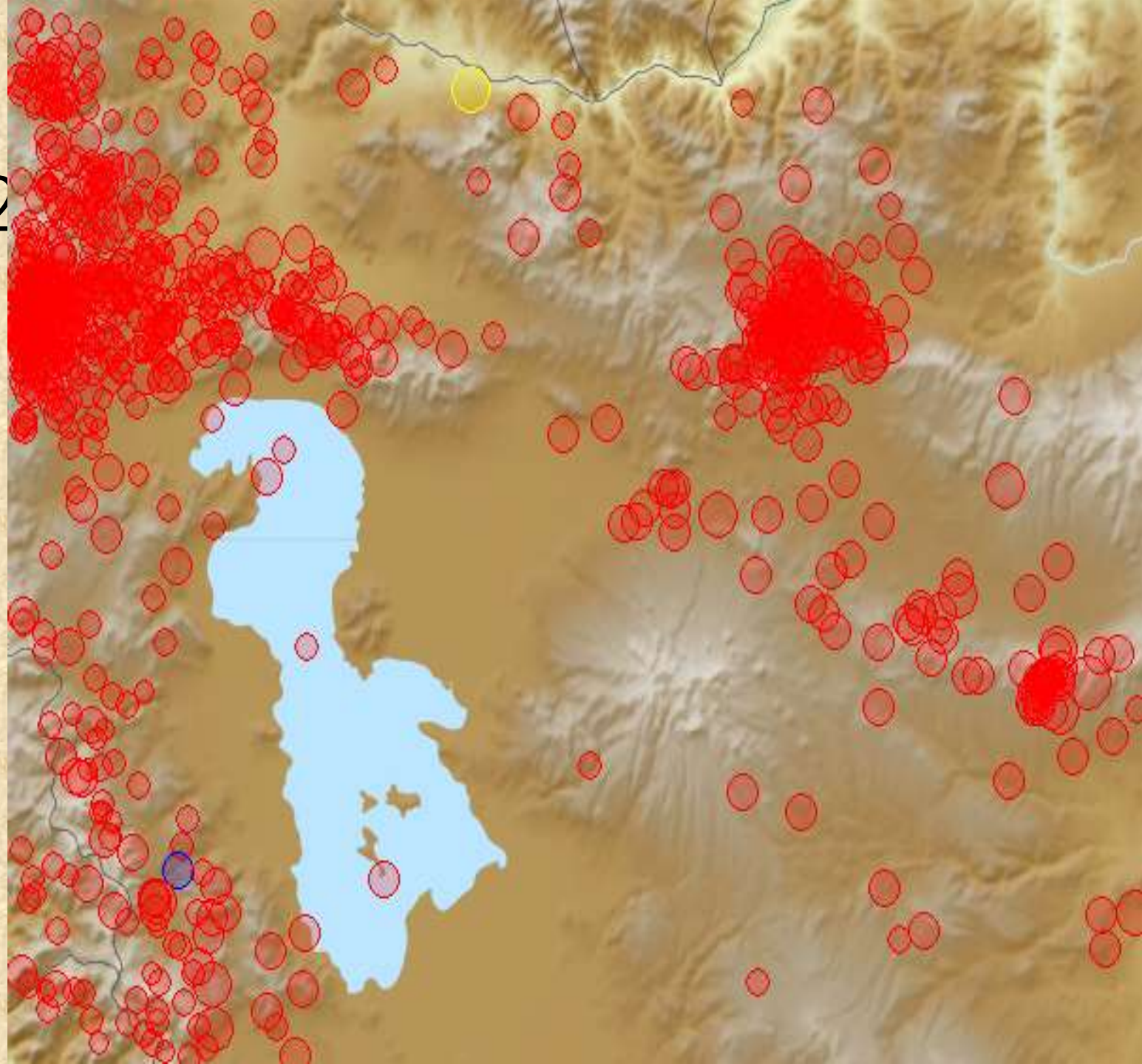


خطر زمینلرزه در تبریز و استان آذربایجان شرقی

دکتر مهدی زارع

استاد زلزله شناسی مهندسی
پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و
مهندسی زلزله

2005-
28Dec202



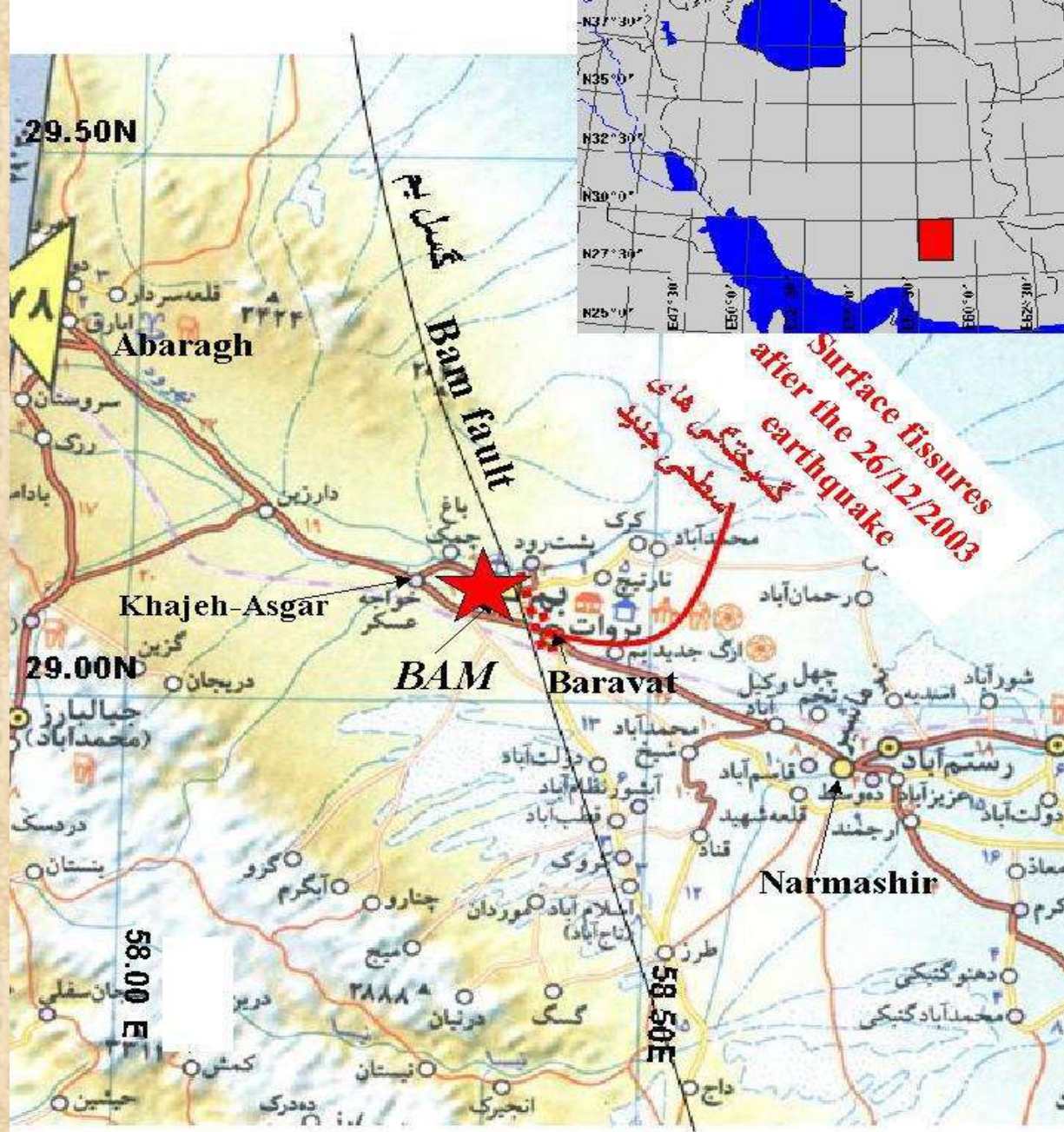
به یاد استاد فقید مهندس علی اکبر معین فر

-۱۳۰۶

۱۳۹۶-۱۰-۱۳



زلزله بم ۱۳۸۲



*Bam Earthquake of December 26, 2003,
Mw 6.5*



Bam

Bam fault segments

NASA Image ,
December 2003





North →



Bam fault Scarp in the north of Bam

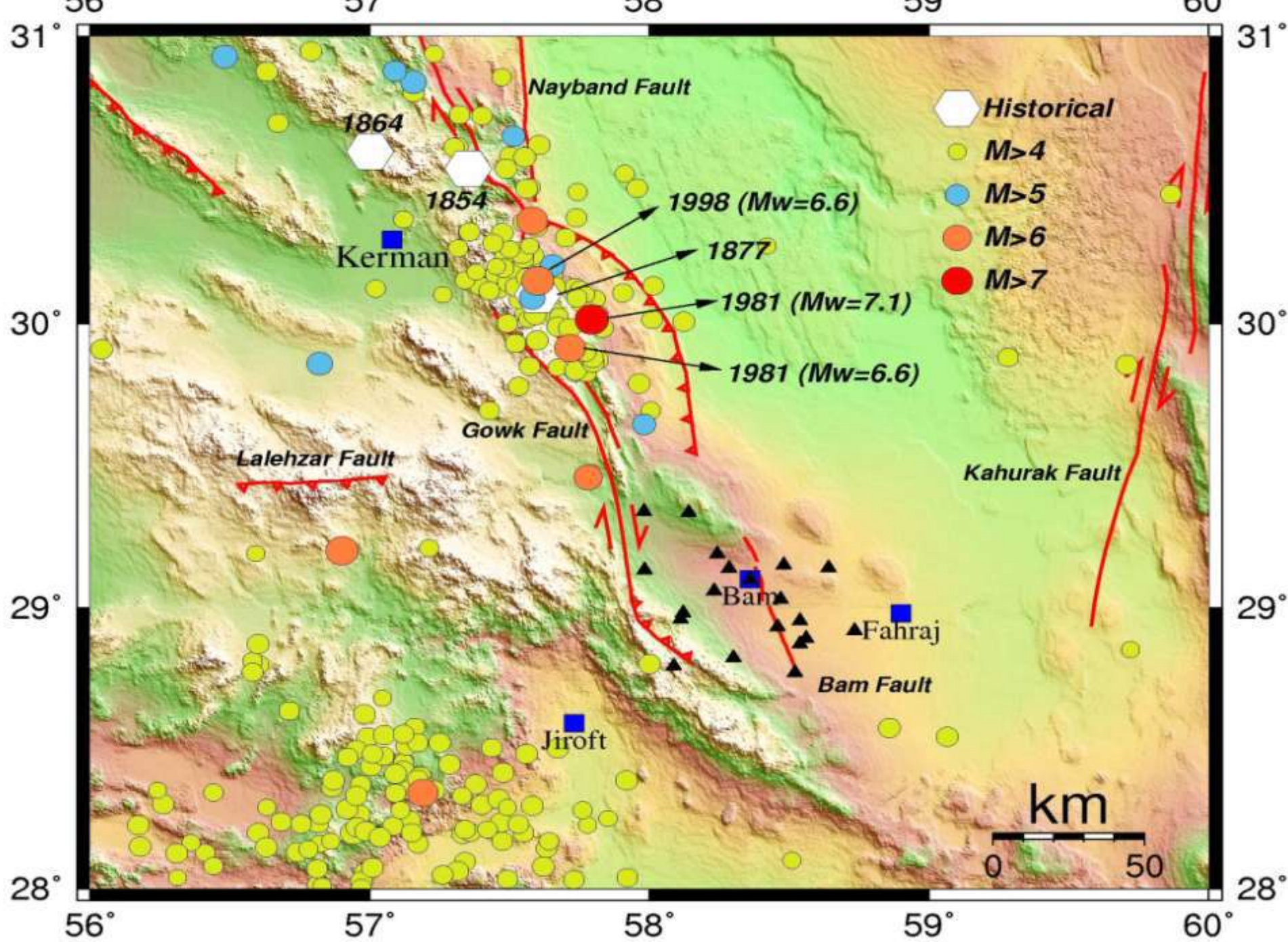
2004 2 26

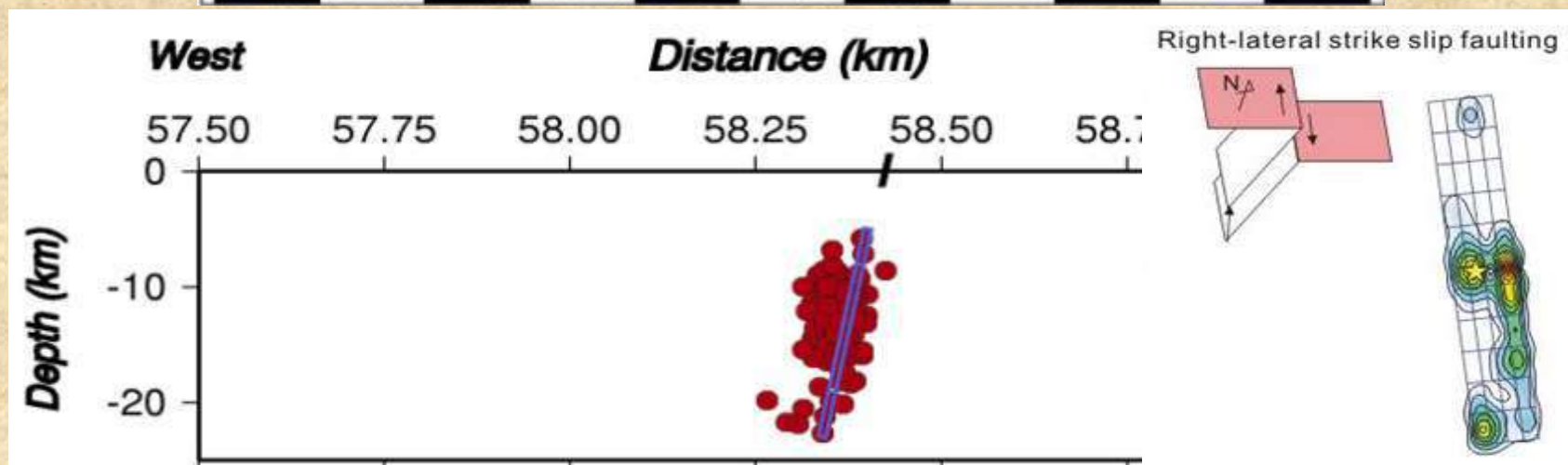
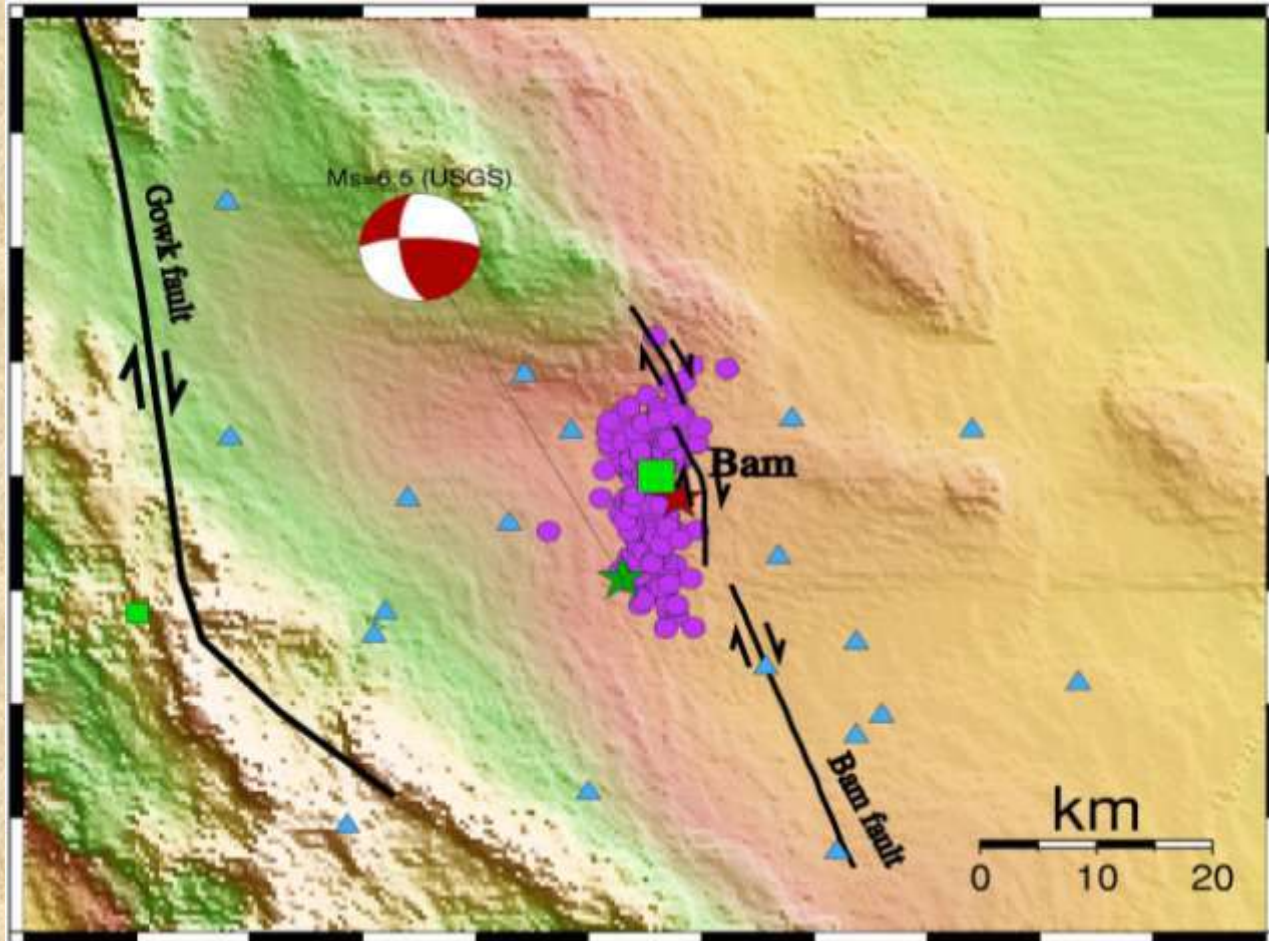
Bam fault scarp

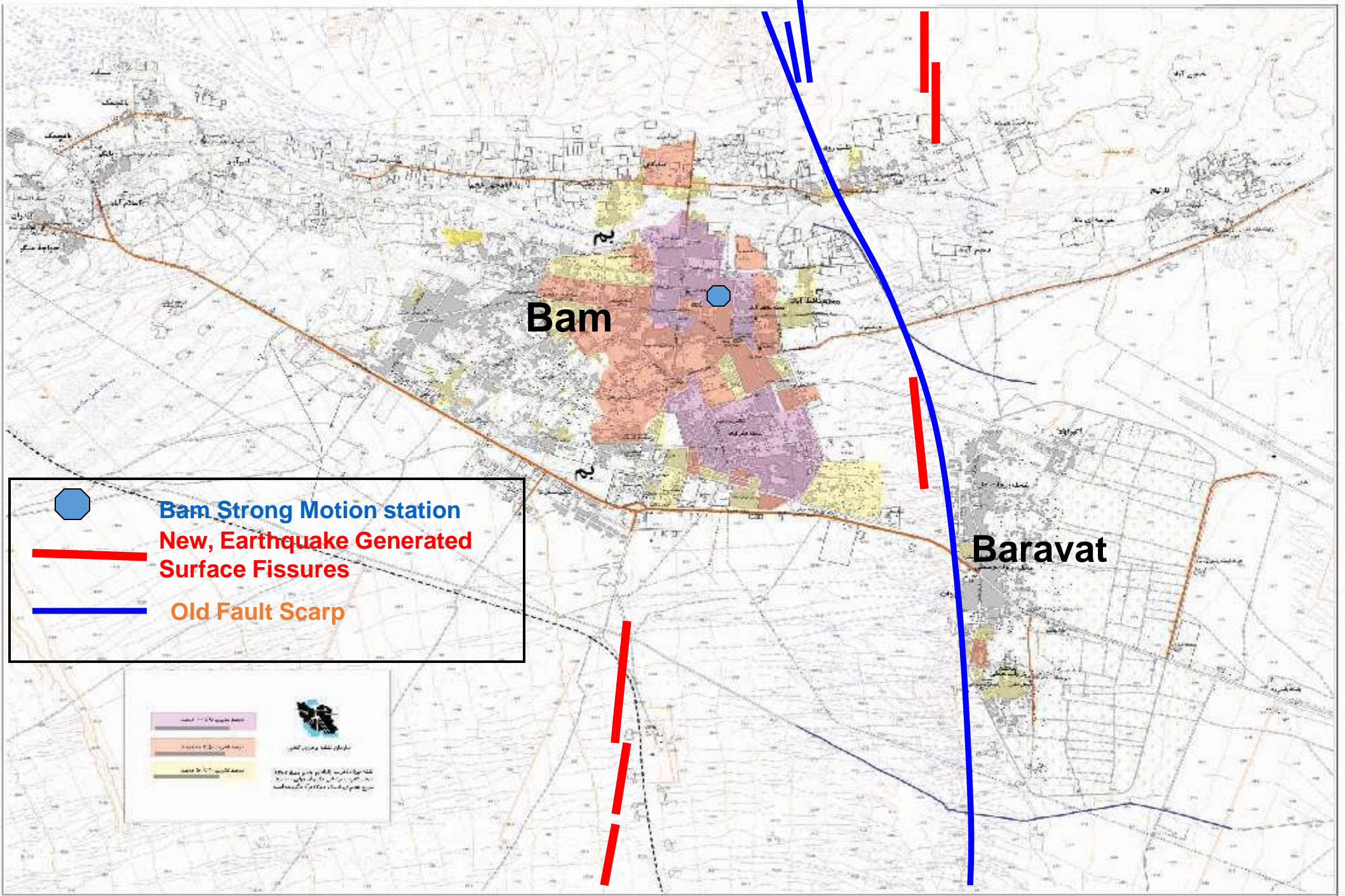


about 10
meters

2003 12 27







Bam

Baravat

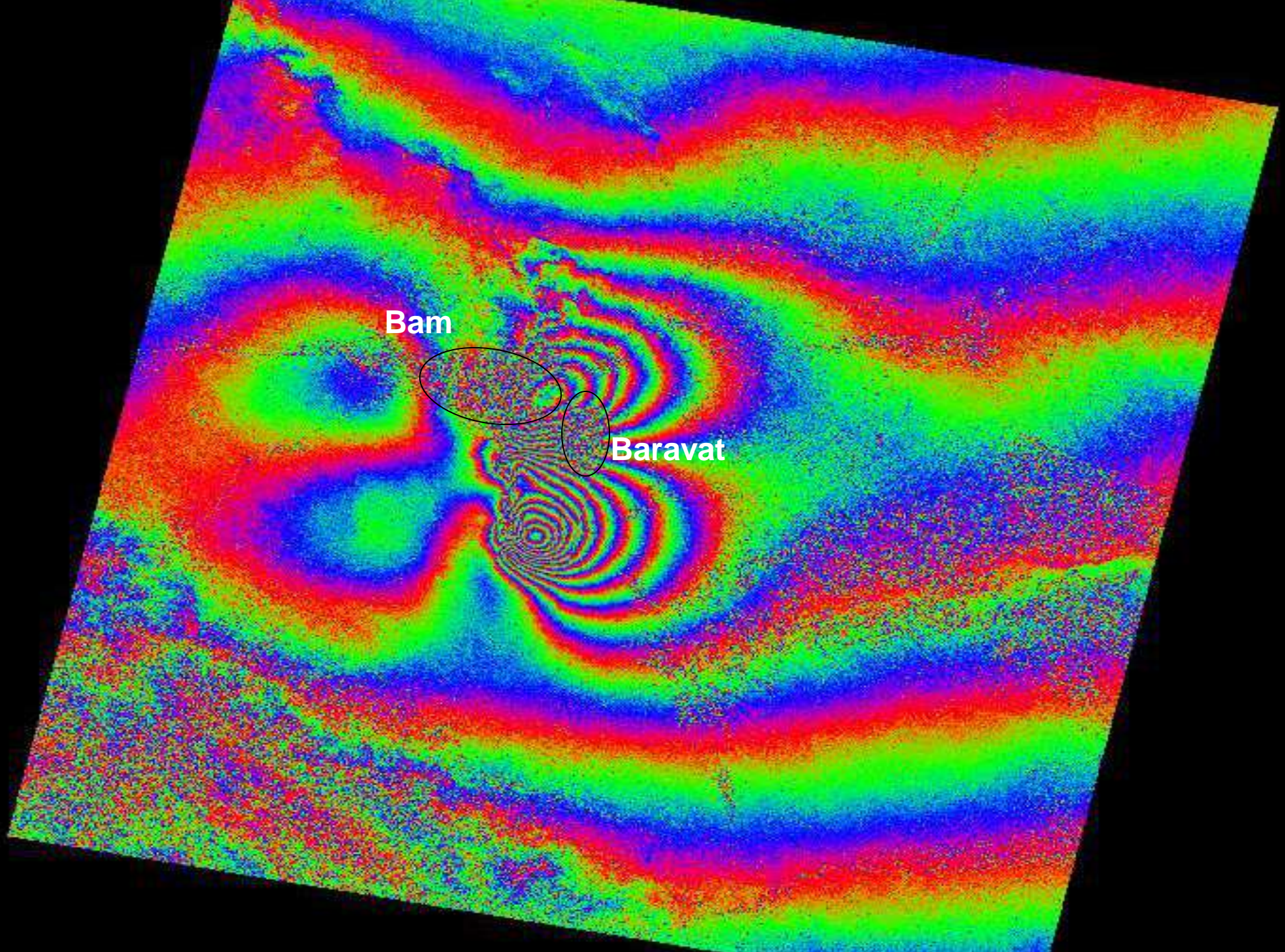
 **Bam Strong Motion station**

 **New, Earthquake Generated Surface Fissures**

 **Old Fault Scarp**

	منطقه خطر بسیار بالا		منطقه خطر بسیار بالا
	منطقه خطر بالا		منطقه خطر بالا
	منطقه خطر متوسط		منطقه خطر متوسط

منطقه خطر بسیار بالا
منطقه خطر بالا
منطقه خطر متوسط



Bam

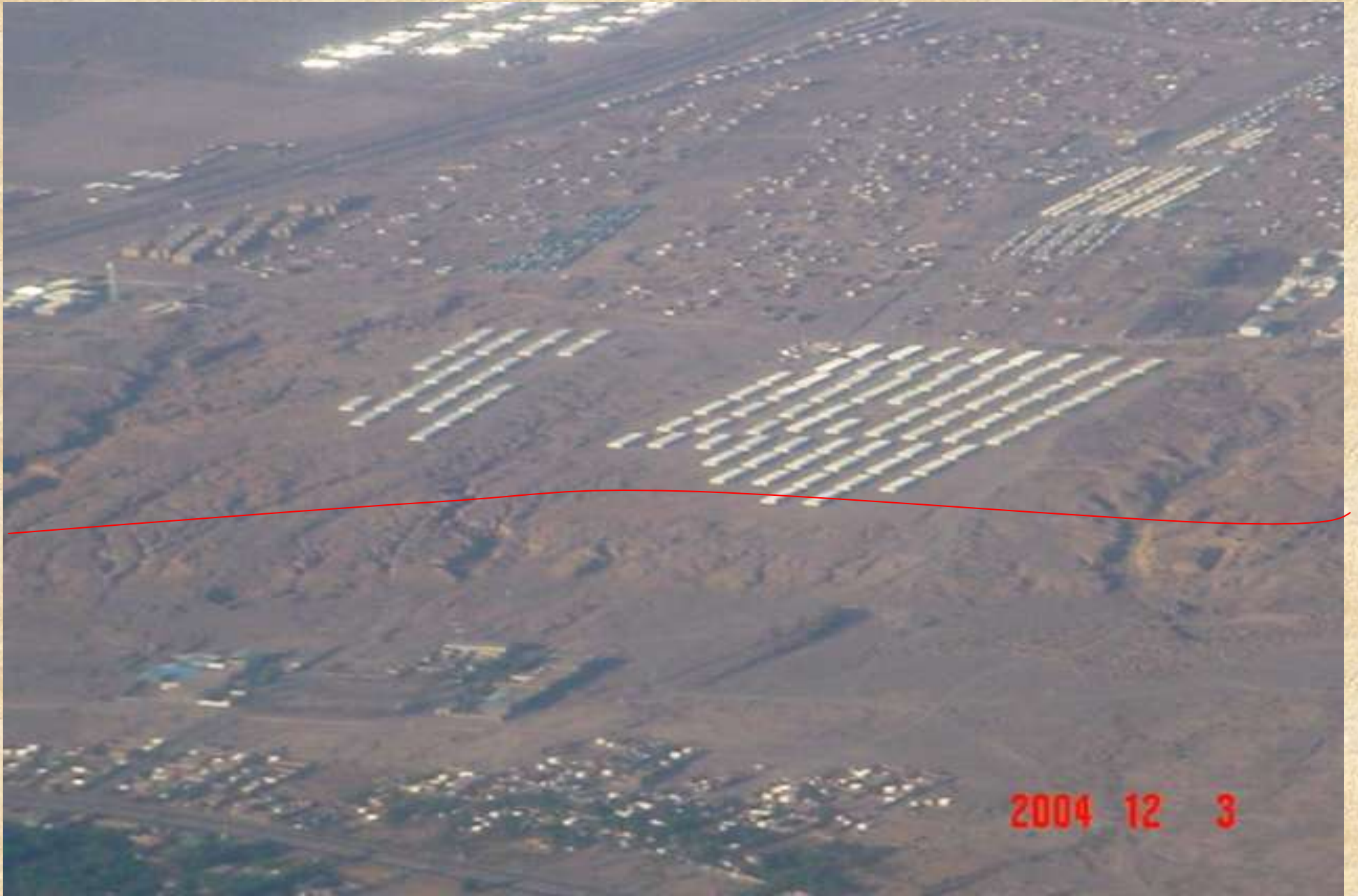
Baravat





2004 2 26





جنبش شدید زمین

Strong Ground Motion

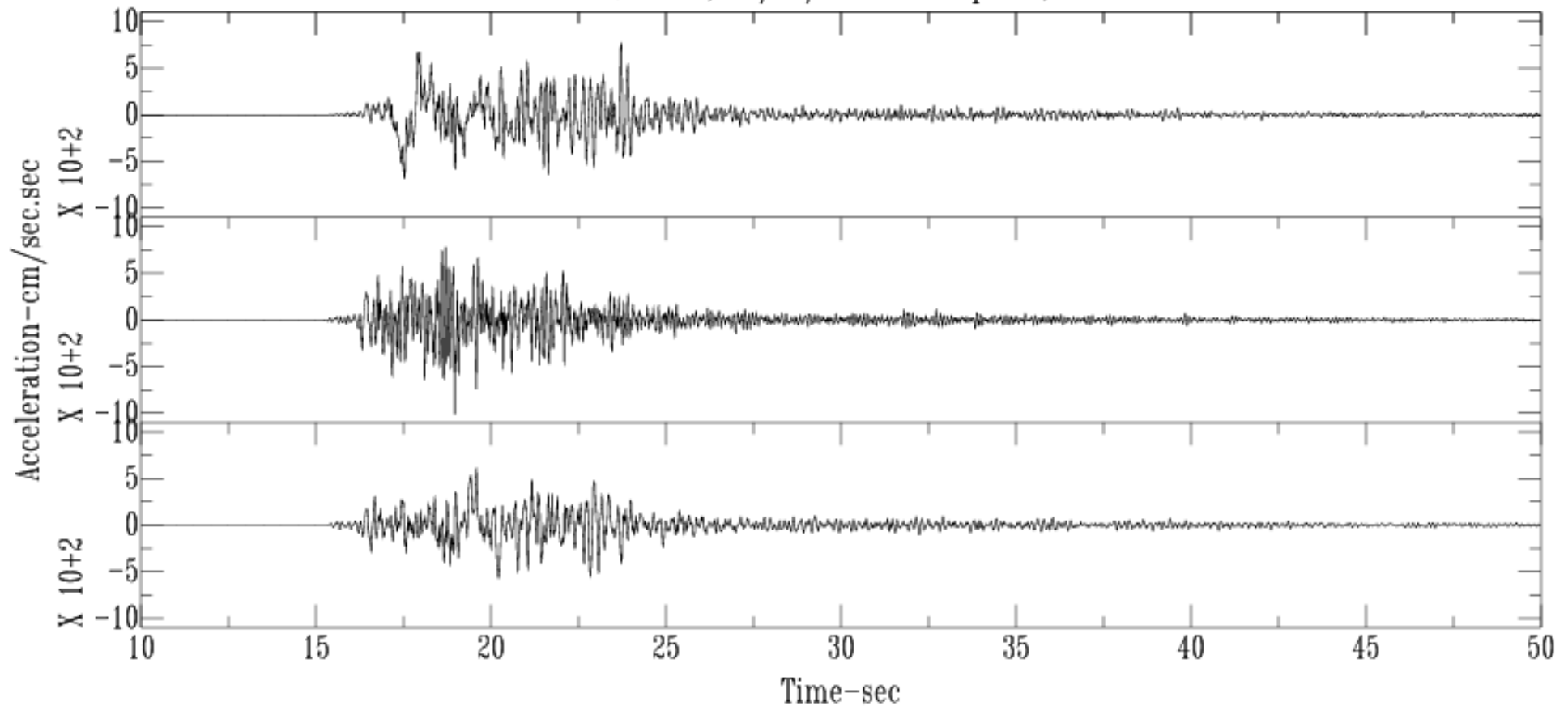
جنبش شدید زمین

- داده های شتابنگاری در ۲۲ ایستگاه شتابنگاری ثبت شد
- فاصله -بیشینه شتاب در ایستگاه بهم و در فاصله حدود ۱ کیلومتری از گسل بدست آمد
کانونی حدود ۱۲ کیلومتر
- در ایستگاه بهم مولفه قائم بیشینه شتاب ۹۹۲ گال
- مولفه افقی عمود بر گسل بیشینه شتاب ۷۷۵ گال
- مولفه افقی موازی گسل بیشینه شتاب ۶۲۳ گال

داده های شتابنگاری که در این مقاله ارائه می شود توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ثبت شده و در اختیار پژوهشگاه بین المللی زلزله قرار گرفته است.

شتابنگاشت ثبت شده در بیم : پس از پردازش و و ۴۰ هرتز 0.11 فیلتر شدن در

Bam Station, 26/12/2003 earthquake, Mw6.5

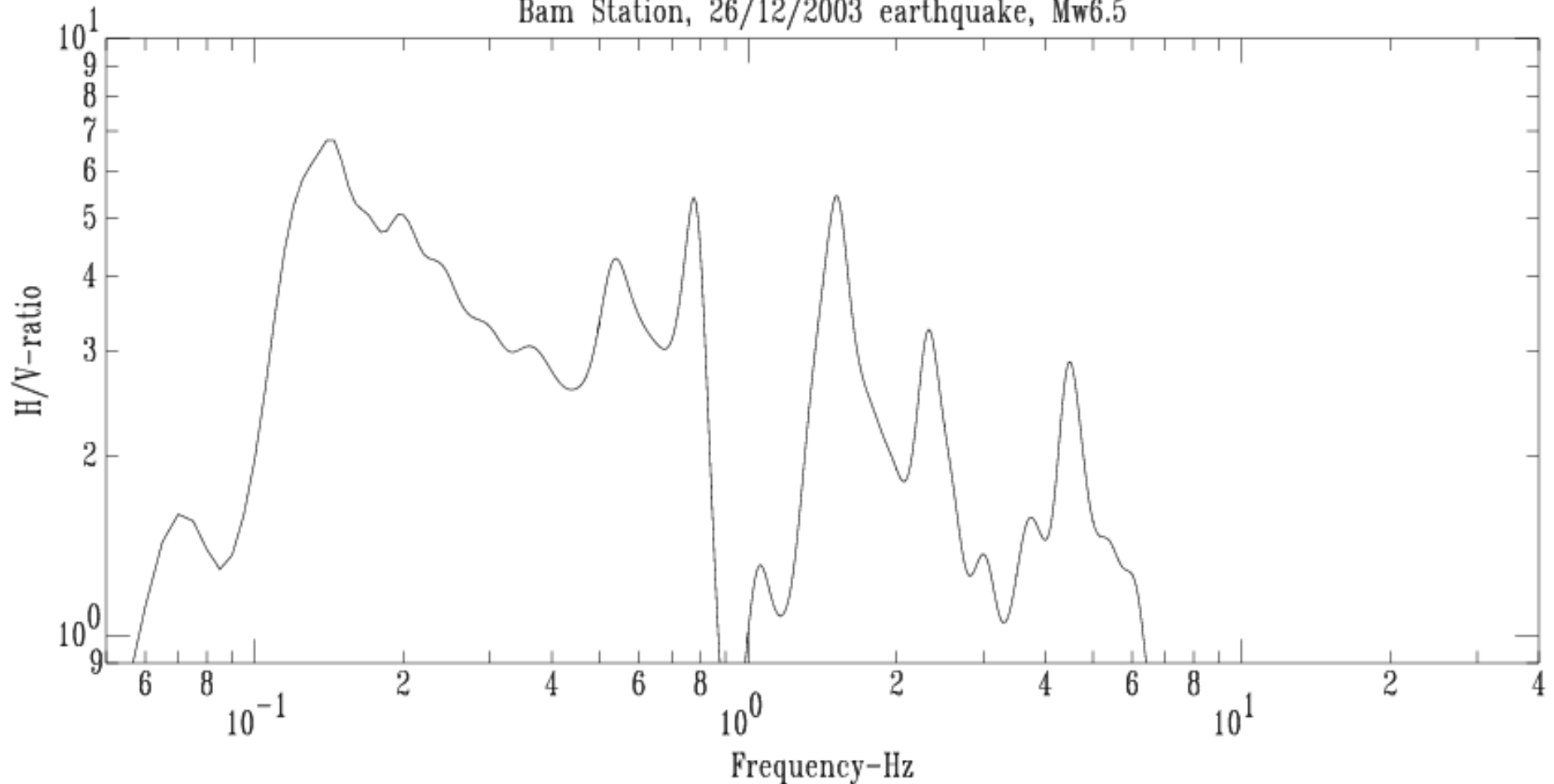


شتابنگاشت ثبت شده در بام :

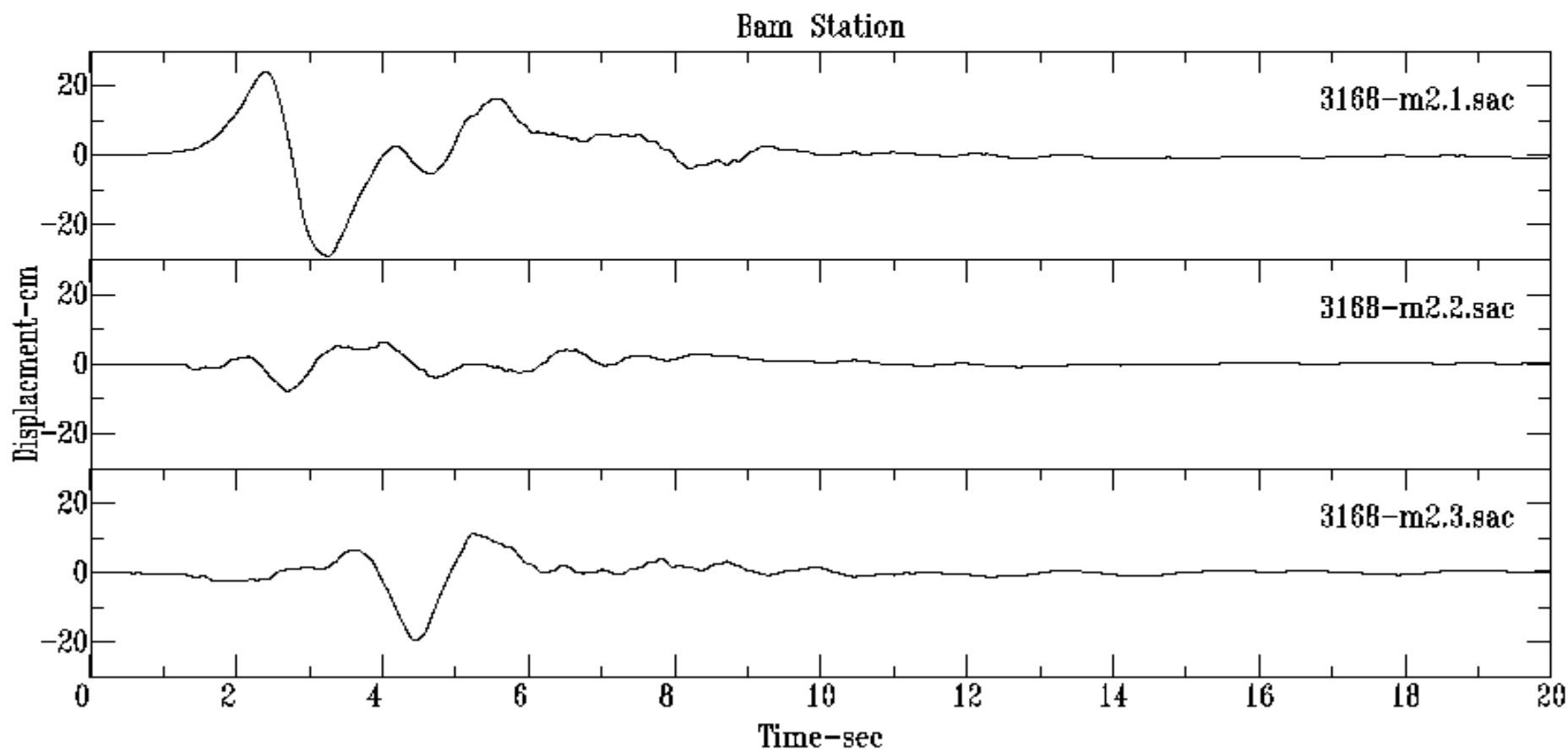
نشان می دهد که یک مولفه پریود بلند در جنبش افقی عمود بر H/V نسبت

