

## Soil dynamics (Response Spectrum)

Hasan Ghasemzadeh

### دسته بندی زلزله

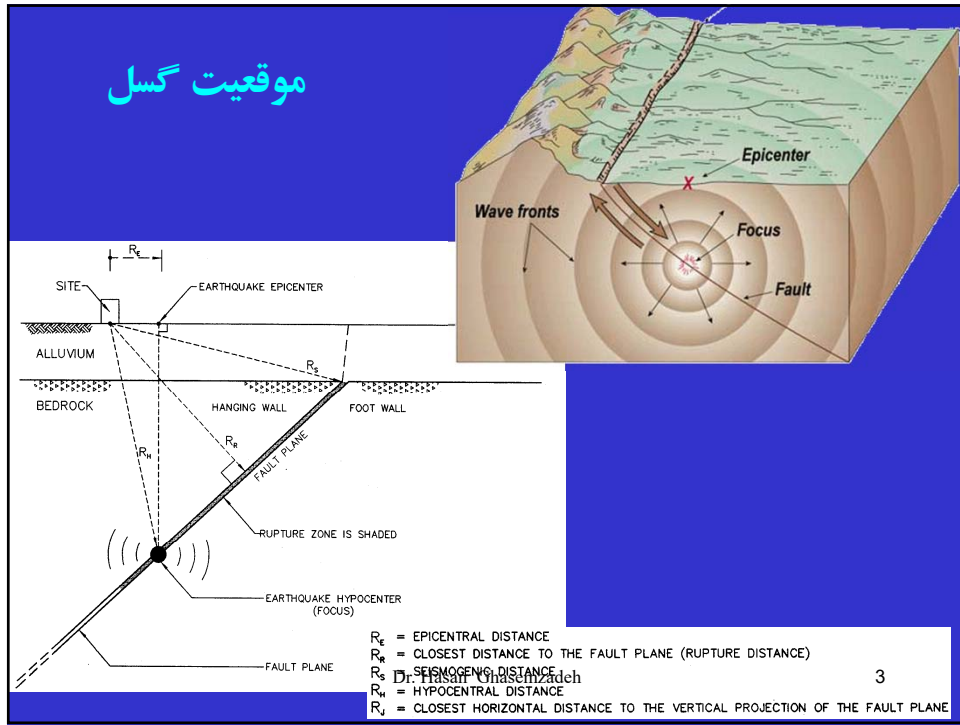
CLASSIFICATION	DISTANCE
1) Teleseismic Earthquake	> 1000 km
2) Regional Earthquake	> 500 km
3) Local Earthquake	< 500 km

### EARTHQUAKE CLASSIFICATION

MAGNITUDE	CLASSIFICATION	No./year
$M \geq 8.0$	Great	1
$7.0 \geq M < 8.0$	Major	20
$6.0 \geq M < 7.0$	Strong	100
$5.0 \geq M < 6.0$	Moderate	500
$4.0 \geq M < 5.0$	Light	30 000
$3.0 \geq M < 4.0$	Minor	900 000

Dr. Hasan Ghasemzadeh

2



### شدت زلزله

مقیاس مرکالی و  
مرکالی اصلاح شده

Scale	Magnitude	Description	Scale	Magnitude	Description
1	<1	Can just be detected by some animals	7	5.4 to 6	People run from buildings; difficult to stand up
2	1 to 2	Felt on the tops of tall buildings	8	6.1 to 6.3	Buildings of poor construction collapse
3	3 to 4	Felt inside houses	9	6.3 to 6.8	Ground cracks; roads break up; underground pipes damaged
4	4 to 4.5	Doors and windows rattle	10	6.9 to 7.2	Buildings fall down; landslides; rail tracks buckle
5	4.5 to 4.8	Windows may crack; pictures fall down	11	7.3 to 8	Catastrophe; bridges collapse; overhead cables come down
6	4.9 to 5.3	Walls crack; things fall down	12	Over 8	Total destruction; ground rises and falls in waves; objects thrown into air

Dr. Hasan Ghasemzadeh

4

EMS intensity	Definition	Description of typical observed effects (abstracted)
I	Not felt	Not felt.
II	Scarcely felt	Felt only by very few individual people at rest in houses.
III	Weak	Felt indoors by a few people. People at rest feel a swaying or light trembling.
IV	Largely observed	Felt indoors by many people, outdoors by very few. A few people are awakened. Windows, doors and dishes rattle.
V	Strong	Felt indoors by most, outdoors by few. Many sleeping people awake. A few are frightened. Buildings tremble throughout. Hanging objects swing considerably. Small objects are shifted. Doors and windows swing open or shut.
VI	Slightly damaging	Many people are frightened and run outdoors. Some objects fall. Many houses suffer slight non-structural damage like hair-line cracks and fall of small pieces of plaster.
VII	Damaging	Most people are frightened and run outdoors. Furniture is shifted and objects fall from shelves in large numbers. Many well built ordinary buildings suffer moderate damage: small cracks in walls, fall of plaster, parts of chimneys fall down; older buildings may show large cracks in walls and failure of fill-in walls.
VIII	Heavily damaging	Many people find it difficult to stand. Many houses have large cracks in walls. A few well built ordinary buildings show serious failure of walls, while weak older structures may collapse.
IX	Destructive	General panic. Many weak constructions collapse. Even well built ordinary buildings show very heavy damage: serious failure of walls and partial structural failure.
X	Very destructive	Many ordinary well built buildings collapse.
XI	Devastating	Most ordinary well built buildings collapse, even some with good earthquake resistant design are destroyed.
XII	Completely devastating	Almost all buildings are destroyed.

شدت زلزله

European Macroseismic Scale

EMS-98

Dr. Hasan Ghasemzadeh

5

## بزرگای زلزله

دستگاههای اندازه گیری زلزله امکان اندازه گیری کمیتهی مشخص را که بزرگای زلزله نامیده می شود، فراهم می سازند. بزرگا متناسب با انرژی آزاد شده در زلزله است

### بزرگی مدت زلزله $M_D$

در این مقیاس بر اساس مدت کل زلزله بر حسب ثانیه، بزرگی محاسبه می شود.

$$M_D = 0.80 \log T^2 + 1.70 \log T - 0.87 \quad \text{Mandal et al., 2004}$$

$$M_D = 2.49 \log T - 2.31 + f \quad \text{Castello et al., 2007}$$

$f$  تابع اصلاح فاصله ایستگاه

از این مقیاس بزرگی برای اندازه گیری سریع زلزله های کوچک  $M < 3$  استفاده فراوان می شود

Dr. Hasan Ghasemzadeh

6

## بزرگای زلزله

### بزرگی محلی ریشتر $M_L$

بزرگی زلزله عبارتست از لگاریتم در پایه ۱۰ بزرگترین دامنه حرکت زمین (A) برحسب میکرومتر که در فاصله صد کیلومتری از کانون زلزله که توسط دستگاه استاندارد مورد محاسبه قرار می گیرد و با حرف M نمایش داده می شود

$$M_L = \log A - \log A_0 (D)$$

A دامنه ثبت شده توسط دستگاه بر حسب میکرون

T پریود بر حسب ثانیه

$A_0$  تابع تجربی از فاصله مرکز سطحی زلزله D

این مقیاس «بزرگا» برای زلزله‌های کم عمق محلی (فاصله تا مرکز سطحی زلزله کمتر از 600 کیلومتر) است.

