بیستم در ایران و با در نظر گرفتن همگن کردن بزرگای برای زمین لرزه های ایران بر اساس مقیاس M_w (زارع ۱۹۹۹) رابطه خطی بین بزرگا - طول گسیختگی در زمین لرزه های ایران مطابق (شکل ۴) توسعه داده شده است .

$$M_w = 0.91 \ln L_R + 3.66$$

$$L_R = 0.37 L_F$$

M_w بزرگای گشتاوری

L_F طول گسل لرزه زا (Km)

L_R طول گسیختگی سطحی حاصل از جنبش گسل لرزه زا (Km)

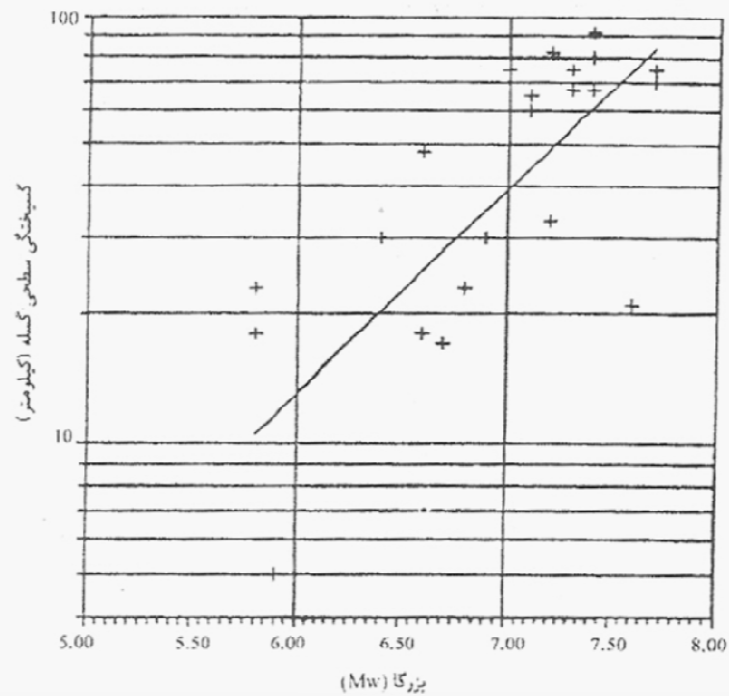
برای برای همگن کردن بزرگای مختلف بر حسب M_w :

در بزرگای های بیشتر از 6، $M_w = M_s$ ،

در بزرگای کمتر از 6، $M_w = m_b = M_L$ ،

در بزرگای مساوی 6، $M_w = M_s = m_b$ ،

زارع (۱۳۷۴) برای ۲۳ گسل لرزه ای ایران نشان داد که به طور میانگین ۳۷٪ طول گسلهای سطحی در ایران در اثر زمین لرزه گسیخته می شود .



✓ نکته قابل توجه در رابطه با طول گسل محاسبه MCE از طریق آن است زیرا در دسترس ترین پارامتر می باشد ولی ضعف آن در این است که ممکن است مقدار دقیق MCE را به دست ندهد ، چون همیشه نمی توان طول اصلی گسل را مشاهده و برآورد کرد .

رابطه خطی بین بزرگا - طول گسیختگی برای زمین لرزه های ایران (زارع ۱۳۷۴)

✓ روش مساحت گسیختگی گسل - بررسی لایه لرزه زا

در این روش از اندازه تخمینی مساحت گسیختگی گسل برای تخمین بزرگای زمین لرزه استفاده می شود . مساحس گسیختگی بیشتر به انرژی آزاد شده در هنگام زمین لرزه بستگی دارد تا طول گسل .

پهنای گسل معمولاً بر اساس ژرفای لرزه خیزی و شیب گسل تعیین می شود . اهمیت پهنای گسیختگی ، مشخصات و ژرفای پهنه لرزه زا (Seismogenic Zone) می باشد . زمین لرزه ها معمولاً در پوسته بالائی و در عمق ۱۰-۱۵ کیلومتری که به پهنه شکننده معروف است ، اتفاق می افتند .

ویس (۱۹۷۹) ، با تخمین ۹۰ داده مربوط به مساحت پهنه گسیختگی و بزرگا ، به تدوین یک رابطه خطی به صورت زیر پرداخت .

$$M = \log A + 4/15 \quad M < 5/6$$

$$M = 0/93 \log A + 4/38 \quad M \geq 5/6$$

M بزرگای گشتاوری

A مساحت گسیختگی (Km²)

○ در ایران در ناحیه زاگرس جنوبی در سالهای اخیر برآورد ژرفای لایه لرزه زا را بر اساس داده های لرزه ای با ژرفاهایی که به طور دقیق محاسبه شده باشد به عمل آمده است . در این مطالعه برای زمین لرزه های با بزرگای متفاوت ژرفاهای گوناگون در نظر گرفته و توزیع ژرفا - بزرگا رسم شده است .

✓ روش تغییر مکان گسل

در این روش از تغییر مکان بیشینه یا میانگین که در یک زمین لرزه تاریخی یا دیرینه رخ داده برای محاسبه بزرگای زمین لرزه در روابط تجربی استفاده می شود. تغییر مکان حاصل از رویدادهای لرزه ای به عوامل متعددی از جمله، ویژگیهای متفاوت چشمه های لرزه ای، توزیع متفاوت تغییر شکل های زمین ساختی و پاسخ های متفاوت نهشته های سطحی و نزدیک سطح زمین بستگی دارد.