گسل در حدود فرکانس 0.1 تا 0.2 هرتز رخ داده است

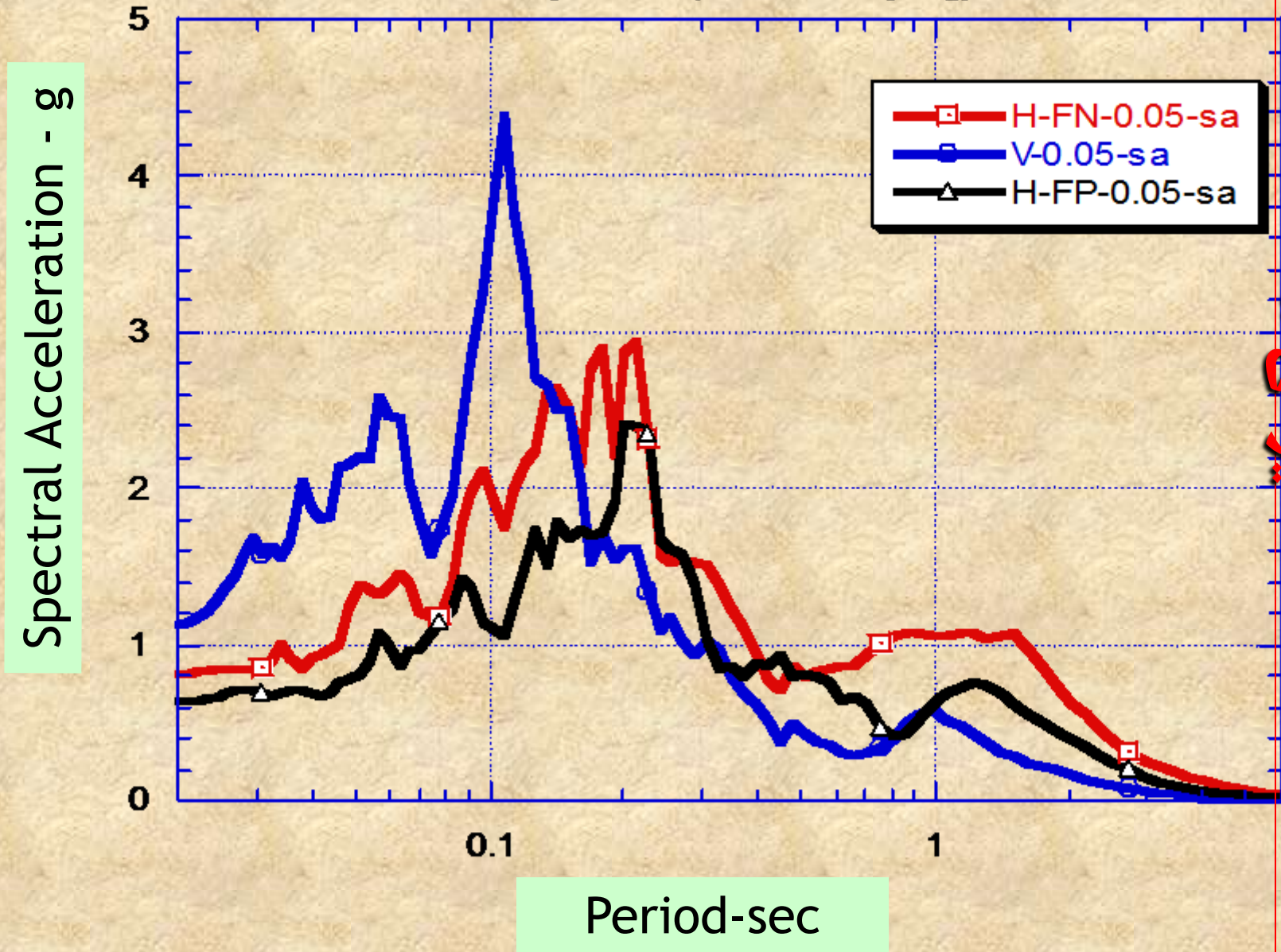
Bam Station, 26/12/2003 earthquake, Mw6.5



**تغییر مکان نگاشت بیم
به پالس بزرگ در حدود ۲ تا ۴ ثانیه به ویژه روی مؤلفه افقی
عمود بر گسل دقت شود**



Bam earthquake of 26/12/2003, Mw6.5, comparison of Horizontal (FN: fault normal, and FP: fault parallel) and Vertical components (for 5% damping)



Spectral Acceleration - g

Period-sec

مقایسه طیفهای پاسخ مولفه افقی عمود بر گسل ، موازی گسل و قائم برای % میرائی

جنبش شدید زمین

- بررسی شتابنگاشت بم و خرابی ها و تغییر مکانهای زمین در هنگام تغییر مکانهای شدید و پریود - زلزله نشانگر جهت پذیری قائم است بلند روی مولفه های قائم و افقی عمود بر گسل







Satellite image of Arg-e Bam: the day after earthquake (27/12/2003)



1

12

13

8

10

9

14

4

11

3

7

2

5

6

Photo by www.spaceimaging.com

Interpreted by Dr Mehdi ZARE

Legend for the damages to different places of Arg-e Bam – Due to the 26/12/2003 earthquake , Mw6.5,

(Numbers are given on the satellite image) Damages are roughly assessed by Dr Mehdi ZARE

- 1. House of Hakem (about 70% demolished)**
- 2. The southern entrance of Arg-e Bam 100% destroyed)**
- 3. The walls of Khandagh (completely destroyed)**
- 4. Stable - horse taking place – 60% demolished**
- 5. Great Mosque is completely destroyed**
- 6. Mirza-Naeim Complex mostly destroyed (90%).**
- 7. Bazar: Meydan (Square) and Tekkiyeh are mostly (about 70% destroyed)**
- 8. House of Soldiers (Gardians) is partially destroyed (about 60%)**
- 9. House of Mir-Nezam is partially destroyed (about 60%)**
- 10. Asiab-e Badi (Windmill) is completely destroyed (80%)**
- 11. Bazar is mostly destroyed (80%)**
- 12. Kenari Mahalleh (district) is completely destroyed (90%)**
- 13. Jail is mostly demolished (80%)**
- 14. School or Khaneghaah is mostly destroyed (80%)**



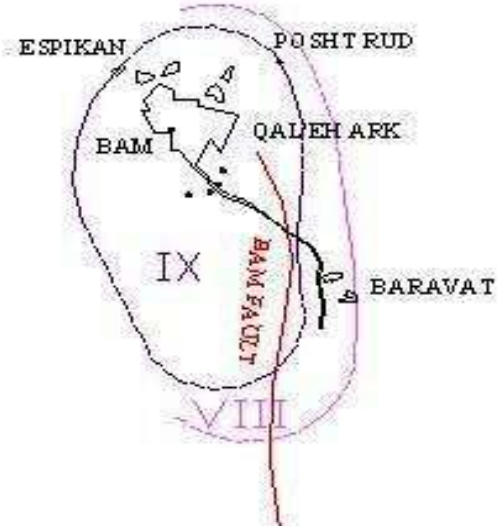
- ۱- خندق
- ۲- یخچال
- ۳- مسجد حضرت رسول (ص)
- ۴- برج ها و دروازه ها
- ۵- ورودی
- ۶- بازار
- ۷- میدان و تکیه بازار
- ۸- مسجد بزرگ ارک
- ۹- مجموعه میرزا نعیم
- ۱۰- زورخانه
- ۱۱- محله جهودها
- ۱۲- کوچه های غربی
- ۱۳- مدرسه یا خانقاه
- ۱۴- کناری محله

- ۱۵- حصار دوم
- ۱۶- اصطبل
- ۱۷- سرباز خانه یا پادگان
- ۱۸- خانه میر نظام
- ۱۹- آسیاب بادی
- ۲۰- حصار سوم
- ۲۱- خانه مسکونی حاکم
- ۲۲- سیاهچال و زندان
- ۲۳- چهار فصل
- ۲۴- چاه سوم و حمام حاکم
- ۲۵- برج دینبانی



شدت زلزله - مقياس INQUA

29°11'



MACROSEISMIC INTENSITY
THE ISOSEISMAL MAP OF THE BAM
IRAN EARTHQUAKE OF 26/12/2003
MW 6.5
INQUA 2003 MACROSEISMIC
INTENSITY SCALE
BY: ASHOORI, 2004

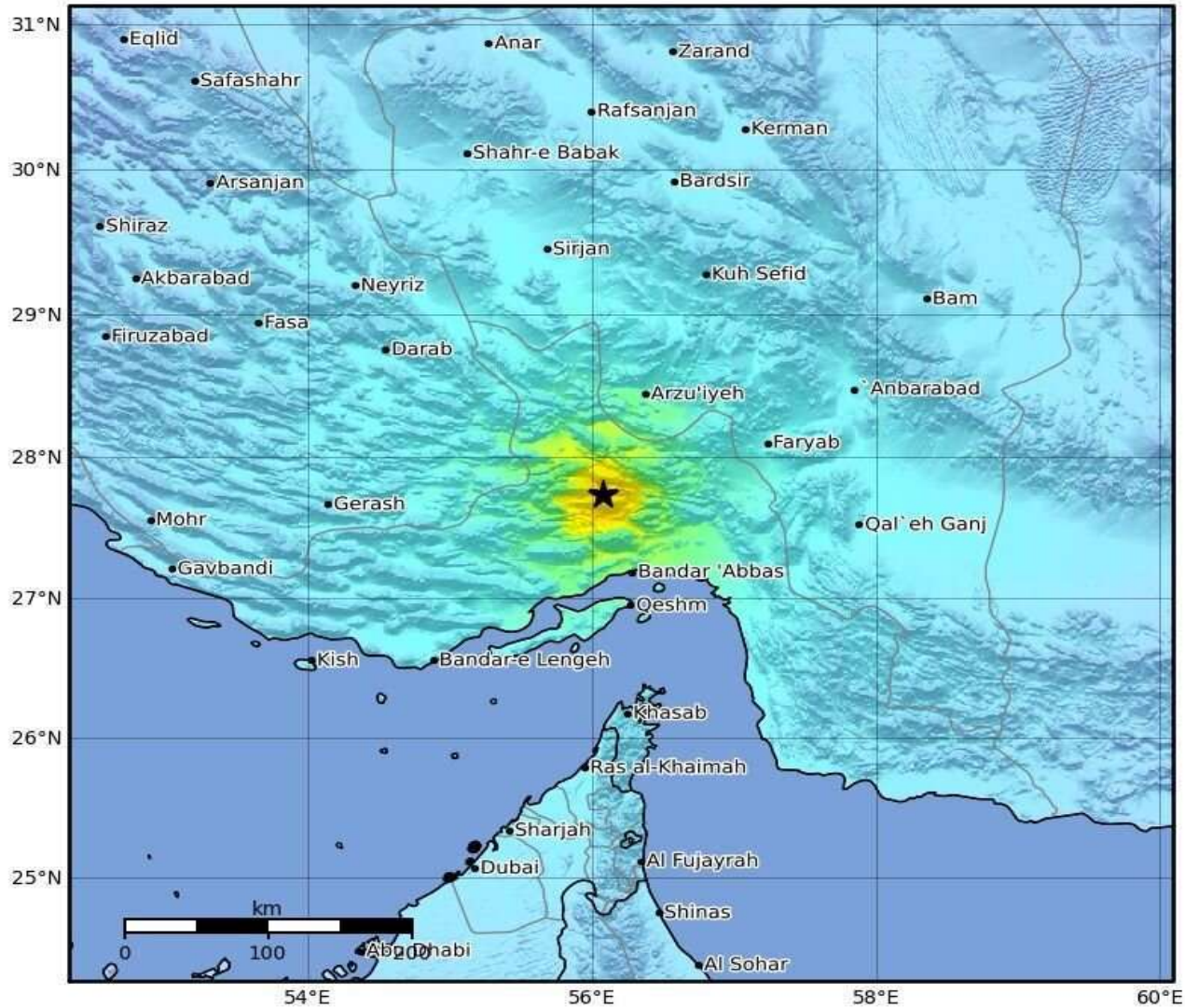
RAHMAN
ABAD
VII

58°15'

29°1'
58°45'

● One of the main sources of drinking and agricultural water at Bam area is underground irrigation systems called Qanats. Most of the Qanats of the area have been damaged due to Bam Earthquake. In some cases the collapse of some of these Qanats caused severe damages to the building and lifelines. Bam Earthquake has considerable effects on a lot of Qanats that excavated at the Bam area and its vicinity. Based on the preliminary evaluations, about 40 percents of these Qanats have been collapsed or experienced severe damages due to the earthquake. In some cases the collapse of the Qanats stopped the water flow completely. The area of Qanats have occurred in IX level of INQUA intensity scale.

Macroseismic Intensity Map USGS
 ShakeMap: 64 km NNW of Bandar Abbas, Hormozgan, IR
 Nov 14, 2021 12:08:38 UTC M6.3 N27.74 E56.08 Depth: 10.0km ID:us7000fu12



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

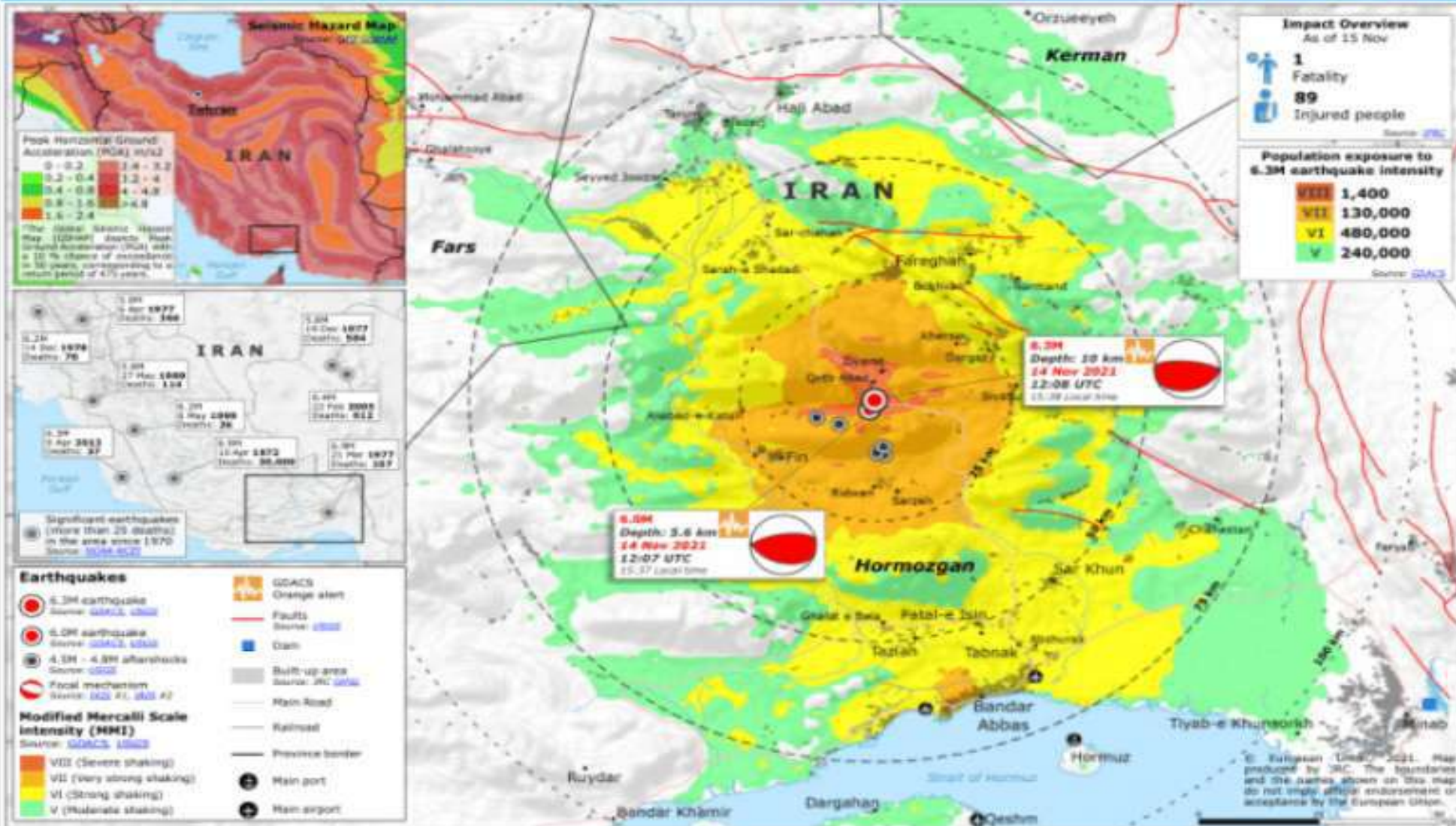
Scale based on Worden et al. (2012)

△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

★ Epicenter

Version 1: Processed 2021-11-14T12:31:51Z

Iran | Earthquakes of 14 November



Seismotectonics of the Zagros (Iran) From Orogen-Wide, , Calibrated Earthquake Relocations, Ezgi Karasözen , , Edwin Nissen , , Eric A. Bergman , , and Abdolreza Ghods (2019) *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*

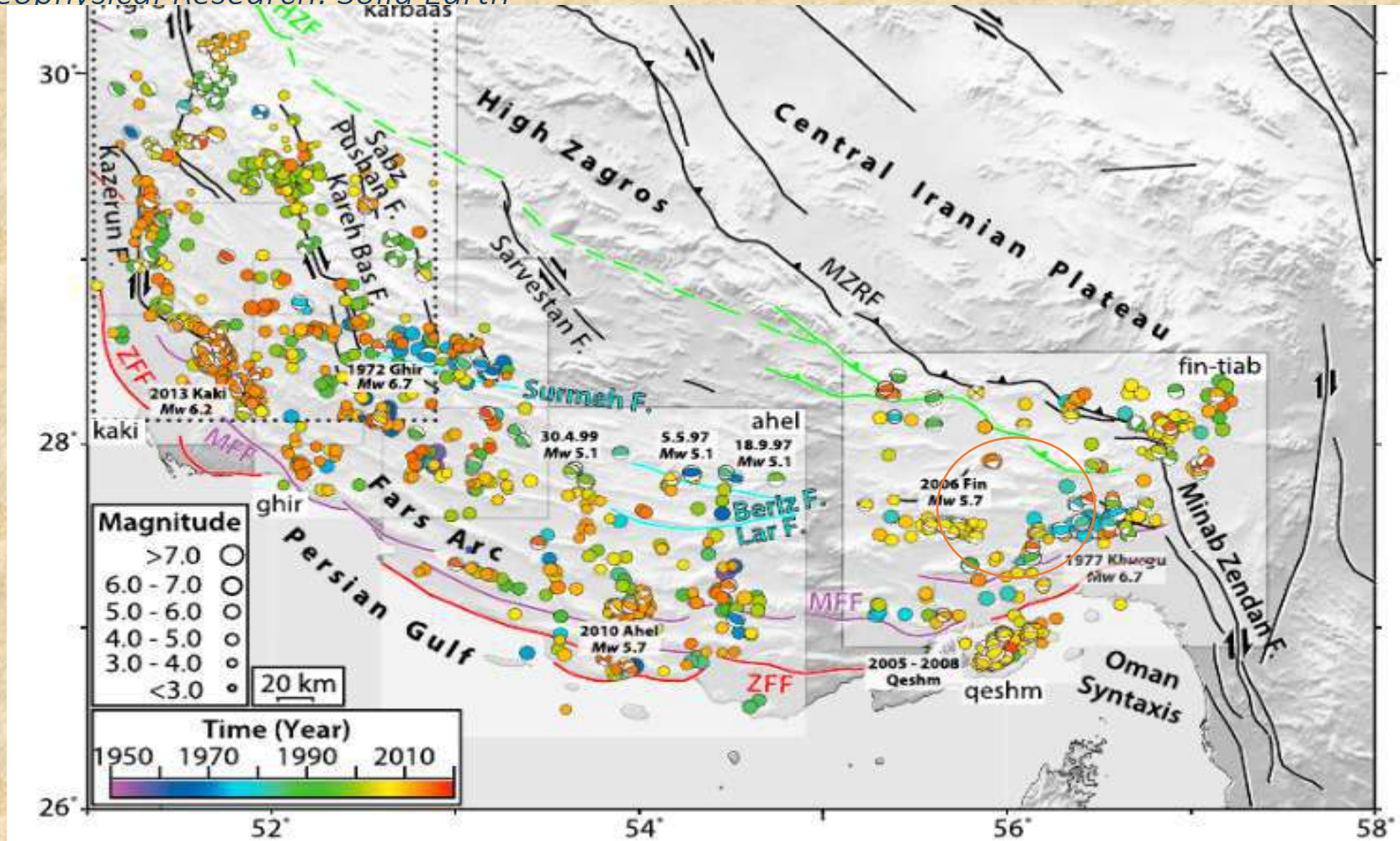
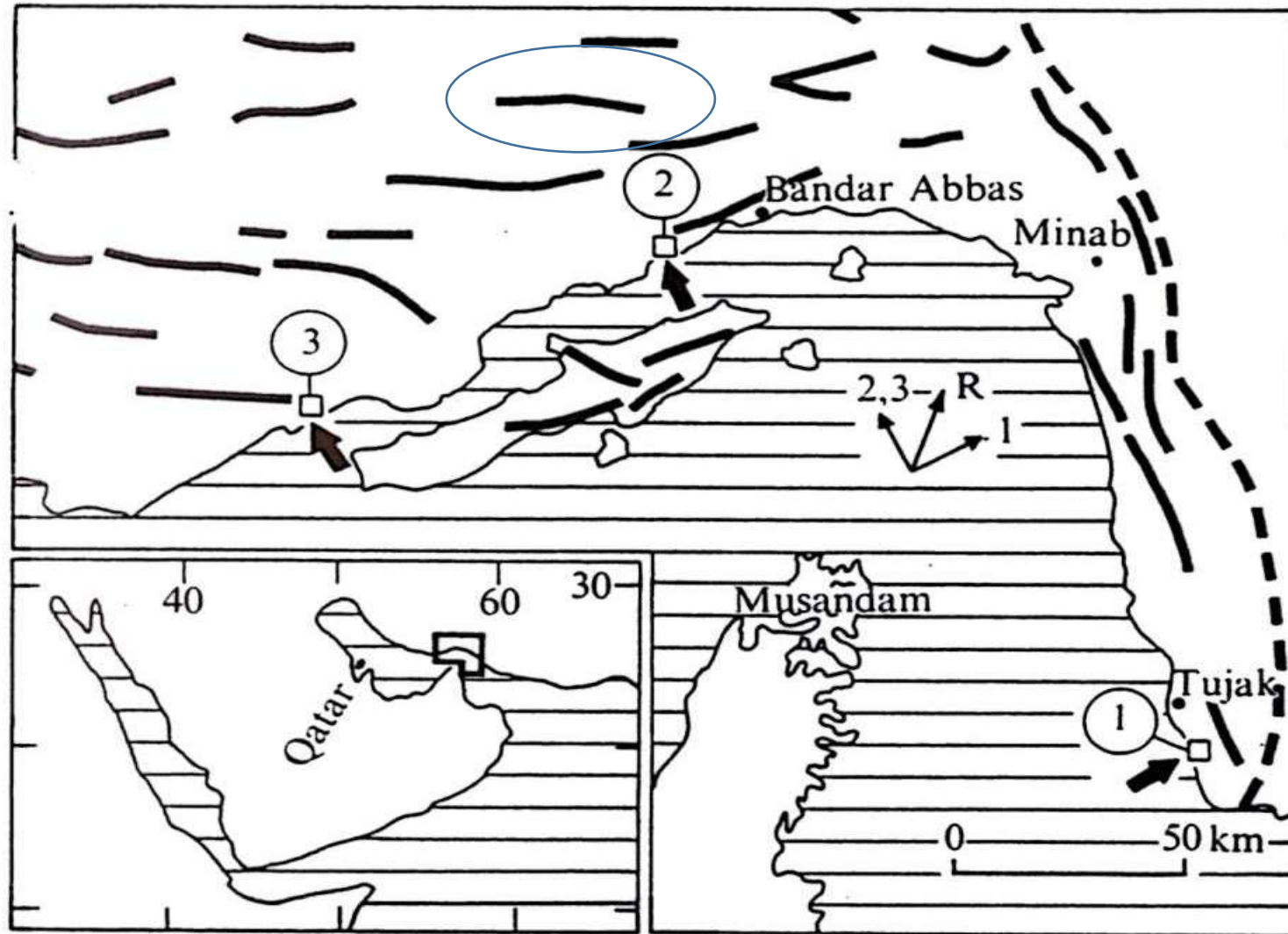


Figure 3. Calibrated epicentral locations in the southeastern Zagros, colored by time and scaled by magnitude. Where they are available (from the references listed in Table S2), teleseismic focal mechanisms are plotted at their relocated



Vita Finzi, 1978

marine terraces for calculating shoreline uplift rates

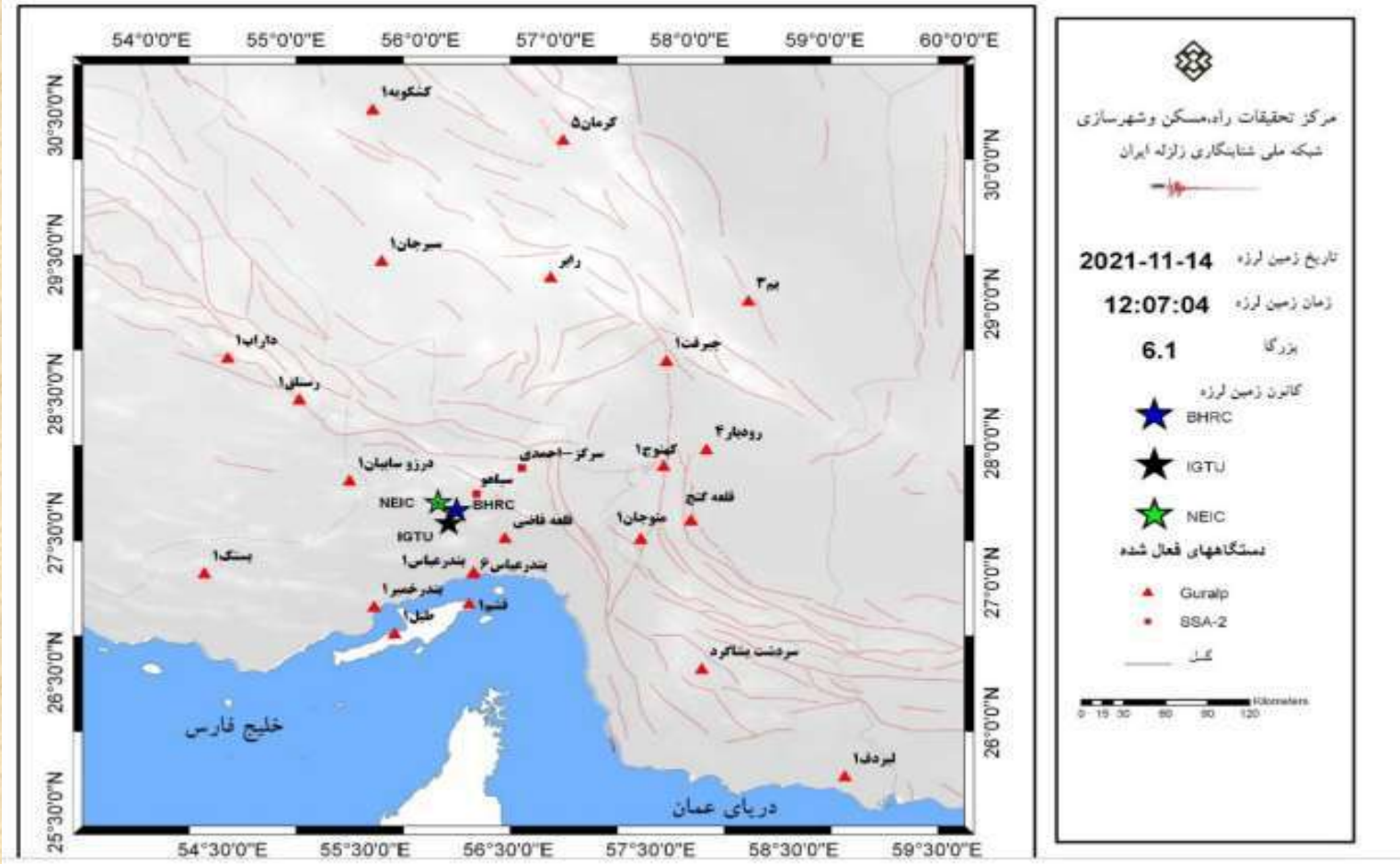
جدول ۱ مشخصات رو مرکز زمین لرزه ۲۳ آبان ۱۴۰۰ قین (اولین زمین لرزه)

گزارش کننده	بزرگی			ژرفا (KM)	رومرکز دستگاهی		تاریخ وقوع	
	Mw	Mb	Mn		E	N	h:m:s	D/M/Y
BHRC	۶.۱			۱۶	۵۶.۱۹	۲۷.۶۵	۱۲:۰۷:۰۴	۱۴/۱۱/۲۰۲۱
IGTU			۶.۴	۱۵	۵۶.۱۳	۲۷.۵۶	۱۲:۰۷:۰۴	
NEIC	۶.۰			۶	۵۶.۰۶	۲۷.۷۲	۱۲:۰۷:۰۳	

جدول ۲ مشخصات رو مرکز زمین لرزه ۲۳ آبان ۱۴۰۰ قین (دومین زمین لرزه)

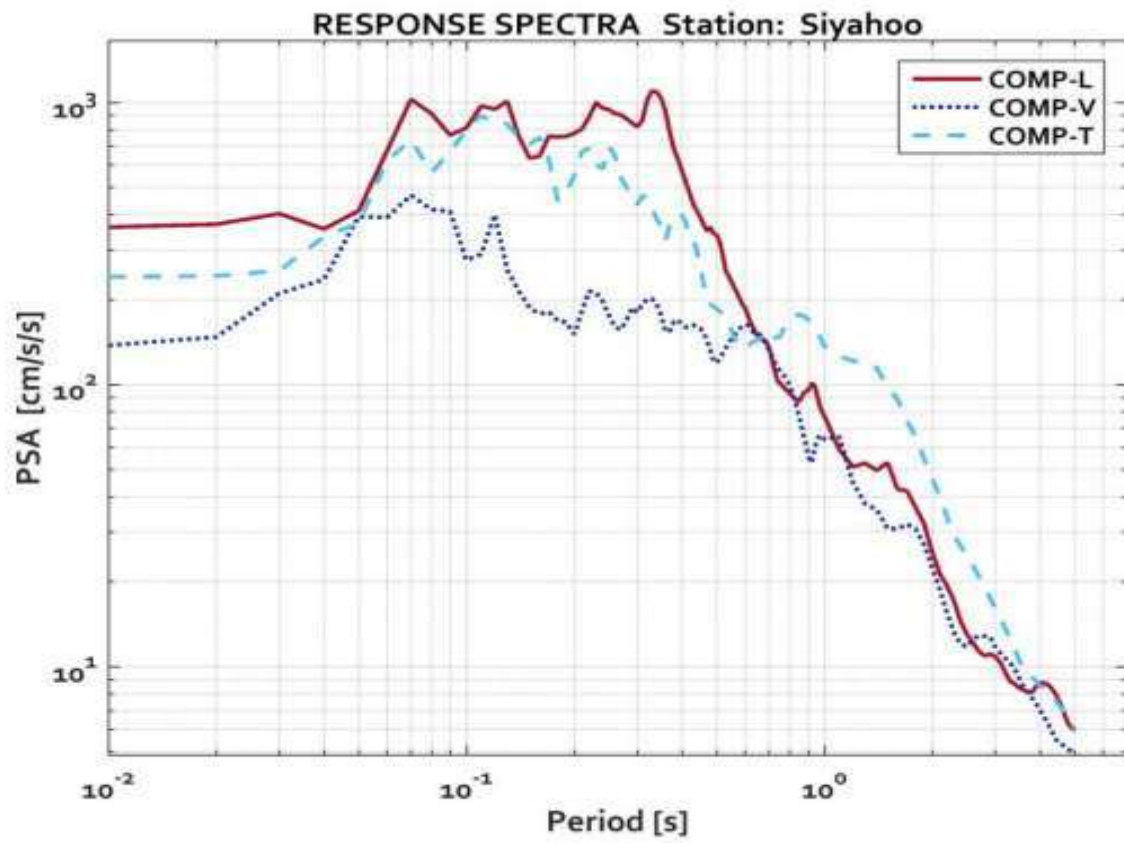
گزارش کننده	بزرگی			ژرفا (KM)	رومرکز دستگاهی		تاریخ وقوع	
	Mw	Mb	Mn		E	N	h:m:s	D/M/Y
BHRC	۶.۳			۱۶	۵۶.۲۱	۲۷.۶۹	۱۲:۰۸:۳۸	۱۴/۱۱/۲۰۲۱
IGTU			۶.۳	۱۵	۵۶.۱۳	۲۷.۵۶	۱۲:۰۸:۳۸	
NEIC		۶.۳		۱۰	۵۶.۰۷	۲۷.۷۳	۱۲:۰۸:۳۸	

زلزله اول



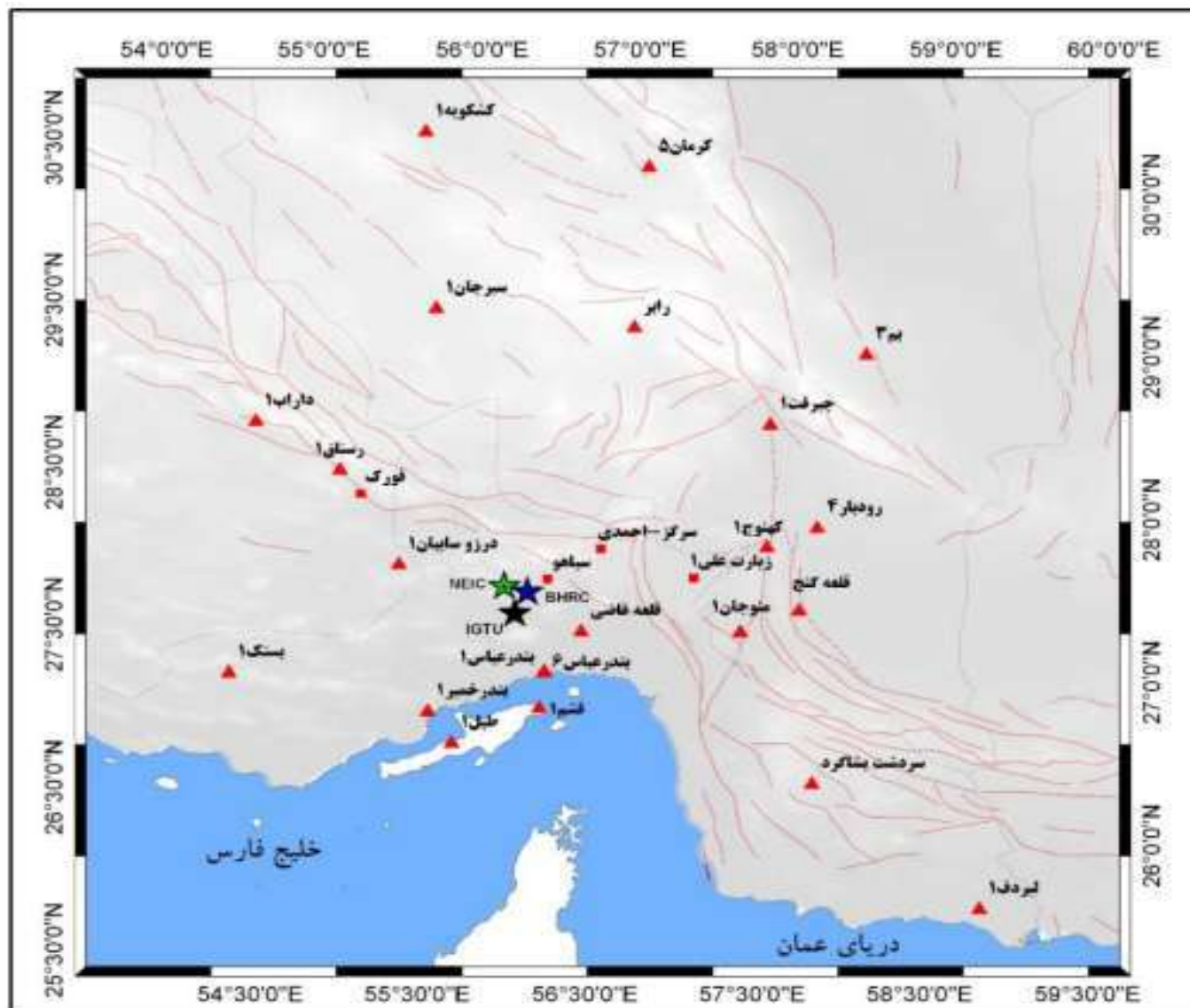
جدول ۴ شتابنگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه اول

ردیف	نام ایستگاه	استان	شماره رکورد	فاصله رومرکز (Km) (BHRC)	بیشینه شتاب تصحیح نشده (cm/s/s)		
					T	V	L
۱	سیاهو	هرمزگان	۰۱/۹۱۷۱	۱۹	۳۶۹	۱۳۶	۲۴۶
۲	قلعه قاضی	هرمزگان	۰۱/۹۱۶۹	۴۲	۵۱	۴۱	۶۱
۳	بندرعباس ۶	هرمزگان	۰۱/۹۱۵۱	۵۳	۳۵	۲۵	۲۷
۴	سرگز-احمدی	هرمزگان	۰۱/۹۱۴۶	۵۷	۳۰	۱۶	۲۸
۵	فورک	فارس	۹۱۴۷	۱۲۱	۲۹	۱۵	۲۴
۶	بندرعباس ۱	هرمزگان	۰۱/۹۱۶۸	۵۲	۲۷	۱۷	۲۴
۷	قشم ۱	هرمزگان	۰۱/۹۱۵۵	۷۷	۹	۶	۱۳
۸	منوجان ۱	کرمان	۰۱/۹۱۶۱	۱۳۲	۱۰	۴	۱۱
۹	رودبار ۴	کرمان	۰۱/۹۱۶۳	۱۸۳	۱۱	۳	۸
۱۰	کهنوج ۱	کرمان	۰۱/۹۱۵۷	۱۵۰	۱۰	۵	۸
۱۱	طبل ۱	هرمزگان	۰۱/۹۱۶۷	۱۰۹	۷	۳	۵



شکل ۴ شتابنگاشت سیاهو و طیف شتاب آن از زمین لرزه اول

زلزله لرزه




 مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
 شبکه ملی شبانه‌نگاری زلزله ایران