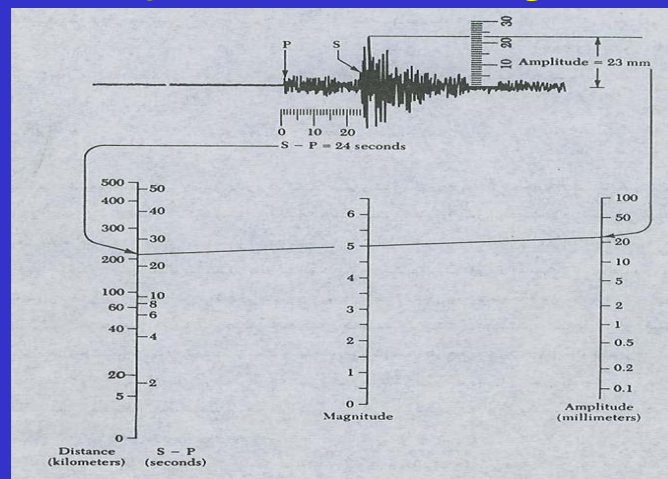
Wood-Anderson 1935

Dr. Hasan Ghasemzadeh

7

## بزرگای زلزله

### محاسبه بزرگای محلی ریشتر $M_L$ با استفاده از روش ریکتر



Dr. Hasan Ghasemzadeh

8

## بزرگای زلزله

### اشباع شدن

با اینکه انرژی کل آزاد شده هنگام زلزله افزایش می‌یابد اما خصوصیات لرزه‌ای لزوماً با همان سرعت افزایش نمی‌یابد.  
برای زلزله‌های قوی، خصوصیات اندازه‌گیری شده لرزش زمین از حساسیت کمتری نسبت به زلزله‌های کوچک برخوردار است.

بزرگای محلی ریشتر در درجه 6 تا 7 اشباع می‌شوند.

Dr. Hasan Ghasemzadeh

9

## بزرگای زلزله

### بزرگای موج سطحی $M_S$

بزرگای محلی ریشتر هیچگونه تفاوتی بین انواع مختلف امواج قائل نمی‌شود. بدین جهت مقیاس‌های دیگری که بزرگای را برپایه دامنه یک موج مشخص، تعیین می‌نمایند نیز تدوین شده‌اند.  
در فواصل بزرگ از مرکز سطحی زلزله، حرکات غالب از امواج سطحی حاصل می‌گردند.

$$M_S = \log(A/T) + 1.66 \log D + 3.3$$

**A** دامنه بر حسب میکرون

**T** پریود بر حسب ثانیه

**D** فاصله بین مرکز زلزله و ایستگاه

بزرگای موج سطحی در حدود  $M_S = 8$  اشباع می‌شوند.

periods between 18 and 22 seconds (wavelength of about 60 km)

Dr. Hasan Ghasemzadeh

10

(گوتنبرگ و ریشتر، 1936)

## بزرگای زلزله

### بزرگای موج حجمی $M_b$

برای زلزله‌های با کانون عمیق، امواج سطحی، اغلب کوچکتر از آن هستند که امکان ارزیابی قابل اطمینان بزرگای موج سطحی موجود باشد.

بزرگای موج حجمی یک مقیاس بر پایه ترکیب امواج فشاری و برشی می‌باشد.

$$m_b = \log (A/T) - f (D,h)$$

**A** دامنه بر حسب میکرون

**T** پریود بر حسب ثانیه

**D** فاصله بین مرکز و ایستگاه

**h** عمق کانون

**f** تابع اصلاح فاصله ایستگاه

periods between 1 and 10 seconds

(گوتنبرگ 1945)

بزرگای موج حجمی در درجه ۶ تا ۷ Dr. Hasan Ghasemzadeh

## بزرگای زلزله

### Moment Magnitude ( $M_w$ )

### بزرگای گشتاور $M_w$

برای بیان اندازه زلزله‌های بسیار بزرگ (زلزله‌هایی با گسل‌های هزار کیلومتری که دارای امواج با پریود بیش از ۲۰۰ ثانیه نیز می‌باشند) یک مقیاس بزرگ که به ترازهای لرزش زمین بستگی نداشته و در نتیجه بحث اشباع شدن در آن مطرح نیست، مطلوب می‌باشد.

تنها مقیاس بزرگ که در معرض اشباع شدن نیست «بزرگای گشتاور» می‌باشد، زیرا بر پایه گشتاور زلزله می‌باشد که یک معیار مستقیم از عوامل ایجاد گسیختگی در امتداد گسل است.

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7$$

$$M_0 = \mu A \Delta u$$

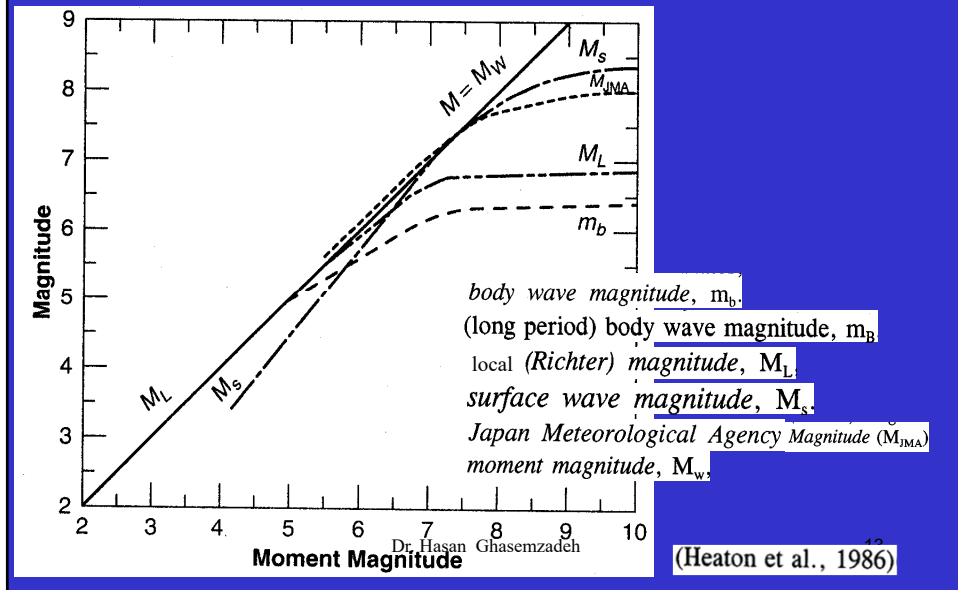
گشتاور زلزله برابر با حاصلضرب مدول برش سنگ در سطح گسیختگی گسل در متوسط جابجایی است

(Kanamori 1977, Kanamori, Hanks 1979)

