

ENGINEERING SEISMOLOGY & EARTHQUAKE ENGINEERING

ABOOZAR.MIRZAKHANI@GMAIL.COM

WWW.ABOOZARMIRZAKHANI.IR

References:

- دکتر محسن غفوری آشتیانی، جزوات کلاسی تحلیل ریسک، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- دکتر مهدی زارع، جزوات کلاسی لرزه شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- دکتر مجتبی محصولی، دانشگاه شریف
- دکتر دانش، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
- دکتر بیت اللهی، مهندس گل آرا، تحلیل خطر لرزه ای، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- علیرضا زراعتی، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- Chopra (2012), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering
- Kramer (1996), Geotechnical Earthquake Engineering
- Bozorgnia and Bertero (2004), Earthquake Engineering: From Engineering Seismology
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، طراحی ساختمانها در برابر زلزله- آئین نامه، استاندارد ملی ایران ۲۸۰۰، تجدید نظر چهارم

References for Study

- Web sites
 - iiees.ac.ir
 - ATC, EERC, [EERI](#), [IAEE](#)
 - FEMA, MAE, MCEER
 - NCEER, [PEER](#), SEAOC, [USGS](#)

References for Study

- Proceedings of Conferences :
 - World Conference of Earthquake Engineering (WCEE) every four years
 - European Conference of Earthquake Engineering (ECEE) every four years
 - Canadian Conference of Earthquake Engineering (CCEE) every four years
 - seismology and earthquake engineering (SEE) every four years

References for Study

- Journals:
 - Earthquake Spectra
 - Earthquake Engineering
 - Dynamics of Structures
 - Earthquake Engineering and Structural Dynamic
 - Earthquake Design Criterion
 - Global Tectonic & Earthquake Risk
 - structural Engineering

Societies of earthquake engineering

ASCE

American Society of Civil Engineers

ATC

Applied Technology Council

BSSA

Bulletin of Seismological Society of America

EERC

Earthquake Engineering Research Center, at the University of California at Berkeley

EERI

Earthquake Engineering Research Institute

Societies of earthquake engineering

EESD

Earthquake Engineering and Structural Dynamics

EQ

Earthquake

FEMA

Federal Emergency Management Agency

IAEE

International Association for Earthquake Engineering

MAE

Mid-America Earthquake Center

NCEER

National Center for Earthquake Engineering Research

NISEE

National Information Service for Earthquake Engineering

SAC

Joint venture consisting of SEAOC, ATC and CUREE to manage and administer a program to reduce earthquake hazards in steel moment frame structures **SEAOC**

Structural Engineers Association of California

USGS

United States Geological Survey

Evaluation:

- Active and orderly participation: 10%
 - Assignments: 25%
 - Midterm: 25%
 - Final: 40%
 - Project: Maximum of 10%
-

- Haiti earthquake, 2010, M7
- This was an earthquake in an underdeveloped society with a huge death toll and economic impact
- 316,000 died
- 300,000 injured
- 1,000,000 homeless
- \$7.9B (120% GDP) damage



- Christchurch earthquake, 2011, M6.3, 6 month later M7.1
- 185 died
- 1,500-2,000 injured
- \$20-30B (20% GDP) damage
- This is an earthquake in a developed society that did not have a huge death toll, but a huge economic loss



- People are usually know earthquakes as destructive forces that kill humans and destroy societies but this is not true
-

- What I would really like to open your eyes to is fact:

*“Earthquakes do not kill people;
poorly designed structures do”*

- I hope that this course make earthquakes a societal-humanitarian motivation for you, whether you become a politician or decision-maker, a university professor, an engineer who designs structures for society, or even if you end up doing other things

- Seismology
 - Seismos (earthquake) + logos (science)
 - Study of earthquakes and the propagation of elastic waves through the Earth
 - Study of the earthquake effects, e.g., tsunamis
- Earthquake Engineering
 - Study of the behavior of structures and geo-structures subject to seismic loading (Old definition)
 - Scientific field concerned with protecting society from earthquakes by limiting the **seismic risk** to socio-economically acceptable levels (New definition)

Earthquake Effects

- Direct effects
 1. Ground failures
 - Surface faulting
 - Vibration of soil
 - Ground cracking
 - Liquefaction
 - Differential settlement
 - Landslides
 - Lateral spreading
 2. Ground shaking
- Indirect effects
 3. Tsunamis
 4. Seiche
 5. Floods
 6. Fires

- Ground failures happens when soil loses its structural integrity
- Surface faulting is the displacement that reaches the earth's surface during slip along a fault; commonly occurs with shallow earthquakes
- Liquefaction (the rapid transformation of soil to a fluid-like state) affects loose saturated sands
- Landslide is a movement of surface material down a slope

Ground Cracking



Differential Settlements

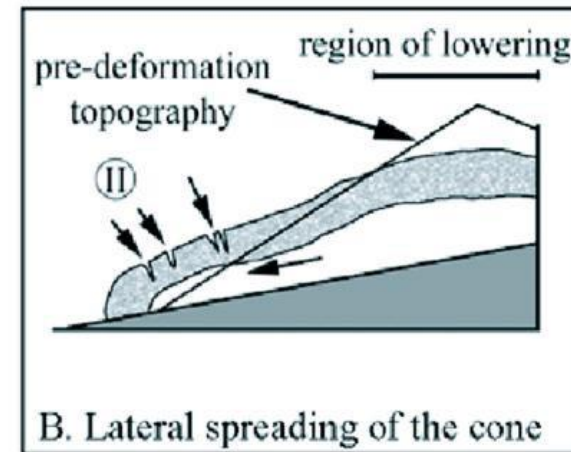


Landslide



- Landslide is a movement of surface material down a slope

Lateral Spreading



- Lateral spread commonly forms on gentle slopes and have rapid fluid-like flow movement, like water

Surface Faulting



- Importance of selecting a proper location for the structure
- Surface faulting along the Beni Rached fault
- Ruptured during the El Asnam Earthquake, Algeria, 1980, $M_L=7.2$
- Surface faulting occurred along a zone that extended at least 30 kilometers
- 0.5-1m offset along the fault
- Many sheep and donkeys were trapped

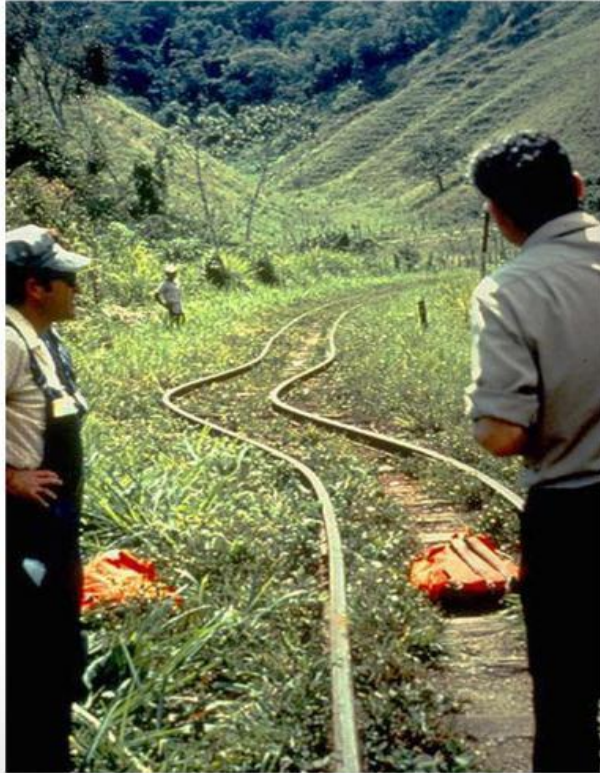


Surface Faulting



Surface Faulting

Surface Faulting: Railroads



- On right
 - Railroad that crosses the fault
 - Train passing through the fault at the time of the mainshock
 - Train was completely overturned
 - Took seven days to clear the wreckage and reopen the railway
- On Left
 - $M_L=7.9$, Guatemala, 1976
 - 22,000 deaths, 70,000 injuries, and
 - 1,000,000 homeless 250km surface faulting
 - 1-3.25m lateral offset
 - Width of the cracked zone = 1-3m and up to 9m
 - The fault rupture offset the railroad tracks, irrigation channels, bridges, and roads

Surface Faulting: Irrigation Channels



- Bridges damaged in Guatemala 1976 earthquake due to surface movement along the fault
- 5-span steel plate girder bridge collapsed
- On Left: overview of the bridge collapse
- On right: piers of the bridge
- Bridge collapse due to the poor detailing of support for the three intermediate spans

Surface Faulting: Bridges



- M6.5 San Fernando Earthquake, 1971
- 65 deaths
- But heavy damage \$550M in 1971 dollars
- People realized that only collapse prevention is not enough
- 1m vertical and 1m lateral offset caused significant damage to lifelines
- In this slide: rupture of water and sewage lines that crossed the fault rupture
- Steel gas pipes ruptured, causing gas leakage and fire

Surface Faulting: Lifelines



- Damage to buildings along the fault ruptures
- This is different than damage due to shaking, which is the main focus of this course
- Damage range from demolished houses, to rupture of the foundations, tilting of the foundation slabs and walls (**this slide**) to houses that suffered minor damage

Surface Faulting: Buildings



Liquefaction

- Instability of the soil
- Soil response depends on
 - Mechanics of the soil layers
 - Water level
 - Intensity and duration
- Vibration compacts the loose granular material
 - Causes large and differential settlements
 - Causes excess pore water pressure → Liquefies the soil
 - Causes tilting, settlement, and rupture of structures

- M8.6, Alaska, 1964
- Vertical fault displacement of 6m, one of the largest
- 130 deaths = 9 from shaking + 120 from tsunami
- \$300M damage, mostly from soil slide caused by liquefaction
- Average of 11m of drop in the soil
- Houses moved laterally as much as 150-180m

Liquefaction



- M7.5, Nigata, Japan, 1964
- Soil in the city from reclaimed land and sedimentary deposits
- Shallow water table
- Out of 1500 concrete buildings, 10 damaged, 200 tilted or settled rigidly without damage to superstructure
- Such buildings had very shallow foundation or friction piles in loose soil
- Buildings with pile foundation > 20m did not suffer damage

Liquefaction



Liquefaction

- Collapse of the superstructure of the Showa bridge due to movement of the pier foundations



Liquefaction



Liquefaction

- Damaged ground floor
- Mud covered the floor by up to 10cm



- M7.7, Nihonkai, Japan, 1983
- Left: Tilted flag pole due to ground failure caused by liquefaction
- Right:
 - School built with proper foundation (piled embedded down to a layer of soil that offers a large penetration resistance)
 - This is while the soil subsidence was up to 0.5m

Liquefaction



Liquefaction

- Stable school structure although liquefaction has caused settlement that is visible at doorsteps



Liquefaction

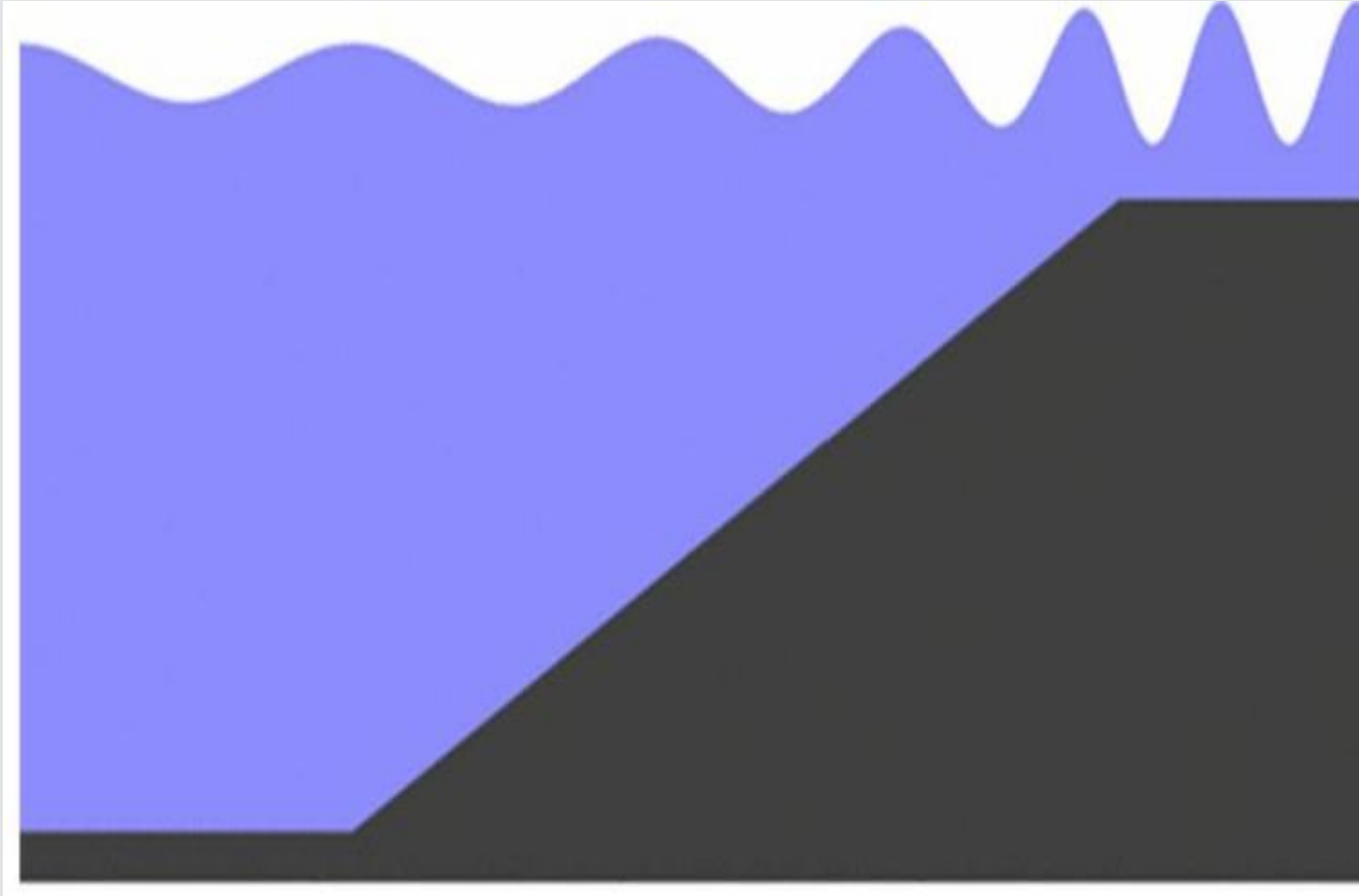
- Two large cranes
- The supports of the farther one failed due to liquefaction



Tsunami

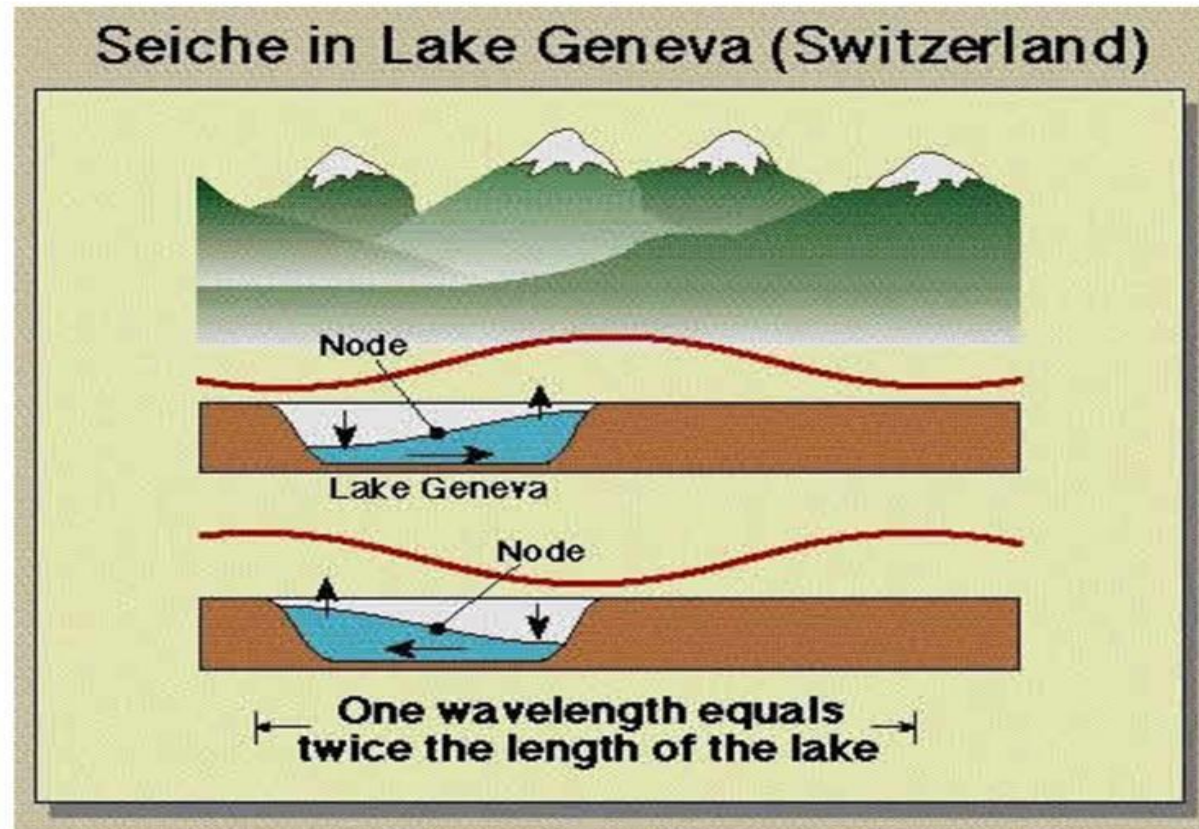


- Tsunami is a sea wave that results from large-scale seafloor displacements associated with large earthquakes, major submarine slides, or exploding volcanic islands



- **Tsunami**

Seiche



- A seiche is the sloshing of a closed body of water from earthquake shaking. Swimming pools often have seiches during earthquakes.

Ground Shaking

Earthquake Effects

- Direct effects
 1. Ground failures
 - Surface faulting
 - Vibration of soil
 - Ground cracking
 - Liquefaction
 - Differential settlement
 - Landslides
 - Lateral spreading
 2. Ground shaking ✓
- Indirect effects
 3. Tsunamis
 4. Seiche
 5. Floods
 6. Fires

- Greek: When Poseidon is in a bad mood, he strikes the ground with a trident, causing earthquakes
- Hindu: When one of the eight elephants that carry the Earth gets tired
- Mongolian: When a frog that carries the world moves
- African: When the giant on whose head people all live, sneezes or scratches
- Japanese: When the attention of Kashima (who looks after the giant catfish Namazu that supports the Earth and prevents it to sink into the ocean) weakens and Namazu moves
- Native American: When the god Maimas decides to count the population in Peru, his footsteps shake the Earth. Then natives run out of their huts and yell: "I'm here, I'm here!"

Myth



Chemical Layers: Crust, mantle, outer core, inner core

- Crust 24-40km

- As thin as 5km beneath oceans

- As thick as 60-70km under young mountains

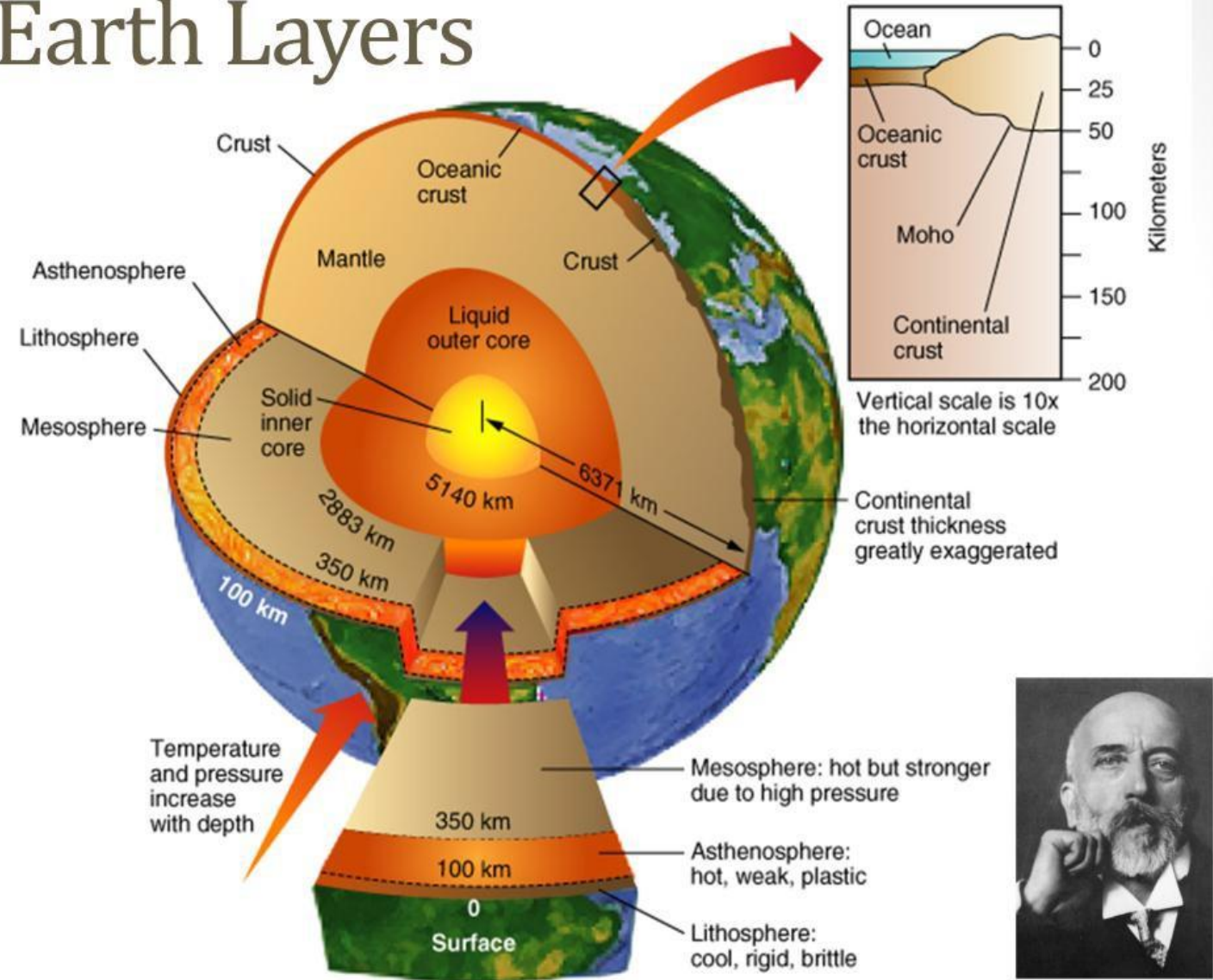
- Distinct change in the wave propagation velocity marks the boundary between crust and mantle, called Mohorovičić discontinuity, or *Moho*

- Named after Croatian seismologist, who discovered it in 1909

- Moho reflects and refracts the seismic waves

- Continental crust and oceanic crust

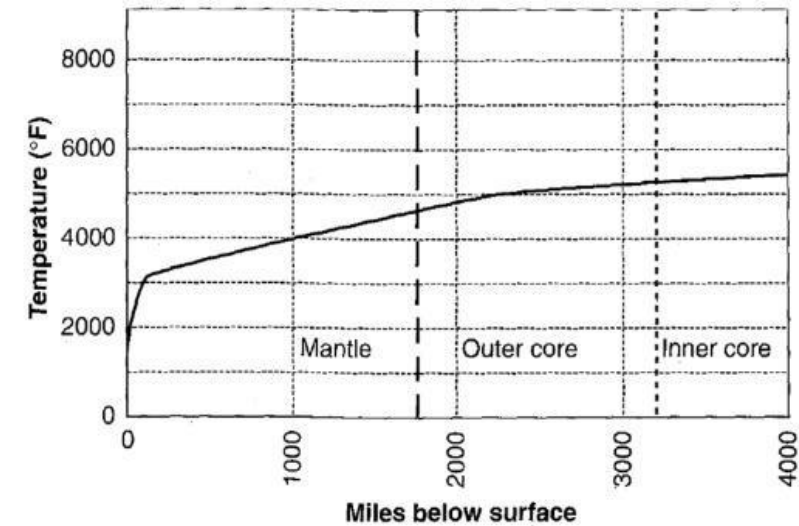
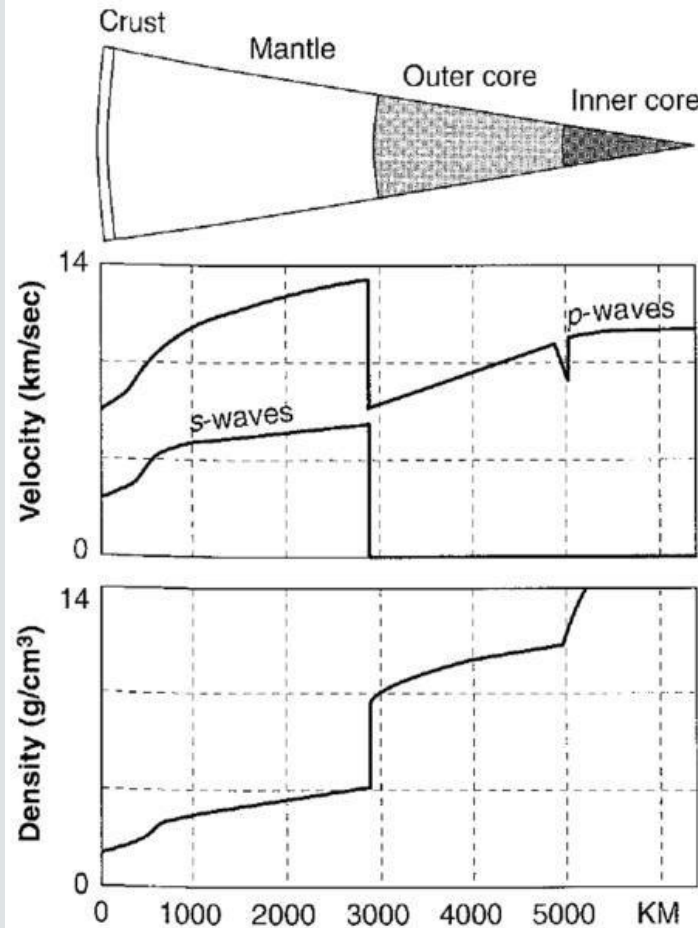
Earth Layers



- Mantle = 2850 km (1770 miles) thick
 - Upper mantle (shallower than about 650 km (404 miles))
 - Lower mantle: No earthquakes have been recorded in the lower mantle, which exhibits a uniform velocity structure and appears to be chemically homogeneous, except near its lower boundary
 - The mantle is cooler near the crust than at greater depths but still has an average temperature 2,200°C
 - As a result, the mantle materials are in a viscous, semimolten state
 - They behave as a solid when subjected to rapidly applied stresses, such as those associated with seismic waves, but can slowly flow like a fluid in response to long-term stresses
 - The mantle material has a specific gravity of about 4 to 5

- Outer core, or liquid core = 2260km
 - As a liquid, it cannot transmit s-waves
 - Note the drop to zero in Vs
 - Note the sharp drop in Vp
 - Boundary between mantle and outer core is called Gutenberg discontinuity
 - Primarily consists of molten iron, with density of 9-12
 - Flow of the outer core produces the Earth's magnetic field
- Inner core, or solid core = 1220 km
 - Very dense, density up to 15
 - Boundary between inner and outer cores: Lehman discontinuity
 - Nickel-iron material compressed under tremendous pressure
 - 2800°C

Earth Chemical Layers



Thin line is density

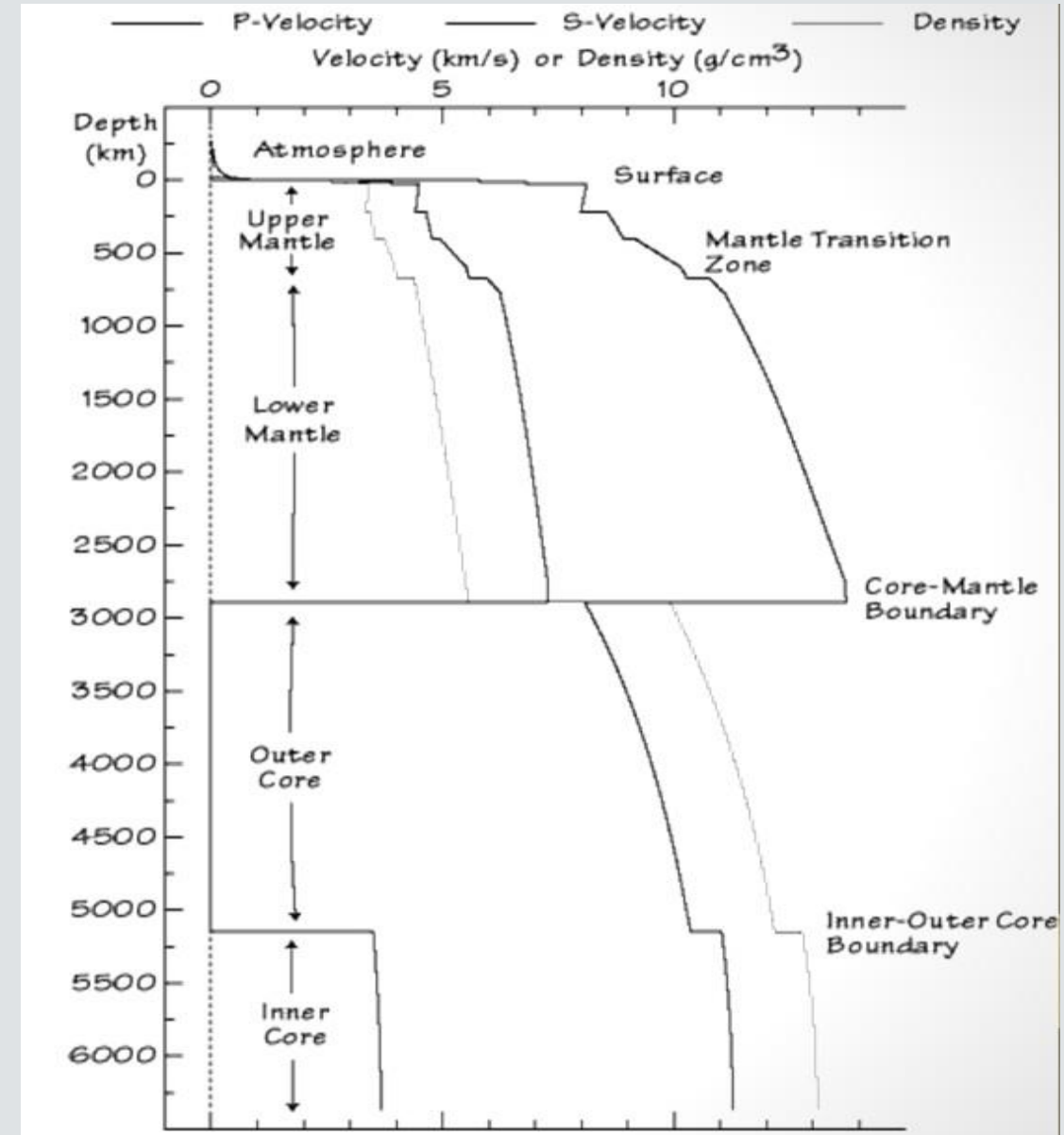
Notes:

- The Vs in inner core is not zero in this graph
- There is no jump in Vp at the Lehman discontinuity (see next slide)

1. How different layers were formed?

Heavier, more dense material, tended to sink in the early molten mass, while lighter, less dense material, rose toward the surface. Separation into layers was based on density. The separation seems to have taken place shortly after the formation of the planet in an event called the "Iron Catastrophe". http://wiki.answers.com/Q/How_did_Earth_separate_into_different_layers#ixzz28Y21xEcx

Therefore, the boundaries between layers are due to presence of different types of materials, which are detected by the change in the wave propagation pattern.



2. Why mantle acts as rigid under sudden stresses?

Under tremendous pressure, the solid mantle rock can act like a fluid or a solid. It is plastic. If sudden stresses act upon it, it reacts like a solid, as in the case of S waves generated by earthquakes. If allowed enough time, when stressed, it will flow upward like heated water flows upward through layers of cooler, denser water.

<http://www.creationinthecrossfire.com/Articles/CatastrophicPlates3.html>

3. Why the wave velocity increases with depth?

The increase is a result of the effects of pressure on the seismic wave speed. Although temperature also increases with depth, the pressure increase resulting from the weight of the rocks above has a greater impact and the speed increases smoothly in these regions of uniform composition http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/notes/waves_and_interior.html

Since the density of the Earth increases with depth you would expect the waves to slow down with increasing depth. Why, then, do both P- and S-waves speed up as they go deeper? This can only happen because the incompressibility and rigidity of the Earth increase faster with depth than density increases.

http://www.bibliotecapleyades.net/tierra_hueca/inner_earth/inner1.htm

4. Why the waves propagate in curved paths?

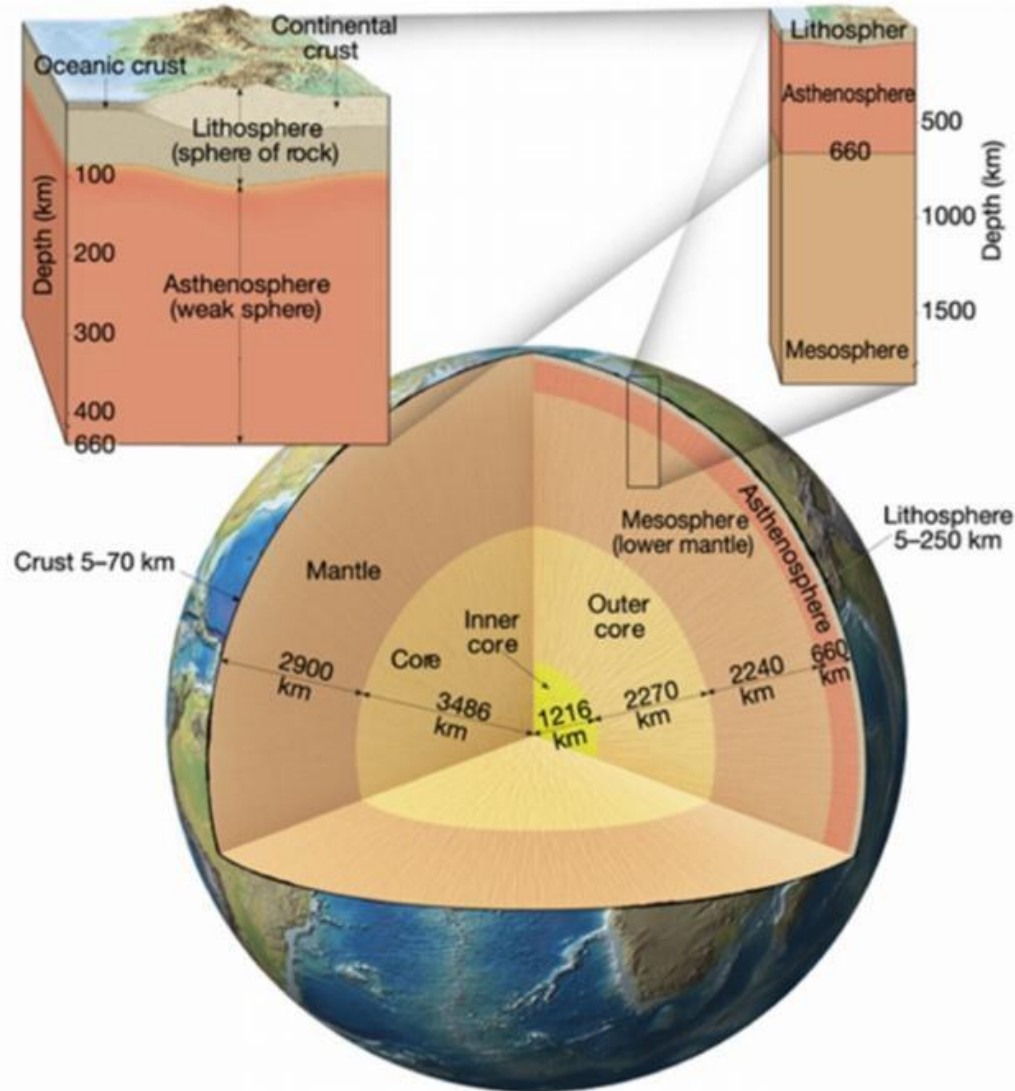
The waves have curved paths because their velocities increase with depth.

<http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects1997/JohnH/WELCOME.HTM>

5. Why the velocity curve has a jagged shape in upper mantle?

The shallow part of the mantle is different; it contains several important well-established and relatively abrupt velocity changes. In fact, we often divide the mantle into two regions, upper and lower, based on the level of velocity heterogeneity. The region from near 400 to 1000 km depth is called the transition zone and strongly affects body waves that "turn" at this depth and arrive about 20°-30° distant from a shallow earthquake. In this depth range the minerals that make up the mantle silicate rocks are transformed by the increasing pressure. The atoms in these rocks rearrange themselves into compact structures that are stable at the high pressures and the result of the rearrangement is an increase in density and elastic moduli, producing an overall increase in wave speed.

Earth Mechanical Layers

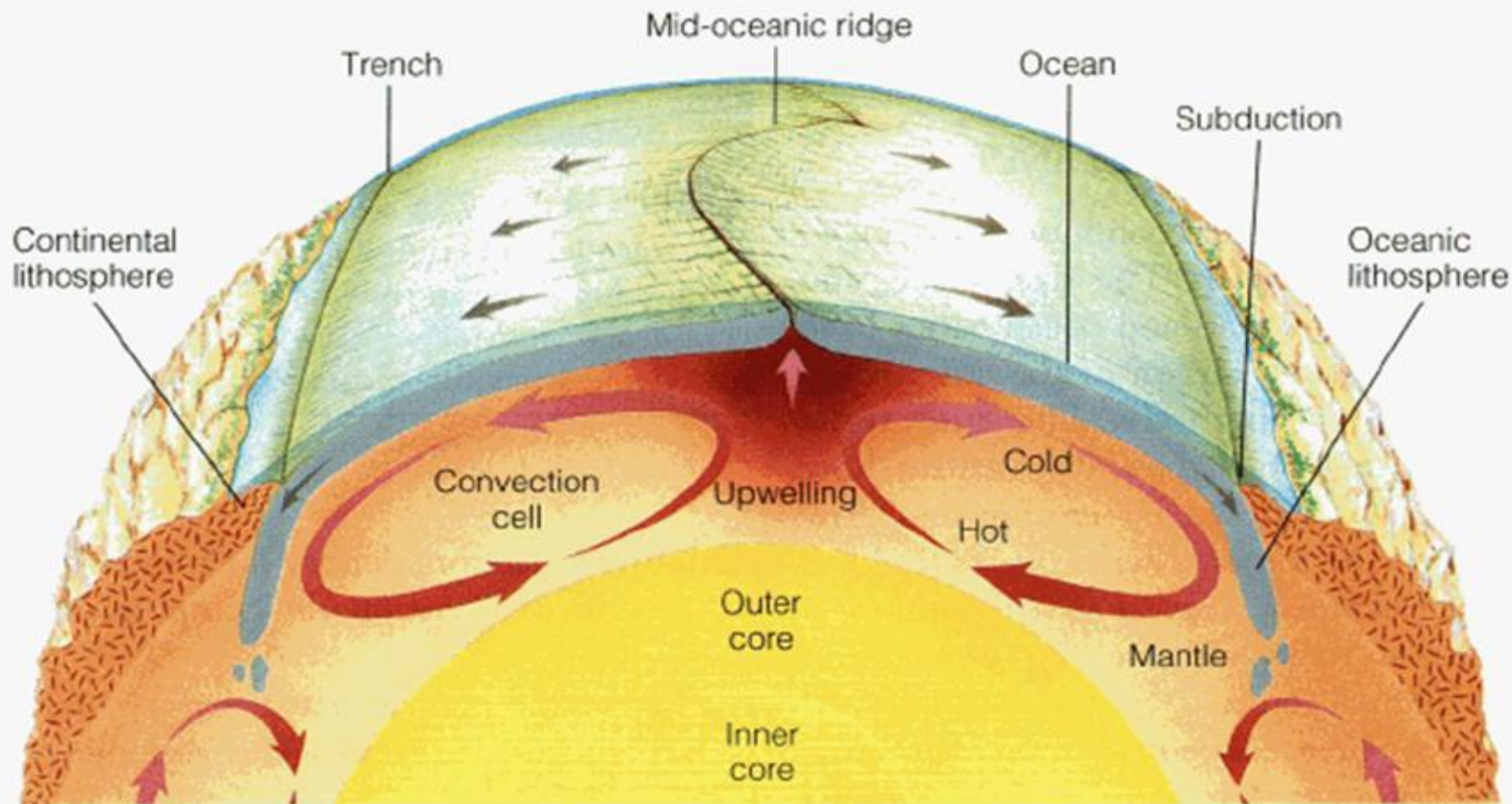


Mechanical layers:

Lithosphere, Asthenosphere, Mesosphere, outer core, inner core

- Lithosphere: Crust + upper parts of mantle
 - Uppermost 50-100 km
 - No strict boundary between lithosphere and asthenosphere
 - Behaves rigidly over very long periods of time
 - Tectonic plates
- Asthenosphere: Weakest part of mantle
 - Depth of 100-200km
 - Solid in short time scales, fluid in long term
 - Decouples the tectonic plates from the rest of the mantle

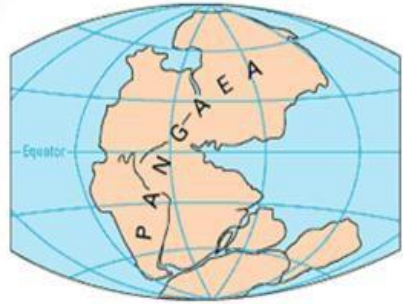
Convection in Mantle



- Plate tectonics is a kinematic theory (i.e., it explains the geometry of plate movement without addressing the cause of that movement)
- Thermomechanical equilibrium of the earth's materials explains the movement

- Upper mantle is in contact with cool crust, and lower mantle with hot outer core → temperature gradient
 - Unstable situation: denser (cooler) material resting on top of less dense (warmer) material
 - Cooler, denser material begins to sink under the action of gravity and the warmer, less dense material begins to rise
 - Sinking material gradually warms, becomes less dense, moves laterally, and begin to rise again
 - Cooled material begins to sink
 - This is called *convection*
-
- **Convection currents in the semimolten mantle impose shear stresses on the bottom of the plates; drags them in various directions across the Earth's surface**

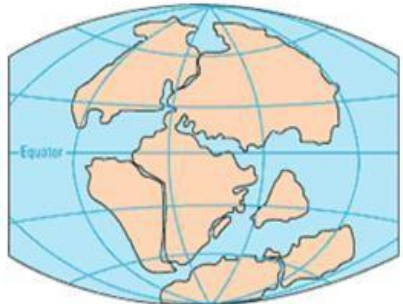
Continental Drift



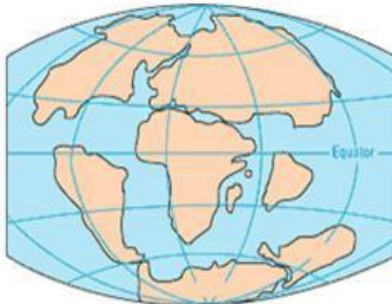
PERMIAN
225 million years ago



TRIASSIC
200 million years ago



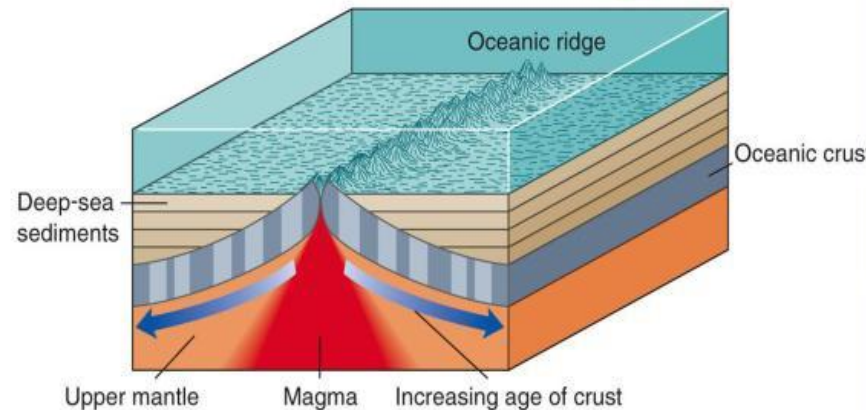
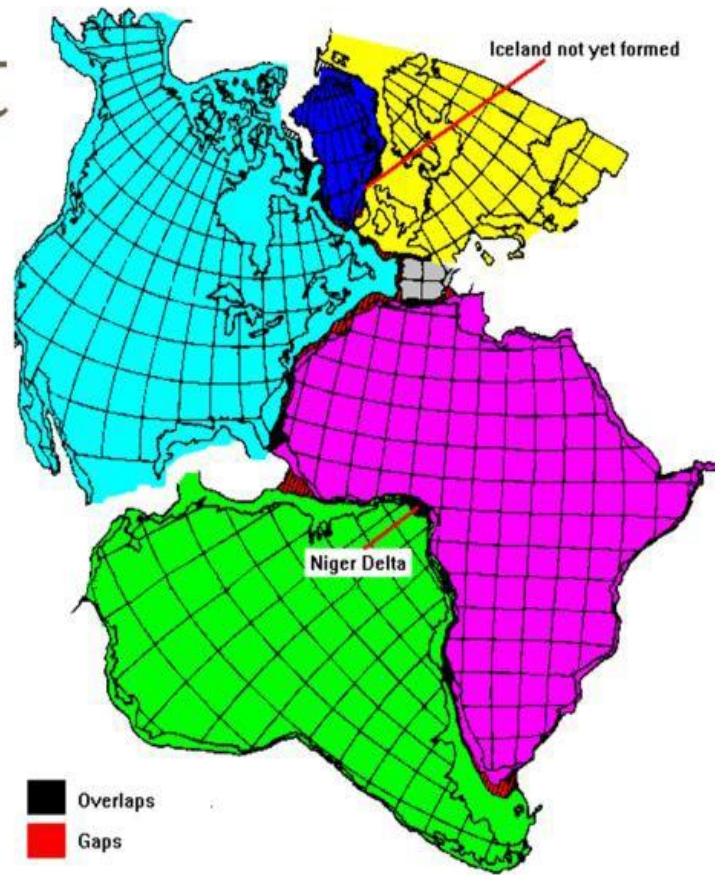
JURASSIC
135 million years ago



CRETACEOUS
65 million years ago



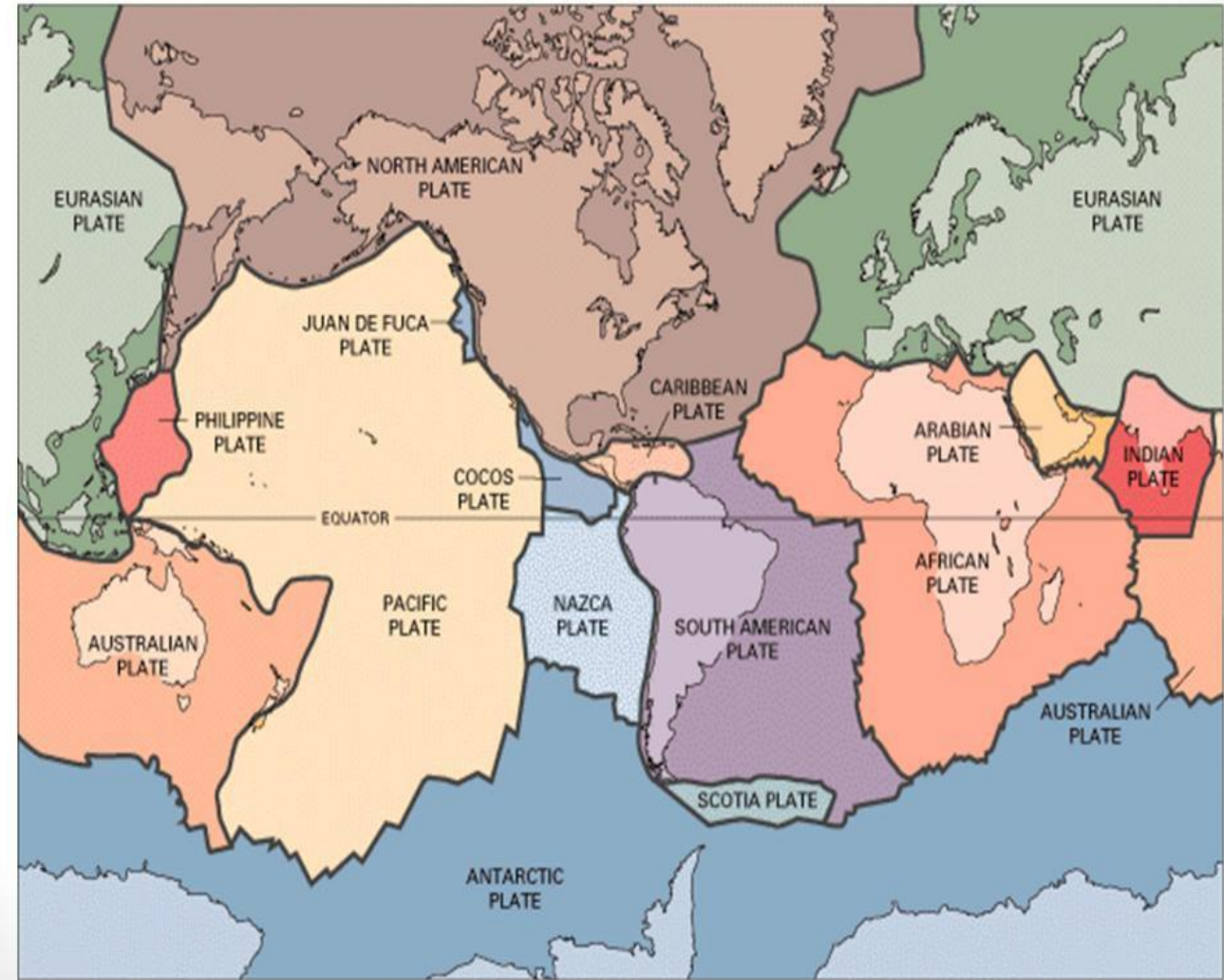
PRESENT DAY



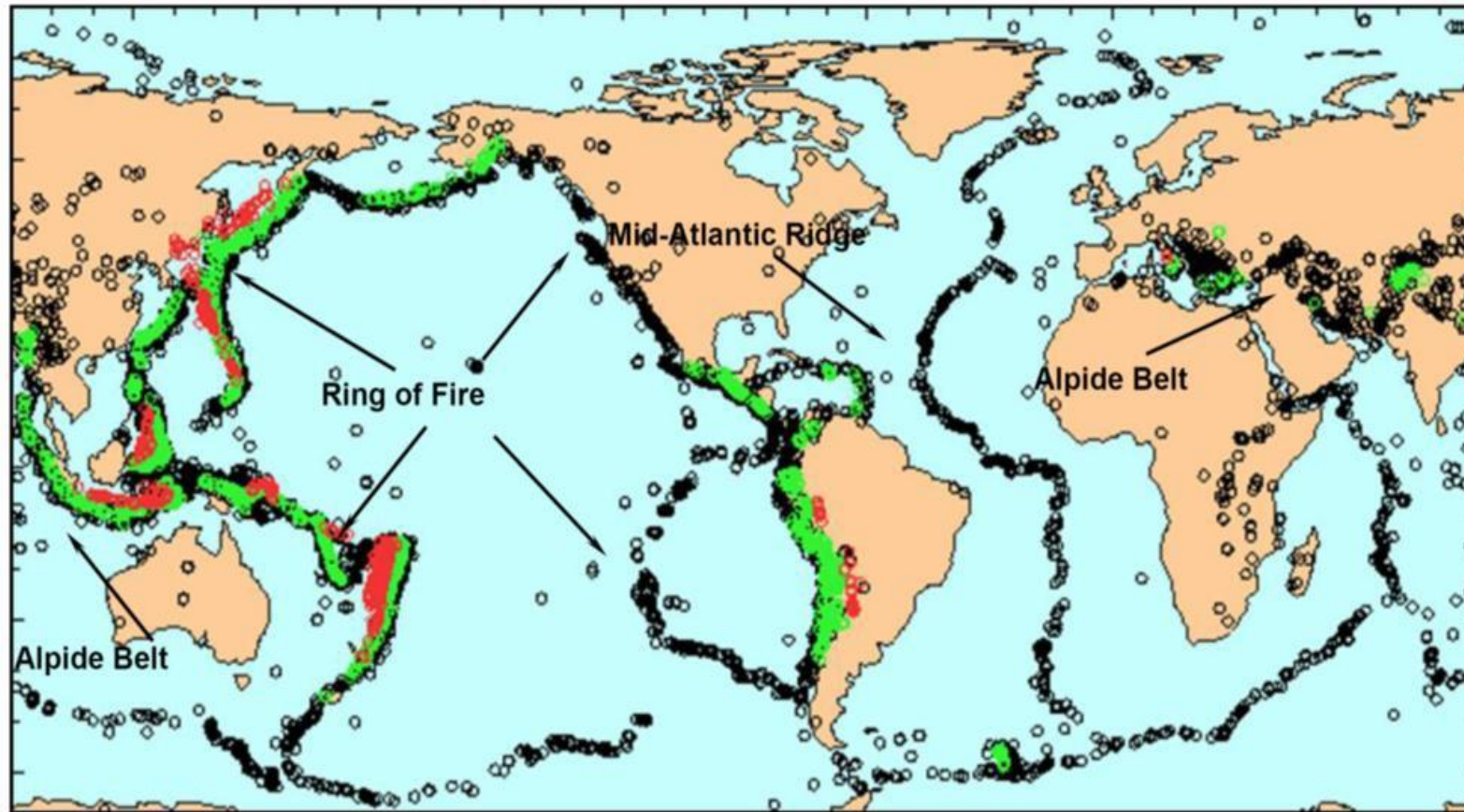
- All the continents had once been one super-continent (Pangaea), and have since broke apart and drifted, and are still drifting
- Massive continents pushing through the seas and across the ocean floor
- However, the ocean floor is too strong to permit such motion, and the theory was originally discredited by most earth scientist
- From this background, however, the modern theory of *plate tectonics* began to evolve