تاریخ زمین لرزه: 2021-11-14
 زمان زمین لرزه: 12:08:38
 بزرگا: 6.3

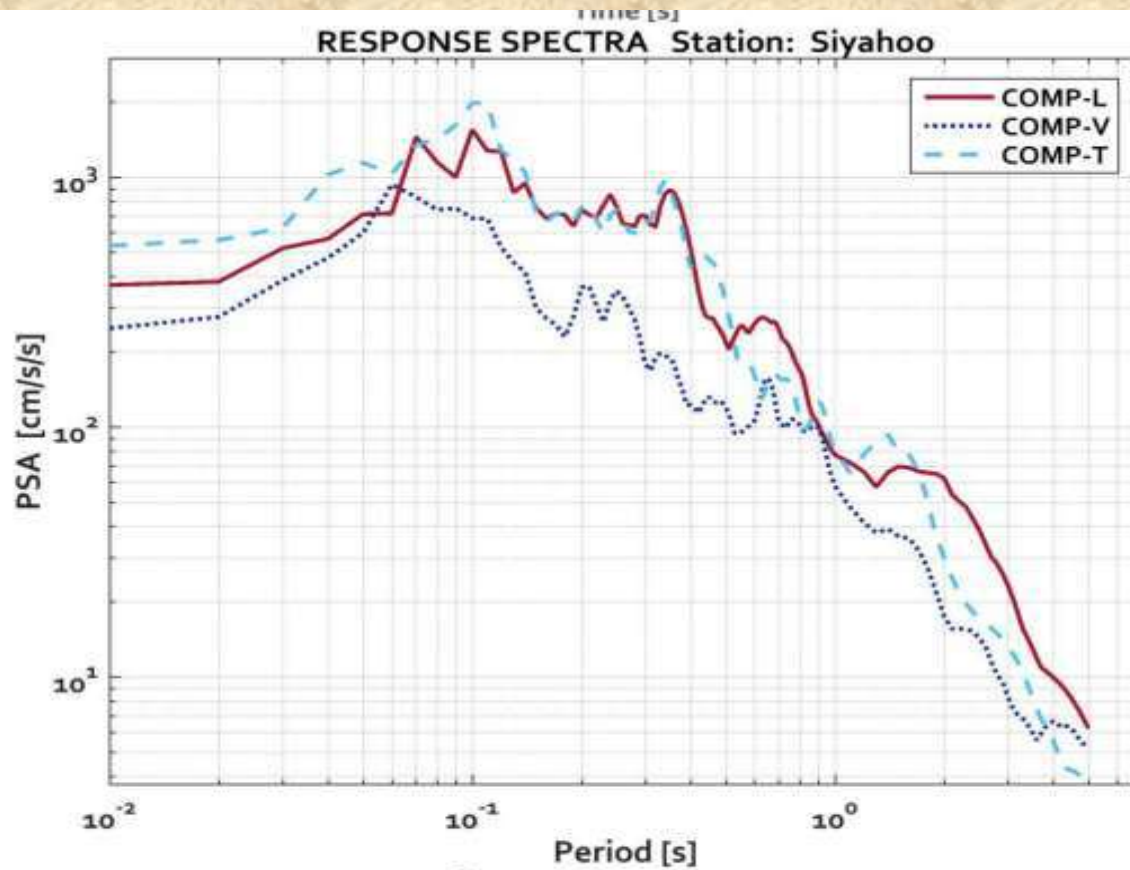
کانون زمین لرزه
 ★ BHRC
 ★ IGTU
 ★ NEIC

دستگاه‌های فعال شده
 ▲ Guralp
 ■ SSA-2
 — گس

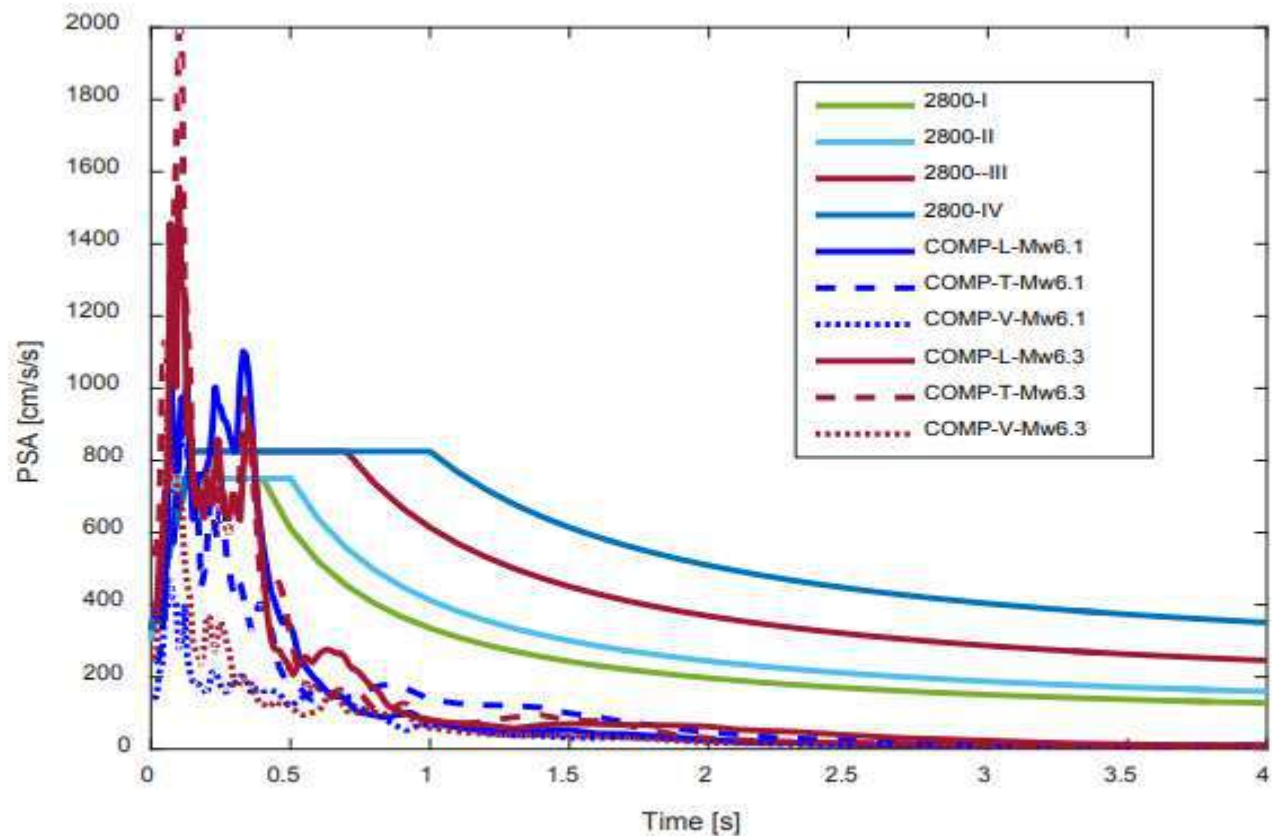
Kilometers
 0 15 30 60 90 120

جدول ۵ شتابنگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه دوم

بیشینه شتاب تصحیح نشده (cm/s/s)			فاصله رومركز (Km) (BHRC)	شماره رکورد	استان	نام ایستگاه	ردیف
T	V	L					
۵۶۵	۲۵۷	۳۷۳	۱۵	۰۲/۹۱۷۱	هرمزگان	سیاهو	۱
۷۷	۴۲	۹۲	۴۳	۰۲/۹۱۶۹	هرمزگان	قلعه قاضی	۲
۳۲	۳۲	۴۴	۵۶	۰۲/۹۱۶۸	هرمزگان	بندرعباس ۱	۳
۴۱	۲۶	۴۰	۵۷	۰۲/۹۱۵۱	هرمزگان	بندرعباس ۶	۴
۴۰	۱۹	۲۵	۵۳	۰۲/۹۱۴۶	هرمزگان	سرگز-احمدی	۵
۱۶	۴	۸	۱۰۰	۹۱۴۵	هرمزگان	زیارت علی ۱	۶
۱۳	۱۱	۱۶	۸۰	۰۲/۹۱۵۳	فارس	درزو سایان ۱	۷
۱۳	۱۰	۱۳	۸۱	۰۲/۹۱۵۵	هرمزگان	قسم ۱	۸
۱۰	۵	۹	۱۱۴	۰۲/۹۱۶۷	هرمزگان	طیل ۱	۹
۹	۵	۹	۱۴۷	۰۲/۹۱۵۷	کرمان	کهنوج ۱	۱۰

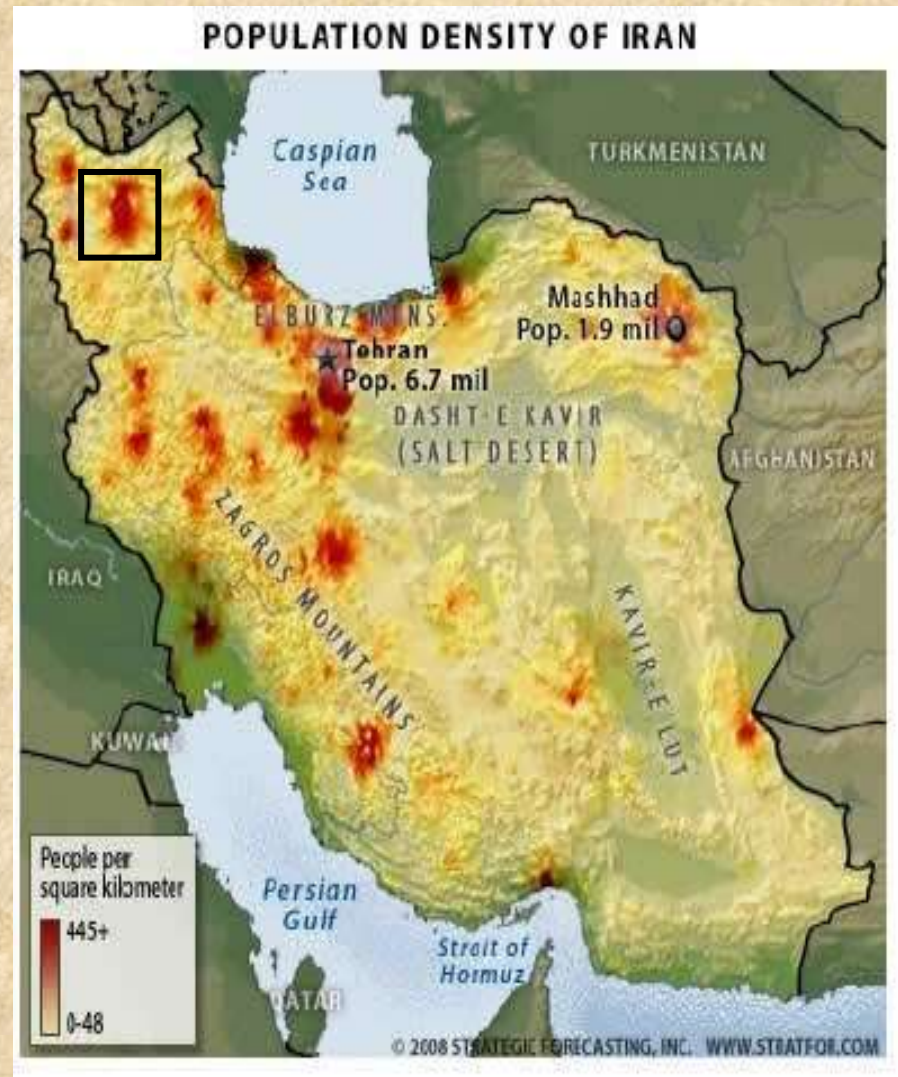


شکل ۵ شتابنگاشت سیاهو و طیف شتاب آن از زمین لرزه دوم



شکل ۶ مقایسه طیف پاسخ ایستگاه سیاهو با طیف آیین نامه ۲۸۰۰

جمعیت منطقه



چهارمین شهر پرجمعیت ایران

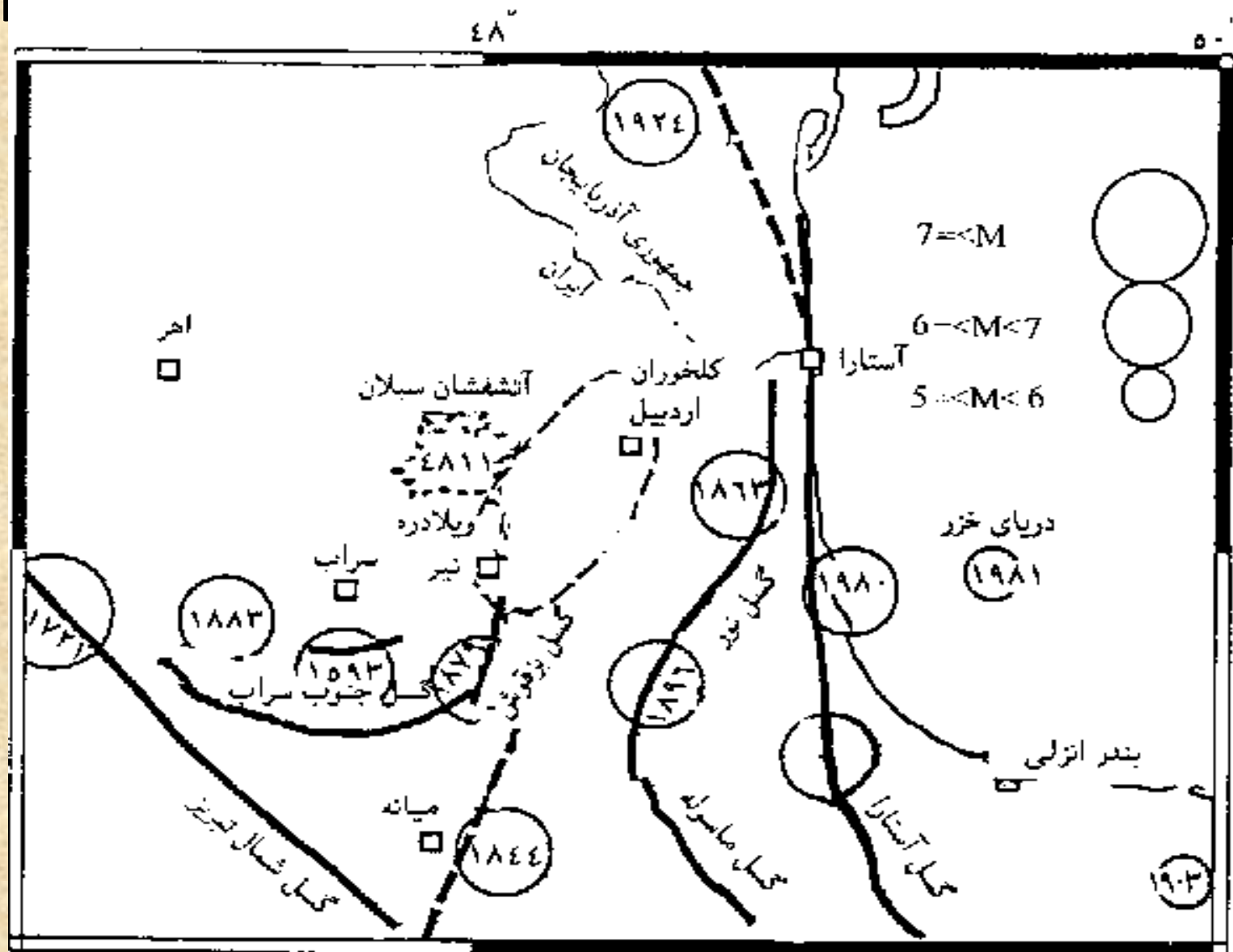
جمعیت استانی : ۳۷۲۴۶۲۰ نفر

تبریز: بیش از ۱,۵ میلیون نفر

از مراکز اقتصادی-سیاسی کشور

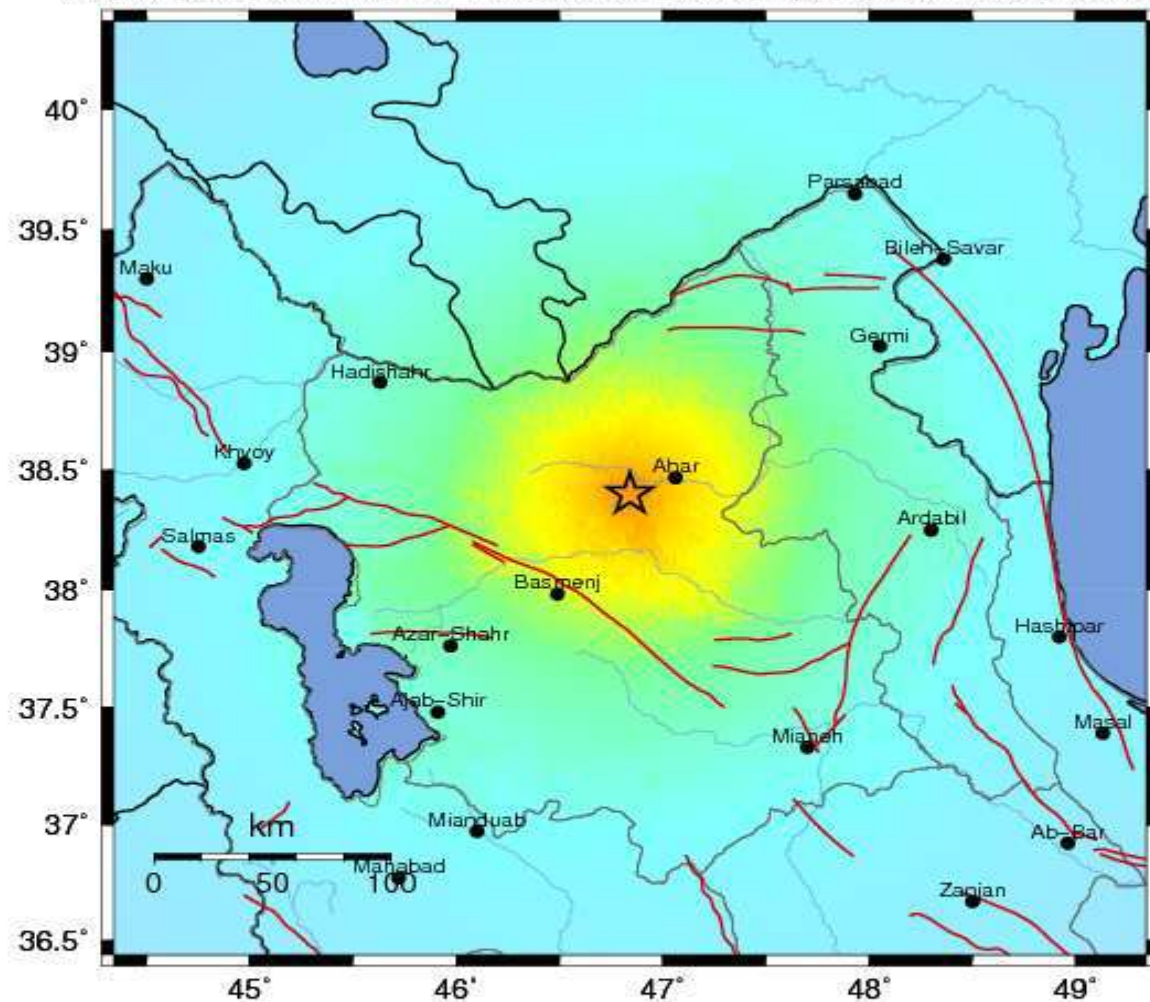
دارای قدیمی ترین مدیریت شهری

Ardebil Area



IIEES ShakeMap : Ahar

AUG 11 2012 12:23:17 AM GMT M 6.2 N38.40 E46.84 Depth: 10.0km ID:IR201208111223

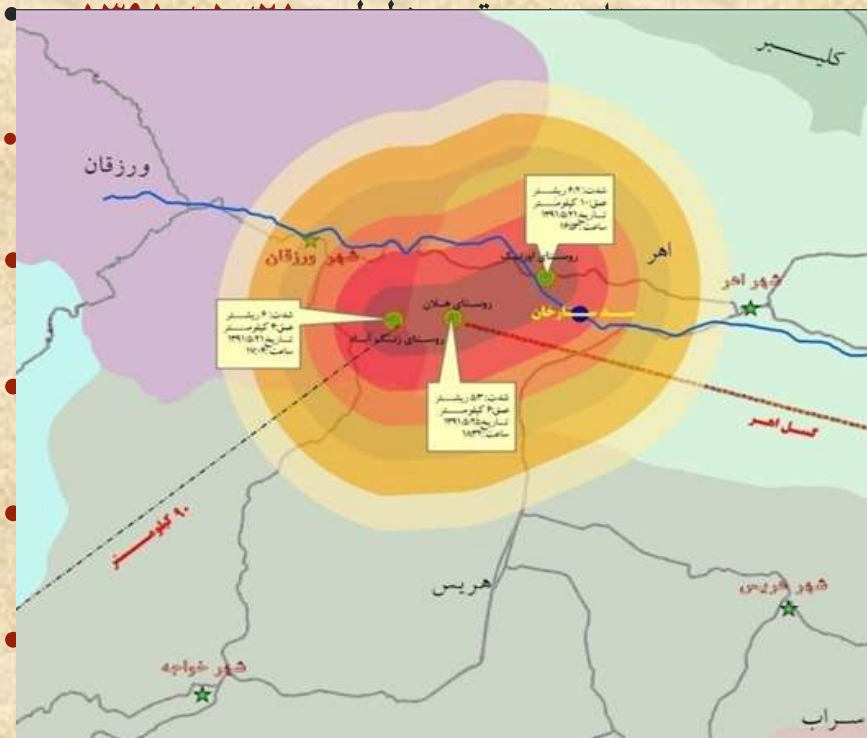


Map Version 1 Processed Tue Jun 28, 2011 08:32:20 AM MDST

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
PEAK ACC.(%g)	<0.17	0.17-1.4	1.4-4.0	4.0-9	9-17	17-32	32-61	61-114	>114
PEAK VEL.(cm/s)	<0.12	0.12-1.1	1.1-3.4	3.4-8	8-16	16-31	31-59	59-115	>115
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

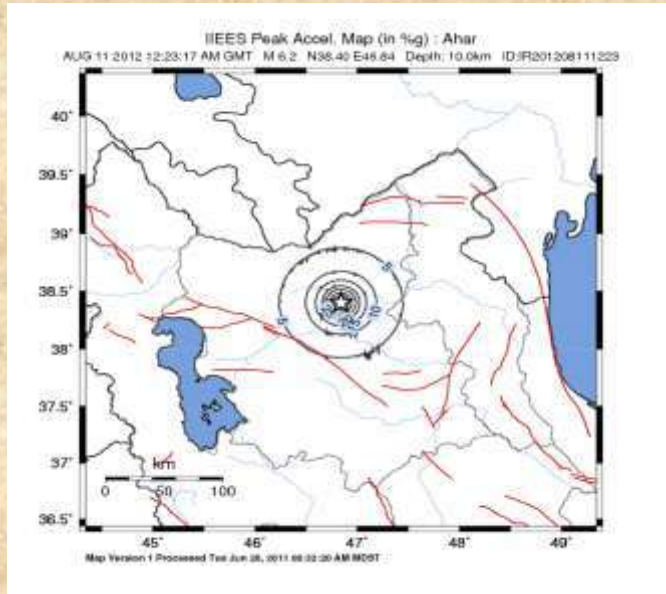
Scale based upon Wald, et al.; 1999

بررسی مدیریت بحران از اسکان اضطراری تا اسکان موقت در زلزله آذربایجان



- تلفات : ۳۰۶ کشته ، ۵۰۰۰ مجروح (اعلام وزارت بهداشت)

موقعیت شهرستانهای آسیب دیده در زمین لرزه



بروز خسارت و تخریب در ۳۶۰ روستا
در ۶ شهرستان استان آذربایجان شرقی

وضعیت ابنیه خسارت دیده در مناطق زلزله زده استان آذربایجان شرقی

شهرستان	واحدهای آسیب دیده تا ۳۰ درصد	واحدهای آسیب دیده ۳۱ تا ۶۰ درصد	واحدهای آسیب دیده ۶۱ تا ۱۰۰ درصد	تعداد کل
اهر	1,004	1,541	2,885	5,430
هریس	1,086	1,280	4,457	6,868
ورزقان	1,638	2,231	4,261	8,130
کلیبر	293	85	22	391
تبریز	1,268	607	723	2,598
جلفا	78	516	84	678
مجموع	5,367	6,260	12,432	24,095





















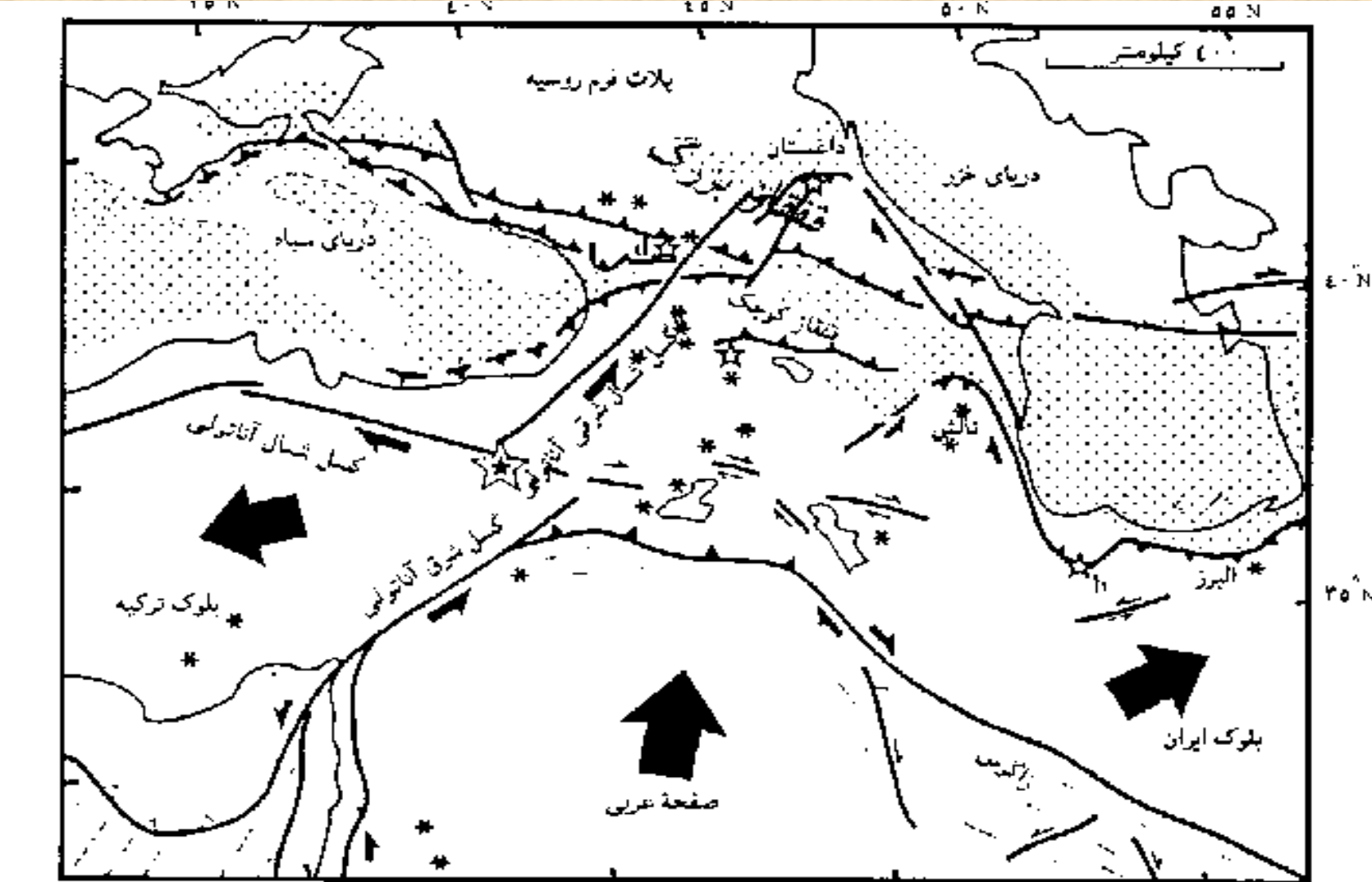




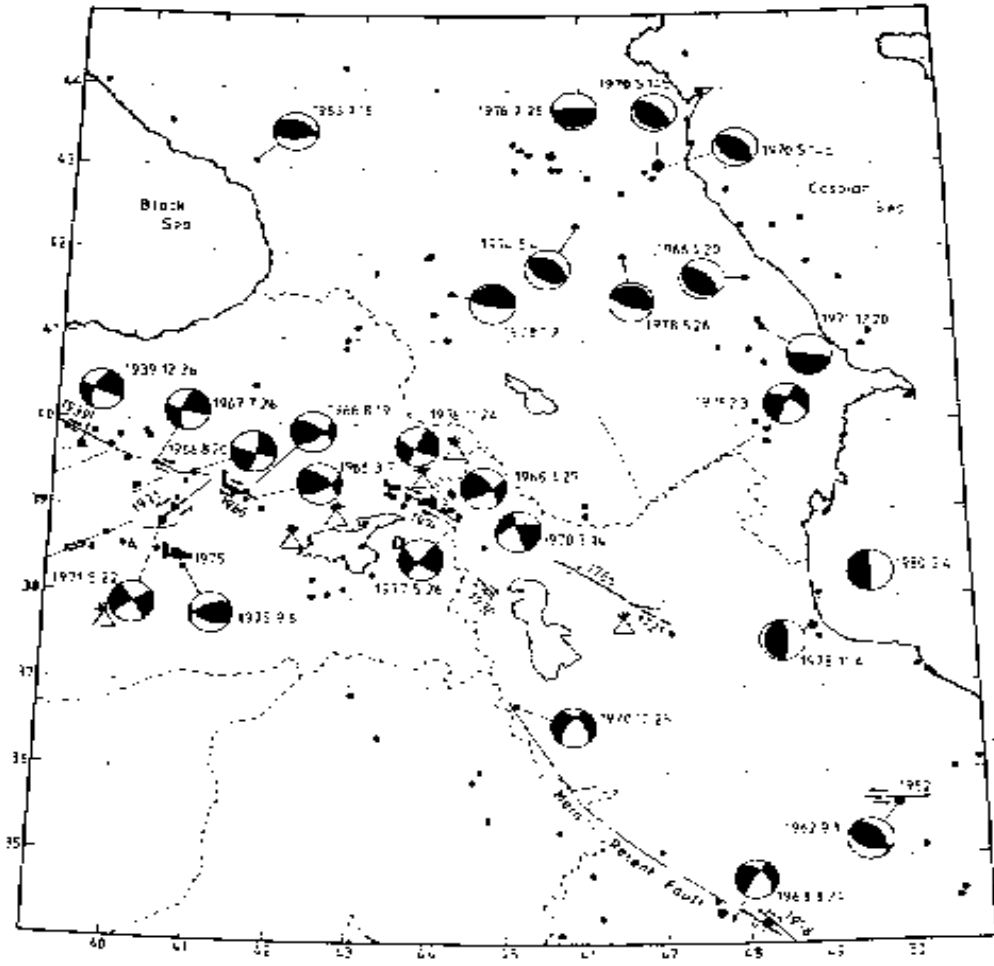
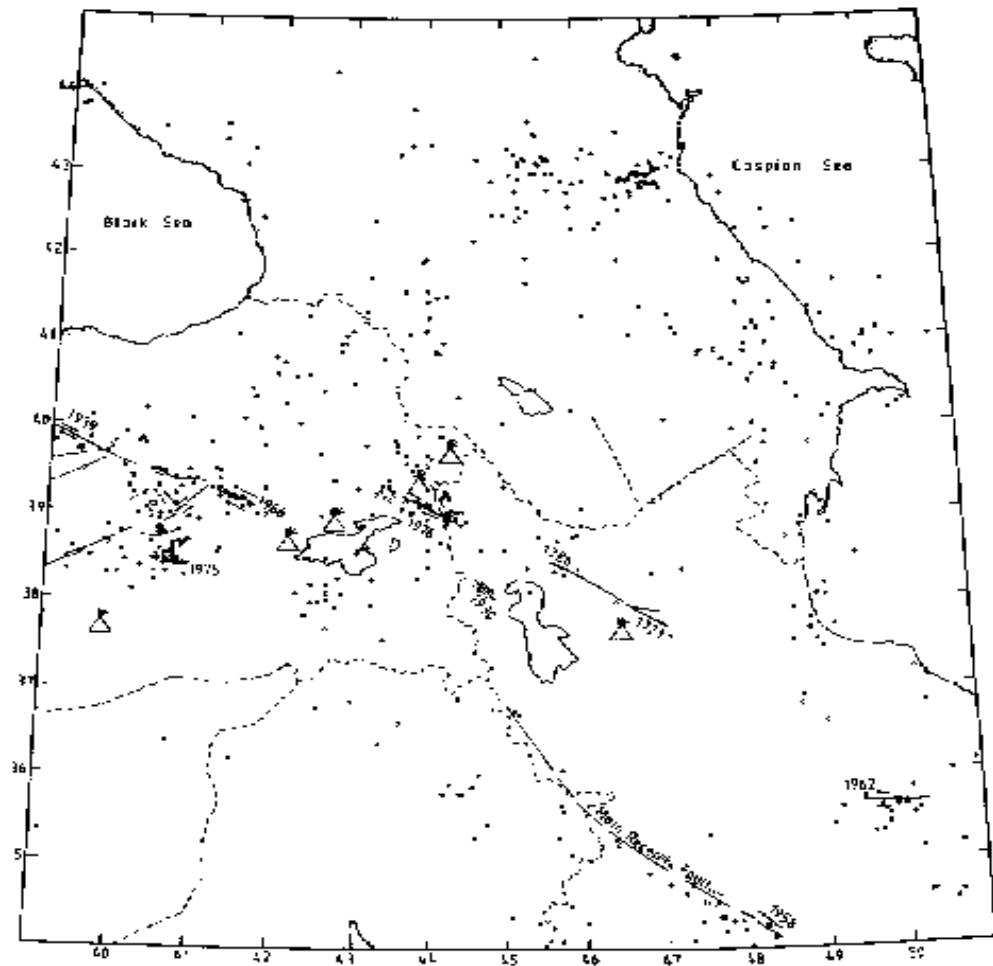


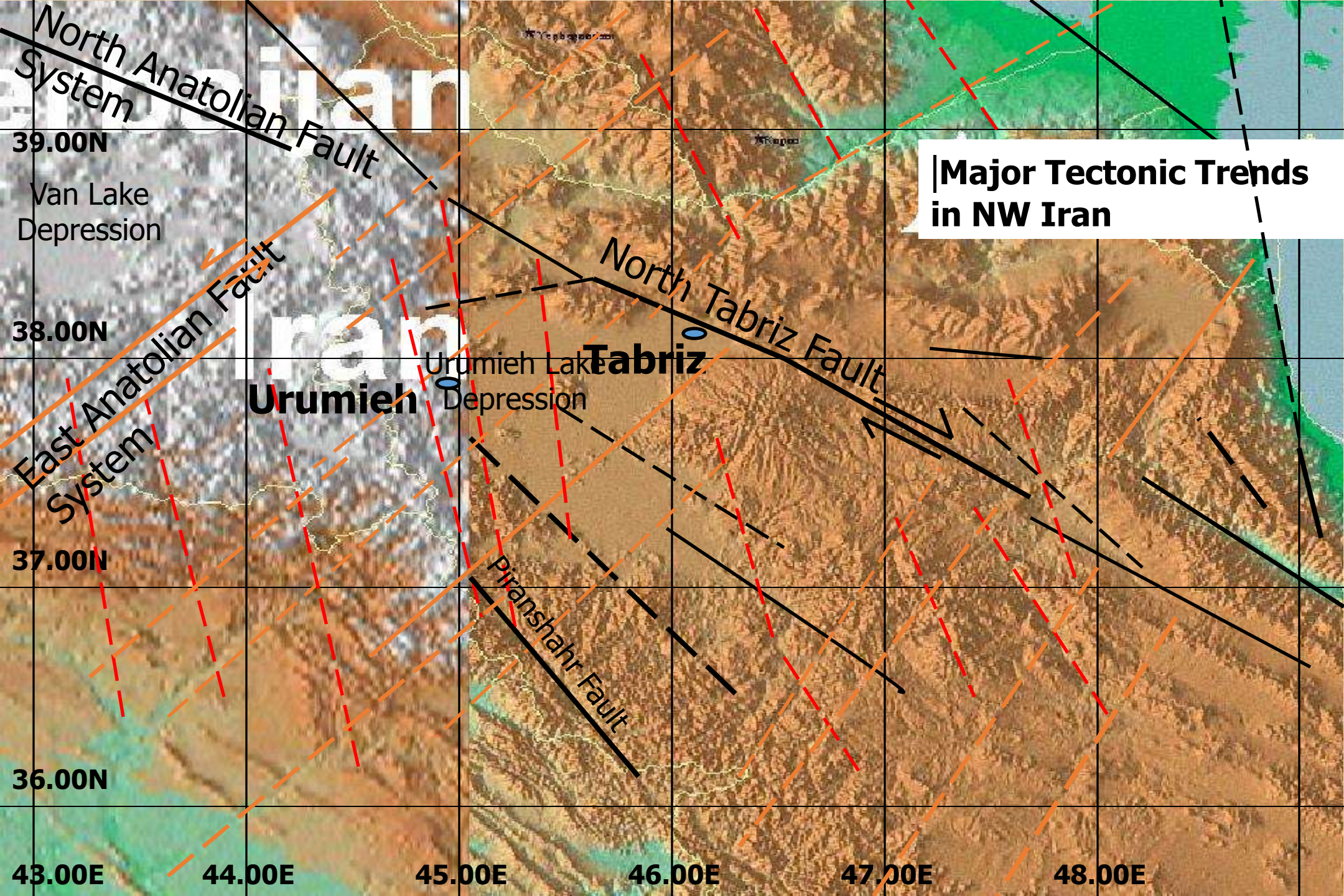


General tectonic feature of NW Iran - Eastern Turkey



Focal Mechanisms of NW Iran





**Major Tectonic Trends
in NW Iran**

North Anatolian Fault
System

East Anatolian Fault
System

North Tabriz Fault

Piranshahr Fault

39.00N
Van Lake
Depression

38.00N

37.00N

36.00N

43.00E

44.00E

45.00E

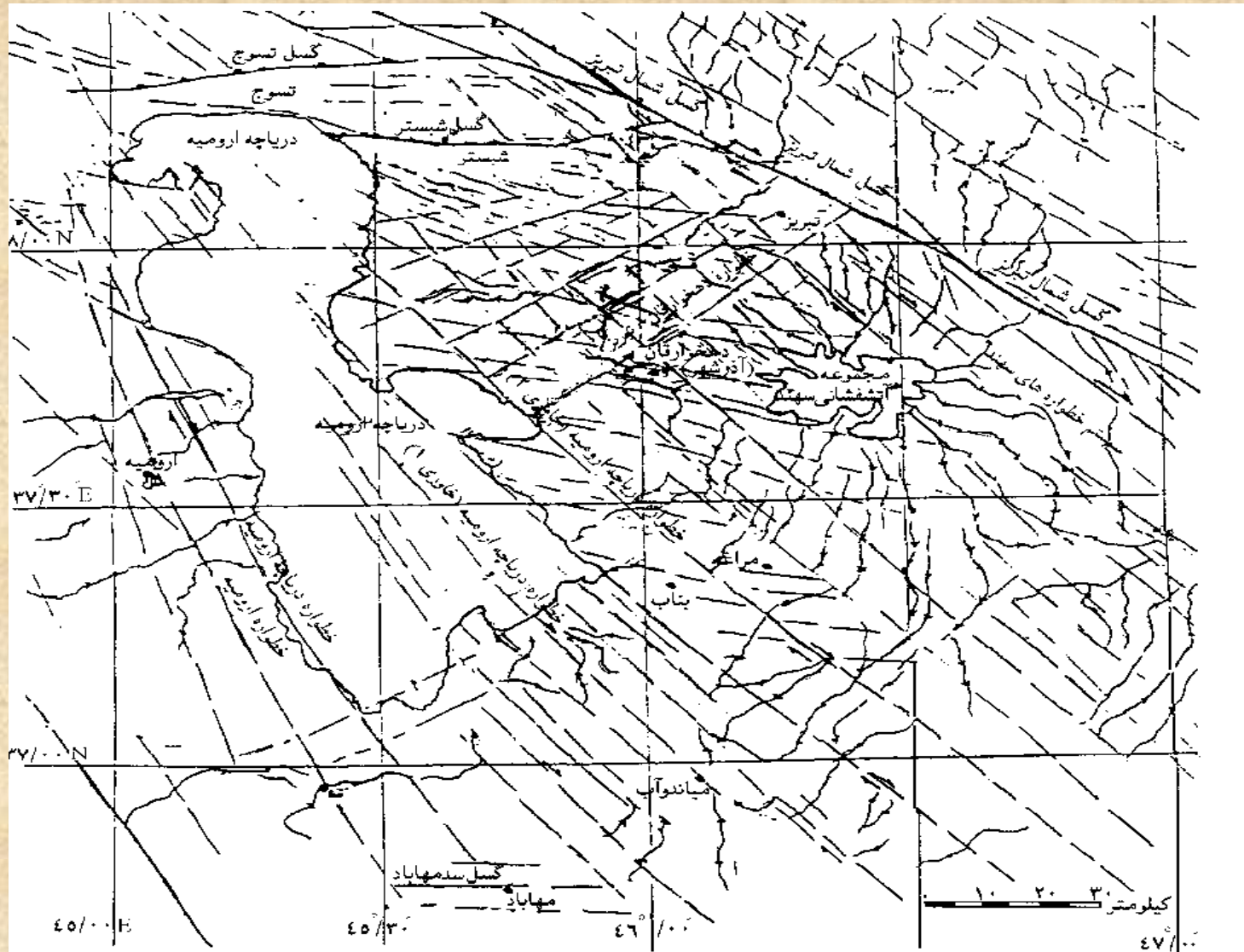
46.00E

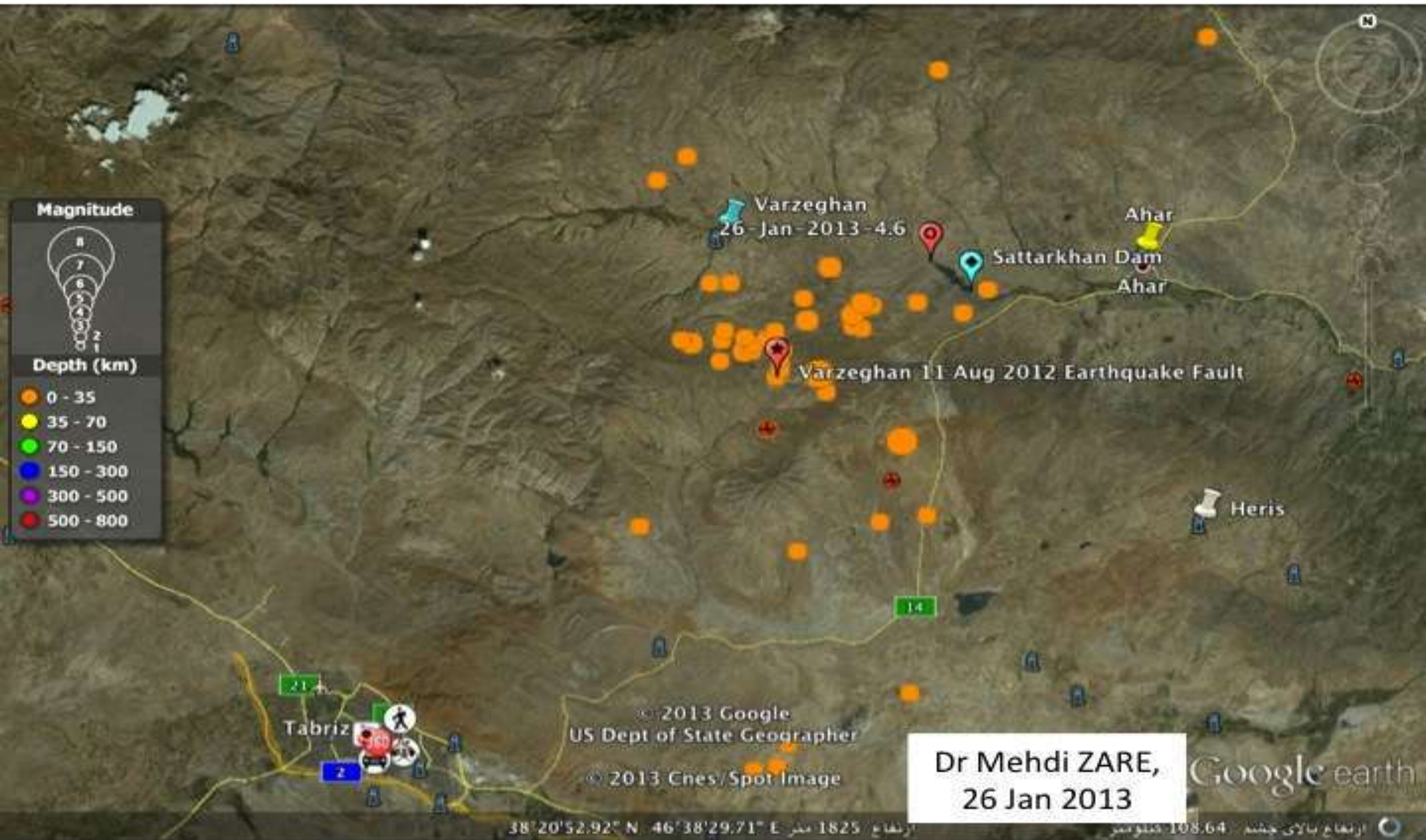
47.00E

48.00E

Urumieh
Depression
Urumieh Lake
Tabriz

Detailed fault map of Tabriz-Urumieh Lake region





Magnitude

8
7
6
5
4
3
2
1

Depth (km)