نهشته های نرم سطحی و ماسه ای با توجه به قابلیت تغییر شکل یابندگی که دارند، می توانند به تخمین دست پایین و در عوض نهشته های متراکم می توانند به افتگاه های گسلی بیش از آنچه در ژرفای زمین رخ داده منجر شوند.

✓ روابط تجربی متعددی بین بیشینه تغییر مکان و بزرگا ارائه شده است که برخی از این روابط در زیر اشاره می شود.

۱- (بونیلا و و همکاران، ۱۹۸۴) رابطه زیر را برای بیشینه تغییر مکان و بزرگای M_s برای گسل های راستالغز ارائه کرده اند:

$$M_s = 7.0 + 0.782(\log D_{\max})$$

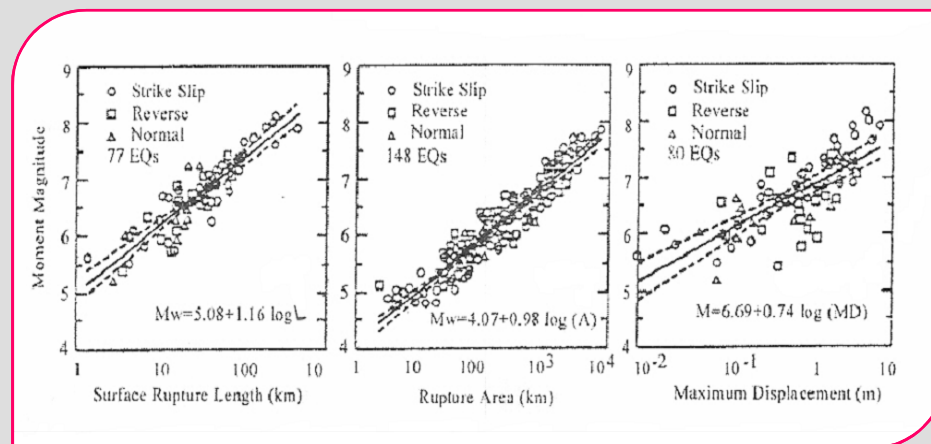
D_{\max} بیشینه تغییر مکان به متر

۲- روابط تجربی ولز - کاپر اسمیت (۱۹۹۴):

ولز و کاپر اسمیت روابط تجربی متعددی بین بزرگای گشتاوری با طول گسیختگی سطحی، مساحت گسیختگی، و تغییر مکان بیشینه مطابق (شکل ۶و۵) برای انواع گسل های مختلف پیشنهاد نموده اند.

Fault Movement	Number of Events	Relationship
Strike slip	43	$M_w = 5.16 + 1.12 \log L$
Reverse	19	$M_w = 5.00 + 1.22 \log L$
Normal	15	$M_w = 4.86 + 1.32 \log L$
All	77	$M_w = 5.08 + 1.16 \log L$
Strike Slip	83	$M_w = 3.98 + 1.02 \log A$
Reverse	43	$M_w = 4.33 + 0.90 \log A$
Normal	22	$M_w = 3.93 + 1.02 \log A$
All	148	$M_w = 4.07 + 0.98 \log A$
Strike slip	43	$M_w = 6.81 + 0.78 \log D$
Reverse ^a	21	$M_w = 6.52 + 0.44 \log D$
Normal	16	$M_w = 6.61 + 0.71 \log D$
All	80	$M_w = 6.69 + 0.74 \log D$

Source: Wells and Coppersmith (1994).



شکل ۶) نمودار روابط تجربی ولز کاپر اسمیت بر اساس نوع گسل

شکل ۵) روابط بین بزرگا - طول ، مساحت و بیشینه تغییر مکان (روابط تجربی ولز و کاپر اسمیت (۱۹۹۴))

- ✓ بر اساس مطالعه ولز و کاپر اسمیت گسیختگی سطحی به طور متوسط حدود ۷۵٪ طول گسیختگی زیر سطحی طول دارد .
- ✓ میانگین تغییر مکان سطحی حدود نصف تغییر مکان بیشینه است و میانگین تغییر مکان زیر سطحی بر روی صفحه گسل کمتر از بیشینه تغییر مکان سطحی ولی بیشتر از میانگین تغییر مکان سطحی است .
- ✓ در بیشتر روابط نوع گسل تاثیر مهمی در ضرائب رگرسیون نمی گذارد .

□ ارتباط گسل و زمین لرزه

✓ انواع گسل در تحلیل خطر زمین لرزه

ساختارهای زمین شناختی که در عصر حاضر زمین شناسی (هولوسن ، با سن حدود ۱۲۰۰۰ سال یا کمتر) جنبائی از خود نشان داده اند ، به عنوان پهنه های سر چشمه لرزه ای (Seismic Source Zones) که توان ایجاد زمین لرزه ای با بزرگای بیشینه (M_{max}) دارند ، شناخته می شوند . در یک طبقه بندی گسلها را از نظر فعالیت به دو دسته زیر تقسیم می کنند :

- ۱- **گسل فعال** : گسل فعال یا جنبا (Active Fault) به گسلی اطلاق می شود که در حال حاضر احتمال وقوع زمین لرزه در اثر فعالیت آن احساس می شود (Seismo Tectonic Fault)
- ۲- **گسل غیر فعال** : گسلی که قبلا بر روی آن زمین لرزه رخ داده و در طول آن احتمال وقوع مجدد نمی رود .