- Earth's surface consists of a number of large, intact blocks called *plates*
- Tectonic plates are large parts of lithosphere 'floating' on the asthenosphere
- Plates move with respect to each other
- Earth's crust is divided into
 - 6 continental-sized plates: African, American, Antarctic, Australia-Indian, Eurasian, and Pacific
 - About 14 of subcontinental size: e.g., Caribbean, Cocos, Nazca, Philippine, etc.
- Relative deformation between plates in narrow zones near their boundaries
 - slowly and continuously (aseismic deformation)
 - spasmodically in the form of earthquakes (seismic deformation)

Plate Tectonics



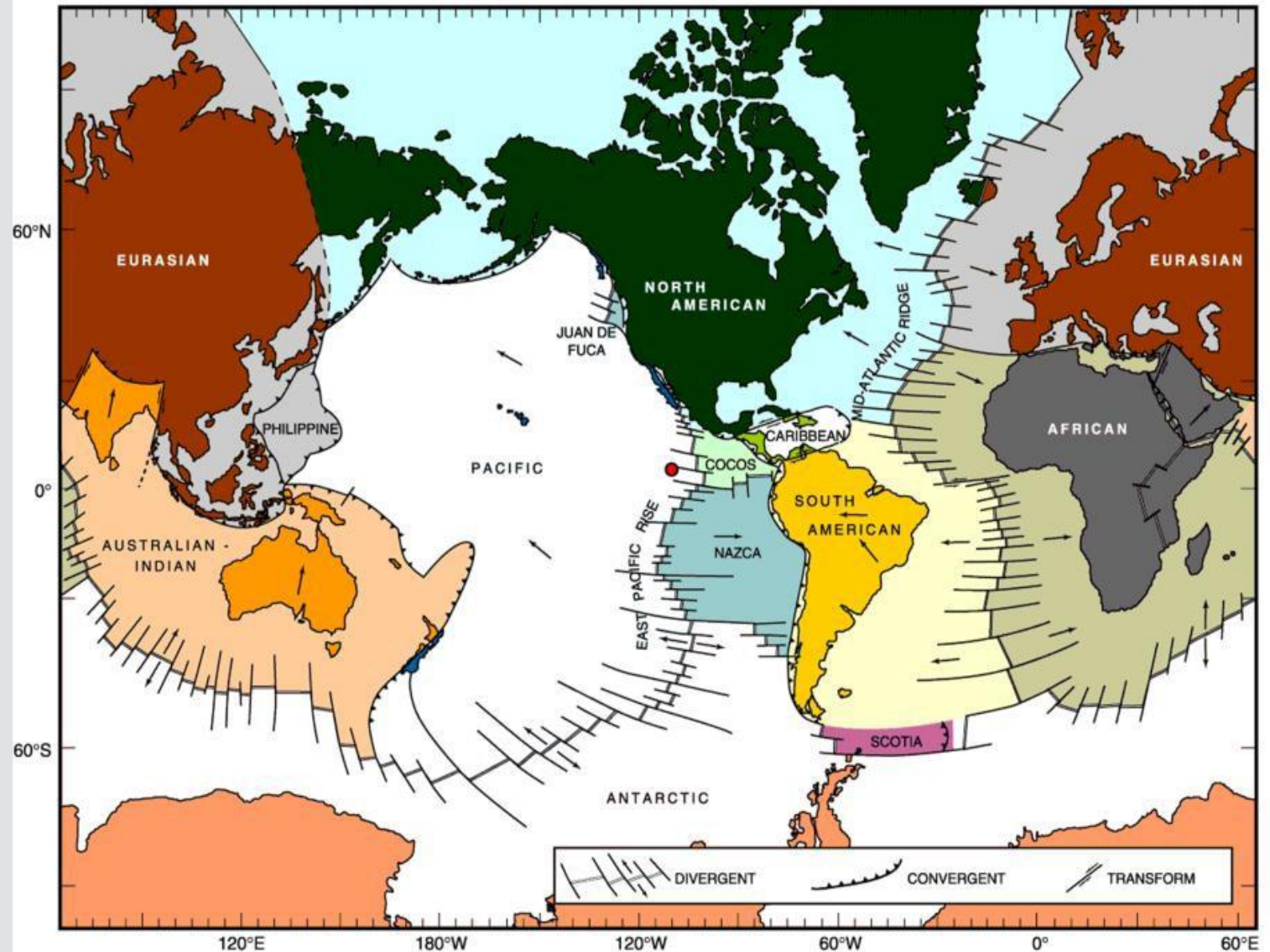
Seismicity since 1980

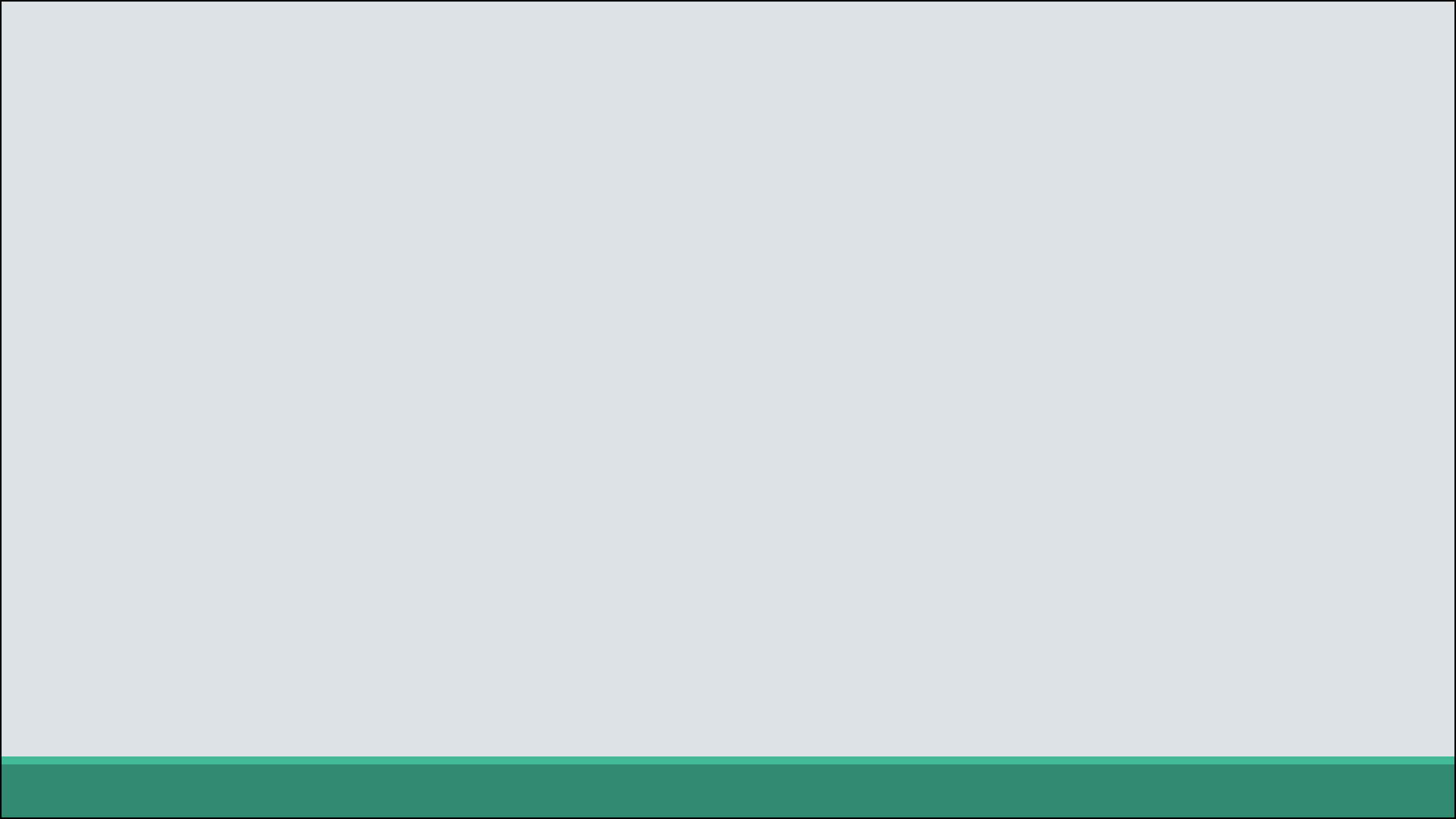


$M_w > 5.0$

Plate Interactions

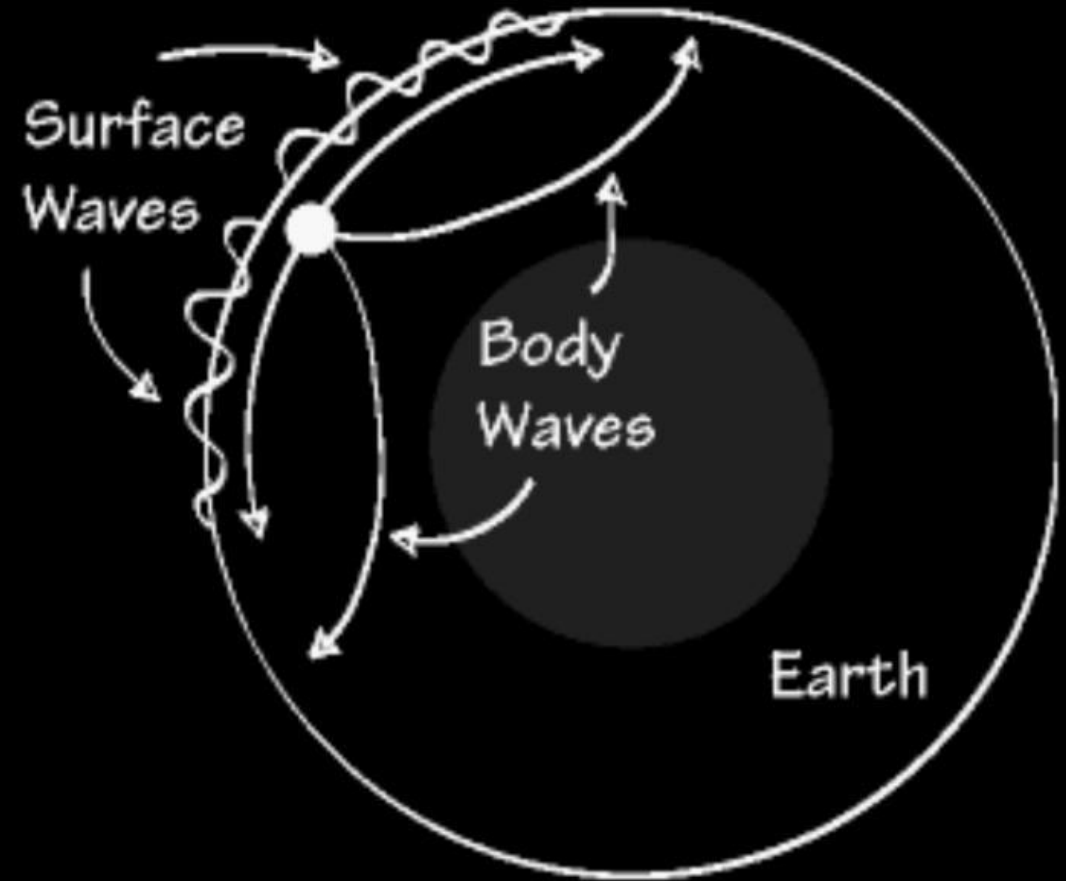
- Convergent: Plates collide or subduct
- Divergent: plates move away from each other
- Transform: plates slide one past another





- Body waves
 - Travel through the Earth's interior
- Surface waves
 - Result from the interaction between body waves and the surficial material
 - Travel along Earth's surface

Seismic Waves

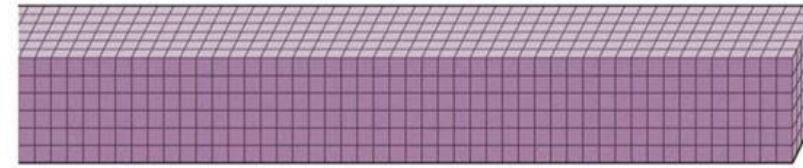


Body waves

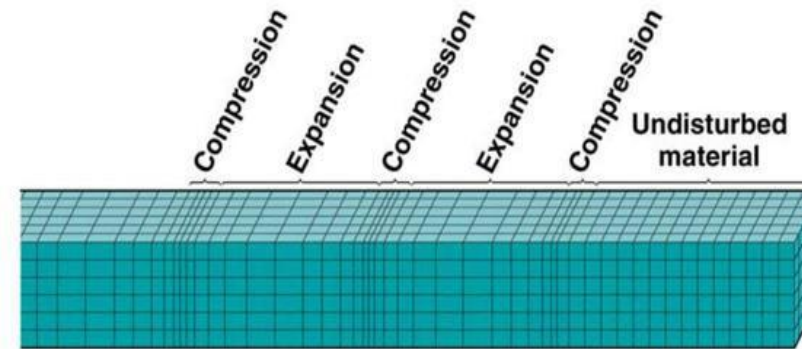
- p-waves: Primary, compressional, longitudinal waves
 - Analogues to sound waves
 - Particle motion is parallel to wave direction
 - Can travel through fluid and solid
- s-waves: Secondary, shear, or transverse waves
 - Cause shearing deformation
 - Particle motion is perpendicular to wave direction
 - Can be divided into two components: SV (vertical plane movement) and SH (horizontal plane movement)
 - Fluids cannot sustain s-waves
- Geologic material are stiffest in compression: p-waves travel faster than s-waves and are first to arrive at a site

Seismic Waves: Body Waves

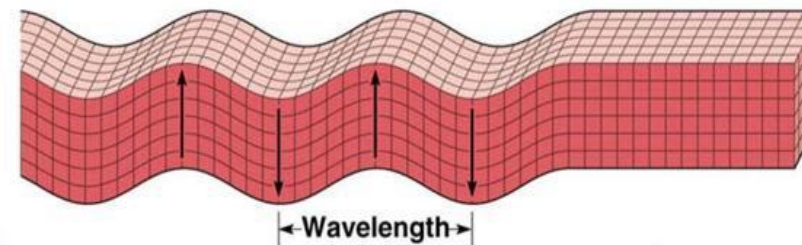
©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



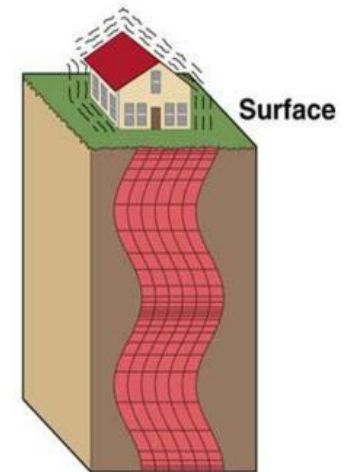
(a) Undisturbed material



(b) Primary wave



(c) Secondary wave

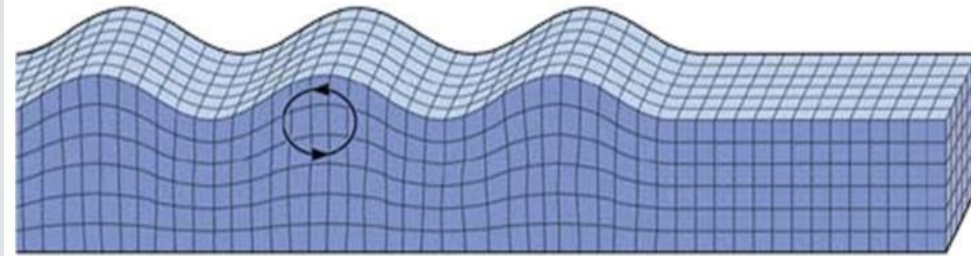


(d)
Focus

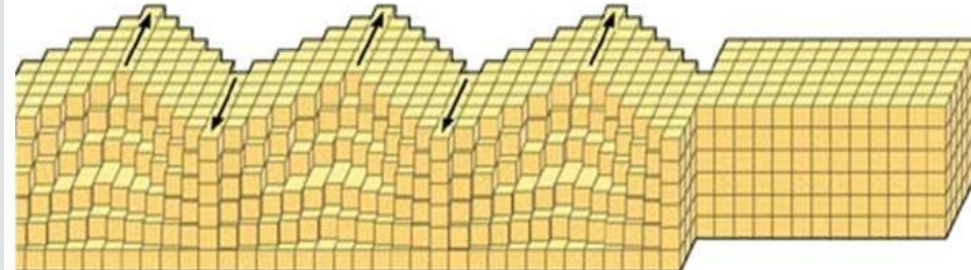
Surface waves

- Result from the interaction between body waves and the surficial material
- Amplitude decreases roughly exponentially with depth
- More prominent at distances farther from the source of the earthquake
- At distances greater than about twice the thickness of the earth's crust, surface waves, rather than body waves, will produce peak ground motions
- Rayleigh waves
 - Interaction of p- and SV-waves with Earth's surface
 - Involve both vertical and horizontal particle motion
 - Similar to waves produced by throwing a rock in a pond
- Love waves
 - Interaction of SH-waves with a soft surficial layer
 - No vertical component

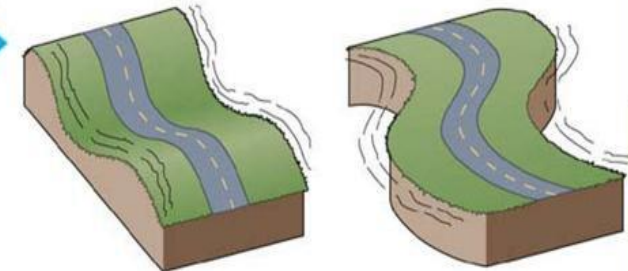
Seismic Waves: Surface Waves



(a) Rayleigh wave



(b) Love wave



Rayleigh wave

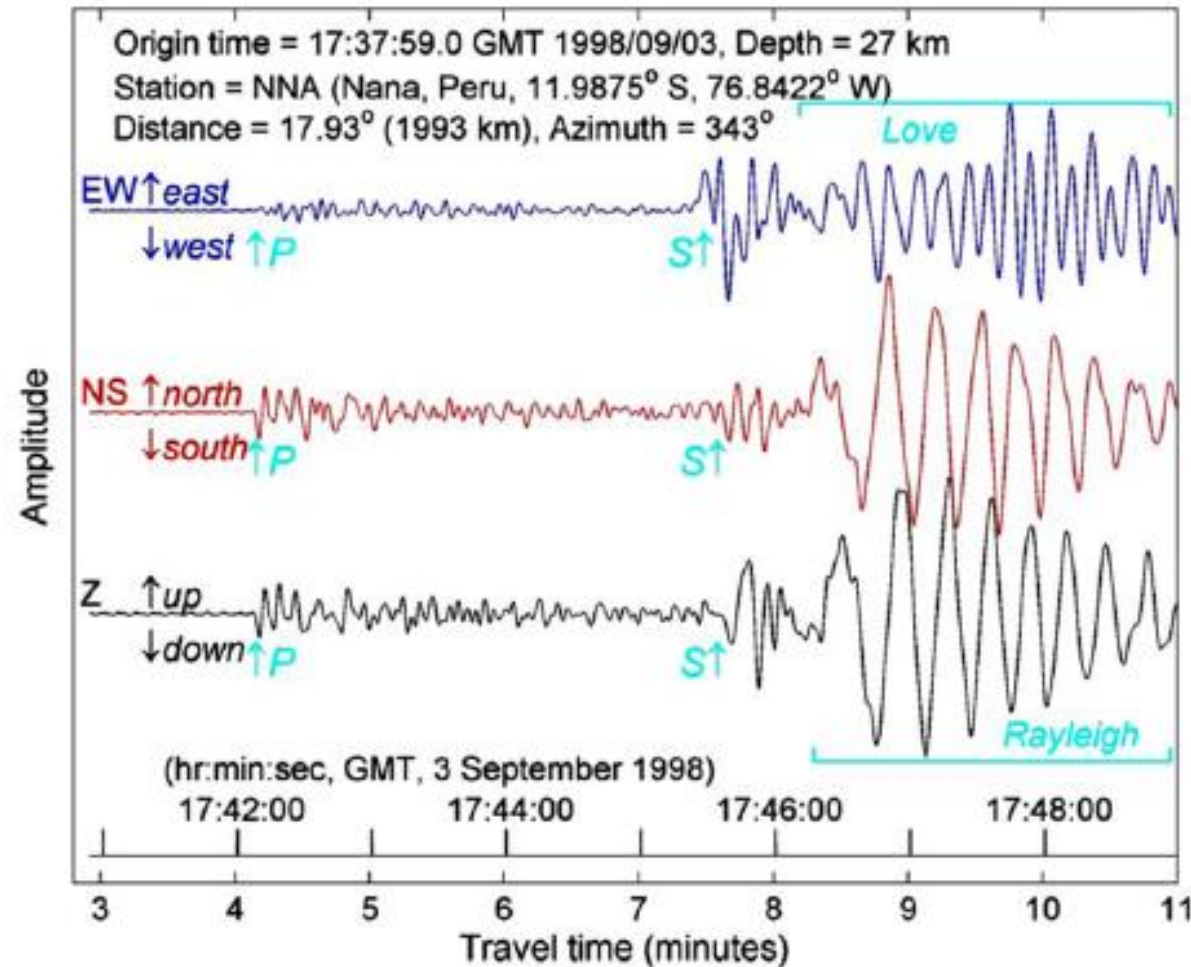
Love wave

(c)

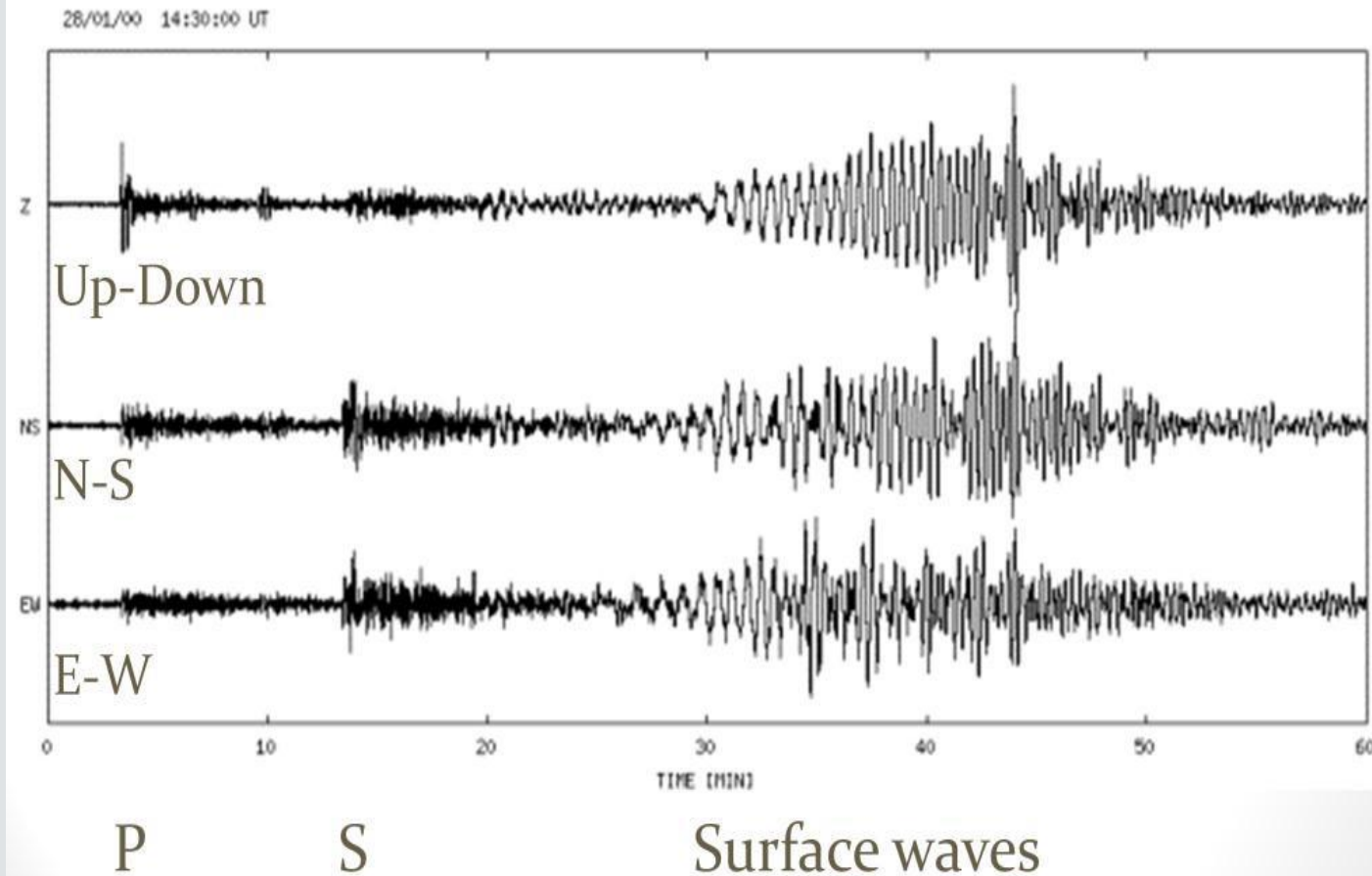
©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning

Wave Arrival

Magnitude 6.5 earthquake, near coast of central Chile, 29.2934° S, 71.5471° W



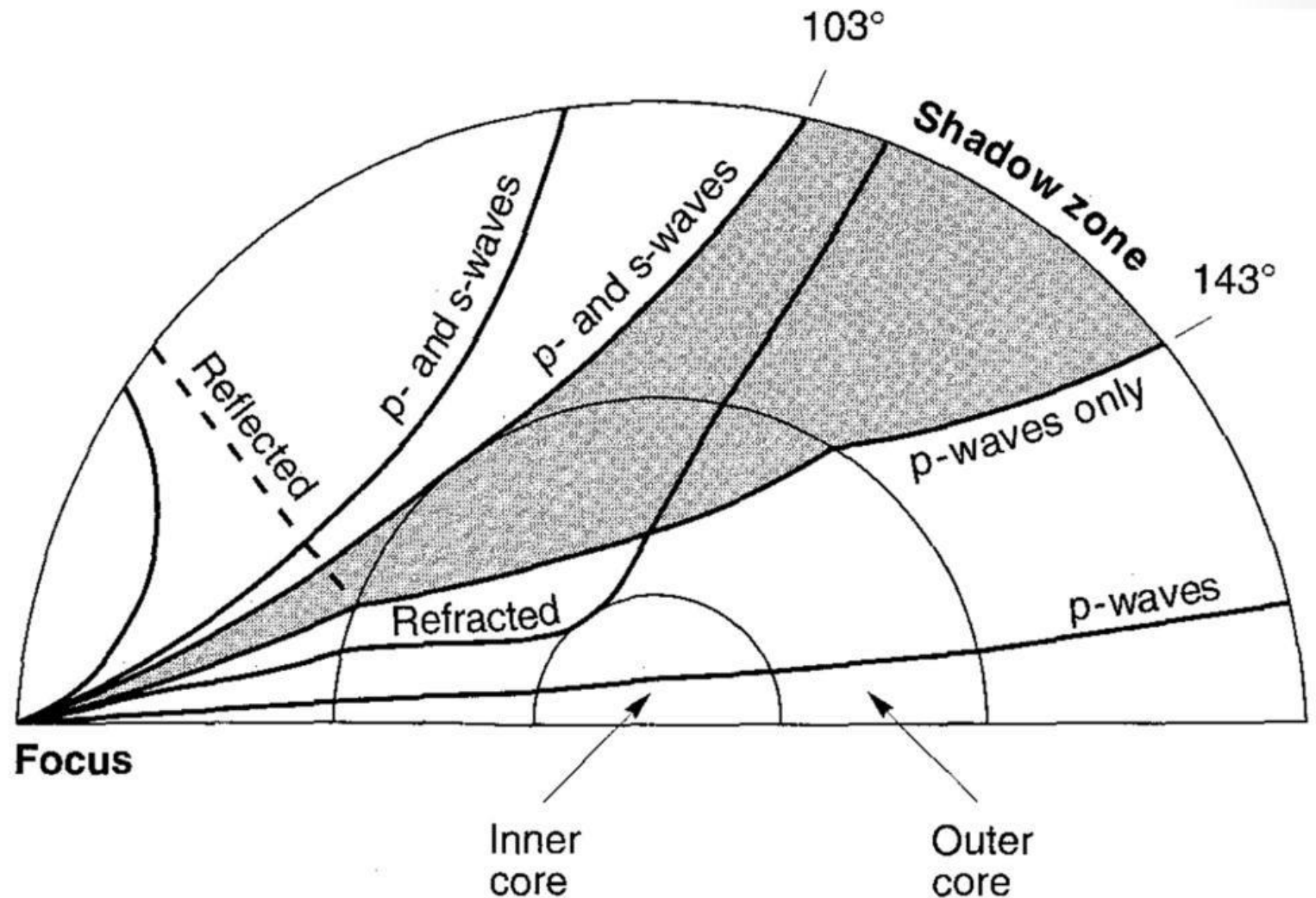
Wave Arrival

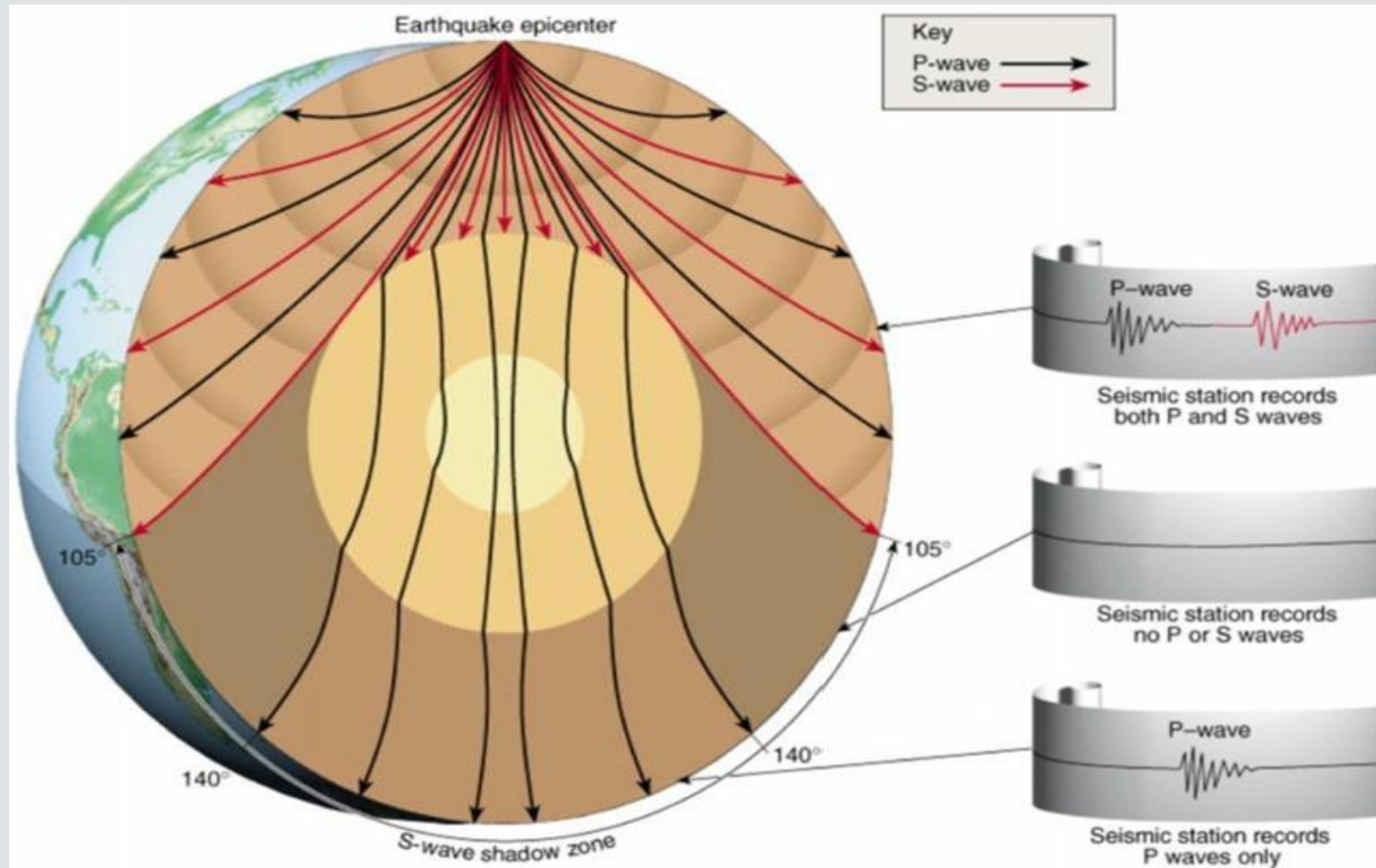


Identify the waves

Reflection and Refraction

- Seismic wave paths illustrating reflection and refraction of seismic waves
- p- and s-waves can reach the earth's surface between 0 and 103°
- Outer core allows only p-waves to reach the surface between 143 and 180°
- Between 103 and 143° , only paths reflected from the inner core can reach the earth's surface



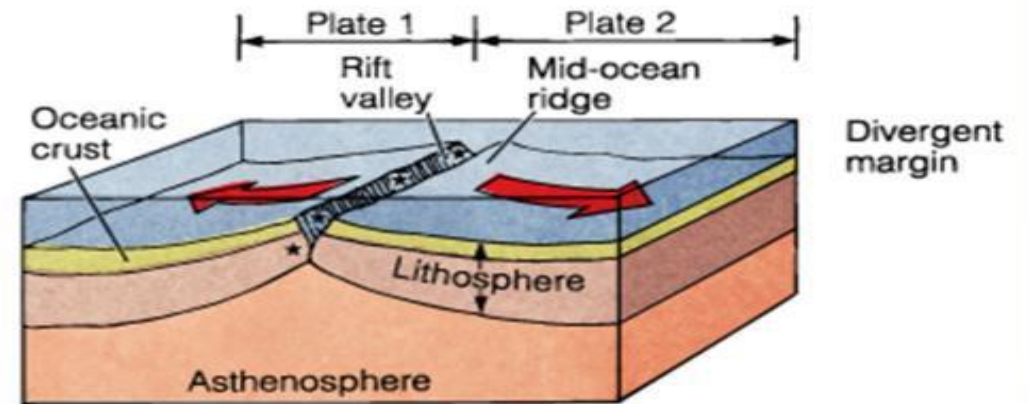
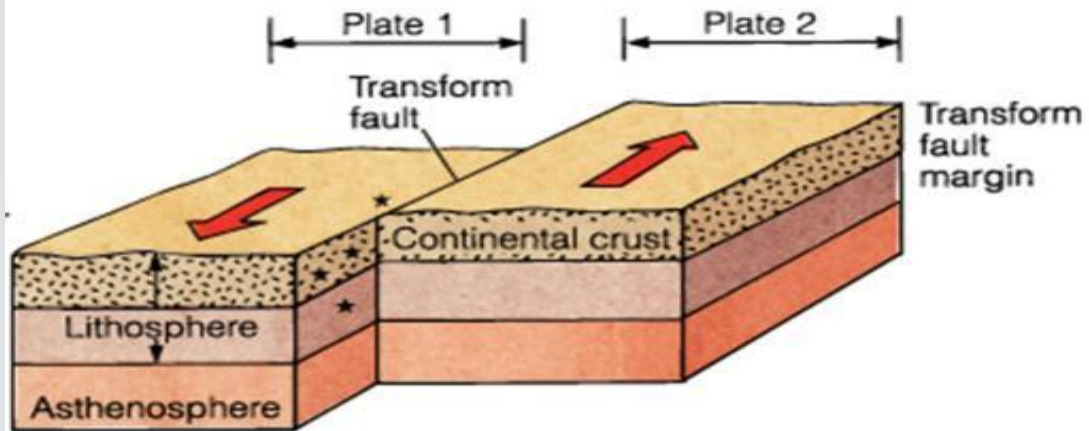
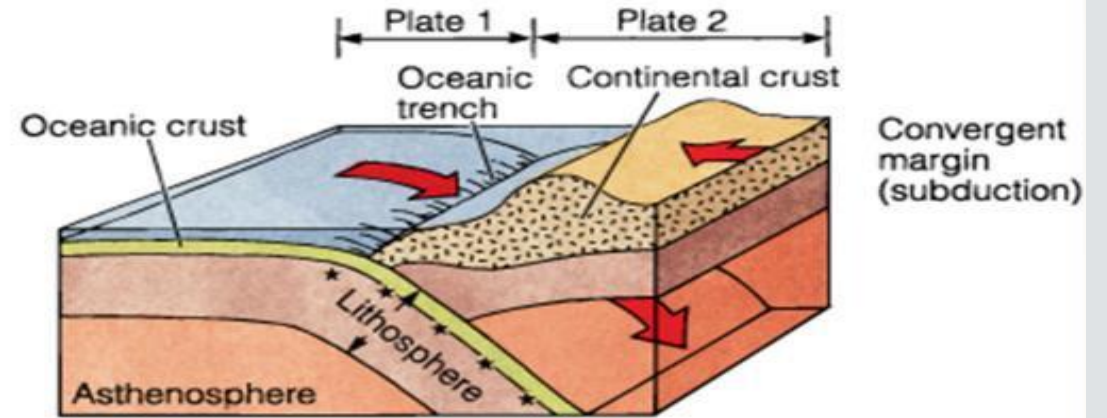
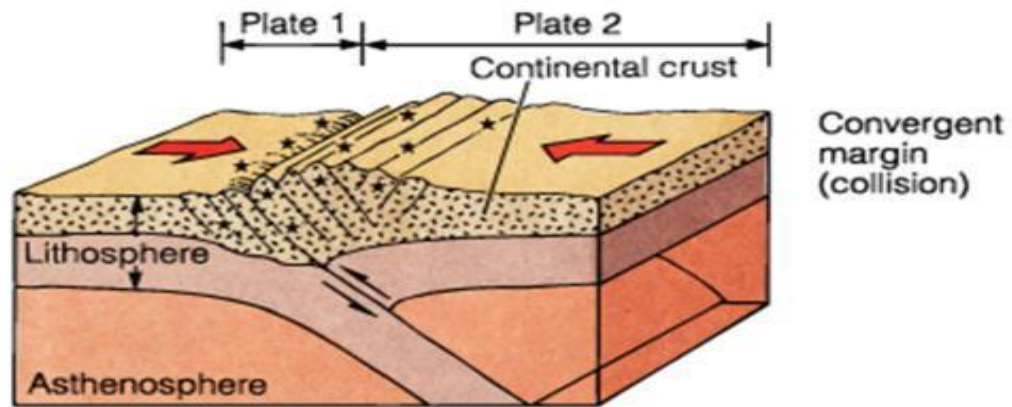


Wave Path

Elastic wave:

Motion in a medium in which, when particles are displaced, a force proportional to the displacement acts on the particles to restore them to their original position.

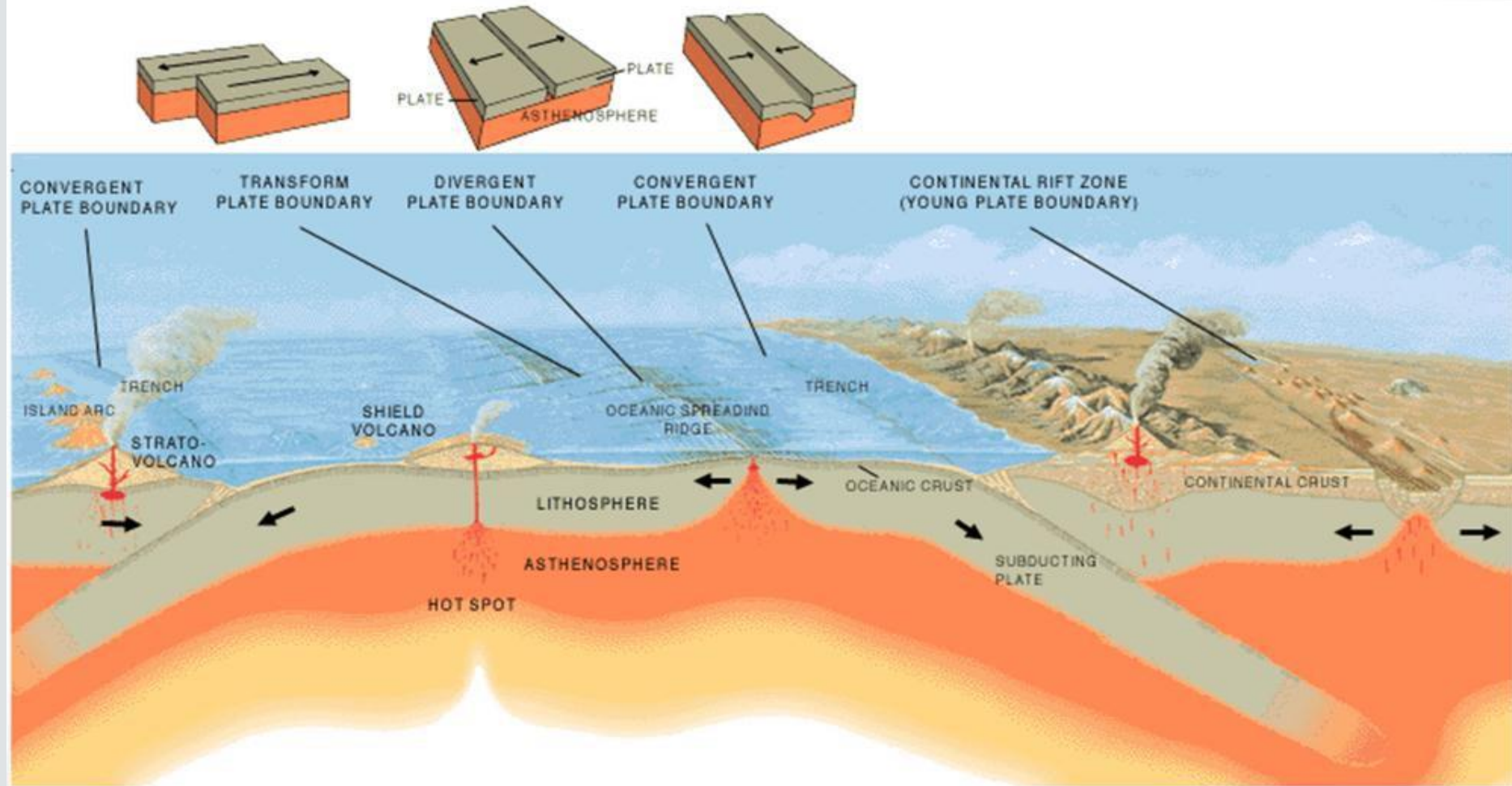
Plate Interactions



NOTE

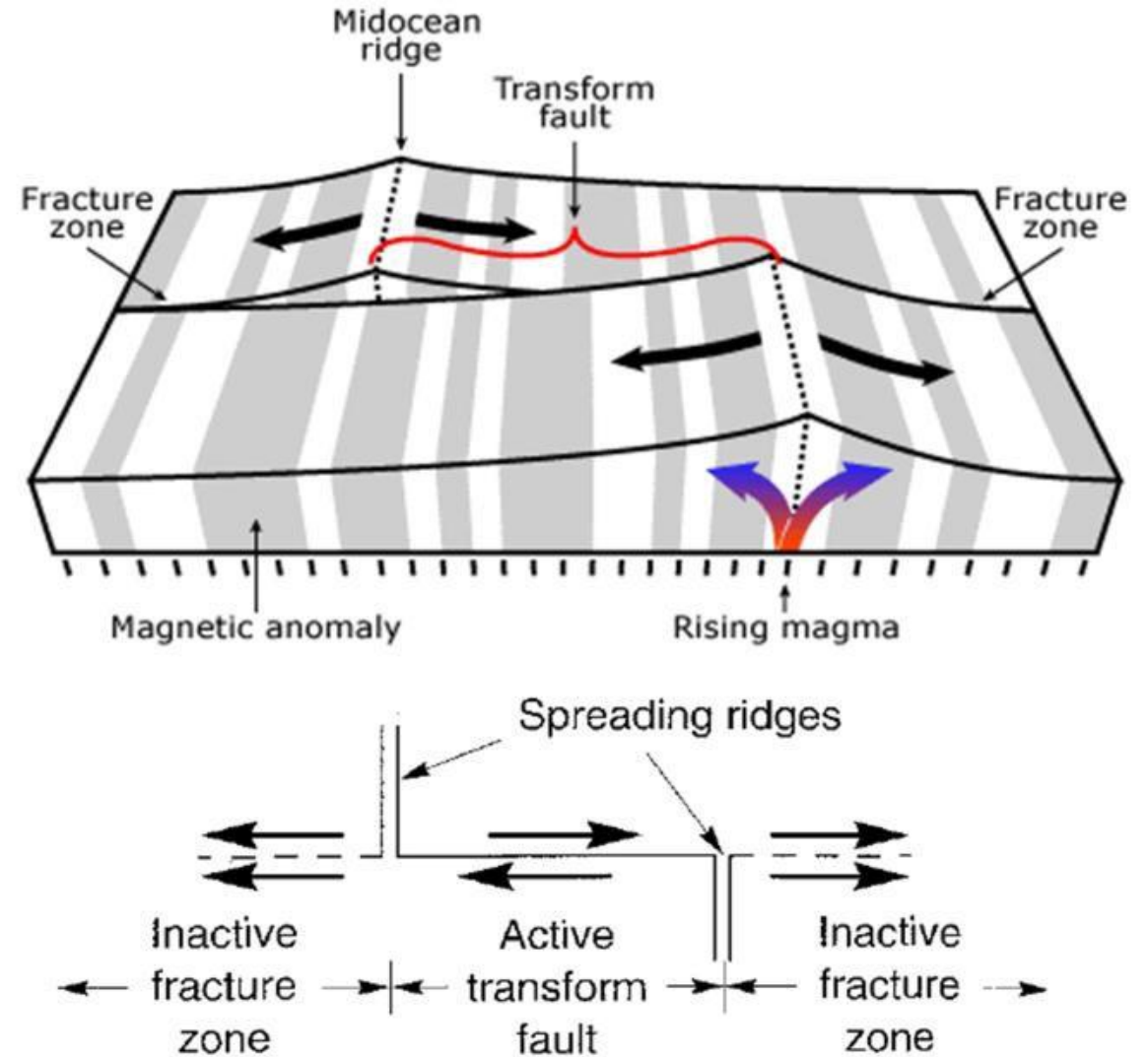
- Theory of plate tectonics does not, however, explain all observed tectonic seismicity
- For example, it is known that *intraplate earthquakes* (earthquakes that occur within a plate, away from its edges) have occurred on most continents

Plate Interactions



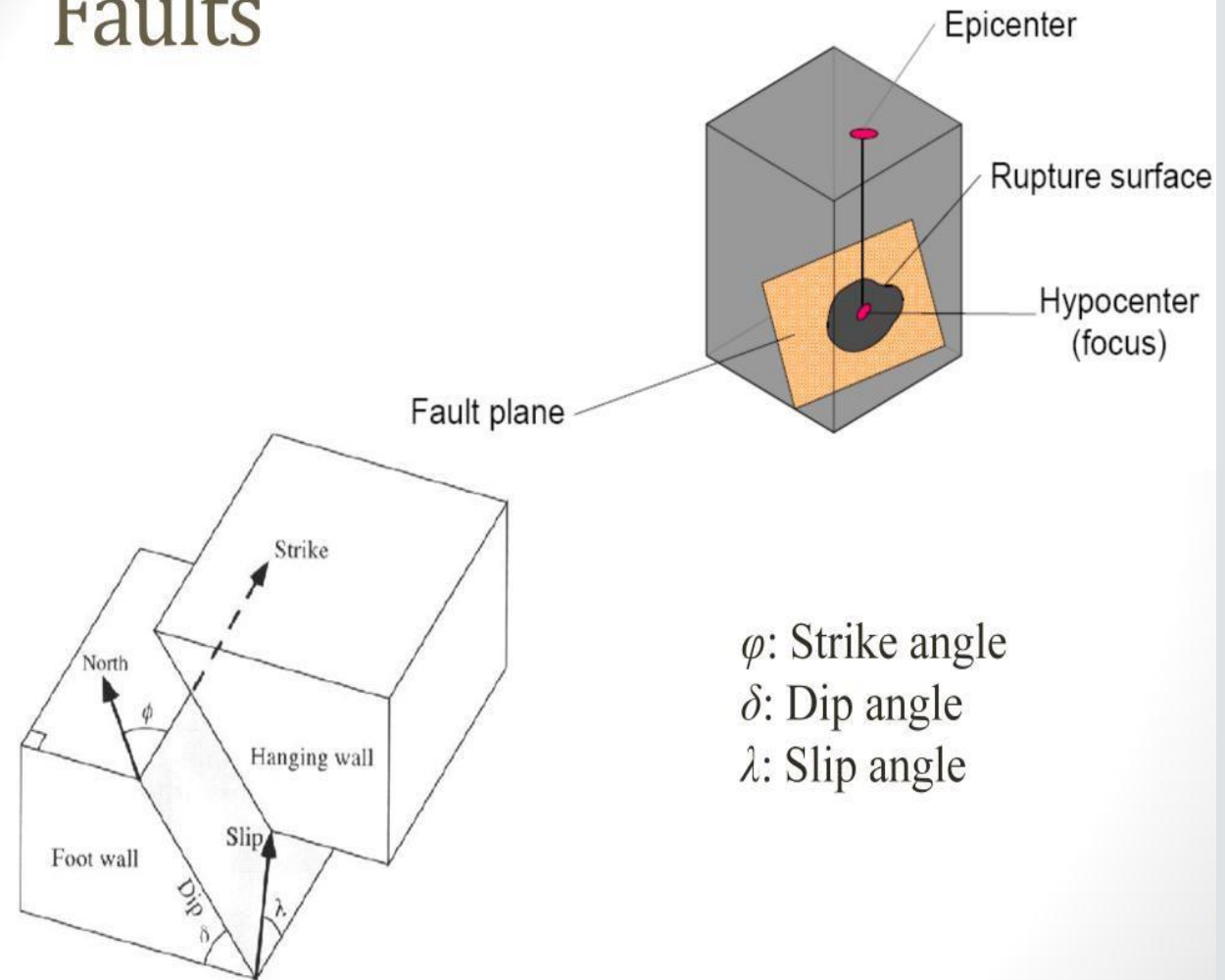
- Fracture zones may be observed over thousands of kilometers
- However, only the segment between the spreading ridges is the transform fault
- Motion on the portions that extend beyond the transform fault is in the same direction on either side → no relative motion
- These inactive portions of the fracture zone are fossil faults that are not producing earthquakes

Inactive Fracture Zones



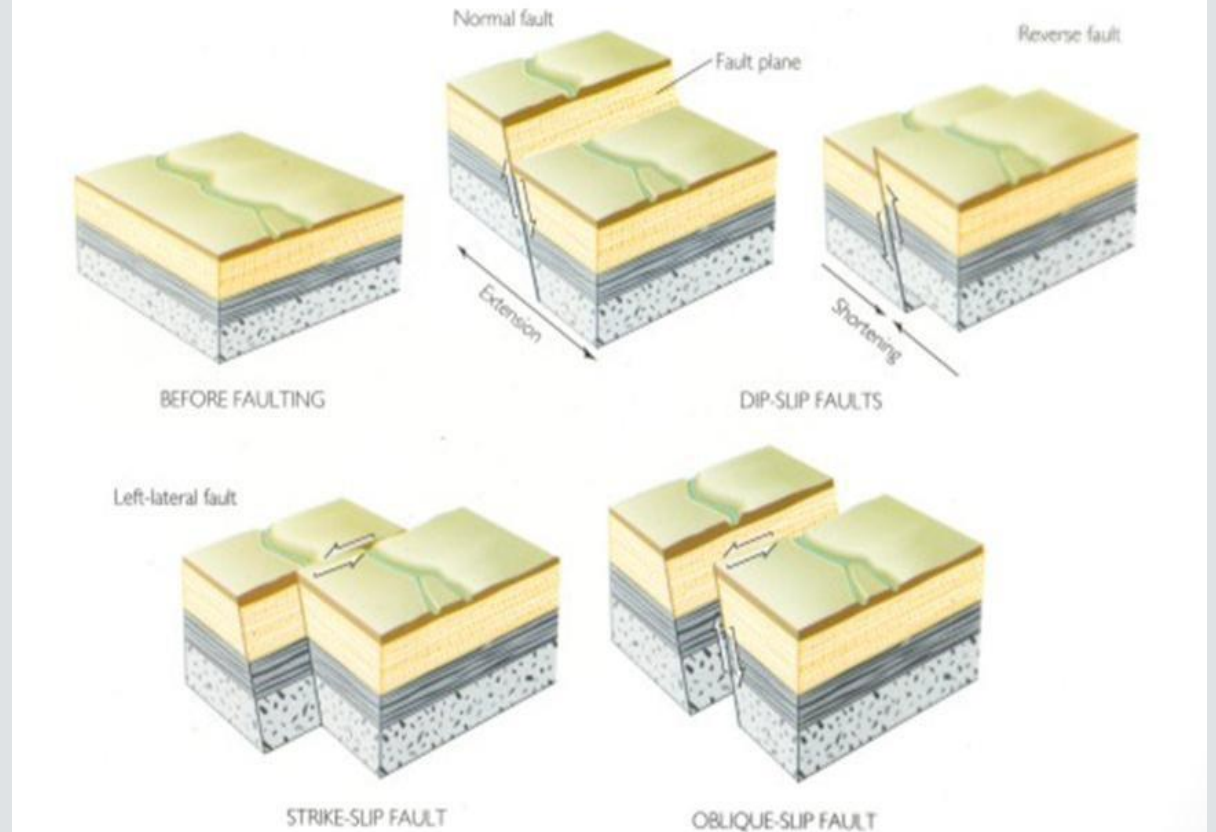
- On a smaller scale, the movement at a particular location can be quite complicated
- Plate boundaries may be broken to *platelets* or *microplates* trapped between the larger plates.
- Maybe obvious, maybe difficult to detect
- Presence of a fault does not necessarily mean earthquakes are expected → movement can occur aseismically, or the fault may be inactive
- Lack of observable surficial faulting does not imply that earthquakes cannot occur → fault rupture does not reach the earth's surface in most earthquakes