- 0 - 35
- 35 - 70
- 70 - 150
- 150 - 300
- 300 - 500
- 500 - 800

Varzeghan
26-Jan-2013-4.6

Sattarkhan Dam
Ahar

Varzeghan 11-Aug-2012 Earthquake Fault

Heris

Tabriz

Dr Mehdi ZARE,
26 Jan 2013

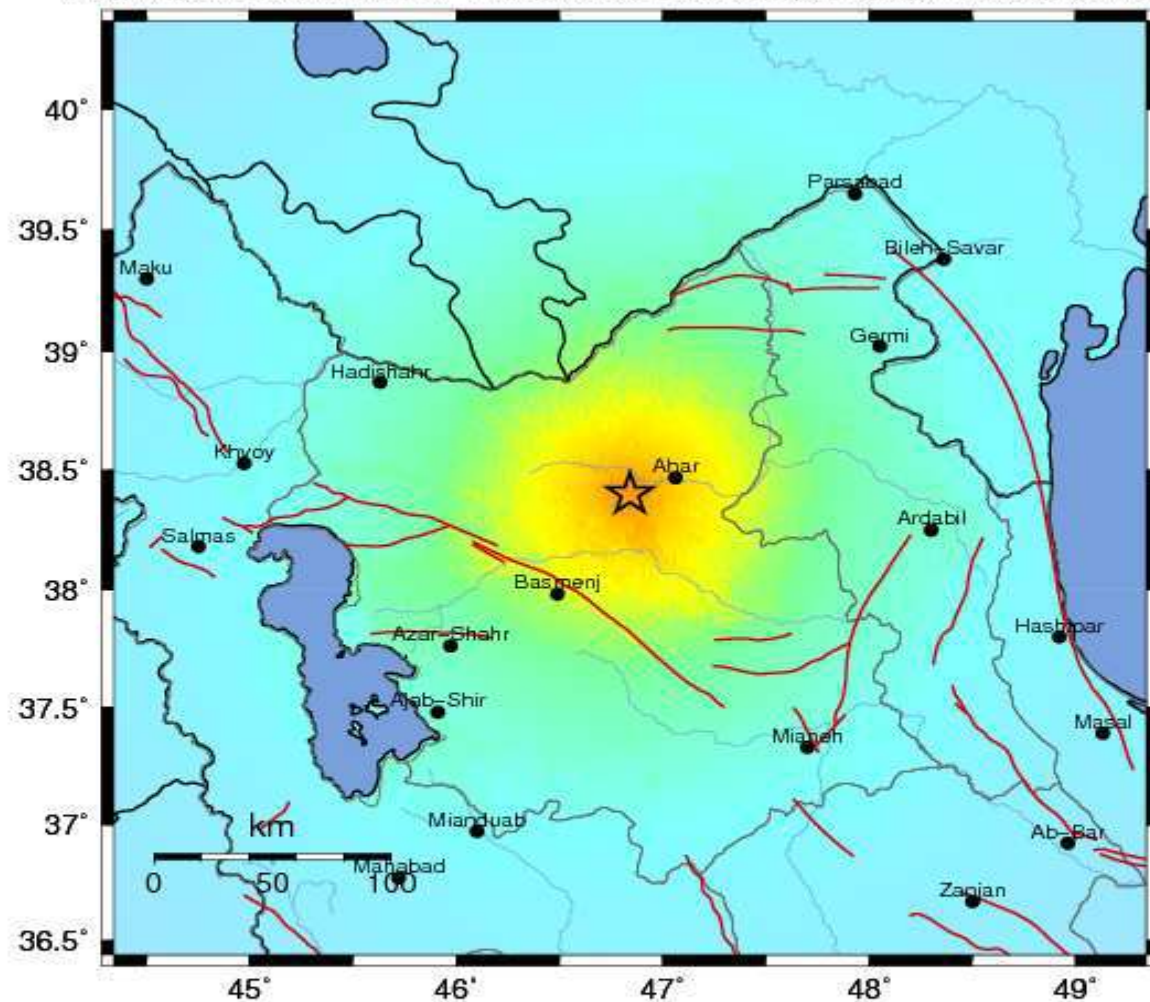
Google earth

38°20'52.92" N 46°38'29.71" E ارتفاع 1825 متر

ارتفاع بالای چشم 108.64 مئولومتر

IIEES ShakeMap : Ahar

AUG 11 2012 12:23:17 AM GMT M 6.2 N38.40 E46.84 Depth: 10.0km ID:IR201208111223



Map Version 1 Processed Tue Jun 28, 2011 08:32:20 AM MDST

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
PEAK ACC.(%g)	<0.17	0.17-1.4	1.4-4.0	4.0-9	9-17	17-32	32-61	61-114	>114
PEAK VEL.(cm/s)	<0.12	0.12-1.1	1.1-3.4	3.4-8	8-16	16-31	31-59	59-115	>115
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Wald, et al.; 1999

Mw 6.4 NORTHWESTERN IRAN
2012/08/11 12:23:18.1 UTC

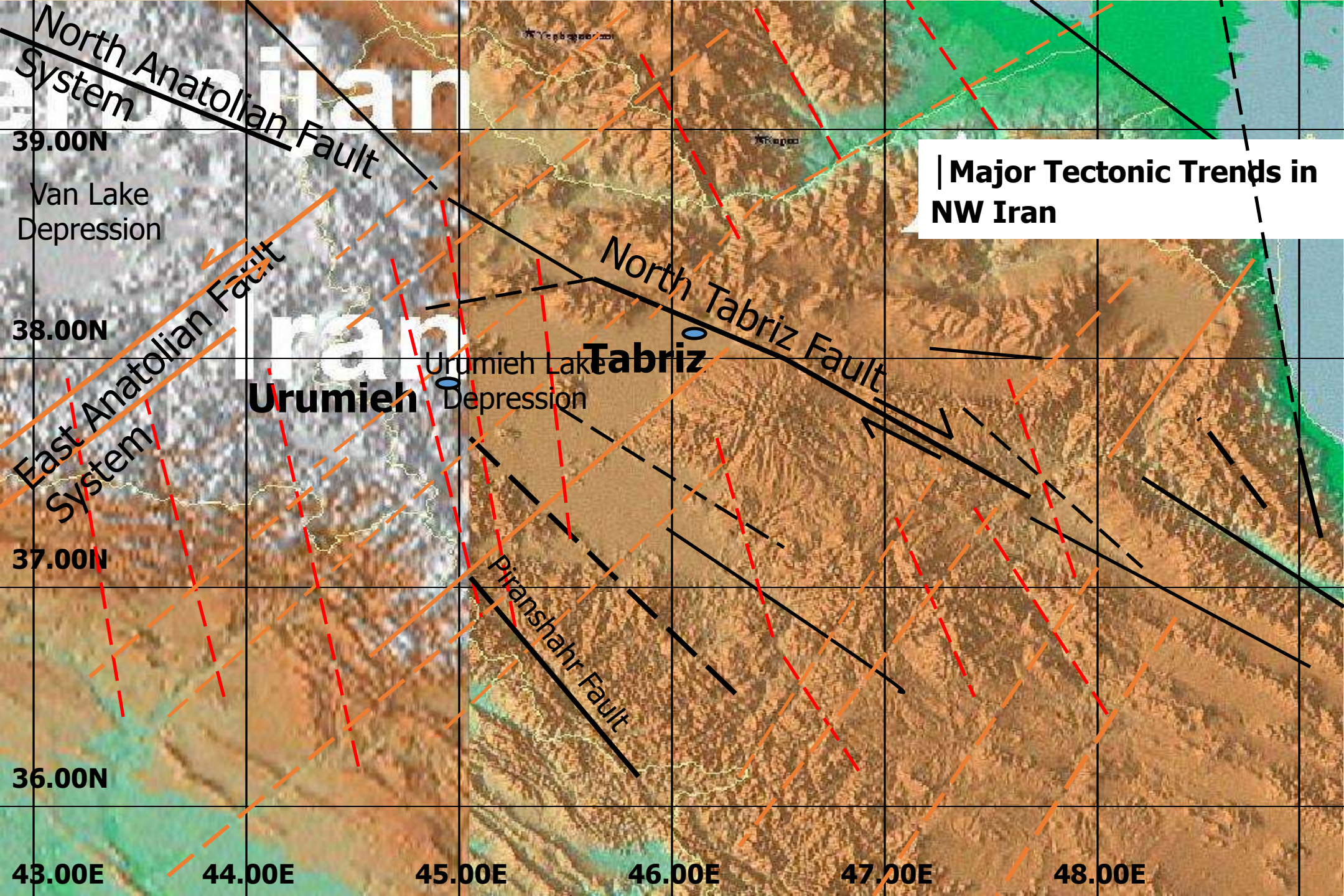


★ Epicentre

27 responses from 12 communities



EMS-98	Intensity	F	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Effects	Felt	Not felt	Scarcely felt	Weak	Largely observed	Strong	Slightly damaging	Damaging	Heavily damaging
Nb forms:		○ 1 form	○ ≤ 5 forms	○ ≤ 20 forms	○ > 30 forms					



Major Tectonic Trends in NW Iran

North Anatolian Fault System

East Anatolian Fault System

North Tabriz Fault

Piranshahr Fault

39.00N
Van Lake Depression

38.00N

37.00N

36.00N

43.00E

44.00E

45.00E

46.00E

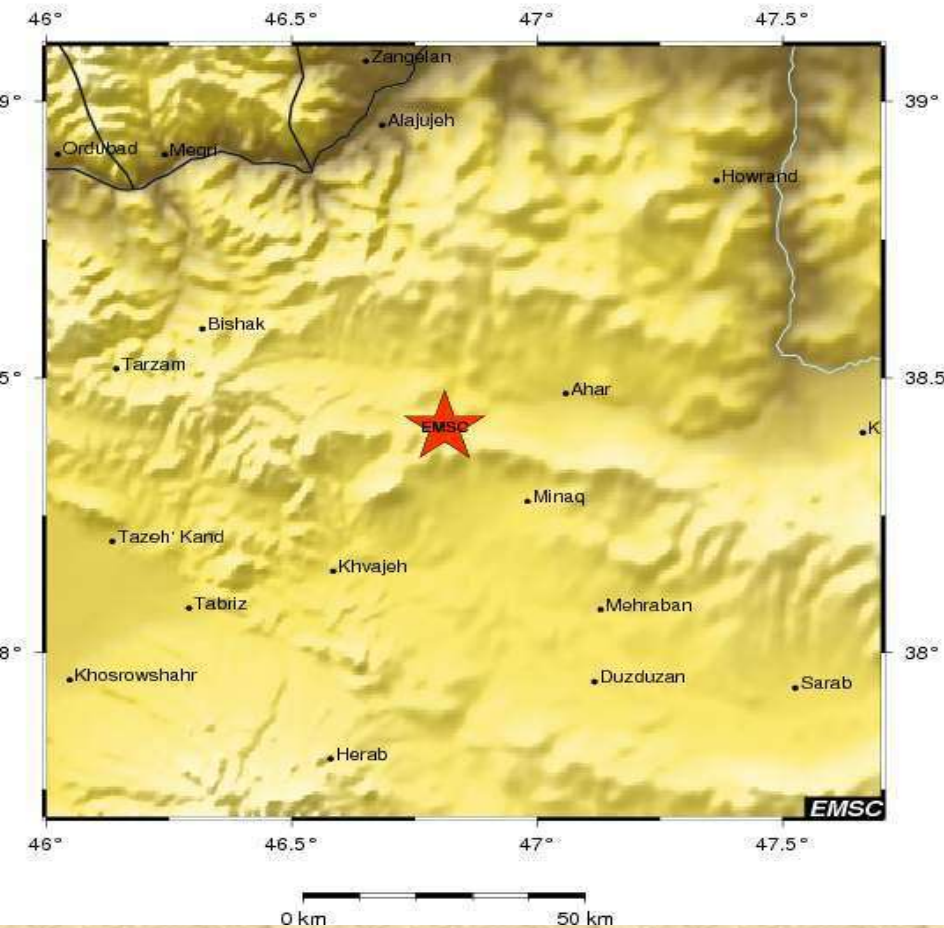
47.00E

48.00E

Urumieh Depression
Urumieh
Tabriz

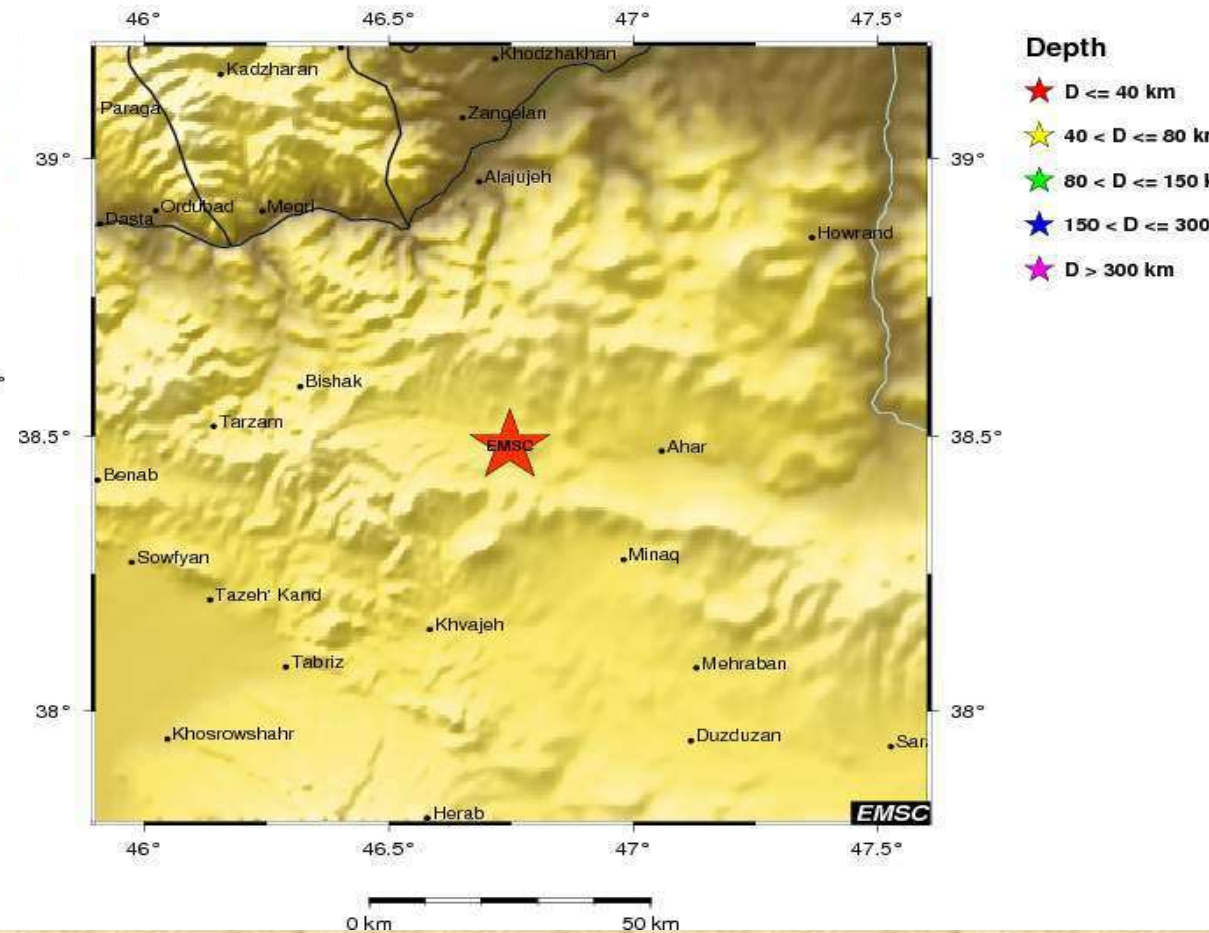
Mw 6.4 2012/08/11 - 12:23:18 GMT Lat 38.41 Lon 46.81 Depth 10.0 km

58 km NE Tabriz (pop 1,424,641 ; local time 15:53:18.1 2012-08-11)
23 km W Ahar (pop 94,348 ; local time 15:53:18.1 2012-08-11)

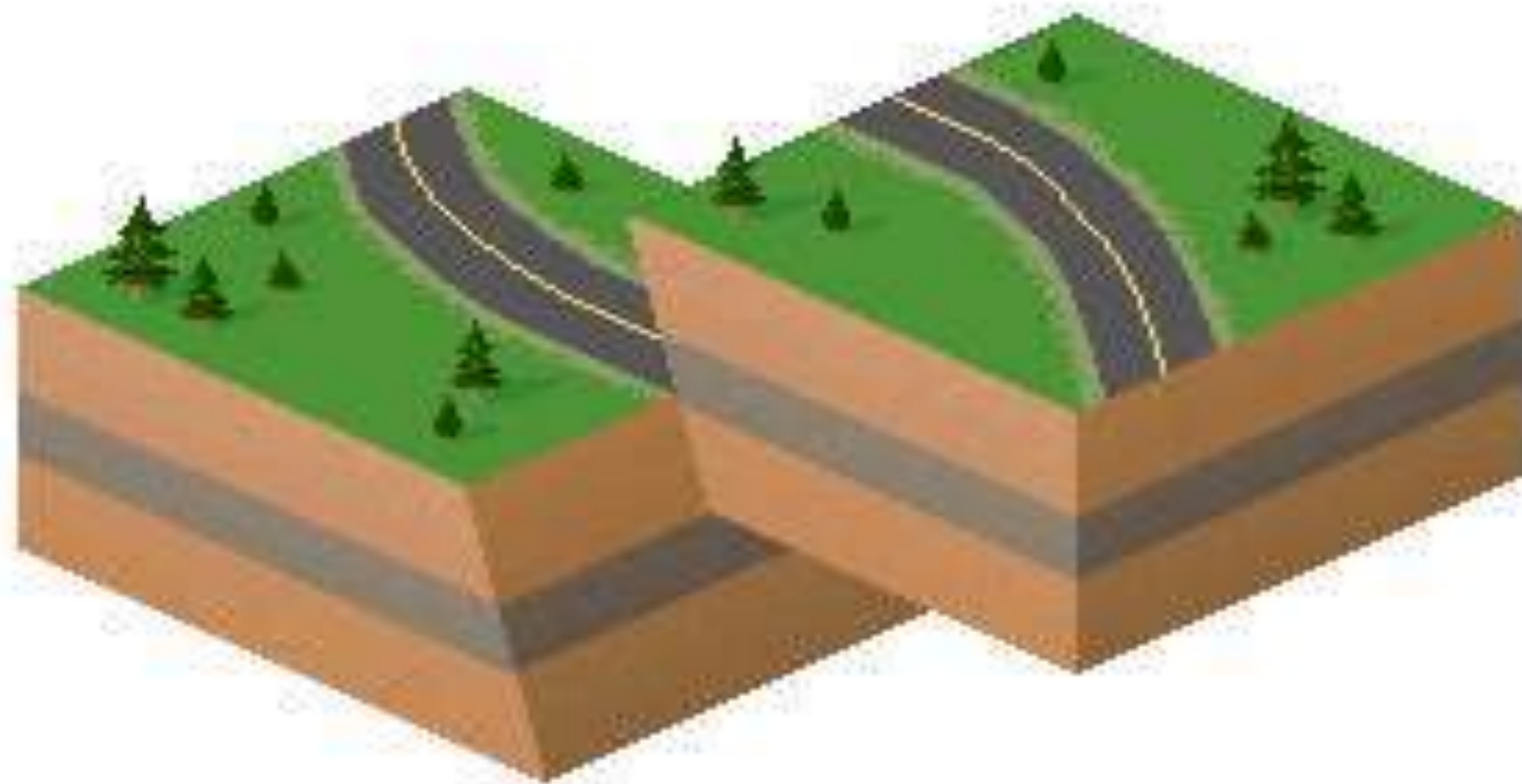


Mw 6.3 2012/08/11 - 12:34:36 GMT Lat 38.48 Lon 46.75 Depth 10.0 km

59 km NE Tabriz (pop 1,424,641 ; local time 16:04:36.1 2012-08-11)
27 km W Ahar (pop 94,348 ; local time 16:04:36.1 2012-08-11)

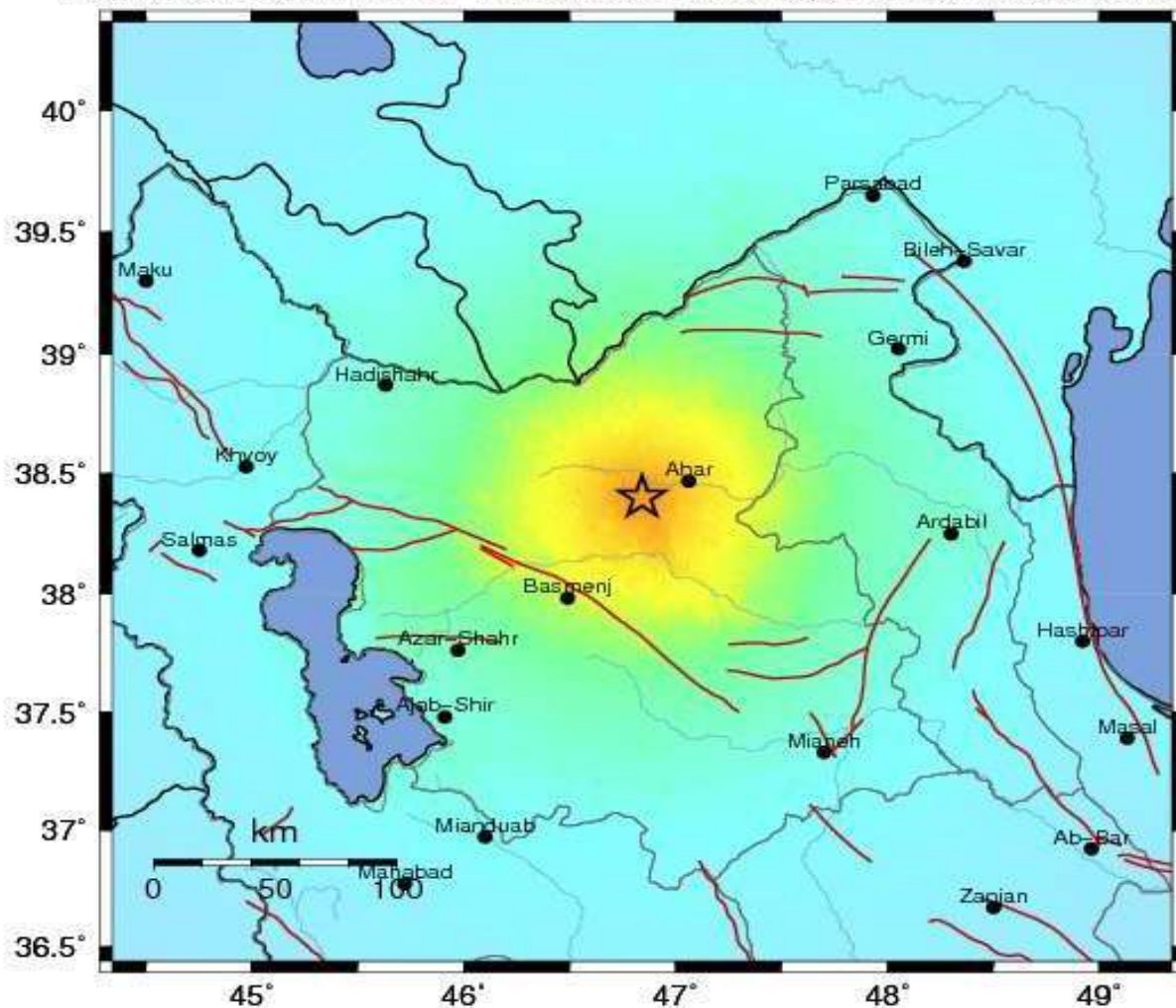


گسل مایل



IIEES ShakeMap : Ahar

AUG 11 2012 12:23:17 AM GMT M 6.2 N38.40 E46.84 Depth: 10.0km ID:IR201208111223

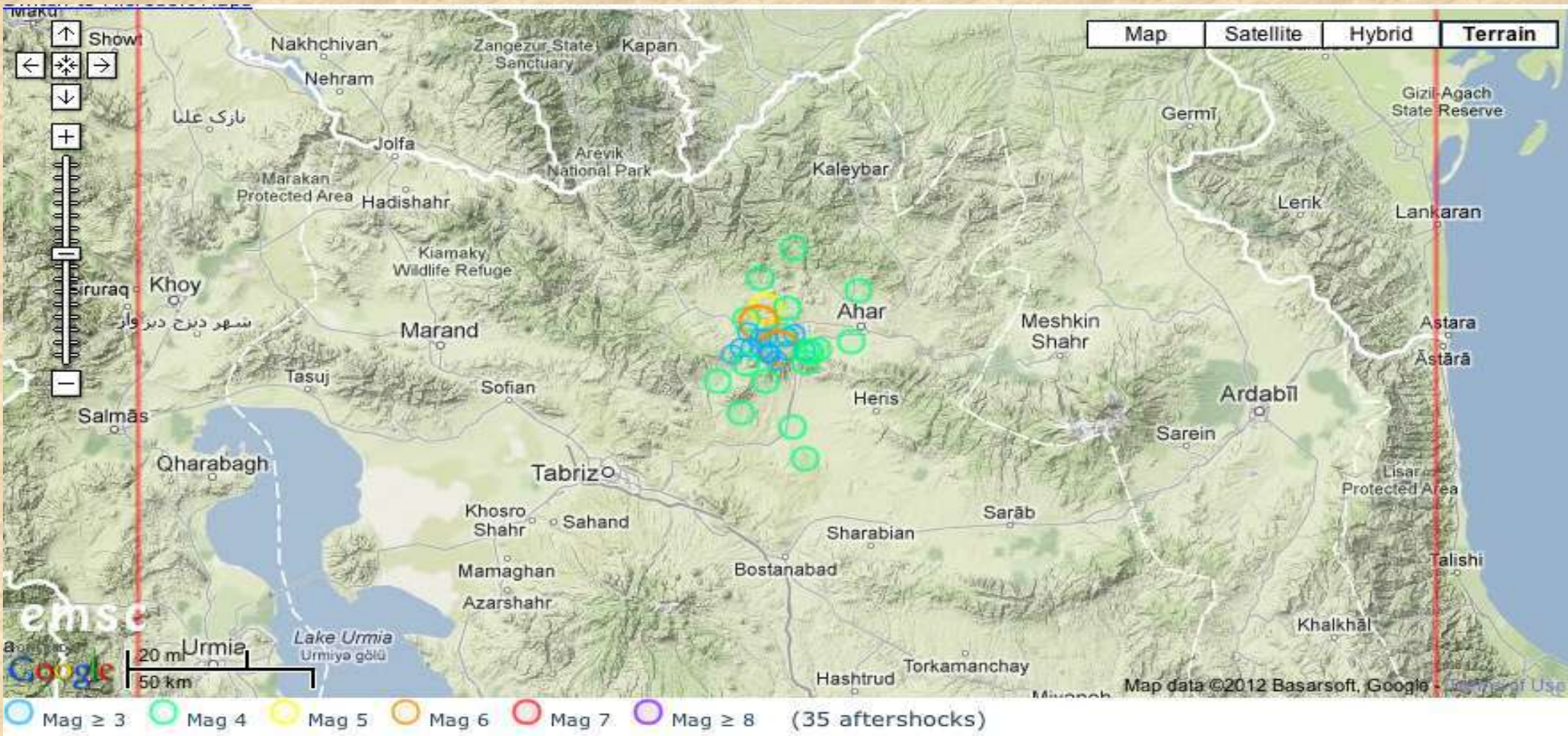


Map Version 1 Processed Tue Jun 28, 2011 08:32:20 AM MDST

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
PEAK ACC.(%g)	<0.17	0.17-1.4	1.4-4.0	4.0-9	9-17	17-32	32-61	61-114	>114
PEAK VEL.(cm/s)	<0.12	0.12-1.1	1.1-3.4	3.4-8	8-16	16-31	31-59	59-115	>115
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-X+

Scale based upon Wald, et al., 1999

پس لرزه ها





Varzeghan

Ahar

Sattarkhan Dam

Ahar

Varzeghan 11 Aug 2022 Earthquake Fault

South Ahar Fault

Varzeghan 11 Aug 2022
Earthquake Fault

Heris

© 2012 Cnes/Spot Image
© 2012 Google

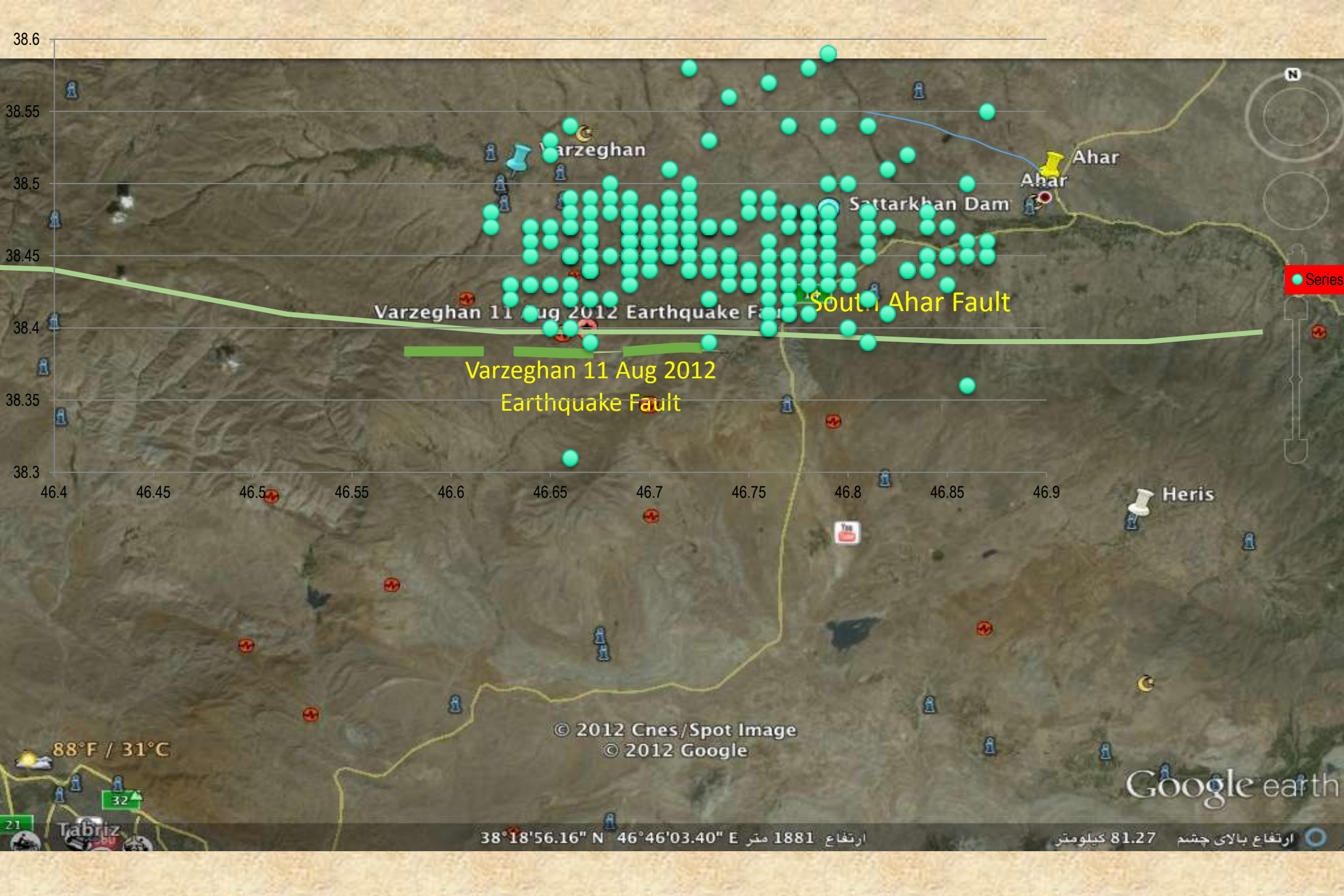
88°F / 31°C

Google earth

38°18'56.16" N 46°46'03.40" E ارتفاع 1881 متر

ارتفاع بالای چشم 81.27 کیلومتر

21
32
Tabriz





Varzeghan

Ahar

14

Varzeghan 11 Aug 2021 Earthquake Fault

© 2012 Google

© 2012 Cnes/Spot Image

Google earth
Heris

ارتفاع 1678 متر 38°25'37.81" N 46°50'54.36" E

ارتفاع بالای چشم 55.74 کیلومتر

تبریز



روستای خواجه











North Tabriz Fault system



Tabriz: The city of Historical Earthquakes



Tabriz



North Tabriz Fault



North Tabriz Fault



North Tabriz Fault: Baghmisheh



North Tabriz Fault



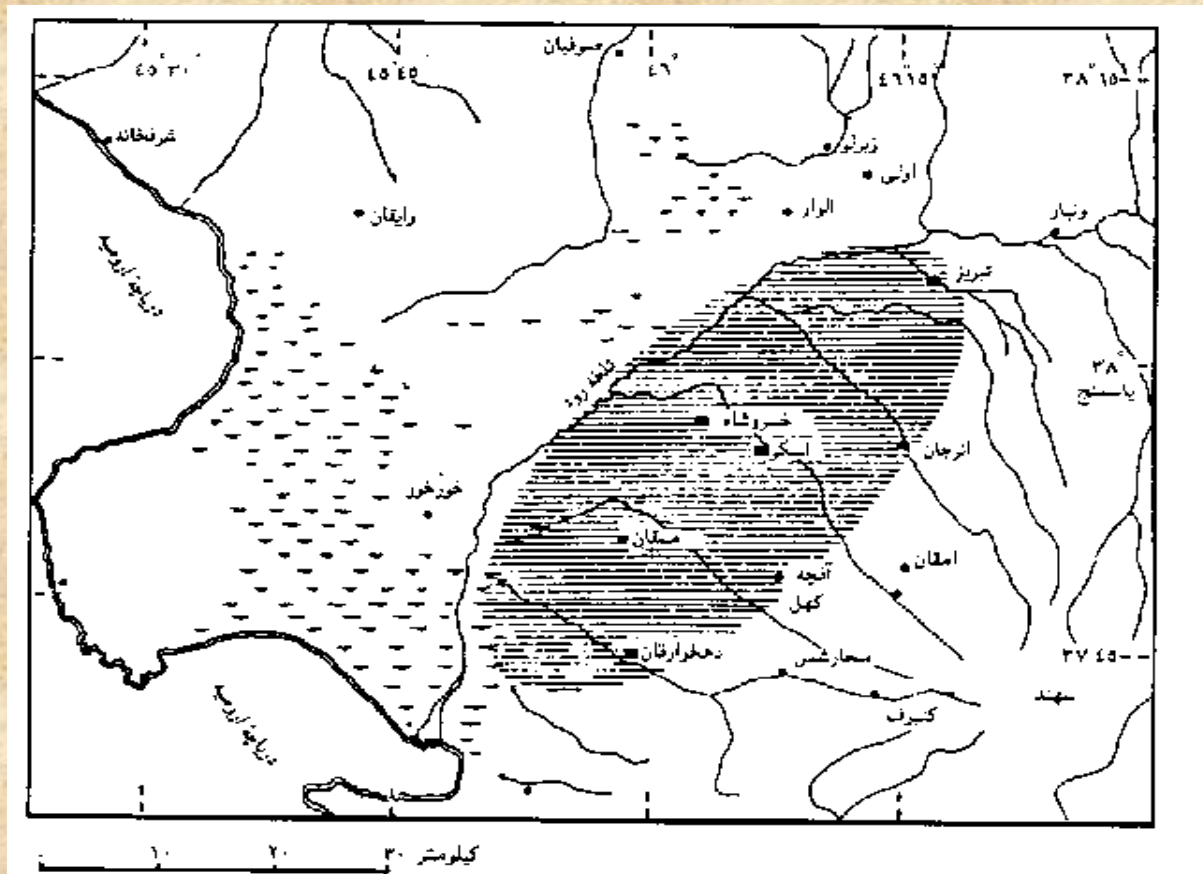
North Tabriz Fault: Slope instability



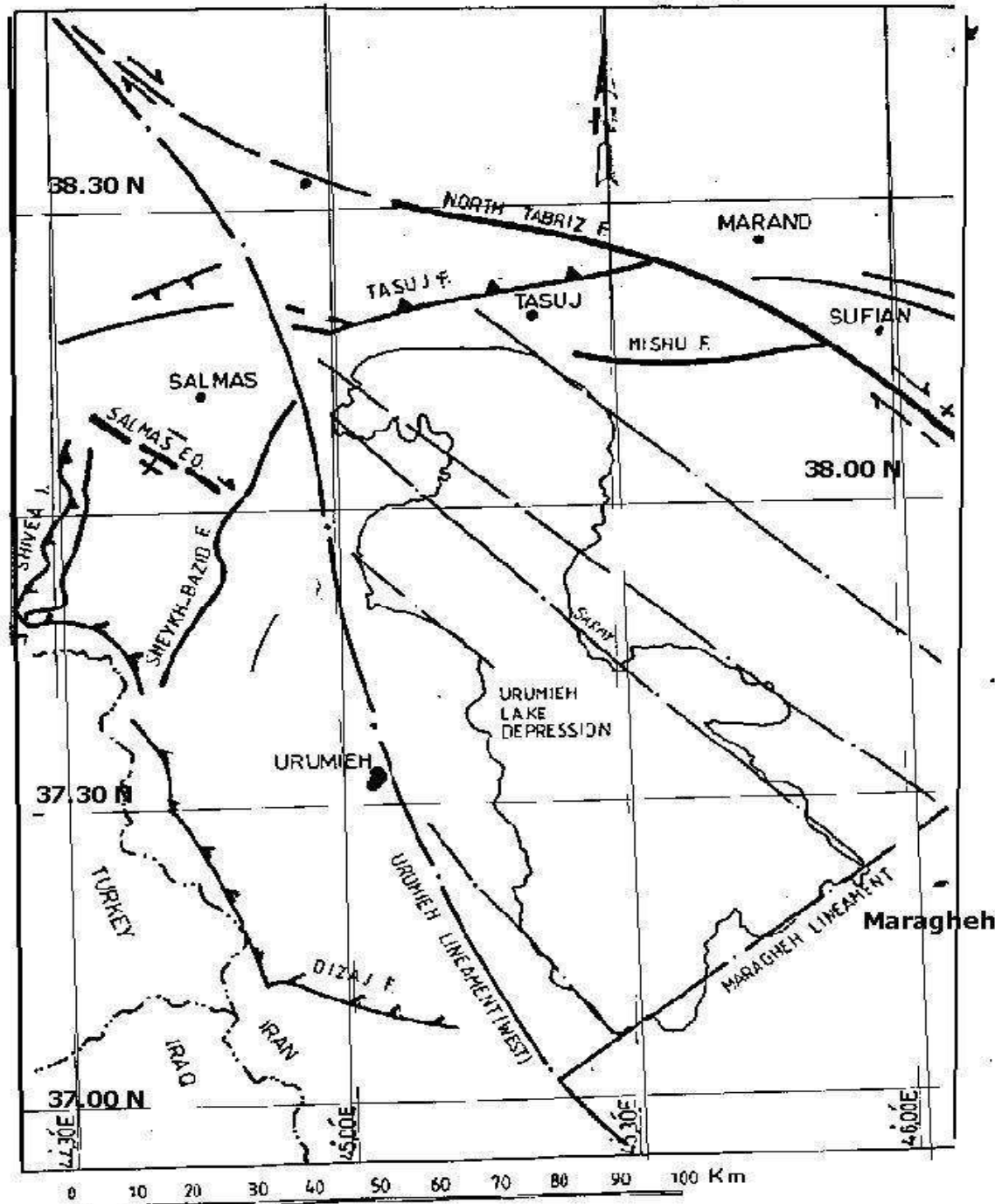
North Tabriz Fault: Slope instability (*marly deposits; tectonic*)



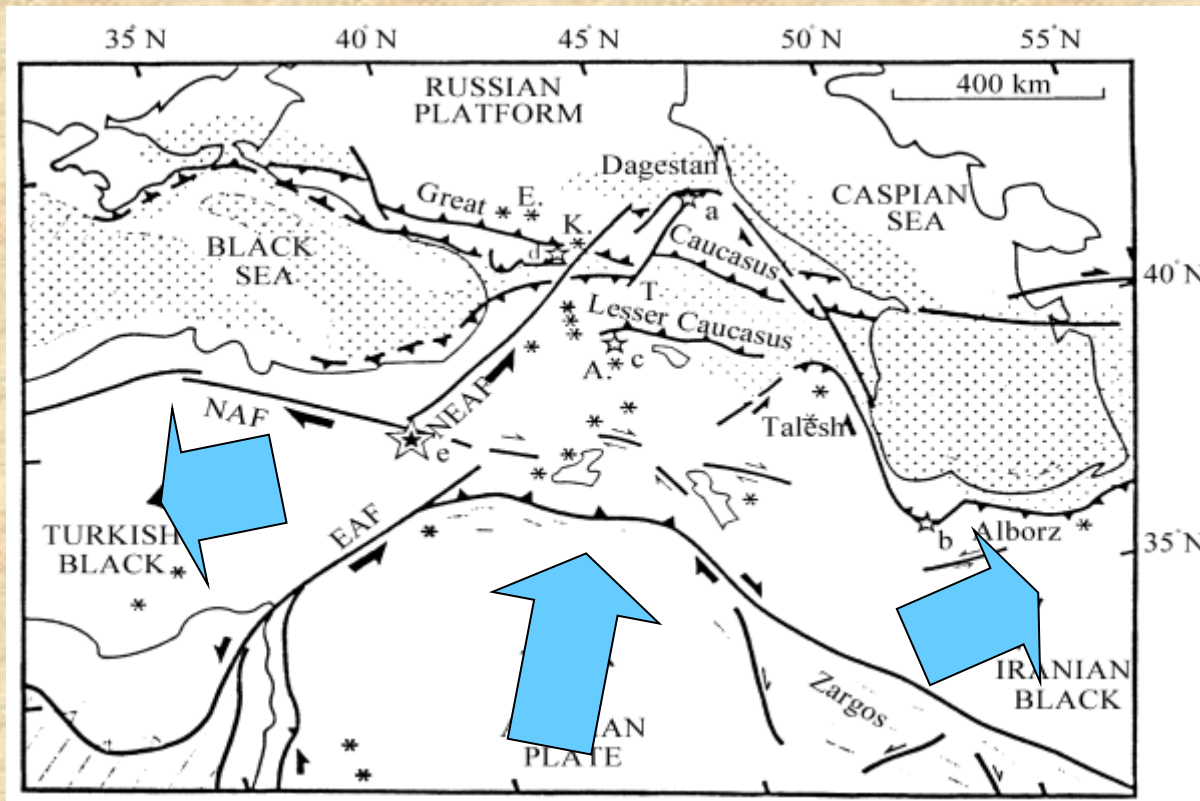
Secondary Fault systems: Dehkharghan-Tabriz fault, 1641 Earthquake in Dehkharghan



شکل (۴): پهنه رومرکز مهلززه ای زلزله سال ۱۶۴۱ دهخوارقان-تبریز [۳]



ایران بخشی از ناحیه دگرریختی همگرا که حاصل دگرریختی پوسته قاره ای در اثر باز شدگی دریای سرخ و حرکت رو به شمال ورقه عربستان و برخورد با صفحه اوراسیا است.