برای سدها اداره مهندسی ارتش ایالات متحده ، محدوده زمانی را برای گسل فعال ۳۵۰۰۰ هزار سال و اداره آبادانی ایالات متحده ۱۰۰۰۰ سال در نظر گرفته اند . از سوی دیگر کمیسیون مقررات هسته ای ایالات متحده معیارهای سه گانه زیر را برای گسل مستعد فعالیت در نظر گرفته اند .

- ۱- جنبش در سطح یا نزدیک سطح زمین یک بار در ۳۵۰۰۰ سال یا چند بار در ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته .
- ۲- زمین لرزه بزرگ که با لرزه نگار و با دقت مناسب به نحوی ثبت شده است که رابطه مستقیمی با گسل نشان دهد .
- ۳- رابطه ساختاری با یک گسل مستعد فعالیت مطابق ویژگیهای ۱ و ۲ به نحوی که جنبش در یکی به طور مستدل موجب جنبش در دیگری گردد.

آشنائی با آئین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (۲۸۰۰)

۱-۱ هدف

هدف این آئین نامه، تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمانها در برابر اثرهای ناشی از زلزله است به طوری که با رعایت آن انتظار می‌رود:

الف) با حفظ ایستایی ساختمان در زلزله‌های شدید، تلفات جانی به حداقل برسد و نیز ساختمان در برابر زلزله‌های خفیف و متوسط بدون وارد شدن آسیب عمده‌ی سازه‌ای قادر به مقاومت باشد.

ب) ساختمانهای «با اهمیت زیاد» گروه ۲ در بند ۱-۷، در زمان وقوع زلزله‌های خفیف و متوسط، قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ کنند و در ساختمانهای با اهمیت متوسط، گروه ۳ بند ۱-۷، خسارات سازه‌ای و غیر سازه‌ای به حداقل برسد.

پ) ساختمانهای «با اهمیت خیلی زیاد»، گروه ۱ در بند ۱-۷، در زمان وقوع زلزله‌های شدید، بدون آسیب عمده سازه‌ای، قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه خود را حفظ کنند.

زلزله شدید که «زلزله طرح» نامیده می‌شود، زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن و یا زلزله‌های بزرگتر از آن، در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتر از ده درصد باشد.

زلزله خفیف و متوسط یا «زلزله سطح بهره‌برداری»، زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن و یا زلزله‌های بزرگتر از آن، در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، بیشتر از ۹۹/۵ درصد است.

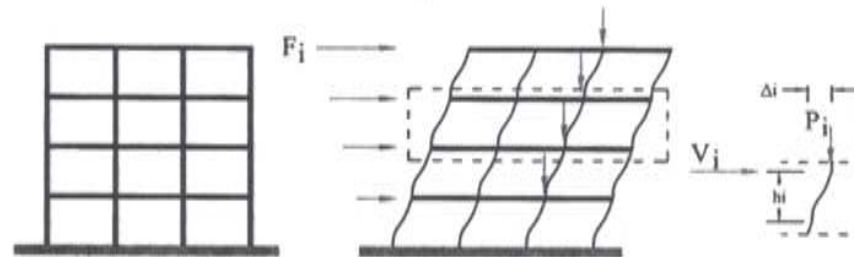
تعاریف

(۱) اثر $P-\Delta$ (P-Delta Effect) :

اثر ثانوی بر روی تغییر مکانها و تلاش‌های داخلی اجزای قاب است که به واسطه عملکرد بارهای قائم بر روی سازه تغییر شکل یافته ایجاد می‌شود. (شکل - ۱۱)

$M_i = P_i \cdot \Delta_i$ $\Delta V_i = \frac{M_i}{h_i} = \frac{P_i \cdot \Delta_i}{h_i}$	M_i : لنگر وارده به طبقه i در اثر پدیده $P-\Delta$ (لنگر ثانویه)
	Δ_i : تغییر مکان نسبی طبقه i ام
	P_i : مجموع بارهای مرده و زنده در طبقه i و بالاتر
	ΔV_i : برش اضافی در حالت رفتار خطی طبقه بر اثر پدیده $P-\Delta$ (برش ثانویه)
	h_i : ارتفاع طبقه

فرمول-۱: رابطه لنگر و برش ثانویه ایجاد شده در قاب بر اثر پدیده $P-\Delta$

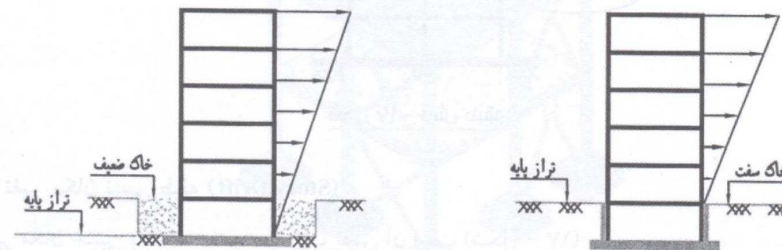


شکل ۱-۱ اثر $P-\Delta$

نکته : همانطور که از شکل پیدا است، اثر $P-\Delta$ که در اثر وجود بار قائم P و تغییر مکان جانبی Δ در سازه تغییر شکل یافته ایجاد می‌شود، باعث افزایش نیروی برشی و لنگر خمشی در طبقات است. همچنین اثر $P-\Delta$ در سازه، تغییر مکان جانبی در طبقات را افزایش می‌دهد.