Dr. Hasan Ghasemzadeh

dyne.cm ( $10^{-7}$  N·m) 12

## بزرگای زلزله



## بزرگای زلزله

□ تمام بزرگاها توسط روابط **knopoff** به بزرگای گشتاوری تبدیل می‌شوند.

$$M_w = 0.0167 m_b^2 + 0.8438 m_b + 0.9071 \quad m_b \leq 6.8 \quad (1)$$

$$M_w = 0.028 M_s^2 + 0.3364 M_s + 3.2574 \quad M_s \leq 7.6 \quad (2)$$

$$m_b = 1.64 + 0.63 M_L \quad M_L \leq 6.8 \quad (3)$$

## شعاع و زمان موثر

□ روابط **knopoff & gardner-1974-decluster** شعاع موثر و زمان موثر زلزله های مستقل را می دهد

$$L = 10^{(0.1238M + 0.983)}$$

$$T = 10^{(0.032M + 2.7389)} / 365 \quad \text{for } M \geq 6.5$$

$$T = 10^{(0.5409M - 0.547)} / 365 \quad \text{for } M < 6.5$$

The magnitude-dependent space and time windows of the Gardner-Knopoff declustering

Magnitude	Radius [km]	Time [days]
3	22.5	11.5
4	30	42
5	40	155
6	50	510
7	70	915
8	94	985

Dr. Hasan Ghasemzadeh

15

## انرژی زلزله

$$\log_{10}^E = 11.5 + 1.5M_s$$

بر حسب ارگ

یک ارگ برابر  $10^{-7}$  ژول می باشد

$$M = 5 \Rightarrow E = 10^{19}$$

$$M = 6 \Rightarrow E = 10^{20.5}$$

مقدار انرژی حدود سی و دو برابر می شود

$$\log E = 12 + 1.8 M_L$$

$$\log E = 5.8 + 2.4 m_b$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

16

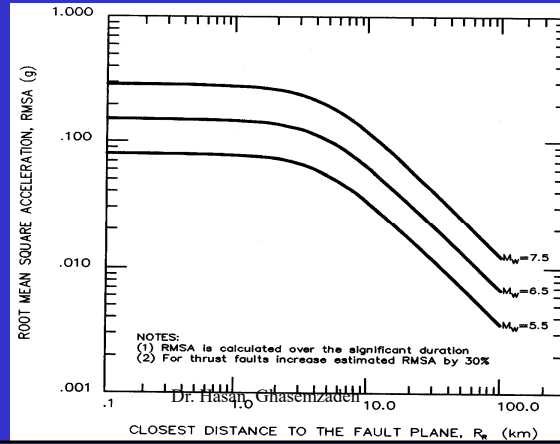


### شدت زلزله

$$RMSA = \sqrt{\frac{1}{t_f - t_{f0}} \int_{t_{f0}}^{t_f} [a(t)]^2 dt}$$

جذر متوسط مربعات  
root-mean-square (RMS)

RMSA is the RMS of the acceleration time history

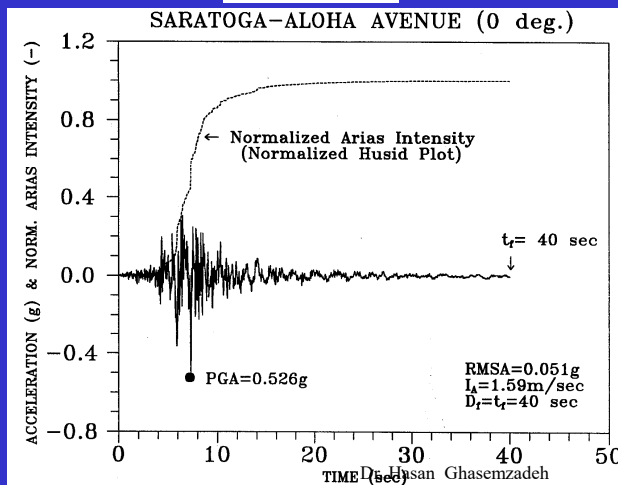


17

### شدت زلزله

$$I_A = \frac{\pi}{2g_0} \int_{t_f} [a(t)]^2 dt$$

شدت اریاس  
Arias intensity,  $I_A$

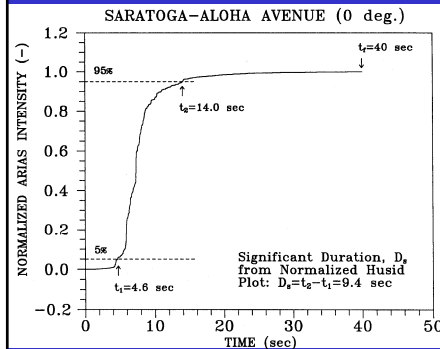


$$I_A = \frac{\pi}{2g} (RMSA)^2 \cdot t_f$$

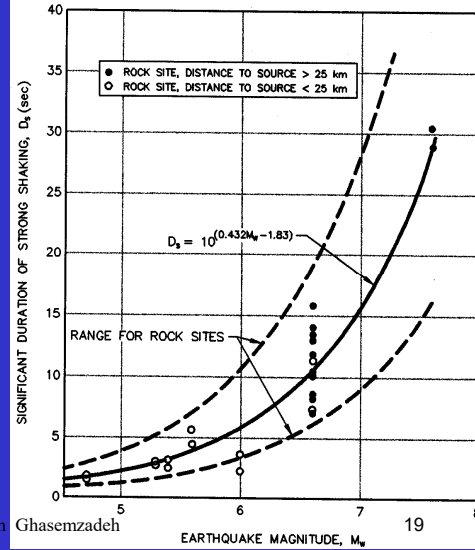
18

# مدت زلزله

مدت زمان مهم

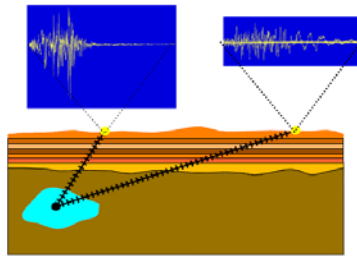


$$D_s = 10^{(0.432M_w - 1.83)}$$

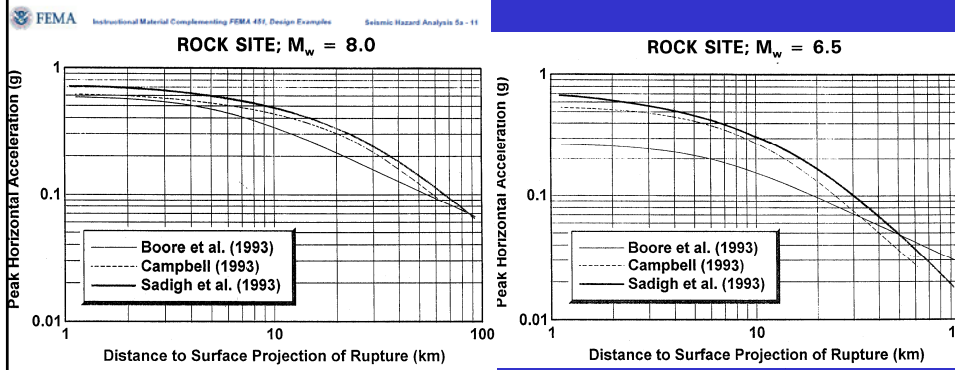


Dr. Hasan Ghasemzadeh

## Attenuation with Distance



## کاهش شدت زلزله



## رابطه کاهش دگی

Table 2. Attenuation relationship for subduction zone earthquakes.