قرارگیری ایران در پهنه فشاری و جنبائی این سرزمین باعث شده تا زمین لرزه های متعددی در این پهنه روی دهد.















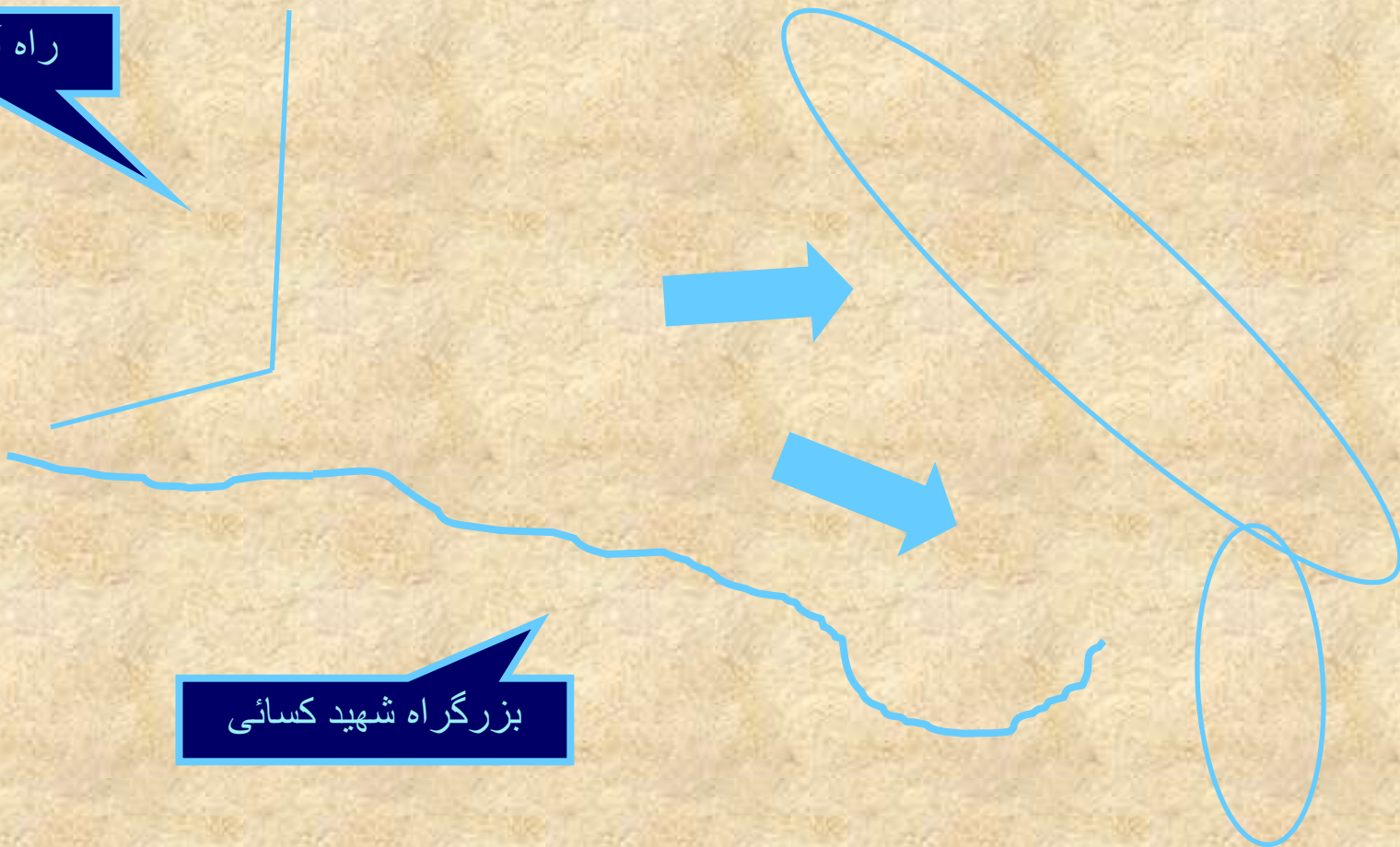




فرودگاه تبریز

راه آهن تبریز

بزرگراه شهید کسائی





ناصریه

شهرک رشديه

کوی ولیعصر

شهرک باغمیشه











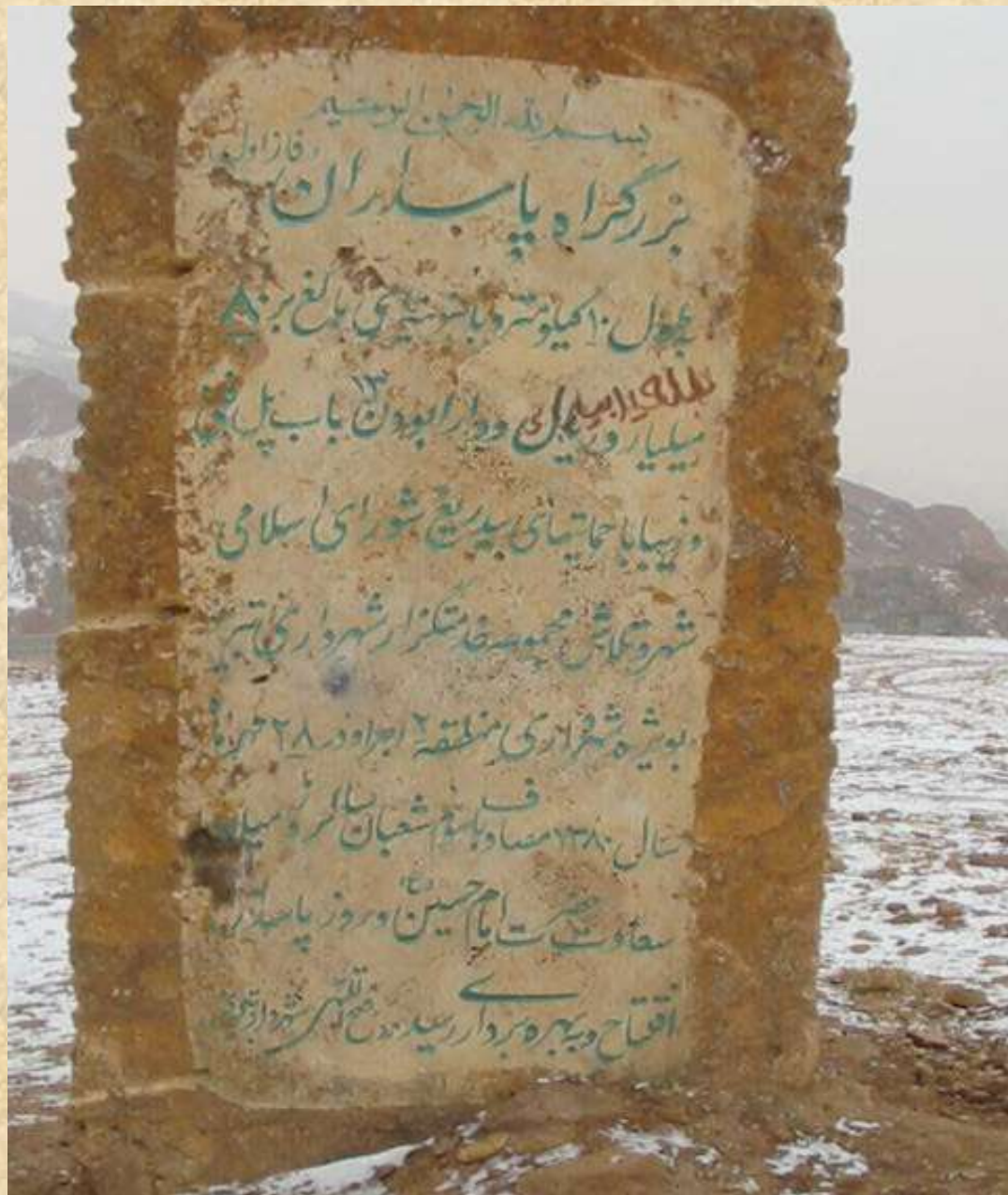








20/2/2013 14:27



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
فاز اول
بزرگراه پاسداران
طول ۱۰ کیلومتر و با وسعتی ۵۰۰۰ متر مربع
بسیار وسیع و زیاده از این باب
و بسیار با احتیاطی بدین شوری اسلامی
شهر و کماش محمدها متکثر از شهرداری تبریز
به تیره شهرداری منطقه ۲ اجراء در ۲۸ شهریور
سال ۱۳۸۰ مصاد با نام شعبان سالگرد میلاد
عزت حضرت امام حسین و روز پاسدار
افتتاح و بهره بردار رسیدن شهر تبریز

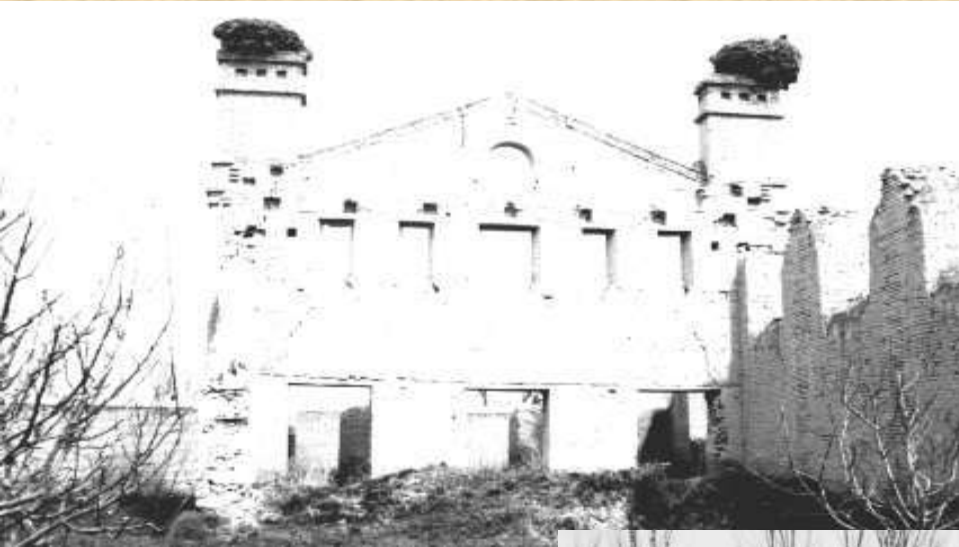


Salmas

Salmas Earthquake Fault Trace

8 8:35

Salmas Earthquake of 1930, $M_s=7.0$



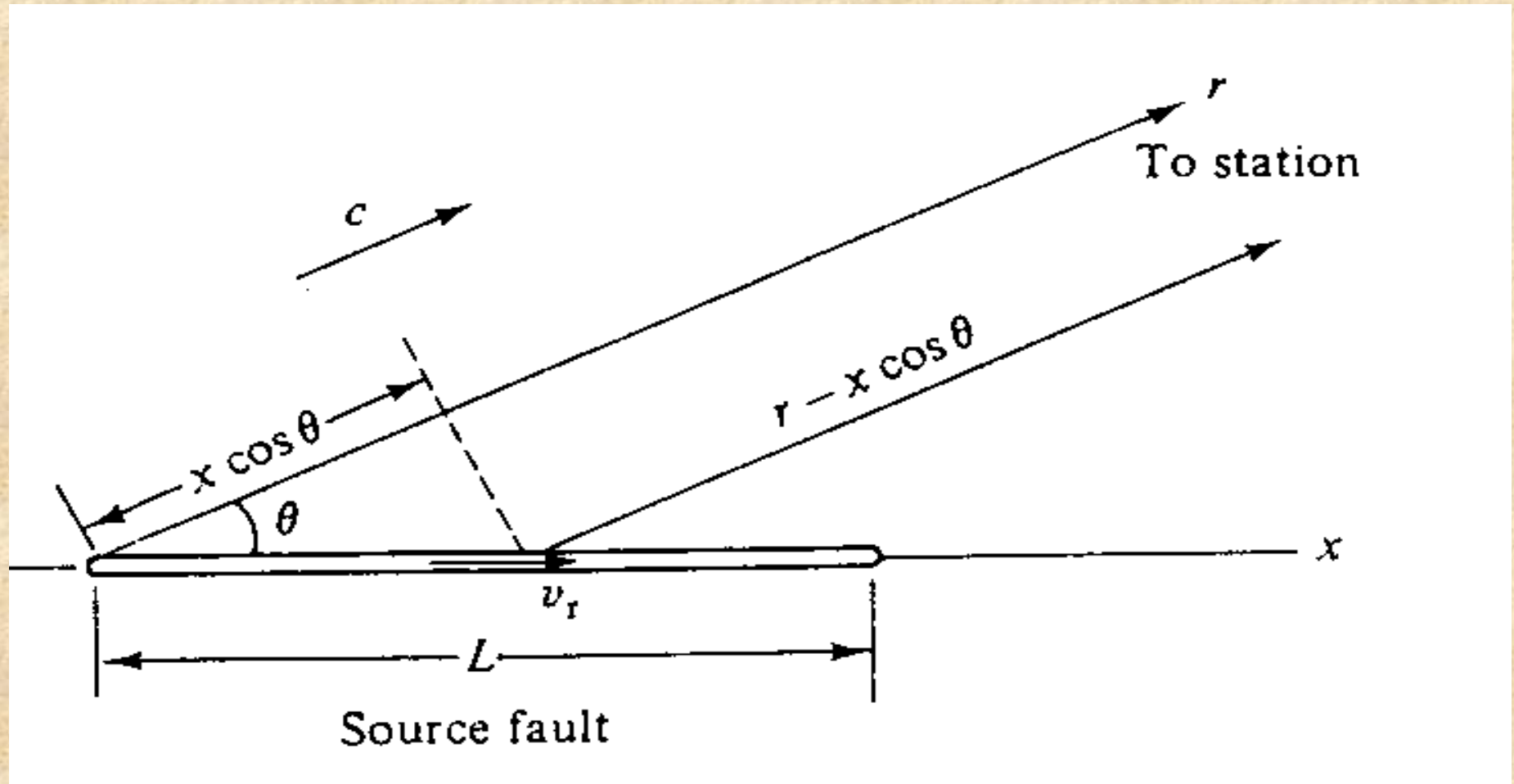
Salmas Earthquake fault



Salmas Earthquake fault

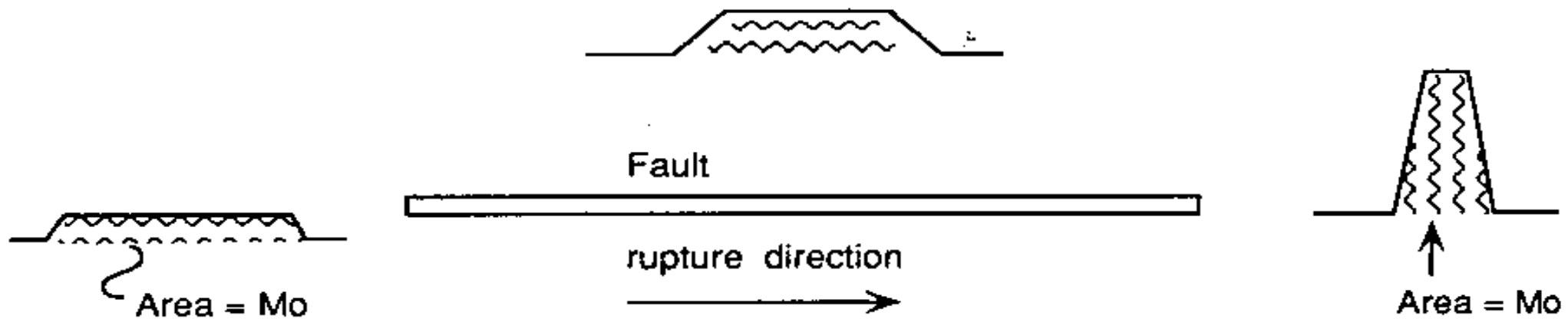


وابستگی سمتی : Directivity : جهت پذیری (آزیموتی) به گسترش گسلش

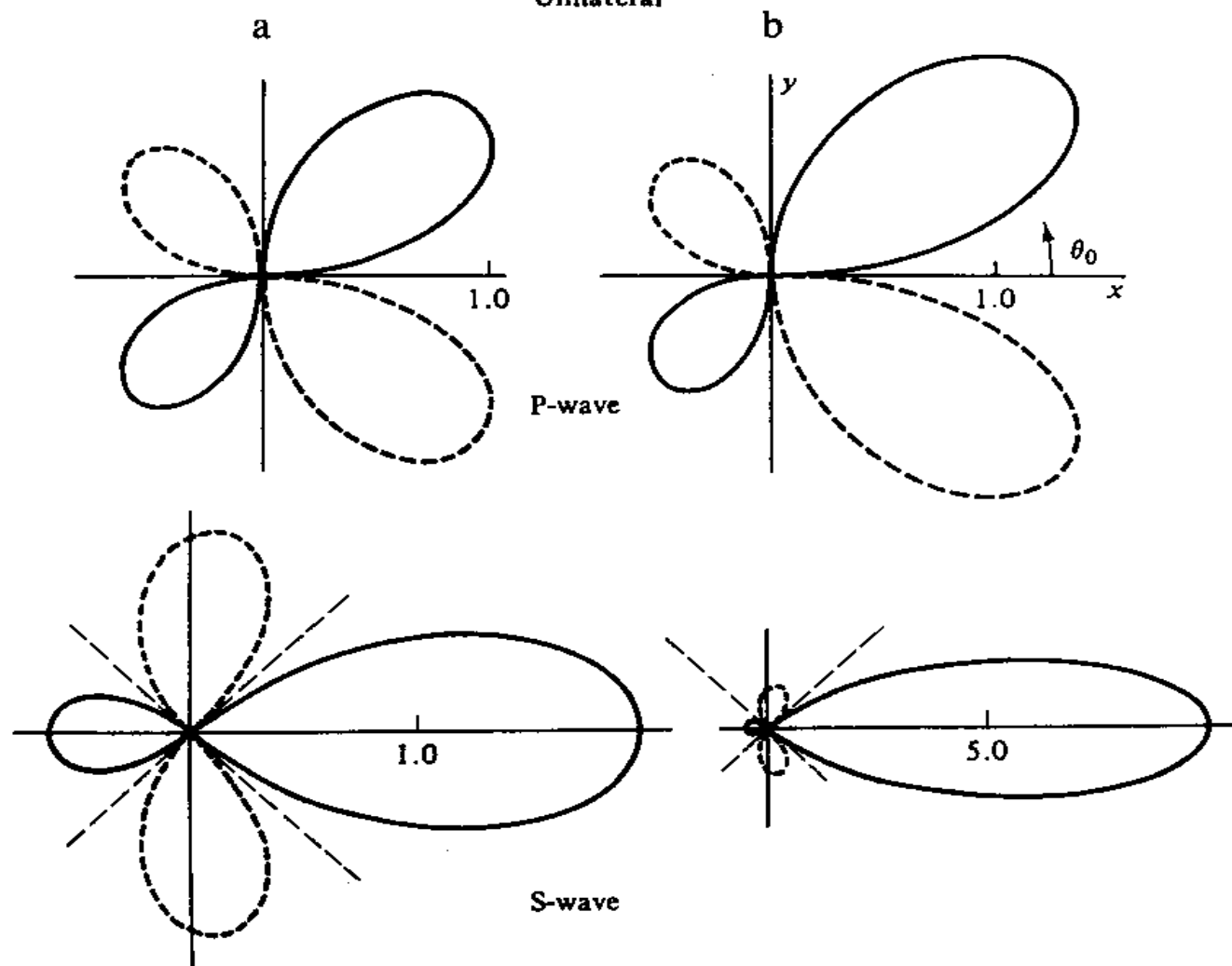


جهت پذيري:

اگر ایستگاه لرزه نگاری در مکانی باشد که گسیختگی به سمت آن می آید، شکل دوزنقه تابع زمانی چشمه باریک و دامنه آن بلند است و اگر گسیختگی از محل ایستگاه گسیل شود، شکل دوزنقه پهن و دامنه آن کوتاه است



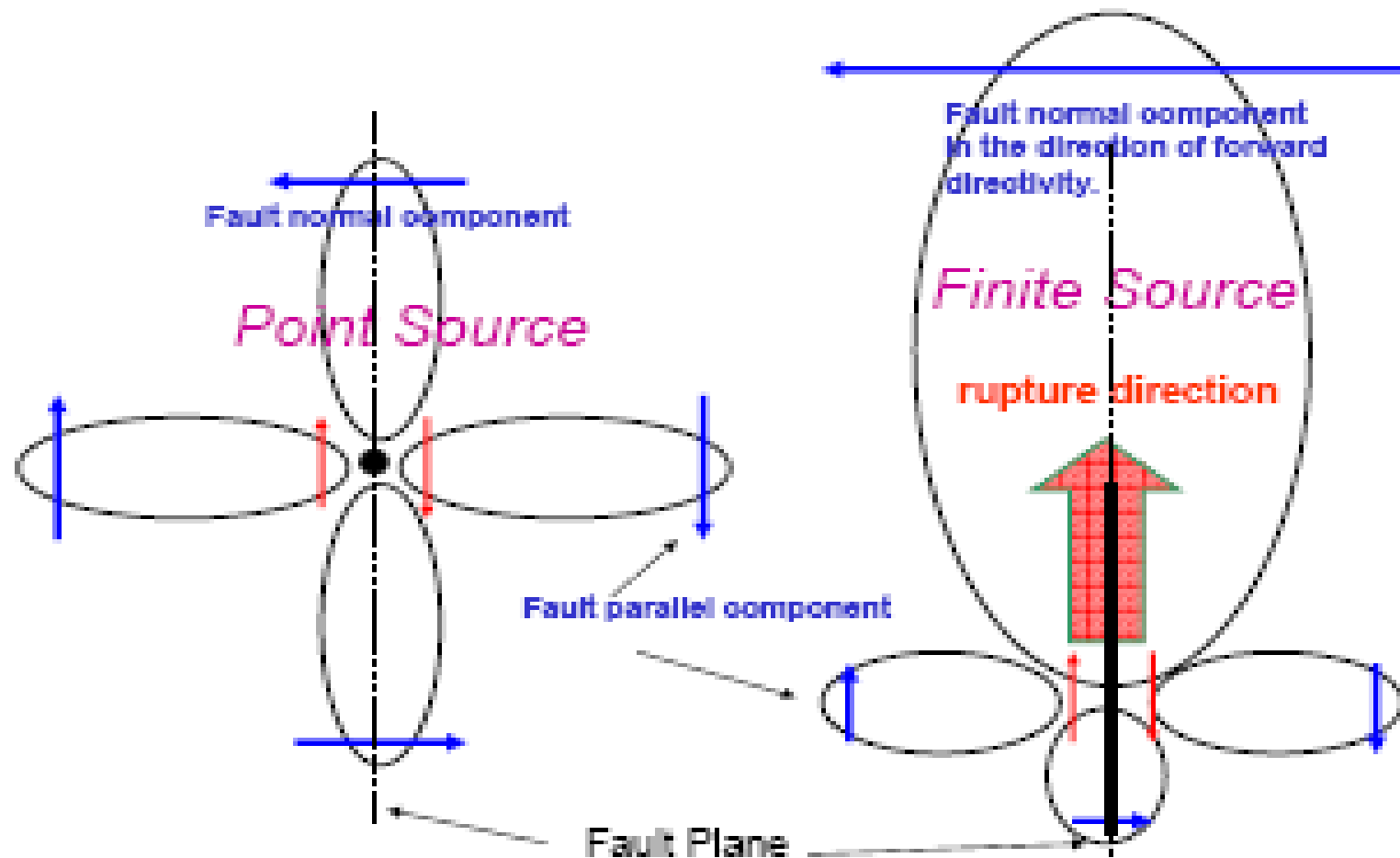
Unilateral



جهت پذیری: تغییرات
بالا و P دامنه موجهای
پائین) که از SH
گسلشی از چپ به راست
منتشر می شوند
سرعت انتشار گسیختگی
در شکل سمت راست
بیشتر است.

The variability of *P*- and *SH*-wave amplitude for a propagating fault (from left to right). For the column on the left $v_r/v_s = 0.5$, while for the column on the right $v_r/v_s = 0.9$. Note that the effects are amplified as rupture velocity approaches the propagation velocity. (From Kasahara, 1981.)

SH Radiation Pattern for Vertical Strike-slip



Causes of Velocity Pulses

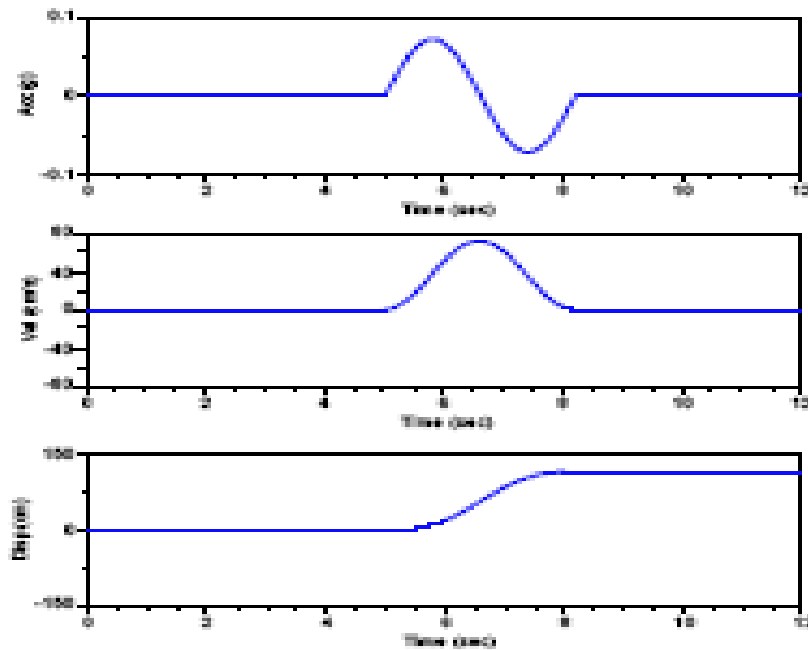
Directivity:

- Related to the direction of the rupture front
 - Forward directivity: rupture toward the site (site away from the epicenter)
 - Backward directivity: rupture away from the site (site near the epicenter)

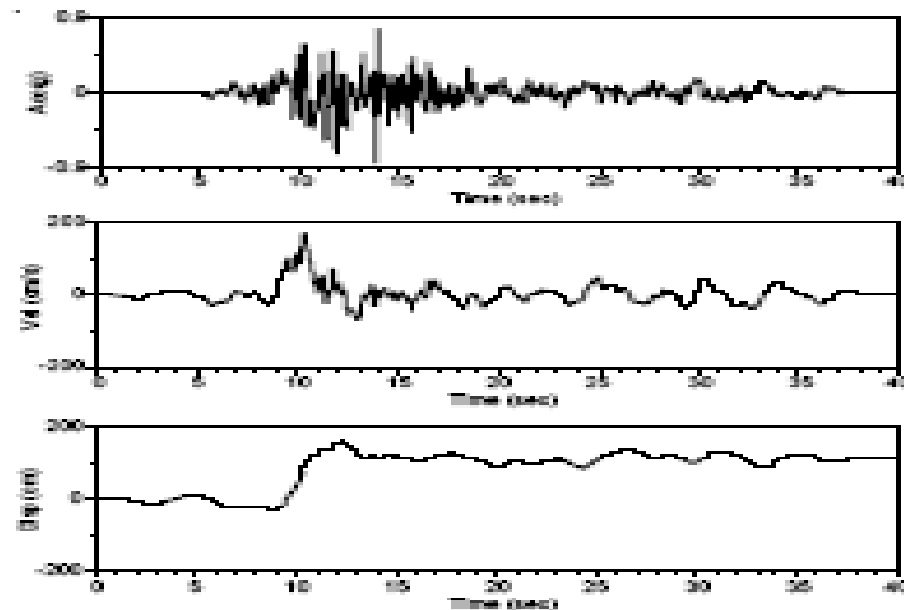
Fling:

- Related to the permanent tectonic deformation at the site

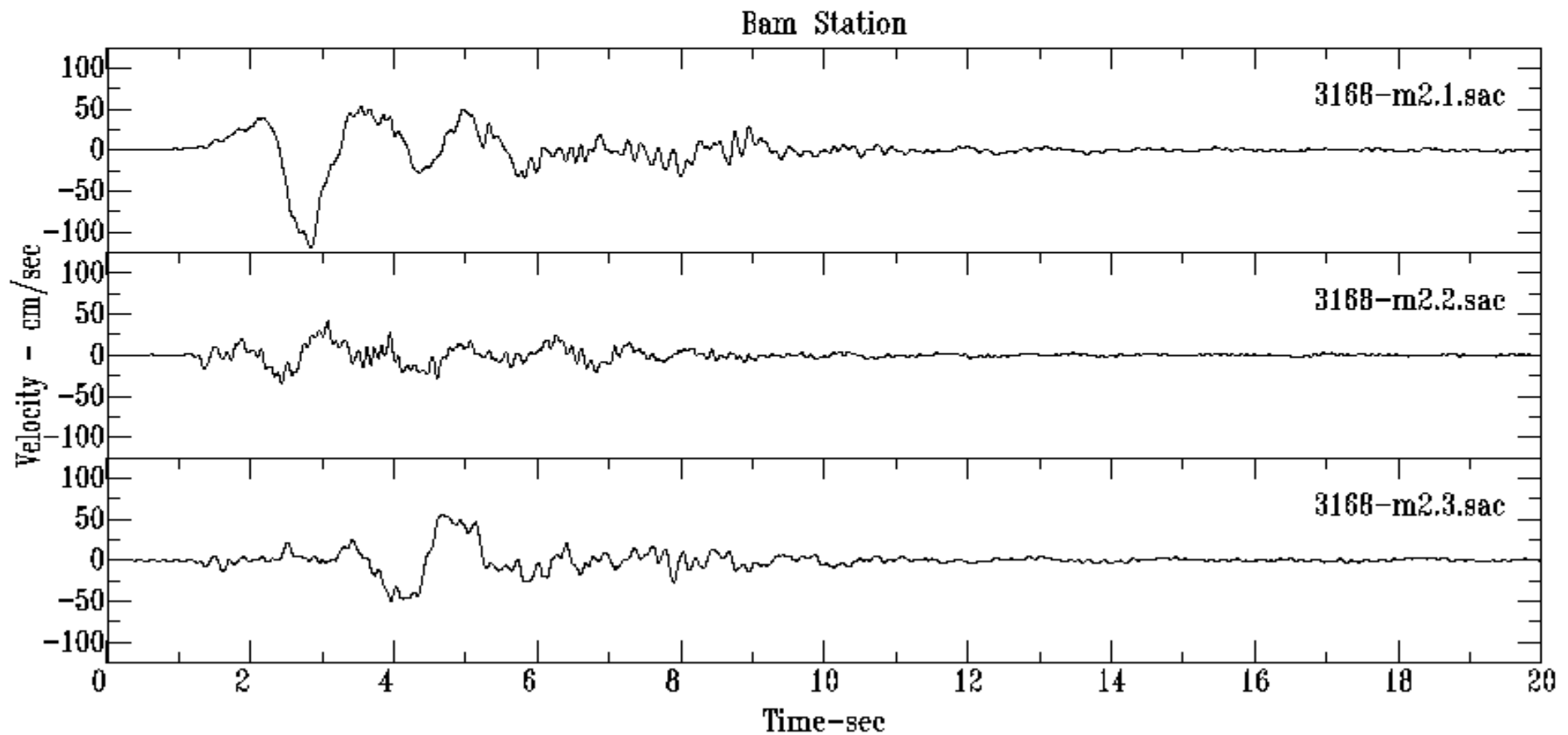
Preliminary Model for Fling



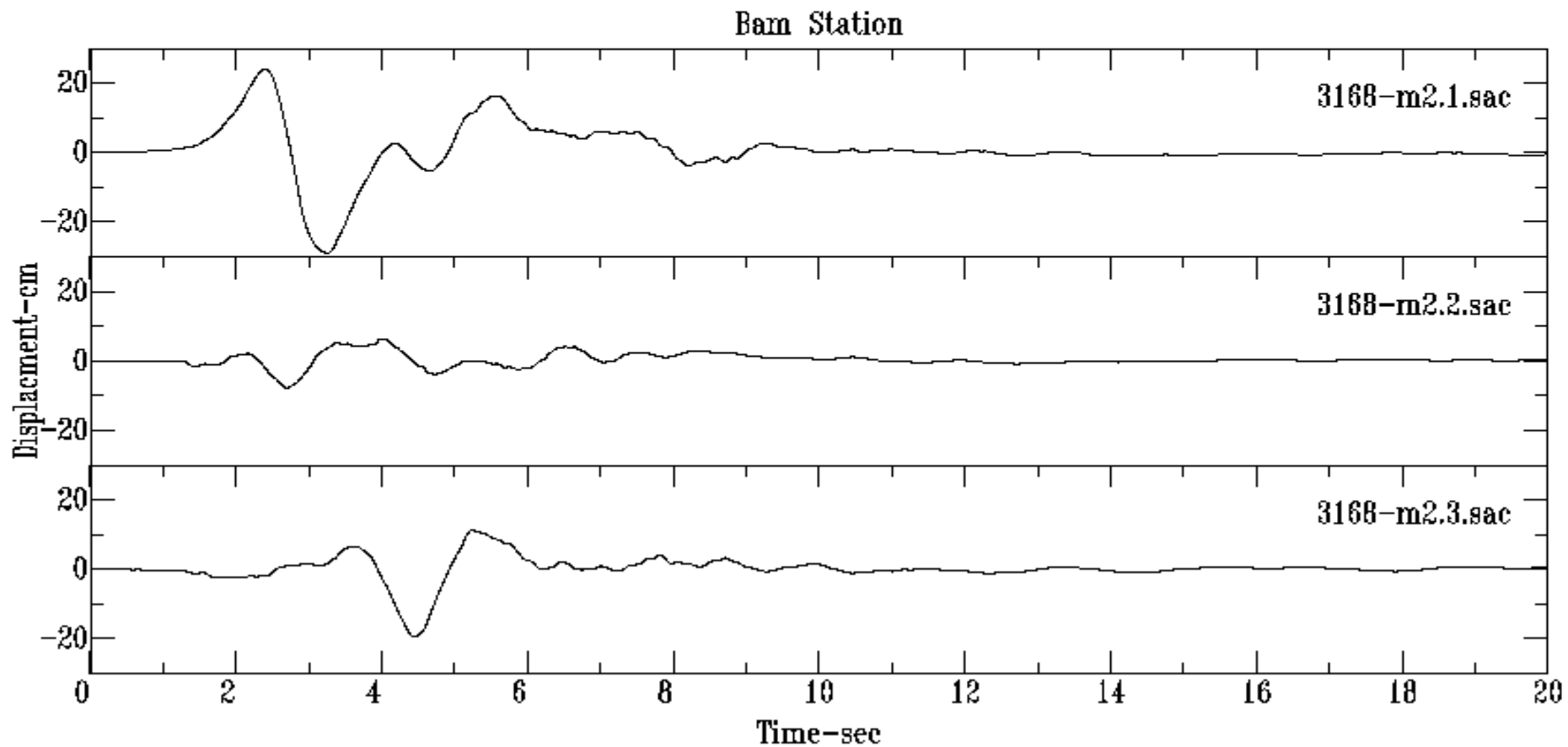
Vibratory Ground Motion + Fling



سرعت نگاشت بم
به پالس بزرگ در حدود ۲ تا ۴ ثانیه به ویژه روی مؤلفه افقی
عمود بر گسل دقت شود



تغییر مکان نگاشت بم
به پالس بزرگ در حدود ۲ تا ۴ ثانیه به ویژه روی مؤلفه افقی
عمود بر گسل دقت شود

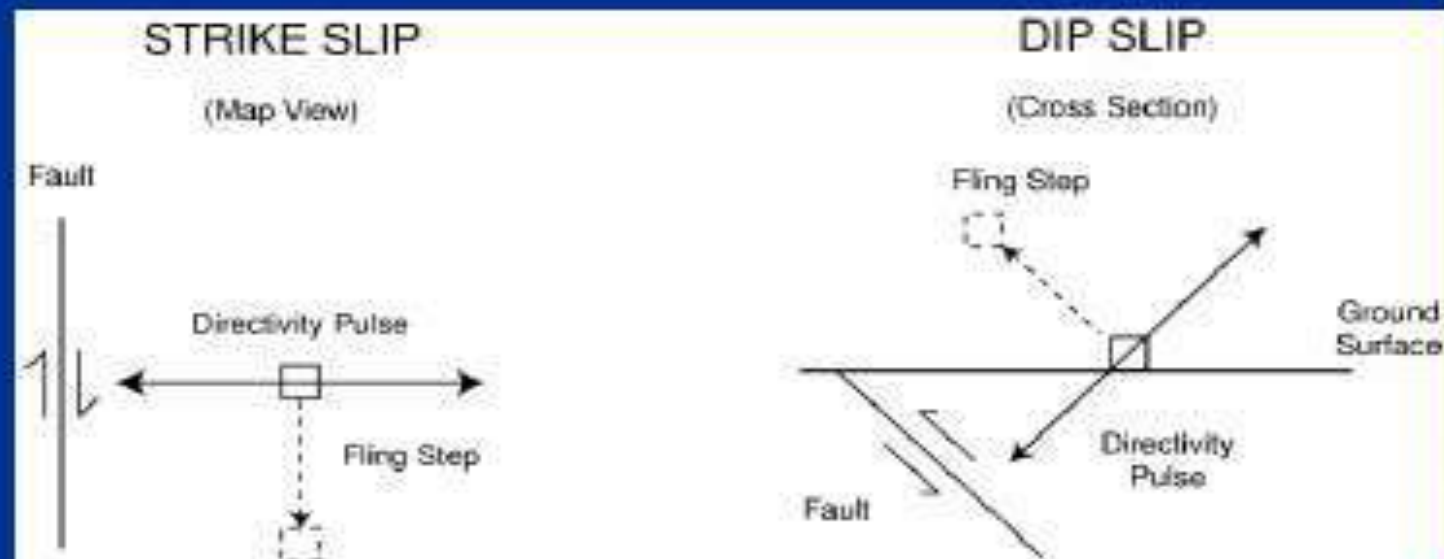


Velocity Pulses

- Directivity
 - Two-sided velocity pulse due to constructive interference of SH waves from generated from parts of the rupture located between the site and epicenter; affects fault-normal component
 - Occurs at sites located close to the fault but away from the epicenter
- Fling
 - One-sided velocity pulse due to tectonic deformation; affects fault-parallel component
 - Occurs at sites located near the fault rupture independent of the epicenter location