۳) تراز پایه (Base):

ترازی است که فرض می‌شود در آن تراز حرکت زمین به سازه منتقل می‌شود، یا به عنوان تکیه‌گاه سازه در ارتعاش دینامیکی محسوب می‌شود. عبارت دیگر، بالاترین تراز در سازه که در آن، حرکت سازه با حرکت زمین برابر (یا تقریباً برابر) است، تراز پایه نامیده می‌شود. محل تراز پایه به نحوه اجرای ساختمان بستگی دارد، چنانچه با بکارگیری موانعی از حرکت نسبی ساختمان در طبقات پایین جلوگیری شود، تراز پایه به طبقات بالاتر منتقل شده و در محلی قرار می‌گیرد که طبقات، بدون هیچ مانعی حرکت نسبی داشته باشند. (شکل ۱۴)

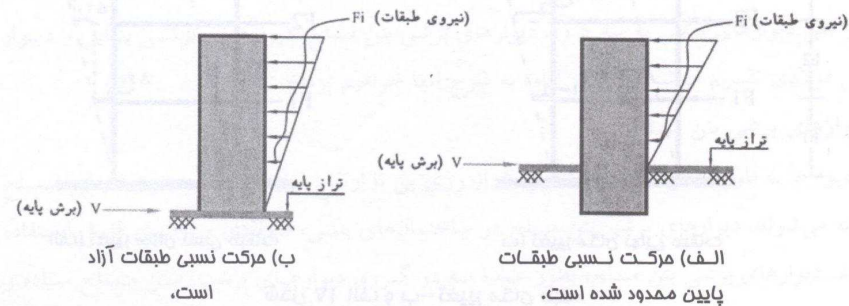


الف) از حرکت نسبی طبقه زیرین بوسیله دیوار بتنی جلوگیری شده است.

ب) از حرکت نسبی طبقه‌ی زیرین جلوگیری نشده است.

شکل ۱۴ الف و ب - تراز پایه.

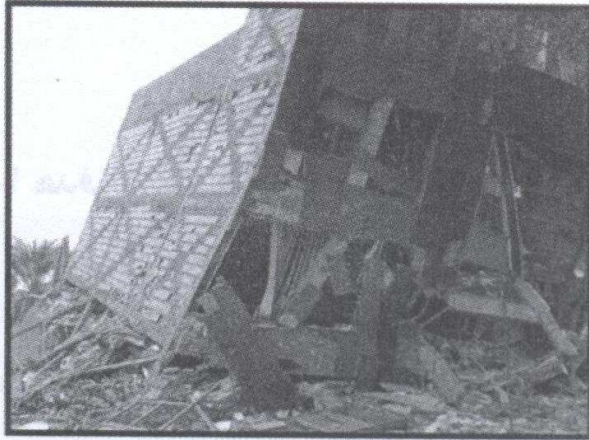
۴) برش پایه (Base Shear): مقدار کل نیروی جانبی وارد بر سازه که برابر با برش طرح در تراز پایه است. در این آیین نامه، برش پایه با علامت (V) نشان داده می‌شود (شکل ۱۵).



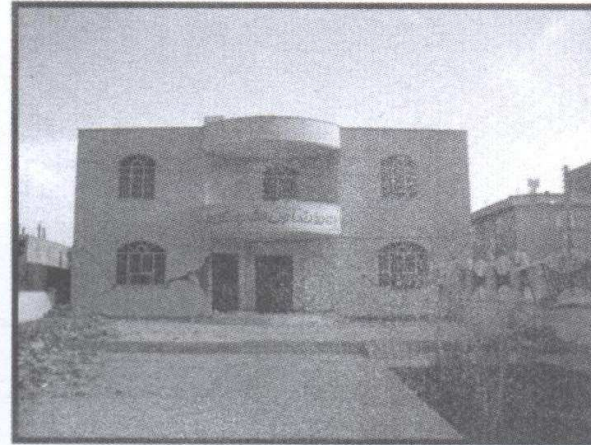
الف) حرکت نسبی طبقات پایین محدود شده است.

ب) حرکت نسبی طبقات آزاد است.

شکل ۱۵ - برش پایه،



ب) تفریب سازه‌ای (مُسارت سازه‌ای)



الف) تفریب غیر سازه‌ای (مُسارت غیر سازه‌ای)

شکل ۱-۱- الف و ب - انواع تفریب (مُسارت)

* تعریف زلزله طرح:

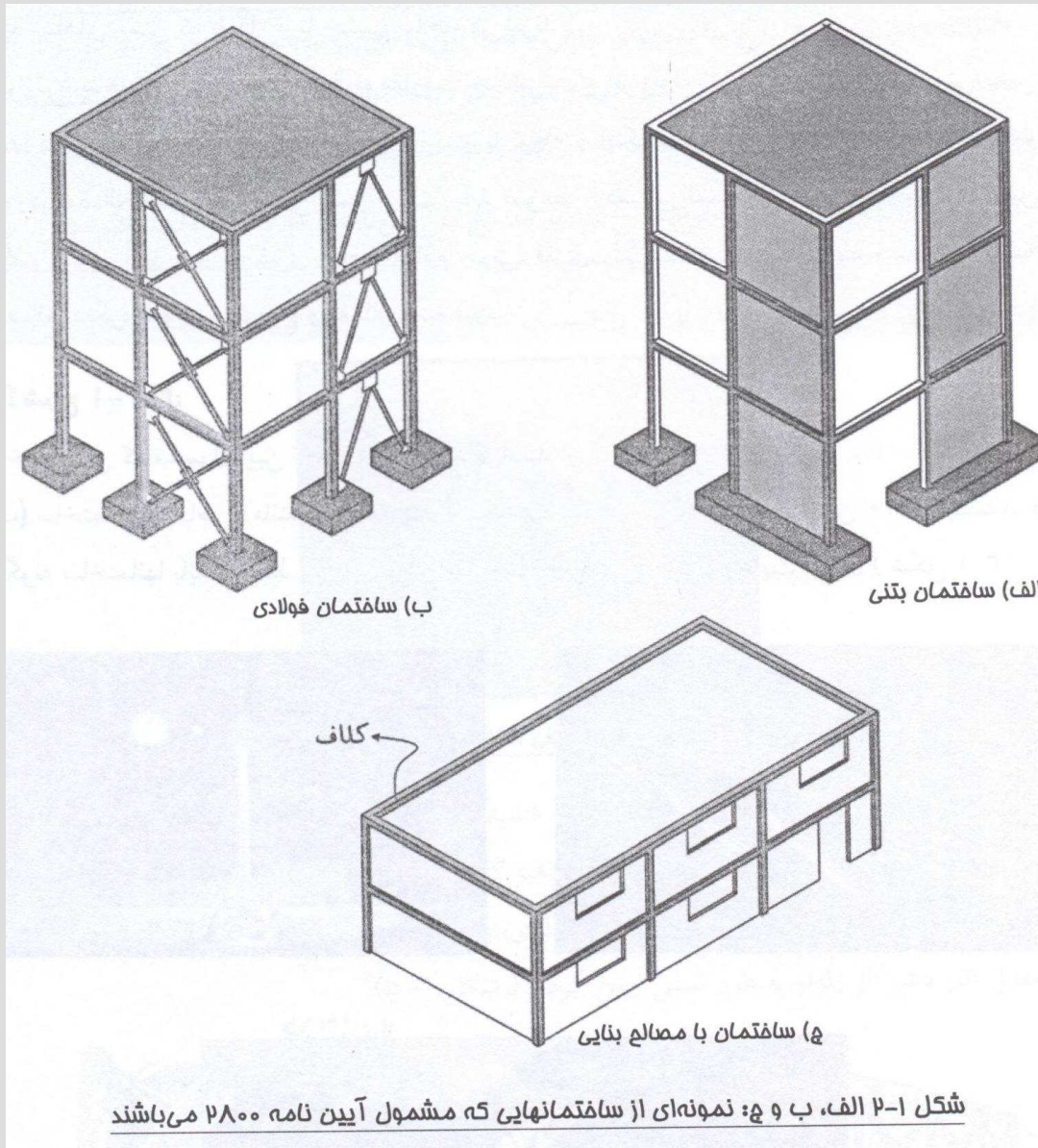
زلزله‌ای است که در ۵۰ سال عمر مفید سازه، کمتر از ۱۰ درصد احتمال وقوع داشته باشد (یعنی دوره بازگشت معادل هر ۴۷۵ سال یکبار)

* تعریف زلزله سطح بهره‌برداری:

زلزله‌ای است که در ۵۰ سال عمر مفید سازه، حداقل ۹۹/۵ درصد احتمال وقوع داشته باشد (یعنی دوره بازگشت معادل هر ۱۰ سال یکبار)

۲-۱-۲ حدود کاربرد

۱-۲-۱ این آیین‌نامه برای طرح و اجرای ساختمانهای بتن مسلح، فولادی و ساختمانهای با مصالح بنایی به کار می‌رود.



که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.

ب- ساختمانهایی که خرابی آنها سبب از دست رفتن ثروت ملی می گردد، مانند: موزه‌ها، کتابخانه‌ها، و بطور کلی مراکزی که در آنها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پر ارزش نگهداری می شود.

پ- ساختمانها و تأسیسات صنعتی که خرابی آنها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش سوزی وسیع می شود، مانند: پالایشگاهها، انبارهای سوخت و مراکز گاز رسانی.

گروه ۳ - ساختمانهای «با اهمیت متوسط»

این گروه ساختمانها شامل کلیه ساختمانهای مشمول این آیین نامه، بجز ساختمانهای عنوان شده در سه گروه دیگر است، مانند: ساختمانهای مسکونی و اداری و تجاری، هتلها، پارکینگ های چند طبقه، انبارها، کارگاهها، ساختمانهای صنعتی و غیره.

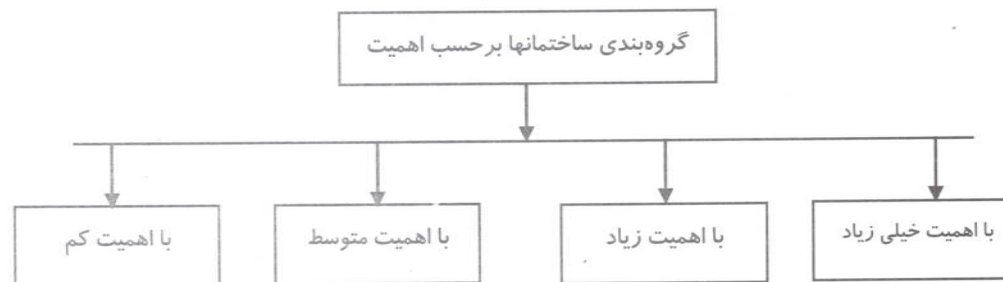
گروه ۴ - ساختمانهای «با اهمیت کم»

این گروه شامل دو دسته زیر است:

الف - ساختمانهایی که خسارت نسبتاً کمی از خرابی آنها حادث می شود و احتمال بروز تلفات در آنها بسیار کم است، مانند انبارهای کشاورزی و سالنهای مرگداری.

