

Ενδιάμεσης Χρονικής Διάρκειας Πρόγνωση Σεισμών και Χρονικά Μεταβαλλόμενη Εκτίμηση της Σεισμικής Επικινδυνότητας

Δρ. ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ

Σεισμολόγος - Διευθυντής Ερευνών

chpapai@itsak.gr

A woman with dark hair, wearing a green headscarf with gold patterns, a white blouse with puffed sleeves, and a gold necklace, holds a glowing golden orb in her hands. She is looking down at the orb with a focused expression. The background is plain white.

Πρόγνωση των σεισμών

“The Holy Grail of Seismology”

Σεισμοί και ρήγματα

Είναι δυνατή η πρόγνωση των σεισμών, ιδίως σε ένα συγκεκριμένο ενεργό ρήγμα;

➤ Από την αρχαιότητα φάνηκε ότι είναι ένα πολύ...

Δύσκολο Πρόβλημα !!!

➤ Στροφή Σεισμολογίας σε άλλα θέματα όπως:

- Δομής εσωτερικού της Γης
- Διάδοσης σεισμικών κυμάτων
- Μελέτης της σεισμικής διάρρηξης

BREAKING NEWS

KIRSTIE ALLEY: I CAN PREDICT EARTHQUAKES



AS if there aren't enough earthquake jokes swirling around - now the plus-size actress Kirstie Alley is saying that she can foretell the terrible tremblers.

"I can predict earthquakes," claims Alley, 53. "But it doesn't come across like this - 'There's going to be an earthquake.'"

"If you are staying at my house, it would go, 'Let's move the bed away from that big chandelier - just for tonight.'"

Alley notes that she gets her premonitions from something in the air.

"I'm not thinking there's going to be an earthquake," she explains. "I'm just getting everything safe. I think something happens to the barometric pressure and I notice it."

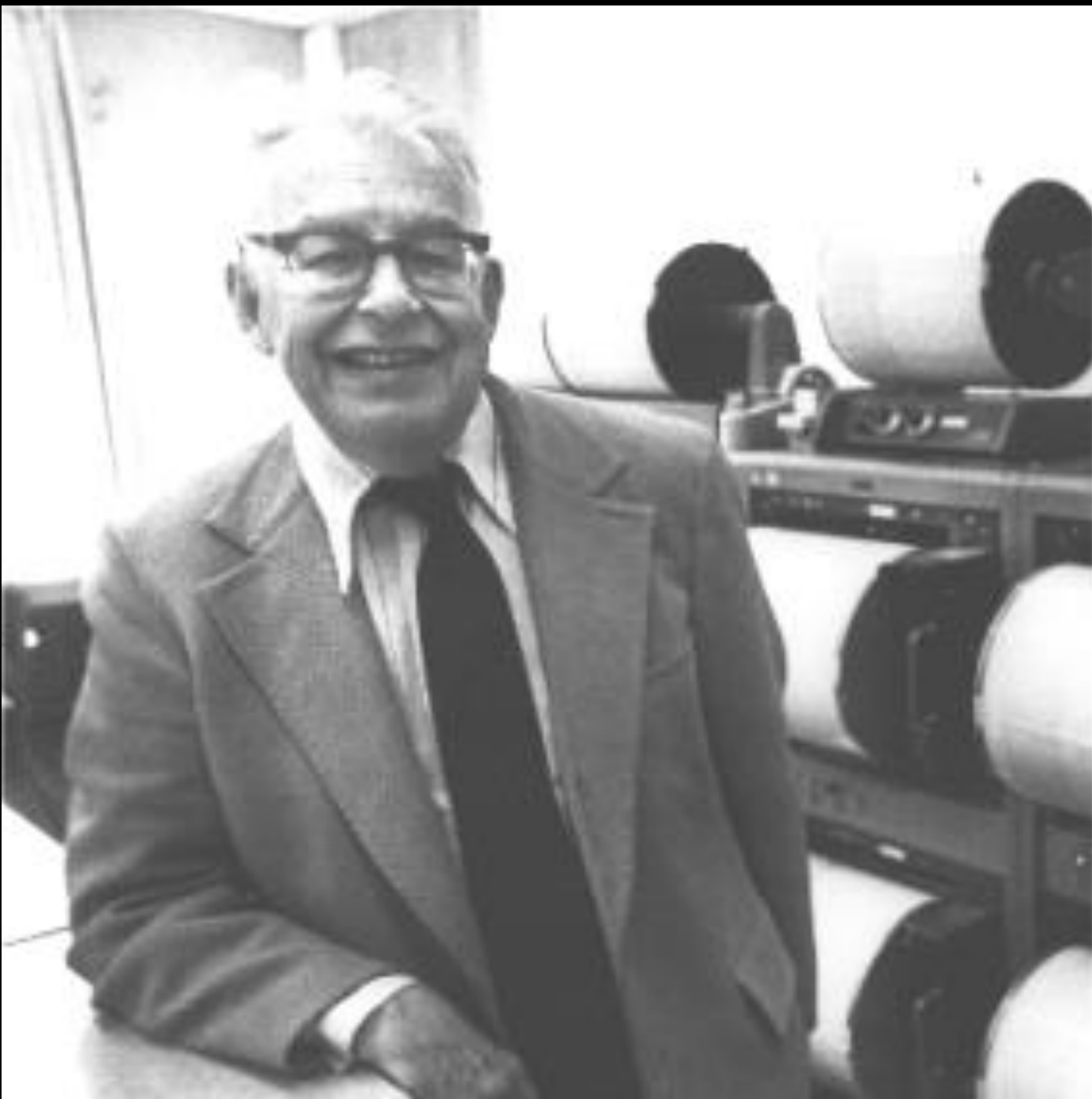
Alley says that her sixth sense came in handy during California's big Northridge earthquake in 1994. She remembers calling home to ask the fire department to come over "just to tell us what to do in an earthquake."