Faults



- Dip-slip : Movement along the dip
 - Normal fault: Tensile stress, lengthening of crust
 - Reverse fault: Shortening of crust
 - Thrust fault: When the dip angle is very small; very large movements (e.g., Alps)
- Strike-slip : Movement along the strike; usually vertical faults (Dip angle = 90); large movements
 - Left-lateral: An observer would observe the material on the other side moving to the left
 - Right-lateral: An observer would observe the material on the other side moving to the right
- Oblique-slip: Movement along both strike and dip

Fault Types



Examples



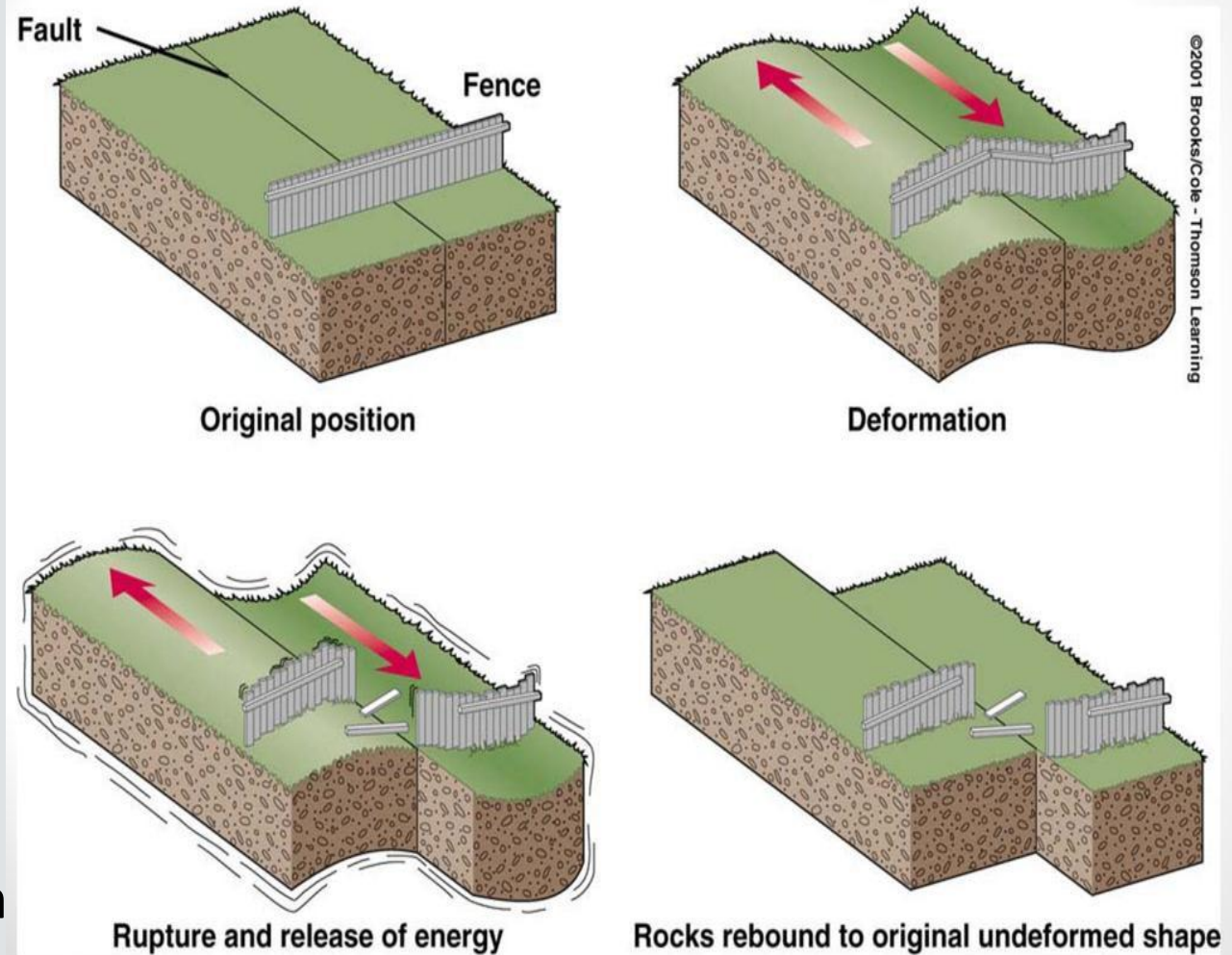
Strike-Slip



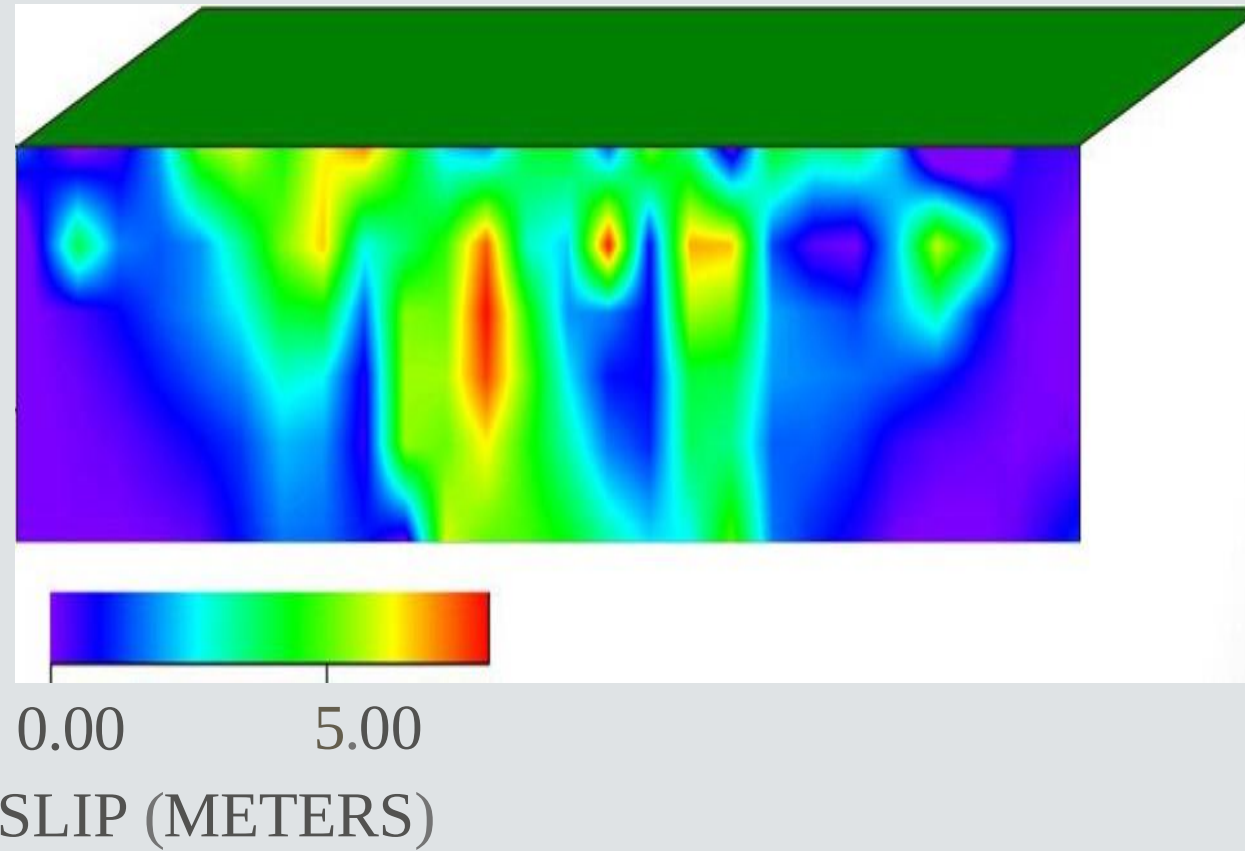
Dip-slip Normal Fault

- Relative movement of the plates → *elastic strain energy* stored in the materials near the boundary as shear stresses increase on the fault plane
- When shear stress reaches the strength of the rock, it fails → accumulated strain energy released
- Effects of the failure:
 - Weak and ductile rock: strain energy released relatively slowly → movement occurs aseismically
 - Strong and brittle rock: rapid failure; energy released explosively → heat and stress waves (earthquakes)
- Elastic rebound theory describes the process of the successive buildup and release of strain energy in the rock adjacent to faults

Elastic Rebound Theory

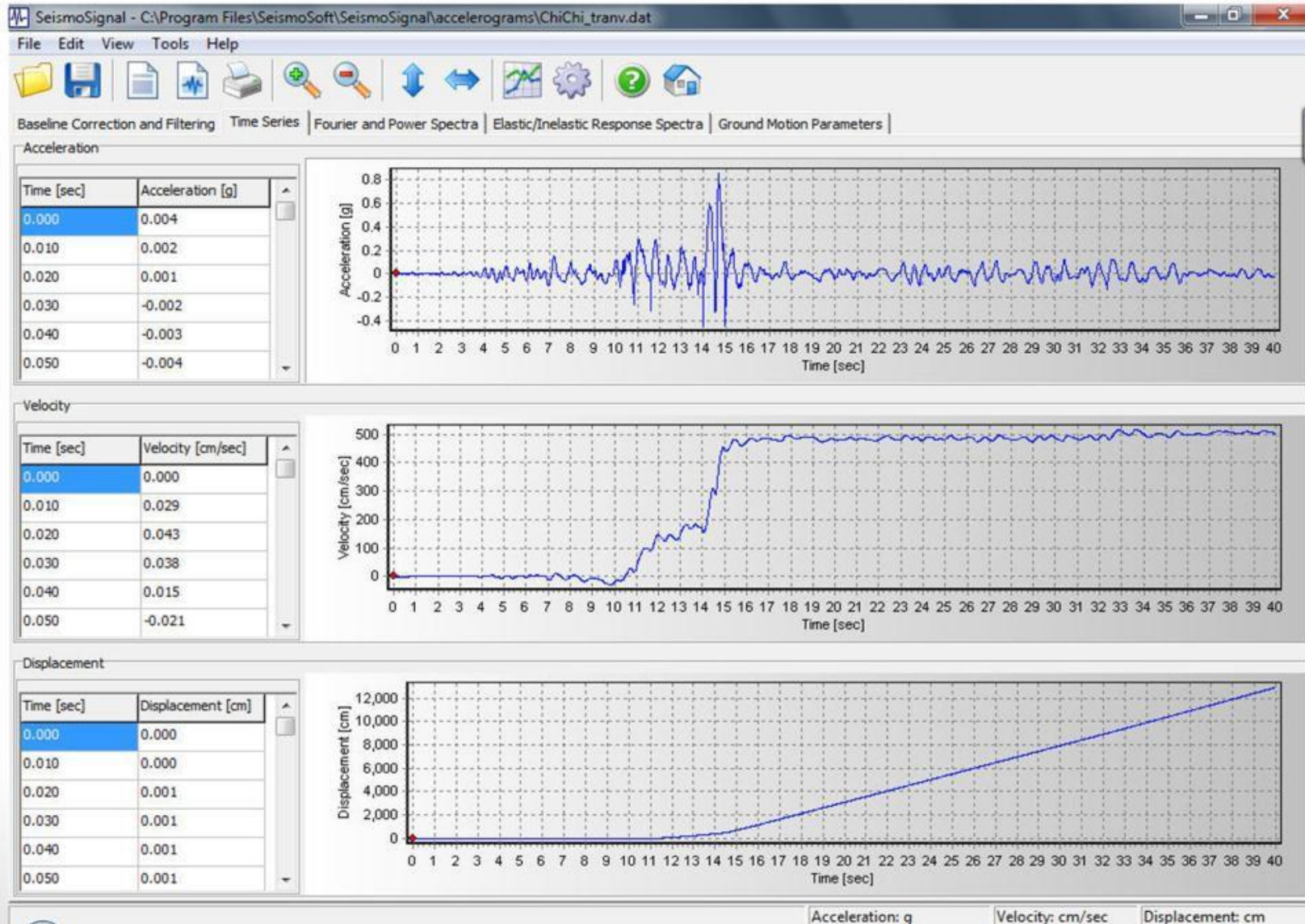


Fault Rupture



Total Slip in the M7.3 Landers Earthquake

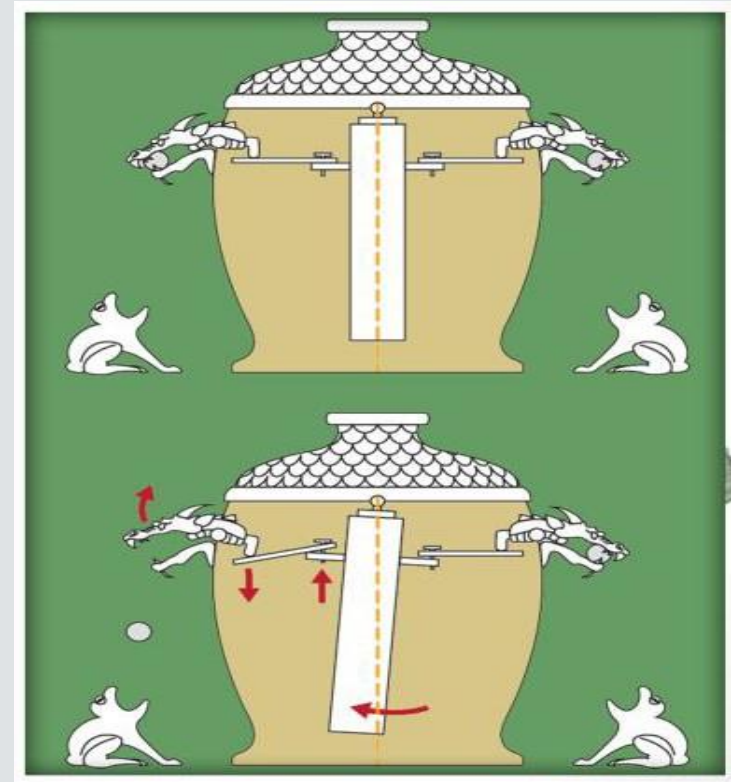
SeismoSignal



نصب نرم افزار

SeismoSignal

Ancient Instruments



- Seismographs are devices that record ground motion during earthquakes
- Usually, seismographs are devices that record weak motions, and accelerographs record strong motion
- The first seismographs were constructed at the very end of the 19th century in Italy and Germany

Seismograph

- Horizontal 1000 kg Wiechert seismograph in Zagreb (built in 1909)

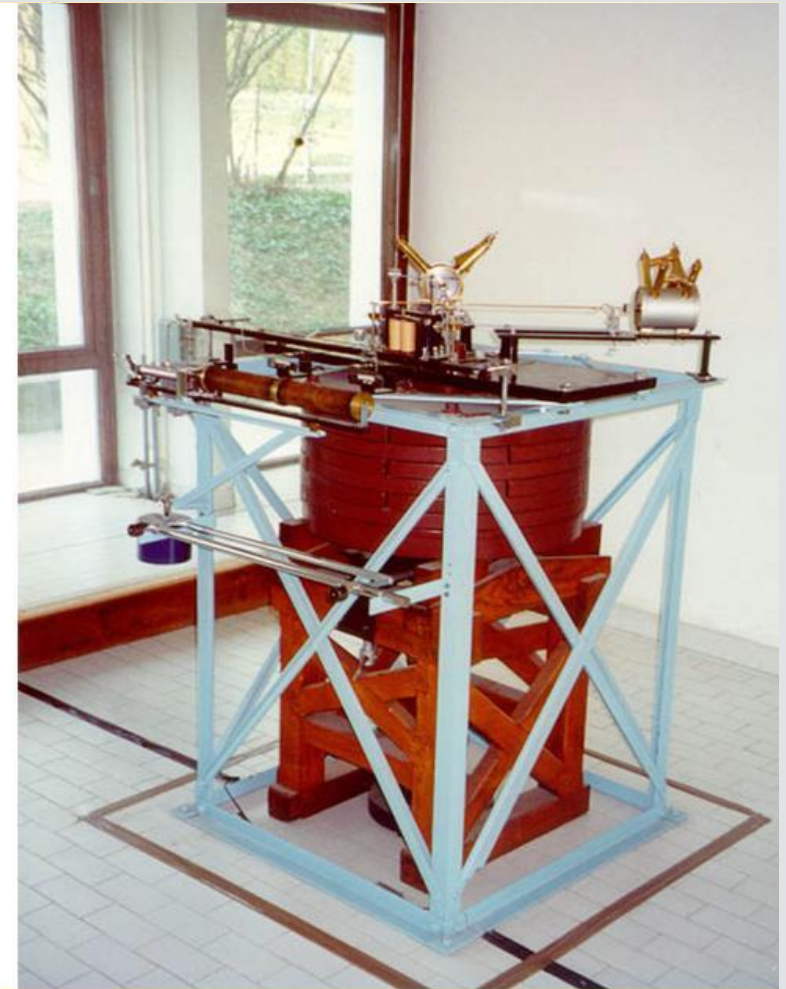


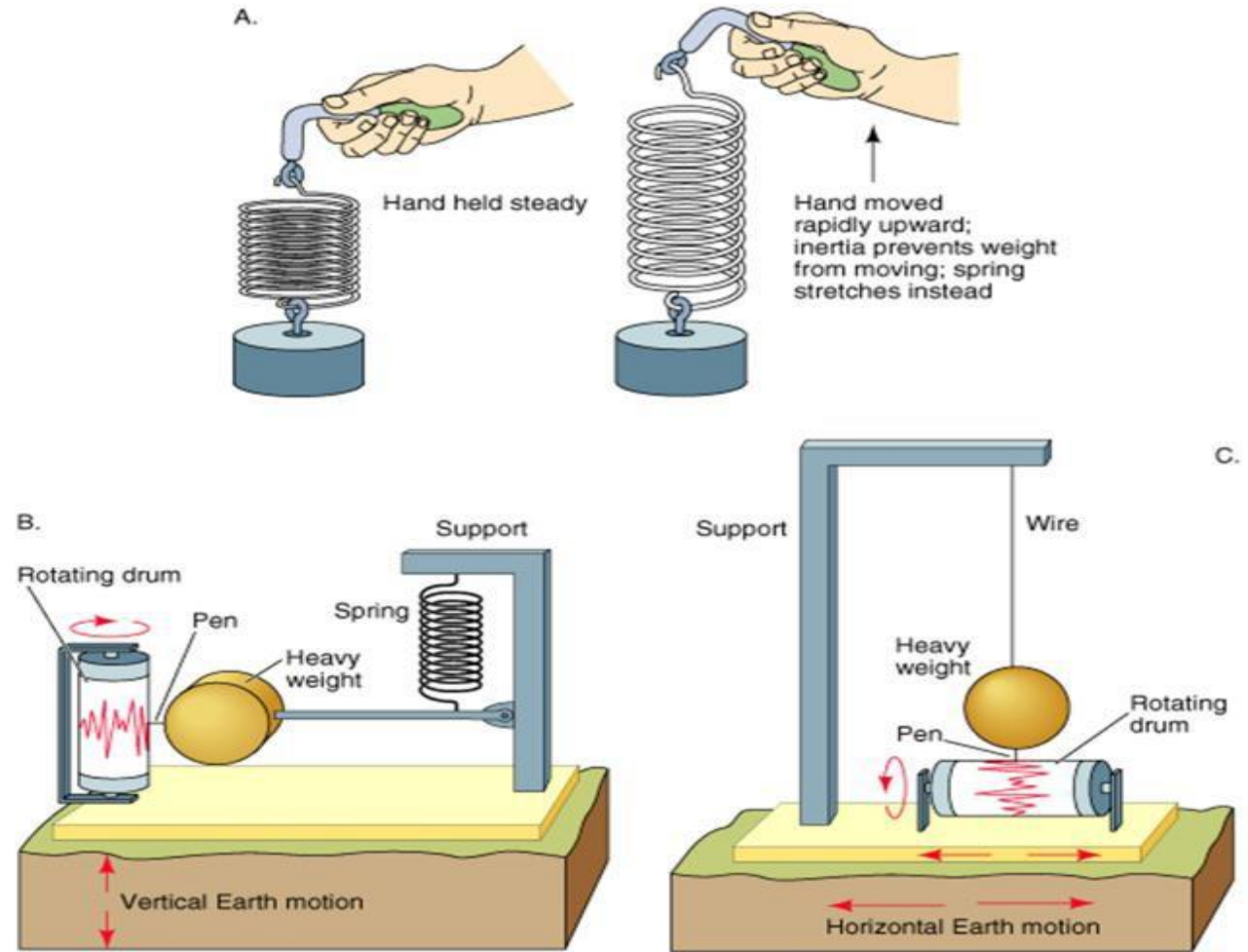
Fig. 4. Strassburg, 1892 Dezember 19, 6^h—23^h



(Erdbeben in Beludschistan.)

- A heavy mass is decoupled from the Earth by means of a pendulum
- When the ground moves, the mass tends to remain stationary because of its inertia, but the support (frame) moves with the Earth
- A stylus records the motion

Mechanical Seismographs



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Analog

- Analog seismograph has an electronic transducer (seismometer) senses the motion and produces an analog (continuous) electrical signal that is recorded
- Analog accelerograph has an accelerometer, which is an electronic transducers that produce an output voltage proportional to acceleration
- Analog/mechanical accelerographs lay dormant until triggered by the exceedance of a small threshold acceleration at the beginning of the earthquake motion

Analog/Digital Seismographs



- Any vibrations that may have preceded triggering were not recorded, thereby introducing a *baseline error* into the acceleration record
- Analog/mechanical records are digitized later
 - Tiresome and error-prone
 - With paper, pencil, and engineering scale, or semiautomatic digitizers (crosshairs, with a foot-operated switch)

Digital

- They use analog transducers
- Digital instruments convert the analog signal to digital in the field
- They record ground motions continuously at rates of 200 to 1000 samples/sec
- They save the recorded data only if a triggering acceleration is exceeded
- Their on-board memories save from before an earthquake begins until after it ends, thereby preserving the initial portion of the record that is lost with triggered analog systems

از سال‌های ابتدائی تأسیس پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، اهمیت دستیابی به تکنولوژی ساخت دستگاه های لرزه نگاری و شتابنگاری برای پروژه های پژوهشی و فناوری مورد توجه بوده است که امروز با ساخت اولین شتابنگار تولید داخل کشور توسط پژوهشگاه، این امکان جهت استفاده بهینه در سازه‌های مهم و حیاتی کشور مانند پالایشگاهها، نیروگاهها، سدها و ... فراهم شده است.

کوچکترین سطح لرزه‌ای قابل اندازه گیری توسط شتابنگارهای IIEES-HAT برابر با ۰.۰۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه است و از مزایای این سنسورها می توان به امکان انتقال اطلاعات ۱۵ عدد به طور همزمان و از طریق یک رشته کابل تلفن با فرکانس ۵۰ هرتز اشاره کرد.

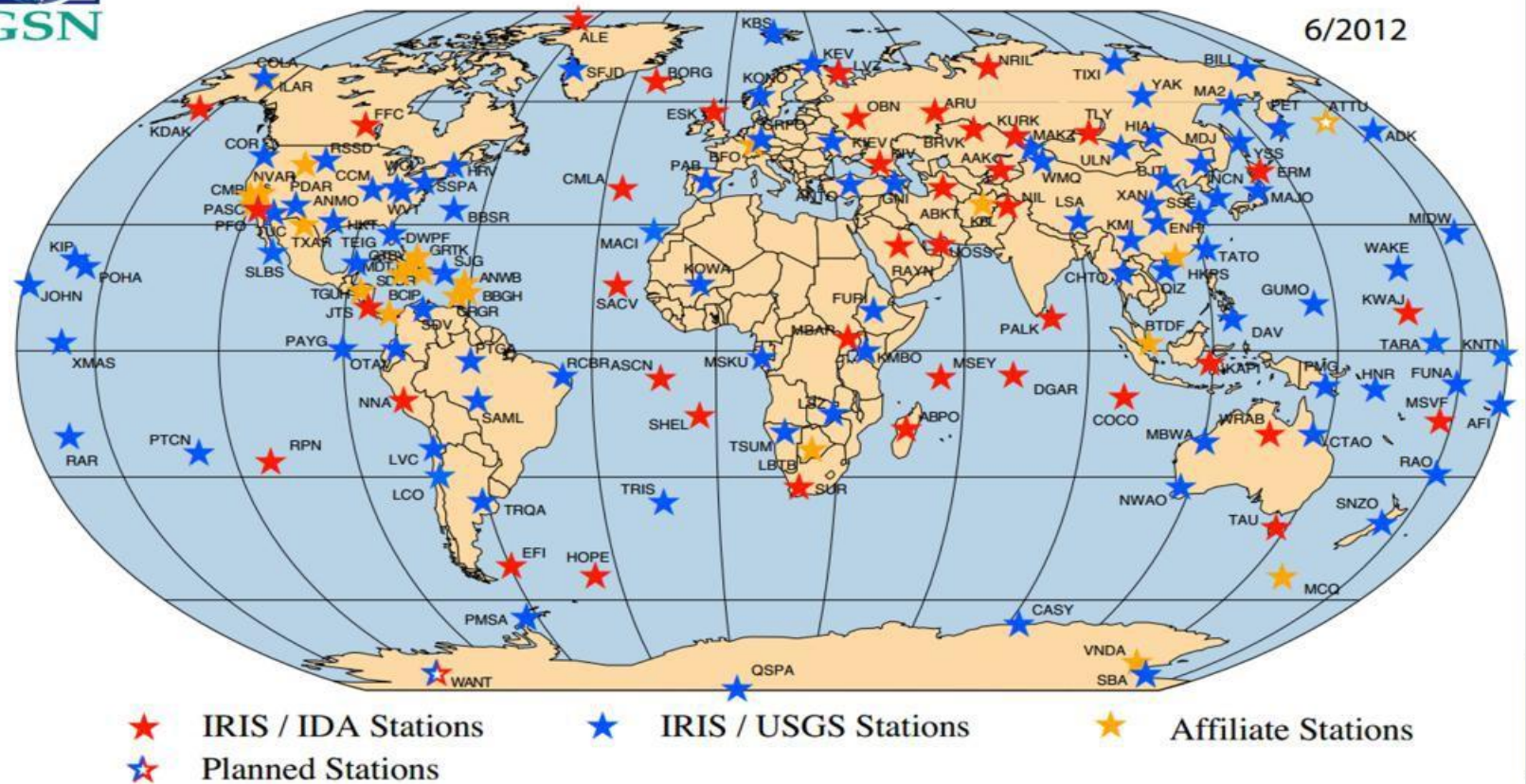


- Large earthquakes produce ground motions with different characteristics at different points on the ground surface
- The spatial variation of ground motion is important in both seismology and earthquake engineering
- Arrays and networks of strong motion instruments are useful in determining the spatial variation of strong ground motion



GLOBAL SEISMOGRAPHIC NETWORK

6/2012



- Worldwide Standard Seismograph Network (WWSSN) in 1961
 - To monitor compliance with nuclear weapons testing bans
- Analog seismographs
- Global Digital Seismometer Network (GDSN)
- Global Seismographic Network (GSN)
 - Digital seismographs

Global Seismographic Network

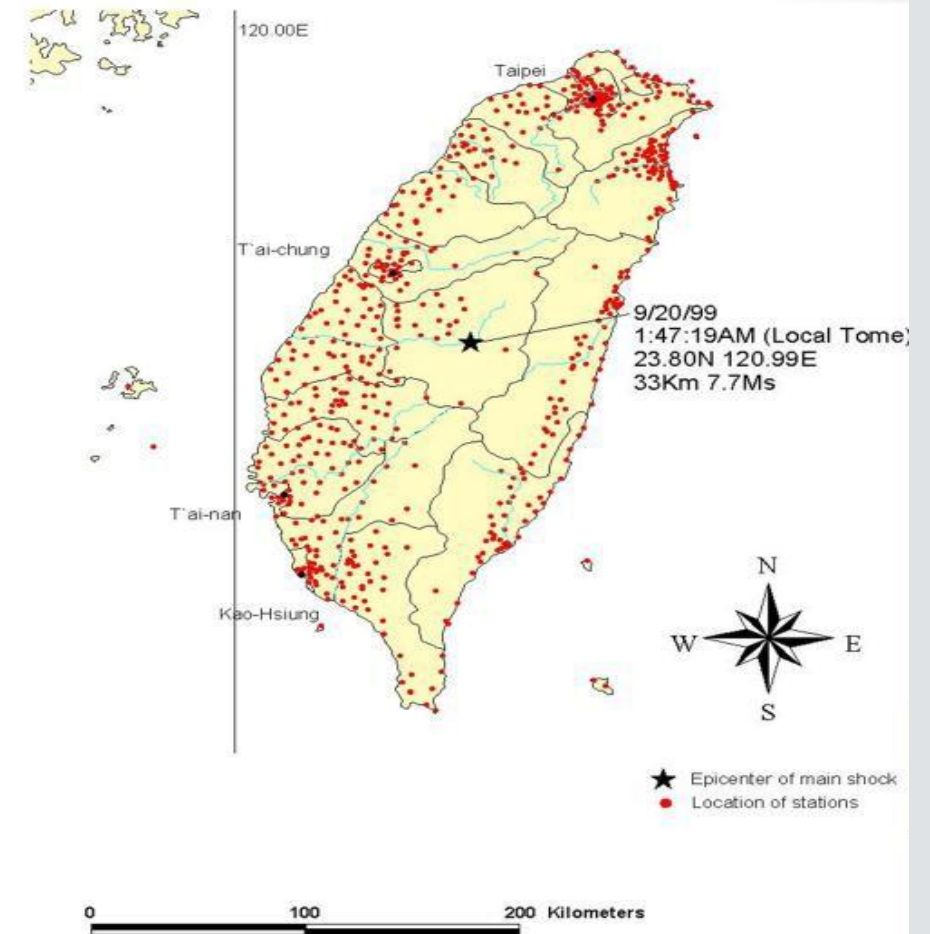
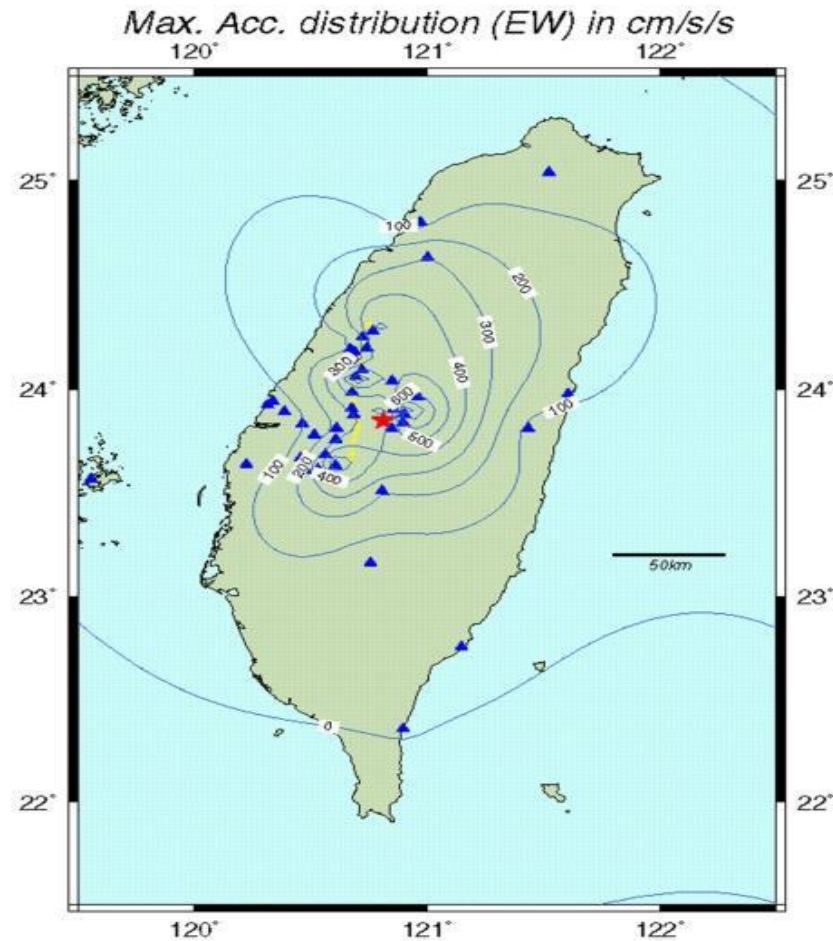


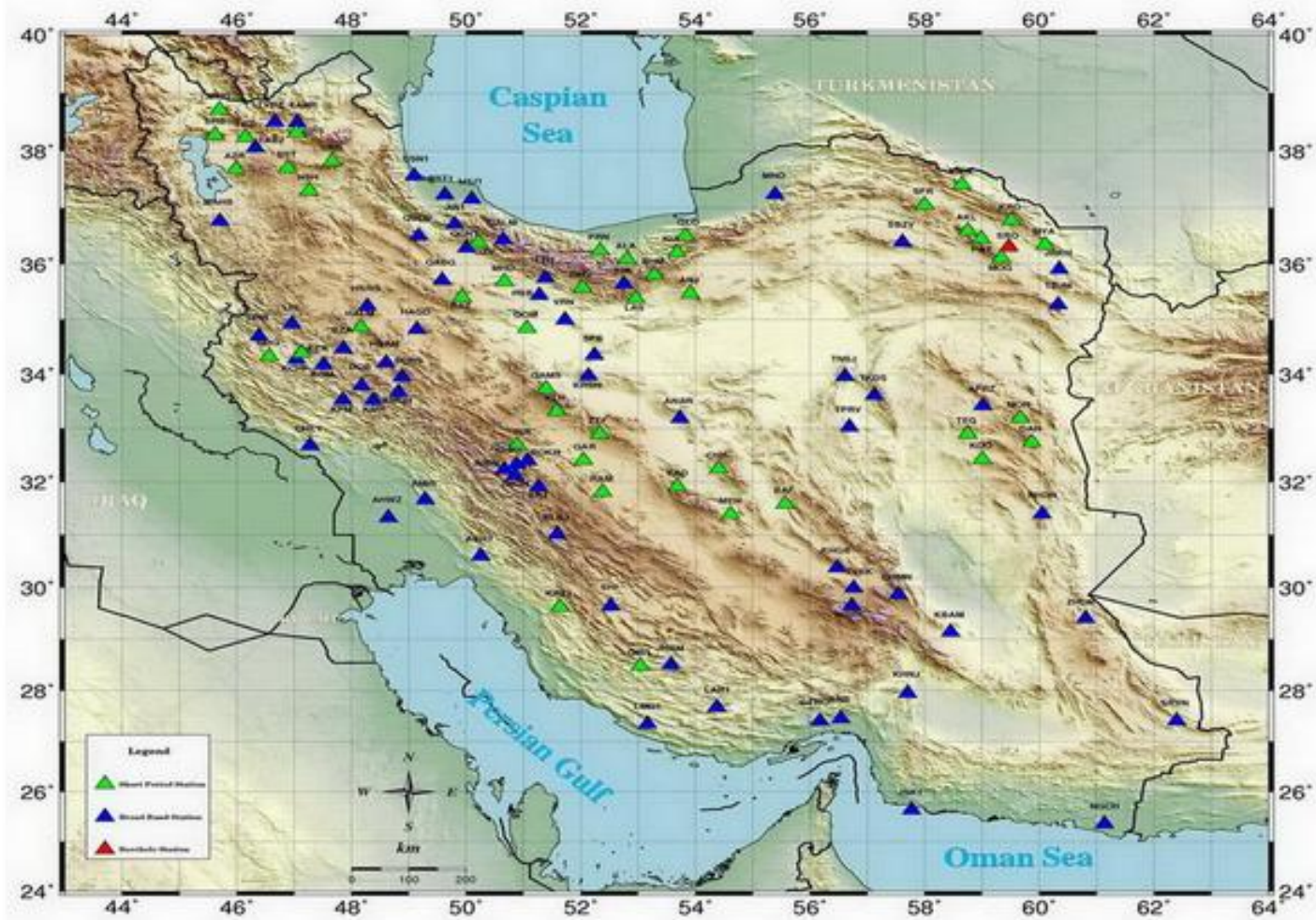
- Chi-Chi,
Taiwan, 1999,
 $M_s=7.6$

- Right: Many
seismograph
stations that
recorded the
ground
motion

- Isoseismal
map of the
earthquake

Chi-Chi, Taiwan, 1999, $M_s=7.6$





ت شبکه های لرزه نگاری مرکز لرزه نگاری کشوری
 نمایش نقشه با کیفیت بالاتر

<http://irsc.ut.ac.ir>

لیست ایستگاه های لرزه نگاری



معرفي سايتهاي اطلاعات زمين
لرزه ای:

emsc-csem

ORFEUS

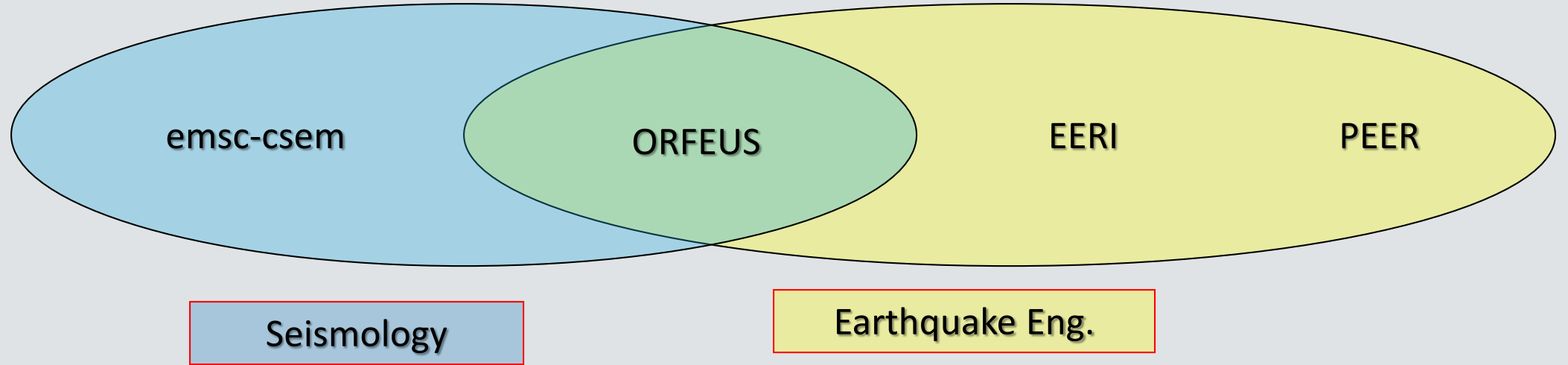
EERI

PEER

IIEES

irsc

محدوده فعالیت سایتها



EMSC-CSEM

نام سایت :

EUROPEAN-MEDITERRANEAN SEISMOLOGICAL CENTRE

CENTRE SISMOLOGIQUE EURO-MEDITERRANEEN

تاریخچه :

- EMSC در سال ۱۹۷۵ پی ریزی گردید
- دلیل موافقت با ایجاد چنین مرکزی پرخطر تشخیص داده شدن منطقه اروپا-مدیترانه بود
- در اول ژانویه سال ۱۹۷۶ در مرکز جهانی فیزیک استراسبورگ شروع بکار کرد
- EMSC یک موسسه بین المللی ، غیر دولتی (NGO) و غیر انتفاعی است.
- در حال حاضر در کمساریای انرژی اتمی (CEA) در فرانسه فعالیت می کند.

EMSC-CSEM

هدف :

هدف اصلی این موسسه تشخیص سریع (در لحظه وقوع) مرکز و فاصله زلزله های مخرب می باشد. که برای این منظور یک سیستم هشدار سریع (Early warning system) را ایجاد کرده است که تقریباً ساعتی پس از وقوع زلزله، مرکز زلزله را تشخیص داده و اعلام می کند.

اطلاعات کلی

لیست رصد خانه ها

سیستم هشدار سریع

اطلاعات تولیدی

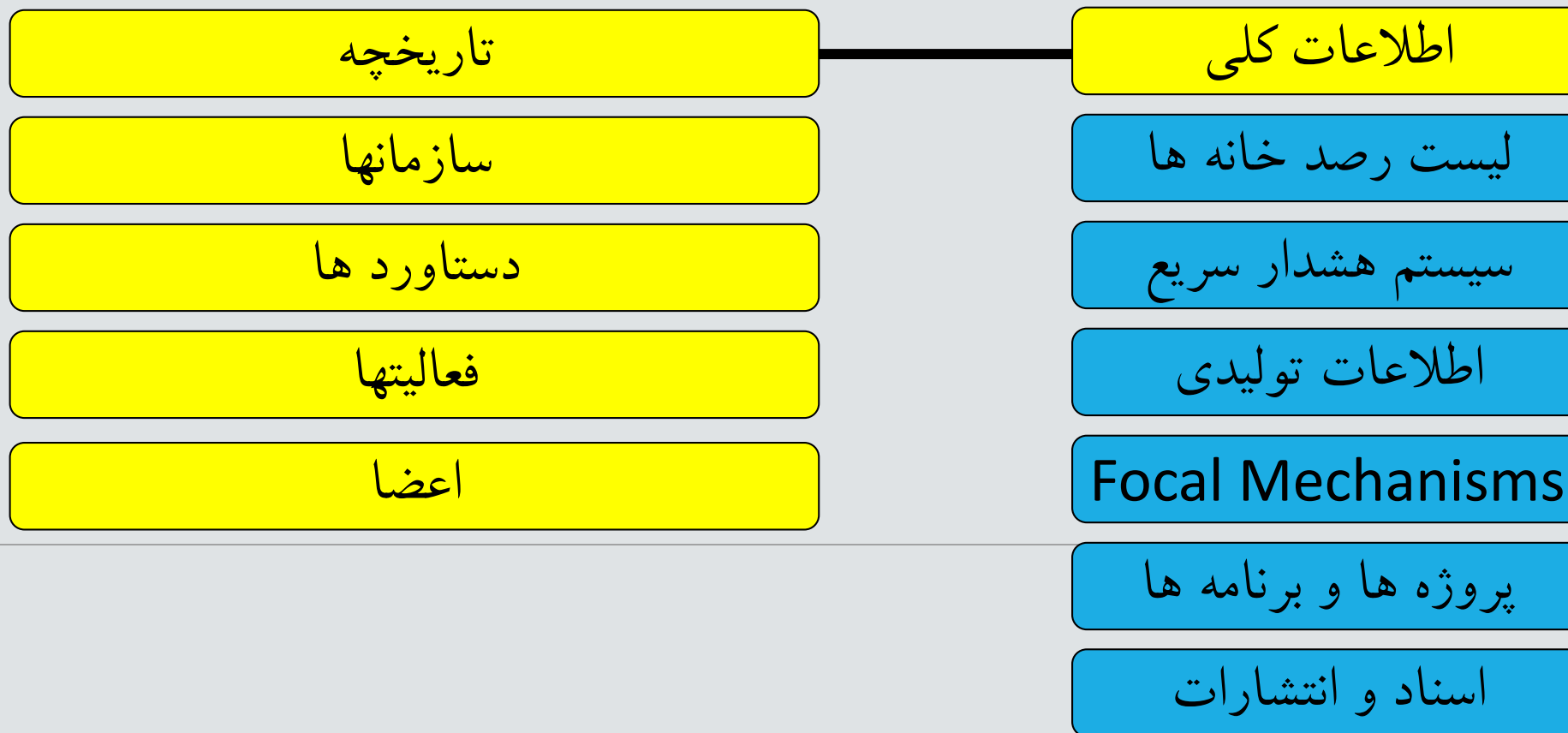
Focal Mechanisms

پروژه ها و برنامه ها

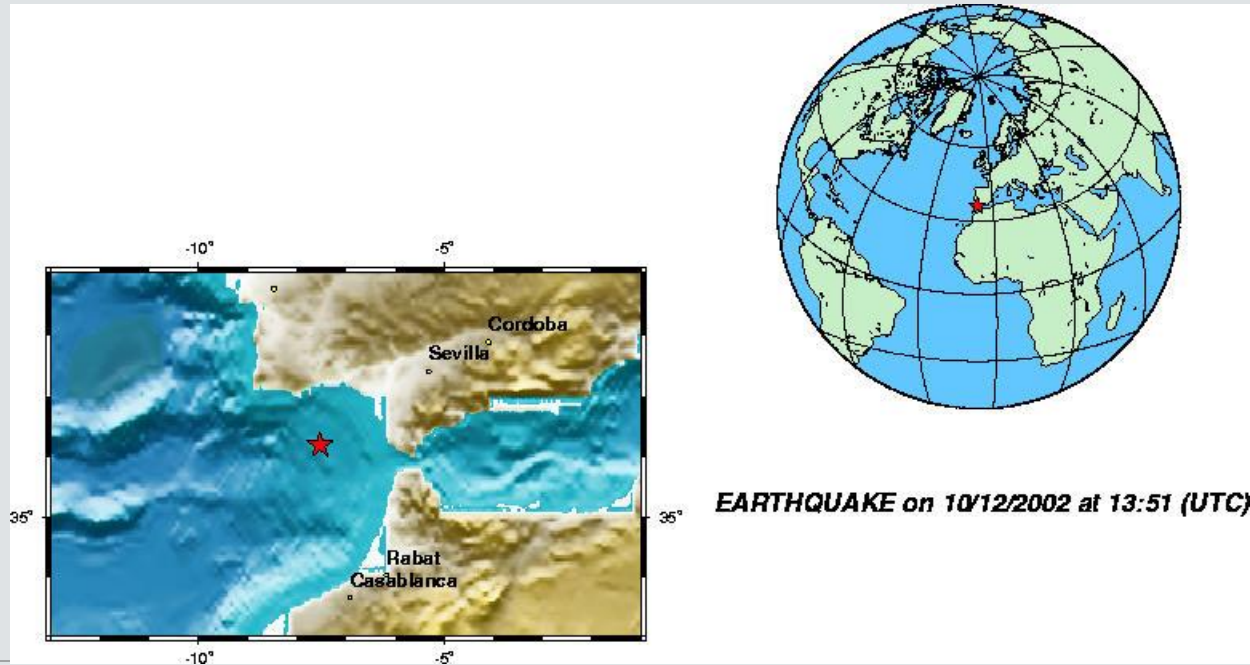
اسناد و انتشارات

ساختار سایت :

EMSC-CSEM



EMSC-CSEM



EARTHQUAKE on 10/12/2002 at 13:51 (UTC) STRAIT OF GIBRALTAR MAGNITUDE: ML 5.1 Data provided by: IMP LDG MAD NEIC Latitude = 36.20 N Longitude = 7.53 W Origin Time = 13:51:30.8 (UTC) Depth = 36 Km RMS = 0.93 sec Gap = 156 degrees

اطلاعات کلی

لیست رصد خانه ها

سیستم هشدار سریع

اطلاعات تولیدی

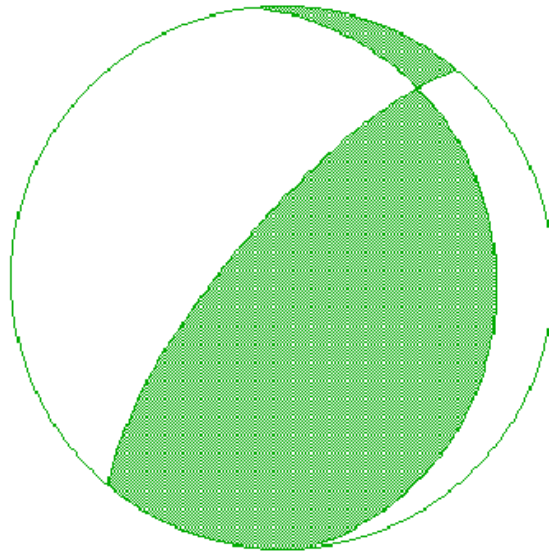
Focal Mechanisms

پروژه ها و برنامه ها

اسناد و انتشارات

EMSC-CSEM

FOCAL MECHANISM
strike1,dip1,slip1= 353 22 45
strike2,dip2,slip2= 220 75 106



اطلاعات کلی

لیست رصد خانه ها

سیستم هشدار سریع

اطلاعات تولیدی

Focal Mechanisms

پروژه ها و برنامه ها

اسناد و انتشارات

EMSC-CSEM

- Reducing Earthquake Losses in the Eastern Mediterranean Regions
- Joint Seismic Observing Program
- Meetings
- Job Opportunities

اطلاعات کلی

لیست رصد خانه ها

سیستم هشدار سریع

اطلاعات تولیدی

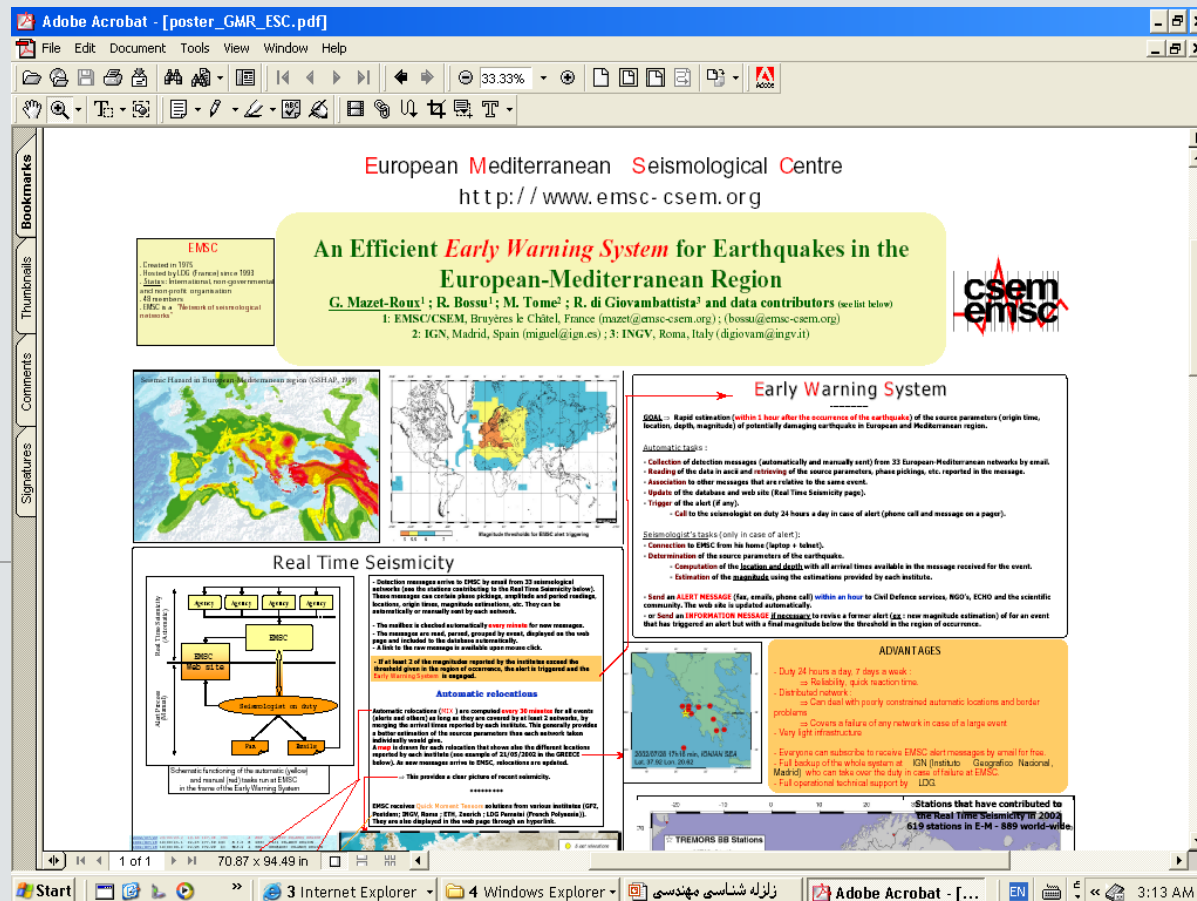
Focal Mechanisms

پروژه ها و برنامه ها

اسناد و انتشارات

EMSC-CSEM

NEWSLETTER



اطلاعات کلی

لیست رصد خانه ها

سیستم هشدار سریع

اطلاعات تولیدی

Focal Mechanisms

پروژه ها و برنامه ها

اسناد و انتشارات

ORFEUS

Observatories and Research Facilities for EUropean Seismology

سازمان غیر انتفاعی اروپائی با هدف همجهت سازی و شناساندن زلزله شناسی رقمی و باندپهن در اروپا

سایت این سازمان از نظر اطلاعات قابل دسترسی دارای تنوع بسیار بیشتری نسبت به سایت **EMSC** میباشد.

ORFEUS

آنچه که در این سایت جدید است :

- بخش اخبار
 - قسمت اطلاعیه ها و کاریابی
 - گروههای کاری
 - گنجینه ای عظیم از پیوندهای مربوط به زلزله و مهندسی زلزله
-

ORFEUS

سایت ORFEUS علاوه بر امکاناتی از قبیل زلزله های اخیر، ارائه اطلاعات مربوط به پروژه ها و سازمانهای خود و همچنین Newsletter شامل مزایای ذکر شده در صفحه قبل نیز میباشد. نکته قابل ذکر این است که Newsletter این سازمان علاوه بر فرمت PDF در اینترنت و در صفحه مرورگر اینترنت هم قابل مطالعه می باشد.

ORFEUS

- بخش اخبار

در این بخش آخرین تغییرات انجام شده در سایت ذکر میگردد.

- اطلاعیه ها

یکی از بخشهای بسیار جالب این سایت می باشد که آخرین اخبار و اطلاعیه های مربوط گردهمایی ها، دوره های آموزش و همچنین نیازمندی های شغلی مربوط به رشته زلزله در آن ارائه می گردد. اطلاعیه های مربوط به جذب نیرو تا سه ماه در سایت می ماند.