ب- ساختمانهای موقت که مدت بهره برداری از آنها کمتر از ۲ سال است.

ساختمانها بر حسب اهمیت، به گروه‌های مختلفی به شرح زیر تقسیم می شوند:



سؤال ۳- سیلوی سیمان جزو کدام دسته از ساختمانهای این نامه ۲۸۰۰ بر حسب اهمیت است؟

۲-۱-۲- محاسبه ساختمان در برابر نیروهای زلزله و باد به تفکیک انجام می‌شود و در هر عضو سازه، اثر هر یک که بیشتر باشد، ملاک عمل قرار می‌گیرد. ولی رعایت ضوابط ویژه طراحی برای زلزله، مطابق نیاز سیستم در کلیه اعضا الزامی است.

📖 شرح ۲-۱-۲:



📌 نکته: جهت طراحی هر عضو سازه‌ای، باید بیشترین اثر هر یک از نیروها (باد یا زلزله) در نظر گرفته شود.

۲-۱-۳- بجز مؤلفه‌های افقی نیروی زلزله، که برای محاسبه ساختمان در نظر گرفته می‌شود، اثر

۲-۱-۲- محاسبه ساختمان در برابر نیروهای زلزله و باد به تفکیک انجام می‌شود و در هر عضو سازه، اثر هر یک که بیشتر باشد، ملاک عمل قرار می‌گیرد. ولی رعایت ضوابط ویژه طراحی برای زلزله، مطابق نیاز سیستم در کلیه اعضا الزامی است.

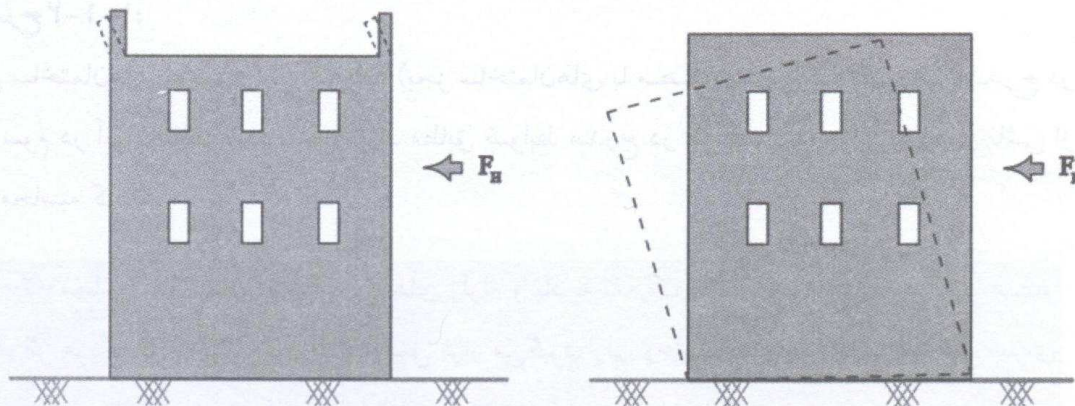
📖 شرح ۲-۱-۲:



📌 نکته: جهت طراحی هر عضو سازه‌ای، باید بیشترین اثر هر یک از نیروها (باد یا زلزله) در نظر گرفته شود.

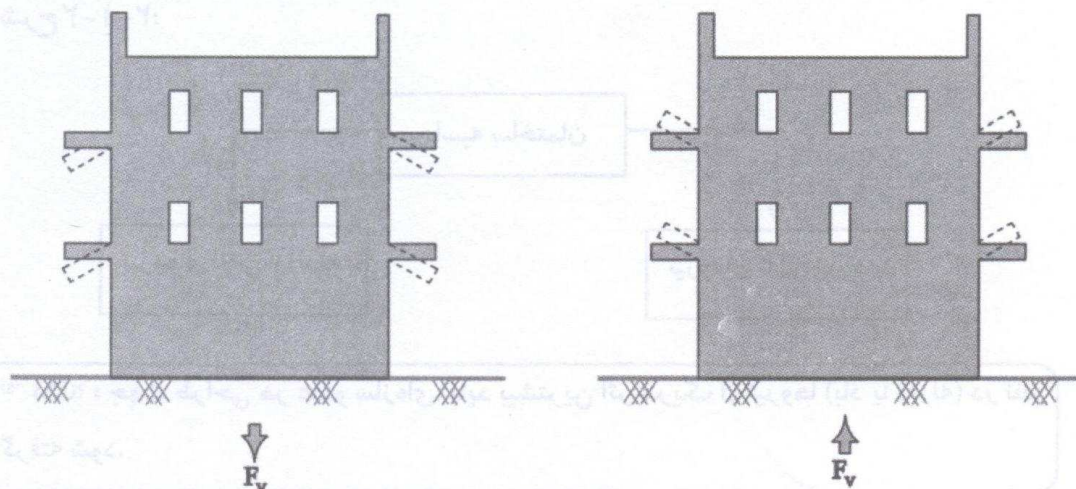
۲-۱-۳- بجز مؤلفه‌های افقی نیروی زلزله، که برای محاسبه ساختمان در نظر گرفته می‌شود، اثر