She adds, "Then, Sunday morning at 4 a.m., BAM! This earthquake hits. But I knew exactly what to do."

The former *Cheers* star, who was once wed to a veterinarian, also claims to be in tune with animals.

GLOBE

September 20, 2004



“Από τότε που ασχολούμαι με τη Σεισμολογία, φοβόμουν πάντα τις προγνώσεις και αυτούς που τις έκαναν.

Οι δημοσιογράφοι και ο κόσμος σπεύδουν να πιστέψουν κάθε πρόγνωση σεισμού σαν τα γουρούνια που ορμούν σε σκάφη γεμάτη φαγητό...”

Charles Richter (1977)

Τι είναι «Πρόγνωση» σεισμών

Με τον όρο «**Πρόγνωση συγκεκριμένου σεισμού**»
εννοούμε τη γνώση του :

- 🌐 Χώρου γένεσης
- 🌐 Χρόνου γένεσης
- 🌐 Μεγέθους

καθώς και των αντιστοίχων τριών (σχετικώς μικρών)
αβεβαιοτήτων (παραθύρων, σφαλμάτων) πριν από
τη γένεση του σεισμού.

**Η ΓΝΩΣΗ ΑΥΤΗ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΕΙ
ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ.**

Ποιά θεωρείται επιτυχής πρόγνωση;

Πρέπει ο σεισμός να γίνει μέσα στα τρία παράθυρα
(χρόνου, χώρου, μεγέθους) που είχαν προκαθοριστεί.

Τι είναι επιστημονικά έγκυρη πρόγνωση;

Είναι μια επιτυχής πρόγνωση η οποία είναι αποτέλεσμα εφαρμογής
συγκεκριμένης επιστημονικής μεθοδολογίας:

- Επιστημονική μέθοδος
- Δεδομένα παρατήρησης
- Πιθανότητα γένεσης μικρότερη από την πιθανότητα τυχαίας γένεσης

**Μόνο οι έγκυρες προγνώσεις έχουν επιστημονικό, αλλά και
κοινωνικό ενδιαφέρον.**

ΠΟΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ?