ORFEUS

- گروههای کاری (Working groups)

چهار گروه کاری فعال در حال حاضر در این سایت فعالیت می کنند که هر کدام زیر نظر رئیس کمیته خود هستند و همانطور که گفته شد، فعالیتها بیشتر با تاکید بر ابزارآلات باند پهن می باشد.

در هر کدام از این گروههای کارگاههای آموزشی دوره ای (Workshop) برگزار می گردد.

یکی از گروهها گروه “نرم افزار” است که بر روی نرم افزارهای زلزله شناسی و یا نرم افزارهای مربوط به ابزارآلات زلزله شناسی کار می کنند.

ORFEUS

• پیوندها (Links)

این سایت اطلاعات وسیعی راجع به سایر سایتهای اینترنتی در زمینه زلزله شناسی و مهندسی زلزله جمع آوری نموده است که یکی از بخشهای آن مربوط به نرم افزارهای مختلف می باشد که با تقسیم بندی جالبی قابلیت دسترسی به اطلاعات مورد نیاز را سرعت بخشیده است.

India

India Meteorological Department

<http://www.imd.ernet.in/section/seismo/dynamic>

Iran

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Iran

http://www.iiees.ac.ir/English/eng_index.html

Japan

Earthquake Research Institute at the University of Tokyo:

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp>

ORFEUS Electronic NEWSLETTER

ORFEUS Newsletter - September 2002 - vol 4 - no 2 - page 8 - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Media Mail Print View Source Links

Address D:\PROJECTS\Master_of_Science\Seismology\Web_Project\sites\orfeus.knmi.nl\newsletter\vol4no2\index.html Go

Observatories and Research Facilities for EUROPEAN Seismology
Volume 4, no 2 September 2002 Orfeus Newsletter

ORFEUS Electronic Newsletter

The Orfeus Electronic Newsletter aims at disseminating rapidly relevant information to the Orfeus community within the European-Mediterranean area. You are encouraged to submit contributions in the form of an article, news or announcements according to the [authors instructions](#) to Orfeus.

Articles and News	Short notes
The Earthquake Monitoring Network of Oman, Phase I: 9 (417 kB) <i>Zuhair EL-Isa and Mathias Franke</i> A new modern short period seismograph network in Oman to monitor local earthquakes.	Developments at ORFEUS and its Data Center: 13 (122 kB) <i>Torild van Eck, Bernard Dost, Chad Trabant, Reinoud Sleeman and Femke Goutbeek</i> New data management structure at the ODC, Working Groups update and other information
Coordinated seismic experiment in the Azores: 10 (248 kB) <i>Graß Silveira et al.</i> A temporary deployment of VBB stations in the Azores.	Announcements ORFEUS announcements: 14 (8 kB)
Destructive earthquake in Afghanistan (Hindu Kush) on March 25, 2002: 11 (273 kB) <i>O. Starovoit, S. Yunga, I. Gabsatova and L. Chepkunas</i> Determination of the different earthquake	Real-time data available at the ODC Expression of Interest for the EC 6th framework programme

Start 2 Internet Explorer 2 Windows Explorer Microsoft PowerPo... The Aryanpur Prog... EN 4:52 AM

Earthquake Engineering Research Institute

همانگونه که از نام این سایت پیداست، این سایت بیشتر در زمینه مهندسی زلزله فعالیت می کند. هدف این موسسه بر اساس موارد مندرج در بند یک آیین نامه آن عبارتست از :

کاهش خطر زلزله بوسیله ارتقاء علم و کاربرد مهندسی زلزله در شناخت اثر زلزله بر محیط فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی.

از نکات قابل توجه در این سایت مطالب آموزشی بسیار زیادی است که بصورت الکترونیکی و Online قابل دسترسی است. این دوره های آموزشی از اطلاعات پایه در زمینه زلزله گرفته تا بررسی نحوه خرابیهای ناشی از زلزله را شامل میشود.

همانطور که می دانید ژونال Earthquake Spectra توسط این موسسه منتشر می شود. در این سایت امکان عضویت و آبونه شدن این مجله موجود می باشد

در این سایت نیز امکان دسترسی به پیام نامه (Newsletter) وجود دارد و می توان آخرین شماره را بصورت مستقیم در این سایت مطالعه نمود.

قسمت پیوندها در این سایت نیز قابل توجه می باشد و تقریباً تمام انجمنهای مربوط به مهندسی زلزله در آمریکا را می توان در این قسمت یافت.

PEER :

← → ↺ 🏠 📄 peer.berkeley.edu/nga/search.html

Pacific Earthquake Engineering Research Center: NGA Database

PEER | NGA | Browse Earthquakes | Search | Download | Documentation | ChangeLog

ARCHIVED DATABASE VERSION. Visit the latest version of the database!



Map Satellite Hybrid

United States

500 mi
500 km

POWERED BY Google

Map data ©2012 Google, NEGL - Terms of Use

Search Ground Motion Records

Earthquake

Fault Name

Magnitude to

J-B Distance (km) to All Distances ☒

Preferred VS30 to

PGA (g) to

Location

Display Results

Copyright © 2005 the Regents of the University of California. Send comments or questions to peer_center@berkeley.edu.



PEER Ground Motion Database

Pacific Earthquake Engineering Research Center

[HOME](#)[DOCUMENTATION](#)[HELP](#)[FEEDBACK](#)[PEER](#)[SIGN_UP](#) OR[SIGN_IN](#)

Welcome to the PEER Ground Motion Database

The web-based Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) ground motion database provides tools for searching, selecting and downloading ground motion data.

ALL downloaded records are UNSCALED and as-recorded (UNROTATED). The scaling tool available on this site is to be used to determine the scale factors to be used in the simulation platform. These scale factors can be found with the record metadata in the download (Scaling the traces within this tool would only cause confusion with file versioning).

Please note that, due to copyright issues, a strict limit has been imposed on the number of records that can be downloaded within a unique time window. The current limit is set at approximately 200 records every two weeks, 400 every month. Abusive downloads will result in further restrictions.

The database and web site are periodically updated and expanded. Comments on the features of this web site are gratefully welcome; please send emails to: peer_center@berkeley.edu

NGA-West2 -- Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes

The NGA-West2 ground motion database includes a very large set of ground motions recorded in worldwide shallow crustal earthquakes in active tectonic regimes. The database has one of the most comprehensive sets of meta-data, including different distance measure, various site characterizations, earthquake source data, etc. The current version of the database is similar to the NGA-West2 database, which was used to develop the 2014 NGA-West2 ground motion prediction equations (GMPEs). peer.berkeley.edu/ngawest2





PEER Ground Motion Database

Pacific Earthquake Engineering Research Center

[HOME](#)[DOCUMENTATION](#)[HELP](#)[FEEDBACK](#)[PEER](#)[SIGN_UP](#) OR[SIGN_IN](#)

Sign in

Email

Password

Remember me

☐

[Sign up](#)

[Forgot password?](#)



PEER Ground Motion Database

Pacific Earthquake Engineering Research Center

[HOME](#)[DOCUMENTATION](#)[HELP](#)[FEEDBACK](#)[PEER](#)[PAYMAN.CIVIL2012@GMAIL.COM](#)[SIGN_OUT](#)

Signed in successfully.

Welcome to the PEER Ground Motion Database

The web-based Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) ground motion database provides tools for searching, selecting and downloading ground motion data.

ALL downloaded records are **UNSCALED** and as-recorded (**UNROTATED**). The scaling tool available on this site is to be used to determine the scale factors to be used in the simulation platform. These scale factors can be found with the record metadata in the download (Scaling the traces within this tool would only cause confusion with file versioning).

Please note that, due to copyright issues, a strict limit has been imposed on the number of records that can be downloaded within a unique time window. The current limit is set at approximately 200 records every two weeks, 400 every month. Abusive downloads will result in further restrictions.

The database and web site are periodically updated and expanded. Comments on the features of this web site are gratefully welcome; please send emails to: peer_center@berkeley.edu

NGA-West2 -- Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes

The NGA-West2 ground motion database includes a very large set of ground motions recorded in worldwide shallow crustal earthquakes in active tectonic regimes. The database has one of the most comprehensive sets of meta-data, including different distance measure, various site characterizations, earthquake source data, etc. The current version of the database is similar to the NGA-West2 database, which was used to develop the 2014 NGA-West2 ground motion prediction equations (GMPes). peer.berkeley.edu/ngawest2





PEER Ground Motion Database

NGA-West2
Pacific Earthquake Engineering Research Center

[HOME](#)[DOCUMENTATION](#)[HELP](#)[FEEDBACK](#)[PEER](#)[PAYMAN.CIVIL2012@GMAIL.COM](#)[SIGN_OUT](#)

Target Spectrum

Select Spectrum Model

Select models to
generate target
spectrum

No Scaling

[Show/Hide GMPE Notation](#)[Show/Hide GMPE Regions](#)[Show/Hide GMPE Figures](#)

Submit



New Search

[Load Sample Input Values](#)[Clear Input Values](#)

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1...RSNnEvent Name : Station Name :

Search Parameters:

Fault Type : Magnitude : min,maxRJB(km) : min,maxRrup(km) : min,maxVs30(m/s) : min,maxD5-95(sec) : min,max

Pulse

Additional Characteristics:

Max No. Records : (<=100)

Suite

Spectral Ordinate : Damping Ratio : Suite Average :

Controls

[Search Records](#) 

Results -- Metadata

Click heading of the column to be sorted in ascending order

☐ Rescale Using Checked Records

		Result ID	Spectral Ordinate	Record Seq. #	MSE	Scale Factor	Tp(s)	D5- 75 (s)	D5- 95 (s)	Arias Intensity (m/s)	Event	Year	S
☐	view	1	SRSS	137	-	1.0	-	21.3	25.9	0.1	Tabas, Iran	1978	Bajestan
☐	view	2	SRSS	138	-	1.0	-	14.6	19.5	0.3	Tabas, Iran	1978	Boshroo
☐	view	3	SRSS	139	-	1.0	-	6.7	11.3	1.4	Tabas, Iran	1978	Dayhook
☐	view	4	SRSS	140	-	1.0	-	20.5	24.2	0.2	Tabas, Iran	1978	Ferdows
☐	view	5	SRSS	141	-	1.0	-	16.8	26.4	0.1	Tabas, Iran	1978	Kashmar
☐	view	6	SRSS	142	-	1.0	-	22.7	30.1	0.0	Tabas, Iran	1978	Sedeh
☐	view	7	SRSS	143	-	1.0	6.188	8.3	16.5	11.8	Tabas, Iran	1978	Tabas

Download Options

[Download Search Results \(metadata+spectra\)](#)

[Download Time Series Records \(metadata+spectra+traces\)](#)

<http://www.iiees.ac.ir>

ترویج فرهنگ ایمنی

آزمایشگاه پیشرفته مهندسی زلزله

سنسورهای شتابنگاری

IIEES-HAT

گزارش تصویری



آمار بازدیدکنندگان میهمان

• بازدیدکننده امروز: 814

ویژه نامه بیست و پنجمین سالگرد تأسیس پژوهشگاه
منتشر شد

ویژه نامه بیست و پنجمین سالگرد تأسیس پژوهشگاه، به
صورت الکترونیکی منتشر گردید. ادامه

فصلنامه علمی- پژوهشی "علوم و مهندسی زلزله"
امتیاز نشر دریافت کرد

با موافقت هیات نظارت بر مطبوعات وزارت فرهنگ و ارشاد
اسلامی و کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور ادامه ...

به همت متخصصین داخلی؛ دستگاه سانتریفیوژ
آزمایشگاه پیشرفته مهندسی زلزله به صورت مقدماتی
راه اندازی شد

دستگاه سانتریفیوژ آزمایشگاه پیشرفته مهندسی زلزله واقع
در سوهانک در روز سه شنبه 17 شهریور ماه سال جاری ادامه

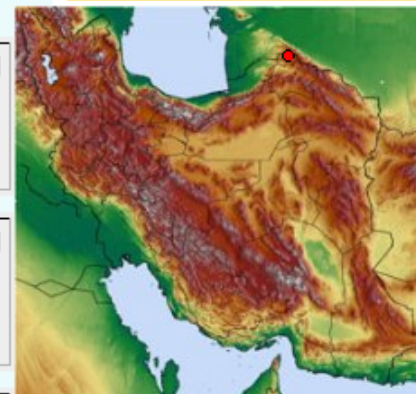
بازدید مسئولین مدیریت بحران شهر استانیول از
پژوهشگاه

با هماهنگی سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران،
هیأتی تخصصی از مسئولین شهرداری و مدیریت بحران
ادامه...

صفحات: 1 2 ... 6 آرشیو

اخبار

آخرین زمین لرزه ها



زمان: 94/8/4 09:45:55 بزرگ: 2.6

موقعیت: Khorasan(north) Province, 65

km North of Ashkhaneh

این زلزله را احساس کردید؟

زمین لرزه های اخیر

جستجوی زمین لرزه ها

گزارش شناسایی زمین لرزه ها

رویدادهای مهم

تمامی حقوق این سایت متعلق به پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله است -

سوالات متداول | نرم افزار جستجوی کتابخانه | ورود به سیستم آموزشی | پست الکترونیکی پژوهشگاه | ورود به سایت | تماس با ما

Earthquake Catalogue Search

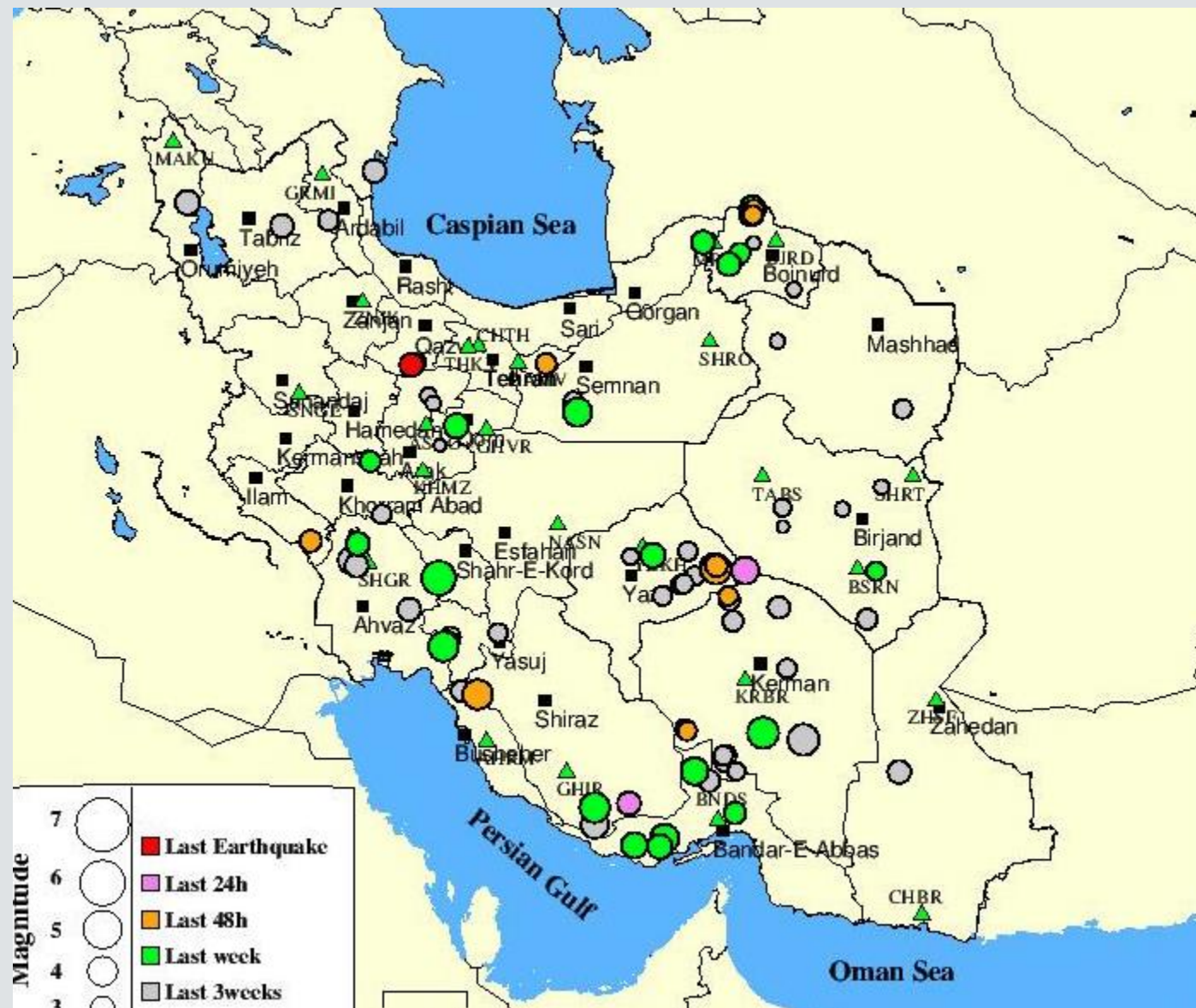
	Minimum	Maximum
Date (yyyy/mm/dd)		
Time (hh)		
Depth		
Magnitude		

Reference		
Order By	Date	Ascending
Search Type:	☒ Square Search ☐ Circular Search	
Latitude		
Longitude		
Radius(km)		
☒ City as Center	(Abadan (31.163, 52.647))	
☐ Center Coordinate		Longitude
Submit Reset		

Get Ascii Data in Format : [List](#) [Seisan](#) [GSE2.0](#) [change map options](#)

Prel. Rep.	Date	Time(UTC)	Lat.	Lon.	Depth	Mag.	Reference
☒	1970/01/01	00:00:00.0	38.45	44.87	0	Ms:5.4	AMB
☒	1970/01/01	00:00:00.0	40.28	43.1	0	Ms:5.9	ULM
☒	1970/01/01	00:00:00.0	36.39	50.48	0	Ms:5.4	AMB
☒	1902/02/13	09:39:06.0	40.72	48.71	33	mb:6	BER77
☒	1902/02/15	02:40:00.0	40.7	48.6	15	M:5	MOS
☒	1902/02/16	18:11:00.0	40.2	47.4	32	M:5.2	MOS
☒	1902/02/21	00:00:00.0	41.8	48.8	36	Ms:5.6	ULM
☒	1902/02/27	00:05:00.0	40.5	48	18	M:4.6	MOS
☒	1902/07/09	03:38:00.0	27.08	56.34	0	Ms:6.4	AMB
☒	1902/09/05	04:33:00.0	39.5	48	20	Ms:4.8	MEA
☒	1902/10/03	23:05:00.0	41.9	45.6	33	Ms:5.2	KAR
☒	1902/10/04	01:46:00.0	41.9	45.6	33	Ms:4.9	KAR
☒	1902/10/17	07:21:00.0	41.9	45.9	33	Ms:5.2	KAR
☒	1902/10/26	11:37:00.0	39.7	47.8	14	Ms:4.7	MEA
☒	1902/12/02	00:47:00.0	40.7	48.7	33	Ms:4.9	KAR
☒	1902/12/04	22:18:00.0	37.8	65.5	20	Ms:4.7	MEA
☒	1903/01/02	00:07:15.0	36.5	54.9	25	Ms:5	MEA
☒	1903/01/14	02:46:00.0	24	64	0	mb:5.5	BS
☒	1903/02/09	05:18:00.0	36.58	47.65	0	Ms:5.6	AMB

زمین لرزه های اخیر



مرکز لرزه‌نگاری کشوری
موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران



<http://irsc.ut.ac.ir>

مرکز لرزه‌نگاری کشوری

موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران



آخرین زمین‌لرزه‌های ایران و نواحی مجاور

✓ مشخصات زمینلرزه بازبینی شده است.

منطقه	عمق (کیلومتر)	طول جغرافیایی (درجه - شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه - شمالی)	بزرگی	زمان وقوع به وقت محلی
هرات، یزد	۱۰	۵۴.۲۳۶	۳۰.۳۶۴	۲.۶	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۵:۳۵:۵۶.۵
آرادان، سمنان	۱۰	۵۲.۹۳۹	۳۵.۰۷۰	۱.۳	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۵:۲۸:۰۲.۷
تبریز، آذربایجان شرقی	۴	۴۶.۴۲۷	۳۸.۱۱۷	۱.۵	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۵:۲۷:۰۷.۸
گلشهر، اصفهان	۱۲	۵۰.۵۸۶	۳۳.۳۷۹	۱.۶	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۴:۳۹:۵۹.۷
کنگاور، کرمانشاه	۸	۴۷.۸۸۱	۳۴.۵۹۲	۲.۵	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۴:۱۲:۲۵.۵
تبریز، آذربایجان شرقی	۹	۴۶.۳۳۱	۳۸.۲۱۲	۲.۱	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۴:۰۴:۴۰.۷
گرگان، گلستان	۱۲	۵۴.۵۵۲	۳۶.۸۱۳	۲.۰	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۳:۵۶:۴۸.۷
مورموری، ایلام	۱۰	۴۷.۷۳۹	۳۲.۶۰۹	۲.۸	۱۳۹۴-۰۸-۰۶ ۰۰:۰۷:۲۴.۰
بهباد، یزد	۱۷	۵۶.۲۴۰	۳۱.۷۲۲	۲.۵	۱۳۹۴-۰۸-۰۵ ۱۵:۱۶:۴۷.۴
دانشگاه، قزوین ✓	۸	۴۹.۷۱۵	۳۵.۵۹۶	۳.۱	۱۳۹۴-۰۸-۰۵ ۱۲:۱۶:۴۱.۳

English

[جستجوی بولتن](#)

[زمان رسید فازها](#)

[سازوکار کانونی](#)

[زمین‌لرزه‌ها](#)

[شبکه‌ها و](#)

[استگاه‌های](#)

[لرزه‌نگاری](#)

[درخواست داده](#)

[گزارش ماهانه](#)

[زمین‌لرزه‌ها](#)

[دریافت پیامک](#)

[زمین‌لرزه‌ها](#)

[پارامترهای مبنایی](#)

[زمینلرزه‌های ایران](#)

[\(~2000\)](#)

[اخبار جدید](#)

[ارتباط با ما](#)

[صفحه خانه](#)

بزرگي ۲.۶

استان یزد

چهارشنبه، 6 آبان 1394 در 05:35:56



تاریخ وقوع زلزله: چهارشنبه، 6 آبان 1394 در 05:35:56
(وقت محلي - تهران)

2015-10-28 02:05:56
(UTC)

بزرگي زلزله: ۲.۶

نوع بزرگي: MN

موقعیت رومرکز زلزله: ۳۰.۳۶ شمالی و ۵۴.۲۴ شرقی

عمق: ۱۰ کیلومتر

عدم قطعیت مکانی: ± 1.74 کیلومتر در جهت شمالی - جنوبی

± 2.22 کیلومتر در جهت شرقی - غربی

منطقه: استان یزد

فاصله ها: 37 کیلومتری هرات، یزد

57 کیلومتری بوانات، فارس

72 کیلومتری دهج، کرمان

منبع: موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

عکس ماهواره‌ای منطقه (توسط Google maps)

داده‌های زمان رسید و دامنه

مشاهده زلزله‌خیزی اخیر در این منطقه

ماه اخیر

هفته اخیر

روز اخیر

دریافت پیامک زمین لرزه های کشور

مرکز لرزه‌نگاری کشوری به منظور اطلاع‌رسانی رویداد زمین‌لرزه‌های کشور، با همکاری همراه اول (شرکت پردیس اول)، امکان دریافت اطلاعات زلزله‌های کشور با بزرگی ۳.۵ و بالاتر را برای مشترکین این اپراتور فراهم کرده است.

مشترکین همراه اول می‌توانند با ارسال پیش شماره تلفن مرکز استان مورد نظر خود به شماره ۲۰۱۲۳، اطلاعات زمین‌لرزه‌های این استان و استان‌های هم‌جوار آن را دریافت نمایند. به عنوان مثال، در صورت ارسال پیش شماره شهر تبریز (۰۴۱۱) از طریق پیامک به شماره ۲۰۱۲۳، اطلاعات زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۳.۵ و بالاتر استان آذربایجان شرقی و استان‌های آذربایجان غربی، زنجان و اردبیل را دریافت خواهید کرد. همچنین، با ارسال کد ۰۰۹۸، اطلاعات زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۳.۵ و بالاتر سراسر کشور برای شما ارسال خواهد شد.

هزینه اشتراک سرویس مذکور، ۱۰۰ تومان به ازای دریافت هر تعداد پیامک در هر روز است. به این معنی که در صورت دریافت یک یا چند پیامک در یک روز، تنها مبلغ ۱۰۰ تومان از حساب مشترک کسر می‌گردد. بدیهی است که هزینه مورد نظر تنها در صورت دریافت پیامک محاسبه می‌گردد.

در صورتی که پس از فعال‌سازی این سامانه، مایل به ادامه دریافت پیامک زمین‌لرزه‌ها نبودید، می‌توانید با ارسال عبارت لرزه خاموش و یا larze off به شماره ۲۰۱۲۳، سامانه را غیر فعال نمایید.

English

بحسب تحوی بولتن

زمان رسید فازها

سازوکار گانونی

زمین لرزه‌ها

شبکه‌ها و

ایستگاه‌های

لرزه‌نگاری

درخواست داده

گزارش ماهانه

زمین لرزه‌ها

دریافت پیامک

زمین لرزه‌ها

پارامترهای مبنایی

زمن‌بندی‌های ایران

(~2000)

اختیار جدید

ارتباط با ما

صوفیہ خانہ

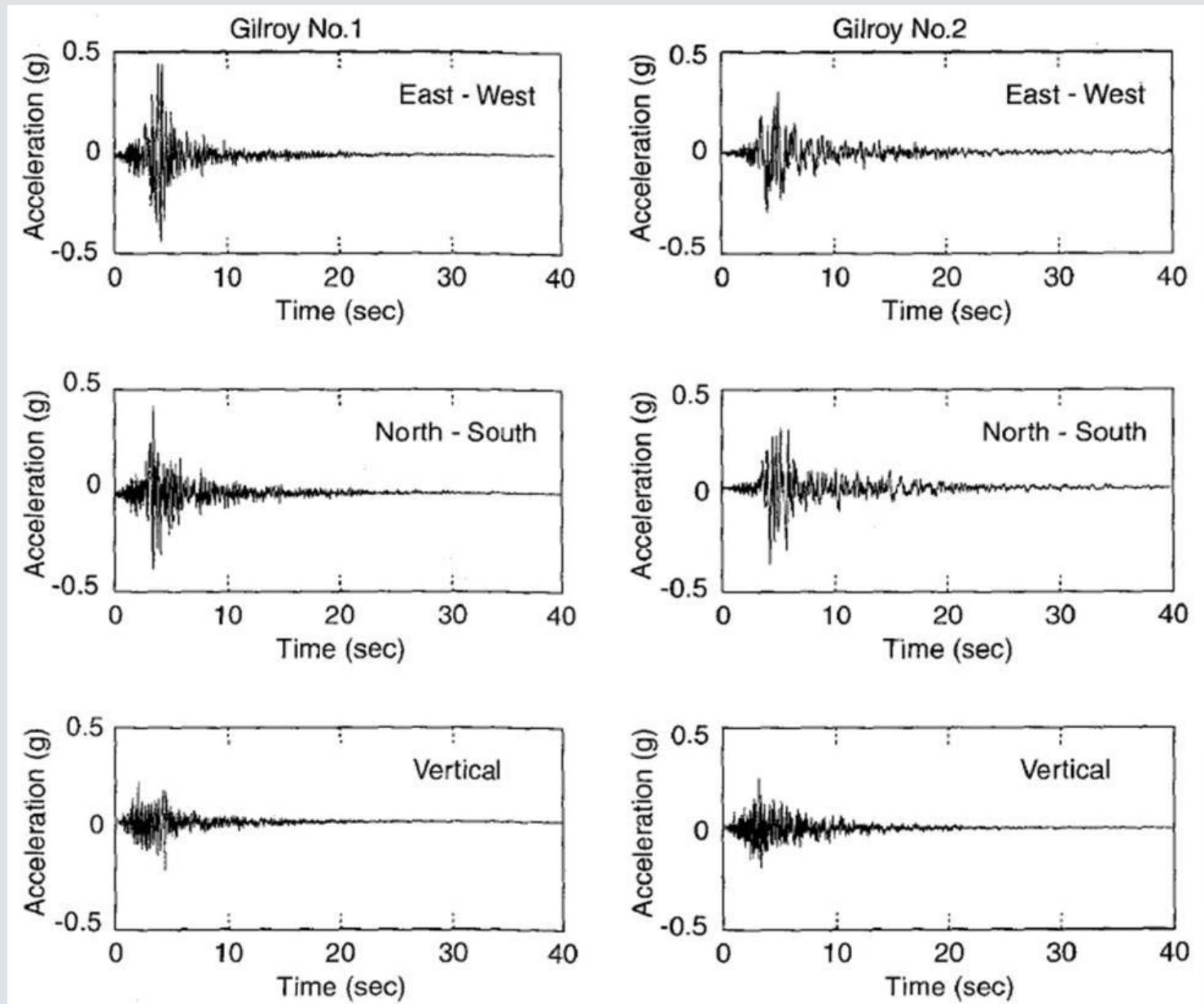
Strong-Motion Processing

Sources of Error

- Background noise
 - Microseisms from ocean waves
 - Traffic
 - Construction activity
 - Wind (transmitted to ground by vibration of trees, buildings, ...)
 - Atmospheric pressure changes
- Instrument response, that can influence the motion
- Error due to triggering of analog seismographs

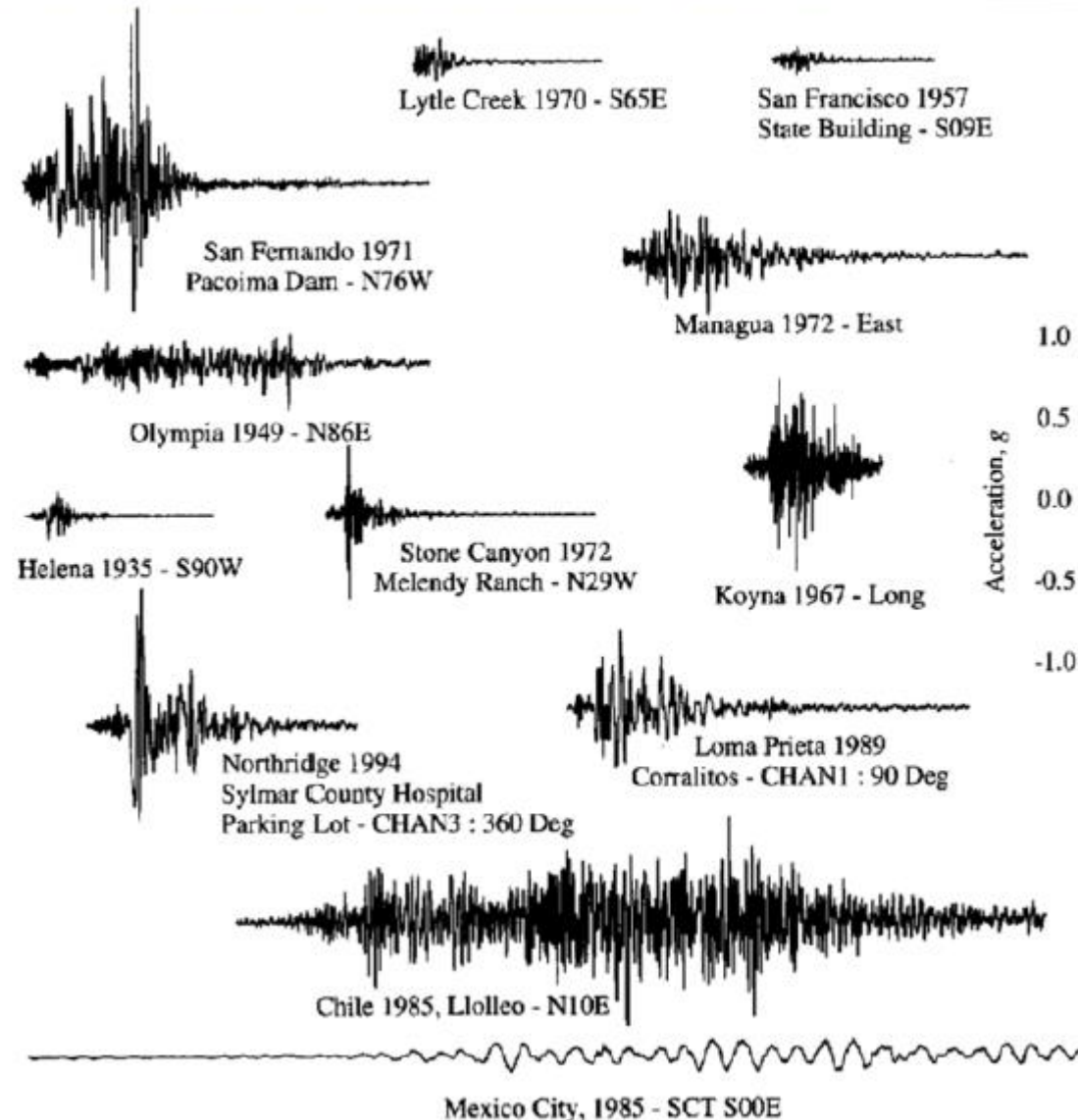
- Error due to triggering of analog seismographs
- If a seismograph does not start until some triggering level of motion is reached, the entire accelerogram is in error by the level of motion at the time of triggering
- Integration of an uncorrected acceleration time history will produce a linear error in velocity and a quadratic error in displacement
- An acceleration error as small as 0.00 1g at the beginning of a 30sec accelerogram would erroneously predict a permanent displacement of 441cm at the end of the motion
- Correction of such errors is called baseline correction
 - Originally accomplished by subtracting a best-fit parabola from the accelerogram before integrating to velocity and displacement
 - It is now performed using high-pass filters and modern data processing techniques

- Earth is constantly vibrating at periods ranging from milliseconds to days and amplitudes ranging from nanometers to meters
 - Microseismic activity is important to seismologists than
 - Strong ground motion is important to earthquake engineers
- There is lots of information in an acceleration time history, such as the ones that are shown
- Important characteristics of earthquake motion
 - Amplitude
 - Frequency content
 - Duration of the motion



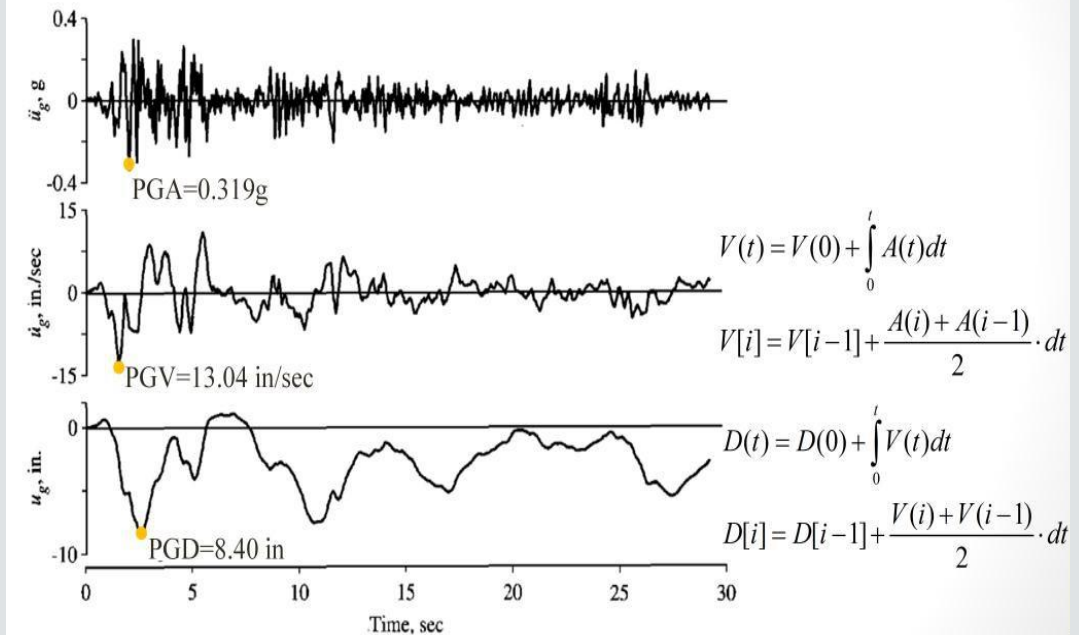
Ground Motion Parameters

- Amplitude
- Frequency content
- Duration



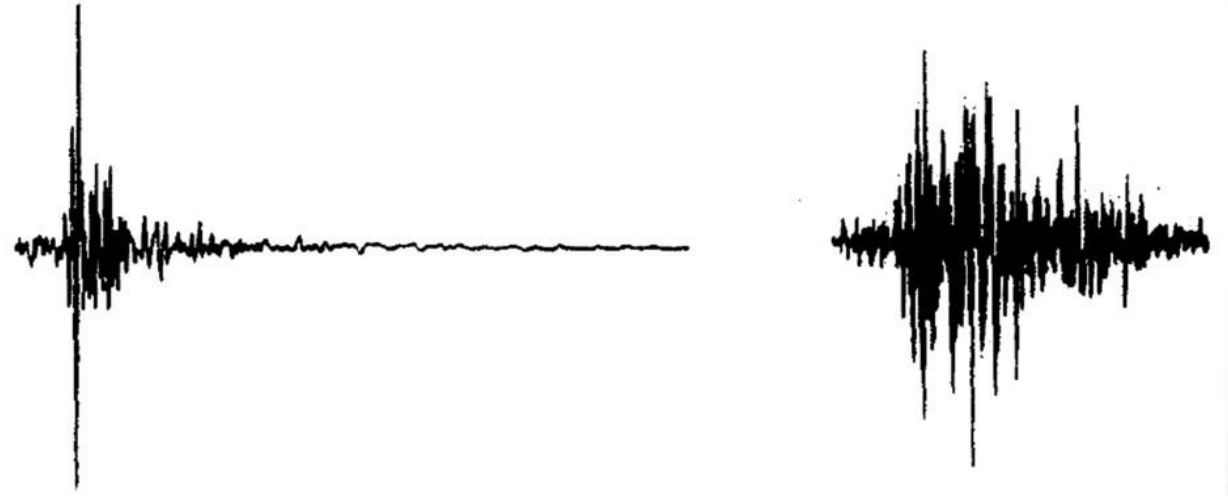
- Maximum amplitudes provide no information on frequency content
- Acceleration time history shows a significant proportion of relatively high frequencies
- Integration produces a smoothing or filtering effect
 → Velocity time history shows much less high-frequency motion
 - PGV is more likely than the PGA to characterize ground motion amplitude accurately at intermediate frequencies
 - For structures that are sensitive to intermediate-frequency loading (e.g., tall or flexible buildings, bridges, etc.), PGV may provide a much more accurate indication of the potential for damage than the PGA
- Displacement time history is dominated by relatively low frequency motion

Amplitude Parameters



- Left: N29W Melendy Ranch record of the 1972 Stone Canyon ($M = 4.6$) earthquake
- Right: Longitudinal record from the 1967 Koyna ($M = 6.5$) earthquake
- Time and acceleration scales are the same
- Peak accelerations are very close, but the one on the right is much more damaging
- This shows the limitations of using peak amplitude as a sole measure of strong ground motion
- Sustained Maximum Acceleration and Velocity: the third (or fifth) highest (absolute) value of acceleration in the time history

Amplitude Parameters

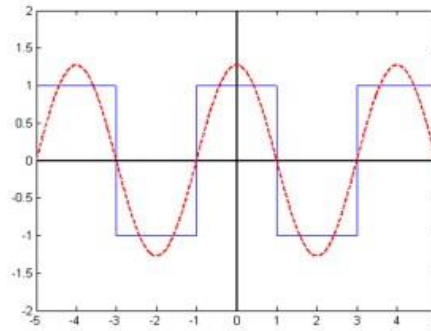


- Frequency content describes how the amplitude of a ground motion is distributed among different frequencies
- Fourier spectrum
- Any periodic function (i.e., any function that repeats itself exactly at a constant interval) can be expressed using Fourier analysis as the sum of a series of simple harmonic terms of different frequency, amplitude, and phase

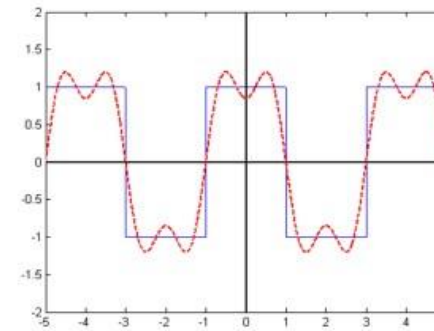
Frequency Content Parameters

- Fourier series

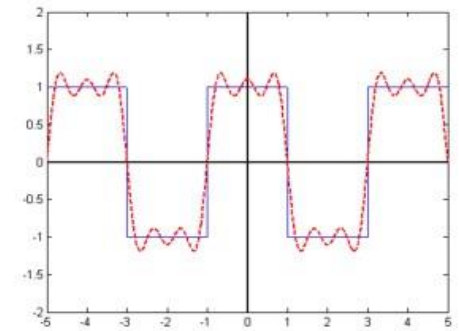
$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$



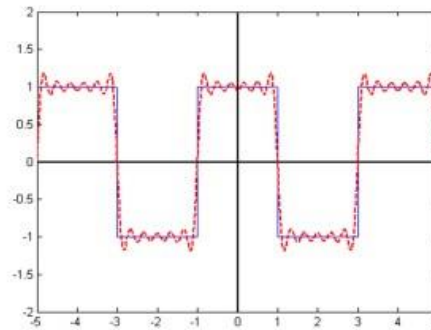
$n=1$



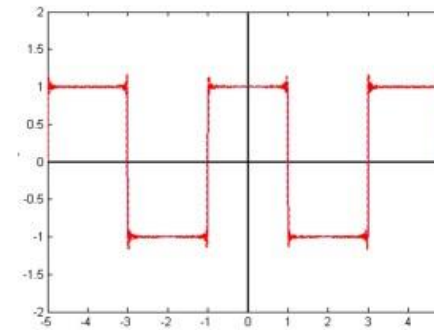
$n=3$



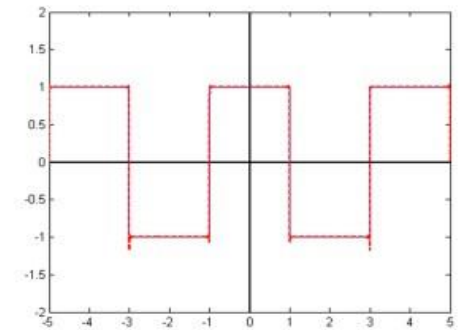
$n=5$



$n=11$



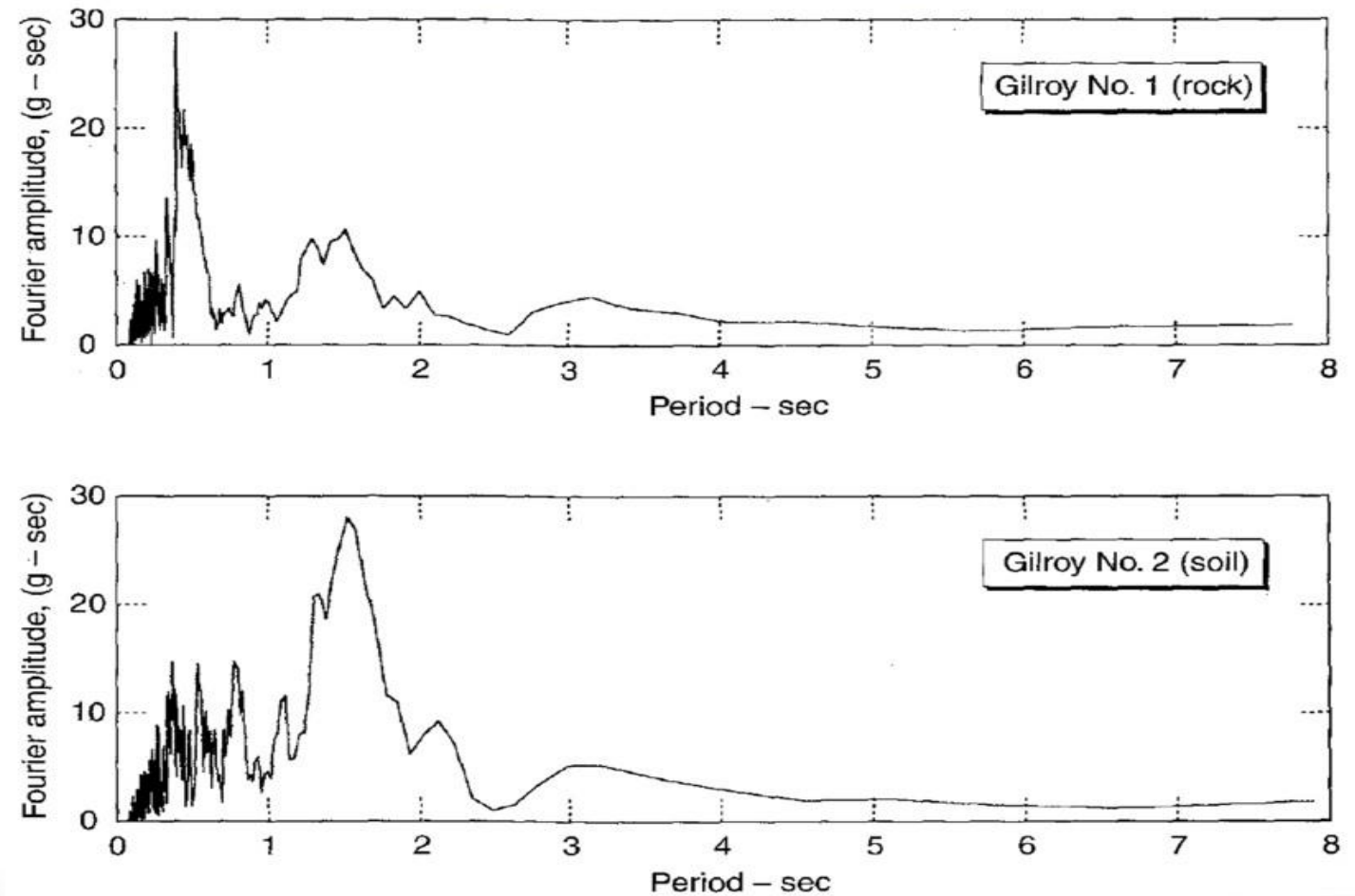
$n=100$



$n=1000$

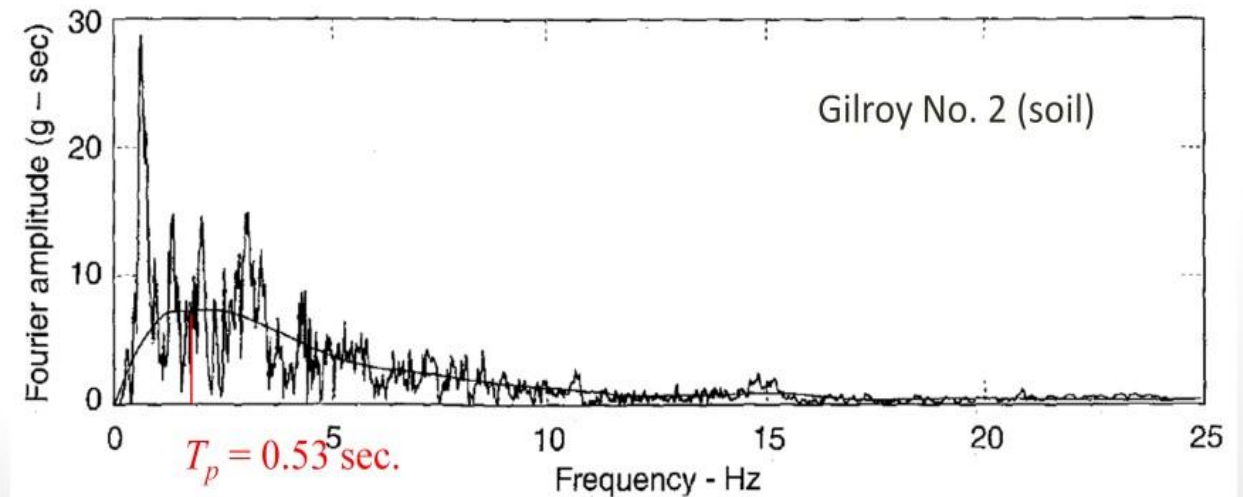
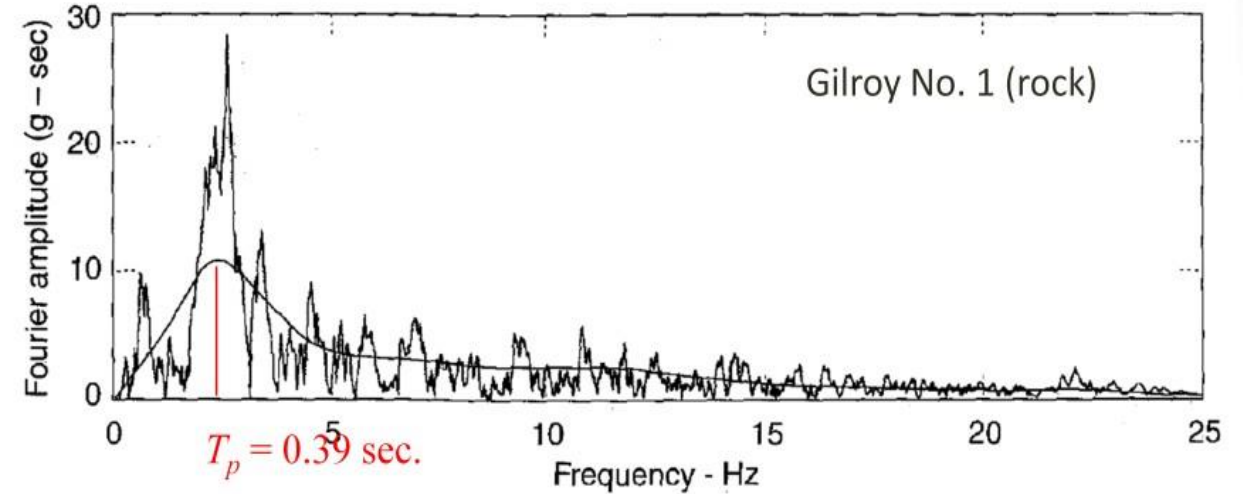
- Plot of Fourier amplitude versus frequency
- Shows how the amplitude of the motion is distributed with respect to frequency (or period)
 - Narrow spectrum: Motion has a dominant frequency (or period) → Smooth, almost sinusoidal time history
 - Broad spectrum: Motion contains a variety of frequencies → Jagged, irregular time history

Fourier Amplitude Spectrum



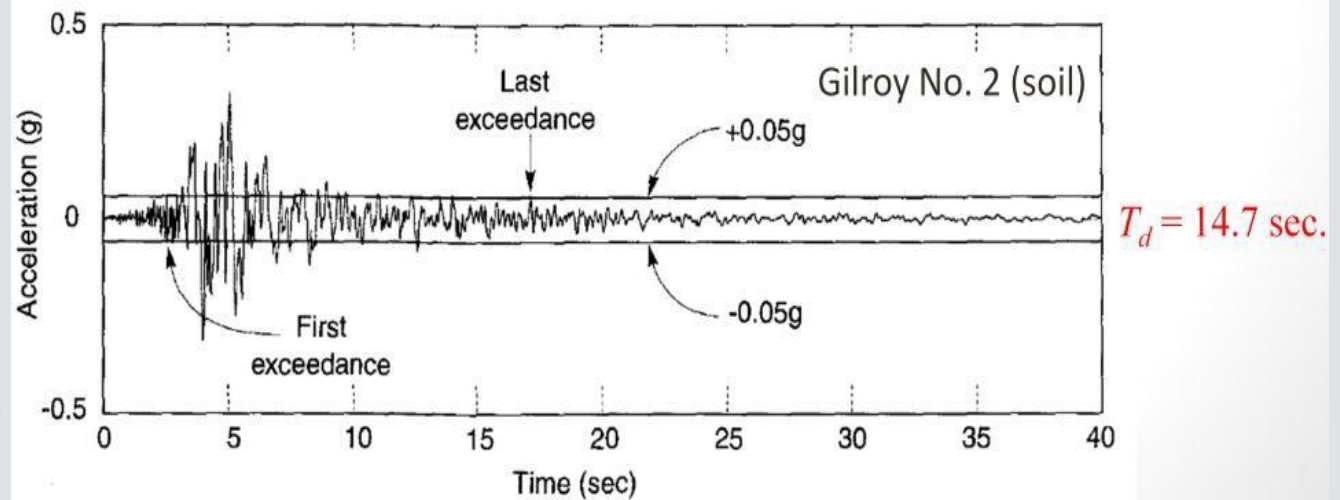
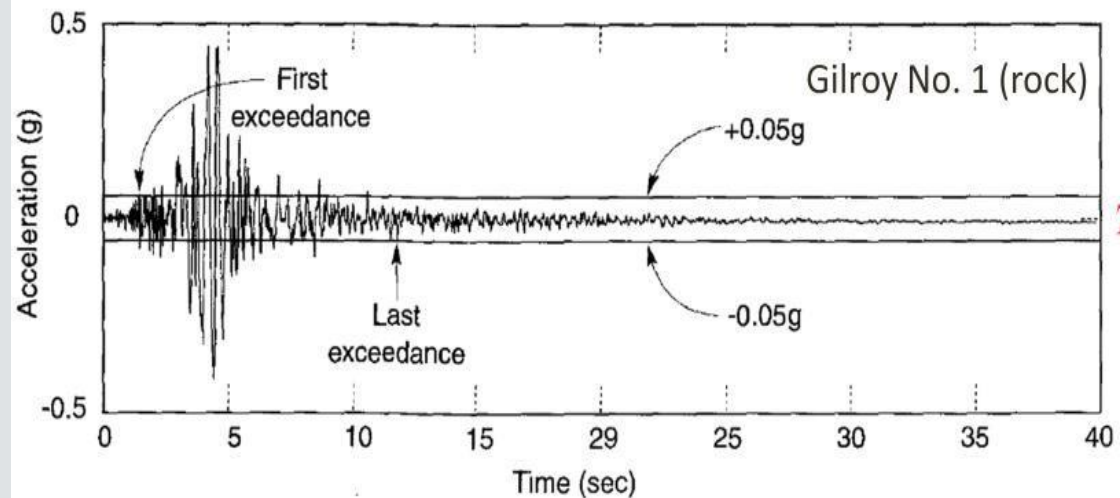
- Period corresponding to the maximum value of the Fourier amplitude spectrum
→
Resonance
- These Fourier amplitude spectra are the same the ones in the previous slide, but plotted against frequency
- To avoid the dominance of individual spikes of the Fourier amplitude spectrum, the predominant period is often obtained from a smoother spectrum
- $T_p(\text{top}) > T_p(\text{bottom}) \rightarrow$ Relative strength of the longer period (lower frequency) components of the Gilroy No. 1 (soil) motion
- Tall buildings are more in danger in soft soils