اثر ناشی از مولفه افقی و مؤلفه قائم نیروی زلزله وارد بر ساختمان در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



الف) اثر نیروی زلزله بر کل ساختمان

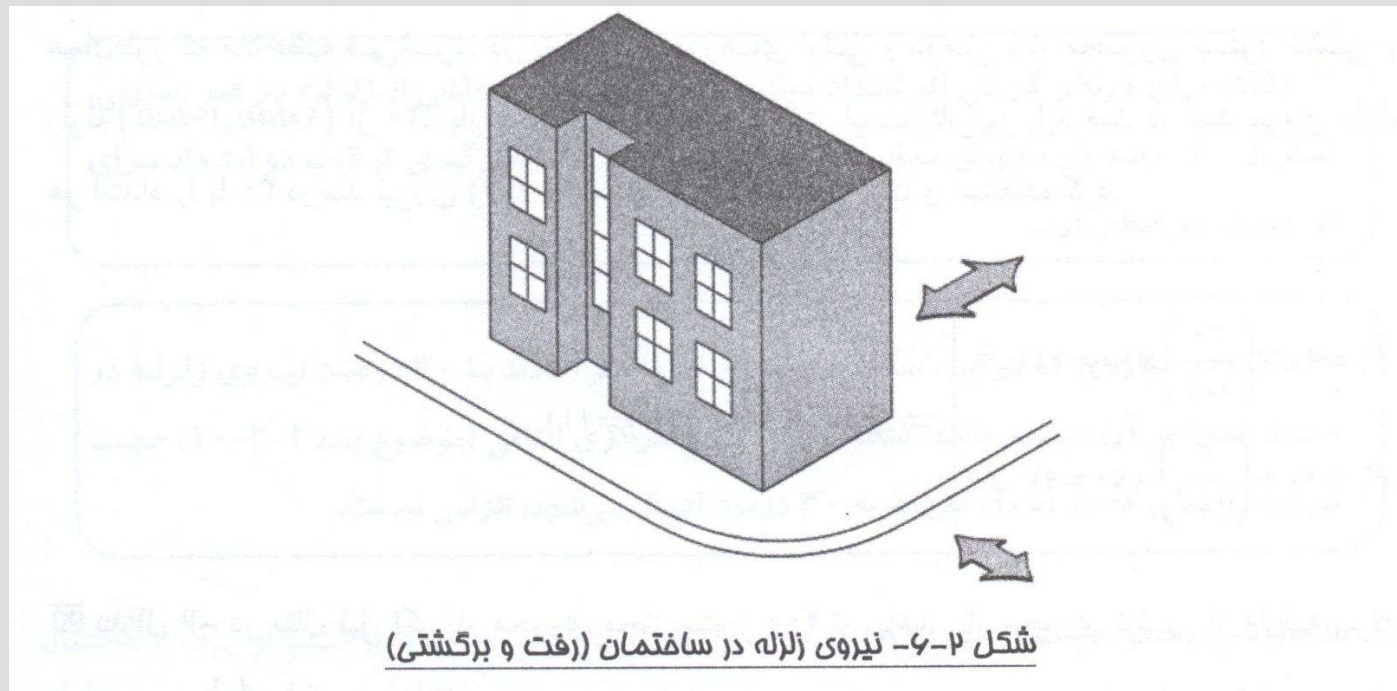
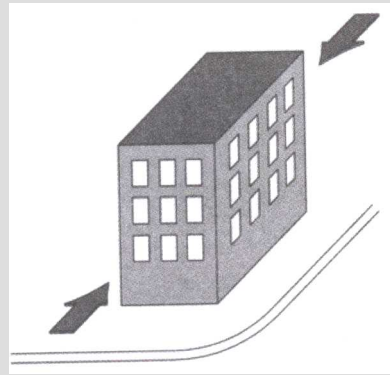
ب) اثر نیروی افقی زلزله بر اجزای ساختمان



ج) اثر نیروی عمودی زلزله بر اجزای ساختمان

د) اثر نیروی عمودی زلزله بر کل ساختمان

شکل ۱-۲ الف و ب و ج- آثار نیروهای افقی و عمودی ناشی از زلزله در ساختمان



۲-۲- نیروی جانبی ناشی از زلزله

۲-۲-۱- نیروی جانبی زلزله مؤثر بر سازه ساختمان را می‌توان با استفاده از روش «تحلیلی استاتیکی معادل» و یا روش‌های «تحلیل دینامیکی» محاسبه کرد. موارد کاربرد هر یک از آنها در بندهای زیر و جزئیات هر یک از روشها در بندهای ۲-۳ و ۲-۴ توضیح داده شده است. نیروی جانبی زلزله مؤثر بر اجزای غیرسازه‌ای ساختمان را می‌توان براساس ضوابط بند ۲-۸ محاسبه کرد.

📖 شرح ۲-۲-۱:



۲-۲-۲- روش تحلیل استاتیکی معادل را تنها در موارد زیر می توان به کار برد:

الف- ساختمانهای منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه

ب- ساختمانهای نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه

پ- ساختمانهایی که در آنها سختی جانبی قسمت فوقانی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سختی جانبی قسمت تحتانی است به شرط آنکه:

۱- هریک از دو قسمت سازه به تنهایی منظم باشد.