- **Μακροπρόθεσμη** Πρόγνωση Σεισμών (μερικές δεκαετίες)
- **Μεσοπρόθεσμη** Πρόγνωση Σεισμών (μερικά έτη)
- **Βραχυπρόθεσμη** Πρόγνωση Σεισμών (από μέρες μέχρι εβδομάδες)

Βραχείας διάρκειας πρόγνωση σεισμών (Short-term earthquake prediction)

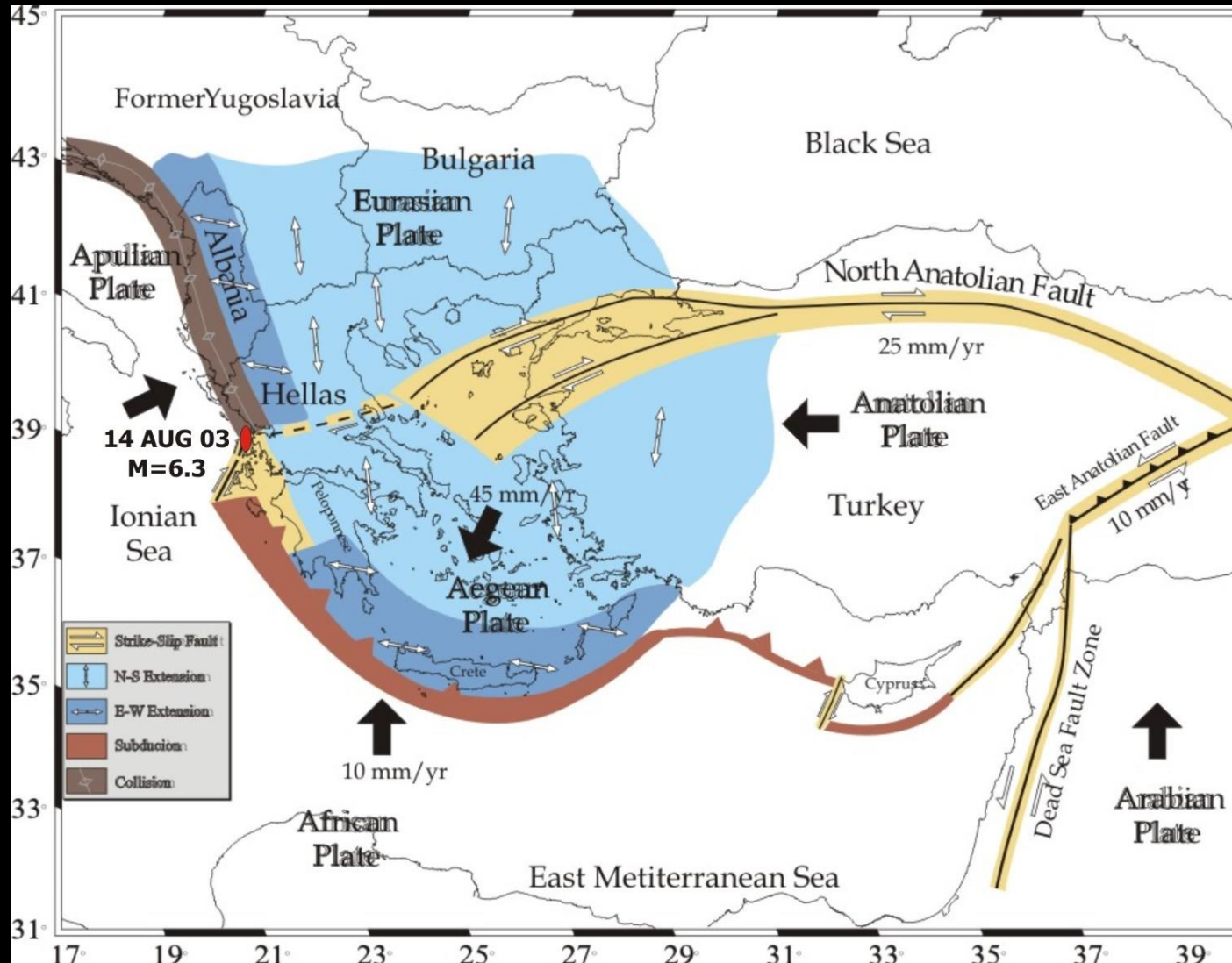
- **Προπαρασκευαστικό στάδιο** στον εστιακό (σεισμογόνο) χώρο του σεισμού.
- Συνέπεια των φυσικών διαδικασιών κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο: Εμφάνιση **προδρόμων φαινομένων** τα οποία όχι μόνον προηγούνται του σεισμού αλλά έχουν και **αιτιακή σχέση** με αυτόν.