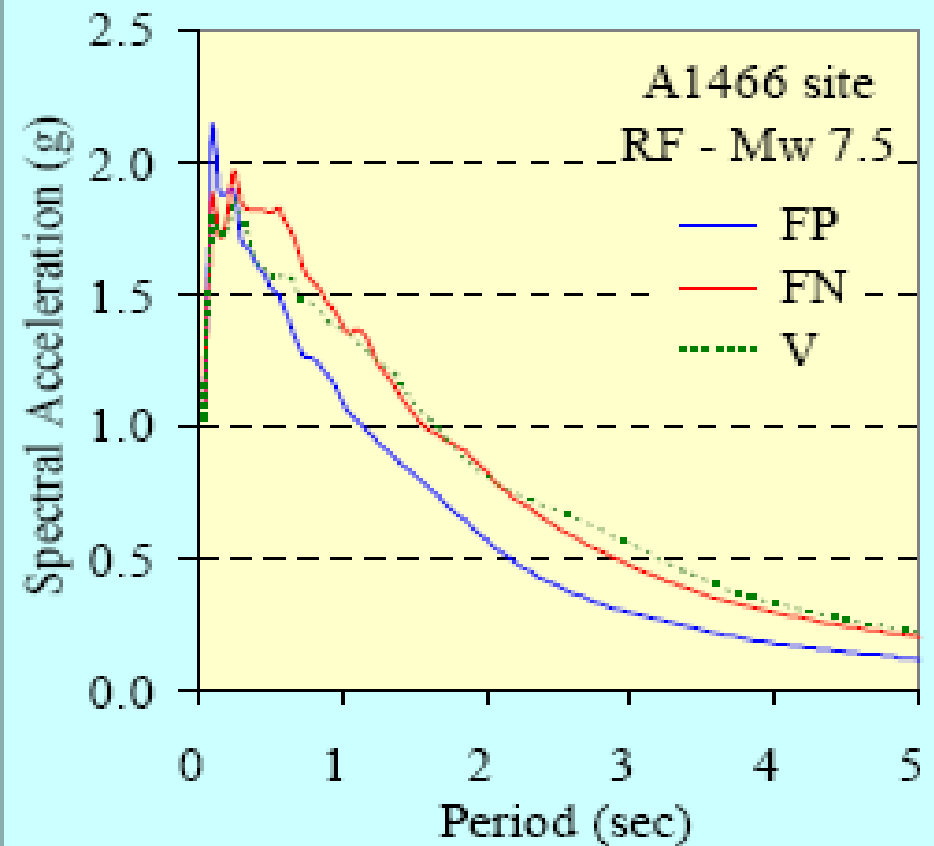
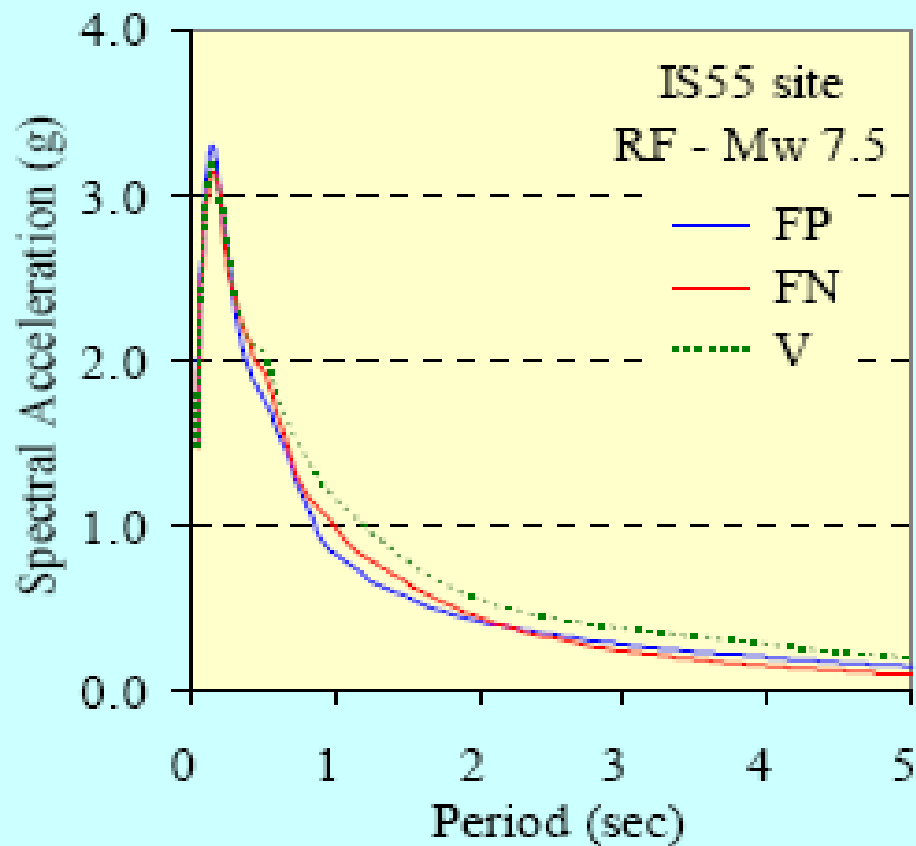
Characteristics of Near-Field Motions

- **Forward Directivity:** rupture towards the site and is characterized by a two-sided velocity pulse(s) in the fault-normal direction
- **Fling Step:** characterized by one-sided velocity pulse in the same direction as the slip on the fault



Average Response Spectra

Reelfoot fault



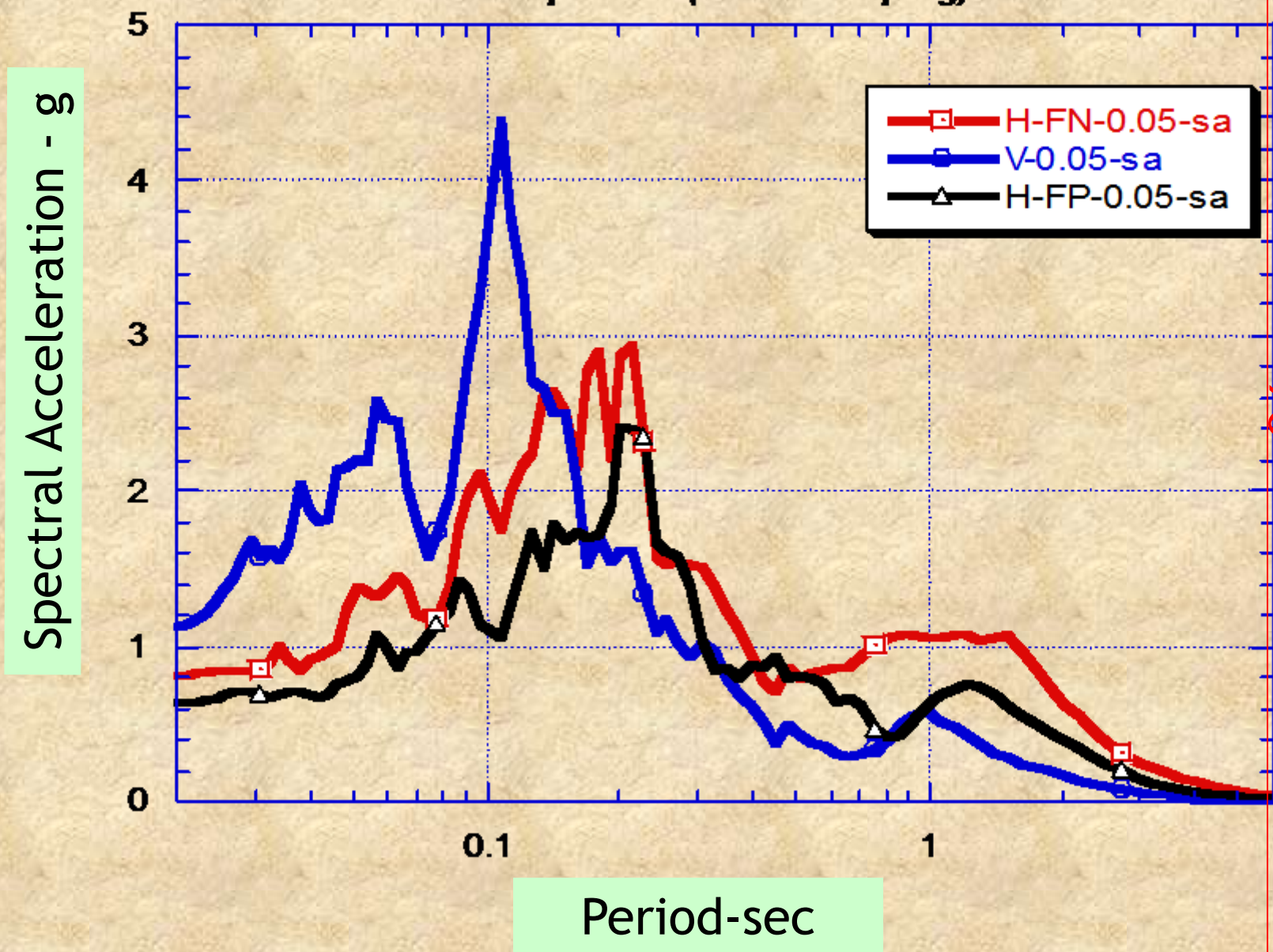
No.	Year	Earthquake	M _w	Mech. ^a	Station	Comp.	Source ^b	Site Class	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	Fling Disp. (cm)
<i>a) Far-Fault Recordings</i>												
1	1952	Kern County	7.5	TH/REV	Taft	111	1	Soil	0.18	17.50	8.79	—
2	1979	Imperial Valley	6.5	SS	Calexico	225	1	Soil	0.27	21.24	9.03	—
3	1989	Loma Prieta	7.0	OB	Presidio	00	1	Soil	0.10	12.91	4.32	—
4	1989	Loma Prieta	7.0	OB	Cliff House	90	1	Stiff soil	0.11	19.79	5.02	—
5	1992	Big Bear	6.4	SS	Desert Hot Spr.	90	2	Soil	0.23	19.14	4.53	—
6	1994	Northridge	6.7	TH	Century CCC	90	2	Soil	0.26	21.19	7.85	—
7	1999	Kocaeli	7.4	SS	Ambarli	EW (90)	1	Soil	0.18	33.23	25.85	—
<i>b) Near-Fault Recordings (Forward-Rupture Directivity)</i>												
1	1989	Loma Prieta	7.0	OB	LGPC	00	1	Stiff soil	0.56	94.81	41.13	—
2	1989	Loma Prieta	7.0	OB	Lexington Dam	90	1	Stiff soil	0.41	94.26	36.66	—
3	1992	Cape Mendocino	7.1	TH	Petrolia	90	1	Stiff soil	0.66	90.16	28.89	—
4	1992	Erzincan	6.7	SS	Erzincan	EW	1	Soil	0.50	64.32	21.93	—
5	1994	Northridge	6.7	TH	Rinaldi	275	2	Soil	0.84	174.79	48.96	—
6	1994	Northridge	6.7	TH	Olive View	360	1	Soil	0.84	130.37	31.72	—
7	1995	Kobe	6.9	SS	KJMA	00	1	Stiff soil	0.82	81.62	17.71	—
<i>c) Near-Fault Recordings (Fling-Step)</i>												
1	1999	Kocaeli	7.4	SS	Sakarya (SKR)	EW	3	Stiff soil	0.41	82.05	205.93	186.76
2	1999	Kocaeli	7.4	SS	Yarimca (YPT)	NS	3	Soil	0.23	88.83	184.84	145.79
3	1999	Chi-Chi	7.6	TH	TCU052	NS	4	Soil	0.44	216.00	709.09	697.12
4	1999	Chi-Chi	7.6	TH	TCU068	EW	4	Soil	0.50	277.56	715.82	601.84
5	1999	Chi-Chi	7.6	TH	TCU074	EW	4	Soil	0.59	68.90	193.22	174.56
6	1999	Chi-Chi	7.6	TH	TCU084	NS	4	Soil	0.42	42.63	64.91	59.43
7	1999	Chi-Chi	7.6	TH	TCU129	NS	4	Soil	0.61	54.56	82.70	67.54

Faulting Mechanism—TH: Thrust; REV: Reverse; SS: Strike-slip; OB: Oblique

Data Source—1: PEER (<http://peer.berkeley.edu/smcat>); 2: Cosmos (<http://db.cosmos-eq.org>); 3: ERD (<http://angora.deprem.gov.tr/>); 4: <http://scman.cwb.gov.tw/eqv5/special/19990921/pgadata-ascii0704.htm>

Note: Original fling ground motions from data source (3) and (4) were reprocessed.

Bam earthquake of 26/12/2003, Mw6.5, comparison of Horizontal (FN: fault normal, and FP: fault parallel) and Vertical components (for 5% damping)

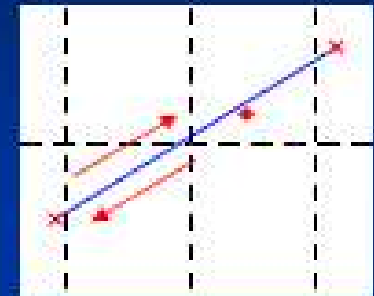
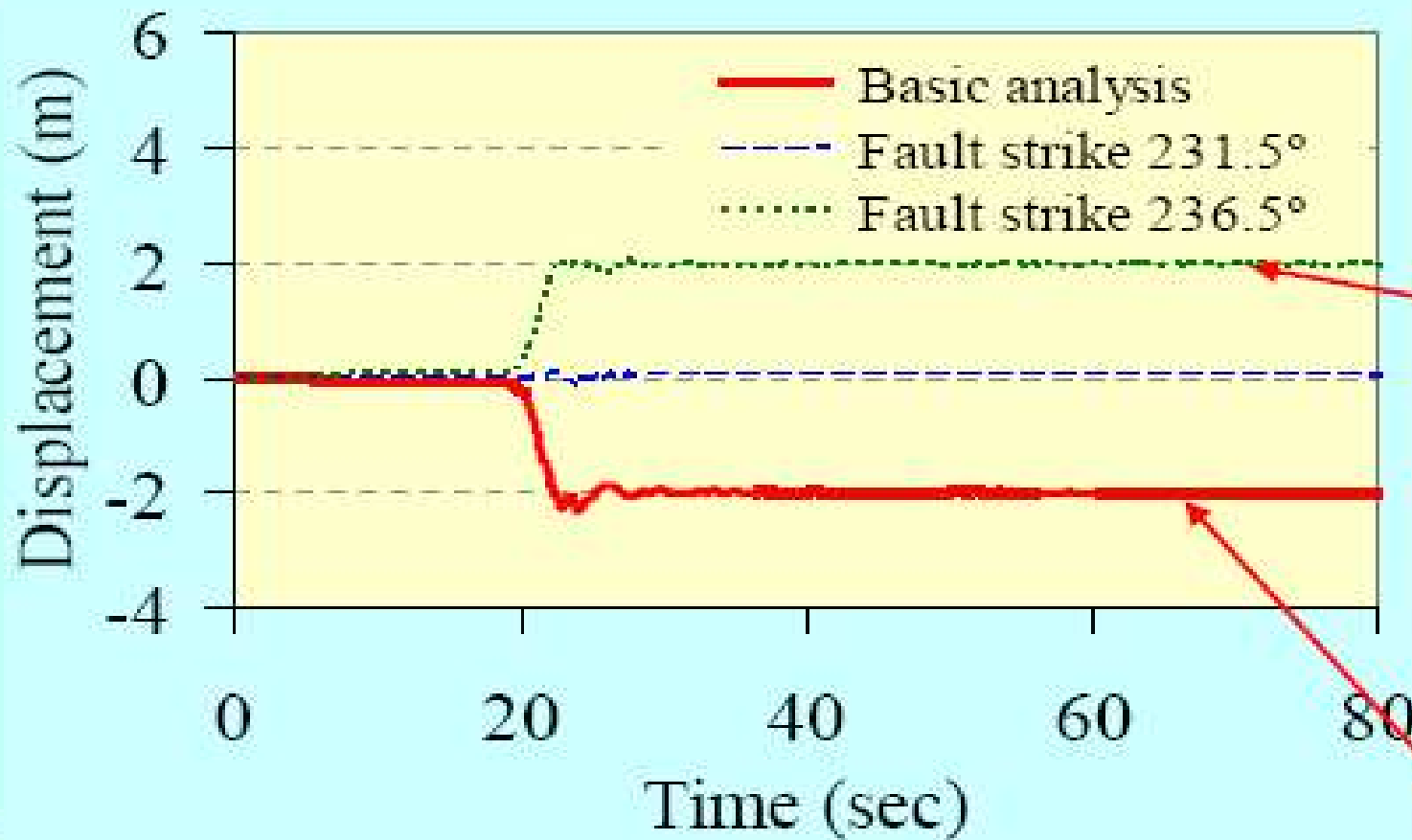


Spectral Acceleration - g

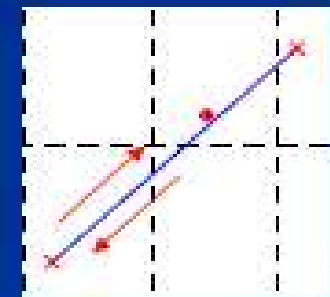
Period-sec

مقایسه طیفهای پاسخ مولفه افقی عمود بر گسل ، موازی گسل و قائم بر ای میرائی

Influence of Fault Mechanism on the Fling Step at L472 site

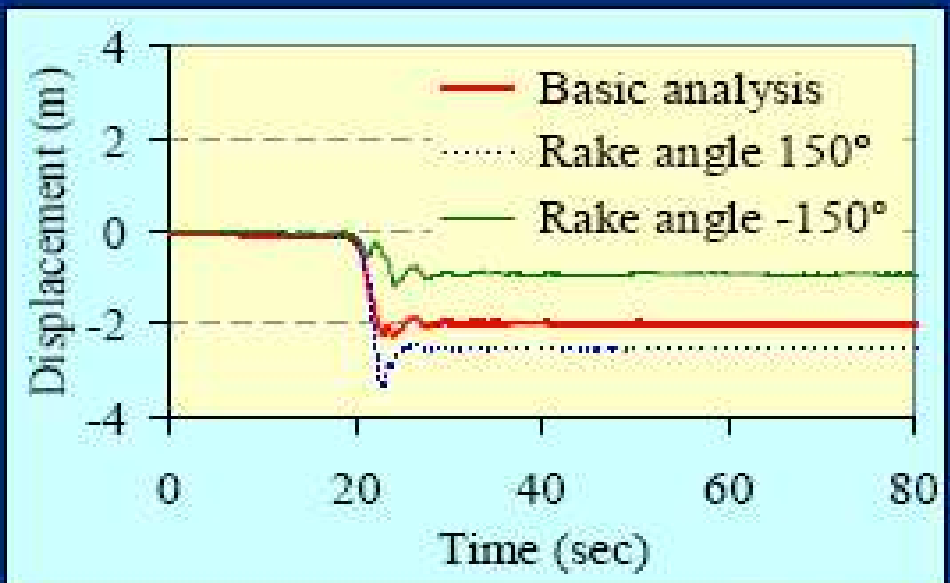
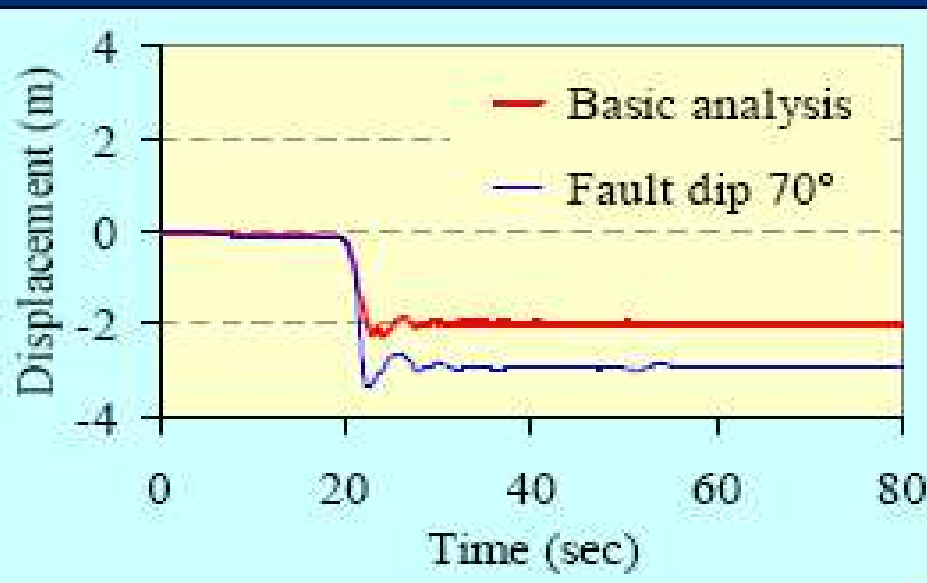


Fault strike 236.5°



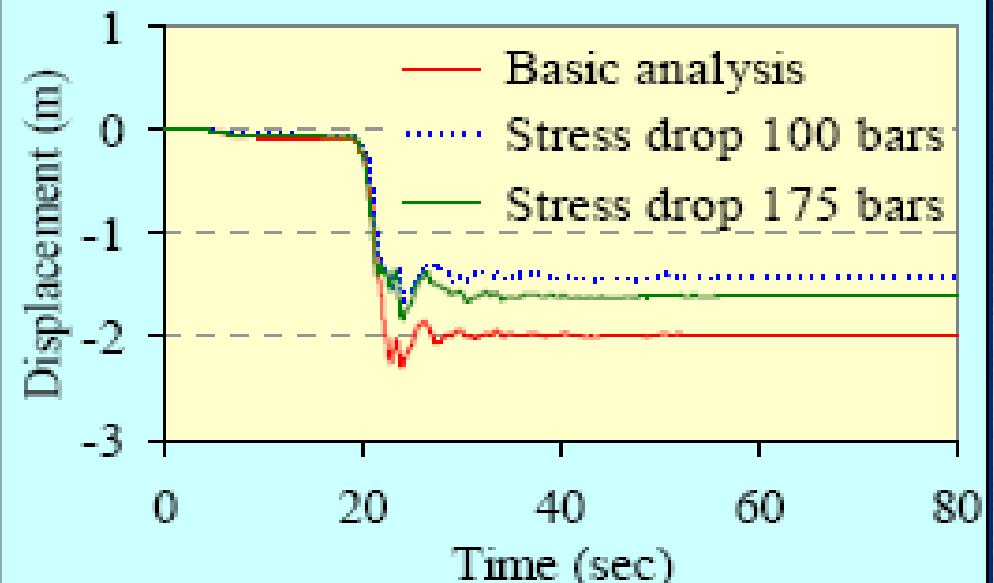
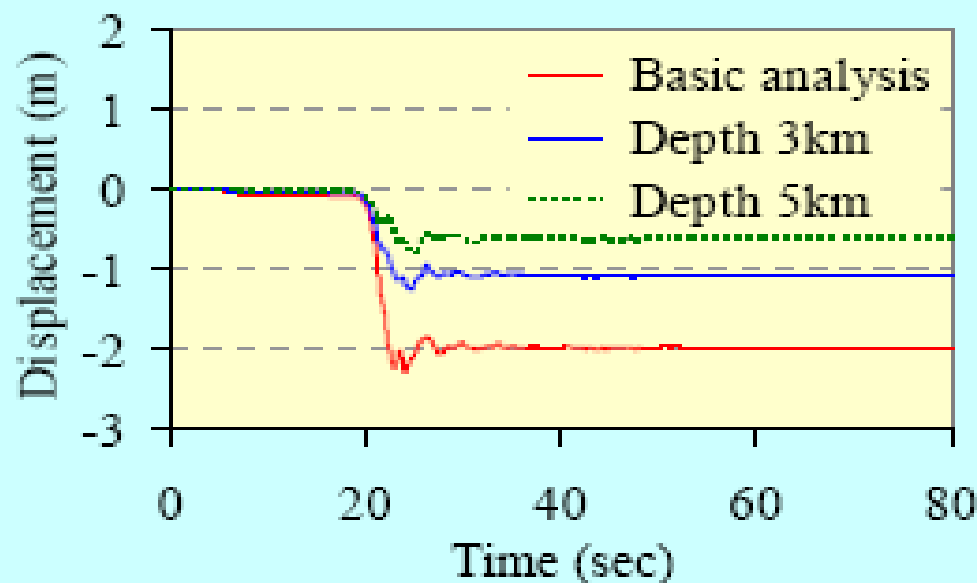
Fault strike

Influence of Fault Mechanism on the Fling Step at L472 site



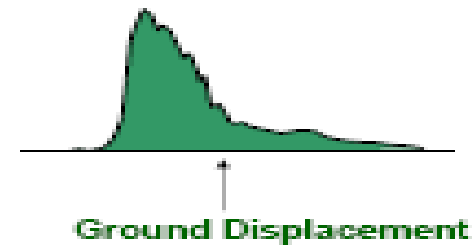
For basic analysis:
Fault dip 90°
Rake angle 180°

Influence of Depth to top of Fault and Stress Drop on the Fling Step at L472 site

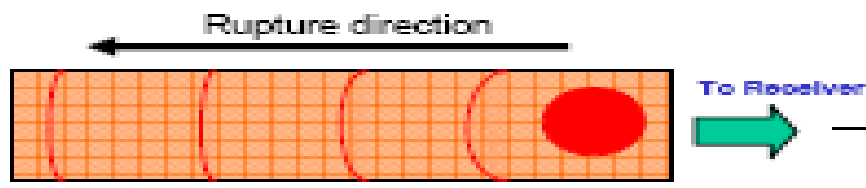


For basic analysis:
Depth 1km
Stress drop 150 bars

Forward directivity

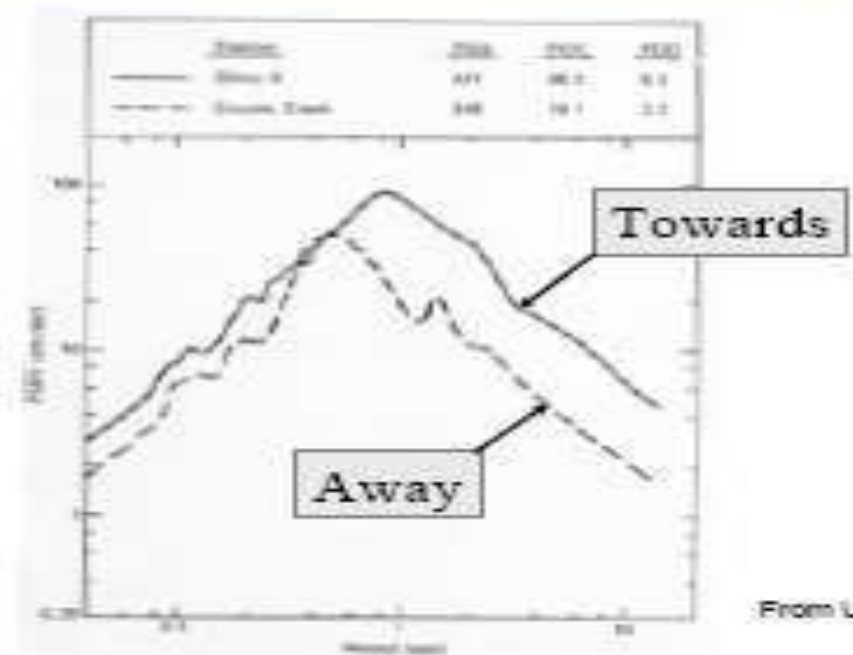


Backward directivity



The areas under the far-field displacement pulses are equal, but the amplitudes and durations differ. This has major effects on the ground velocity and acceleration.

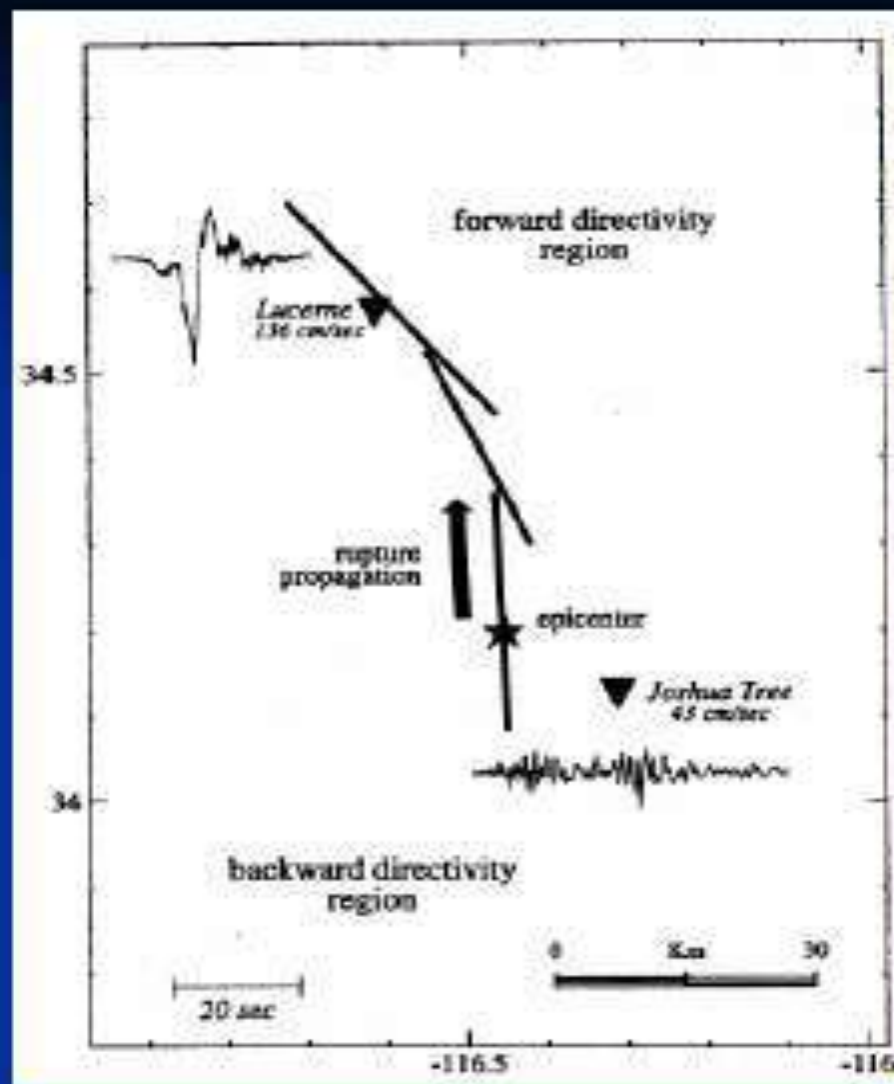
Effect of Directivity on Response Spectra



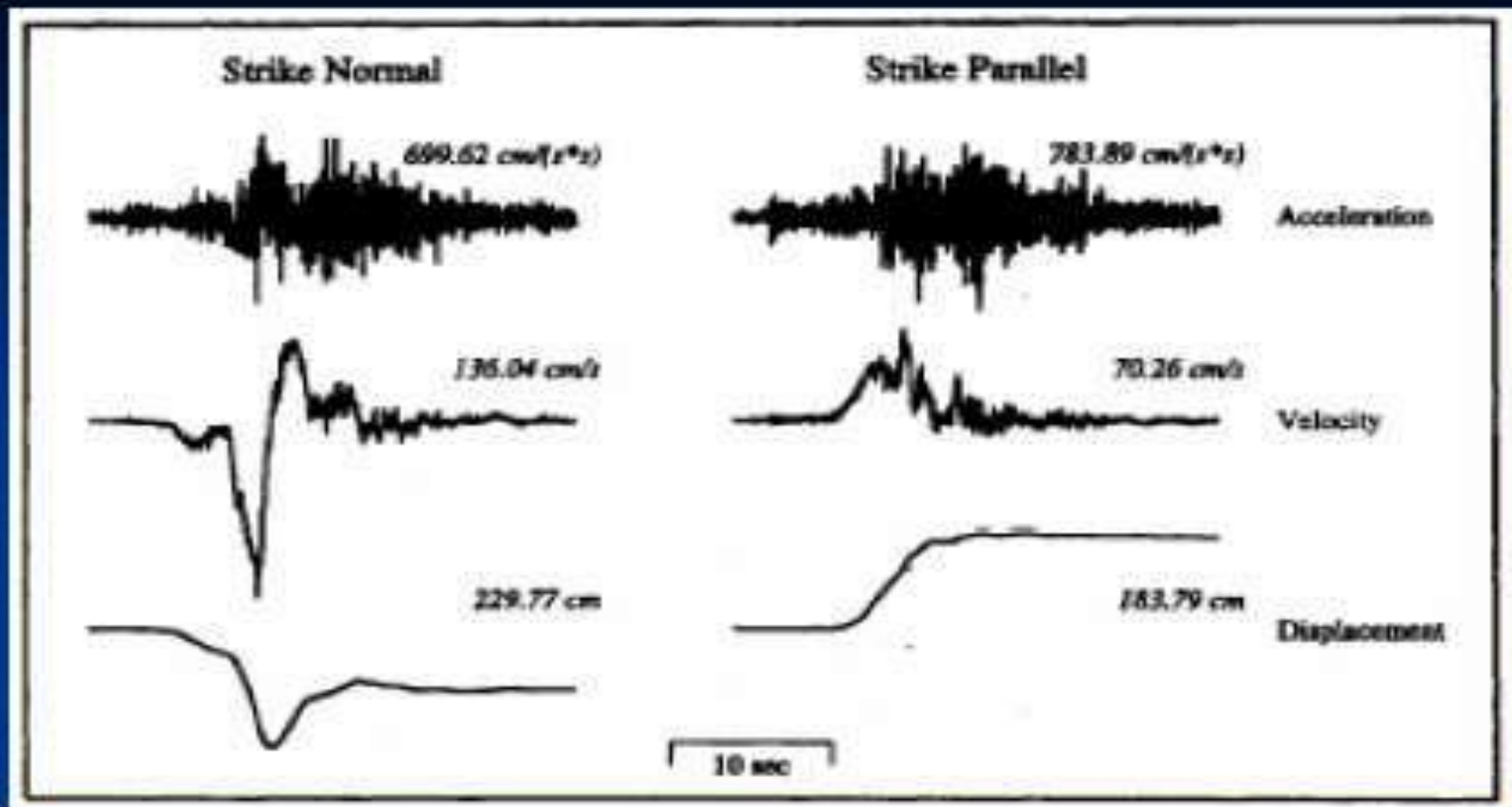
From USACE, 2000

Effects of Fling and Directivity

- Directivity can cause amplification of motions for sites close to the fault rupture.
- Unclear as to engineering significance of fling.
- Current attenuation relations do not include these effects.



**1992 Landers earthquake in Southern California
(Strike-Slip Earthquake)**



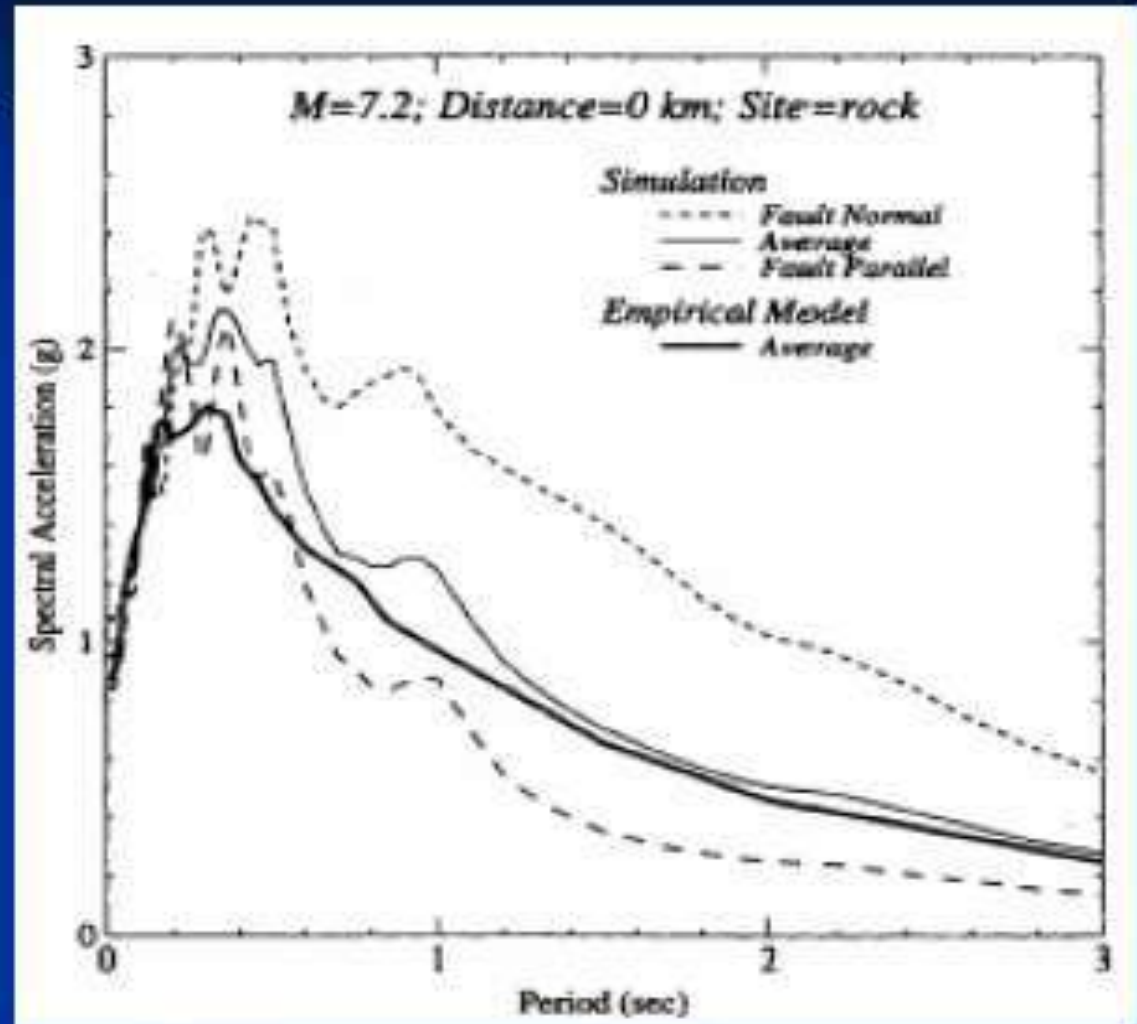
1992 Landers earthquake - Lucerne Records

Fault-normal: *double-sided velocity pulse; small permanent displacement*

Fault-parallel: *single-sided velocity pulse; large permanent displacements*

Effects of Forward Rupture Directivity

- Increase the amplitude of intermediate and long period ground motion
- Fault-normal component is larger than fault-parallel component at intermediate and long periods

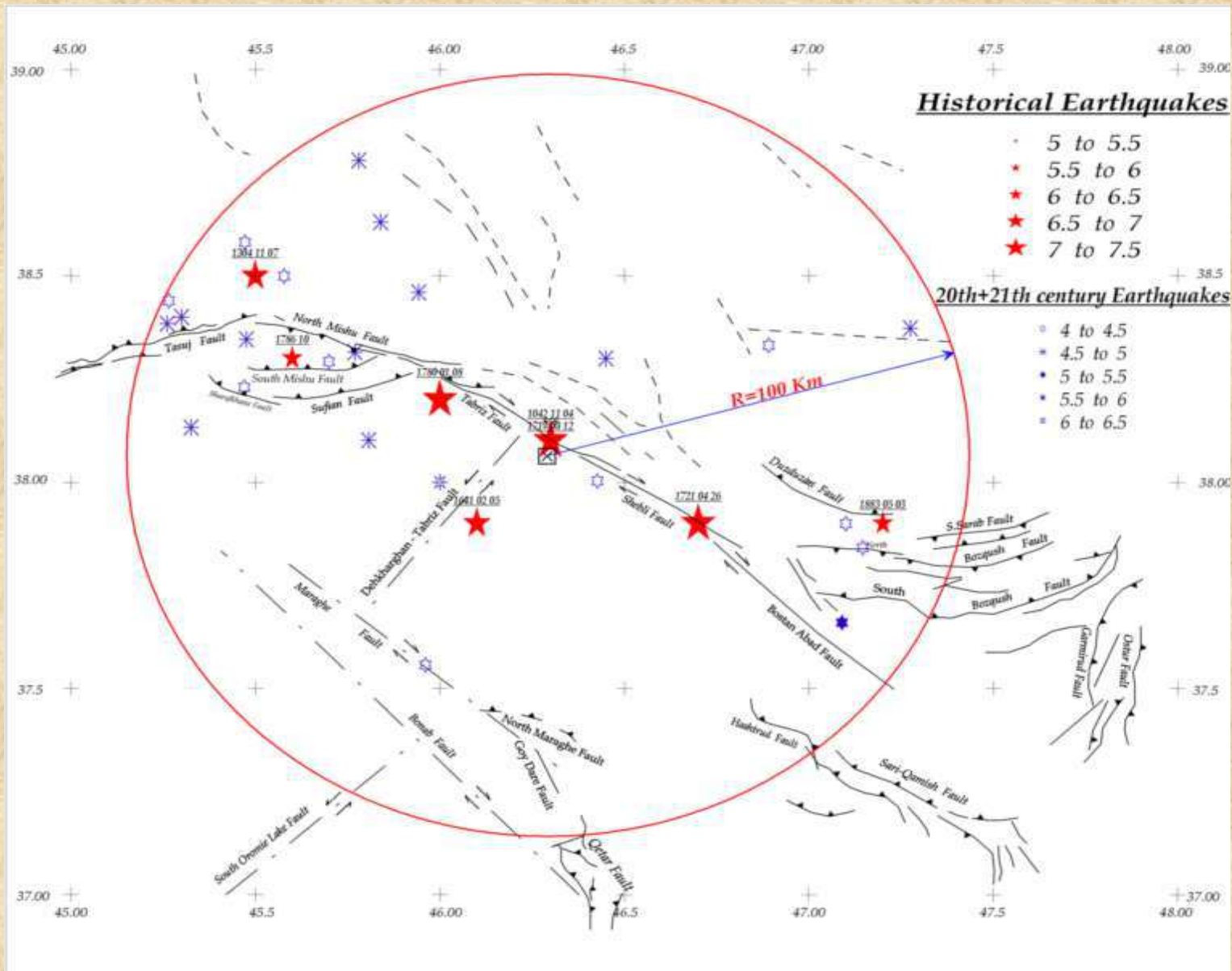


زمینلرزه های تاریخی در شعاع ۱۰۰ کیلومتر

<u>فاصله رومرکز از محدوده مورد مطالعه (کیلومتر)</u>	<u>بزرگای زمینلرزه</u>	<u>تاریخ رویداد</u>
3.72	6.0	858
3.72	7.3	1042 11 04
84.02	6.7	1304 11 07
24.97	6.8	1641 02 05
3.72	5.9	1717 03 12
40.45	7.3	1721 04 26
29.32	7.4	1780 01 08
65.58	6.3	1786 10
81.85	6.2	1883 05 03