Predominant Period



- Duration, T_d , is related to the time required for release of accumulated strain energy by rupture along the fault
- As the length, or area, of fault rupture increases, the time required for rupture increases
- → Duration of strong motion increases with magnitude
- Different methods for determination of duration
 - Bracketed duration (Bolt, 1969) : Time between the first and last exceedances of a threshold acceleration (usually 0.05g)
 - Time interval between the points at which 5% and 95% of the total energy has been recorded (Trifunac and Brady, 1975)

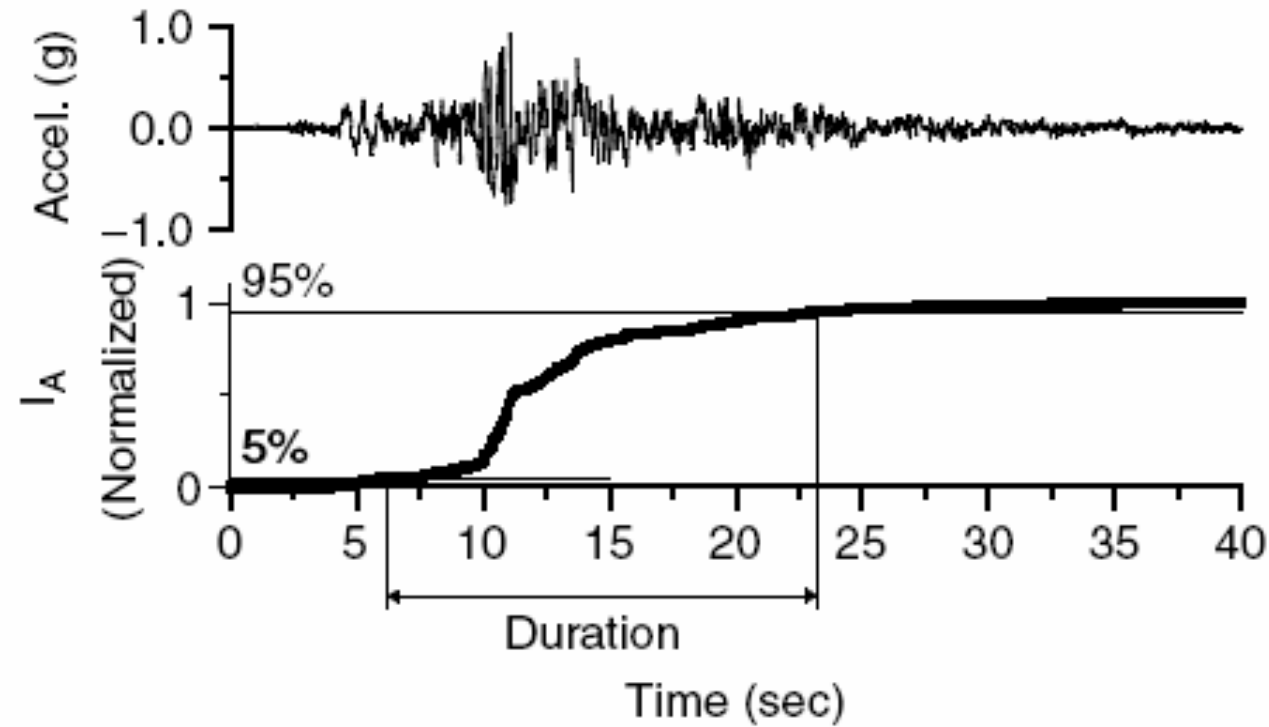
Duration



Duration of Ground Motion

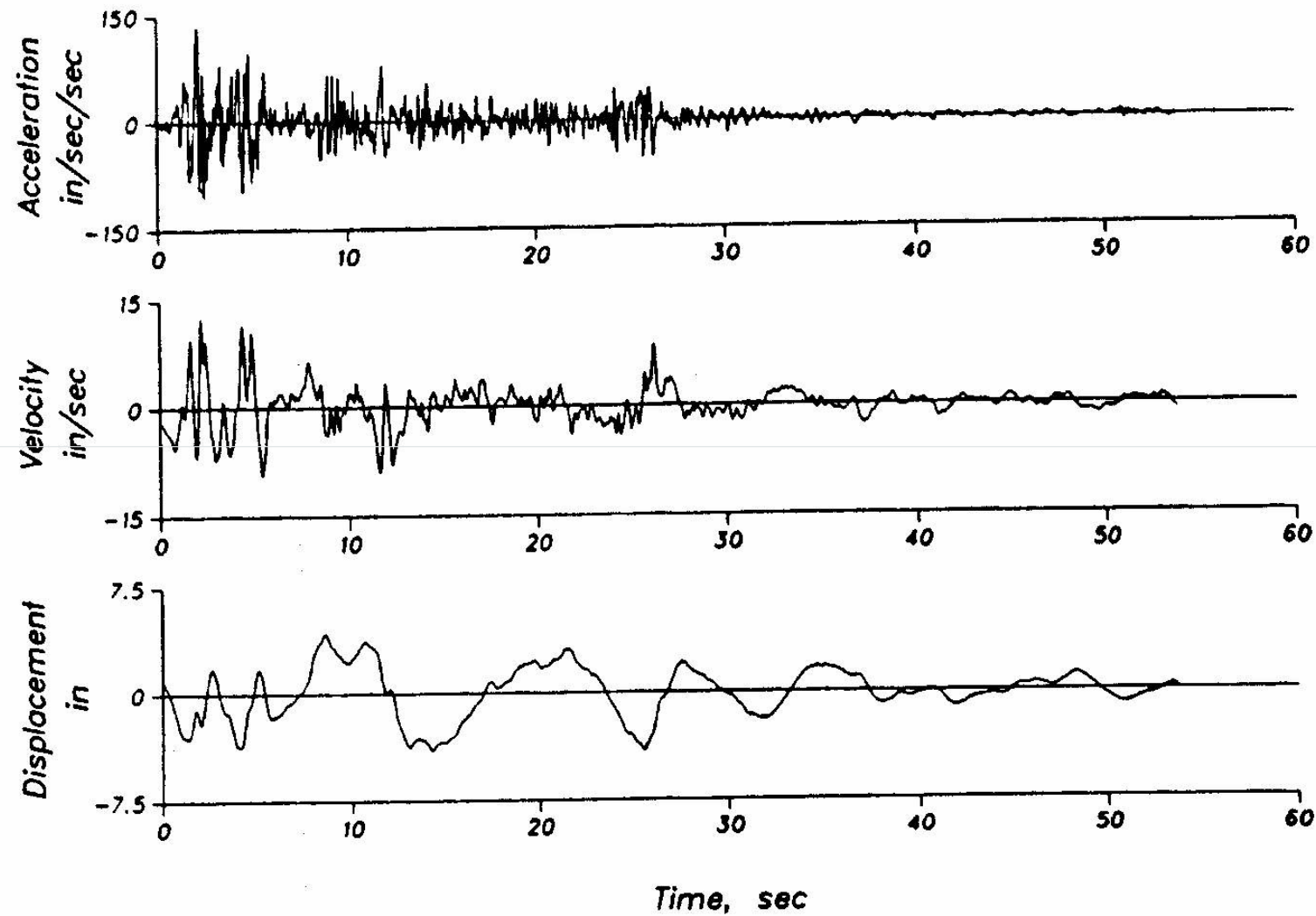
The two methods for computing duration of the records have been used as :

- Page and Bolt method: The first and last acceleration peaks greater than 0.05%g.
- Trifunac and Brady Method: the time interval in which significant contribution to the integral of square of acceleration referred to as accelerogram intensity take place. They selected the time interval between 5% and 95%.

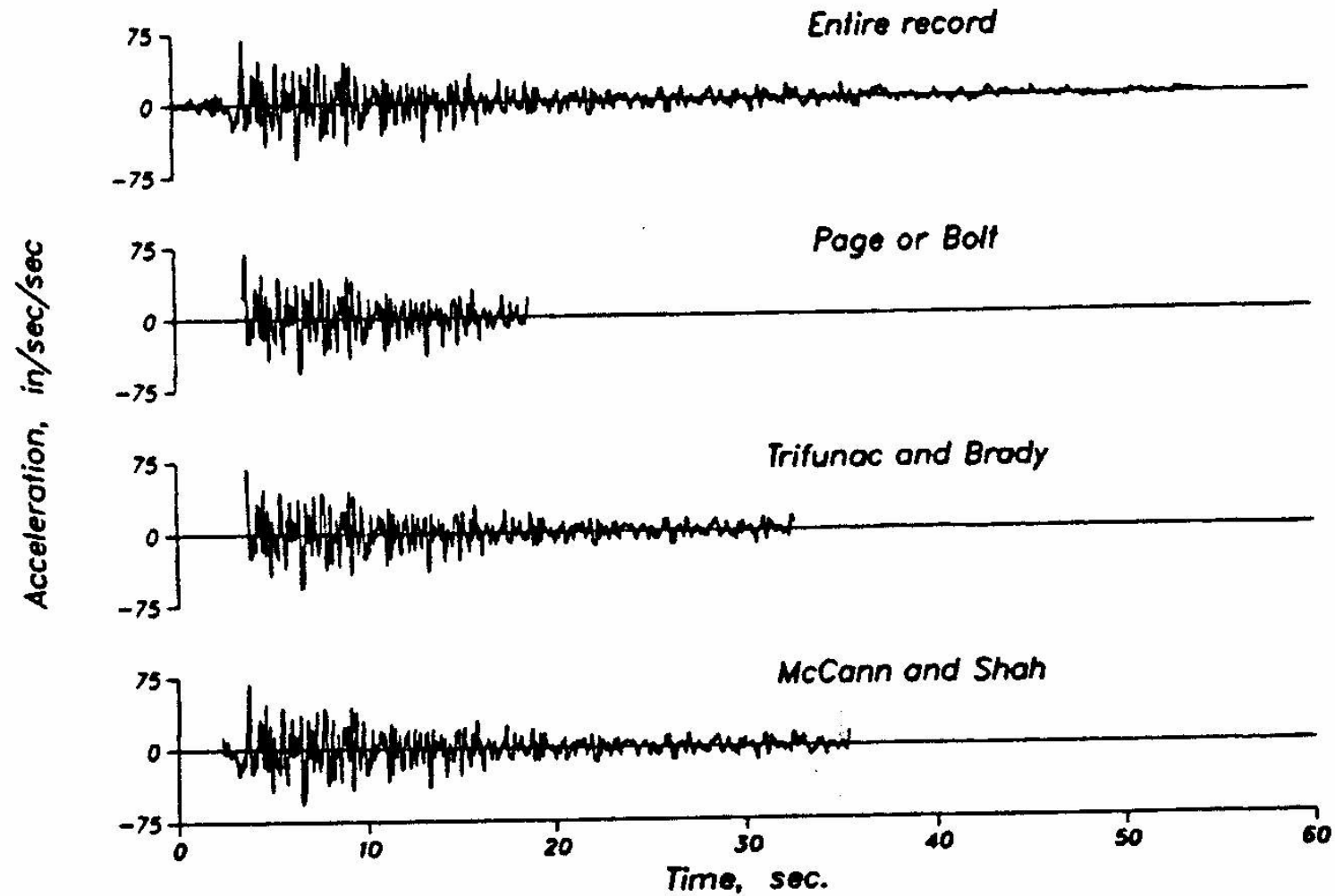


Ground acceleration of the 1978 Tabas, Iran, earthquake ($M_s = 7.4$) recorded at Tabas (N16W component), and the corresponding evolution of the Arias intensity.

Ground motions



Ground motions



Ground motions

Table 2-2. Comparison of Strong Motion Duration for Eight Earthquake Records

Record	Comp.	Method*	T_1 (sec)	T_2 (sec)	ΔT (sec)	RMS (cm/sec ²)	$\int a^2 dt$
El Centro, 1940	S00E	A	0.00	53.74	53.74	46.01	100
		B	0.88	26.74	25.86	65.16	97
		C	1.68	26.10	24.42	64.75	90
		D	0.88	26.32	25.44	65.60	96
	S90W	A	0.00	53.46	53.46	38.85	100
		B	1.24	26.64	25.40	54.88	95
		C	1.66	26.20	24.54	54.39	90
		D	0.80	26.62	25.82	24.73	96

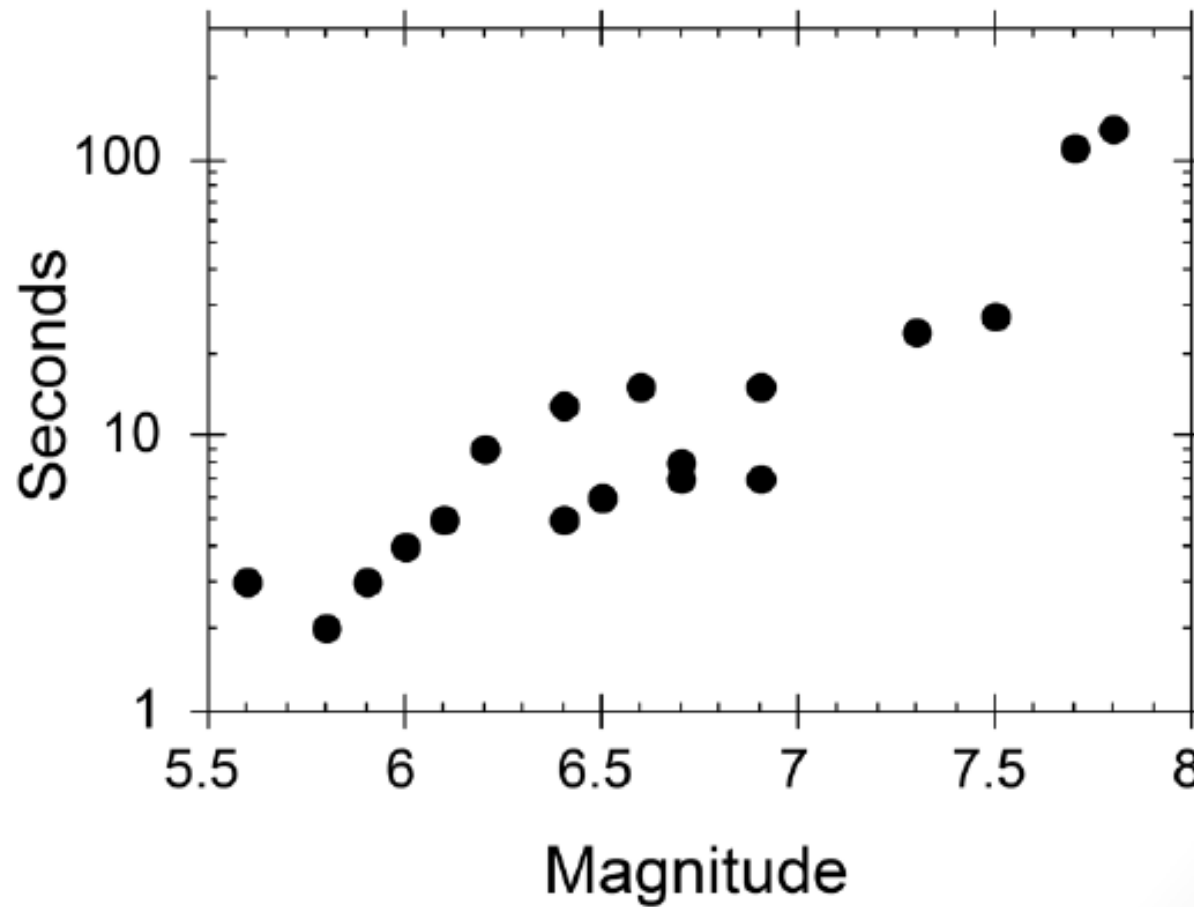
مدت زلزله (*duration*)

علاوه بر شتاب حداکثر زلزله (PGA)، مدت زلزله از عوامل موثر در ویرانی سازه می باشد. اگر زلزله ای دارای PGA بالا ولی $duration$ آن کم باشد، ممکن است سازه خراب نشود. سازه ممکن است چند ضربه اولیه قوی را تحمل کند ولی اگر زلزله به صورت حتی ضعیف چند ثانیه ادامه یابد، سازه شاید دیگر تاب ضربات ملایم بعدی را هم نداشته باشد. مدت زلزله تابعی از میزان انرژی آزاد شده است. بنابراین t (مدت زلزله) و M (بزرگی زلزله) با هم ارتباط دارند:

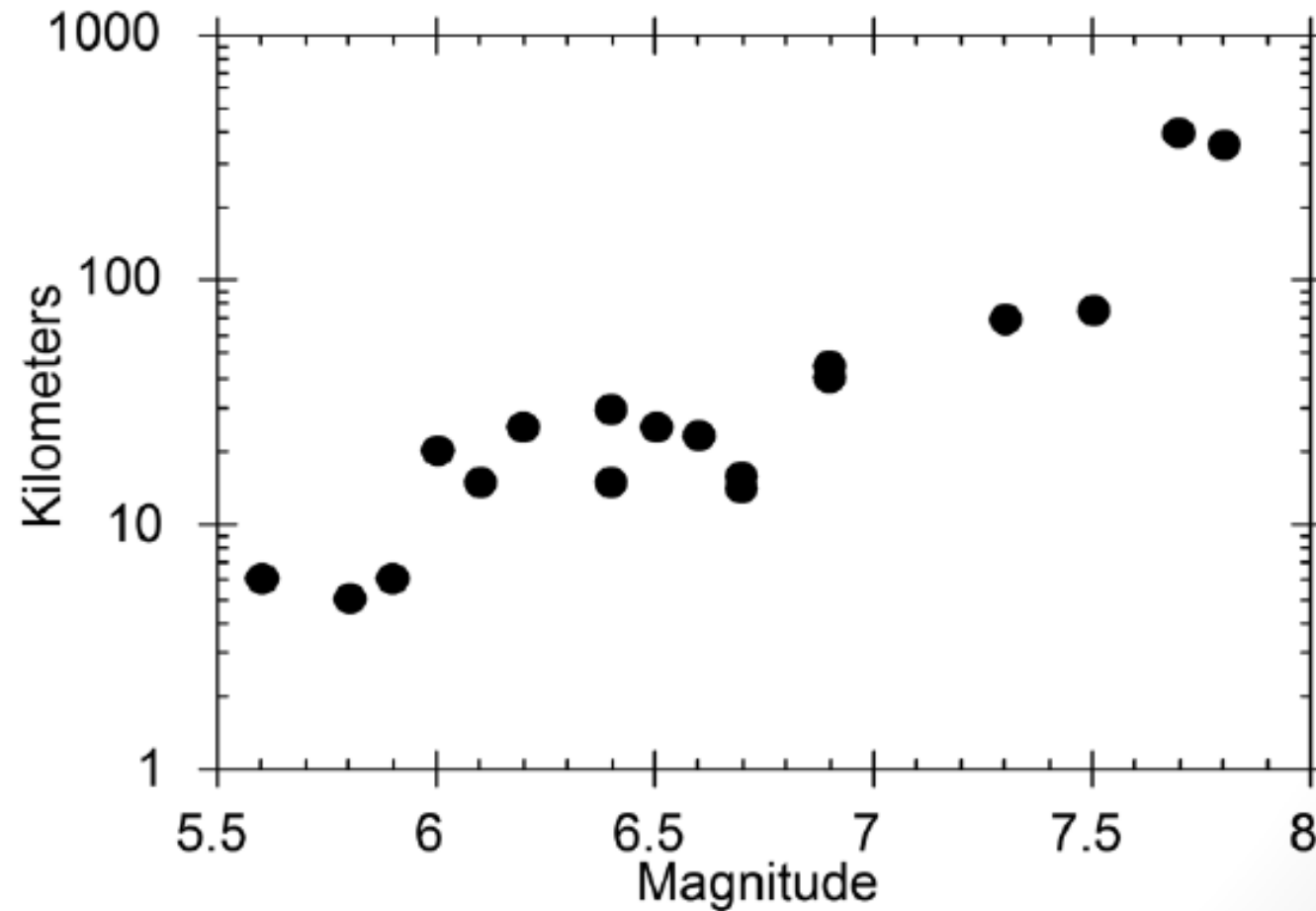
$$t = 11.5 M_S - 53 \text{ sec} \quad \text{رابطه امبر سز}$$

$$t = 30.9 \text{ sec} \rightarrow \text{ریشتر } M_S = 7.3 \text{ مثال}$$

Magnitude-Duration Correlation

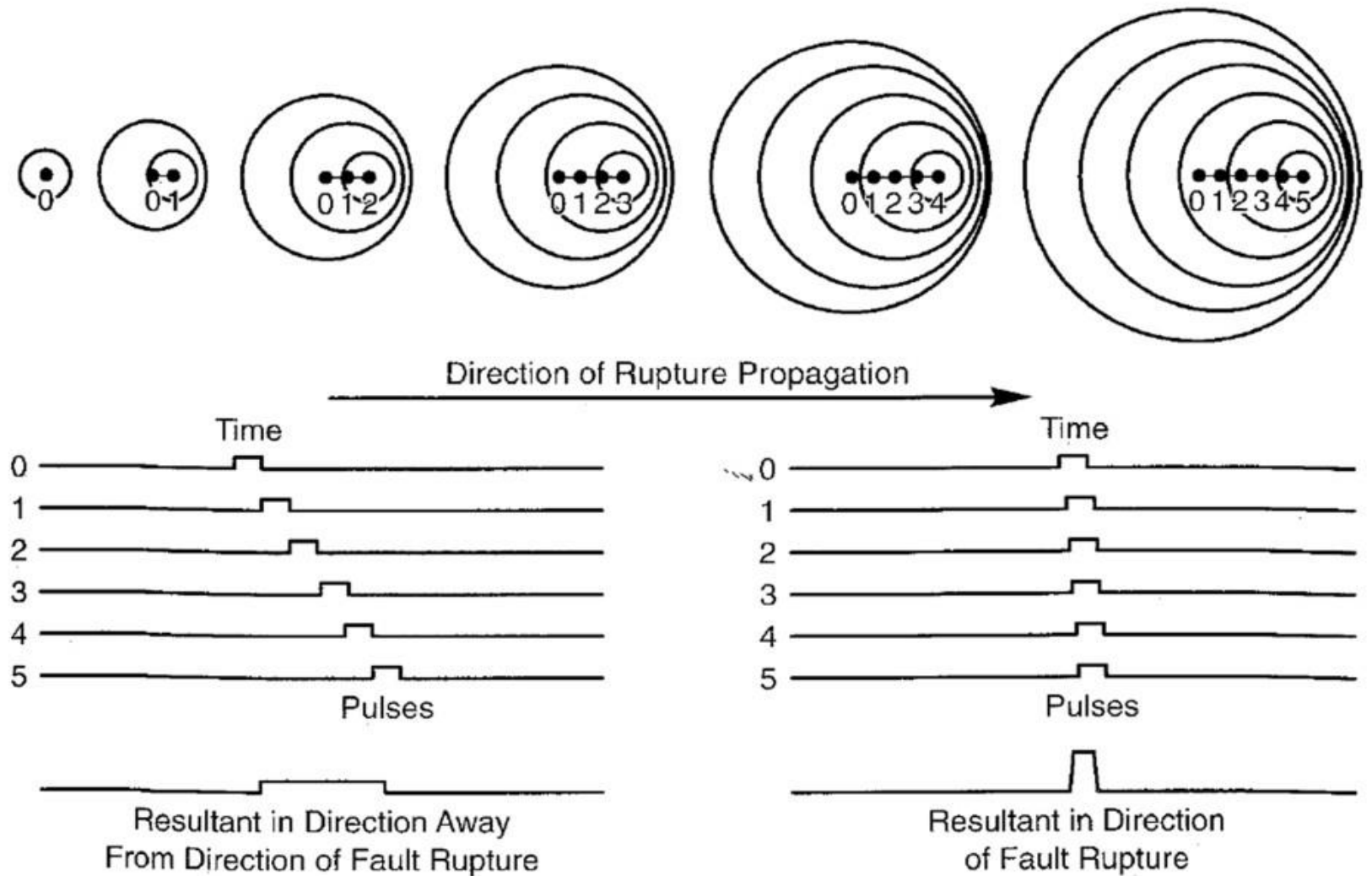


Magnitude-Fault Length Correlation



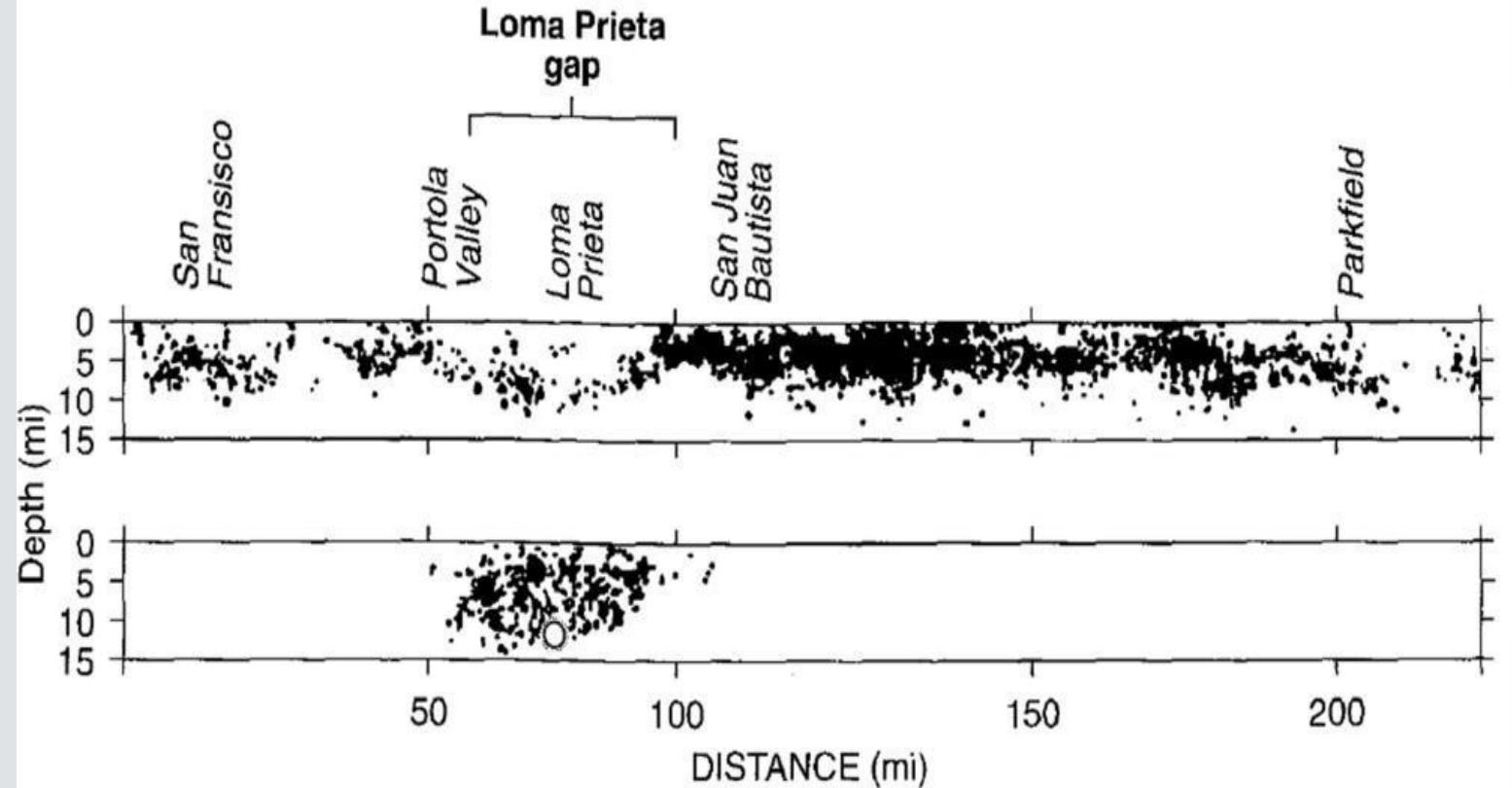
- Directivity: Focusing of wave energy along the fault in the direction of rupture
- Fling: Pulses of large displacement at sites toward which the rupture is progressing; produced by constructive interference of waves

Directivity and Fling



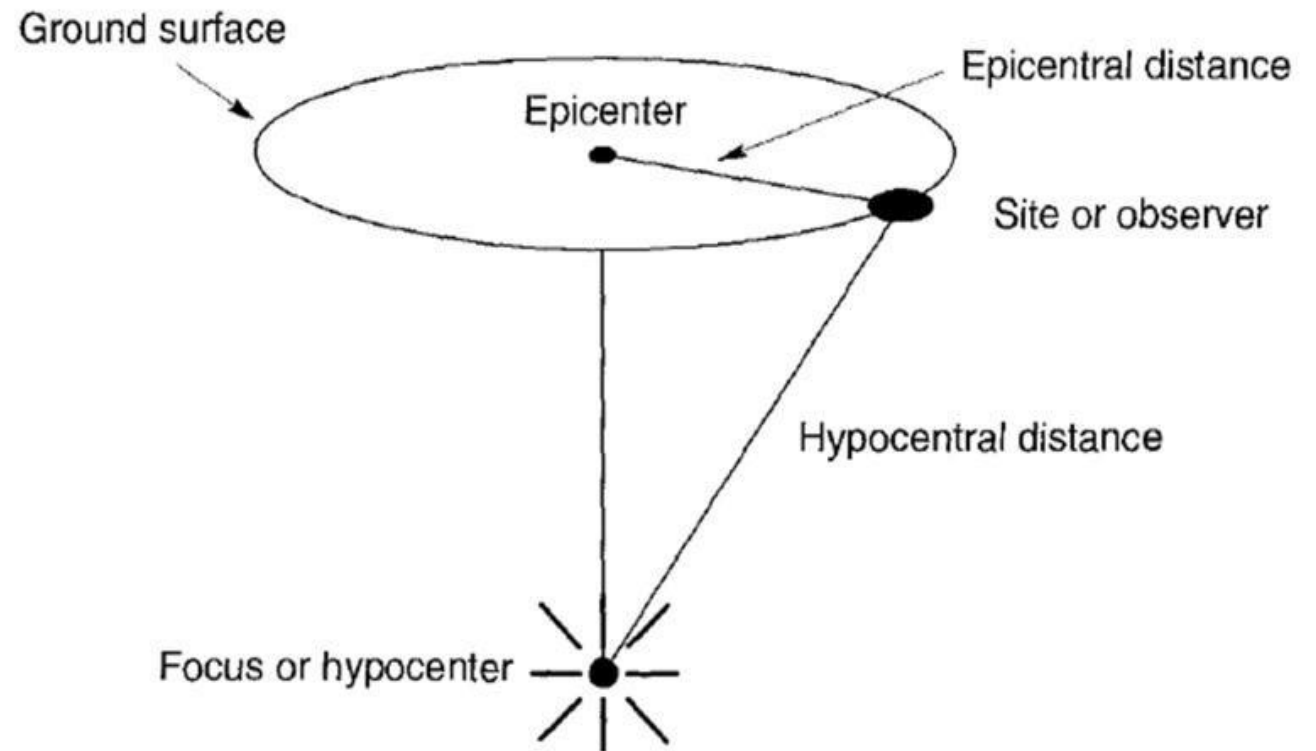
Seismic Gap

- Seismic gap: A segment of an active fault that has not slipped in an unusually long time compared with other segments
- 1989 Loma-Prieta earthquake occurred on a segment of the San Andreas fault that had previously been identified as a gap



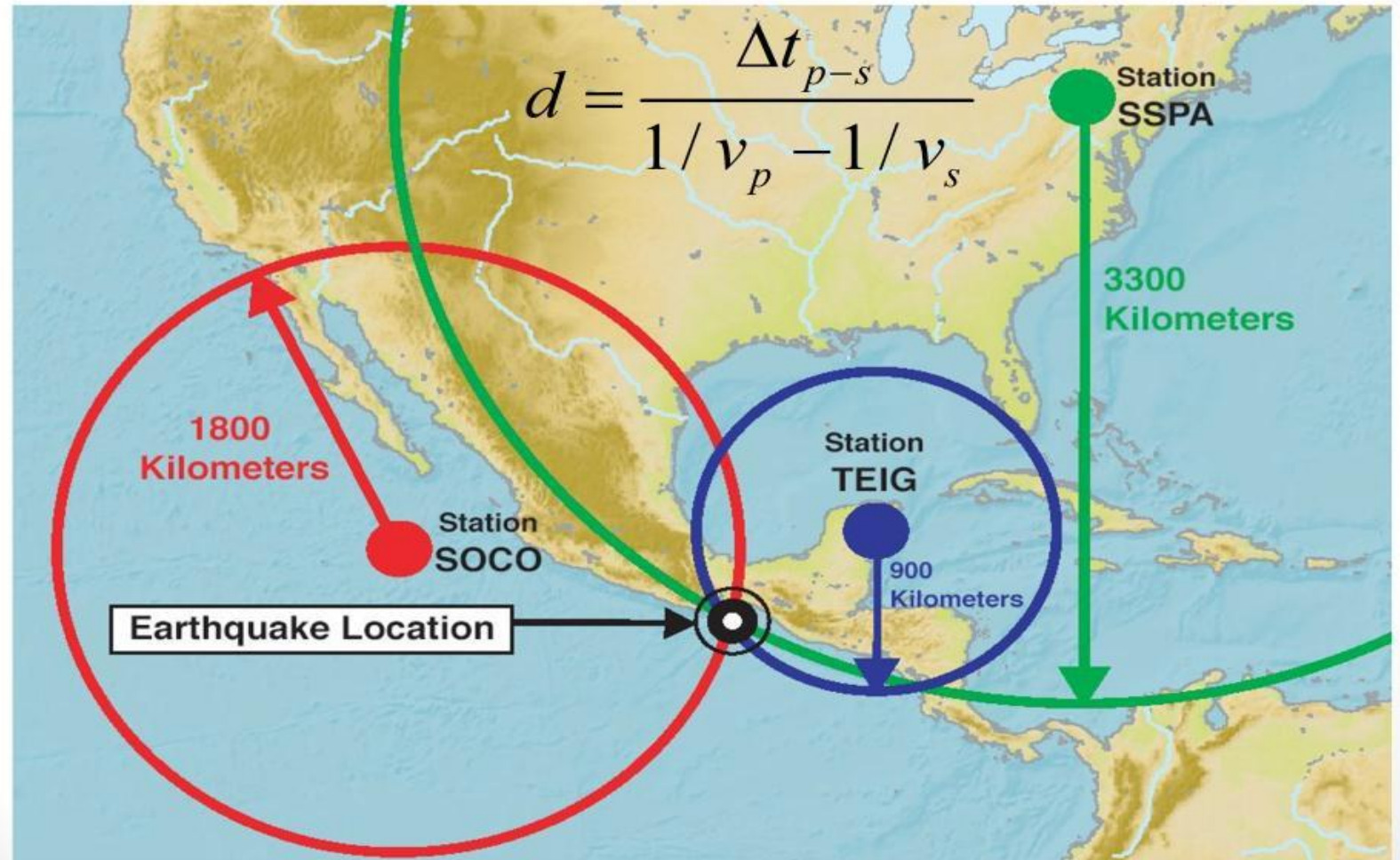
- focus, or hypocenter: Point at which rupture begins and the first seismic waves originate
- Rupture spreads across the fault at velocities of 2 to 3 km/sec
- Focus is located at some focal depth (or hypocentral depth) below the ground surface
- Epicenter: Point on the ground surface directly above the focus
- Epicentral distance: Distance on the ground surface between an observer or site and the epicenter
- hypocentral distance: Distance between the observer and the focus

Geometric Notation

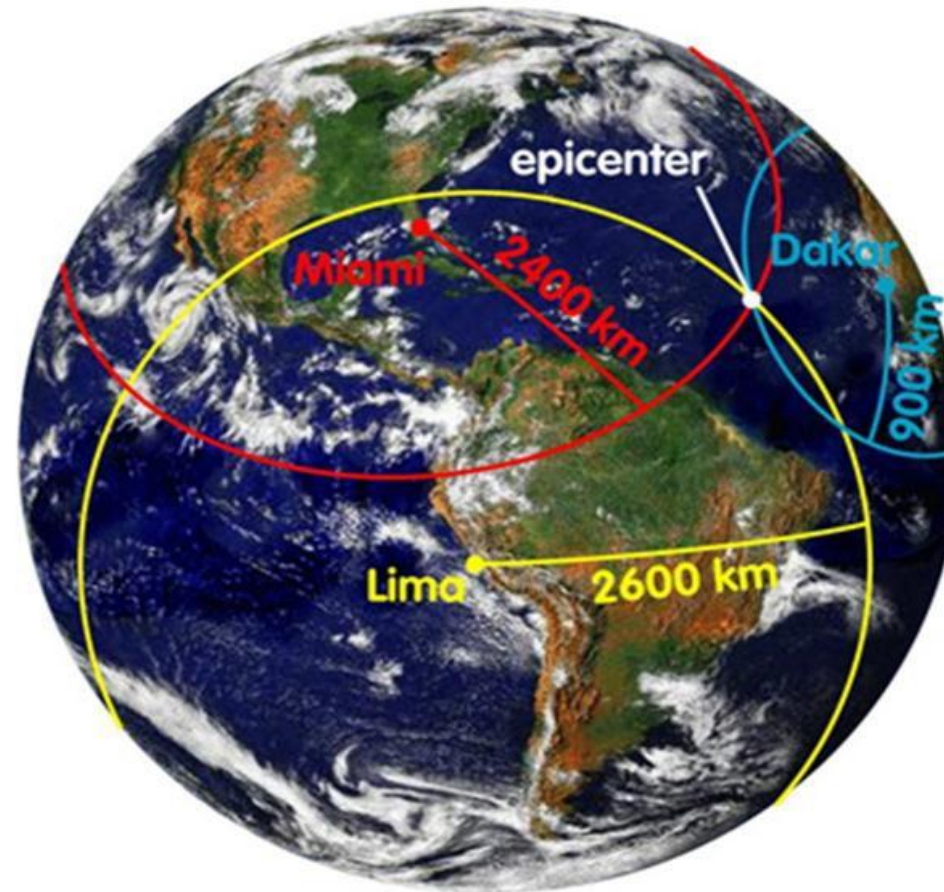


Determination of Location

- This is a preliminary method
- More refined estimates of the epicentral or hypocentral location are made using
 - Multiple seismographs
 - A three-dimensional seismic velocity model of the earth
 - Numerical optimization techniques



Determination of Location

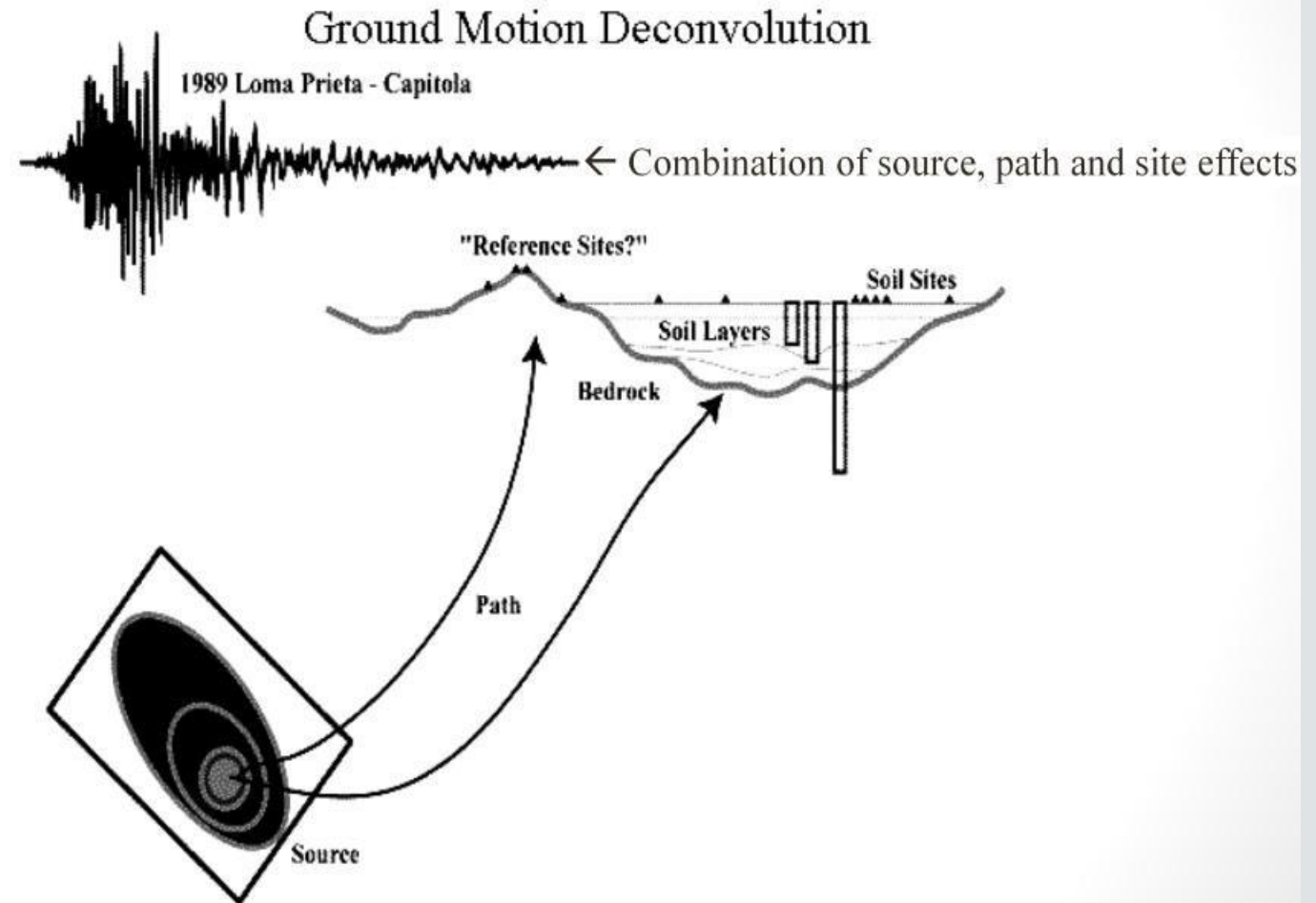


- This is a classic example of an inverse problem

Earthquake scenario: Source, Path, Site

- Source: what we talked about so far
- Path: Travel of waves
 - Distance: As waves travel away from a seismic source, geometric spreading reduces their amplitude; called *attenuation*
 - Crustal Structure: Tendency to transmit and absorb the energy in the seismic waves by the crust and mantle (reflection and refraction)
- Site (next slide)

Path



Site Effect

- Surface Geology

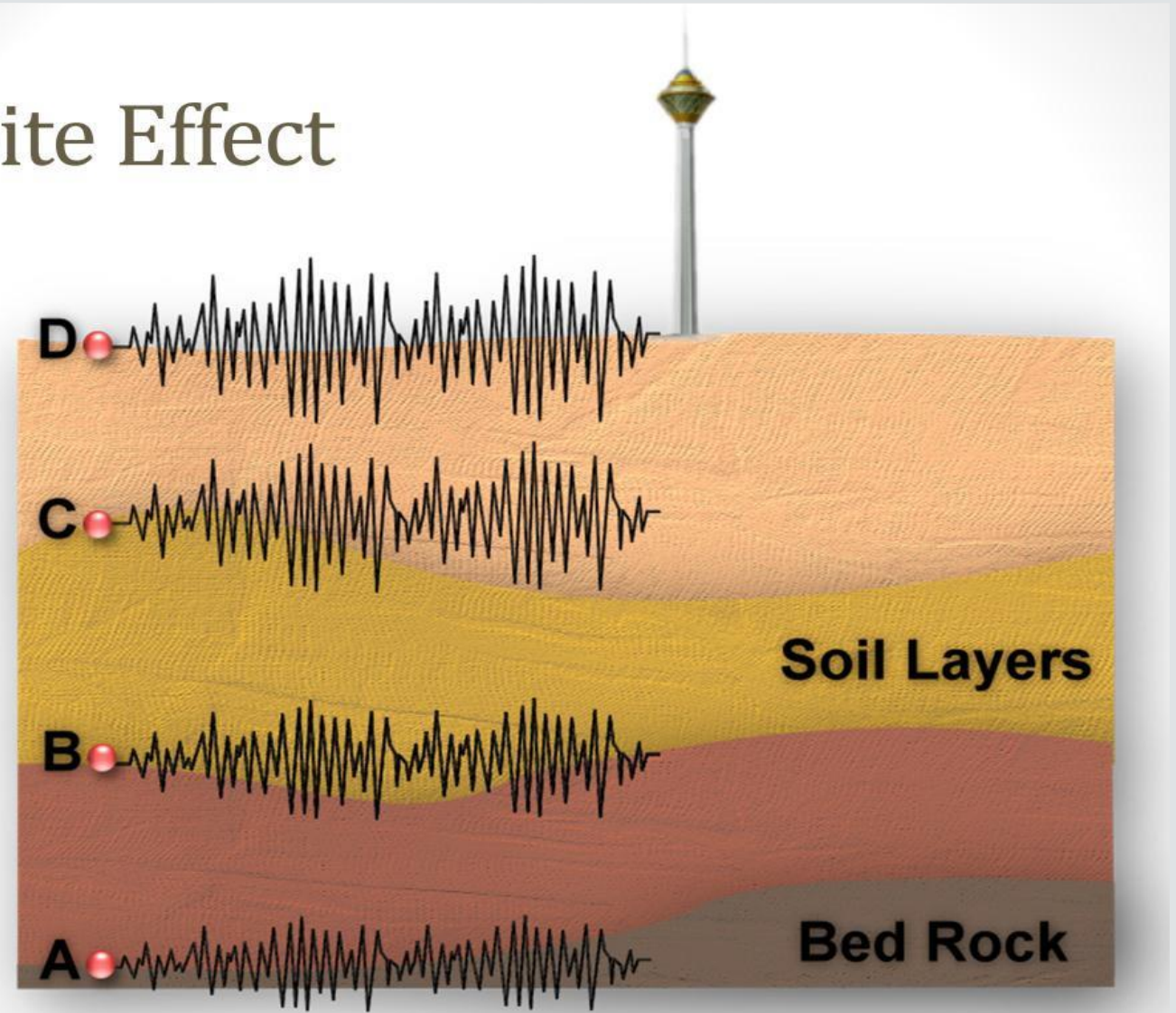
- Motion at the ground surface is the response of the soil layer to the input motion at the bedrock-soil interface
- Soil deposits amplify the ground motion through the phenomenon of impedance. Resonance can also cause significant amplification.

- Topography

- Presence of topographic features affects on the nature of the ground motion
- Many geometries give rise to topographic effects on ground motion

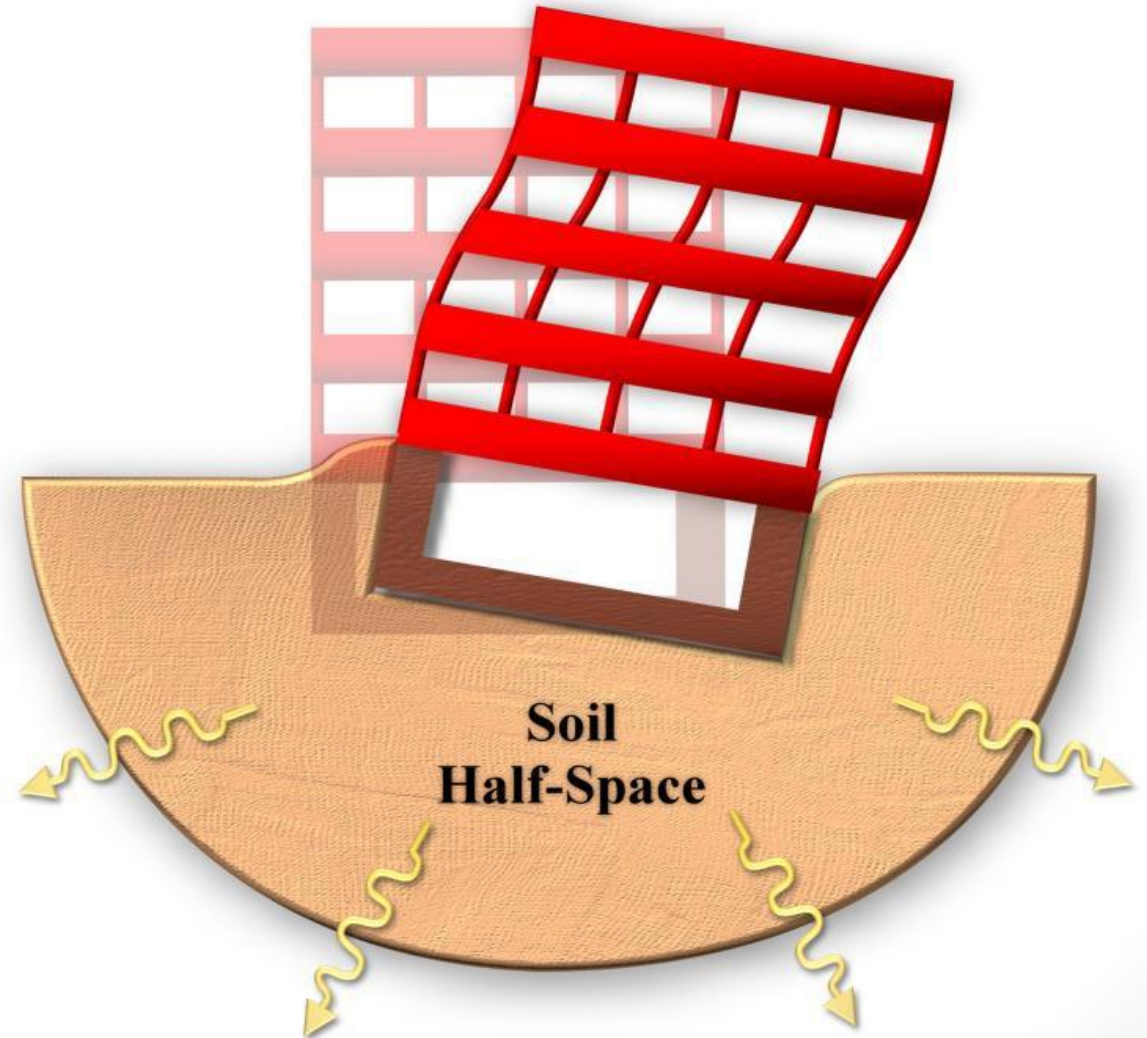
- Soil-structure interaction (next slide)

Site Effect



Soil-Structure Interaction

- Soil-structure interaction:
Presence of structures
modifies the ground
motion through interaction
with the soil and
foundation



زلزله های غیر تکنوتیک

زلزله هایی که بوسیله رهایی ناگهانی انرژی اندوخته شده در پوسته زمین ایجاد می شوند به زلزله های تکنوتیک (*Tectonic earthquakes*) خوانده می شود. زلزله های غیر تکنوتیکی، به علل دیگر رخ می دهند.

- ممکن است ریزش کوه (*rock falls*)، فروریختن غارها و فعالیت های آتشفشانی موجب زلزله های کوچک شود.

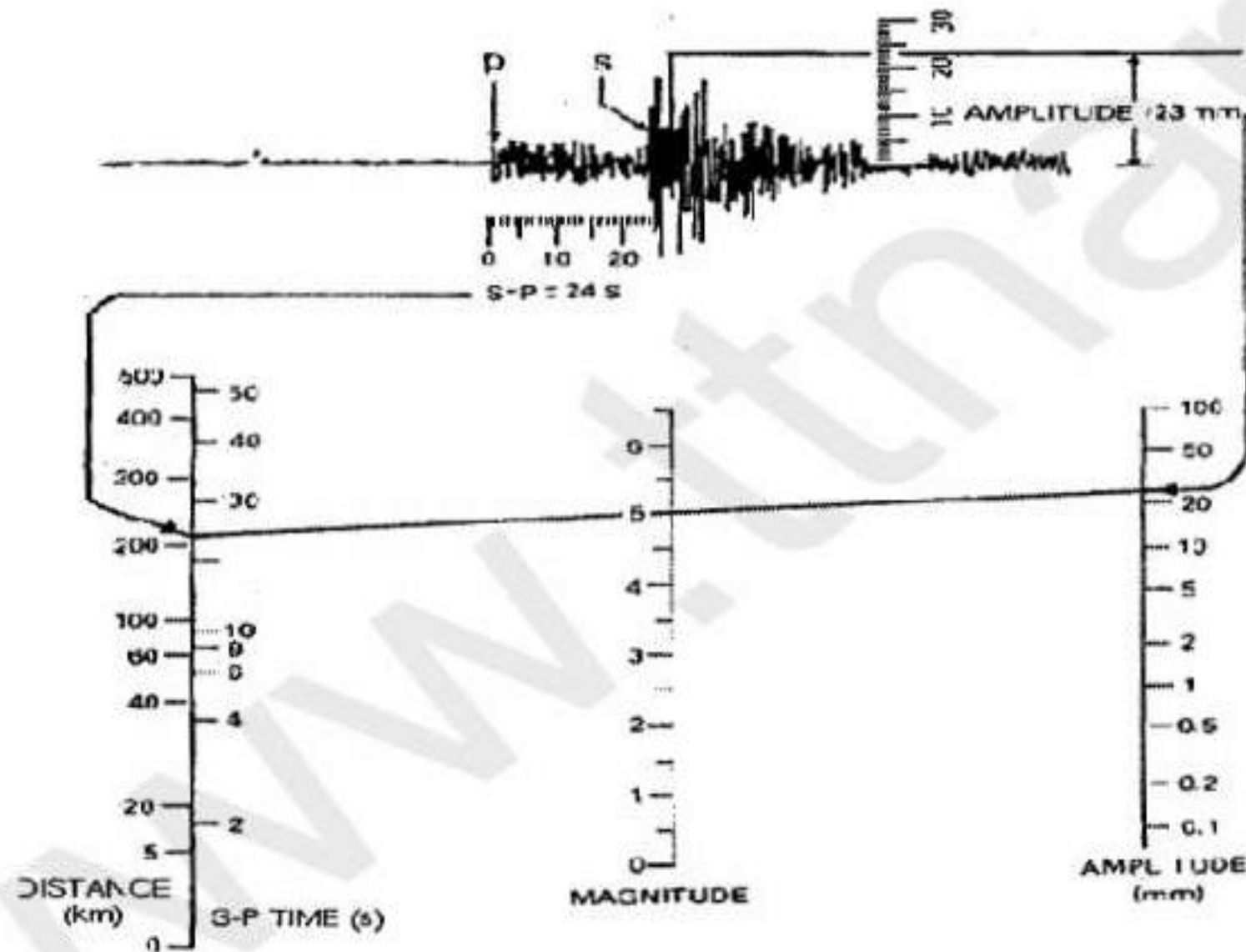
- فعالیتهای انسانی نیز می تواند موجب زلزله شوند، از میان این عاملها می توان ساخت سد و ذخیره نمودن حجم زیادی آب در پشت آن را نام برد که سبب افزایش فشار وارد بر سنگها می گردد. در بعضی از نواحی مشاهده شده که این زلزله ها مخرب بوده و بزرگی آنها از ۶ ریشتر تجاوز کرده است.