Συνεχή και ακριβέστερη μέτρηση διαφόρων φυσικών παραμέτρων, ώστε να καθοριστούν οι **κανονικές τιμές** των παραμέτρων αυτών και οι **μεταβολές** εκείνες που είναι αποτέλεσμα διαδικασιών που συμβαίνουν στους εστιακούς χώρους μεγάλων σεισμών **πριν από τη γένεσή τους**.

Πρόδρομα Φαινόμενα

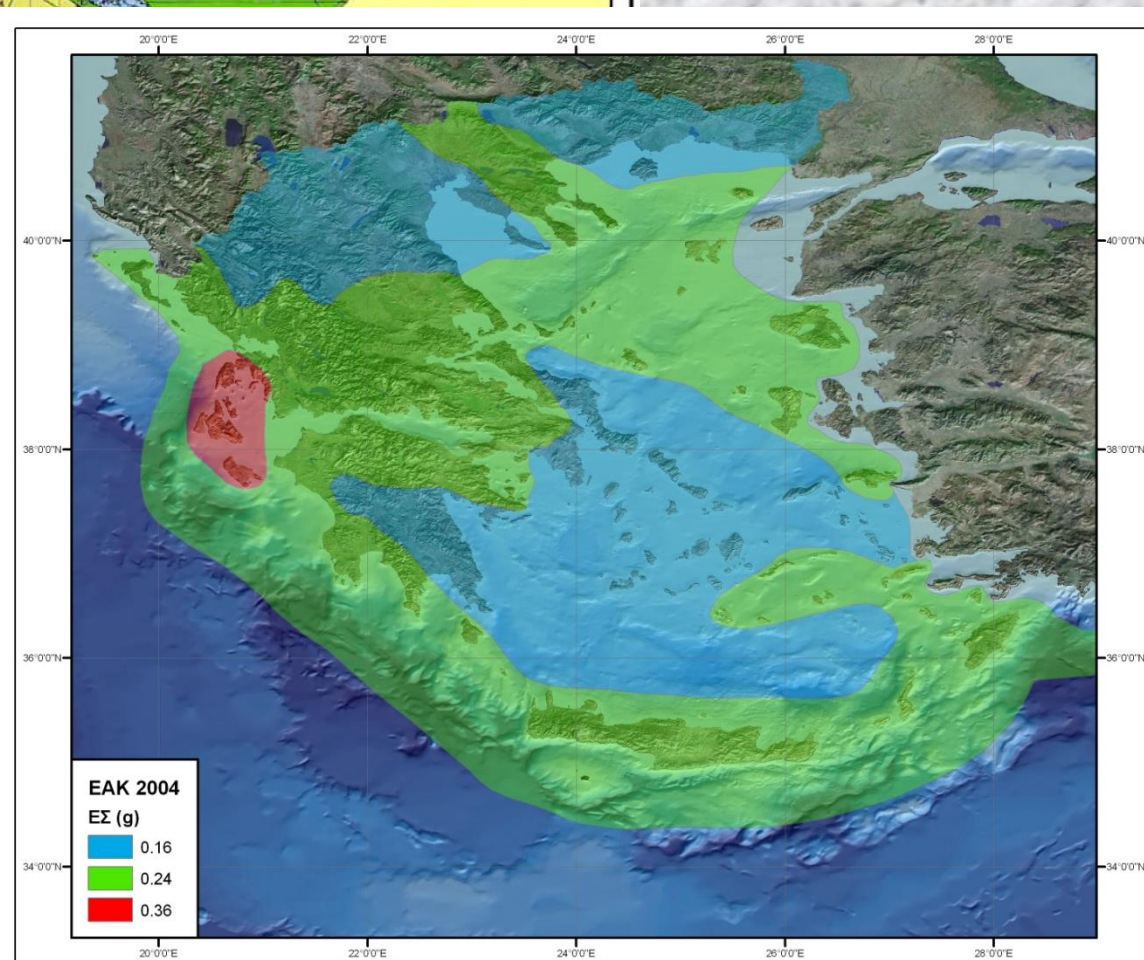
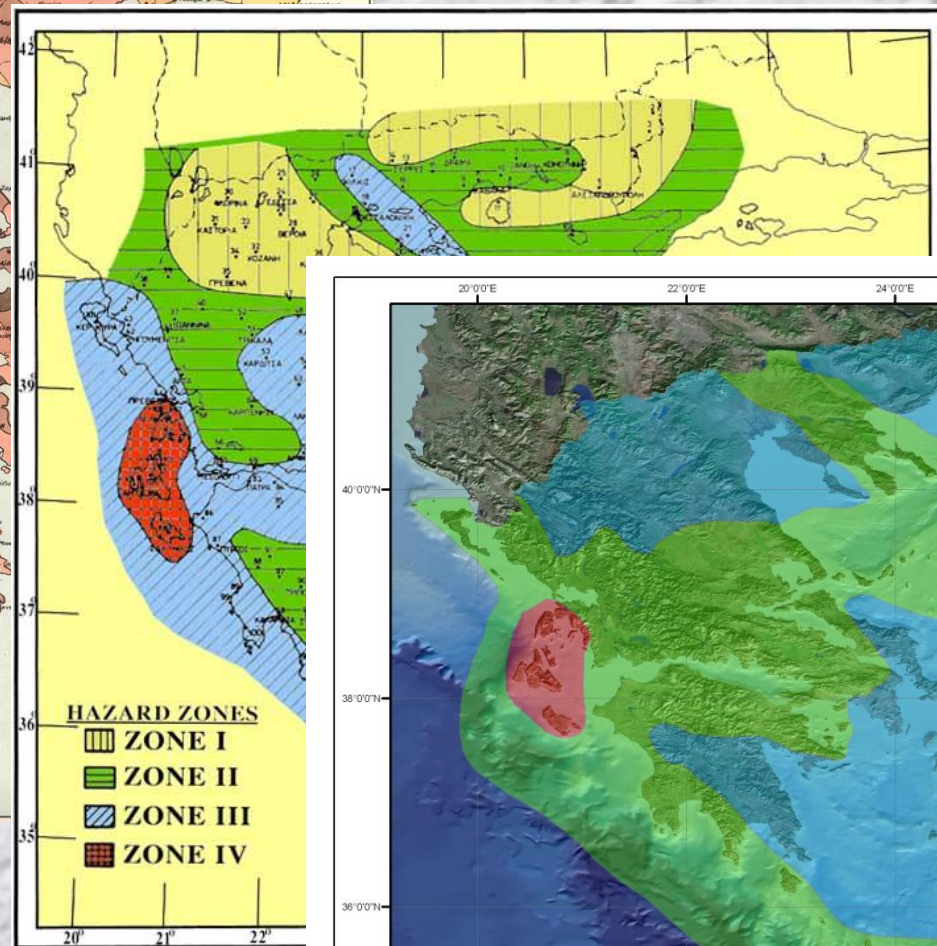
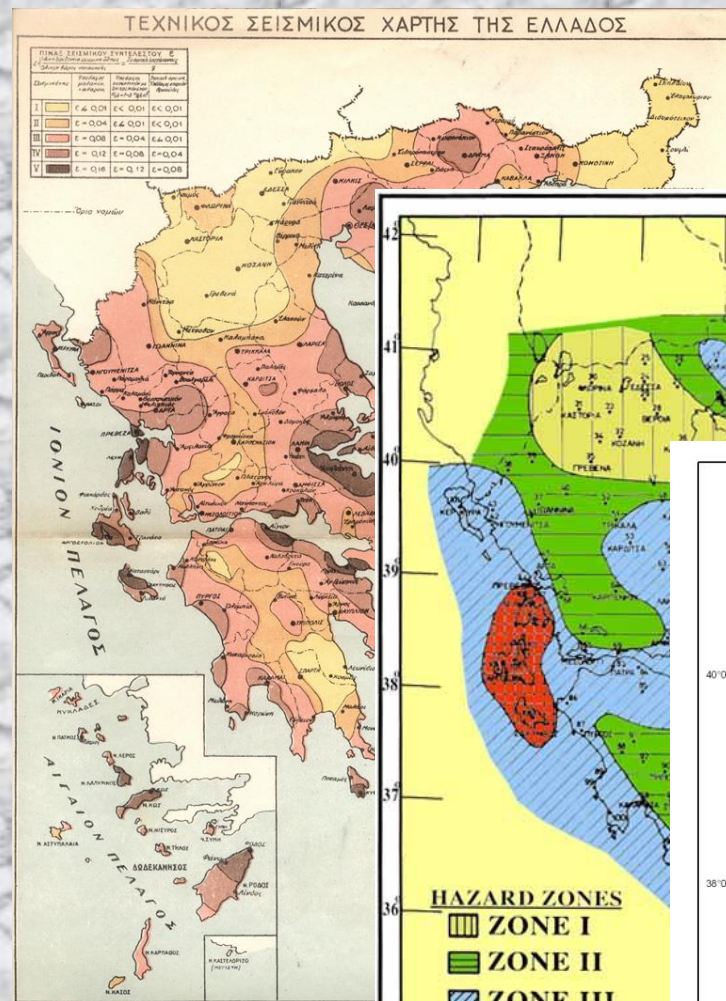
- ◀ Παραμορφώσεις του φλοιού της Γης
- ◀ **Μεταβολές της σεισμικής δράσης**
- ◀ Μεταβολές γεωφυσικών παραμέτρων