Reference	Attenuation Relationship	Limitation <sup>(1)</sup>
Youngs et al. (1988)	$\ln(\text{PGA}) = 19.16 + 1.045M_w - 4.738 \ln[R_{Ht} + 205.5\exp(0.0968M_w)] + 0.54Z_t$	$20 < R_{Ht} \leq 40 \text{ km}$ $M_w \leq 8$
Youngs et al. (1988)	$\ln(\text{PGA}) = 19.16 + 1.045M_w - 4.738 \ln[R_{Ht} + 154.7\exp(0.1323M_w)]$	$20 < R_{Ht} \leq 40 \text{ km}$ $M_w > 8$
Cohee et al. (1991)	$\ln(\text{PGA}) = 1.5 - 3.33 \ln(R_s + 128) + 0.79s$	$25 < R_s < 175 \text{ km}$ $M_w \leq 8$
Cohee et al. (1991)	$\ln(\text{PGA}) = 2.8 - 1.26 \ln(R_R) + 0.79s$	$30 < R_R < 100 \text{ km}$ $M_w > 8$

Notes:  $M_w$  = Moment magnitude.  
 $R_{Ht}$  = Hypocentral distance.  
 $R_R$  = Closest distance to the rupture zone (fault plane).  
 $R_s$  = Seismogenic distance (closest distance from the fault asperity).  
 $Z_t$  = The tectonics term in Youngs et al. (1988). Equal to 0 for interplate events, and 1 for intraplate events.  
 $s$  = The site term in Cohee et al. (1991) relationship. Equal to 0 for rock sites and 1 for soil sites.  
<sup>(1)</sup> = Refer to the original references for detailed description of distance measures and limitations.

## رابطه کاهش دگی

$\text{Log (PGA)} = aM_w + bX - d\text{Log (X)} + C_i S_i + \sigma$  زارع و همکاران 1999

Hypocentral Distance:  $X = \sqrt{R^2 + H^2}$      $H$ : Focal Depth = 20 km

Soil Class: ( $C_1$ : Rock,  $C_2$ : Hard alluvium,  $C_3$ : Soft alluvium,  $C_4$ : Soft Soil)

For Class  $j$ :  $S_{i=j} = 1$  & For other classes  $S_i = 0$

Region	a	b	d	Site Class				$\sigma$
				C1	C2	C3	C4	
Alborz (Ver.)	0.322	-0.0003	1	-0.828	-0.754	-0.971	-0.788	0.352
Alborz (Hor.)	0.322	-0.0004	1	-0.688	-0.458	-0.72	-0.585	0.349
Zagros (Ver.)	0.406	-0.0038	1	-1.262	-1.333	-1.23	-1.77	0.356
Zagros (Hor.)	0.399	-0.0019	1	-1.047	-1.065	-1.02	-0.975	0.329
Iran (Ver.)	0.362	-0.0002	1	-1.124	-1.15	-1.139	-1.064	0.336
Iran (Hor.)	0.36	-0.0003	1	-0.916	-0.852	-0.9	-0.859	0.333

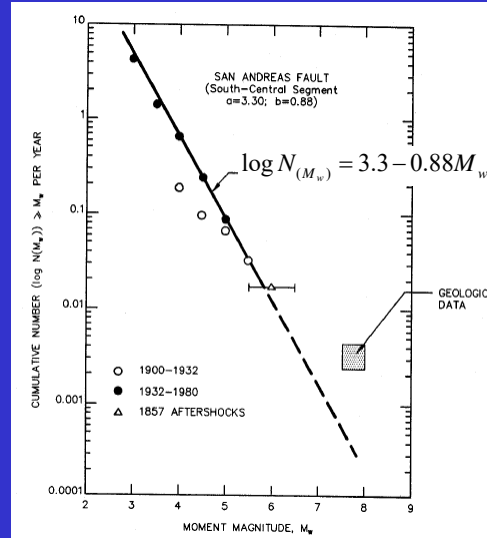
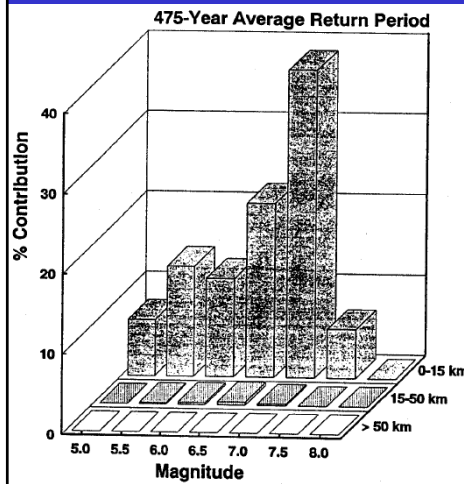
کمپبل و بزرگنیا 2003

$\text{Ln(PGA)} = c_1 + f_1(M_w) + c_4 \text{Ln}(\sqrt{f_2(M_w, r_{seis}, S)}) + f_3(F) + f_4(S) + f_5(\text{HW, F, } M_w, r_{seis}) + \epsilon$

امبرسیز و دامگلاس 2005

$\text{Log}(a_h) = a_1 + a_2 M_w + (a_3 + a_4 M_w) \text{Log}(\sqrt{d^2 + a_5^2}) + a_6 S_s + a_7 S_A + a_8 F_N + a_9 F_0$

نمونه منحنی شدت زلزله - تعداد تکرار در سال



Magnitude-distance distribution for a specified peak ground acceleration (Moriwaki et al., 1994, reprinted by permission of ATC).

Dr. Hasan Ghasemzadeh

Cumulative frequency-magnitude plot of instrumental seismicity, San Andreas Fault South-Central Segment data (after Schwartz and Coppersmith, 1984 Fault Behavior and Characteristic Earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. B7, pp. 5681-5698, published by the American Geophysical Union).