تاریخچه زمینلرزه های قرن حاضر در شعاع ۱۵۰ کیلومتر

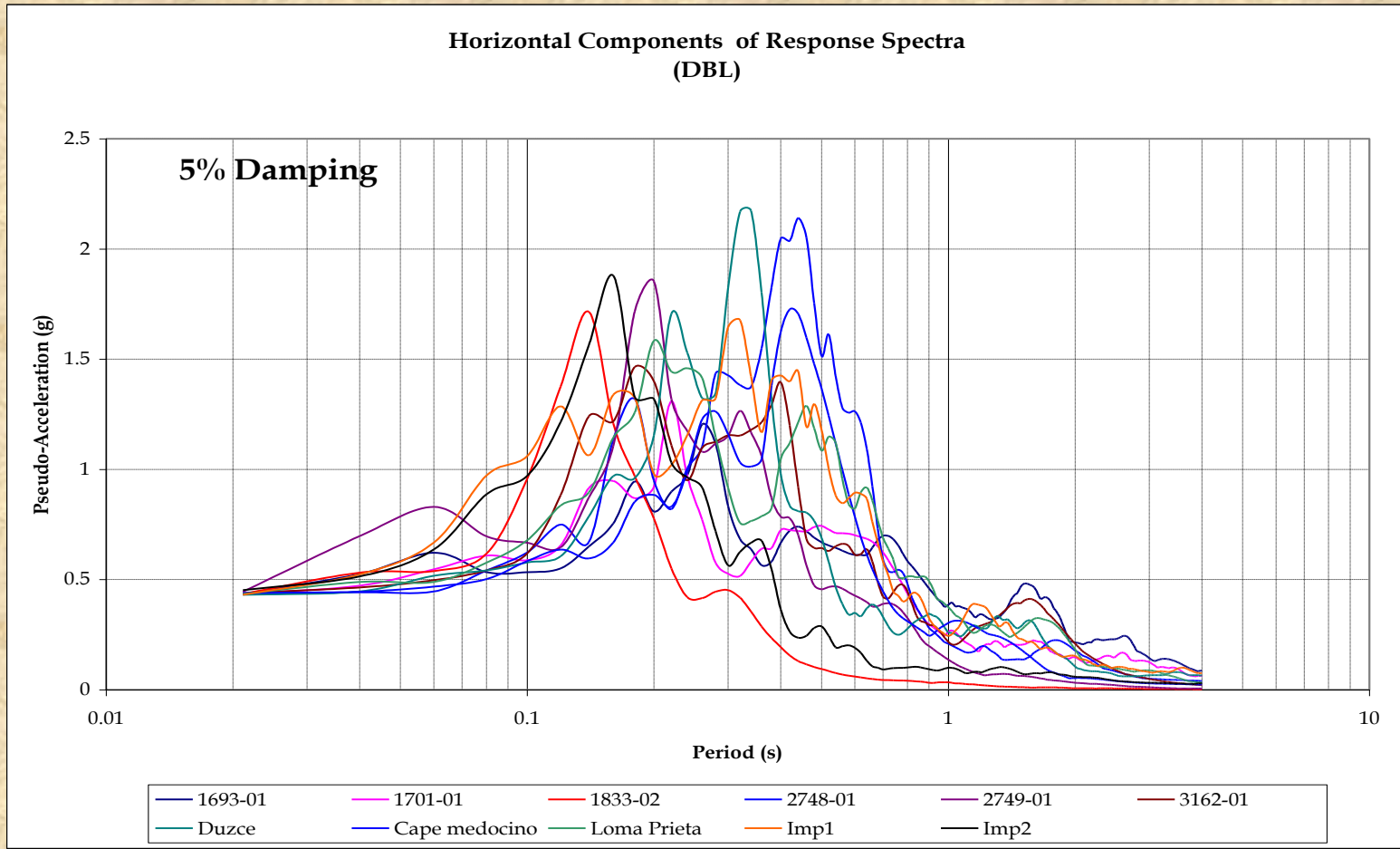
<u>فاصله رومرکز از محدوده مورد مطالعه (کیلومتر)</u>	<u>بزرگای زمینلرزه</u>	<u>تاریخ رویداد</u>
26.47	6.2	1905 01 09
134.97	5.5	1930 05 06
143.70	7.2	1930 05 06
144.11	6.3	1931 04 27
110.72	6.0	1934 02 22
187.68	5.5	1958 05 05
153.98	6.1	1997 02 28



توان لرزه زایی گسل های نزدیک به ساختگاه

بزرگای متوسط	رابطه ولز و کاپر اسمیت (۱۹۹۴)	رابطه نوروزی (۱۹۸۵)	طول گسل (km)	سازو کار غالب	نام گسل
6.8	6.8	6.9	60	رامپا لغز راستگرد	بستان آباد
6.7	6.7	6.8	50	رامپا لغز راستگرد	شهبلی
6.8	6.7	6.8	54	رامپا لغز راستگرد	نهریز
6.9	6.8	6.9	65	رامپا لغز چپگرد	خطواره دهخوارکان نهریز
7.1	7.1	7.1	100	رامپا لغز راستگرد	خطواره بناب
7.0	7.0	7.0	85	رامپا لغز راستگرد	خطواره مراغه
6.9	6.8	6.9	65	رامپا لغز چپگرد	خطواره جنوب دریاچه ارومیه
6.3	6.2	6.4	18	معکوس	شرفخانه
6.6	6.5	6.6	34	معکوس	سوفیان
6.6	6.5	6.6	34	معکوس	جنوب مینو
6.7	6.6	6.8	45	معکوس	شمال مینو
6.8	6.8	6.8	56	معکوس	نسوج

طیف پاسخ شتاب نگاشتهای انتخاب شده برای مولفه افقی و با میرایی های ۵٪ (نرمال شده به سطح DBL)



لزوم ایجاد شبکه هشدار سریع

- کشور ما در ناحیه زلزله‌خیزی قرار گرفته است.
- در سال‌های اخیر تمایل به ساخت سازه‌های ویژه با عملکردهای خاص مورد توجه قرار گرفته است.
- تجربه نشان داده است سازه‌هایی مانند نیروگاه‌ها از نظر عملکردی سازه‌های آسیب‌پذیری در برابر زلزله هستند.
- یکی نمونه از آسیب‌های نیروگاه‌های هسته‌ای اتفاقی است که برای نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما در اثر سونامی زلزله توهوکو افتاد.

لزوم ایجاد شبکه هشدار سریع

- در برابر زلزله‌های مخرب، باید به سرعت واکنش نشان داد.
- قطع شبکه‌ی گاز.
- خاموش کردن نیروگاه هسته‌ای.
- ایستادن قطارهای شهری و بین شهری.
- نمونه‌هایی از این اقدامات است.

اطلاعات موجود در شتابنگاشت زلزله

امواج زلزله به ترتیب زیر به محل سازه می‌رسند:

- ابتدا امواج P که دارای قدرت تخریبی بسیار کمی هستند به سازه می‌رسند.

- - سپس موج S و امواج سطحی که قدرت تخریبی بسیار زیادی دارند به سازه می‌رسند.

اطلاعات موجود در شتابنگاشت زلزله

چون منشاء امواج P، S و امواج سطحی همگی از یک چشمه لرزه‌زاست، می‌توان گفت امواج P حاوی اطلاعات گرانبهایی درباره‌ی امواج مخربی که در راه هستند، می‌باشند.

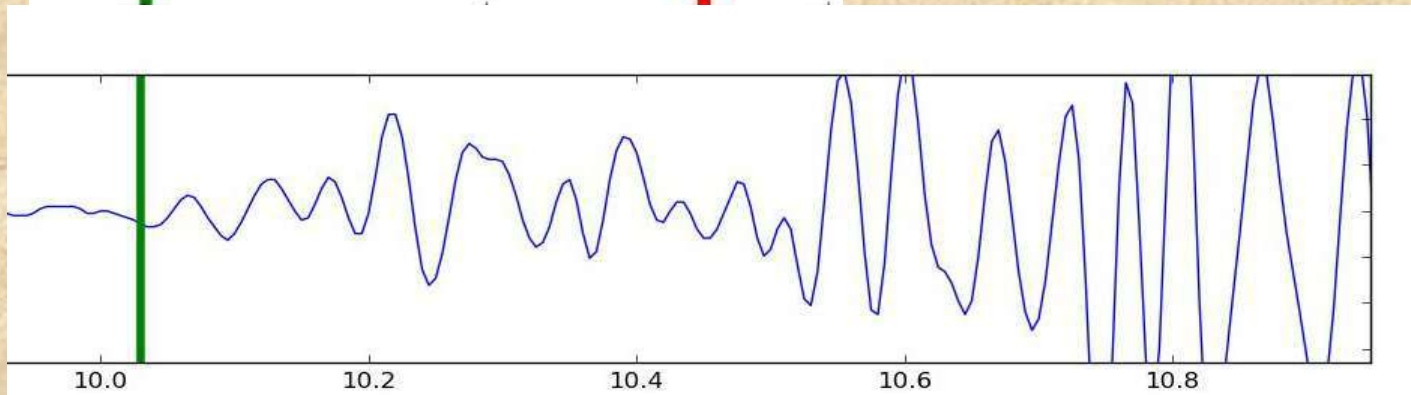
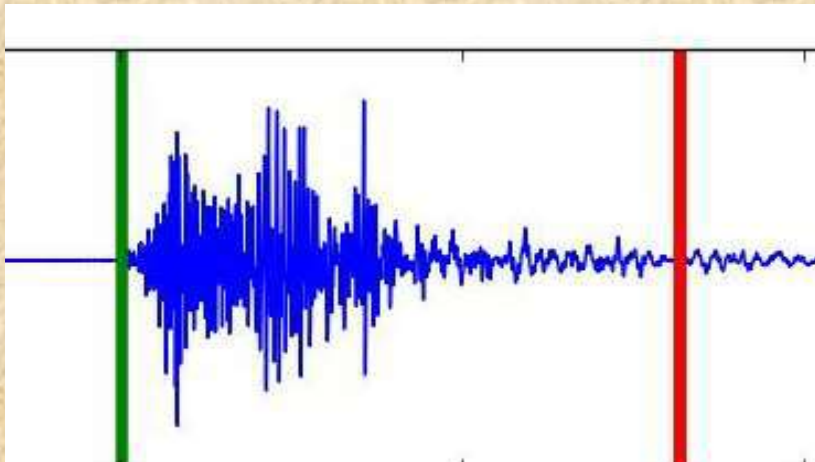
می‌توان از روی دامنه‌ی امواج P حدس زد که زلزله‌ای که در راه است تا چه اندازه مخرب خواهد بود.

بنابراین باید به محض اینکه امواج P احساس شدند، سیستم فعال شده و میزان مخرب بودن زلزله پیش رو را تعیین نماید.

تعیین فاز P به صورت برخط

برای تعیین فاز P به صورت برخط می‌توان از روش آلن (۱۹۷۸) بهره جست. این روش به صورت دقیق و سریع رسیدن امواج P را تشخیص می‌دهد.

تعیین فاز P به صورت برخط

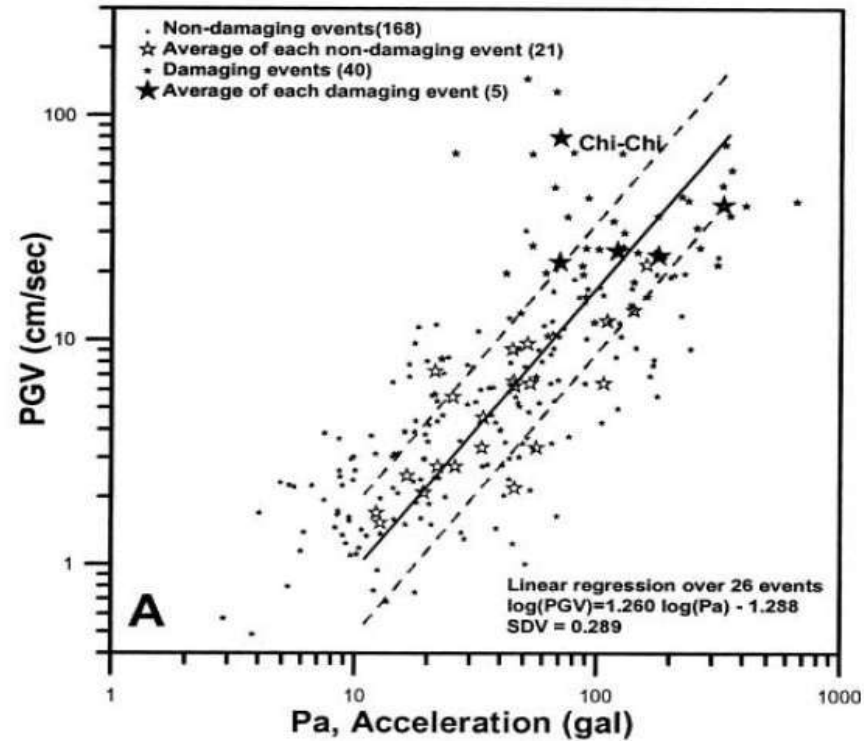
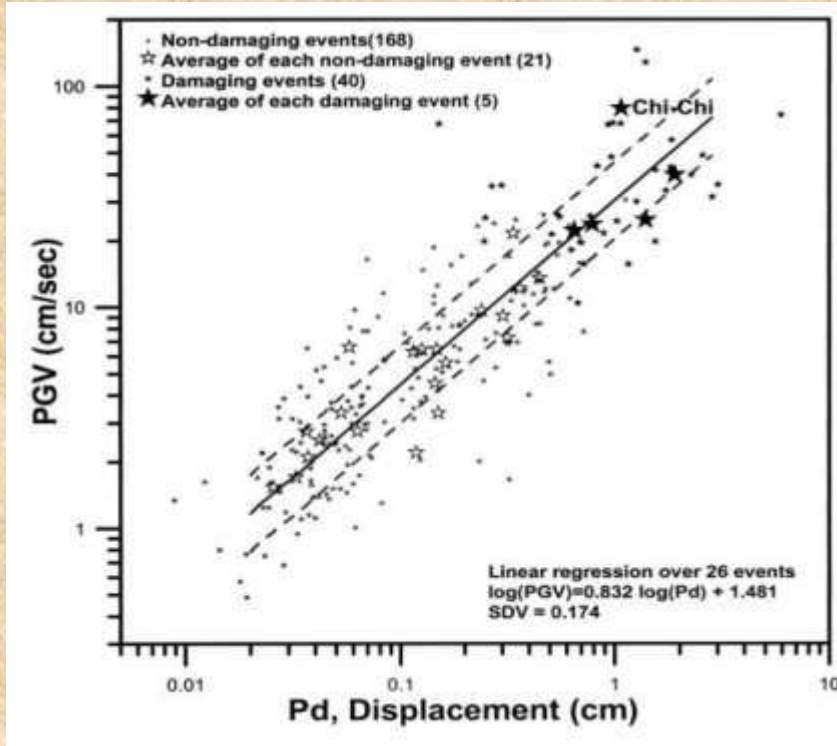


آنالیز ۳ ثانیه اول رکورد و پارامترهای قدرت تخریبی زلزله

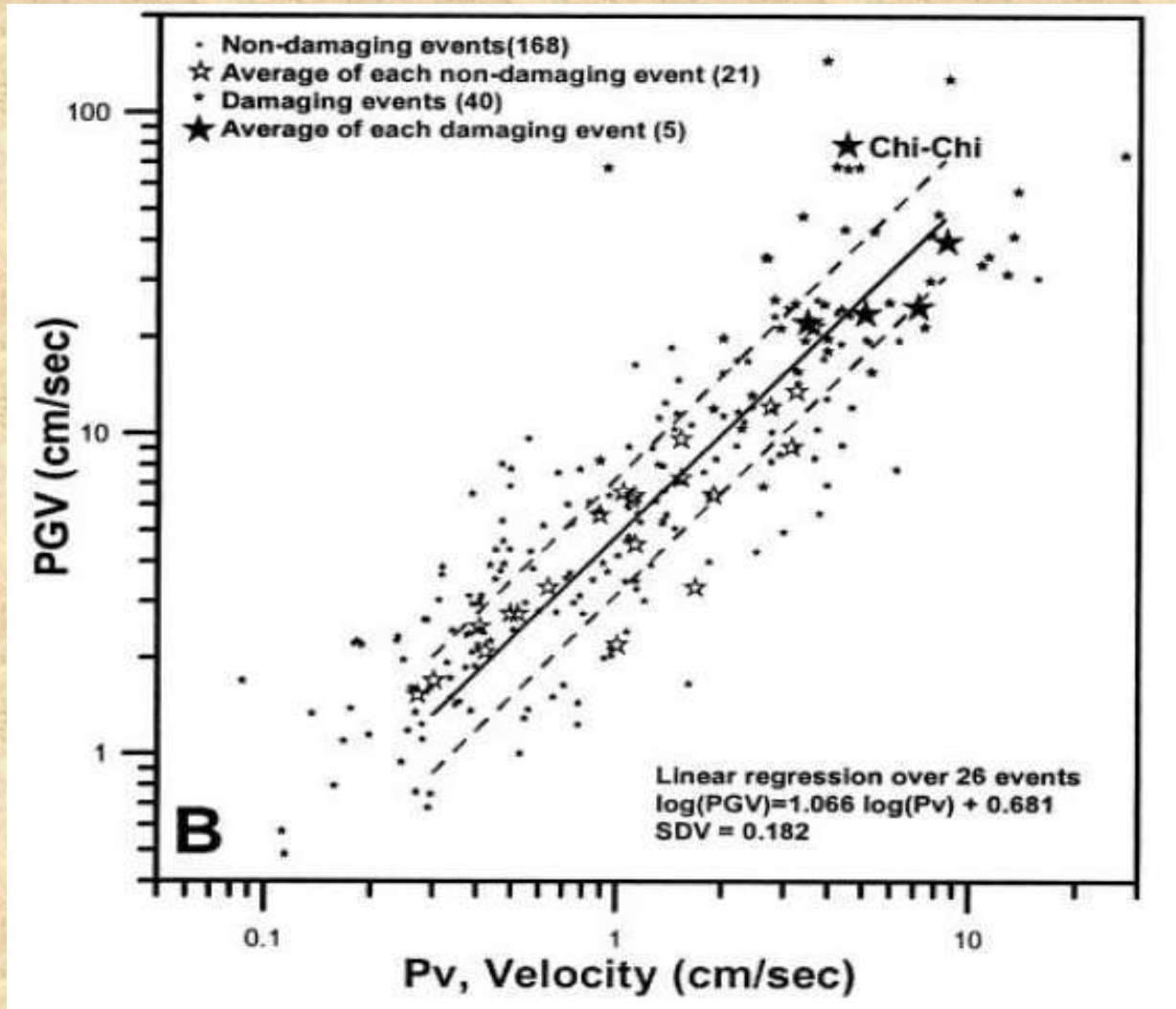
بین حداکثر جابجایی، حداکثر سرعت و حداکثر شتاب در ۳ ثانیه‌ی اول زلزله و PGA، PGV و PGD روابطی برقرار است.

وو و کاناموری (۲۰۰۵) بر روی این روابط مطالعه کرده‌اند و به نتایج خوبی رسیده‌اند.

آنالیز ۳ ثانیه اول رکورد و پارامترهای قدرت تخریبی زلزله



آنالیز ۳ ثانیه اول رکورد و پارامترهای قدرت تخریبی زلزله



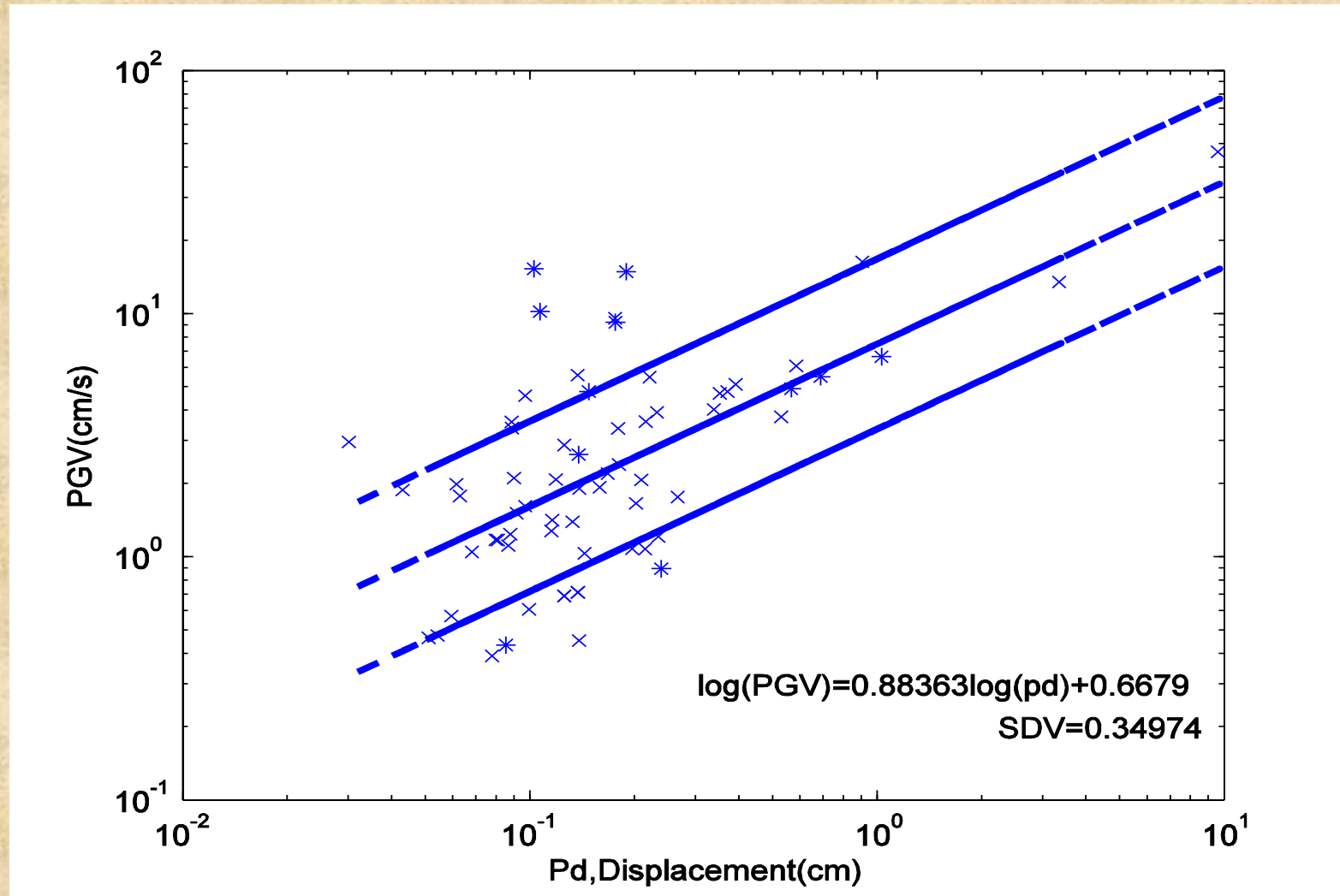
مطالعات انجام شده برای ایران

در ایران شبکه‌ی مناسبی از شتابنگارها وجود دارد. از داده‌های این شتابنگارها می‌توان برای به دست آوردن پارامترهای شبکه‌ی هشدار سریع استفاده کرد.

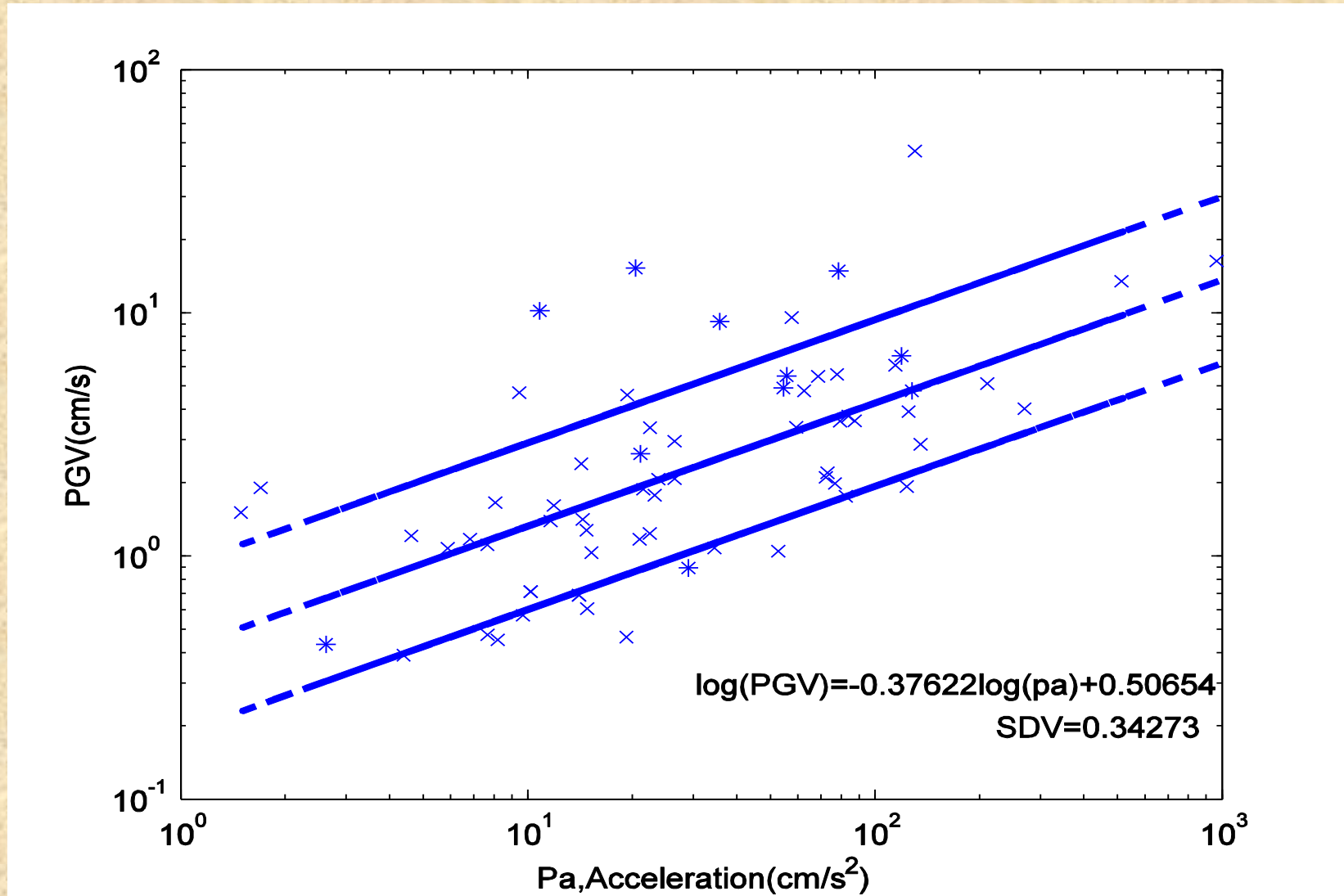
مطالعه‌ی مشابهی (همانند وو و کاناموری) بر روی داده‌های لرزه‌ای ایران صورت گرفته است.

این مطالعه‌ی نتایج بسیار خوبی را نشان می‌دهد.

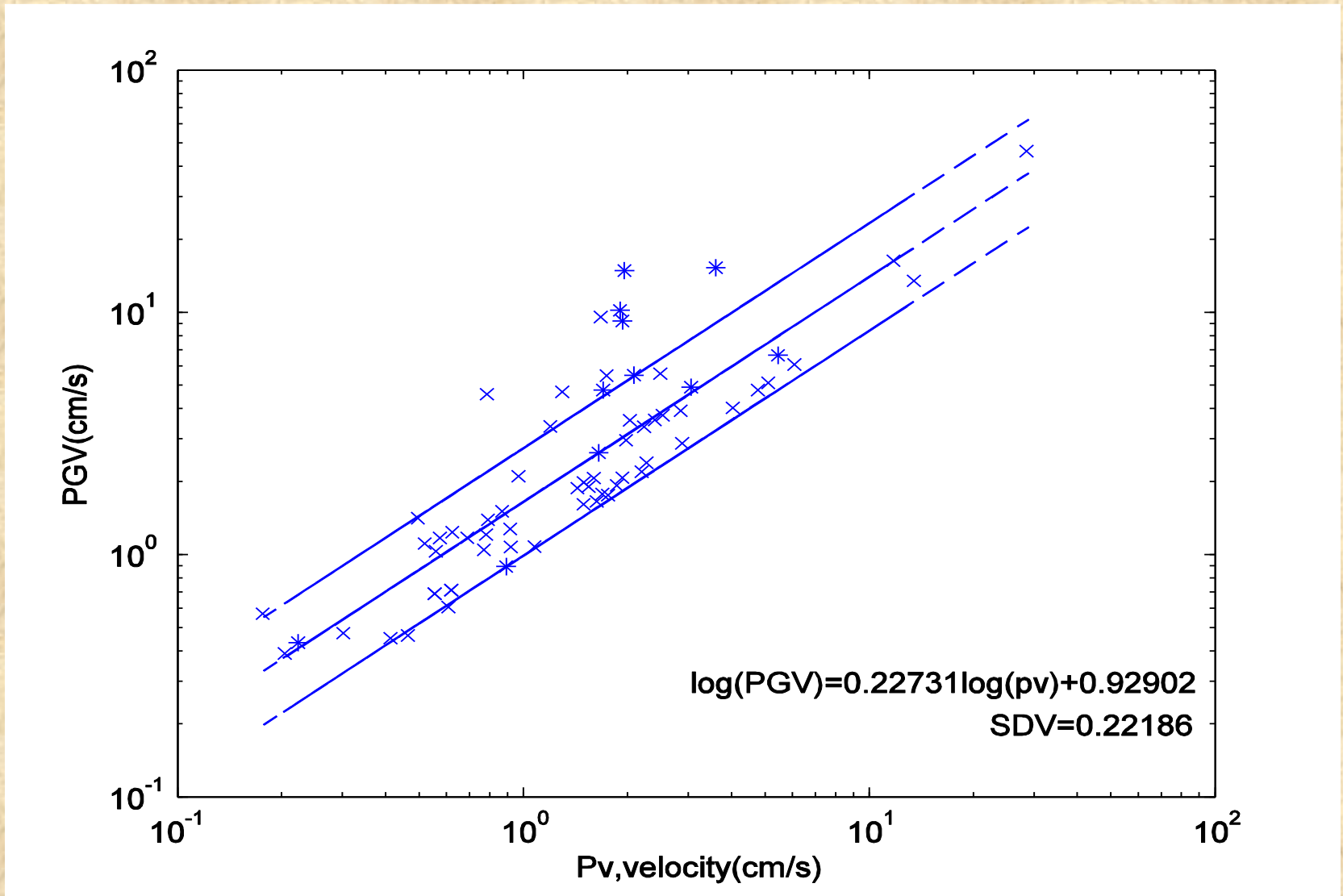
رابطه‌ی Pd و PGV



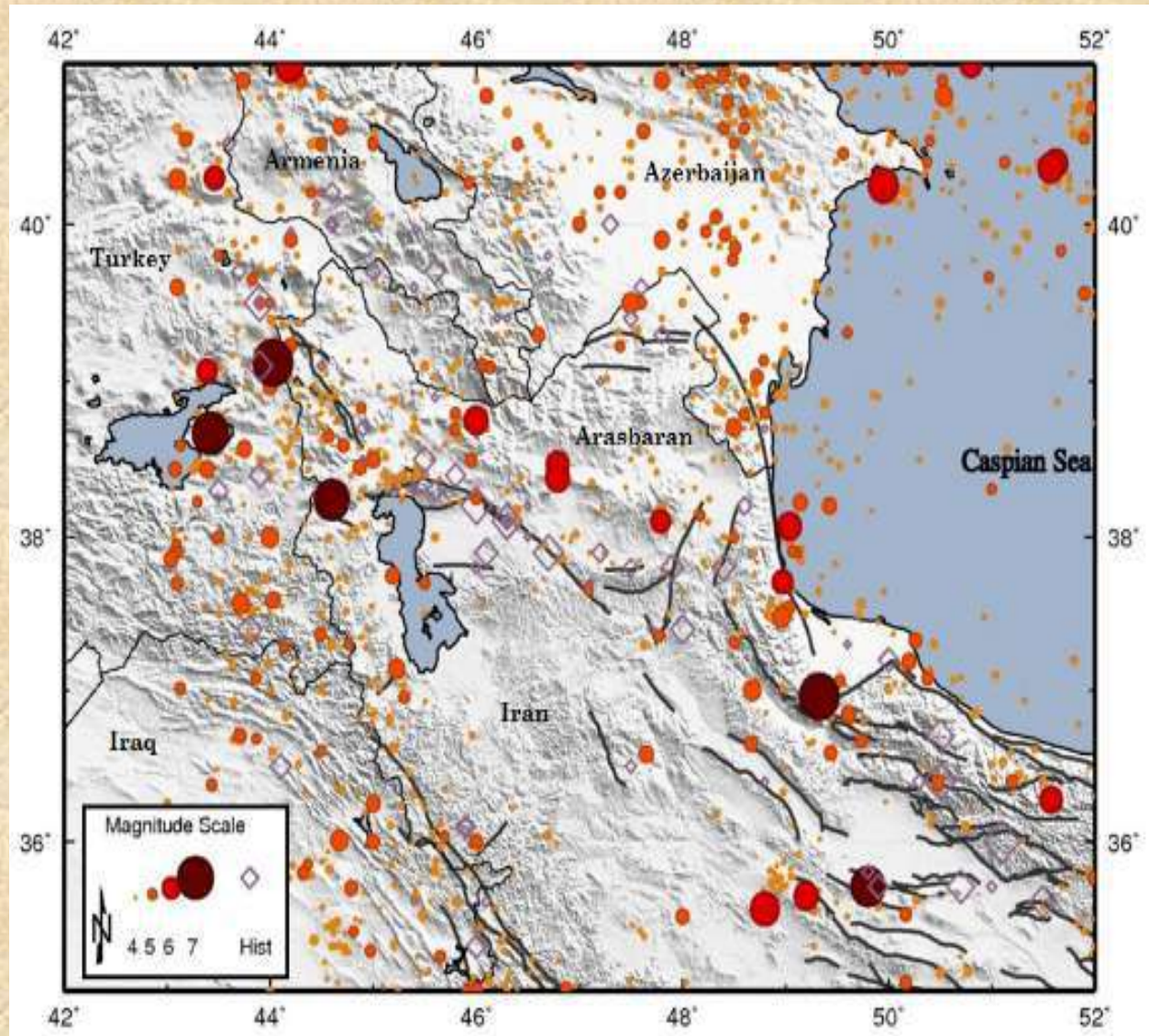
رابطه‌ی Pa و PGV



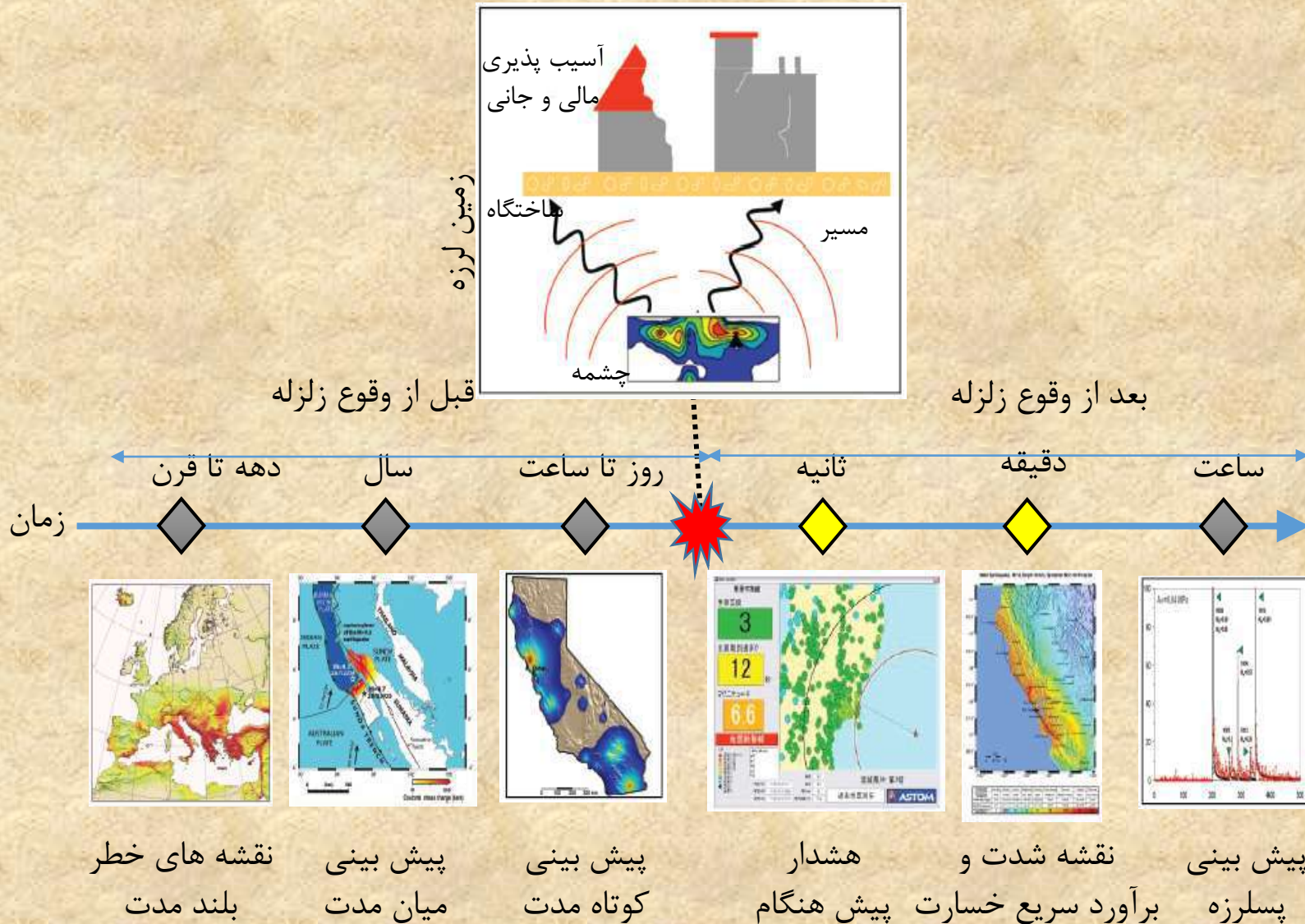
رابطه‌ی Pv و PGV



لرزه خیزی منطقه (گسل های اصلی - داده های تاریخی-دستگاهی)

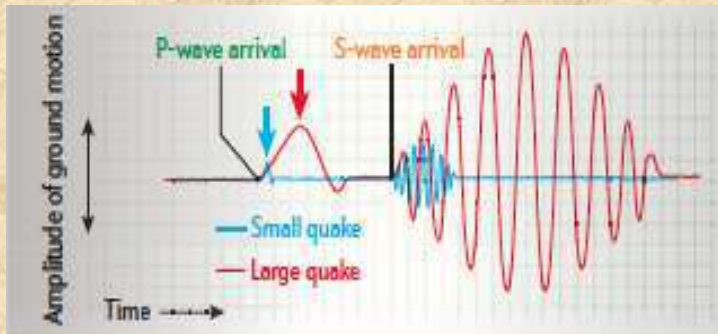


طبقه بندی پردازش خطر زمینلرزه

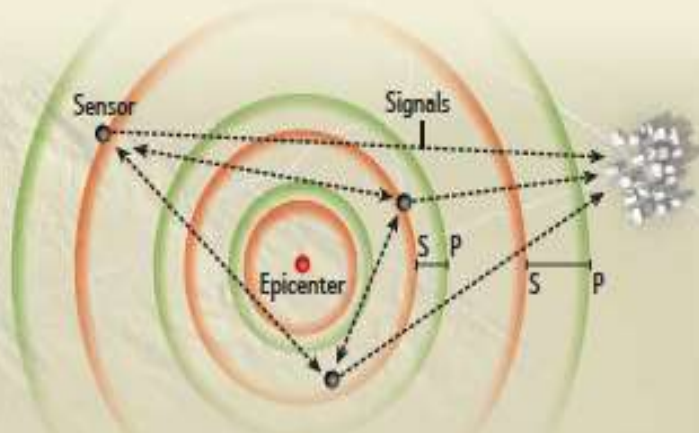


چرا سیستم هشدار پیش هنگام؟

figure from Allen 2011



Hundreds of small earthquakes happen every day, so warning systems identify the big ones by checking the shape of the P-wave. Small quakes have a short, sharp pulse (blue arrow), whereas big quakes announce themselves with a high-amplitude low-frequency jolt (red arrow).



Warning systems combine signals from a network of seismic stations to correlate big jolts and identify the epicenter. The system then sends an electronic alert ahead of the S-wave. As more stations detect shaking, magnitude and epicenter predictions become more refined.