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΥΡΥΤΕΡΟΥ ΑΙΓΙΑΚΟΥ ΧΩΡΟΥ



Papazachos et al., 1999
Boll. Geof. Teor. Appl

1956 Ρουσσόπουλος



M=4.7 ΧΘΕΣ ΤΟ ΑΠΟΓΕΥΜΑ

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

**Ρωγμές σέ τρία σπίτια στόν
Περιστερώνα.-260 χλ. βορεί-
ος τών Αθηνών τό επίκεντρο**

Σεισμική δόνηση, ελάχιστης διάρκειας, έγινε αισθητή χθές, στίς 5.39 τό απόγευμα, στή Θεσσαλονίκη, σχεδόν σ' όλη τή Χαλκιδική, τήν περιοχή Ζαγκλιβερίου και τήν περιοχή του Λαγκαδά, από τά όρια μέ τό νομό Σερρών, μέχρι και τή Βόλβη. Στή Θεσσαλονίκη, έγινε αισθητή και δεύτερη δόνηση, κατά πολύ ασθενέστερη τής πρώτης, στίς 5.44 τό απόγευμα.

Οι μοναδικές ζημιές, πού αναφέρθηκαν, από τίς κατά τόπους διοικήσεις χωροφυλακής, ήταν στήν περιοχή του Ζαγκλιβερίου και συγκεκριμένα στήν κοινότητα Περιστερώνα.

Σέ τρία παλιά, αλλά κατοικήσιμα σπίτια, προκλήθηκαν ρωγμές και οι ζημιές υπολογίζονται σέ 200.000 δρχ. Ζημιές προκλήθηκαν στα σπίτια τών Κων. Αλ. Κωνσταντινίδη,

**Μακεδονία
9 Μαΐου 1978**

τρίτου είναι μικρότερες.

Από τό γεωδυναμικό Ινστιτούτο του έθνικού άστεροσκοπείου Αθηνών ανακοινώθηκε, ότι χθές στίς 17.39' 41'' άνεγράφη υπό τών σειсмоγράφων αυτόν μετρίως ισχυρά σεισμική δόνηση, μεγέθους 4,5 τής κλίμακος Ρίχτερ, προερχόμενη από άπόσταση 260.000 μέτρων βορείως τών Αθηνών.

Τήν δόνηση αυτή, επηκολούθησε και άλλη, ασθενέστερη, μεγέθους 4,5 προερχόμενη από τήν ατή περιοχή. Καί οι δύο δονήσεις έγιναν αισθητές στή Θεσσαλονίκη.

M=4.6

ΚΑΙ ΝΕΟΣ ΣΕΙΣΜΟΣ ΜΕΣΑ ΣΕ 48 ΩΡΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

**Ρωγμές σέ 14 σπίτια καί στήν έκκλη-
σία του Περιστερώνα.- Αίσθητός και
στή Δράμα, Πολύγυρο, Κιλκίς, Λαγκαδά**

Και νέα σεισμική δόνηση, ισχυρής έντάσεως, σημειώθηκε χθές στίς 4.13 τό απόγευμα στήν περιοχή Θεσσαλονίκης. Ο σεισμός έγινε αισθητός και στόν Πολύγυρο, τή Δράμα, τήν Αρναία, τό Κιλκίς και τό Λαγκαδά. Η διάρκεια του ήταν ελάχιστα δευτερόλεπτα.