تحلیل خطر لرزه خیزی

Seismic Hazard Analysis

تحلیل خطر لرزه خیزی

پتانسیل خطرات ناشی از پدیده های مرتبط با زلزله نظیر حرکت زمین، گسیختگی گسل و روانگرایی را تشریح می کند  
برای این منظور نیاز به تعیین پارامترهای حرکت زمین است

Seismic Risk Analysis

تحلیل ریسک لرزه خیزی

احتمال ایجاد خسارت های انسانی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با خطر زلزله را تشریح می کند

Dr. Hasan Ghasemzadeh

۲۴

## تحلیل خطر لرزه خیزی

### Seismic Hazard Analysis

- تعیین منابع مولد حرکت های بزرگ در سایت پروژه
  - بازدید از سایت
  - عکسهای هوایی، مادون قرمز و رنگی
  - تعیین محل گسل ها
- تعیین پتانسیل لرزه هر منبع
  - در صورت وجود گسل فعال (گسل دارای حرکت در دوره هالوسن - حدود ۱۱۰۰۰ سال گذشته) نیاز به مطالعات جزئی تر می باشد مثل
  - تعیین گسل های محتمل با استفاده از روشهای ژئوفیزیکی - روش انکسار و انعکاس موج و ..
  - حفر ترانشه و گمانه های قائم و افقی روی گسل های محتمل جهت تدقیق و تعیین سن لایه ها
  - کنترل لرزه های ثبت شده در محل
- تعیین شدت حرکت زمین در سایت پروژه
  - استاندارد های تدوین شده
  - روشهای قطعی تحلیل خطر لرزه خیزی
  - روشهای احتمالاتی تحلیل خطر لرزه خیزی

۲۵ - روشهای احتمالاتی تحلیل خطر لرزه خیزی

Dr. Hasan Ghasemzadeh



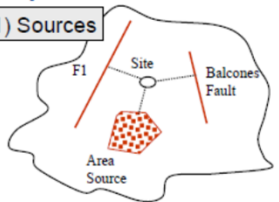
## تحلیل خطر لرزه خیزی

Deterministic Seismic Hazard Analysis(DSHA)      - روش قطعی تحلیل خطر لرزه خیزی

روش قطعی تحلیل خطر لرزه خیزی

### Steps in Deterministic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources

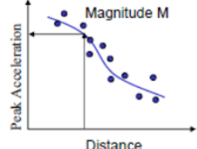


(2) Controlling Earthquake

Fixed distance R

Fixed magnitude M

(3) Ground Motion



(4) Hazard at Site

"The earthquake hazard for the site is a peak ground acceleration of 0.35 g resulting from an earthquake of magnitude 6.0 on the Balcones Fault at a distance of 12 miles from the site."

- تعیین منابع لرزه ها  
 - تعیین زلزله کنترل کننده برای منبع  
 - در نظر گرفتن رابطه کاهندگی در مسیر منبع زلزله تا سایت پروژه  
 - تعیین منابع بحرانی

مزایا

- محاسبات ساده است  
 - نتایج محافظه کارانه است

معایب

- ممکن است کلیه گسل ها در نظر گرفته نشوند (گسل های پنهان)  
 - نتایج محافظه کارانه است

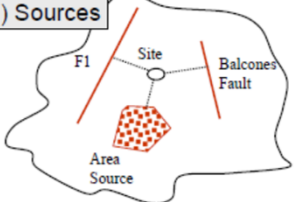
Wells & Coppersmith      Dr. Hasan Ghasemzadeh

## تحلیل خطر لرزه خیزی

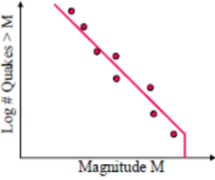
Probabilistic Seismic Hazard Analysis(PSHA)      - روش احتمالاتی تحلیل خطر لرزه خیزی

### Steps in Probabilistic Seismic Hazard Analysis

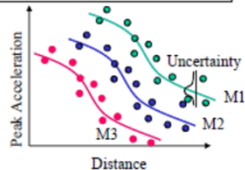
(1) Sources



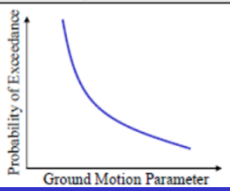
(2) Recurrence



(3) Ground Motion

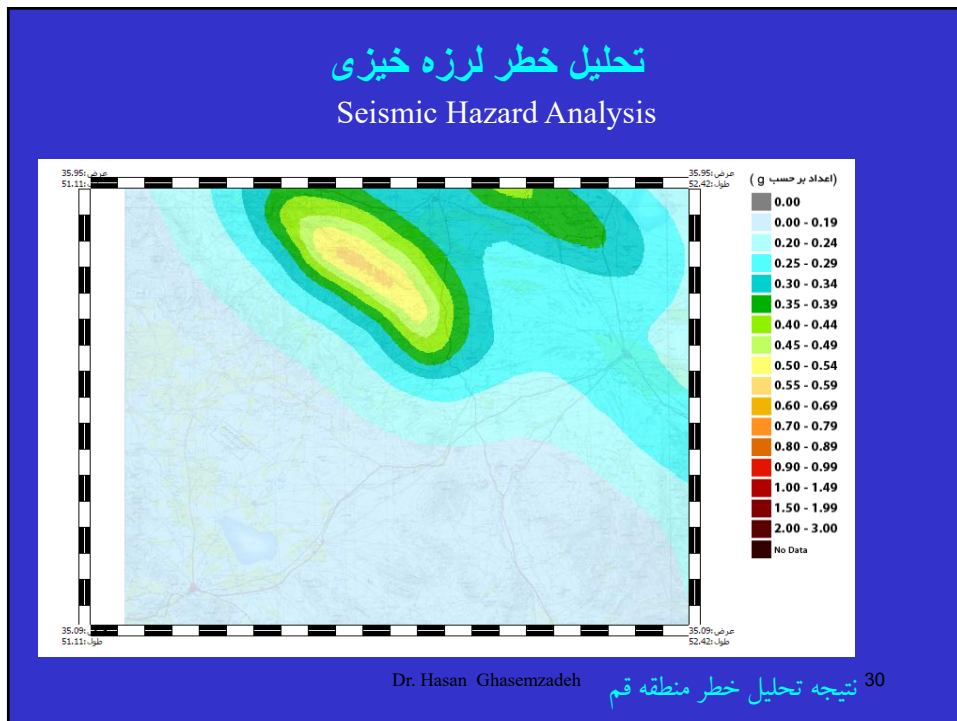
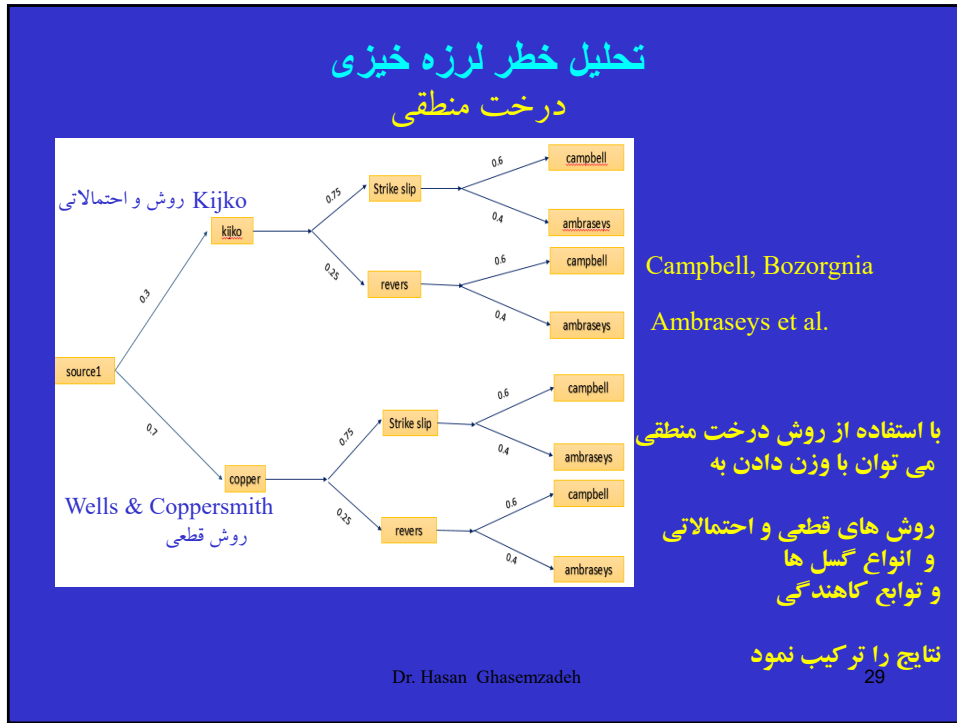