۲- سختی متوسط طبقات تحتانی حداقل ده برابر سختی متوسط طبقات فوقانی باشد.

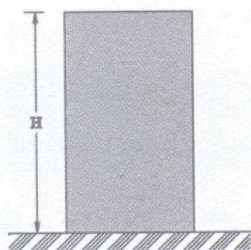
۳- زمان تناوب اصلی نوسان کل سازه بیشتر از ۱/۱ برابر زمان تناوب اصلی قسمت فوقانی، با فرض اینکه، این قسمت جدا در نظر گرفته شده و پای آن گیردار فرض شود، نباشد.

شرح ۲-۲-۲:

در صورت احراز شرایط زیر می توان از روش تحلیل استاتیکی جهت تعیین نیروهای جانبی زلزله موثر بر سازه ساختمان استفاده کرد:

(۱) ساختمانهای منظم با حداکثر ارتفاع ۵۰ متر از تراز پایه (شکل ۲-۷)

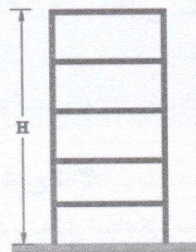
$$H \leq 50m$$



شکل ۲-۷ - ساختمان منظم

(۲) ساختمانهای نامنظم با حداکثر ۵ طبقه و یا ۱۸ متر ارتفاع (شکل ۲-۸)

$$\begin{cases} n = 5 & \text{تعداد طبقه} \\ H \leq 18m \end{cases}$$



شکل ۲-۸ - ساختمان نامنظم

۲-۳- روش تحلیل استاتیکی معادل

در این روش نیروی جانبی زلزله بر طبق ضوابط این بند تعیین می‌گردد و به صورت استاتیکی رفت و برگشتی، به سازه اعمال می‌شود.

📖 شرح ۲-۳:

«روش تحلیل استاتیکی معادل» ساده‌ترین روش در برآورد زلزله به یک ساختمان است. در این روش اثرات زلزله بر ساختمان مطابق ضوابط این روش تعیین می‌گردد و نهایتاً به صورت استاتیکی رفت و برگشتی به سازه اعمال می‌شود.

۲-۳-۱- نیروی برشی پایه، V

حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هریک از امتدادهای ساختمان با

$$V = C * W$$

استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V = CW \quad (1-2)$$

در این رابطه:

V : نیروی برشی در تراز پایه، این تراز در بند ۲-۳-۲ تعریف شده است.

W : وزن کل ساختمان، شامل تمام بار مرده و وزن تأسیسات ثابت به اضافه درصدی از بار زنده و بار برف که در جدول (۱) مشخص شده است.

C : ضریب زلزله که از رابطه به دست می آید:

$$C = \frac{ABI}{R}$$

که در آن:

A : نسبت شتاب مبنای طرح (شتاب زلزله به شتاب ثقل g)

B : ضریب بازتاب ساختمان که با استفاده از طیف بازتاب طرح به دست می آید.

I : ضریب اهمیت ساختمان

R : ضریب رفتار ساختمان

مقاریر ضرایب فوق، طبق ضوابط بندهای ۲-۳-۲ تا ۳-۳-۲ تا ۸-۳-۲ تعیین می شوند.

برش پایه V در هیچ حالت نباید کمتر از مقدار داده شده در رابطه زیر در نظر گرفته شود.

$$V_{min} = 0.1AIW \quad (2-2)$$

جدول (۱): درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبه نیروی جانبی زلزله

محل بار زنده	درصد میزان بار زنده
بام‌های شیبدار با شیب ۳۰٪ و بیشتر*	---
بام‌های مسطح یا با شیب کمتر از ۲۰٪	۲۰
ساختمان‌های مسکونی، اداری، هتلها و پارکینگها	۲۰
بیمارستان‌ها، مدارس، فروشگاهها و ساختمانهای محل اجتماع یا ازدحام	۴۰
انبار و کتابخانه‌ها	۶۰
مخازن آب و یا سایر مایعات و سیلوها	۱۰۰

* در صورتی که احتمال ماندگار شدن برف بر روی این بامها زیاد باشد، درصد مشارکت، مانند بامهای مسطح در نظر گرفته شود.

درجه بندی خطر نسبی زلزله شهرهای مختلف ایران

ردیف	شهرستان	استان	خطر نسبی زلزله		
			خیلی زیاد	زیاد	متوسط کم
۱	آبادان	خوزستان			*
۲	آبدانان	ایلام			*
۳	آباده	فارس		*	
۴	آب بر	زنجان	*		
۵	آب گرم (اوج)	قزوین		*	
۶	آبیک	قزوین	*		
۷	آذرشهر	آذربایجان شرقی		*	
۸	آران	اصفهان		*	
۹	آستارا	گیلان		*	
۱۰	آستانه	گیلان		*	
۱۱	آستانه	سمنان		*	
۱۲	آستانه	مرکزی		*	*
۱۳	آشتیان	مرکزی		*	
۱۴	آشخانه	خراسان شمالی		*	
۱۵	آغاجاری	خوزستان		*	
۱۶	آق قلعه	گلستان		*	
۱۷	آلاشت	مازندران		*	
۱۸	آمل	مازندران		*	
۱۹	اوج	قزوین		*	