- انفجارهای هسته ای نیز می توانند به پیدایش زلزله کمک کنند. بطور مثال در سال 1976 آمریکا دست به یک سری آزمایشات هسته ای زد و بمبی به قدرت ۱۰ برابر بمب هیروشیما را آزمایش کرد. یک روز بعد در کشور گواتمالا زلزله ای به بزرگی 7.5 ریشتر رخ داد.

۱-۲) بزرگای زلزله

زلزله‌شناسان برای بیان انرژی آزاد شده در زلزله و قدرت آن از مقیاس بزرگای زلزله استفاده می‌کنند. هر زلزله میزان انرژی مشخص و واحدی دارد، اما هنگامی که مقادیر بزرگای همین زلزله توسط مراکز زلزله‌شناسی اعلام می‌شود، شاهد تفاوت در این مقادیر هستیم. دلیل این امر آن است که بسته به موقعیت و فاصله یک زلزله از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و نیز اندازه بزرگی یک زلزله، روشهای متفاوتی برای بیان بزرگای آن بکار می‌رود. حتی در استفاده از یک معیار واحد بزرگا نیز عدم قطعیت ناشی از فرضیات موجود در حدود 0.3 واحد است و نیز ممکن است مقداری که یک آژانس زلزله‌شناسی امروز گزارش کرده، با گذشت زمان و رسیدن اطلاعات بیشتر و پردازشهای بعدی دچار تغییر شود.

اولین مقیاس بزرگای زلزله توسط چارلز ریشر^۱ در ۱۹۳۵ پیشنهاد شد. وی دریافت که اندازه‌گیری دامنه امواج^۲ تشعشع شده در زلزله‌های مختلف روش مناسبی برای بیان بزرگی آنها است. ریشر نشان داد که هرچه انرژی آزاد شده طی یک زلزله بیشتر باشد، میزان دامنه حرکت زمین در یک فاصله ثابت از آن بیشتر است. وی مقیاس بزرگای خود را با اندازه‌گیری دامنه حداکثر امواج برشی روی یک دستگاه لرزه‌نگار^۳ خاص به نام وود-اندرسون^۴ که عمدتاً به امواج برشی با دوره تناوب حدود یک ثانیه حساس است، کالیبره کرد. گرچه مقیاس ریشر ابتدا برای این دستگاه خاص بدست آمد و با زلزله‌های کالیفرنای جنوبی مقیاس شد، اما زلزله‌شناسان بعداً ضرایب مقیاس دیگری برای سایر نواحی و سایر انواع دستگاه‌های لرزه‌نگار بدست آوردند و دامنه کاربرد آنها به دیگر نقاط جهان گسترش دادند^۵. این مقیاس امروزه به نام M_L یا بزرگای محلی شناخته می‌شود. شکل زیر نحوه استفاده روش اصلی ریشر برای اندازه‌گیری بزرگی زلزله‌ها در کالیفرنای جنوبی را نشان می‌دهد.



نحوه استفاده روش اصلی ریشتر برای اندازه گیری بزرگی زلزله ها در کالیفرنای جنوبی

رابطه‌ای که نمودار فوق بر اساس آن ترسیم شده، بصورت زیر است:

$$M_L = \log A(mm) + 3.0 \log_{10}[8\Delta t(sec)] - 2.92$$

بنابر این بعد از اندازه‌گیری بزرگی دامنه موج در واحد میلیمتر، لگاریتم آن محاسبه شده و سپس با توجه به فاصله ایستگاه لرزه‌نگار از زلزله مقیاس می‌شود. فاصله مزبور به کمک تفاضل زمان رسید امواج فشاری و برشی به این ایستگاه، Δt تخمین زده می‌شود.

- چون امکان کمی وجود دارد که همیشه در فاصله صد کیلومتری مرکز زلزله ایستگاه داشته باشیم ، از رابطه زیر استفاده می شود:

$$M = \text{Log}_{10}^A - \text{Log}_{10}^{A_0} = \text{Log}_{10}^{A/A_0}$$

A : دامنه بیشینه لرزه نگاشت در یک ایستگاه دلخواه برای زلزله مورد نظر (میکرون)

A_0 : دامنه بیشینه لرزه نگاشت در آن ایستگاه دلخواه برای زلزله استاندارد (میکرون). این مقدار عدد استاندارد است که وابسته به فاصله از دستگاه دارد.

- این درجه ها را درجه محلی (*Local magnitude; M_L*) نیز می گویند. علت آن این است که در دستگاه وود اندرسون فقط امواج با پریود زیر 0.8 ثانیه ثبت می شود. از آنجا که فقط زلزله های نزدیک به لرزه نگار (زلزله های محلی) دارای پریود کم هستند، بنابراین این درجه را درجه محلی گویند.

همانگونه که مشخص است مقیاس بزرگای محلی که بر مبنای اندازه دامنه امواج

برشی قرار دارد در فواصل دورتر، بدلیل کاهندگی سریع این امواج، کارآیی خود را از دست می‌دهد؛ بنابراین زلزله‌شناسان بزرگای دیگری بر اساس اندازه‌گیری دامنه امواج سطحی^۲ دورلرزه‌ای^۳ ($15^\circ < \Delta < 130^\circ$) پیشنهاد کرده‌اند^۴

$$M_S = \log A + 1.656 \log \Delta + 1.818$$

در اینجا A مولفه افقی حداکثر جابجایی زمین در واحد میکرون^۵ ناشی از امواج سطحی با پریود غالب ۲۰ ثانیه است.

- برای ثبت زلزله های دور دست به لرزه نگار های با پریود بالا مثلا 20^{sec} نیاز است تا بزرگی از روی سطح امواج سطحی بدست آید. این بزرگی را M_s می نامند.

$$M_s = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66 \log \Delta + 3.3$$

A دامنه جابجایی پیشینه زمین در محل لرزه نگار

T پریود مربوط به جابجایی پیشینه

Δ زاویه بین مرکز زلزله و ایستگاههای لرزه نگاری نسبت به مرکز کره زمین

دلیل انتخاب پریود ۲۰ ثانیه آن است که امواج با پریود کمتر از ۱۰ تا ۱۵ ثانیه با توجه به برخورد با ناهمگنی‌های موجود در پوسته زمین دچار تفرق می‌شود و امواج با پریود بیش از ۲۵ ثانیه نیز بدلیل تلاقی با لایه‌های زیرین پوسته (آستنوسفر) بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد. همچنین ضریب بزرگنمایی دستگاه‌های لرزه‌نگاری متعارف نیز در پریودهای بالای ۲۰ ثانیه کاهش می‌یابد. یک مقیاس مهم دیگر بر مبنای اندازه‌گیری دامنه امواج حجمی دورلرزه‌ای بناشده و به مقیاس امواج حجمی^۷ موسوم است

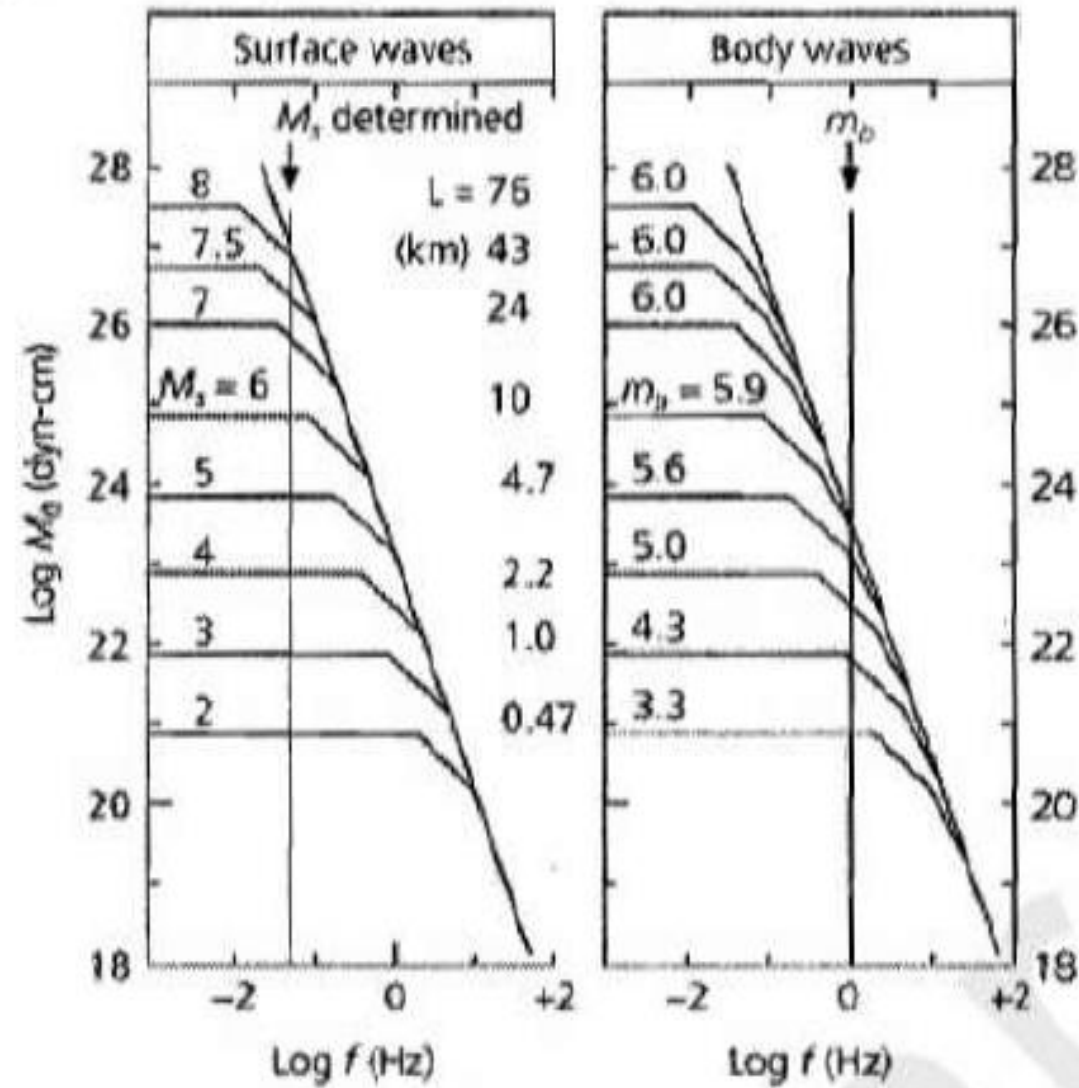
$$m_b = \log(A/T) + Q(\Delta, h)$$

در اینجا Q تابعی از فاصله رومرکزی زلزله و h عمق آن است. A/T میزان حداکثر دامنه ثبت شده به پریود موج (میکرون بر ثانیه)) است. معمولاً اندازه‌گیری بر روی دستگاه‌های پریود کوتاهی صورت می‌گیرد که امواج فشاری با پریود حدود یک ثانیه را نشان می‌دهد.

بزرگای ریشتر یا محلی (M_L)	اثرات زلزله
< 3.5	ریز لرزه‌ها. عموماً احساس نمی‌شود؛ اما ثبت می‌شود.
$3.5 - 4.5$	زلزله کوچک. اغلب احساس می‌شود؛ اما به ندرت سبب خسارت می‌شود.
< 6.0	زلزله متوسط. می‌تواند سبب خسارات عمده به سازه‌های ضعیف در نواحی کوچکی شود. در بدترین حالت سبب خسارت سبک در سازه‌های با طراحی مناسب می‌شود.
$6.1 - 6.9$	زلزله متوسط. می‌تواند در نواحی تا صد کیلومتر سبب خسارت در نقاط مسکونی شود.
$7.0 - 7.9$	زلزله بزرگ. می‌تواند سبب خسارت جدی در نواحی وسیعی شود.
≥ 8.0	زلزله عظیم. خسارات جدی تا فواصل صدها کیلومتری ایجاد می‌شود.

۱-۲-۱) اشباع شدگی بزرگ:

یکی از اشکالات مقیاسهای تجربی بزرگای زلزله که تا کنون معرفی شد، اشباع شدن در یک بزرگای خاص است. به عبارتی با فراتر رفتن از یک بزرگای خاص، این مقیاس قادر نیست میان بزرگاهای متفاوت تمایز و تفکیک قایل شود. همانگونه که در شکل زیر دیده می‌شود، مقیاس بزرگای امواج حجمی که بر مبنای اندازه دامنه موج حجمی در زمان تناوب یک ثانیه قرار دارد، از بزرگای حدود $m_b \sim 6.0$ اشباع می‌شود و نمی‌تواند بزرگاهای بیش از این مقدار را از هم تفکیک کند. بزرگای امواج سطحی که بر اساس اندازه‌گیری دامنه موج سطحی در زمان تناوب بیست ثانیه قرار دارد، از بزرگای بیش از $M_s \sim 8.0$ دچار اشباع‌شدگی می‌شود.



پدیده‌ی اشباع شدگی بزرگا

- Moment magnitude:
 - Most magnitude scales are empirical
 - As the amount of energy released increases, the ground-shaking characteristics do not necessarily increase at the same rate
 - Saturation: For strong earthquakes, the measured ground-shaking characteristics become less sensitive to the size of the earthquake than for smaller earthquakes
 - Body wave and Richter local magnitudes saturate at magnitudes of 6 to 7
 - Surface wave magnitude saturates at about $M_s = 8$
 - Only magnitude scale that is not subject to saturation is the *moment magnitude*
 - Because it is based on the seismic moment, which is a direct measure of the factors that produce rupture along the fault

- Seismic moment:

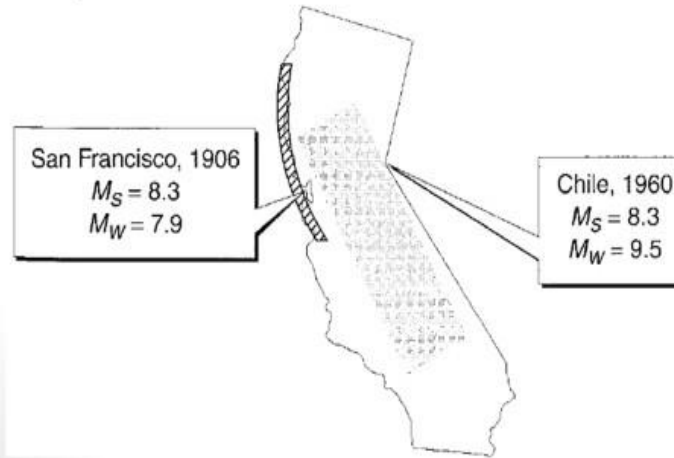
A measure of the work done by the earthquake

- μ : rupture strength of the material along the fault
- A : rupture area
- D : average amount of slip
- Seismic moment is named for its units of force times length

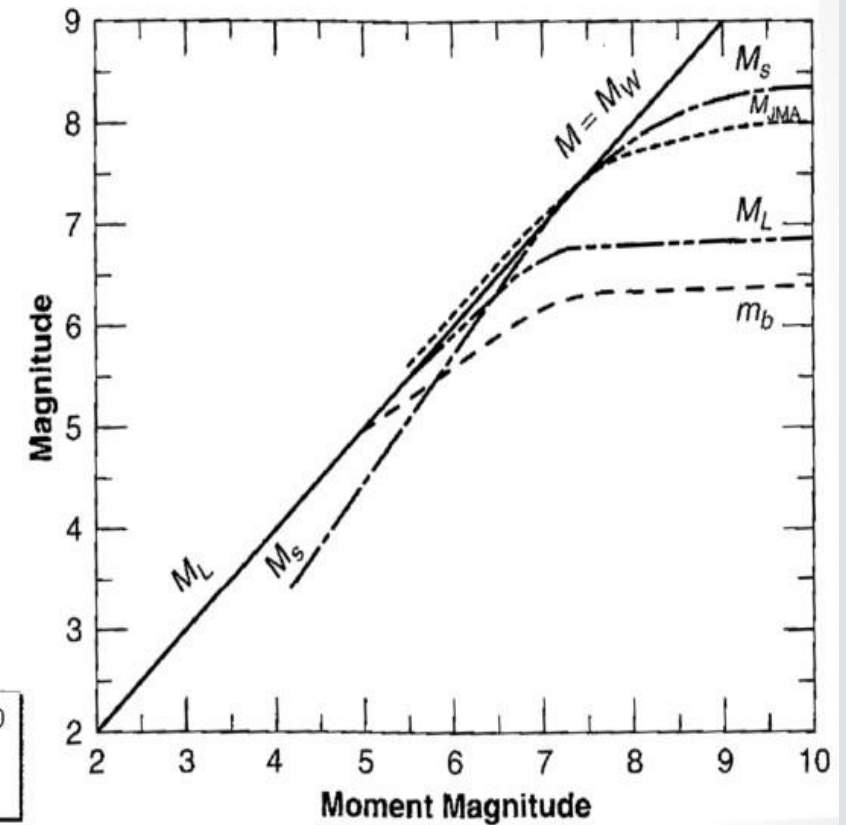
$$M_0 = \mu \cdot A \cdot \bar{D}$$

$$M_w = \frac{2}{3}(\log_{10}(M_0) - 9.1)$$

M_0 in $\text{N} \cdot \text{m}$



Seismic Moment



۱-۲-۱) ممان لرزه‌ای^۱

زلزله‌شناسان در سالهای اخیر موفق شده‌اند که برای اندازه‌گیری بزرگی زلزله مقیاس استاندارد M_0 که کاملاً مستقل از نوع وسیله ثبت‌کننده و نوع موج ثبت‌شده باشد، ارائه دهند. این بزرگا که به نام بزرگای لنگری^۲ نامیده شده است، نخستین بار با کاربرد مفهوم ممان لرزه‌ای که توسط اکی در ۱۹۶۴ پیشنهاد شد، بدست آمد. برای آنکه مفهوم ساده ممان لرزه‌ای را بیان کنیم باید گفت که هر نوع ناپیوستگی مکانی (جابجا شدن دو وجه گسل نسبت به هم) در زمین که سبب ایجاد زلزله می‌شود را می‌توان با یک لنگر یا ممان معادل در داخل زمین جایگزین کرد، به نحوی که در صورت اعمال این لنگر در روی گسل دقیقاً همان حرکاتی تولید شود که زلزله سبب ایجاد آنها شده بود. در بخشهای بعدی با استفاده از قضیه معرف و روابط فیزیکی این هم‌ارزی را نشان خواهیم داد. اما در اینجا به این اکتفا می‌کنیم که لنگر زلزله به صورت حاصل ضرب سختی برشی سنگهای زمین، μ در مساحت گسل، A در میزان متوسط لغزش روی آن، $\bar{D}$ بیان می‌شود، یعنی می‌توان نوشت^۳: $M_0 = \mu A \bar{D}$ و رابطه‌ای که برای ارتباط بزرگای لنگری به لنگر زلزله استفاده می‌شود به صورت زیر است

$$M_w = \frac{2}{3} [\log_{10} M_0 - 16.0]$$

که در این رابطه واحد لنگر زلزله بر حسب دین^۴ سانتیمتر است. بزرگای لنگری که بر مبنای اندازه ممان M_0 قرار دارد^۱ با اندازه گیری سطح طیف در فرکانسهای خیلی پایین (پریودهای بلند) بدست می آید و لذا مشکل اشباع شدگی را ندارد. هم بزرگا و هم ممان لرزه ای به میزان انرژی تشعشع شده طی یک زلزله ارتباط دارد. اما گرچه مقیاسهای بزرگای مختلف ابزاری جهت مقایسه زلزله ها است، اندازه کلی یک زلزله با ممان لرزه ای بهتر توصیف می شود. انرژی آزاد شده طی یک زلزله نیز می تواند معرفی از میزان اندازه آن باشد. این انرژی را می توان با جمع انرژی پتانسیل و جنبشی ذرات محیط بدست آورد.

رابطه بین انرژی آزاد شده با بزرگی (رابطه تجربی)

انرژی الاستیک آزاد شده، بخشی صرف خرد شدن سنگها و جابجایی گسل ها می شود و بخشی دیگر به صورت امواج زلزله انتشار می یابد. رابطه بین بزرگی زلزله و انرژی آزاد شده به قرار زیر است:

$$\log E = 4.8 + 1.5 M \quad \text{رابطه گونتبرگ - ریشتر}$$

در این رابطه E انرژی آزاد شده بر حسب ارگ ($10^7 \text{ ergs} = 1 \text{ j}$) است. با افزایش یک واحد به بزرگی زلزله، انرژی آزاد شده توسط آن 32 برابر می شود. با 2 واحد افزایش در بزرگی، انرژی آزاد شده زلزله ۱۰۰۰ برابر می شود.

شدت زلزله (Earthquake Intensity)

تعیین اندازه زلزله توسط پارامترهای مختلفی انجام می شود. شدت زلزله که به مقیاس مرکالی مشهور است، در سال 1904 توسط مرکالی پیشنهاد شد و بعدها اصلاح گردید و با نام مقیاس اصلاح شده مرکالی شناخته شد. این مقیاس شدت زلزله را به صورت تابعی از احساس و دریافت انسان و موجودات زنده از زلزله و نیز تاثیر بر ساختمان بیان می کند.

مقیاس اصلاح شده مرکالی یک مقیاس دقیق مهندسی برای اندازه گیری شدت تکان زمین نمی باشد، بلکه یک مقیاس نظری برای اثرات ناشی از تکان زمین می باشد. این مقیاس شامل ۱۲ درجه است و بطور گسترده ای پیشنهاد شده است. درجه اول آن توسط افراد حس نمی شود، بلکه فقط بوسیله دستگاههای اندازه گیری حساس ثبت می گردد. (حدود پایین) و در درجه دوازدهم آن همه ساختمانها خراب می شوند و اشیا به هوا پرتاب می شوند (بالای ۸ ریشتر).

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+

جدول مقیاس اصلاح شده ی شدت مرکالی :

I فقط تعداد اندکی که در شرایط مساعدی هستند احساس می کنند.

II فقط توسط اشخاص کمی که در حال استراحت هستند و به خصوص در طبقات بالای ساختمانها احساس می شود.

III به طور کامل در داخل اماکن حس می شود، به خصوص در طبقات بالاتر ساختمانها، اما بیشتر مردم، آن را زمینلرزه تلقی نمی کنند.

IV هنگام روز در داخل اماکن احساس می شود و در بیرون از اماکن فقط تعداد اندکی آنرا حس می کنند. احساس آن شبیه برخورد کامیون به ساختمان است.

V تقریباً همه اشخاص احساس می کنند بسیاری از مردم بیدار می شوند، درختان و تیرچراغ برق و اشیاء بلند دیگر به حرکت در می آیند.

VI همه احساس می کنند، عده ی زیادی می ترسند و به بیرون می گریزند و برخی اثرات ی سنگین به حرکت درآمده و رنگها و گچها بعضاً می ریزند و دودکشاها صدمه می بینند، به طور کلی صدمه اندک است.

VII همه به بیرون پناه می برند. صدمه به ساختمانهایی که خوب ساخته شده اند کم است و ساختمانهایی که نسبتاً خوب ساخته شده اند تا حدودی صدمه می بینند و ساختمانهایی که بد ساخته شده اند خسارت کلی می بینند.

VIII ساختمانهای محکم صدمه ی اندک دیده و ساختمانهای بزرگ معمولی صدمه ی زیاد می بینند و قسمتهایی از آنها فرو می ریزد و ساختمانهای با طراحی (ساخت) بد متحمل صدمه ی شدید می شوند (دودکشها، ستونها، مجسمه ها و اشیاء عمودی سرنگون می شوند).

IX ساختمانهایی که به طور اساسی و مخصوص ساخته شده اند صدمه ی جدی دیده از پی در می آیند و زمین به طور آشکاری ترک می خورد.

X بعضی ساختمانهای چوبی که خوب ساخته شده نابود شده و اسکلت ابنیه همراه با پی واژگون می شود و زمین به طرز ناهنجاری ترک می خورد.

XI ساختمانهای بسیار کمی باقی می مانند، پلها نابود می شوند، شکافهای وسیعی در زمین به وجود می آید.

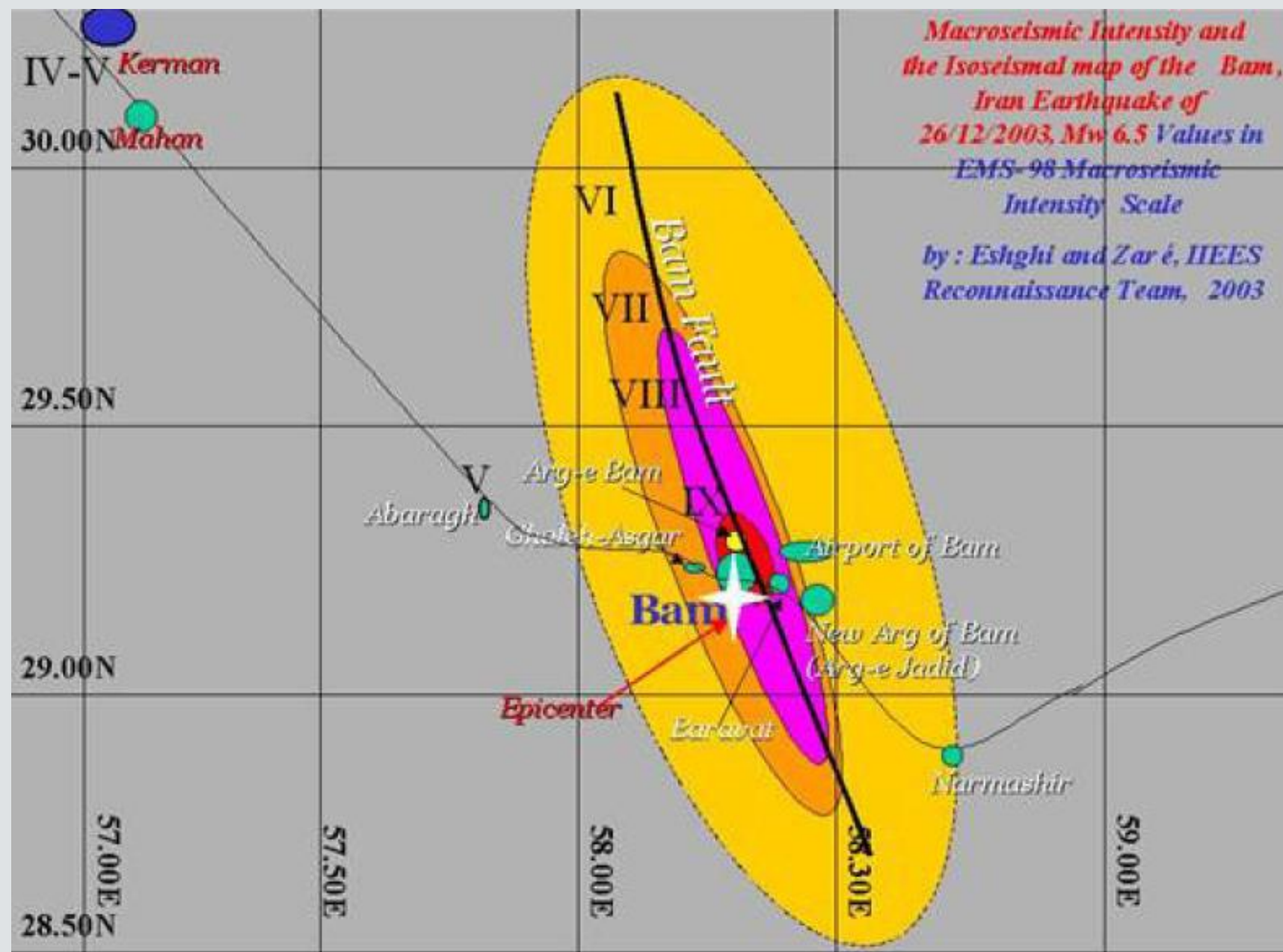
XII خسارت کلی. سطح زمین موجدار می شود، اشیاء به هوا پرتاب می شوند.

خطوط همبرز (*Isoseismal*)

بلافاصله پس از وقوع یک زلزله، لرزه شناسان به محل اعزام شده و ضمن گفتگو با اهالی محل با پرس کردن جدولهایی که از پیش آماده کرده اند، به ارزیابی شدت زلزله در نقاط مختلف می پردازند. آنها با وصل کردن نقاط هم شدت خطوط همبرز را بدست می آورند.

نکته: تعیین خطوط همبرز برای شدت های بالا یا اصلا تعیین شدت های بالا نیازمند وجود ابنیه مهندسی است. در مواردیکه جز ساختمانهای روستایی چیزی وجود ندارد به زحمت می توان خطوط بالاتر از *VII* را بدست آورد.

نکته: با توجه با خطوط همبرز، مرکز زلزله را بدست می آورند. از آنجا که این محاسبه از روی داده های کیفی است، این مرکز با آنچه از دستگاههای لرزه نگار بدست آمده است تطبیق نمی کند.



کاستی های شدت زلزله

- (۱) زلزله مشابهی در محلهای متفاوت دارای درجه های شدت مختلفی می باشد. به عنوان نمونه، رخدادن زلزله ای یکسان در مناطق شهری و روستایی اثرهای مختلفی بر روی سازه های موجود می گذارند و امکان دارد، ساختمانهای روستایی به طور کامل تخریب شوند (شدت زلزله بالاست) ولی سازه های مناسب شهری آسیبی جدی نبینند (شدت زلزله پایین است).
- (۲) شدت بدست آمده برای هر نقطه بستگی زیادی به قضاوتها شخص دارد و نه تنها ممکن است تلقی یک پژوهشگر از کلماتی نظیر صدمه، خرابی، ویرانی، انهدام، و مانند آنها با دیگران متفاوت باشد که تلقی مصاحبه شوندگان و اهالی محل نیز هم همین طور است. بویژه پس از هر زلزله ساکنین هر مناطق زلزله زده که احیانا سابقه ای هم از زلزله های قبل نداشته اند، بسیار هراسان شده و در بازگو کردن حوادث مبالغه فراوان می کنند.
- (۳) شدت زلزله ارتباط مستقیمی با شتابهای حاصل از زلزله ندارد.

رابطه شدت و بزرگی (رابطه تجربی)

از آنجا که هر سه پارامتر شدت-بزرگی و انرژی نشانگر پدیده آزاد شدن انرژی در گسل اند، از این روابط مختلفی برای مرتبط ساختن این سه ارائه شده است.

$$I = 8.16 + 1.45 M - 2.46 \ln(r) \quad \text{: رابطه استوا (Esteva)}$$

I: شدت بر حسب مقیاس مرکالی اصلاح شده

M: بزرگی زلزله

r: فاصله از مرکز زلزله بر حسب کیلومتر

افت فرکانسهای بالا

در نواحی مرکزی زلزله، فرکانسهای بالا از شدت زیادی برخوردارند، به همین دلیل فرکانسهای غالب (دارای شدت زیاد) در این نواحی، فرکانسهای بالا هستند. بویژه اگر بستر سنگی به سطح زمین نزدیک باشد.

با دور شدن از مرکز زلزله، همگی امواج میرا و از شدتشان کاسته می شود. این کاهش برای فرکانسهای بالا شدیدتر است ولی فرکانسهای پایین (امواج با پریود بالا) تا مسافتهای دور دست انتقال

می یابند و بنابراین فرکانسهای غالب در نواحی دور دست امواج با فرکانسهای پایین هستند. رابطه بین فاصله از مرکز با پریود غالب در جدول زیر آورده شده است.

D (فاصله از مرکز بر حسب km)	$0 \sim 50$	$51 \sim 100$	$101 \sim 200$	$201 \sim 250$
T_p (پریود غالب بر حسب set)	0.25	0.3	0.4	0.6

این موضوع از آنجا مهم است که پدیده تشدید وقتی اتفاق می افتد که پریود سازه با پریود غالب زلزله یکسان باشد. در زلزله منجیل دیده شد که با توجه به فاصله زیاد 65 کیلومتری رشت از منجیل، ساختمانهای بلند حتی فلزی و بتنی صدمه دیدند، با اینحال ساختمانهای یک یا دو طبقه با مصالح نامرغوب و حتی بدون اسکلت آسیمی ندیدند.

در فاصله های دور دست است که دوره های تناوب امواج زلزله بالا می رود ولی دامنه ارتعاشات بسیار کوچک است.

وسعت زلزله

وسعت ناحیه زلزله زده نیز با انرژی آزاد شده ارتباط دارد. بنابراین بین بزرگی یا شدت زلزله و وسعت منطقه ای که در آن زلزله احساس می شود، ارتباط وجود دارد. امپرسز برای زلزله های ایران جدول زیر را ارائه کرد:

بزرگی زلزله (ریشتر)	شدت زلزله در مرکز (مرکالی اصلاح شده)	شعاع منطقه ای که زلزله حس می شود (km)
8	<i>XL</i>	600
7	<i>X-IX</i>	400
6	<i>VIII-VII</i>	220
5	<i>VII-VII</i>	150
3	<i>III</i>	15
2	<i>II-1</i>	0

هرچه بزرگی یا شدت زلزله ای بیشتر باشد، در منطقه ای وسیعتر احساس می گردد.

پارامترهایی که می توانند در پیش بینی زلزله مفید به قرار گیرند:

۱- بررسی تاریخیچه زلزله های محل مورد نظر و کشف تاخیر احتمالی لرزه ای (Seismic Gap):

از آنجا که انرژی کرنشی در پوسته زمین دائما در حال انباشته شدن است، اگر برای مدتی زلزله رخ ندهد، یک تاخیر تلقی شده و نشانه ای برای وقوع یک زلزله قوی بشمار می آید. به همین دلیل در نقاطی که یک تاخیر تاریخی در وقوع زلزله داریم، می توان انتظار داشت که یک زلزله شدید رخ دهد. آنچنان که در خطه شمالی بر ای مدت زیادی زلزله بزرگی اتفاق نیفتاد تا آنکه در سال 1369 زلزله منجیل روی داد. یا تهران که سوابق زلزله های تاریخی "ری" را ویران ساخته است پشت سر دارد و با توجه با تاخیر لرزه ای بوجود آمده احتمال بالایی برای یک زلزله مخرب وجود دارد.

۲- وقوع زلزله های خفیف که ممکن است پیش لرزه باشند.

۳- برآمدگی پوسته زمین از قبل از زلزله (سرعت برآمدگی زمین قبل از زلزله بیشتر می شود)

۴- وجود گاز "رادون" در آبهای زیر زمینی

۵- وجود گاز "هلیوم" در گازهای خروجی گسل

۶- تغییرات در خواص مغناطیسی و الکتریکی زمین

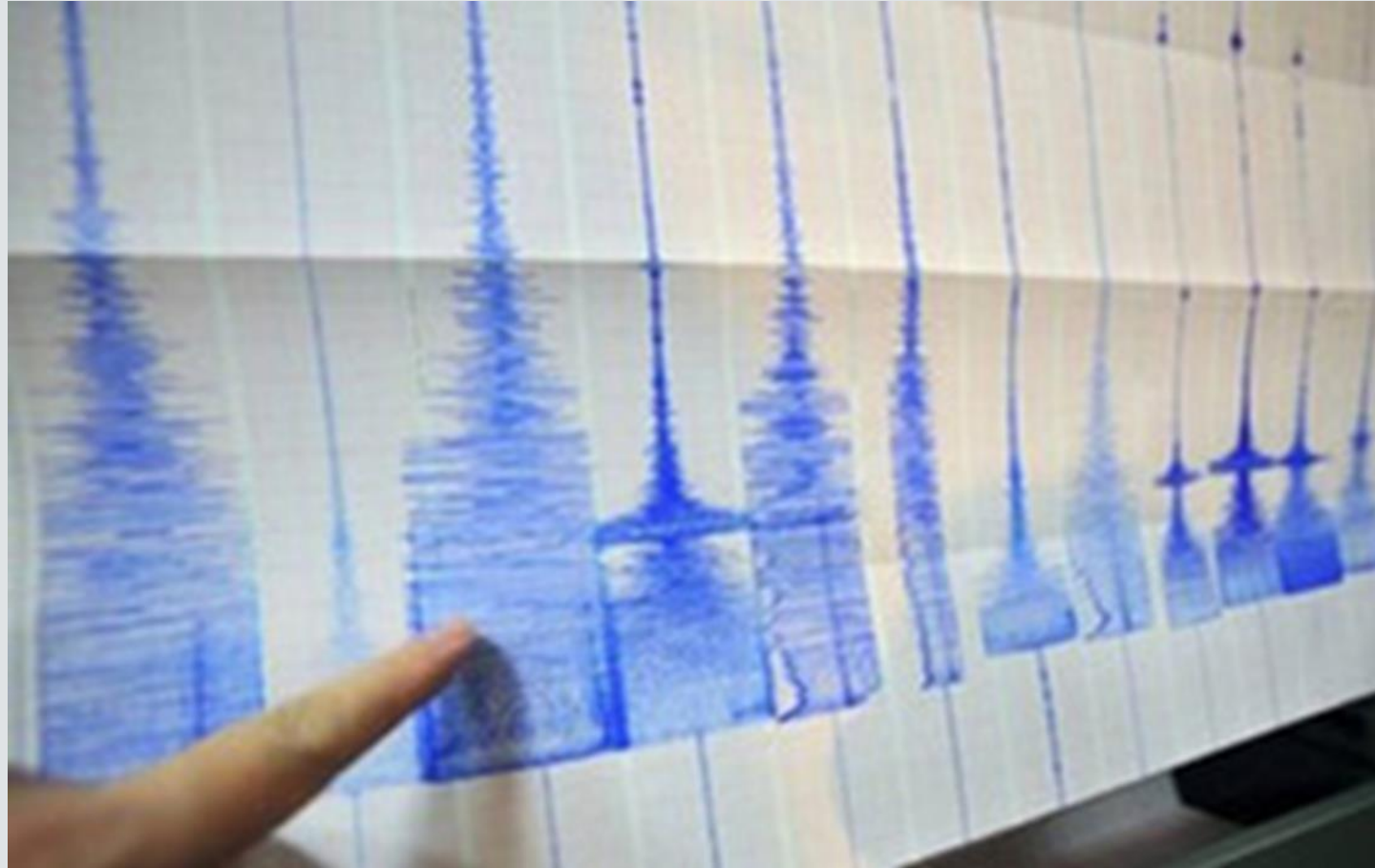
۷- تغییر تنش داخلی زمین

۸- افزایش سرعت امواج در خاک به علت افزایش تنش پوسته زمین

۹- بالا آمدن سطح آب چاهها

۱۰- تغییر غیر منتظره حیوانات

پیش بینی زلزله با روش علمی



پیش‌بینی زلزله با روش‌های علمی به معنی پیش‌بینی احتمالی زمان، مکان و اندازه زلزله در آینده (آنی، کوتاه مدت و میان مدت) است. هر یک از این روش‌ها بر اساس یک سازوکار علمی اختصاصی انجام می‌شود و در نهایت در همه خروجی‌ها در یک بازه زمانی، مکانی، اندازه و عدم قطعیت احتمال چنین رخدادی پیش‌بینی می‌شود. آنچه در علم زلزله‌شناسی به‌عنوان "پیش‌بینی زلزله" معمولاً مطرح است پیش‌بینی "کوتاه‌مدت و آنی" است. پیش‌بینی کوتاه‌مدت در حد ساعت و روز و یک تا دو هفته است و پیش‌بینی آنی در حد ثانیه و دقیقه، قبل از رخداد.

این مهم با برطرف کردن محدودیت‌های مکانی و زمانی و اندازه برای برآورد زلزله‌های آینده امکان‌پذیر است.

بعضی کارشناسان و مدیران اساساً با پیش‌بینی زلزله مخالف باشند و آن را غیرممکن می‌دانند، اما واقعیت این است که این کار اساس علمی دارد و پیش‌بینی، کاری علمی و دانشمندانه است.

به عبارت دیگر در پیش‌بینی باید تلاش کرد با استفاده از روش علمی به نتایجی ملموس و قابل اندازه‌گیری در زلزله‌شناسی دست یافت.

برای پیش‌بینی حوادثی مانند زمین‌لرزه یا حتی سیل و همچنین درباره پیش‌بینی وضع آب‌وهوا پارامترهای مشخصی را در یک محدوده خاص و با در نظر گرفتن یک عدم قطعیت مشخص برای یک بازه زمانی به منظور تعیین یک بازه اندازه احتمالی رخداد (بزرگ یا شدت) مدنظر قرار می‌دهند.

از لحاظ نظری کاملاً واضح است که اگر پارامترهای دخیل در تنش های پوسته زمین را بدانیم باید بتوانیم زلزله ها را پیش بینی کنیم.

عقیده عمومی در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ این بود که با بررسی دقیق سابقه حرکات گسل ها، الگوهایی قابل پیش بینی به دست خواهند آمد. علاوه بر این تصور می شد که الگوهای غیرعادی کوتاه مدت رفتار حرکات گسل ها پیش از زمین لرزه قابل پیش بینی هستند و لذا می توان ساعت ها و روزها پیش از وقوع زمین لرزه به مردم اطلاع داد تا نواحی خطرناک را تخلیه کنند. اما امروز کاملاً روشن شده است که پیش بینی وقوع زمین لرزه بسیار پیچیده تر از آنی است که در ابتدا تصور می شد

با این حال تلاش ها برای پیش بینی زلزله ها همچنان از راه های مختلف ادامه پیدا کرده است. این تلاش ها در ۲۰ سال گذشته عمدتاً در حوزه های زیر متمرکز بوده است.

امروزه در سطح امکان پیش‌بینی آب‌وهوا فراهم شده است.

بر خلاف هوا شناسی زلزله پدیده‌ای است که منشأ آن زیرزمین است. بنابراین فرآیندهایی که در وقوع زمین‌لرزه تأثیرگذار است، خیلی توسط انسان‌ها قابل رصد کردن نیست و محققان بر این باورند که به‌یقین روزی می‌توانند به امکان پیش‌بینی زمین‌لرزه دست یابند.

مطالعات زلزله‌شناسی و ثبت زمین‌لرزه‌ها، بررسی آماری زمین‌لرزه‌ها و مطالعه و بررسی تغییراتی که در سطح زمین یا یونسفر زمین اتفاق می‌افتد، از زمینه‌های قابل رصد و تأثیرگذار در وقوع زمین‌لرزه است که محققان در این حوزه‌ها به موفقیت‌هایی دست یافته‌اند

برای پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها دو روش مشخص وجود دارد؛

۱. روش‌ها مبتنی بر داده‌های آماری (روش احتمالی)
۲. روش مبتنی بر پیش‌نشانگرهای زلزله

۱. روش آماری

در پیش‌بینی زمین‌لرزه **روش آماری** از اطلاعاتی که مربوط به رخداد زمین‌لرزه‌ها یا رصد تغییرات ژئوفیزیک (مربوط به تغییر شکل سطح پوسته زمین) است، استفاده می‌شود تا سرانجام بر اساس روش‌های احتمالی به الگوهای مشابه پیش‌بینی وضع آب‌وهوا رسید.

شاید بتوان گفت در یک بازه زمانی که می‌تواند طولانی‌مدت (دو تا پنج سال) یا کوتاه‌مدت (چند ماه تا چند هفته) باشد با درجه مشخصی از احتمال مثلاً ۵۰ درصد، درجه‌ای از رخداد مثلاً زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵ تا ۷، در محدوده‌ای از مکان مانند منطقه جنوب البرز به مرکزیت تهران به شعاع ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر زمین‌لرزه‌ای اتفاق می‌افتد.

در چنین پیش‌بینی‌های محدوده زمانی، مکانی، بزرگی و احتمال و همچنین درصدی از عدم قطعیت مطرح است. برای چنین پیش‌بینی‌هایی می‌توان از روش‌هایی چون **M8**، **CN** و **PI** استفاده کرد.

روش تشخیص الگو (PI)

در روش **PI** تغییرات الگوی رخداد زمین‌لرزه‌ها در یک منطقه بررسی و رصد می‌شود و بعد با همین روش احتمالی اتفاق بعدی پیش‌بینی می‌شود.

روش «CN» (کالیفرنیا - نوادا)

روش پیش‌بینی کالیفرنیا- نوادا (روش CN روشی میان مدت (در بازه زمانی یک سال) با مساحت متوسط (محدوده منطقه‌یی) است که بر اساس مطالعه لرزه‌خیزی منطقه مورد نظر پایه‌ریزی شده است .

در این روش با کمک رهیافت تشخیص الگوی توابع مختلف لرزه‌خیزی، در هر زمان افزایش احتمال رخداد زمین‌لرزه با بزرگای بزرگتر از مقدار مشخص، برای مدت یک‌سال به صورت هشدار اعلام می‌شود.

مطالعات لرزه‌خیزی در منطقه مورد نظر با توجه به بزرگای هدف در بازه‌های ۲۰ تا ۳۰ ساله بوده و هشدارهای اعلام شده به مدت یک سال است .

این روش بیش از بیست سال در بیش از بیست منطقه از جهان آزموده شده است. در کشور ایتالیا این مدل به صورت زمان واقعی از سال ۲۰۰۰ میلادی در حال انجام بوده و همچنین به عنوان روشی پایه در مبحث تحلیل خطر وابسته به زمان و روش‌های مدرن تحلیل خطر تعیینی کاربردی شده است .

محققان پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله کارایی روش
«CN» (کالیفرنیا - نوادا)
را در پیش بینی میان مدت زلزله در منطقه رشته کوه‌های زاگرس بررسی کردند .

در یک رساله دکتری، برای اولین بار در ایران مدل CN در منطقه رشته کوه‌های زاگرس بررسی شد. با بررسی کاتالوگ‌های موجود مشخص شد که انتخاب بزرگای هدف 6.2 برای این منطقه مناسب است؛ بدین منظور الگوریتم CN برای منطقه مذکور به صورت بازنگرانه از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۹ و به صورت پیشرو از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ انجام شده است. همچنین از سال ۲۰۱۲ تاکنون این مدل به صورت زمان واقعی در حال انجام است.

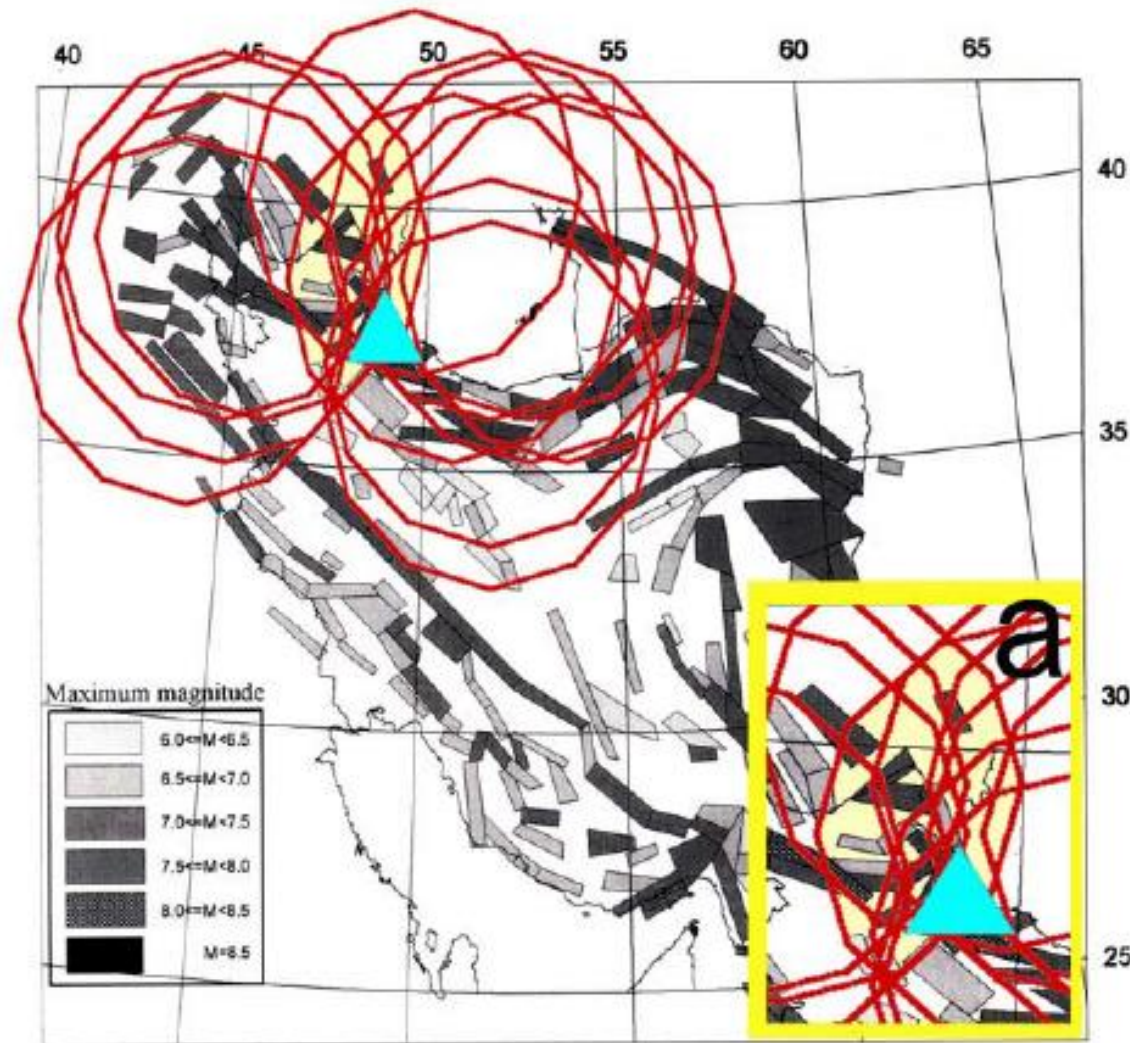
با پیش بینی رخداد زمینلرزه‌های شدید قبلی، مشخص شد که از میان شش زلزله با بزرگای بزرگتر یا مساوی ۶.۲ در منطقه زاگرس، پیش بینی امتحانی برای رخدادهای قبلی **(پس بینی)** برای تمامی این زلزله‌ها ممکن بوده است .

پس بینی : در علم این روال وجود دارد که بعد از وقوع پدیده‌های طبیعی، قابل پیش‌بینی بودن آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. صورت‌مسئله این است که آیا با وجود شواهد و نشانه‌ها، چنین پدیده‌هایی را می‌توان پیش‌بینی کرد؟

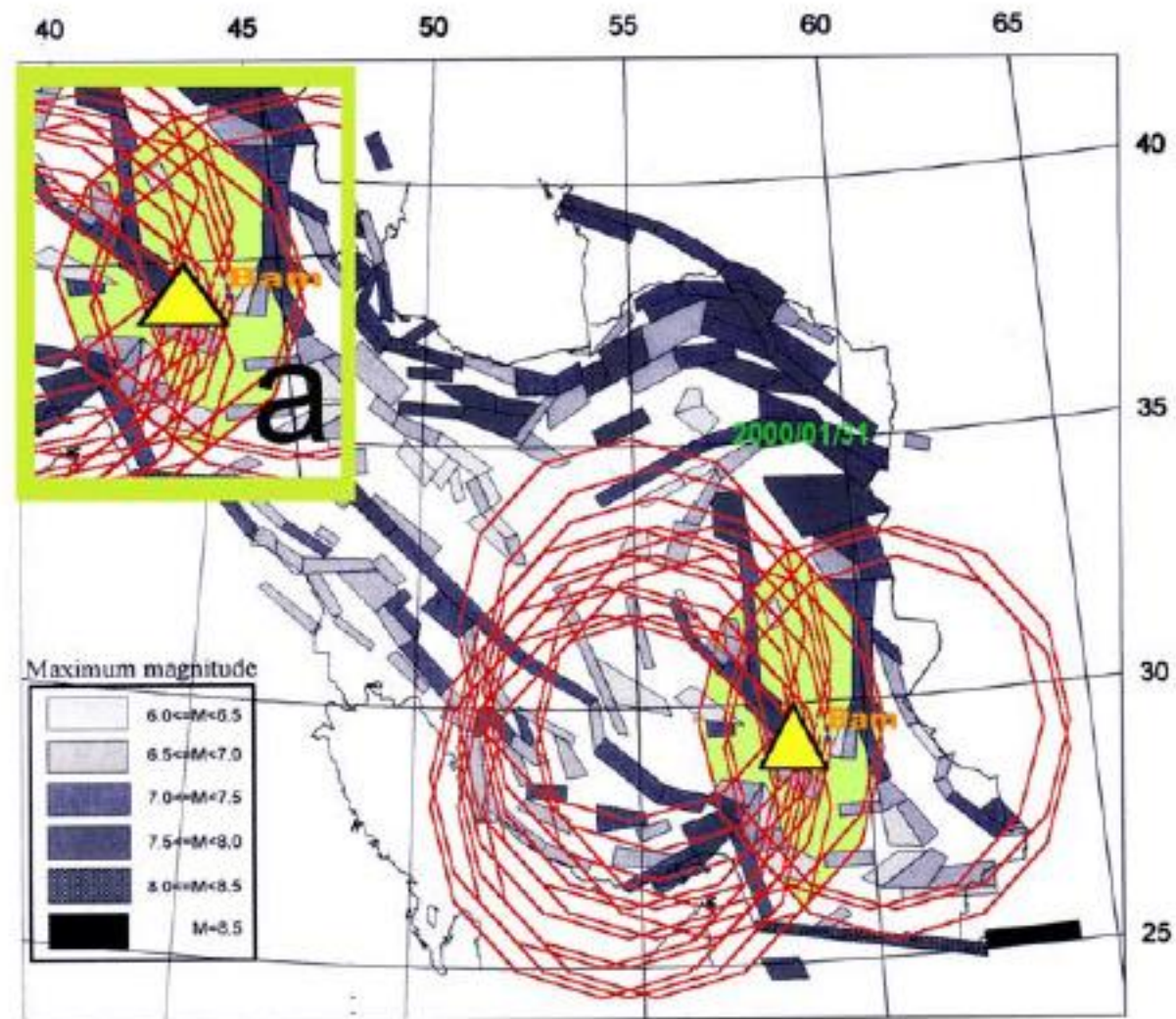
با کارگیری روش CN در تحلیل‌های خطر وابسته به زمان و همچنین روش‌های مدرن تحلیل خطر تعینی و تلفیق کردن روش CN با سایر روش‌های پیش‌بینی با عدم قطعیت پایین برای مکان نظیر روش تشخیص الگو (PI) جهت به دست آوردن هشدارهای زمانی و مکانی مناسب بعدی ضروری است .