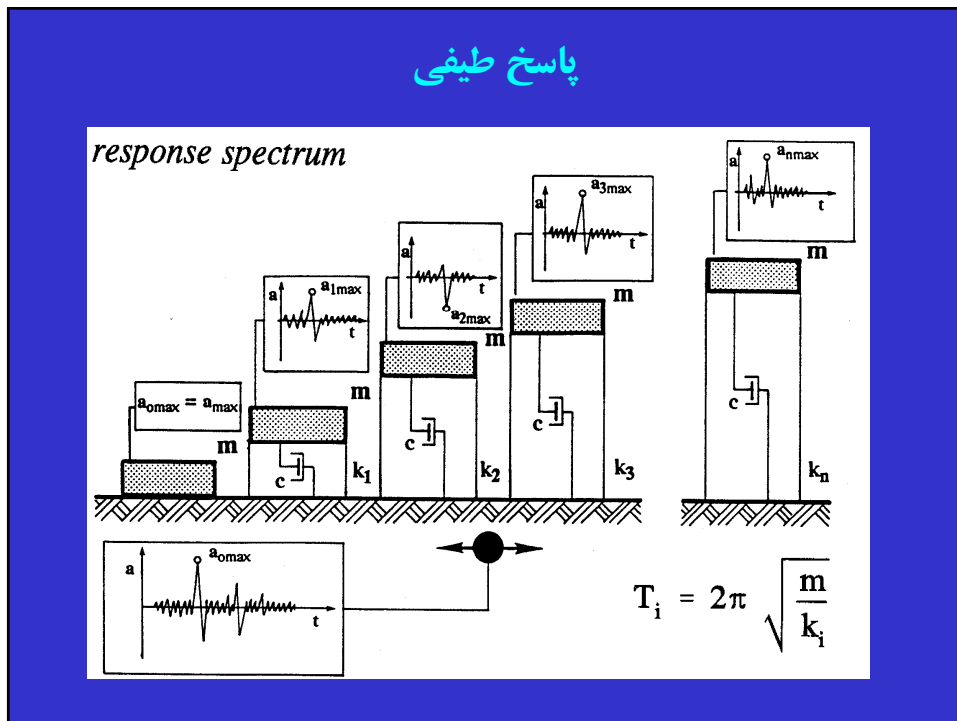
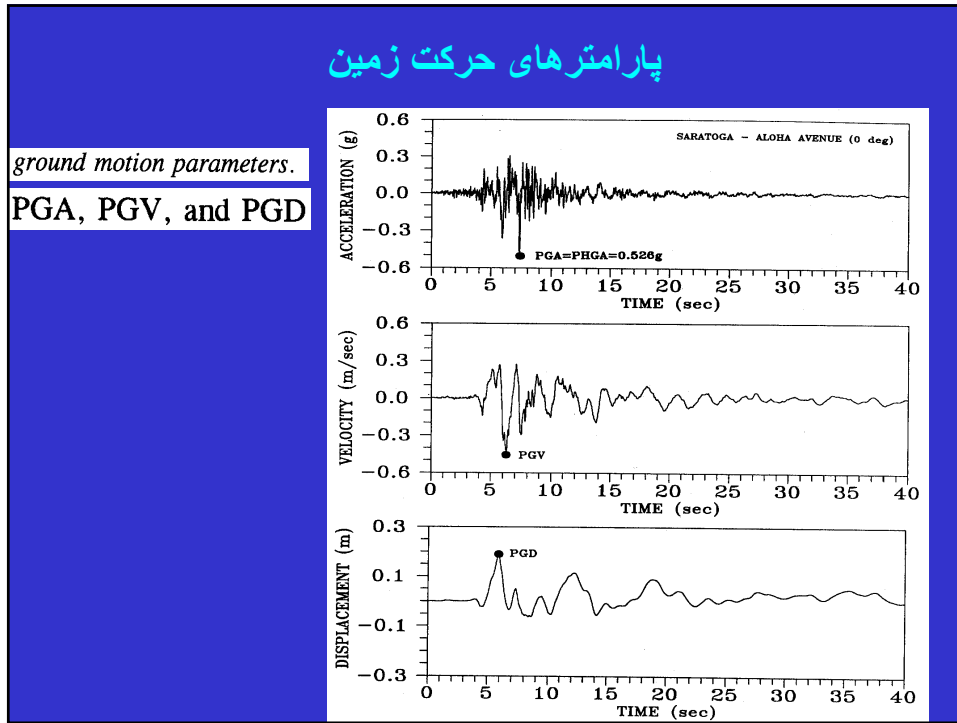
(4) Probability of Exceedance