امواج P حمل کننده اطلاعات هستند (سرعت ۶,۵ کیلومتر بر ثانیه)

امواج S حمل کننده انرژی میباشند (سرعت ۳,۵ کیلومتر بر ثانیه)

اما

سرعت انتقال داده ۳۰۰/۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه
اطلاعات اولیه سیستم هشدار سریع

تخمین رومرکز با استفاده از حداقل ۳ تا ۴ ایستگاه
تخمین بزرگ
تخمین شدت زلزله برای نقاط هدف

فراهم کردن وقت جهت اعلام
هشدار

عدم
قطعیت
مکانی

تابع
چگالی
احتمال
مکانی

مدل
سرعت

تشخیص
موج
فشاری

دریافت
امواج

رابط
شبکه لرزه
ای

تعیین محل رویداد
Earthquake location

تشخیص وقوع
Event detection

**سامانه هشدار
پیش هنگام**

مدل
تخمین
جنبش
زمین

تخمین
برای نقاط
خارج از
شکه

**نتایج ، هشدار و
خروجی**
Alarms and outputs

تعیین بزرگا
Magnitude estimation

ارسال نتایج
برای سامانه
لرزش

اعلام هشدار
برای مقاصد
خاص

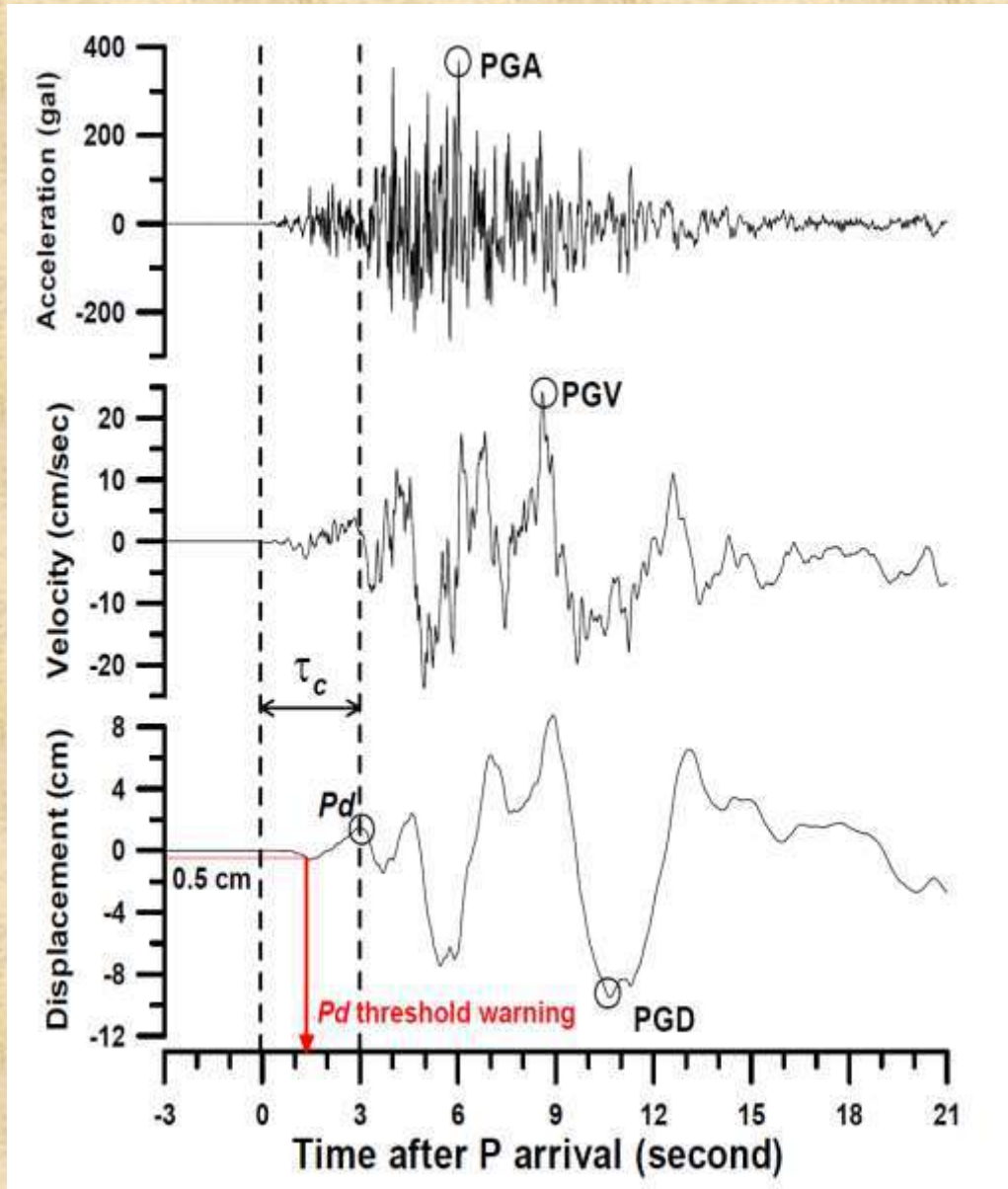
تخمین
موج
برشی

برآورد
حداکثر
تغییر
مکانی

تابع
چگالی
احتمال
مکانی

عدم
قطعیت
بزرگا

پارامترهای اصلی در سیستم



تعیین محل

تعیین محل
رویداد

خواندن
پارامترهای اولیه

خواندن فایل
های زمانی

شبکه بندی اولیه
مکانی

خواندن فایل
مسافت-زمان

حلقه تکرار
شونده
در زمان

کنترل وقوع
رویداد

جستجو بر
اساس
اختلاف زمانی
یکسان

جستجو در
شبکه

شتابنگار فعال
شده

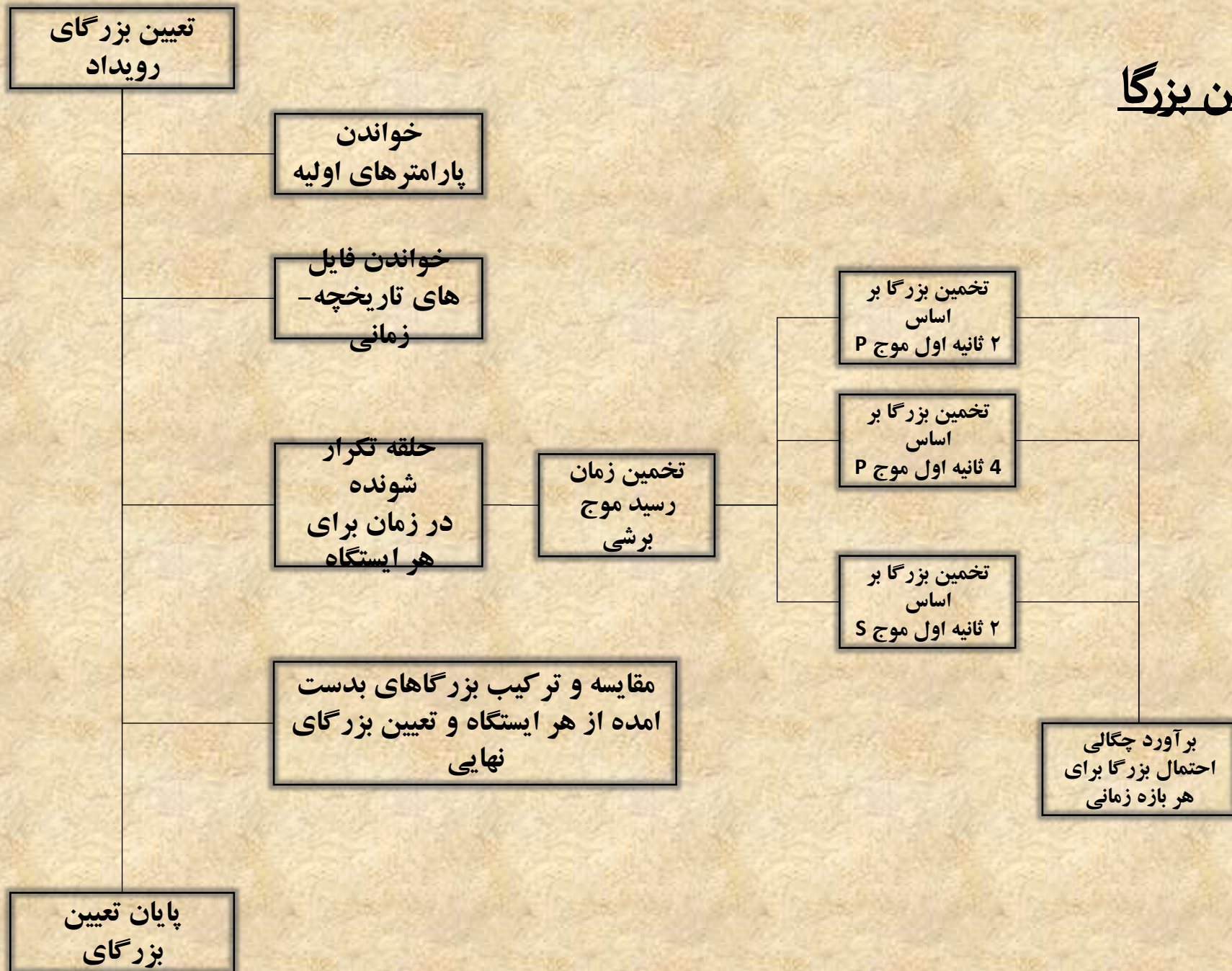
شتابنگار فعال
نشده

تعیین اطلاعات
مکانی

شبکه بندی جدید
مکانی

پایان تعیین محل

تعیین بزرگا



کاربرد سیستم هشدار پیش هنگام

۱- امنیت شخصی



۲- سیستمهای کنترل اتوماتیک



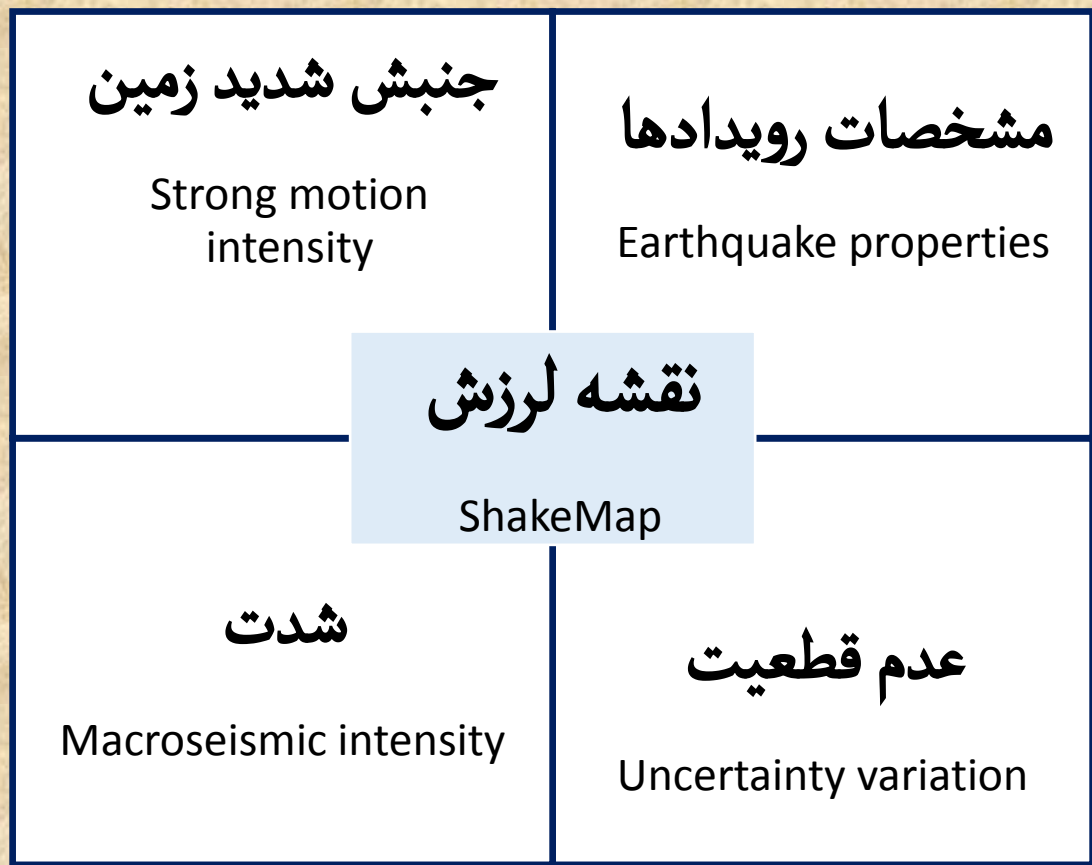
۳- وضعیت آماده باش



پردازش داده‌های شتاب‌نگاری

برآورد پارامترهای چشمه و مسیر

مقایسه روابط تخمینی



بررسی لرزه خیزی

تهیه کاتالوگ شدت

بزرگا

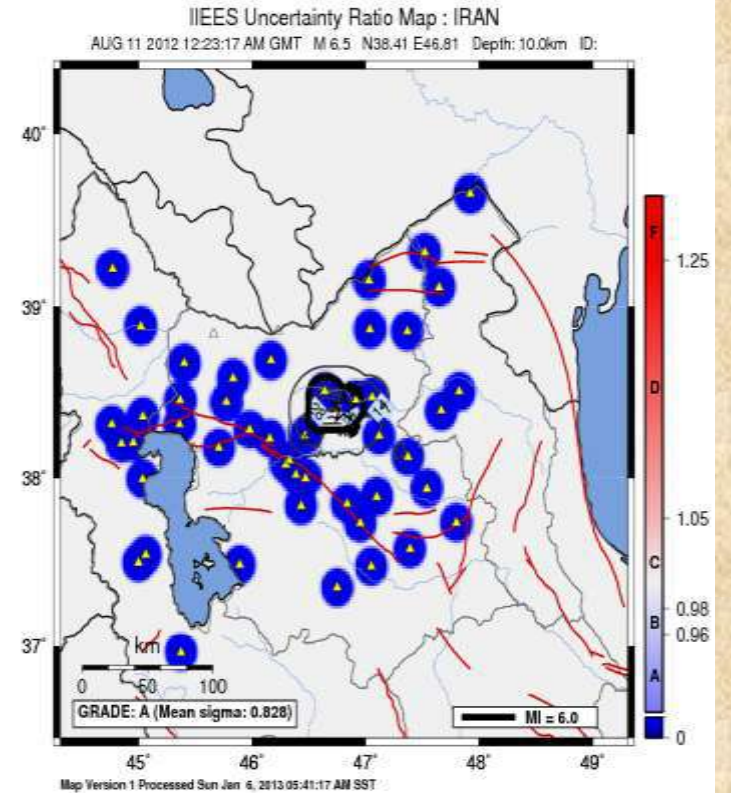
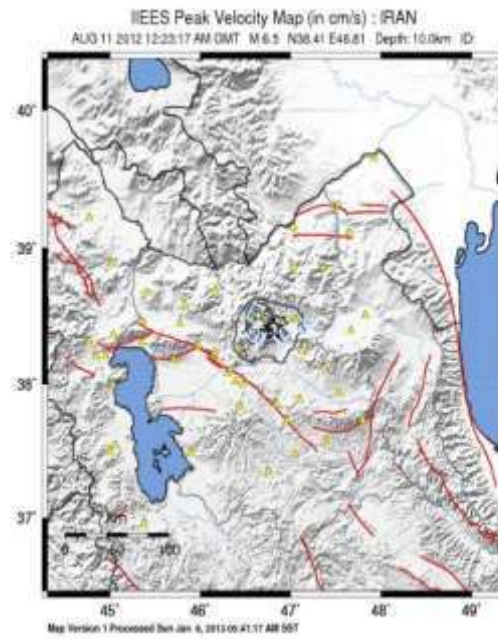
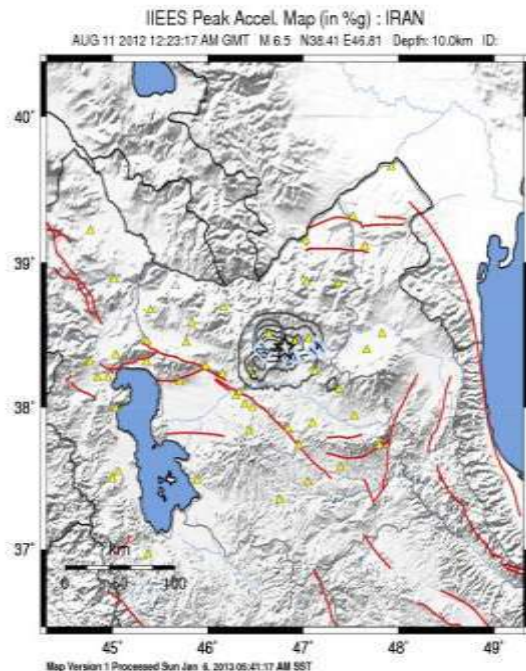
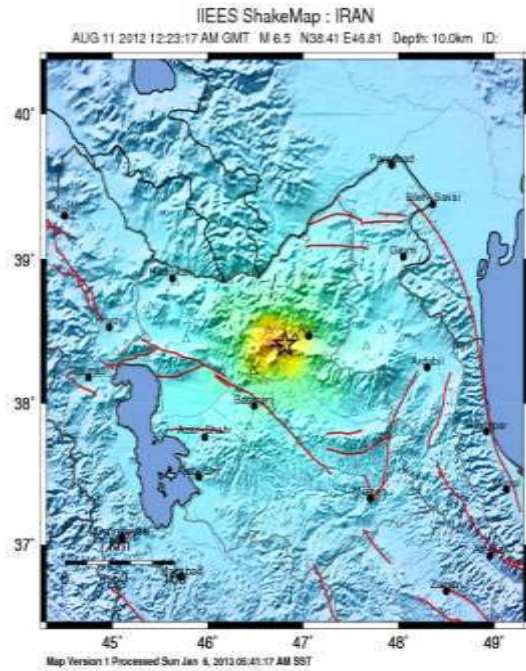
شدت

روابط تبدیلی

روابط تخمینی

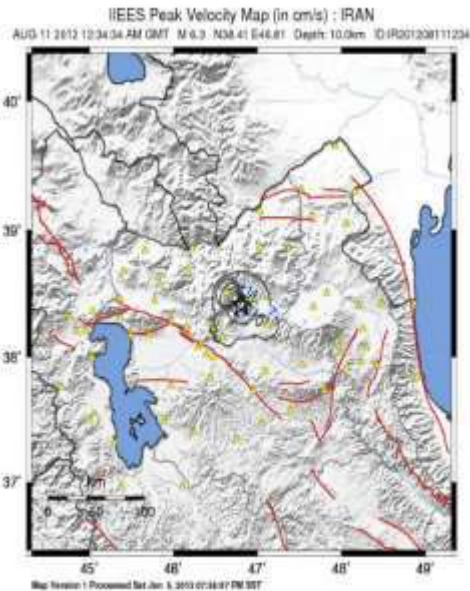
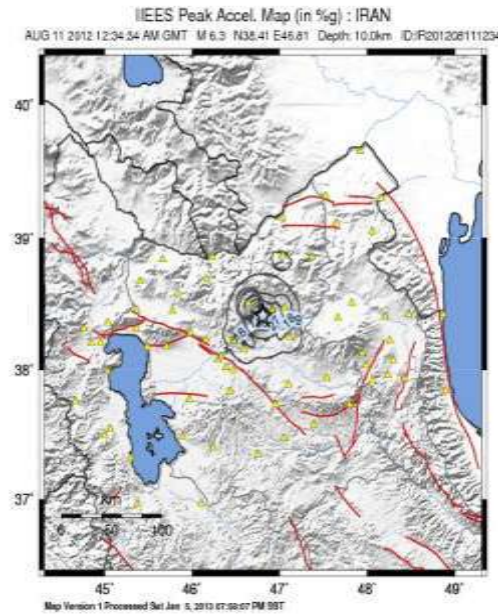
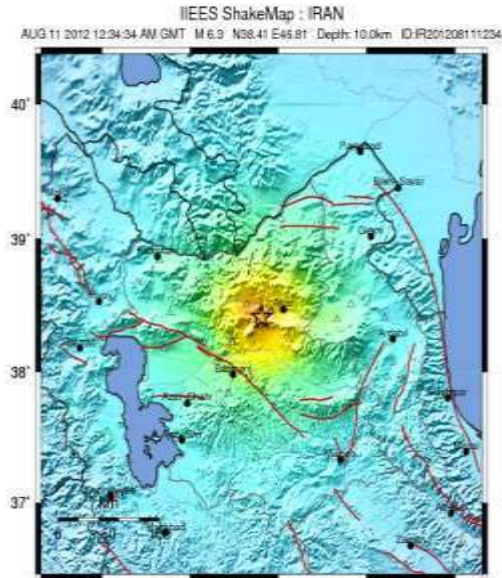
نقشه های لرزش: زمین لرزه مرداد ۱۳۹۱ ورزقان-اهر

رویداد اول با بزرگای ۶.۵

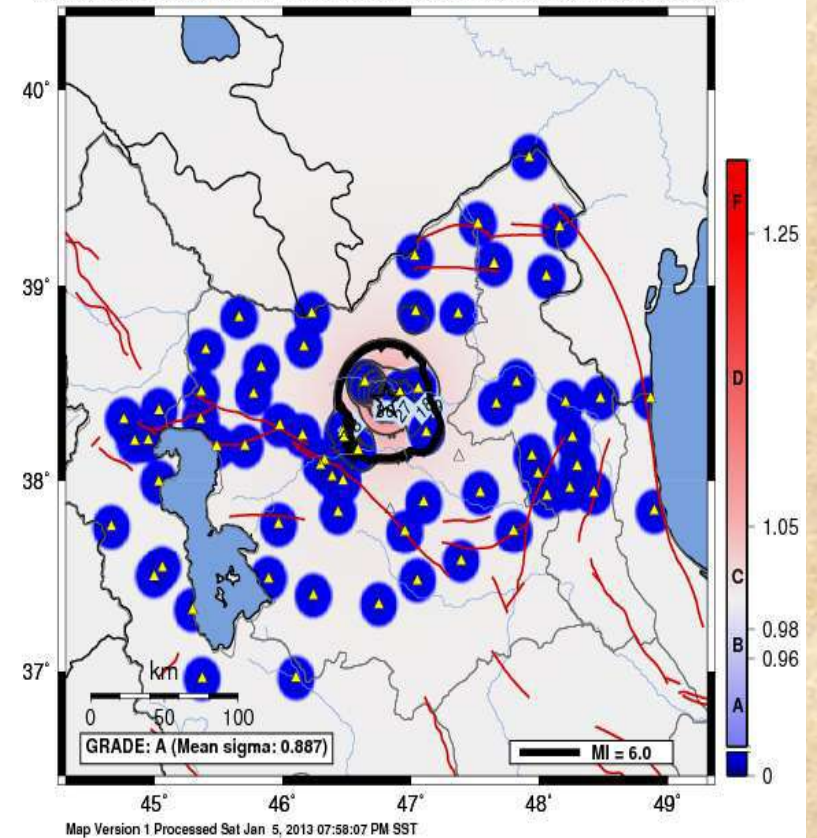


نقشه های لرزش: زمین لرزه مرداد ۱۳۹۱ ورزقان-اهر

رویداد دوم با بزرگای ۶.۳



IIEES Uncertainty Ratio Map : IRAN
AUG 11 2012 12:34:34 AM GMT M 6.3 N38.41 E46.81 Depth: 10.0km ID:IR201208111234



کاربرد نقشه های لرزش

اطلاع رسانی سریع مناطق آسیب دیده به مراکز امداد و نجات (توسط پیامک و اینترنت)

مدیریت بحران در اعزام به موقع نیروهای امداد و نجات

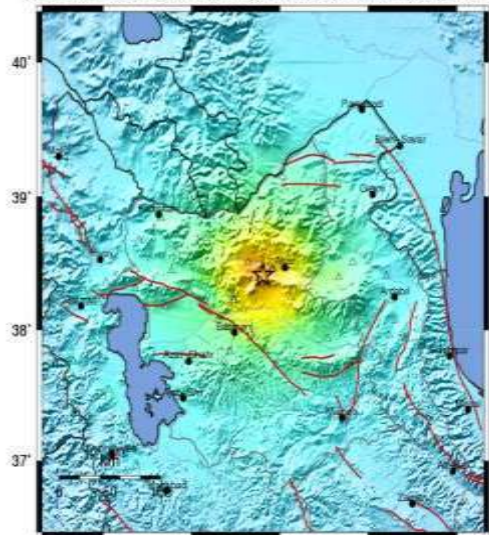
برآورد سریع تلفات جانی

برآورد سریع از میزان نیرو و تجهیزات مورد نیاز

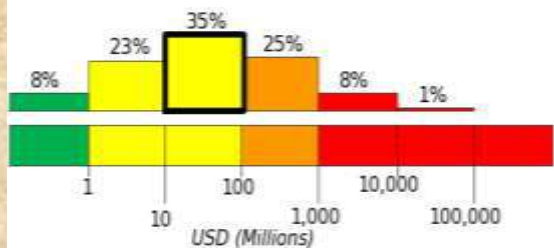
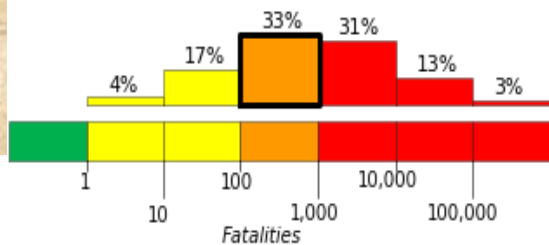
برآورد سریع خسارت مالی

مدیریت در تخصیص بودجه لازم جهت بازسازی

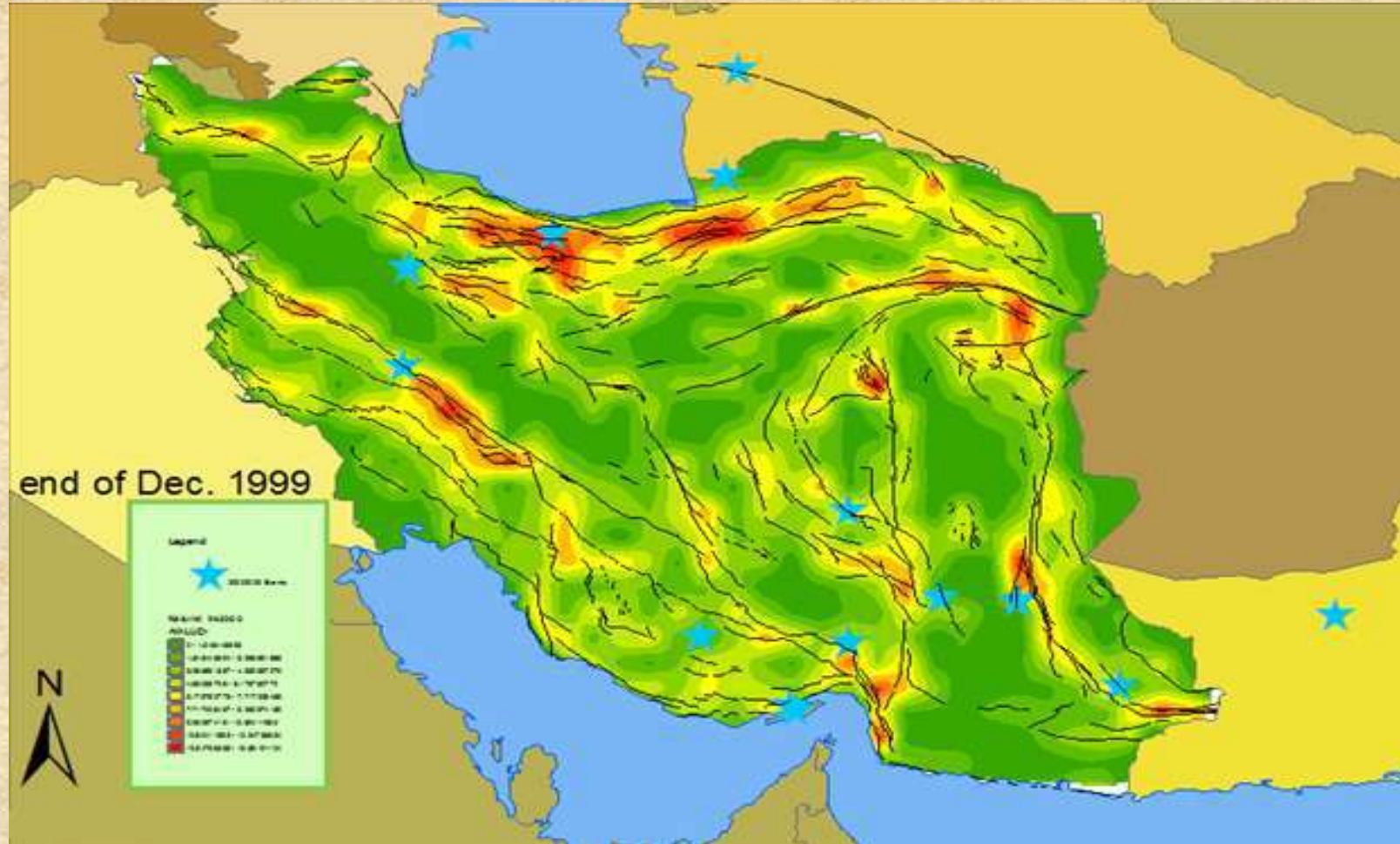
IIES ShakeMap : IRAN
AUG 11 2012 12:34:34 AM GMT M 6.9 N38.41 E45.81 Depth: 10.0km ID:IR201208111234



Map Version: 1 Processed Sat. Jan. 5, 2013 07:58:07 PM SST

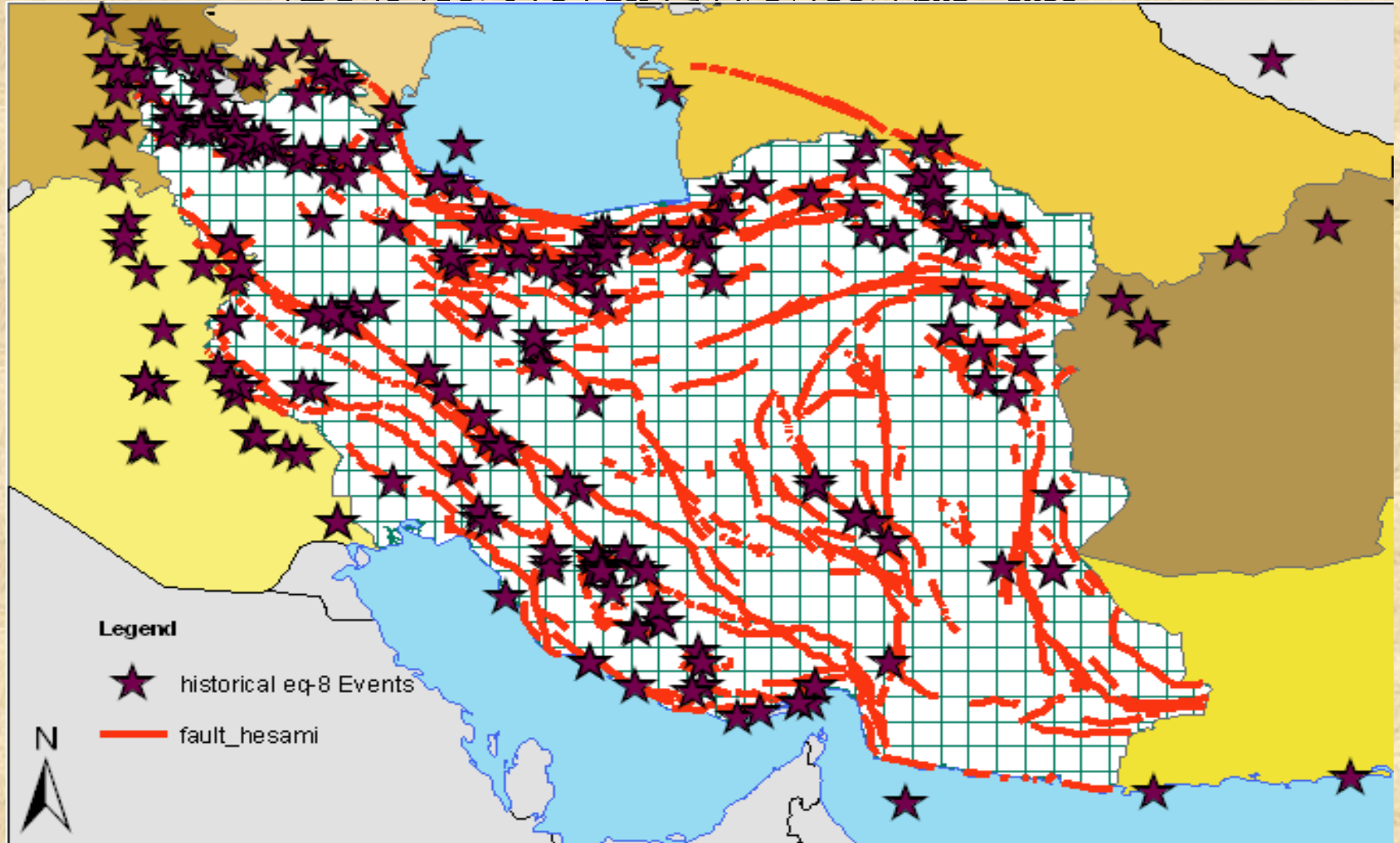


نقشه ابتدایی پیش بینی مکانی لرزه بر اساس اطلاعات در دسترس با در نظر گرفتن اینکه: امکان رخداد زلزله در مکان هایی که قبلا زلزله رخ داده است
امکان رخداد زلزله در محل گسل های فعال به ویژه تلاقی آنها
امکان رخداد زلزله در محل رخداد زمین لرزه های تاریخی مهم
خوشه های زلزله های کوچک تا متوسط پتانسیل رخداد زمین لرزه های بعدی را افزایش می دهد

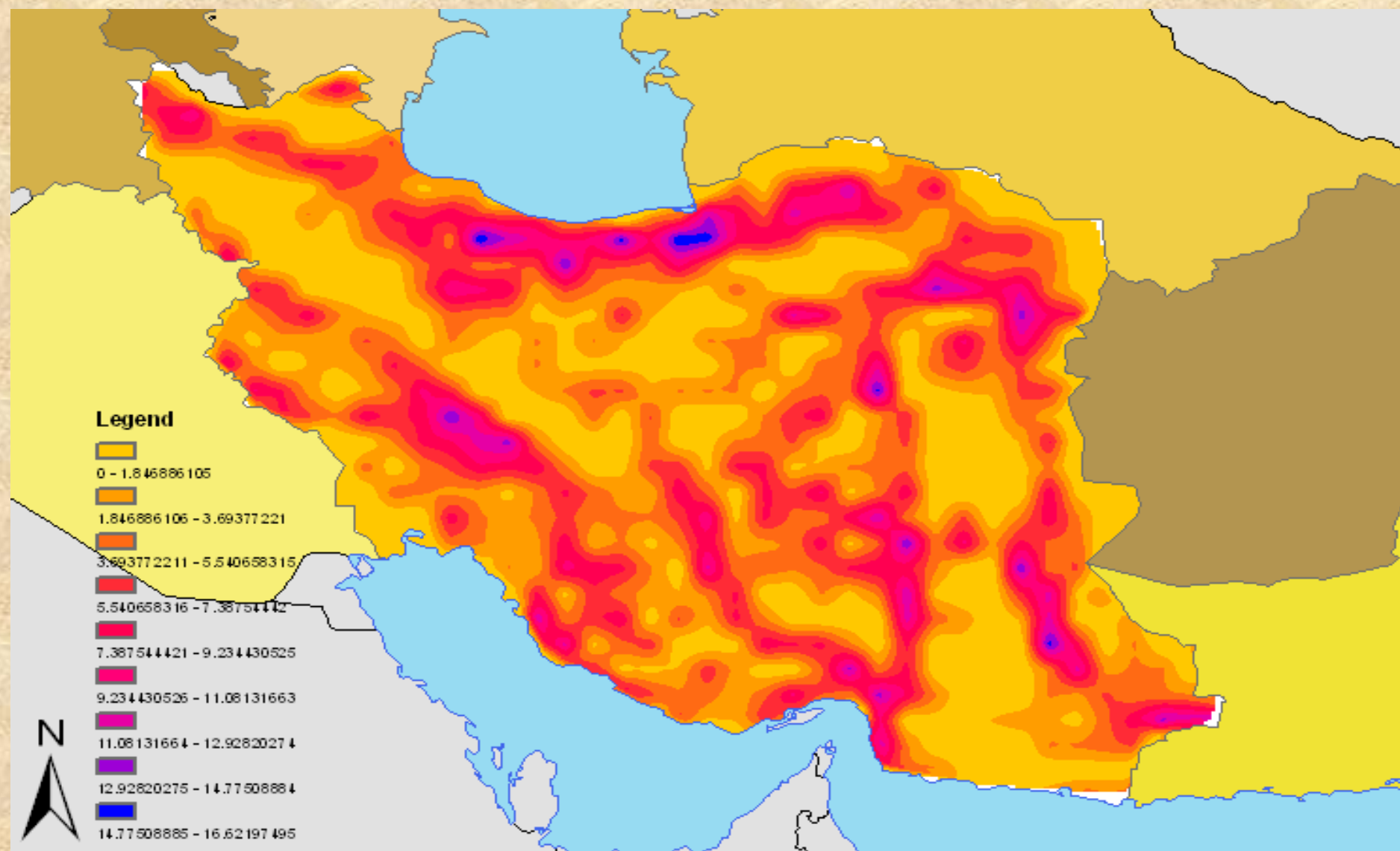


ستاره های آبی رنگ مربوط به زمین لرزه های با بزرگای ۶ که پس از سال ۱۹۹۹ رخ داده اند می باشد

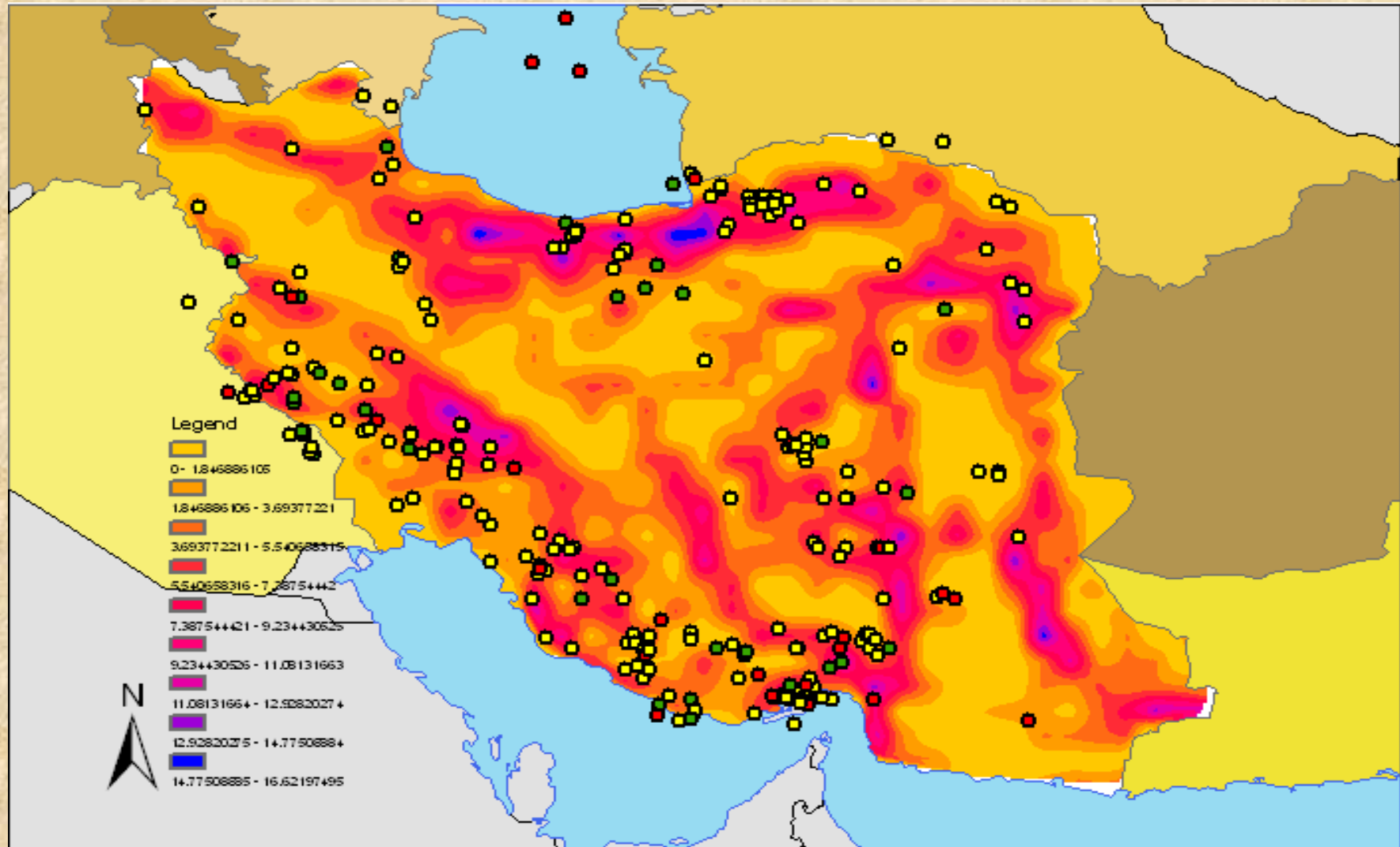
نقشه گسار های ایران و زمین لرزه های تاریخی



نقشه های پیش بینی بدون در نظر گرفتن رخداد زلزله



زمین لرزه های شش ماه اخیر



با تشکر



کوزه اژدها- اولین زلزله نگار (موزه علوم زمین دانشگاه پلی تکنیک زوریخ)