کاهش عدم قطعیت مکانی در الگوریتم M8 با استفاده از چشمه‌های
بالقوة زمین لرزه

کاربرد الگوریتم M8 یکی از راهکارهای معتبر در پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه است. گستره مکانی پیش‌بینی شده با این الگوریتم، ناحیه نسبتاً وسیعی را دربرمی‌گیرد. از این‌رو، با توجه به اینکه زمین‌لرزه‌ها در محیط‌هایی رخ می‌دهند که پتانسیل لازم برای تجمع تنش و ایجاد گسیختگی را داشته باشند، با مشخص کردن این مناطق که در واقع همان چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه‌اند و محدود کردن گستره پیش‌بینی شده با الگوریتم M8 به این چشمه‌ها، می‌توان وسعت این گستره را محدودتر کرد و عدم قطعیت مکانی را کاهش داد. در این تحقیق، ابتدا این روش برای زمین‌لرزه‌های رودبار و بم که الگوریتم M8 توانسته است در حد قابل قبولی آنها را پیش‌بینی کند، آزمایش شده است. در مرحله بعد، گستره‌های پیش‌بینی شده با الگوریتم M8 برای رویداد زمین‌لرزه‌های آتی مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده کاهش قابل ملاحظه وسعت نواحی پیش‌بینی شده با الگوریتم M8 در صورت استفاده از چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه است.



شکل ۲. گستره اعلام خطر الگوریتم $M8$ برای زمین‌لرزه رودبار و انطباق آنها با چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در شمال ایران. تصویر داخل کادر a، ناحیه هم‌پوشانی دایره‌های اعلام خطر را نشان می‌دهد.



شکل ۳. گستره اعلام خطر الگوریتم $M8$ برای زمین‌لرزه بم و انطباق آن با چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در جنوب‌شرق ایران. تصویر داخل کادر a، ناحیه هم‌پوشانی دایره‌های اعلام خطر را نشان می‌دهد.

۲. روش پیش‌نشانگرها

پیش بینی با استفاده امواج P

پیش‌بینی آنی و هشدار پیش‌هنگام زلزله موضوعی است که از گذشته‌های دور مورد توجه بوده است. ژاپن از کشورهایی است که بیش از دیگر کشورها به این موضوع توجه داشته است. وقتی موج P زلزله دریافت می‌شود به دنبال آن موج S نیز دریافت خواهد شد. این موج ثانویه در حقیقت همان موج مخرب است.

سامانه‌هایی طراحی شده که می‌تواند رسیدن موج ثانویه یا موج مخرب را هشدار دهد. این سامانه هشدار پیش‌هنگام است. بنابراین اگر بخواهیم موفقیت پیش‌بینی را در زمینه پیش‌بینی‌های آنی مورد بررسی قرار دهیم، می‌توانیم بگوییم سامانه‌های هشدار سریع در ژاپن و سایر کشورهایی که از آنها برای هشدار پیش‌هنگام استفاده می‌شود، موفقیت در پیش‌بینی آنی محسوب می‌شود که می‌تواند نسبت به موج مخرب دریافتی هشدار دهد.

علاوه بر این پدیده‌های وابسته به رخداد زمین‌لرزه مانند سونامی وجود دارد که خوشبختانه با توجه به اینکه کانون اصلی این پدیده وسط دریاست، مدت‌زمانی طول می‌کشد تا امواج لرزه‌ای از وسط دریا به شهر یا ساحل برسد

در زلزله ۲۰۱۱ ژاپن حدود ۲۰ دقیقه طول کشید وجود این فاصله زمانی موجب شده تا حد زیادی در پدیده‌های وابسته به زمین‌لرزه امکان پیش‌بینی و هشدار سریع وجود داشته باشد.

بعد از زلزله ۲۰۰۴ اندونزی در اقیانوس هند، جنوب آسیا نیز به تجهیزات هشدار سونامی مجهز و به این ترتیب پیش‌بینی پدیده‌های وابسته به زمین‌لرزه به مراتب آسان‌تر شده است.

پیش بینی با استفاده از وضعیت ابرها

زلزله شناس چینی که نامش ژونگ‌هائو شو است و در حال حاضر در کالیفرنیا ی آمریکا زندگی می‌کند ادعا میکند با استفاده از تشخیص ابرهای لرزه ای محل و شدت زلزله مشخص شده ولی تشخیص زمان وقوع آن بسیار سخت است.

او که زلزله شناس تجربی است اعتقاد دارد که بر اساس تئوری دهیدراتاسیون و در اثر نیروی مقاومت اصطکاک سنگهای ناحیه گسلیده “ گرمای زیادی تولید می‌شود که باعث تبخیر آبهای بین منفذی سنگها و آب زیرزمینی سفره‌های مجاور می‌گردد. بخار آب حاصله در آسمان بالای خط گسل ابری را تشکیل می‌دهد که بنام ابر زلزله نامیده می‌شود و می‌توان از این ابر بعنوان پیش قراول زلزله احتمالی ناشی از حرکت گسل مورد بحث نام برده و زلزله را پیشگویی نمود.

تئوری شکل گیری ابرهای مذکور از این قرار است که وقتی یک صخره عظیم، تحت اثر نیروهای خارجی قرار گیرد، قطعات ضعیف آن شکسته شده و قطعات قوی آن ترک میخورند لذا منجر به ایجاد علائمی می گردد که به پیش بینی زلزله کمک می کند. همچنین افزایش فشار آب حفره‌ای، باعث بالا آمدن سطح آب می گردد و آب به ترک‌ها وارد می شود. فشار و دمای بالا، به تبخیر آب و نهایتاً نشت آن با فشار از میان شکاف گسل‌ها منجر شده و برخورد بخار به هوای سرد به تشکیل ابر می انجامد.

شو ادعا می کند که نظریه اش تا ۳۰۰ سال دیگر به اثبات خواهد رسید و انسان به پیش بینی قاطع و کامل زلزله قادر خواهد گردید.
در روش پیش بینی او ۵ مشخصه درمورد ابرهای زلزله بیان شده است:

۱- شکل گیری ابرهای زلزله معمولاً به طور بسیار ناگهانی حتی گاهی اوقات در چند ثانیه صورت می پذیرد در حالی که ابرهای طبیعی که در چارچوب هواشناسی می گنجند این گونه نیستند.

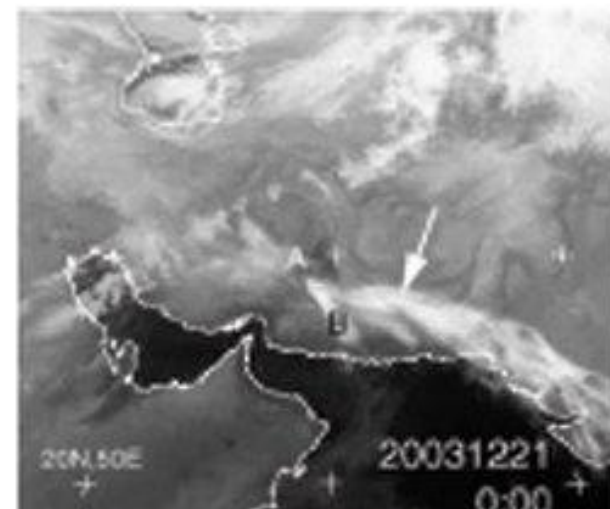
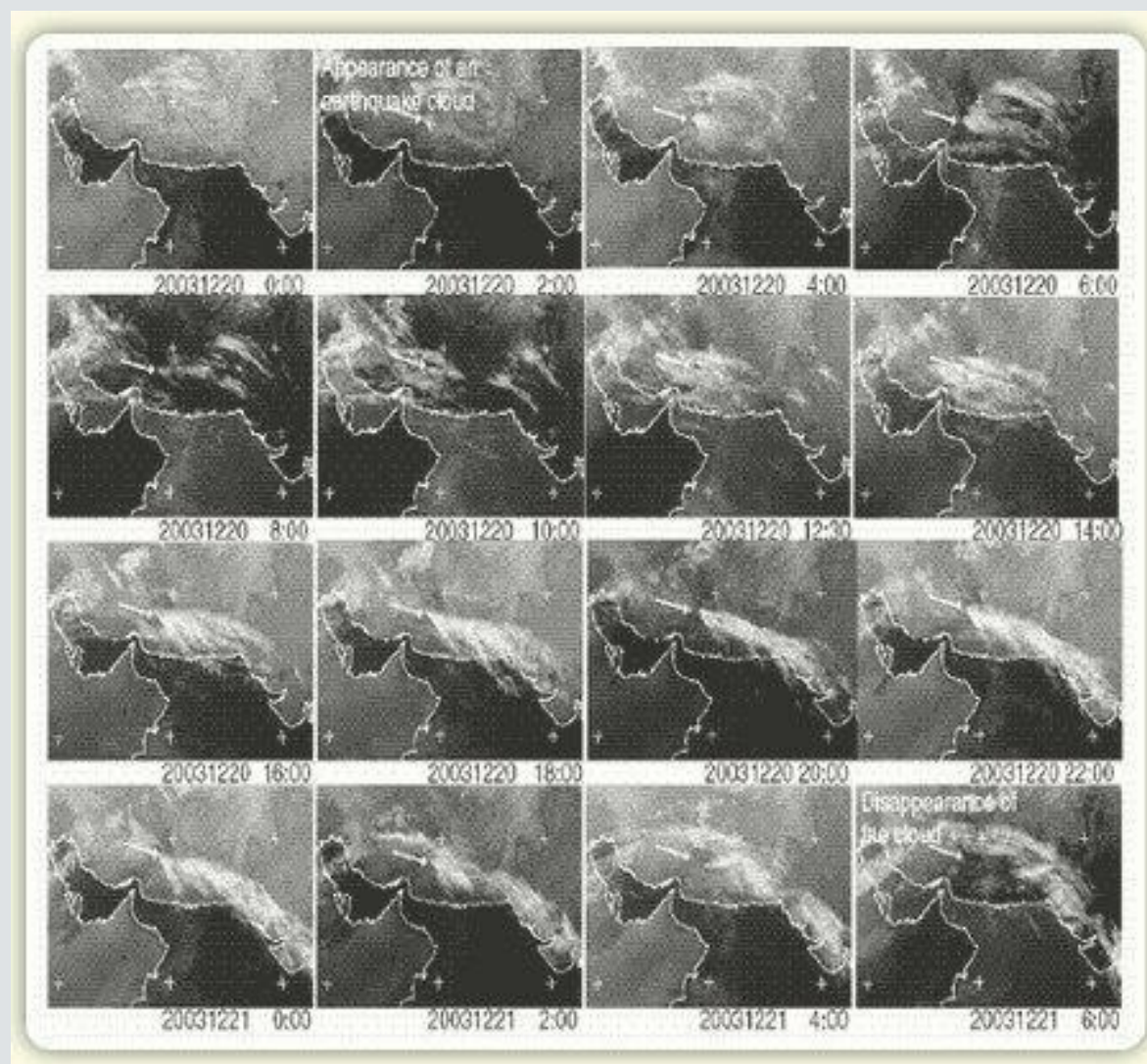
۲- ابرهای زلزله، بدلیل فشار زیادی که در حین خروج از زمین دارند، دارای یک شکل خاص می باشند. مثلاً بعضاً به فرم چند خط موازی در یک امتداد بروز می کنند. در صورتی که ابرهای طبیعی، دارای شکل و فرم توده ای و حجیم هستند.

۳- گاهی اوقات این ابرها برخلاف جهت باد حرکت می کنند.

مثلا در جولای ۱۹۹۹ یک رشته ابر به طول ۸۰۰ کیلومتر برفراز هند و سریلانکا دیده می شود که نشان دهنده زلزله ای به قدرت بیش از ۷ ریشتر بود.

شو پیش بینی کرد که مرکز مزلزله بین ایران تا ایتالیا باشد چون شرایط جوی نامناسب از پیش بینی مرکز دقیق زلزله جلوگیری می کند. بالاخره در ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ زلزله ای به قدرت ۷٫۸ ریشتر در ترکیه به وقوع می پیوندد.

۴- اگر هوای اطراف مرکز زلزله سرد باشد اکثرا ابرها به صورت چند رشته موازی بوجود می آیند. چون به محض خروج از زمین با هوای سرد برخورد می کنند و ابر تشکیل می دهند. این ابرها توسط ماهواره ایندوکس در تاریخ ۲۰ دسامبر ۲۰۰۳ از ایران گرفته شده است و زلزله ی بم در ۲۵ دسامبر به وقوع می پیوندد.



شکل: ابر زلزله یم در تاریخ 30 آذر 1382 (21 دسامبر 2003)، 5 روز قبل از وقوع زلزله

۵- اگر یک توده ابر طبیعی در بالای مرکز زلزله قرار داشته باشد در ابتدا بخارهای آب به علت گرمایی که دارند باعث بوجود آمدن یک حفره بزرگ در داخل ابر طبیعی می‌شوند. در این موارد، علوم آب و هوایی نمی‌توانند علت بوجود آمدن این تغییرات را توضیح دهند و این نشان دهنده ی غیرطبیعی بودن ابرها می‌باشد.

آقای شو در وب سایتش از علاقمندان درخواست کمک مالی کرده است. وی همچنین اعتراف می کند که گاهی او در این رابطه و برای رفع نگرانی از احتمال بروز خطا در پیش بینی های آتی به متخصصین علوم فضایی و ماهواره ای و هواشناسان متوسل شده است.

با وجود دلایل علمی و ادعاهای آقای شو، هیچ تضمینی وجود ندارد که پیش بینی های وی نزدیک به واقعیت باشد. در بهترین حالت می توان آن را یک نظریه و روش در حال تجربه تلقی کرد. اگر چه در برخی موارد پیش بینی های وی رنگ تحقق یافته است.

پیش بینی هایی که بر این اساس ارائه می شود مورد توجه جوامع علمی زلزله شناسی دنیا نیست و به عنوان پیش نشانگرهای علمی و استاندارد از آن یاد نمی شود.

افزایش حرارت اتمسفری

محققان با استناد به تصاویر ماهواره ای چندین روز پیش از وقوع زمین لرزه ۲۰۱۱ ژاپن از افزایش حرارت اتمسفری که بر بالای مرکز وقوع زمین لرزه قرار گرفته، خبر دادند و اعلام کردند نشانه ای را برای پیش بینی زمین لرزه های شدید به دست آورده اند. حرارت اتمسفر زمین در بالای منطقه گسلهائی که زمین لرزه را به وجود آورده بودند تا حد قابل توجهی افزایش یافته است.

همچنین پیش از زمین لرزه ۱۱ مارچ ۲۰۱۱ کل میزان الکترون در بخش بالایی از این منطقه از اتمسفر که به یونوسفر شهرت دارد، بر فراز منطقه ای که مرکز زمین لرزه را تشکیل داد، تا حد قابل توجهی افزایش یافته است.

گفته می شود چندین روز پیش از وقوع زمین لرزه، فشارهای وارد آمده بر روی گسل‌های موجود بر روی پوسته زمین منجر به آزاد سازی مقادیر زیادی گاز رادون شده است. گاز رادون آزاد شده از زمین منجر به یونیزه شدن هوا شده و بار الکتریکی را به آن القا می کند و از آنجایی که آب قطبی است، جذب ذرات باردار هوا می شود. سپس این پدیده منجر به متراکم شدن مولکول‌های آب در هوا می شود، فرایندی که از خود حرارت آزاد می کند.

در واقع همین حرارت اضافی بوده است که در قالب پرتوهای فروسرخ در تصاویر ماهواره ای که سه روز پیش از بالای منطقه وقوع زمین لرزه به ثبت رسیده اند، توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است.

از آنجایی که ژاپن به عنوان یکی از مناطق به شدت زلزله خیز جهان شناخته می شود، دانشمندان ایستگاه های نظارتی اتمسفری را به وجود آورده اند که در آنها با استفاده از ماهواره ها ساختار اتمسفر پیش از وقوع زمین لرزه محاسبه و بررسی می شود. دانشمندان امیدوارند بتوانند از این یافته جدید به عنوان نشانه ای برای پیش بینی وقوع زمین لرزه استفاده کنند.

بر اساس گزارش دیلی میل، زمین لرزه ۱۱ مارچ ژاپن قدرتمندترین زمین لرزه ایی بود که تا کنون در این کشور رخ داده است. این زمین لرزه در اعماق دریا در ۶۹ کیلومتری شرق اوشیکا رخ داد و در پی آن وقوع سونامی مهلکی ۱۵ هزار کشته و ۱۰ هزار گمشده را از خود به جا گذاشت.

پیش بینی زلزله توسط حیوانات

بسیاری از جانداران می‌توانند تغییرات شیمیایی که در آبهای زیرزمینی رخ می‌دهند را احساس کرده و آغاز یک زمین لرزه را پیش‌بینی کنند. دانشمندان بر این باورند چنین توانایی در میان حیوانات منجر به بروز رفتارهای عجیب و غریب آنها پیش از وقوع زمین لرزه است.

مارها، در رویداد زمین لرزه سال ۱۹۷۵ در چین، یک ماه پیش از آغاز زمین لرزه، لانه های خود را ترک گفتند.

محققان در سال ۲۰۰۹ پس از اینکه مشاهده کردند گروهی از **وزغ‌ها** چند روز پیش از وقوع زمین لرزه ای در لاکوئیلای ایتالیا برکه زیستگاه خود را ترک گفتند، مطالعه بر روی این تغییرات شیمیایی را آغاز کرده و پیشنهاد دادند این رفتار جانداران می‌تواند با پیش بینی زمین لرزه در ارتباط باشد.

وزغ‌های لاکوئلا اولین نمونه‌های حیوانی نیستند که پیش از وقوع یک رویداد بزرگ لرزه‌ای از خود رفتارهای عجیب و غریب نمایش می‌دهند. گزارش‌های متعددی وجود دارند که این رفتارها را در میان دیگر خزندگان، دوزیستان، و ماهی‌ها تایید می‌کند.

محققان در رویداد وزغ‌های لاکوئلا دریافتند زمانی که سنگ‌ها تحت فشار بالا، برای مثال فشار ناشی از حرکات تکتونیکی قدرتمند، قرار می‌گیرند ذرات بارداری را از خود آزاد می‌کنند که این ذرات در میان سنگ‌های اطراف خود جریان یافته و پس از رسیدن به سطح زمین با هوا واکنش نشان داده و مولکول‌های آن را به یون تبدیل می‌کند.

این یون‌ها در انسانها منجر به بروز سردرد و تهوع شده و در حیوانات میزان هورمون استرس را در خون افزایش می‌دهد. این ذرات همچنین با آب واکنش نشان داده و پراکسید هیدروژن تولید می‌کنند. این واکنش‌های زنجیره‌ای می‌توانند بر روی مواد ارگانیکی موجود در آب برکه تاثیر گذاشته و آنها را به موادی مضر تبدیل کنند که برای جانداران آبی مضر هستند. محققان بر این باورند این مکانیزم پیچیده زوایای پنهان بسیار زیادی دارند و از این رو نیازمند آزمایش‌ها و مطالعات پیچیده‌ای است.

پیش بینی با گاز رادون

رادون یک گاز نجیب است که با دیگر عناصر و ترکیبات شیمیایی ترکیب نمی شود. بخش اعظم این گاز در داخل سنگ های زمین باقی می ماند. در صورت بروز حرکات ناگهانی سنگ ها (برای مثال در مدت و یا بلافاصله قبل از بروز یک زلزله) این گاز از عمق زمین خارج شده و به سطح می رسد. به این ترتیب با اندازه گیری میزان تجمع این گاز در یک منطقه خاص از چند ساعت قبل امکان پیش بینی یک زلزله وجود دارد.

«زلزله هایچنگ» در منطقه «لائوینگ» چین که چهارم فوریه ۱۹۷۵ رخ داد از نظر تاریخی اولین و تنها زمین لرزه پیش بینی شده است اما در این مورد علائم انتشار گاز رادون آنچنان شدید و منظم بود که جای هیچ تردیدی را برای وقوع یک زلزله باقی نمی گذاشت.

در حقیقت امروزه از طریق بررسی های غیرمستقیم گاز رادون ۲۲۲ که از پوسته زمین ساطع می شود امکان پیش بینی زلزله و ارائه هشدارهای لازم از ۶ تا ۲۴ ساعت قبل از زمین لرزه وجود دارد. دقت این پیش بینی زمین لرزه می تواند تا شعاع ۱۲۰ کیلومتر با بزرگای ۱,۸ تا ۳ تا ۷۵ درصد و برای حوادث با بزرگای بالای ۳ تا ۸۰ درصد باشد.

یکی از موارد چالش برانگیز پیش بینی زلزله با استفاده از انتشار گاز رادون در مورد زلزله ۶ آوریل ۲۰۰۹ آکوئلا در ایتالیا رخ داد.

یک فیزیکدان ایتالیایی بنام «جان پائولو جولیان» تکنسین لابراتوار موسسه فیزیک ایتالیا در هفته های قبل از وقوع این زلزله فرضیه یک زمین لرزه فاجعه آمیز را مطرح کرده بود و بر اساس نتایج به دست آمده از سنجش گاز رادون، زلزله ۲۰۰۹ آکوئلا ایتالیا را از حدود یک هفته قبل پیش بینی کرده بود، اما مکان دقیق رخداد را حدود ۶۰ کیلومتر اشتباه کرده بود. وقتی این زلزله اتفاق افتاد این فیزیکدان اعلام کرد این همان زلزله ای است که من پیش بینی کرده بودم.

سایر روشها:

- تغییرات ارتفاع سطح آبها
- بررسی نیروی گرانش
- فرمول ارتباط وقایع پیش درآمدی زلزله
- کنترل زلزله با تزریق پس آبها در چاههای عمیق مجاور گسل ها

تحليل ريسك
(Risk Analysis)

$$\text{خطر پذیری} = \frac{\text{ارزش} \times \text{آسیب پذیری مستحادثات} \times \text{خطر زلزله}}{\text{مدیریت}}$$

خطر لرزه ای (Hazard)

Earthquake Hazard: این واژه برای توضیح دادن شدت جنبش زمین بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن در سایت مورد نظر، بکار می رود. (Anderson & Trifunac, 1977, 1978a)

نتایج تحلیل خطر،

نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه های پهنه بندی تحلیل خطر که هر کدام از این نقشه ها، در اصل بیان کننده یکی از پارامترهای لرزه ای یا طیف های پاسخ هستند؛ ارائه می گردند.

(Dravinski et al., 1980; Westermo et al., 1980)

چهار گام اساسی در تحلیل خطر لرزه‌ای،

گام ۱: تعیین چشمه‌های لرزه‌ای و بررسی لرزه‌خیزی منطقه

(بررسی تکتونیک لرزه‌ای Seismic Tectonic)

گام ۲: استفاده از قانون کاهندگی پارامترهای لرزه‌ای (بدست آوردن روابط کاهندگی یا استفاده از

روابط کاهندگی معتبر)

گام ۳: تهیه منحنی خطر (Hazard Curve)

منحنی خطر، منحنی است که در دو محور قائم بر هم احتمال زمین لرزه و پارامتر مورد نظر جنبش

نیرومند زمین (غالبا شتاب زمین) رسم می‌گردد.

گام ۴: تهیه طیف‌های طراحی (Design Spectra)

دو روش تحلیل خطر لرزه‌ای،

برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای دو روش کلی در دنیا مطرح گردیده اند که عبارتند از:

الف) تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی

(Probabilistic Seismic Hazard Analysis یا به اختصار PSHA)

ب) تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی

(Deterministic Seismic Hazard Analysis یا به اختصار DSHA)

از نظر زمانی ابتدا روش PSHA، در دنیا مطرح گردید و مورد استفاده قرار گرفت ولی در این جا برای

سهولت ابتدا روش DSHA مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد.

تعریف دوره بازگشت،

اگر احتمال وقوع سالیانه یک زمین لرزه محتمل در آینده را برابر P در نظر بگیریم؛ احتمال وقوع این زمین لرزه در t سال به صورت زیر نشان داده می‌شود (Cornell, C.A., 1968):

$$R = 1 - (1 - p)^t$$

همچنین دوره بازگشت زمین لرزه برابر با $T = \frac{1}{p}$ در نظر گرفته می‌شود.

مثال: اگر احتمال رخ داد سالیانه زمین لرزه ای برابر با 0.01 باشد. دوره بازگشت این زمین لرزه برابر با 100 سال خواهد بود و در صورتی که بخواهیم احتمال رخ داد همین زمین لرزه را در 50 سال برآورد کنیم با توجه به معادله بالا $R=0.39$ خواهد بود. بدین معنی که احتمال رخ داد این زمین لرزه در 50 سال برابر 0.39 می‌باشد.

تعریف سطوح طراحی

در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مانند ICOLD (1989) و همچنین در استاندارد ۲۸۰۰ (ICSRDB, 1999) با

توجه به درجه اهمیت سازه یکی از ۴ نوع سطح طراحی برای سازه‌ها انتخاب می‌شود؛ که عبارتند از :

۱- سطح حداکثر زمین لرزه قابل وقوع (Maximum Credible Design Level: MCL)

۲- سطح ماکزیمم طراحی (Maximum Design Level: MDL)

۳- سطح مبنای طراحی (Design Basis Level: DBL)

۴- سطح ساخت (Construction Level: CL)

سطح طراحی MCL به صورت پارامترهای بزرگترین زمین لرزه ناشی از نزدیک ترین گسل یا بزرگترین زمین لرزه تاریخی یا بزرگترین زمین لرزه ای که از لحاظ تکتونیکی امکان وقوع در منطقه را دارد؛ تعریف می شود.

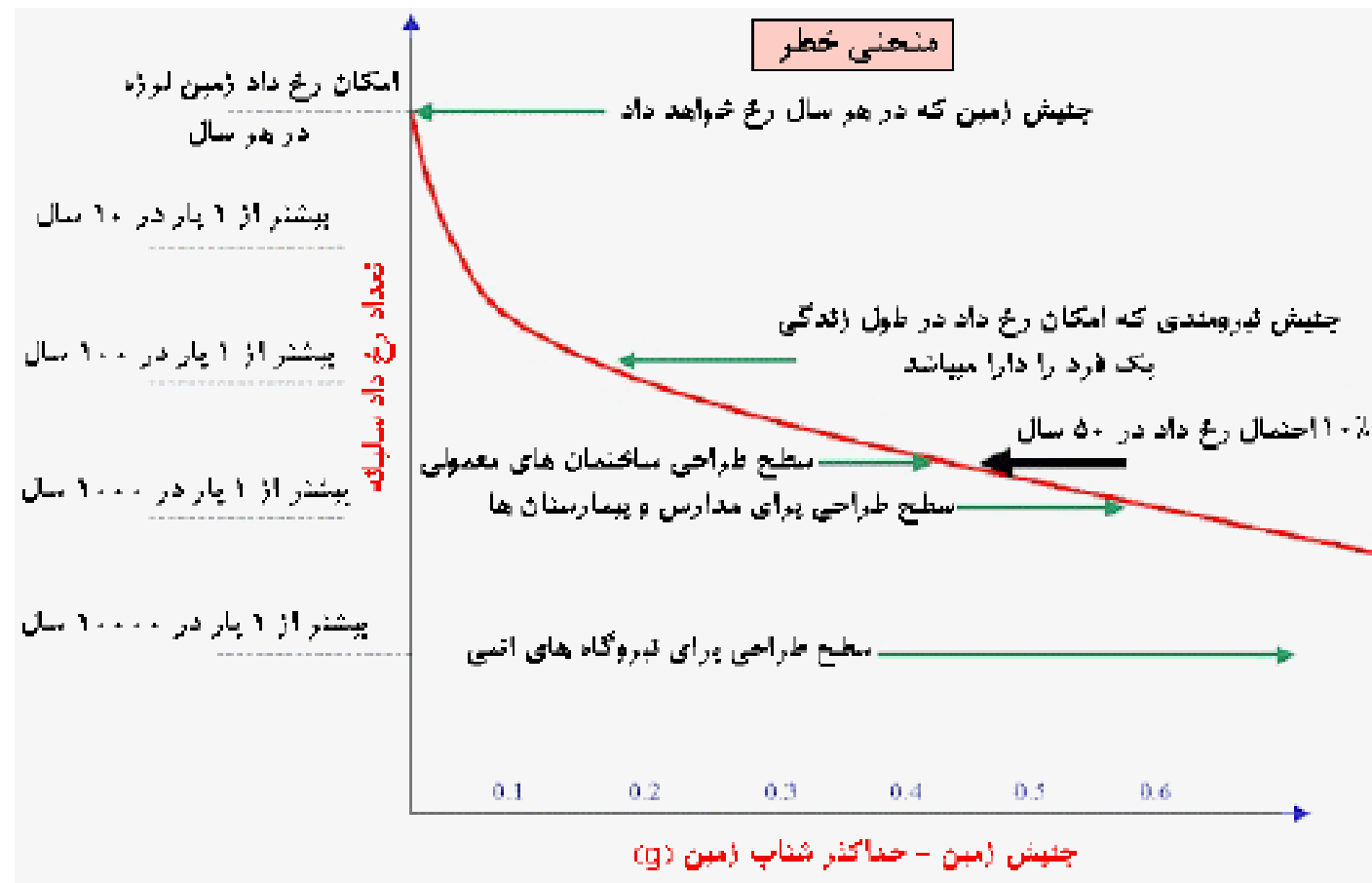
در سطح طراحی MDL، پارامترهای زمین لرزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ساله برای طراحی در نظر گرفته می شود.

در صورتی که بخواهیم سازه را برای زمین لرزه محتمل در عمر مفید سازه (زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۱۵۰ تا ۵۰۰ ساله (معمولا ۴۷۵ ساله)) طراحی کنیم از سطح طراحی DBL استفاده می شود. در این سطح طراحی امکان خرابی جزئی به سازه و اجزای غیر سازه ای مورد قبول می باشد ولی نایستی سازه به مرحله انهدام برسد.

پایین ترین سطح طراحی لرزه ای مربوط به سطح ساخت CL می باشد؛ بدین معنی که سازه های در حال ساخت بایستی بتوانند حداقل این زمین لرزه (زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله) را در صورت وقوع تحمل نمایند.

برای سطوح طراحی که در بالا اشاره گردید زمین لرزه محتمل در آینده با دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ ساله در نظر گرفته می شود. که زمین لرزه ۱۰۰۰۰ ساله مربوط به سطح طراحی MCL و زمین لرزه ۵۰ ساله مربوط به سطح طراحی CL می باشد.

پارامترهای جنبش زمین برای سطوح طراحی MDL و DBL و CL از تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی (PSHA) و پارامترهای جنبش زمین برای سطح طراحی MCL از تحلیل خطر لرزه ای به روش تعیینی (DSHA) بدست می آیند.



شکل ۱: منحنی تحلیل خطر و تعیین سطوح طراحی سازه ای بر روی آن

تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی (Deterministic).

تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی از ۴ گام اصلی تشکیل شده است.

(Bour *et al.*, 2000; Terrier *et al.*, 2000) :

الف : شناسایی منابع لرزه‌ای

ب: تعیین زمین‌لرزه کنترلی برای هر گسل

ج: انتخاب روابط کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین

د: محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین

الف ، شناسایی منابع لرزه‌ای ،

در گام اول برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای بایستی تمامی منابع لرزه‌ای که امکان ایجاد خرابی، در سایت مورد نظر را دارند ؛ شناسایی گردند. این شناسایی بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی معتبر، بازدیدهای محلی و همچنین بر اساس تفاسیر زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی منطقه انجام می‌گیرد (Krinitzsky, 1995). در شکل ۱،۲ ایالت‌های زمین‌ساختی تشکیل دهنده ایران در حالت کلی دیده می‌شود. در این مرحله بایستی گسل‌ها و منابع زمین لرزه موثر در سایت مورد نظر مدل گردند. انتخاب هر کدام از مدل‌ها بایستی بر اساس اطلاعات و مطالعات انجام شده صورت پذیرد.

مدلسازی چشمه‌های لرزه‌ای ۱

برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای ما چشمه‌های لرزه‌ای به سه شکل مدلسازی می‌شوند.

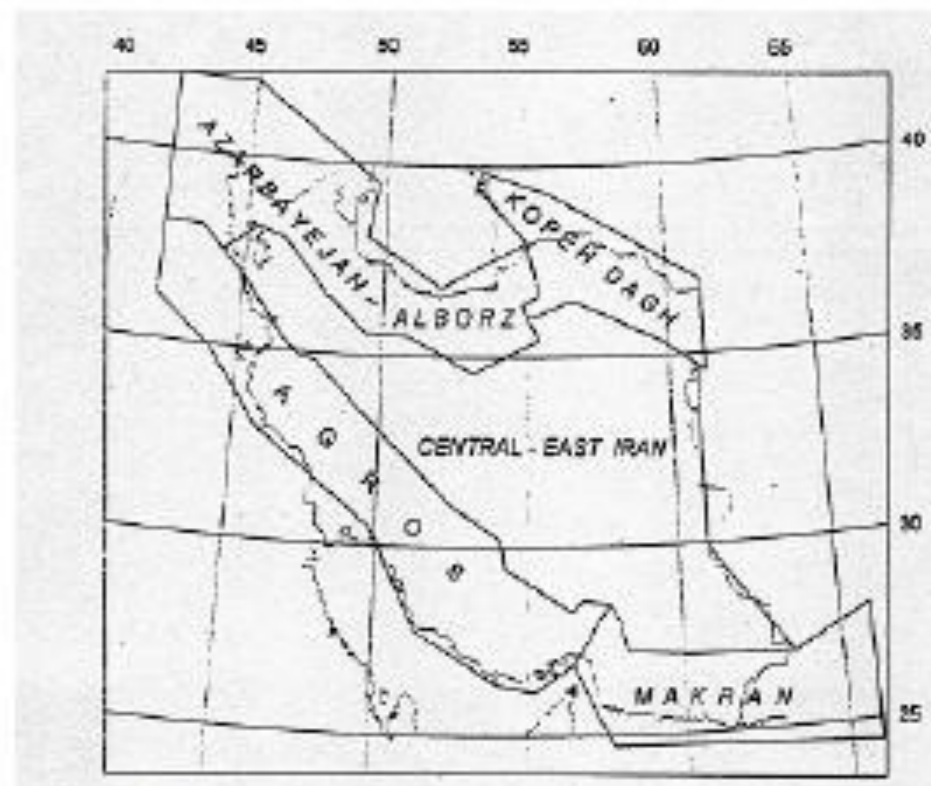
(۱) چشمه نقطه‌ای (Point Source)

(۲) چشمه خطی (Line Source)

(۳) چشمه سطحی (Area Source)

مدل چشمه نقطه ای یا مدل پواسون، قدیمی ترین مدل فرضی برای گسل ها می باشد. در این حالت زمین لرزه ها مستقل از همدیگر و به صورت منابع لرزه ای نقطه ای با بزرگا، محل رومرکز و عمق مربوط به خودشان مدل می شوند. این مدل برای مکان هایی که در آنها شناسایی گسل ها بسیار مشکل می باشد و یا مکان هایی که در آنها زمین لرزه های بزرگ با تعداد دفعات زیاد در نزدیکی سایت مورد نظر رخ می دهند؛ مورد استفاده قرار می گیرند. در هر صورت این مدل در مکان هایی که زمین لرزه های تاریخی زیادی در آنها رخ داده باشد (به دلیل اینکه در آنها تخمین بزرگا و فاصله رومرکز زمین لرزه و ... دارای خطای زیادی می باشند) مورد استفاده قرار نمی گیرد.

در صورت کمبود اطلاعات روی گسل ها و عدم آشنایی دقیق با ساز و کار فعالیت گسل ها، غالباً منابع لرزه ای به شکل سطحی مدل می شوند.



شکل ۲: ایالت های لرزه زمین ساختی ایران (میرزائی و همکاران، ۱۹۹۸)

ب ، تعیین زمین‌لرزه‌های کنترلی (M_{max})،

تعریف زمین‌لرزه کنترلی (M_{max}) :

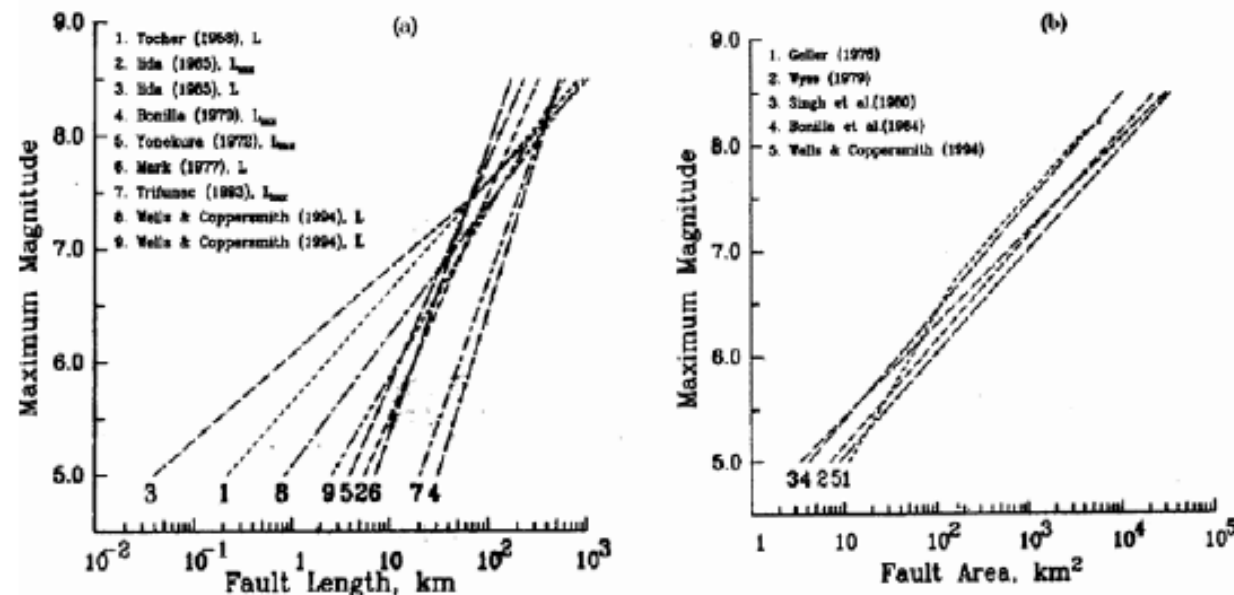
زمین‌لرزه کنترلی، مقدار حداکثر زمین‌لرزه ناشی از فعالیت هر گسل در سایت مورد نظر می‌باشد و با توجه به خطر لرزه‌ای در آن سایت تعریف می‌شود. و این مقدار از رابطه Wells & Coppersmith (1994) و یا از جداول و روابط دیگری برای محاسبه آن استفاده می‌گردد.

برای یک سایت با خطر لرزه‌ای نسبتاً کم، بزرگترین زمین‌لرزه محتمل در طول عمر مفید سازه‌ها به عنوان زمین‌لرزه کنترلی، انتخاب می‌گردد و این زلزله محتمل بر اساس آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای به صورت زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله تعریف می‌شود. برای سایتی که دارای سازه‌ها و یا عناصر غیر سازه‌ای مهم و حیاتی می‌باشد (نظیر نیروگاه‌های اتمی، پالایشگاه‌های نفتی و شیمیایی و ...) زمین‌لرزه کنترلی، به صورت بزرگترین زمین‌لرزه قابل وقوع بر اساس حداکثر پتانسیل گسل‌های منطقه انتخاب می‌شود.

بزرگترین زمین‌لرزه تاریخی در یک ناحیه و یا یک منبع لرزه‌ای به عنوان حداقل مقدار برای M_{max} محتمل برای آن ناحیه یا منبع لرزه‌ای می‌باشد. برای کارهای دقیق‌تر، با ترانشه زنی روی گسل‌ها و مطالعه حرکت آنها می‌توان به بزرگای دقیق‌تری از زمین‌لرزه‌های تاریخی دست پیدا کرد (Krinitzsky, 1995; Romeo and Prestininzi, 2000).

در مورد محاسبه فاصله سایت تا منبع لرزه‌ای مورد نظر، هنگامی که یک قسمتی از گسل دارای فعالیت بیشتری نسبت به جاهای دیگری از گسل باشد، می‌توان فاصله سایت تا منبع را فاصله سایت تا این بخش گسل در نظر گرفت. برای اطمینان بیشتر این فاصله را می‌توان کمترین فاصله سایت تا گسل هم در نظر گرفت.

در غالب موارد برای پیدا کردن M_{max} از روابط دگرسیون تجربی بین بزرگا و شرایط تکتونیکی و پارامترهای گسلش همچون طول و سطح گسیختگی استفاده می‌گردد. شکل 3a و 3b رابطه بین این پارامترها را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه چندین رابطه تجربی برای بدست آوردن زمین لرزه کنترل (M_{max})

(a) بر اساس طول گسیختگی و (b) بر اساس مساحت صفحه گسیختگی

برای بدست آوردن M_{max} ، می توان از روابط دیگری نیز بهره جست مانند:

(Smith, 1976; Anderson and Luco, 1983; Papastamatiou, 1980; Wesnousky, 1980)

که در این روابط M_{max} از محاسبه میزان کرنش یا میزان آزادسازی ممان لرزه ای در گسل مورد نظر

بدست می آید.

ج، انتخاب یک رابطه کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین،

تعریف کاهندگی به زبان ساده :

کاهش پارامترهای جنبش نیرومند زمین با دور شدن از منبع زمین لرزه را کاهندگی گویند.

رابطه کاهندگی و کاربرد آن:

برای محاسبه و برآورد خطر زمینلرزه در یک سایت یا تهیه نقشه‌های لرزه‌ای مناطق؛ ما به رابطه‌ای نیاز داریم که بتواند کاهندگی و میزان کاهیده شدن پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به پارامترهایی همچون فاصله سایت از منبع زمین لرزه، اندازه زمین لرزه و شرایط تکتونیکی و زمین‌شناسی و ... پیوند دهد؛ که این رابطه، رابطه کاهندگی نامیده می‌شود.

روابط کاهندگی به طور عمده برای برآورد پارامتر حداکثر شتاب زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

(Boit, 1942; Housner, 1959; Newmark and Hall, 1969; Seed et al , 1976; Mohraz, 1976).

با این وجود در سال‌های اخیر روابط کاهندگی برای برآورد طیف پاسخ به طور مستقیم، ارائه گردیده‌اند. (Trifunac, 1992; Gupta) علاوه بر این روابطی هم برای محاسبه طیف فوریه و طیف پاسخ و تاریخچه زمانی شتاب زمین لرزه طرح، مطرح گردیده‌اند که در این مورد می‌توان به کارهای (Tsai, 1972; Wong and Trifunac, 1979; Lee and Trifunac , 1989; Gupta and Joshi, 1993,) اشاره کرد.

تمامی روابط کاهندگی موجود وابستگی شدیدی به بزرگا و فاصله رخ داده‌ای در نظر گرفته شده تا سایت مورد نظر دارند. انتخاب رابطه کاهندگی بایستی بر اساس سایت مورد نظر و مکانیزم فعالیت منابع لرزه‌ای (کششی و فشاری و ...) و همچنین دیتاهای مورد استفاده برای تشکیل رابطه کاهندگی باشد. در ادامه به چند رابطه کاهندگی جهانی و مناسب برای استفاده در کشور ایران، اشاره می‌گردد.

دو رابطه کاهندگی مهم جهانی

رابطه (Boore et al 1997):

این رابطه کاهندگی، برای تخمین مولفه افقی جنبش زمین برای شمال غربی آمریکا و برای زمین لرزه های با $5 \leq M \leq 7.7$ و فاصله کمتر از 100km تهیه شده است.

$$\log_{10}(Y) = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_4r + b_5 \log_{10}(r) + b_6G_B + \dots + b_7G_C + \delta_{\log(Y)}$$

$$r = \text{برابر است با } (R^2 + h^2)^{1/2}$$

Y = پارامتر مورد محاسبه (اگر طیف پاسخ باشد واحد پارامتر Cm/s و اگر حداکثر شتاب باشد واحد آن g خواهد بود).

M = ممان لرزه‌ای زمین لرزه

R = کوتاه‌ترین فاصله روی سطح زمین (km) از سایت مورد نظر به روی گسل

G_B, G_C = ضرایب نوع خاک

$\delta_{\log(Y)}$ = انحراف معیار و $h, b_{1.7}$ = ضرایب ثابت هستند

دسته‌بندی خاک در این روش بر اساس سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک می‌باشد.

دسته‌بندی خاک در این روش بر اساس سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک می‌باشد.

نوع خاک	دسته‌بندی	تعداد رکورد	
A	$V_{S30} > 750 \text{ m/s}$	۴۸	$G_B = G_C = 0$
B	$360 < V_{S30} \leq 750$	۱۱۸	$G_B = 1, G_C = 0$
C	$180 < V_{S30} \leq 360$	۱۰۵	$G_B = 0, G_C = 1$

برای بزرگترین مولفه افقی شتاب ضرایب رابطه قبل به صورت :

$$b_1 = -0.038, b_2 = 0.216, b_3 = 0, b_4 = 0, b_5 = -0.777, b_6 = 0.158, b_7 = 0.254, h = 5.48, \\ \delta = 0.205$$

رابطه بزرگنیا (Bozorgnia et al 2000)

این رابطه برای زمین لرزه های کم عمق پوسته ای با بزرگای $6 \leq M_w \leq 7$ مورد استفاده قرار می گیرند.

$$\begin{aligned} \ln Y = & c_1 + c_2 M_w + c_3 (8.5 - M_w)^2 \\ & + c_4 \ln(\{R_s^2 + [(c_5 S_{HS} + c_6 \{S_{PS} + S_{SR}\} + c_7 S_{HR}) \\ & \exp(c_8 M_w + c_9 \{8.5 - M_w\}^2)]^2\}^{1/2}) + c_{10} F_{SS} + c_{11} F_{RV} + c_{12} F_{TH} \\ & + c_{13} S_{HS} + c_{14} S_{PS} + c_{15} S_{SR} + c_{16} S_{HR} \end{aligned}$$

Y بر حسب g؛

ضرایب معادله بالا برای مولفه افقی شتاب (تصحیح نشده) :

$$\begin{aligned}c_1 &= -2.896, c_2 = 0.812, c_3 = 0, c_4 = -1.318, c_5 = 0.187, c_6 = -0.029, \\c_7 &= -0.064, c_8 = 0.616, c_9 = 0, c_{10} = 0, c_{11} = 0.179, c_{12} = 0.307, \\c_{13} &= 0, c_{14} = -0.062, c_{15} = -0.195, c_{16} = -0.320, \sigma = 0.509\end{aligned}$$

برای مولفه افقی شتاب (تصحیح شده):

$$\begin{aligned}c_1 &= -4.033, c_2 = 0.812, c_3 = 0.036, c_4 = -1.061, c_5 = 0.041, c_6 = -0.005, \\c_7 &= -0.018, c_8 = 0.766, c_9 = 0.034, c_{10} = 0, c_{11} = 0.343, c_{12} = 0.351, \\c_{13} &= 0, c_{14} = -0.123, c_{15} = -0.138, c_{16} = -0.289, \sigma = 0.465\end{aligned}$$

برای مولفه قائم شتاب (تصحیح نشده) :

$$\begin{aligned}c_1 &= -2.807, c_2 = 0.756, c_3 = 0, c_4 = -1.391, c_5 = 0.191, c_6 = 0.044, \\c_7 &= -0.014, c_8 = 0.544, c_9 = 0, c_{10} = 0, c_{11} = 0.091, c_{12} = 0.223, \\c_{13} &= 0, c_{14} = -0.096, c_{15} = -0.212, c_{16} = -0.199, \sigma = 0.548\end{aligned}$$

برای مولفه قائم شتاب (تصحیح شده) :

$$\begin{aligned}c_1 &= -3.108, c_2 = 0.756, c_3 = 0, c_4 = -1.287, c_5 = 0.142, c_6 = 0.046, \\c_7 &= -0.040, c_8 = 0.587, c_9 = 0, c_{10} = 0, c_{11} = 0.253, c_{12} = 0.173, \\c_{13} &= 0, c_{14} = -0.135, c_{15} = -0.138, c_{16} = -0.256, \sigma = 0.520\end{aligned}$$

دسته بندی نوع خاک در این روش:

HS: Holocene Soil (خاک دوره هولوسن) $S_{HS}=1$, $S_{ps}=0$, $S_{SR}=0$, $S_{HR}=0$

PS: Pleistocene Soil (خاک دوره پلیستوسن) $S_{HS}=0$, $S_{ps}=0$, $S_{SR}=1$, $S_{HR}=0$

SR: Soft rock (سنگ نرم) $S_{HS}=0$, $S_{ps}=0$, $S_{SR}=1$, $S_{HR}=0$

HR: Hard rock (سنگ سخت) $S_{HS}=0$, $S_{ps}=0$, $S_{SR}=0$, $S_{HR}=1$

دسته بندی سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک برای انواع خاک ها:

متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک = 290 ms^{-1} HS :

متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک = 370 ms^{-1} PS :

متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک = 420 ms^{-1} SR :

متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول خاک = 800 ms^{-1} HR :

دسته بندی ساز و کار زمین لرزه ها:

Strike - slip	$F_{TH}=0$, $F_{SS}=1$, $F_{RV}=0$
Reverse	$F_{TH}=0$, $F_{SS}=0$, $F_{RV}=1$
Thrust	$F_{TH}=1$, $F_{SS}=0$, $F_{RV}=0$

$$\log PGA = a M_w + b R - d \log R + c_i S_i + \sigma P$$

M_w = بزرگی گشتاوری زلزله

$d = 1$ (امواج حجمی) ; $d = 0.5$ (امواج سطحی)

$P = 0$ PGA (میانگین) ; $P = 1$ PGA (میانگین + انحراف)

ضرایب a, b, c و σ رابطه کاهندگی برای PGA

محدوده	a	b	c_1	c_2	c_3	c_4	σ
ایران مرکزی، البرز (قائم)	0.322	-0.003	-0.828	-0.754	-0.971	-0.788	-0.352
ایران مرکزی، البرز (افقی)	0.322	-0.004	-0.688	-0.458	-0.720	-0.585	-0.394
زاگرس (قائم)	0.406	-0.038	-0.262	-0.333	-0.230	-0.777	-0.356
زاگرس (افقی)	0.399	-0.019	-0.47	-0.65	-0.20	-0.975	-0.329
ایران (قائم)	0.362	-0.002	-0.124	-0.150	-0.139	-0.64	-0.336
ایران (افقی)	0.360	-0.003	-0.916	-0.852	-0.900	-0.859	-0.333

مثال:

منطقه البرز و $S = 1$ و $M_w = 7.2$ و $R = 15 \text{ km}$

$$\log \text{PGA} = a M_w - b R - \log R - c_i S_i$$

$$\begin{aligned}\log \text{PGA} &= 0.322 \times 7.2 - 0.003 \times 15 - \log(15) - 0.828 \\ &= 0.309\end{aligned}$$

$$\text{PGA} = 2.037 \text{ m/s}^2 = 0.21 \text{ g} \quad \text{بیانگین PGA (۶۴٪ احتمال):}$$

بیانگین + انحراف معیار (۸۴٪ احتمال یا ۹۵٪ احتمال افزایش):

$$\log \text{PGA} = 0.309 + 0.352 = 0.661$$

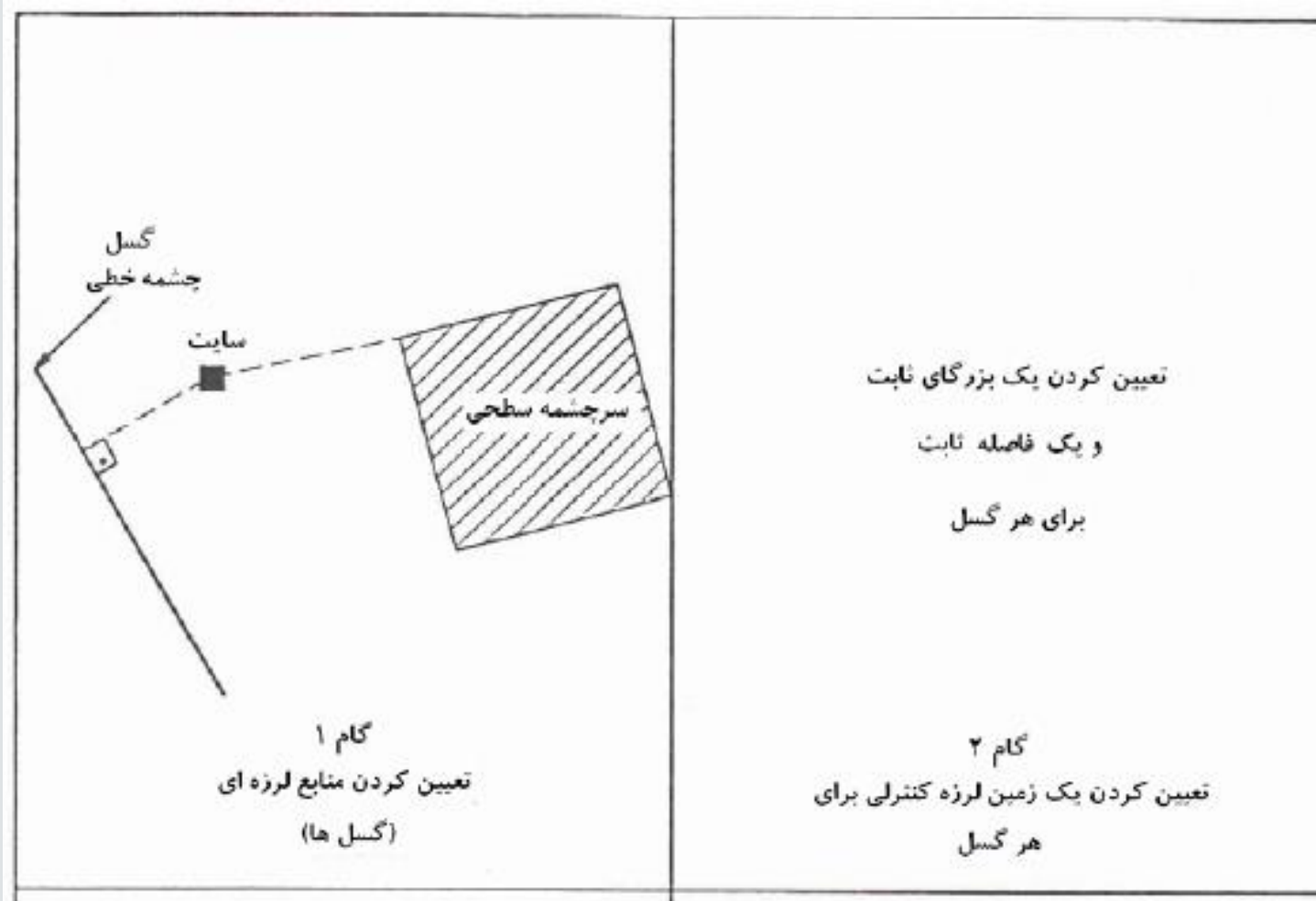
$$\text{PGA} = 4.581 \text{ m/s}^2 = 0.47 \text{ g}$$

گام ۴ ، محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین ،

در گام آخر پارامترهای طراحی لرزه‌ای از جمله PGA، PGV و ... ؛ با استفاده از همان رابطه کاهشدهی انتخاب شده در گام ۳ ، برای سایت مورد نظر محاسبه می‌گردد.