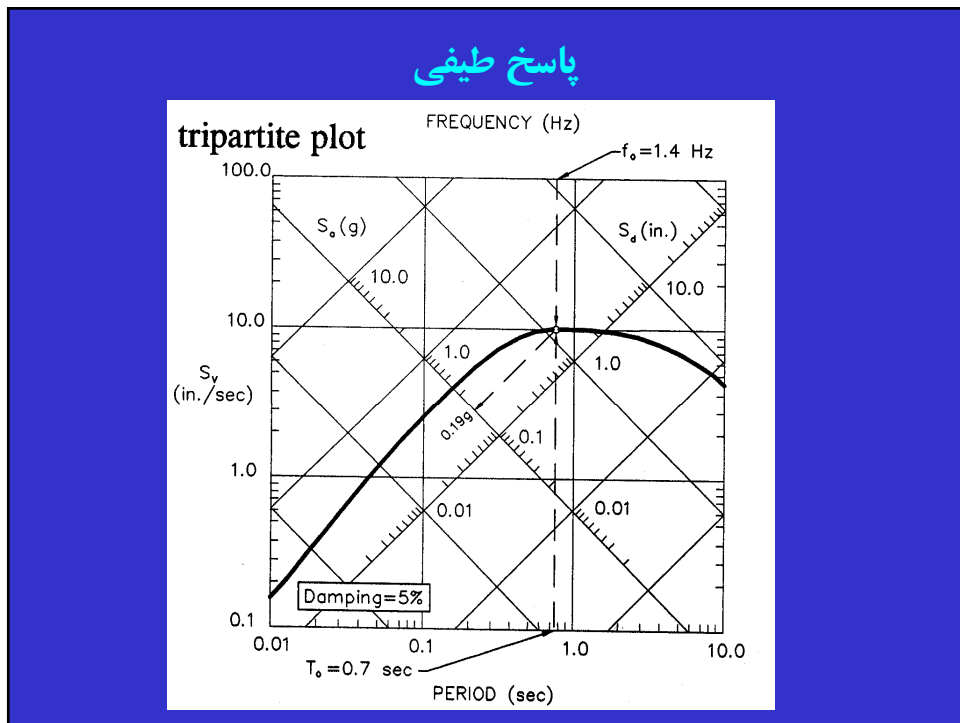
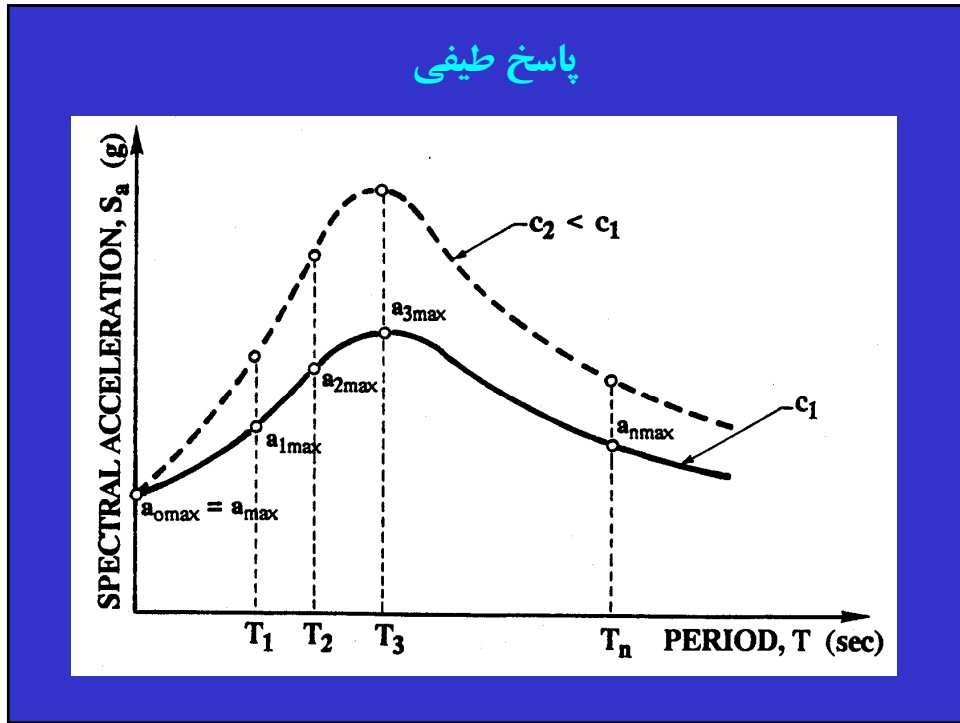
- گردآوری لرزه های اتفاق افتاده در محدوده مورد نظر (تعیین منابع نقطه ای، خطی و سطحی)  
 - تعیین گراف بزرگای لرزه و تعداد تکرار  
 - تعیین رابطه کاهش شدت زلزله بر اساس نوع گسل  
 - محاسبه احتمال رخداد حرکت های بیشتر از حد مشخص طرح در یک بازه زمانی مشخص

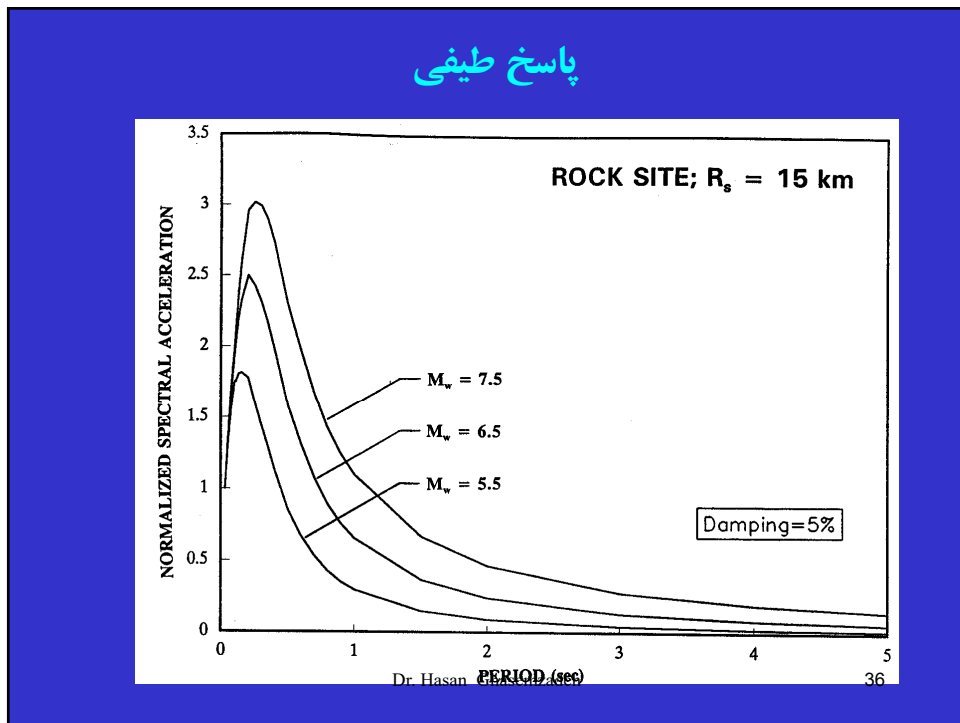
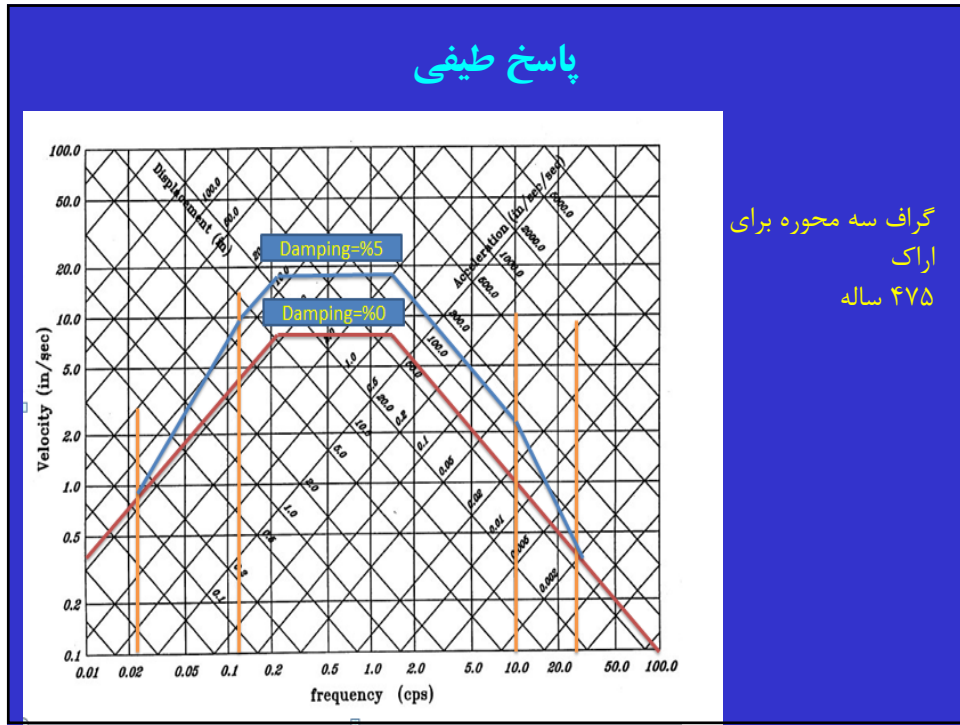
Dr. Hasan Ghasemzadeh      28

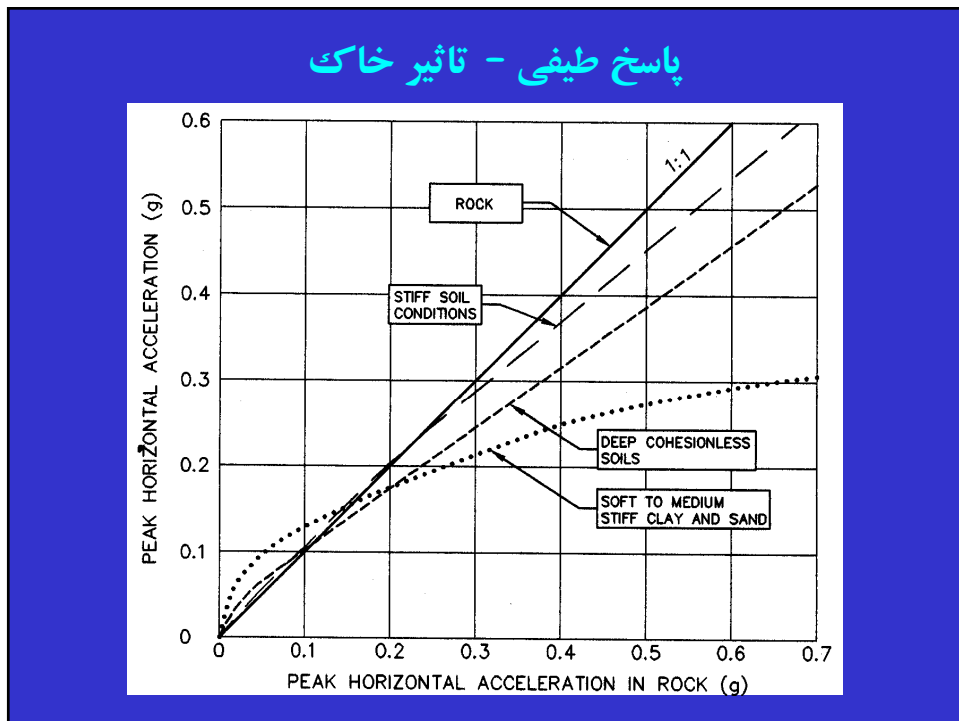
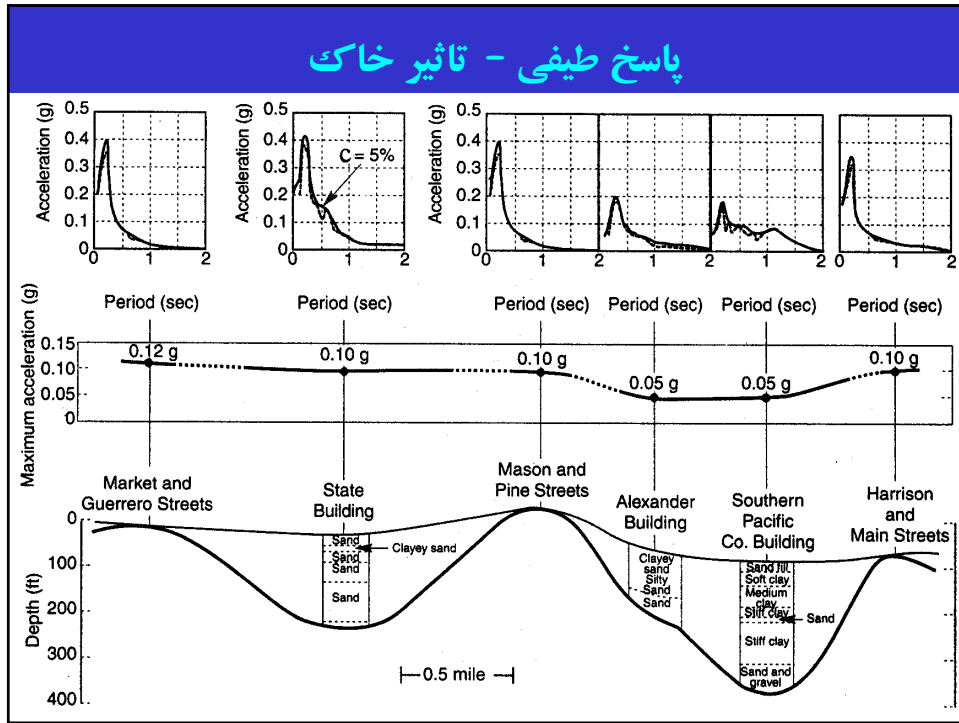




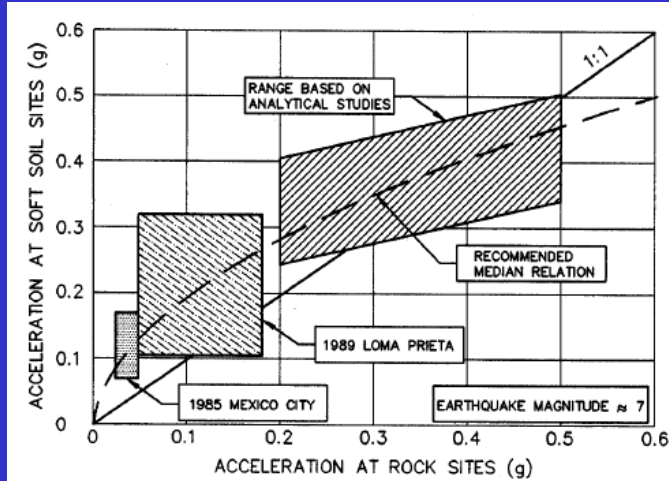








### پاسخ طیفی - تاثیر خاک



Relationship between PHGA on rock and on soft soil sites (Idriss, 1990)

برای خاکهای با سرعت موج برشی کمتر از 100 متر بر ثانیه باید مطالعه دقیق شود

### پاسخ طیفی - تاثیر خاک

نوع زمین	توصیف لایه بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{C}_u (kPa)$	$\bar{N}_{1(60)}$	$\bar{v}_s (m/s)$
I	سنگ و شیشه سنگ، شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانته بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	-	-	> ۷۵۰
II	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل - شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت یا ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	> ۲۵۰	> ۵۰	۳۷۵ - ۷۵۰
III	خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت یا ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	۲۵۰ - ۷۰	۵۰ - ۱۵	۱۷۵ - ۳۷۵
IV	خاک متوسط تا نرم، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم.	< ۷۰	< ۱۵	< ۱۷۵