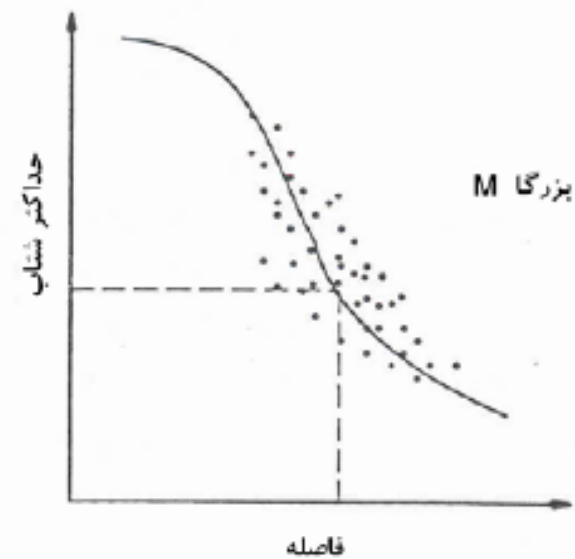
فرضاً برای محاسبه PGA، بزرگترین PGA بدست آمده از محاسبات به عنوان PGA طراحی انتخاب می‌گردد. این پارامتر PGA می‌تواند برای گام‌های بعدی از جمله مقیاس بندی کردن طیف طرح پاسخ شتاب بکار برود.

شکل ۴ : گام های اساسی تحلیل خطر لرزه ای به روش تعیینی



حداکثر شتاب زمین
و یا
هر بارامتر مهندسی یا طیف قوریه یا طراحی

گام ۴
محاسبه جنبش نیرومند زمین



گام ۳
انتخاب رابطه کاهشگی

تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی (PSHA)،

همانطوری که در بخش قبل اشاره گردید؛ پارامترهای طراحی جنبش زمین در روش تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی (Deterministic) برای یک بزرگای معین از زمینلرزه، روی یک منبع معین و در یک فاصله معین از سایت بدست می‌آیند و در این روش ما قادر به برآورد سطح خطرهای مختلف برای سایت مورد نظر نیستیم. بالعکس، در تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی (Probabilistic) همه زمینلرزه‌های با بزرگای معین (معمولاً بالای یک مقدار حداقل، M_0 روی همه منابع لرزه‌ای و در تمام فواصل ممکن از سایت در نظر گرفته شده و با همدیگر ترکیب می‌شوند و در نتیجه با استفاده از تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی می‌توان با توجه به درجه اهمیت سایت مورد نظر، پارامترهای طراحی جنبش نیرومند زمین را با در نظر گرفتن سطوح خطر و سطوح طراحی متناسب با آن بدست آورد.

فرضیات در روش PSHA :

در اغلب موارد، واقعیت با در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده، به صورت ریاضی مدل و ساده سازی می شود. اعتبار مدل ریاضی محدود به سناریوها و فرضیات آنها می شود. هر قدر این فرضیات دقیق تر و به واقعیت نزدیک تر باشد به همان اندازه مدل ریاضی بهتر و دقیق تر خواهد بود.

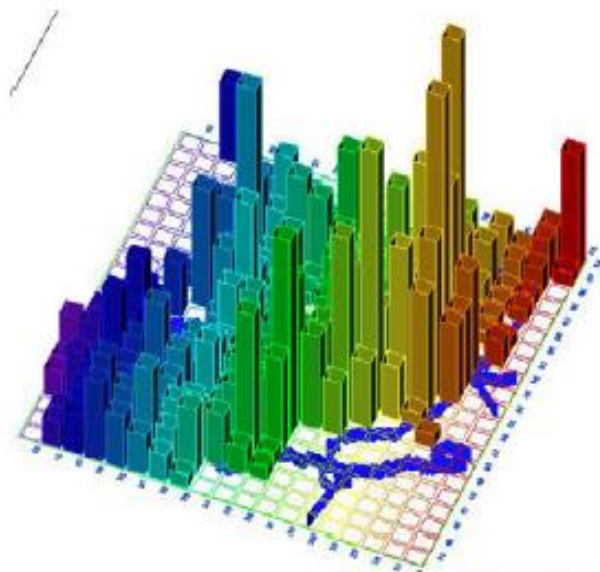
پس در نتیجه بکاربردن روش های مهندسی بدون توجه به فرضیات کار، ممکن است ما را به سمت نتایج غلط رهنمون سازد؛ تحلیل خطر لرزه ای با روش PSHA نیز از این قاعده مستثنی نمی باشد.

۴ گام اساسی تشکیل دهنده تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی (PSHA):

- ۱- شناسایی منابع لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه
- ۲- محاسبه رابطه بین فراوانی زلزله ها و بزرگای آنها (توزیع بزرگا و محاسبه متوسط میزان رخ داد زمین لرزه ها) و محاسبه چگالی و توزیع احتمال
- ۳- انتخاب رابطه کاهندگی
- ۴- محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه ای سایت مورد نظر

گام ۱: برای بررسی لرزه‌خیزی در محدوده مطالعاتی انتخاب شده، تمام زلزله‌های بوقوع پیوسته از بانک داده‌های لرزه‌ای استخراج می‌شوند. مشخصات و ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی با استفاده از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های تاریخی و یا با استفاده از علم دیرینه لرزه‌شناسی بدست می‌آیند (شکل ۵).

گام ۲: محاسبه رابطه بین فراوانی زلزله‌ها، توزیع بزرگای آنها و محاسبه متوسط میزان رخ داد زمین لرزه‌ها و تشکیل یک مدل برازشی (Cornell, 1968; Anderson and Trifunac, 1977)



شکل ۵: زمین لرزه‌های با بزرگای ۵ و بالاتر رخ داده در کشور ایران (بیت‌اللهی، ۱۳۸۵)

تعریف مدل برازشی،

یک مدل برازش، تعداد نسبی زمین‌لرزه‌های با سطوح مختلف بزرگای را نشان می‌دهد در اغلب موارد این، این مدل برازشی به صورت رابطه گوتنبرگ-ریشتر انتخاب می‌گردد.

خط برازش گوتنبرگ - ریشتر (Gutenberg - Richter b - line):

معادله خط برازشی گوتنبرگ-ریشتر به صورت زیر می‌باشد

$$\log N = a - bM$$

که در آن M ، بزرگای زمین‌لرزه؛ N ، تعداد زمین‌لرزه‌های مورد انتظار بزرگتر از زمین‌لرزه‌ای با بزرگای M ؛ a و b اعداد ثابت رابطه گوتنبرگ-ریشتر بالا می‌باشند. که رابطه بالا در مقیاس لگاریتمی به صورت یک رابطه خطی از متغیر مستقل M و متغیر وابسته N و با خروج از محور a و شیب b تعریف می‌شود (Gutenberg and Richter, 1954).

روند و تعاریف ریاضی مورد نیاز برای تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی:

بدست آوردن تابع توزیع احتمال زمین‌لرزه‌ها:

(e.g., Schwartz and Coppersmith, 1984; Wesnousky, 1994; etc.)

$$P[M < m] = \frac{1 - e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_u-m_0)}} = C(1 - e^{-\beta(m-m_0)}) = cte$$

که در معادله بالا m بزرگای زلزله؛ m_0 ، کوچکترین زمین‌لرزه در منطقه؛ m_u ، بزرگترین زمین‌لرزه؛ β

، ضریب لرزه‌خیزی منطقه می‌باشد. بعد از بدست آوردن تابع توزیع احتمال، تابع چگالی احتمال از

مشتق تابع توزیع بدست می‌آید:

$$f_M(m) = P_M(m) = \frac{dF_M(m)}{dm}$$

$$f_M(m) = c\beta e^{-\beta(m-m_0)}$$

که تابع چگالی احتمال در حالت گسسته به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$f_1(M) = c_1 \cdot \beta_1 \cdot e^{-\beta_1(M-M_0)}$$

که در رابطه بالا M_0 ، حداقل بزرگای زمین لرزه در سایت مورد نظر و بدلیل رسم رابطه گوتنبرگ – ریشتر در مقیاس لگاریتمی $\beta_1 = b_1$ می باشد.

می دانیم که سطح زیر منحنی تابع چگالی احتمال بزرگا برابر واحد می باشد در نتیجه :

$$c_1 = \frac{1}{1 - e^{-\beta_1 \cdot (M_{\max} - m_0)}}$$

محاسبه پارامتر لرزه خیزی ν یا میزان متوسط رخ داد زمین لرزه

$$\nu_1 = (N_1(m_0) - N_1(M_{\max})).L$$

که در رابطه بالا ؛ L طول گسل می باشد و m_0 و $m_{\max}$ به ترتیب حداقل و حداکثر زمین لرزه موجود در داده های مورد استفاده برای تحلیل خطر می باشند.

$N_1(m_0), N_1(M_{\max})$ از رابطه گوتنبرگ – ریشتر بدست آمده در گام اولیه بدست می آیند.

در ادامه به محاسبه پارامتر جنبش نیرومند زمین با استفاده از رابطه کاهندگی برای سایت مورد نظر در بازه‌های مشخص شود می‌پردازیم. احتمال اینکه پارامتر مورد نظر (در اینجا PGA) کمتر از مقادیر فرضی acc باشد به صورت زیر می‌باشد :

$$P(PGA < acc | EQ : R, M) = \phi\left(\frac{\ln(acc - \lambda)}{\xi}\right)$$

در رابطه بالا acc یکی از مقادیر فرضی برای محاسبه احتمال در این مقدار می‌باشد که معمولاً برای PGA به صورت زیر انتخاب می‌گردد ($0.05g, 0.1g, 0.15g, 0.2g, \dots, 0.6g$) ؛ λ میانگین مقادیر $\ln(PGA)$ و ξ برابر انحراف معیار $\ln(PGA)$ می‌باشد.

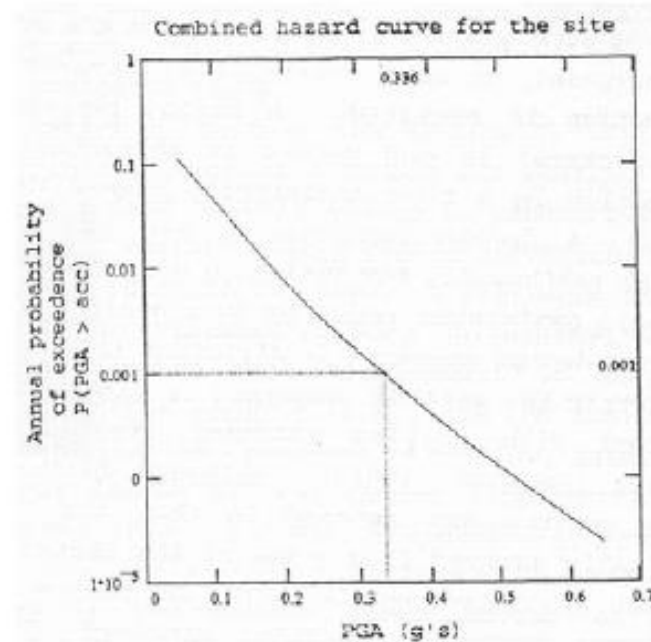
$$\begin{cases} \lambda = E[\ln(PGA)] \\ \xi = \sigma(\ln(PGA)) \end{cases}$$

در نهایت احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای با PGA بزرگتر از مقادیر فرضی acc به صورت زیر بدست می‌آید (Anderson and Trifunac, 1977, 1978a).

$$P(PGA > acc | EQ) = \sum_R \sum_M P(PGA > acc | EQ : M, R) \cdot f(M) \Delta M f(R) \Delta R$$

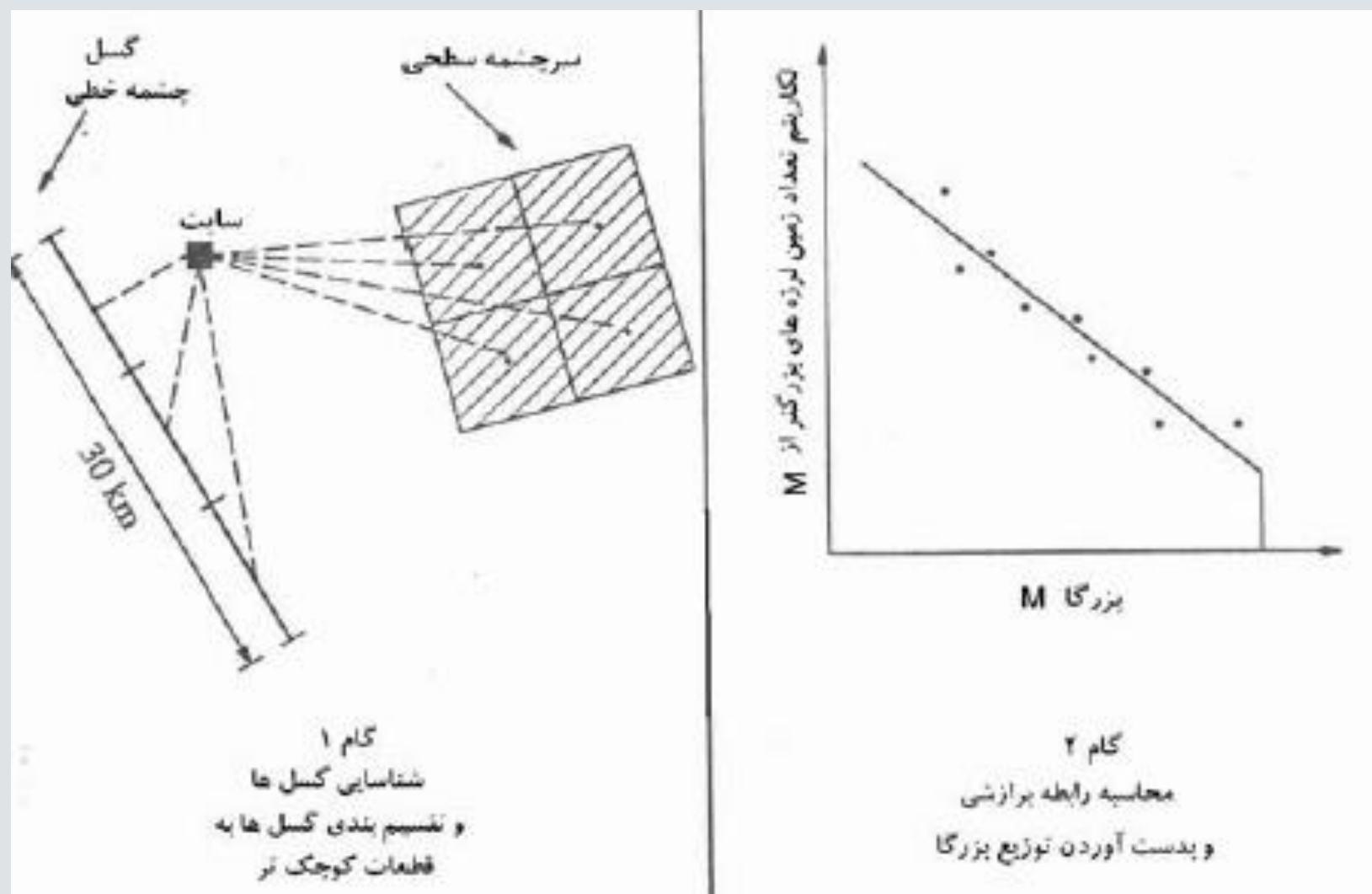
$$P(PGA > acc | EQ) = \sum_R \sum_M P(PGA > acc | EQ : M, R) \cdot f(M) \Delta M f(R) \Delta R$$

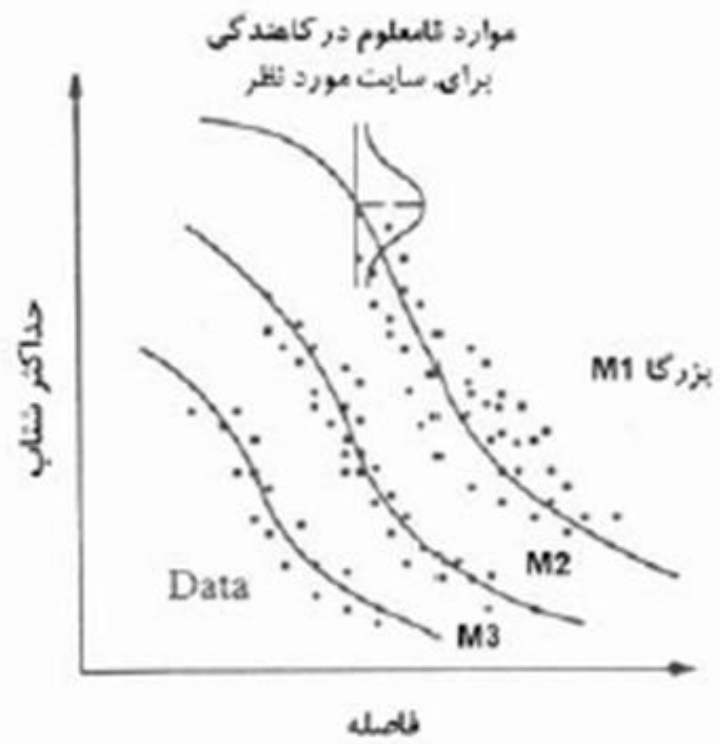
که نتیجه رابطه بالا به صورت گسسته، بیان گر احتمال رخداد زمین لرزه‌ای با PGA بزرگتر از acc در سایت مورد نظر می‌باشد. نتیجه نهایی روندهای اشاره شده در بالا منحنی است که در دو محور قائم بر هم (محور افقی PGA و محور قائم احتمال رخداد سالیانه) رسم و ارائه می‌گردد.



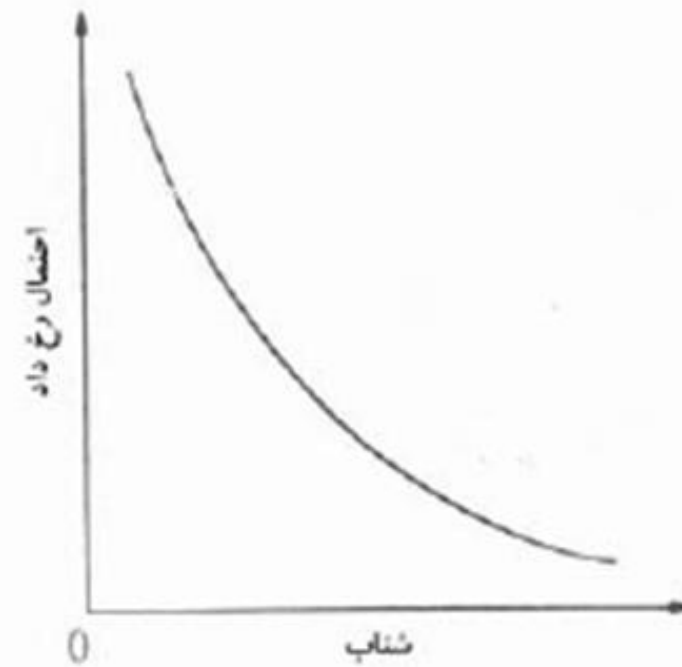
شکل ۶: منحنی خطر نهایی بر حسب PGA و احتمال رخ داد سالیانه زمین لرزه

شکل ۸: گام های اساسی تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی





گام ۲
انتخاب رابطه کاهندگی



گام ۴
محاسبه منحنی خطر سایت مورد نظر

$$\text{خطر پذیری} = \frac{\text{ارزش} \times \text{آسیب پذیری مستحدمات} \times \text{خطر زلزله}}{\text{مدیریت}}$$

آسیب پذیری مستحدثات
(Vulnerability)

Seismic Performance

- Type of foundation
- Configuration of the structure
 - Load bearing system
 - Material
- Design and construction detailing
- Time of construction
 - Seismic provisions
 - Age (Deterioration)

Superstructure-Foundation

- The whole structure-foundation system should work as a unit
- The superstructure should be tied properly to the foundation
- M6.7, Coalinga, California, 1983
- 15% surveyed buildings slid on their foundation
- Porch columns offset by 0.5m



Superstructure-Foundation

- This is another example
- One-story wood-frame slid on its foundation by 1m



- Sliding on foundation can also happen in engineered structures
- Medical Treatment and Care Unit of Olive View Hospital
- M6.5, San Fernando, California, 1971
- Wall shifted on support at the first floor, because they were purposefully separated by a steel plate from RC supporting floor

Superstructure-Foundation



Damage in Wood-frames



Damage due to Vibration

- Earthquake exerts inertia forces on the structure
- Newton's second law: $\text{Force} = \text{Mass} \cdot \text{Acceleration}$
- Lighter material $\rightarrow$ Lower forces

Suitability of timber structures

- Timber structures are suitable for low-rise buildings
- Timber has a high strength to weight ratio
- Timber is expensive in Iran, which renders it uneconomic
- The weak point in these structures is in their connections

This slide:

- M6.5, San Fernando, CA, 1971
- Many modern one- and two-story wood frames were severely damaged, because the garage walls at the first story were inadequately braced
- The garage openings ...
 - reduce the area of the walls that resists the lateral and gravity forces
 - Introduce eccentricities that lead to torsional loading

Damage in Wood-frames



- Porch collapse because of inadequate tie to the main structure or lack of own lateral bracing

- Unreinforced masonry is very susceptible to seismic damage
- Solid brick
 - Is very heavy
 - Has low tensile, and thus flexural, strength
- Old URM buildings do not have proper connections to the floors, roof, and exterior and interior walls
- They are a treat to occupants as well as people walking in the neighborhood
- Walls start to fall as soon as a moderate EQ starts
- Downtown, Managua, Nicaragua, M6.2, 1972
- Most of the 5,000 death were due to falling of masonry walls and roofs on people

Damage in Masonry Structures



Damage in Masonry Structures

- Out-of-plane failure



Damage in Masonry Structures

In-plane failure



Damage in Masonry Structures



Out-of-plane failure

Damage in Masonry Structures



Out-of-plane failure

Damage in Masonry Structures

- Close to collapse (got lucky!)
- Properly reinforced masonry can be used in seismic design
- URM can only be used in small panels that are confined by structural elements



- Concrete should be reinforced because it has a poor strength in shear and tension
- Proper amount of reinforcement and proper detailing are key in seismic design of concrete structures
- The reinforcement provides the required ductility
- Pre-1970 concrete structures were non-ductile, which are currently a huge potential source of seismic loss
- Hospital in 1971 San Fernando Earthquake
- Central columns which were spirally confined remained structurally sound
- Unconfined concrete at the corner columns disintegrated

Damage in Concrete



Damage in Concrete

- Hospital in 1971 San Fernando Earthquake
- Columns of the first story of this two-story reinforced concrete building failed in shear
- The second floor dropped onto the ground translating nearly 2 meters



Left:

- 1971 San Fernando earthquake
- Failure of the reinforced concrete cantilevered canopy surrounding the building
- Ground uplift as a result of the movement of the walls of the utility tunnel connecting the exhaust building with the basement of the main building

Right:

- 1980 El Asnam Earthquake
- Failure of the reinforced concrete supporting tower of an elevated reinforced concrete water tank
- Failure was due to poor detailing of the reinforcement at the beam-column connections

Damage in Concrete



Damage in Concrete

- Close-up of the failure of the cantilever-slab and beam-column connection of the canopy surrounding the building in the previous slide
- Failure was due to inadequate anchorage of the reinforcement at the connection



- Because of high strength per unit weight of steel, the slenderness of steel structural members usually exceeds significantly the slenderness of similar structural members made of other traditional materials
- Thus buckling becomes a serious problem
- The higher the yielding strength of the steel the greater the danger of buckling
- Another problem in steel structures is in connections
- Note the high slenderness of this steel structure

Damage in Steel



Damage in Steel

- Slender braces
- Steel diagonal straps used as braces
- Note the plastered stud wall on the ground



Left:

- Six-story office building with a penthouse
- Moment frame

system Right:

- Severe local buckling of the corner column just below the second floor level
- Flanges of this 14-in wide-flange column weighing 30 lb/ft (w14x30) tore away from the web and the web crimped
- The 10-cm reinforced concrete curtain wall was not attached to the steel column
- The mid-story stair landing was connected to this corner column, making it shorter and therefore stiffer than the other columns

Damage in Steel



Damage in Steel

- Severe local buckling of flanges and web at the bottom of the first story column (w14x30)
- The 10-cm reinforced concrete curtain wall was not attached to the steel columns



Integral Action of Foundation

- 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake
- Damage to foundation of a house
- Damage was due to :
 - Lateral ground spreading of loose saturated granular soils
 - Inadequate reinforcement of the foundation



- Piles used when there is
 - Soft soil
 - Liquefaction potential
- Important points in pile design
 - Pile caps should be tied together with tie beams or a reinforced concrete slab that can work in tension and compression so that the foundation can act as a unit (assuring the integrity of the foundation).
 - Bearing, rather than friction piles, should be used if the foundation materials might liquefy.

Pile Foundations



- Piles should be able to carry not only axial but also shear and bending forces (which can be developed due to relative horizontal displacements between different layers in the soil deposit). Therefore, in the case of concrete piles, these should not only be longitudinally reinforced but also confined by suitable lateral reinforcement, particularly immediately below the pile cap.
- Slide: School in Japan in 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake. Proper pile foundation design, no damage to school although it is built in soft soil.

- Bridge failure is due to
 - Failure of foundation
 - Failure of the supporting columns
 - Lack of integral action between the substructure and the superstructure
- Liquefaction a major hazard for bridges
- Slide: Collapse of the Showa Bridge that was due to the relative movement of the bridge piers which were supported on steel piles driven through loose sands below the mud line. The distortion of the pile caused by the loss of lateral support from the liquefied sands induced the relative movement of the piers, causing the simple unconnected spans of the bridge to fall.

Bridges



Bridges



- Many failures are NOT due to liquefaction
- Bridge damaged in the 1971 San Fernando Earthquake

- Bridge in the previous slide
- View of the failed column of the bridge
- The 22 #18 (5.7-cm diameter) reinforcing bars of this 1.2 x 1.8-m column were pulled out of the pile shaft
- This emphasizes the importance of achieving integral action (continuity) between the substructure (foundation) and the superstructure

Bridges



- Foothill Boulevard Undercrossing damaged in the 1971 San Fernando earthquake
- This is an inland bridge (Many in Tehran)
- Superstructure (box girder bridge) is supported on 1.2-m octagonal columns.
- Undamaged superstructure underwent significant horizontal rotation
- This induced severe damage to the substructure columns due to their inadequate lateral reinforcement
 - #4 (13-mm diameter) hoops spaced at 30.5 centimeters
- Note the severe fracture of the near outside column

Bridges



- In seismic design, one must ensure the integral action (continuity)
 - between the substructure and the superstructure
 - among the different components of each of the main parts of the whole structural system
- Slide:
 - Damage to a 2-story masonry building
 - El Centro in the 1979 Imperial Valley Earthquake
 - Upper parts of the brick walls fell down on the sidewalk due to lack of proper connection with the roof
 - A building should be tied at the roof and floor levels continuously from exterior to exterior walls

Tying Together the Superstructure





- Chimney collapse of a modern house (non-structural damage)
- 1983 Coalinga Earthquake
- Most of the chimneys were thrown down because of the lack of proper connections to the buildings
- A chimney must be tied to the frame of the building at the roof and floor levels
- This can be achieved easily and economically through the use of adequate steel straps

- Anchorage, Alaska, 1964
Alaska Earthquake
- Single-story building, 200 ft square in plan
- Precast reinforced concrete hammerhead-tee column sections, precast reinforced concrete walls, and precast-prestressed concrete roof tees
- About half of these structural elements fell down because of inadequate connections, emphasizing the importance of properly tying together all of the building components

Tying Together the Superstructure



- Collapse of one of the stair towers of a hospital
- 1971 San Fernando Earthquake
- This unit had 4 stair towers, and 3 of them collapsed by overturning
- These stair towers were separated from the main tower unit
- But the separation was inadequate
- This resulted in the main unit **pounding** against the towers, which overturned after the failure of the poorly reinforced supporting columns in the lower story

Tying Together the Superstructure



- Collapsed canopy of the primary school
- 1980 El Asnam Earthquake
- Each canopy was about 3.5 x 19.5 meters in plan, supported by a row of four centrally located cylindrical columns
- The failure of this canopy was triggered by the large overturning moment developed at the base of the column
- The canopy in this slide was flanked by a building on one side only

Tying Together the Superstructure



- Same school as in previous slide
- Identical canopies that were placed between two adjacent buildings (one on each side) were severely damaged but remained standing
- Significant damage at the top and bottom of the columns and permanent distortion of the columns
- The canopies hammered against the facade of the adjacent buildings, producing damage in the facades
- These buildings restrained the lateral deformation of the canopy roof thereby preventing its collapse

Tying Together the Superstructure



Concluding Remarks

- Most provisions are only concerned with designing against ground shaking
- The importance of damage due to ground failure was illustrated
- Need for analyzing the suitability of the site selected for the structure before design and construction
- In certain cases, safe design can be achieved by designing a proper foundation
- In most cases, the only solution is change of the site
- In ground-failure prone regions, government must prohibit construction

$$\text{خطر پذیری} = \frac{\text{ارزش} \times \text{آسیب پذیری مستحادثات} \times \text{خطر زلزله}}{\text{مدیریت}}$$

علل خرابی سازه ها در زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ - بم

انواع سازه های موجود:

۱- سازه های خشتی با سقف گنبدی

۲- سازه های با مصالح بنایی و بدون شناژ

۳- سازه های با مصالح بنایی و با شناژ

۴- سازه های اسکلت فلزی

۵- سازه های بتنی



۱- سازه های خشتی با سقف گنبدی

تعداد تقریبی اینگونه سازه ها : ۳۹۸۲ واحد

این سازه ها صد در صد ویران شده اند

زلزلہ بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی







زلزلہ بم - ۵ دی



۲-سازه های با مصالح بنایی و بدون شناژ



تعداد تقریبی این گونه سازه ها: ۱۵۱۶ واحد



این سازه ها صد در صد تخریب شده اند

علل تخریب :

۱- عدم دیوار چینی صحیح

۲- عدم استفاده از ملات خوب

۳- عدم اجرای قفل و بست دیوارها

۴- عدم اجرای میلگردهای ضربداری روی سقف

۵- سنگینی سقف ها بیش از اندازه

۶- عدم آگاهی مجریان ، پیمانکاران و ناظران

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزلہ بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزلہ بم - ۵ دی





زلزلہ بم - ۵ دی

مرکز مشاورت و خدمات روانشناختی
پنجاب



زلزله بم - ۵ دی





زلزلہ بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



۳-سازه های بنایی با شناژ های بتنی

تعداد تقریبی این گونه سازه ها : ۳۳۹۷

این سازه ها ۹۰ درصد تخریب شده اند



سازه های بنایی با شناژهای بتنی

علل تخریب:

۱- اجرای نامناسب بتن

۲- عدم کلاف بندی آرماتورها

۳- حذف شناژهای بتنی

۴- عدم پوشش بتن روی میلگردها

۵- دیوار چینی نامناسب

۶- عدم اتصال صحیح دیوارها به شناژها

۸- عدم اتصال تیرآهن های سقف به شناژها

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۱۳



زلزله بم - ۵ دی ۸۲



زلزله بم - ۵ دی ۸۲





زلزله بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی









زلزلہ بم -

زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی









زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی









۴-سازه های اسکلت فلزی

تعداد تقریبی این گونه سازه ها : ۲۳۰

این سازه ها ۹۰ درصد تخریب شده اند

سازه های اسکلت فلزی

علل تخریب :

۱- عدم جوشکاری صحیح

۲- حذف باد بندی ها

۳- ضعف فولادهای مصرفی

۴- اشکال در اتصالات

۵- عدم اتصال صحیح تیغه ها به ستون ها

۶- حذف ستون های بیرونی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزلہ بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی









زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی











زلزله بم - ۵ دی







زلزله بم - ۵ دی



۵-سازه های اسکلت بتنی

تعداد تقریبی این گونه سازه ها : ۲۰

این سازه ها ۲۰ درصد تخریب شده اند

سازه های اسکلت بتنی

علل تخریب :

۱- عدم اجرای صحیح بتن

۲- اجرای نامناسب بتن

۳- عدم کلاف بندی

۴- حذف میلگردها

۵- عدم رعایت فواصل تنگ ها

۶- عدم پوشش کافی بتن روی میلگردها

27 11:32 AM

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی











زلزله بم - ۵ دی

مقصر کیست؟!؟

۱- کار فرما!

۲- مشاور!

۳- دستگاه نظارت!

۴- ناظر!

۵- پیمانکار!

۶- عوامل اجرایی پیمانکار!

۷- تولید کنندگان مصالح!



واما

سازه های اجرا شده با مشخصات
فنی صحیح که در مقابل زلزله
سالم مانده اند!!!

زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی



زلزلہ بم - ۵ دی



زلزلہ بم - ۵ دی





زلزلہ بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی





زلزله بم - ۵ دی



مجمع تجاری خدای شهر

زلزلہ بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی





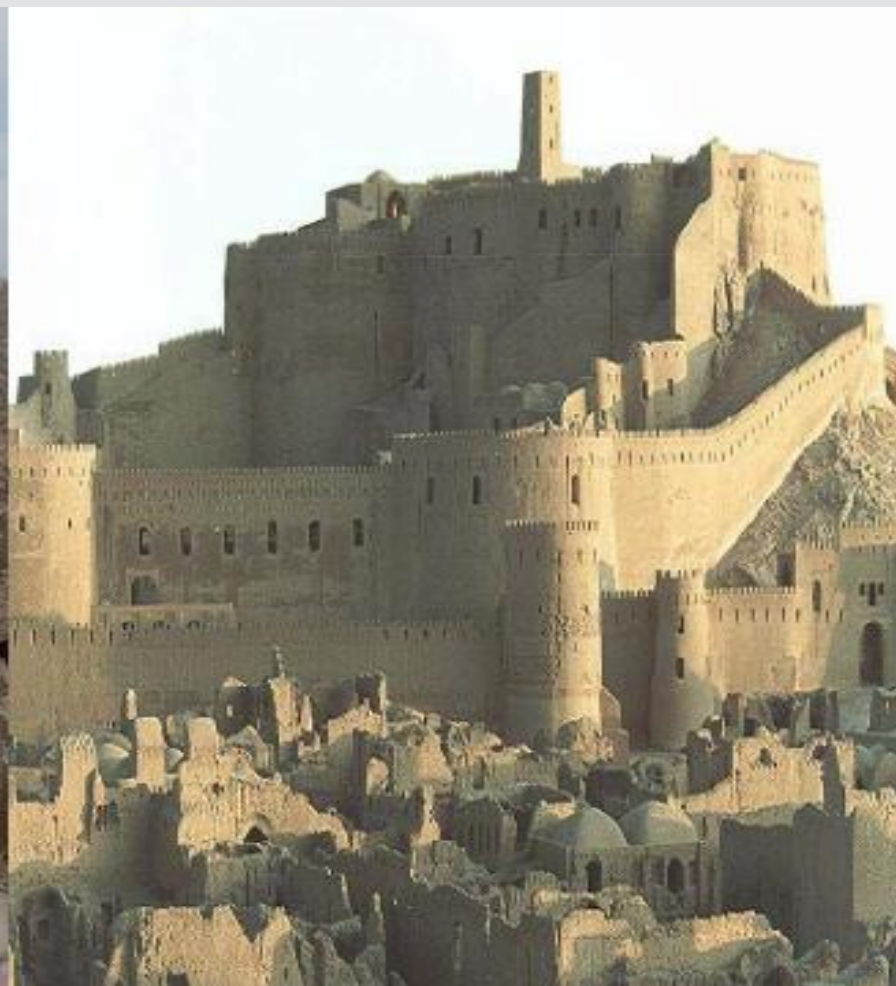
زلزلہ بم - ۵ دی



زلزله بم - ۵ دی

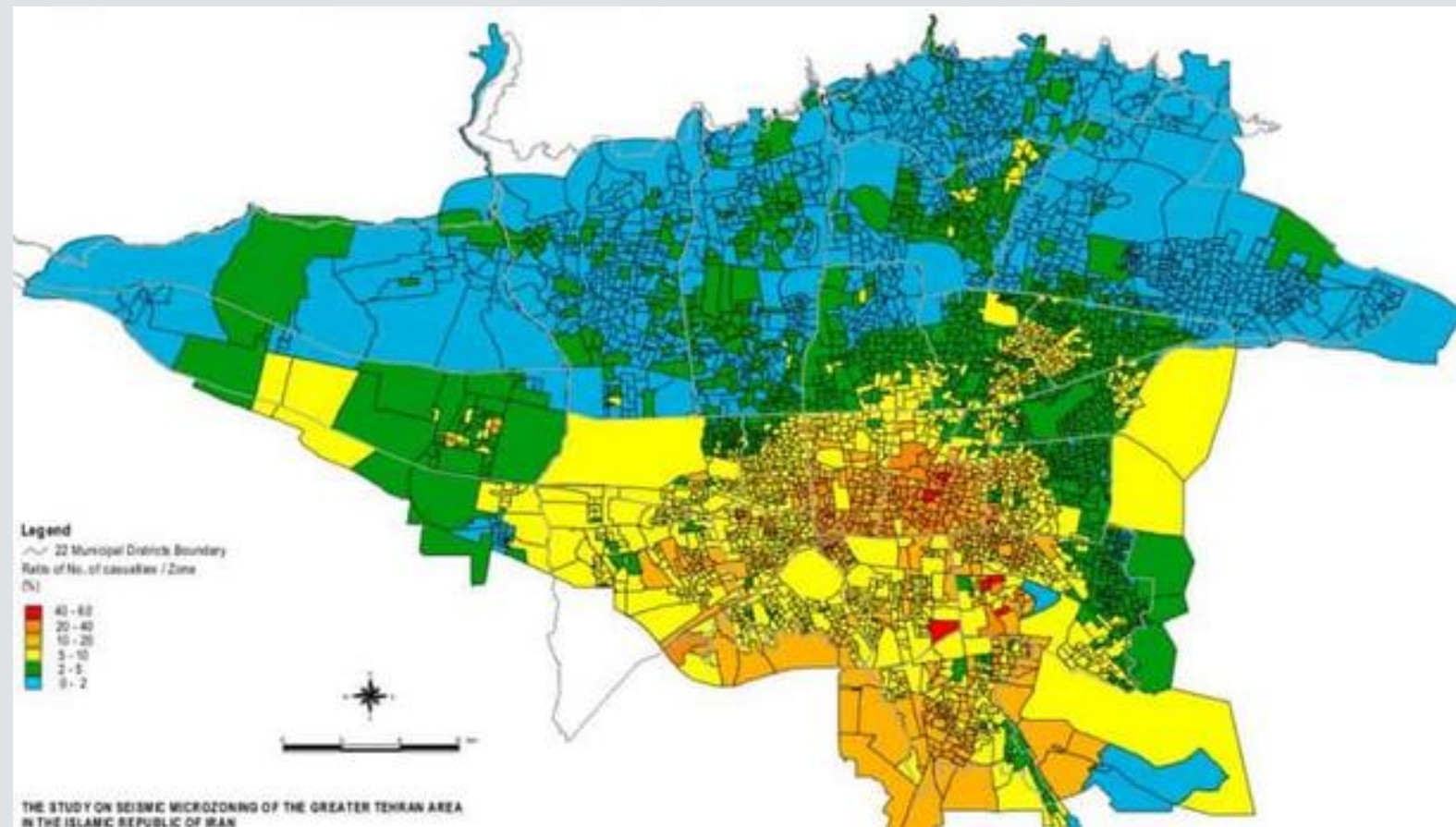
ارگ بم!





زلزله بم - ۵ دی





$$\text{خطرپذیری} = \frac{\text{ارزش} \times \text{آسیب پذیری مستحادثات} \times \text{خطر زلزله}}{\text{مدیریت}}$$

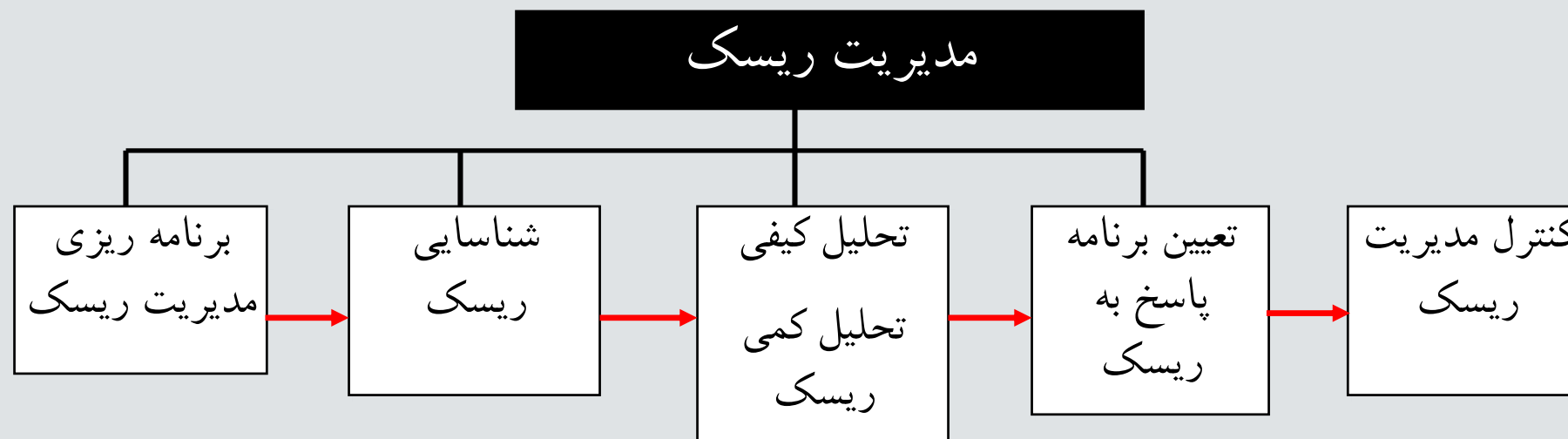
ارزش
(Cost)

$$\text{خطرپذیری} = \frac{\text{ارزش} \times \text{آسیب پذیری مستحادثات} \times \text{خطر زلزله}}{\text{مدیریت}}$$

بهره‌گیری از علم مدیریت ریسک لرزه‌ای در:

۱. مدیریت آموزشهای عمومی و تخصصی در قالب پروتکل‌ها و مانورها
 ۲. مدیریت امداد رسانی در کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت
 ۳. مدیریت در تهیه ابزار و امکانات منطقه‌ای
 ۴. مدیریت در انتصابات حاکمیتی
-

مدیریت ریسک

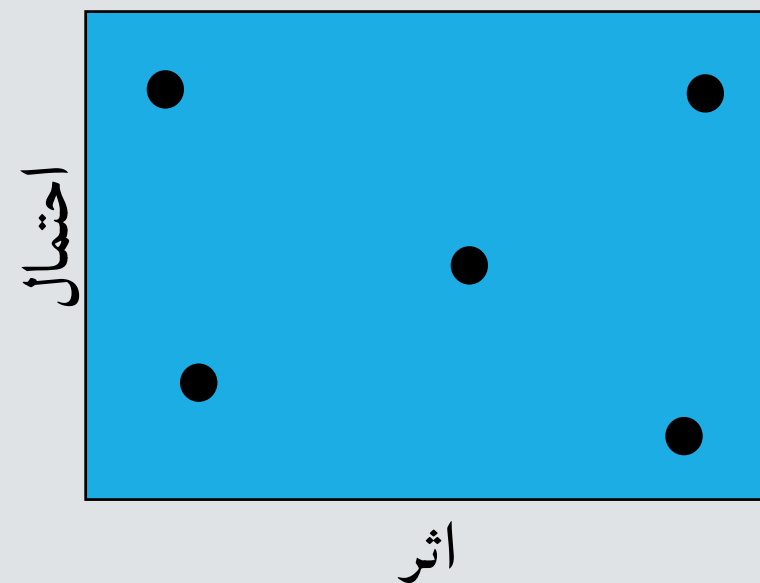


معنی ریسک در پروژه

یک رویداد **محتمل** و **غیرقطعی** که در صورتیکه به وقوع بپیوندد، بر **نتایج و اهداف** تأثیرات **مثبت** (فرصتها) یا **منفی** (تهدیدها) خواهد گذاشت.

ابعاد يك ريسك

- رخداد ريسك
- احتمال ريسك
- تاثير ريسك
- زمانبندی ريسك
- میزان تلورانس اثرات ريسك



تعیین ریسک

روش‌های شناسایی ریسک

- طوفان مغزی

- تجارب گذشته

- پروژه‌های مشابه

- نظر متخصصین

- دلفی؟

- مصاحبه

- تحلیل منطقی

- SWOT?

تعیین ریسک

خروجی

○ ریسک‌ها

○ دسته بندی ریسک‌ها

○ شناسایی علایم ریسک‌ها (Triggers)

○ علایمی نشان دهنده این است که یک ریسک رخ داده است و یا اینکه در آستانه وقوع است.

تحليل کيفي ريسک

يعني به طور کيفي تعيين کنيم که **احتمال وقوع** هر کدام از ريسک‌هايي که در قسمت قبلي شناسايي کرده ايم، چقدر است و اينکه هر کدام چه **ميزان اهميت** احتمالي از نظر تاثيرگذاري بر اهداف پروژه دارند. لذا بايستي نتايج و ثمرات ناشي از هر اتفاق ريسک را تعيين کنيم.

تحليل كمى ريسك

يعنى میزان كمى (ريالى و زمانى) هر ريسك را تعيين كنيم.

- تحليل حساسيت
- شبیه‌سازی
- روند تغيير در میزان تاثيرات كمى ريسك‌ها

تحليل ريسك – ماتريس تاثير ريسك

Evaluating Impact of a Risk on Major Project Objectives (ordinal scale or cardinal, non-linear scale)					
Project Objective	Very Low .05	Low .1	Moderate .2	High .4	Very High .8
Cost	Insignificant Cost Increase	<5% Cost Increase	5–10% Cost Increase	10–20% Cost Increase	>20% Cost Increase
Schedule	Insignificant Schedule Slippage	Schedule Slippage <5%	Overall Project Slippage 5–10%	Overall Project Slippage 10–20%	Overall Project Schedule Slips >20%
Scope	Scope Decrease Barely Noticeable	Minor Areas of Scope Are Affected	Major Areas of Scope Are Affected	Scope Reduction Unacceptable to the Client	Project End Item Is Effectively Useless
Quality	Quality Degradation Barely Noticeable	Only Very Demanding Applications Are Affected	Quality Reduction Requires Client Approval	Quality Reduction Unacceptable to the Client	Project End Item Is Effectively Unusable

The impacts on project objectives can be assessed on a scale from Very Low to Very High or on a numerical scale. The numerical (cardinal) scale shown here is non-linear, indicating that the organization wishes specifically to avoid risks with high and very-high impact.

Figure 11–2. Rating Impacts for a Risk

ماتریس تاثیر / احتمال ریسک

Risk Score for a Specific Risk					
Probability	Risk Score = $P \times I$				
0.9	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72
0.7	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56
0.5	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40
0.3	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24
0.1	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
	Impact on an Objective (e.g., cost, time, or scope) (Ratio Scale)				

Each risk is rated on its probability of occurring and impact if it does occur. The organization's thresholds for low (dark gray), moderate (light gray) or high (black) risk as shown in the matrix determines the risk's score.

Figure 11-3. Probability-Impact Matrix

رابطه بین مراحل مدیریت پروژه با مدیریت ریسک پروژه

Process Groups Knowledge Area	Initiating	Planning	Executing	Controlling	Closing
4. Project Integration Management		4.1 Project Plan Development	4.2 Project Plan Execution	4.3 Integrated Change Control	
5. Project Scope Management	5.1 Initiation	5.2 Scope Planning 5.3 Scope Definition		5.4 Scope Verification 5.5 Scope Change Control	
6. Project Time Management		6.1 Activity Definition 6.2 Activity Sequencing 6.3 Activity Duration Estimating 6.4 Schedule Development		6.5 Schedule Control	
7. Project Cost Management		7.1 Resource Planning 7.2 Cost Estimating 7.3 Cost Budgeting		7.4 Cost Control	
8. Project Quality Management		8.1 Quality Planning	8.2 Quality Assurance	8.3 Quality Control	
9. Project Human Resource Management		9.1 Organizational Planning 9.2 Staff Acquisition	9.3 Team Development		
10. Project Communications Management		10.1 Communications Planning	10.2 Information Distribution	10.3 Performance Reporting	10.4 Administrative Closure
11. Project Risk Management		11.1 Risk Management Planning 11.2 Risk Identification 11.3 Qualitative Risk Analysis 11.4 Quantitative Risk Analysis 11.5 Risk Response Planning		11.6 Risk Monitoring and Control	
12. Project Procurement Management		12.1 Procurement Planning 12.2 Solicitation Planning	12.3 Solicitation 12.4 Source Selection 12.5 Contract Administration		12.6 Contract Closeout

Figure 3-9. Mapping of Project Management Processes to the Process Groups and Knowledge Areas

تحليل كمي ريسك - نمونه ای از تحليل هزينه بر اساس مصاحبه

Project Cost Estimates and Ranges			
WBS Element	Low	Most Likely	High
Design	4	6	10
Build	16	20	35
Test	11	15	23
Total Project		41	

The risk interview determines the three-point estimates for each WBS element. The traditional estimate of \$41, found by summing the most likely costs, is relatively unlikely, as shown in Figure 11-7.

Figure 11-4. Cost Estimates and Ranges from the Risk Interview

واکنش نسبت به ریسک

اجتناب (*Avoidance*):

یعنی تغییر مسیر به نحوی که از مواجهه با ریسک جلوگیری کنیم.

واکنش نسبت به ریسک

انتقال ریسک (*Risk Transfer*):

یعني اینکه کاری کنیم که مسوولیت و مدیریت نتایج ناشی از یک ریسک، از گردن ما خارج شود و بر گردن فرد دیگری انداخته شود

• مثال: بیمه زلزله و آتش سوزی

واکنش نسبت به ریسک

تخفیف ریسک (*Risk Mitigation*):

یعنی اینکه کاری کنیم که یا احتمال وقوع یک ریسک پایین بیاید یا اینکه نتایج مضر ناشی از آن به حداقل ممکن تقلیل یابد.

• مثال: وجود اتاق امن در خانه ها یا آلارم سونامی در سواحل یا وجود کیسول آتش نشانی در محل.

واکنش نسبت به ریسک

پذیرش آگاهانه (*Risk Acceptance*):

یعنی بپذیریم ریسک را. فقط تنها کاری که می توانیم بکنیم این است که آگاه باشیم از وقوع ریسک و عواقب و نتایج آن.

• مثال: زنگ خطر در حین وقوع زلزله