Γιά δεύτερη φορά μέσα σέ 48 ώρες ο σεισμός προκάλεσε σημαντικές ζημιές σέ 14 σπίτια τής κοινότητας Περιστερώνα Θεσσαλονίκης, καθώς και στήν έκκλησία του χωριού. Σέ πολλά από τά σπίτια σημειώθηκαν σοβαρές ρωγμές, ενώ μερικά εκφράζονται ύπνοιες, ότι θα χαρακτηρισθούν επικίνδυνα γιά τή διαμονή κατοίκων. Γιά τίς ζημιές στα σπίτια και τήν έκκλησία

**Μακεδονία
11 Μαΐου 1978**

ΠΕΜΠΤΗ

**11
ΜΑΪΟΥ 1978**

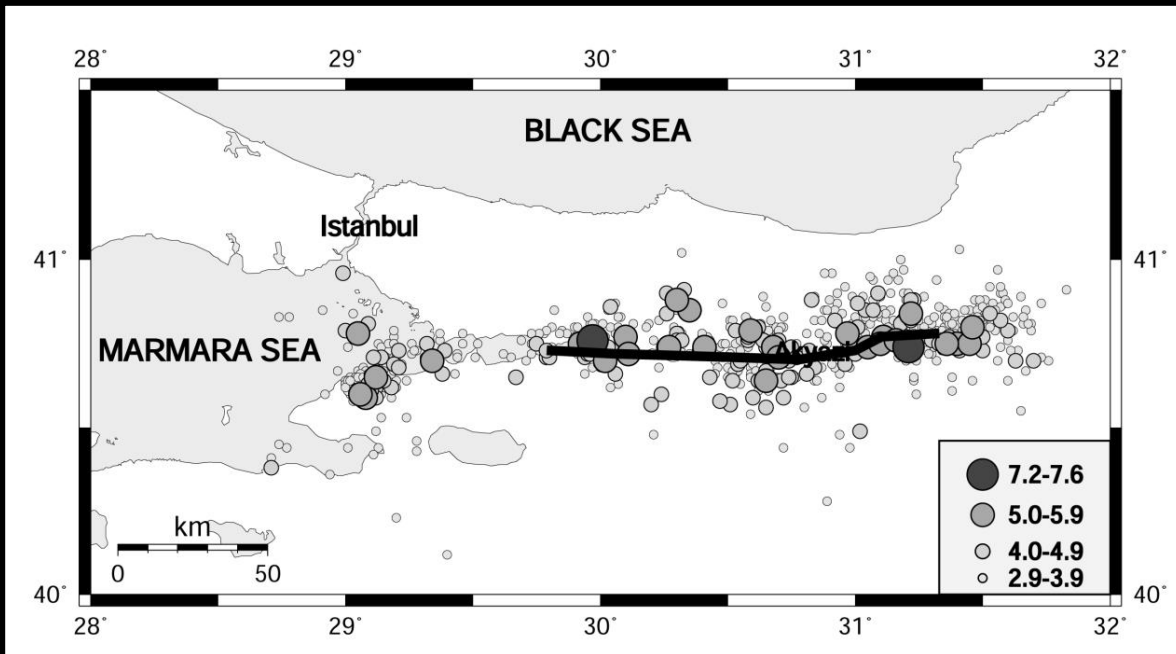
ΕΤΟΣ 67ο ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ 19

ΤΙΜΗ ΦΥΛΛΟΥ 2 ΔΡΑΧΜΕ

Ιδρυτής Κ. ΒΕΛΛΙΔΗΣ (19
Ιδιοκτήτης ΚΑΡΑ ΒΕΛΛΙΔΗΣ
Γραφεία ΜΟΝΑΧΙΑΝΟΥ 8
Τηλεφωνικό κέντρο: 521-62

Από τά συμβούλ

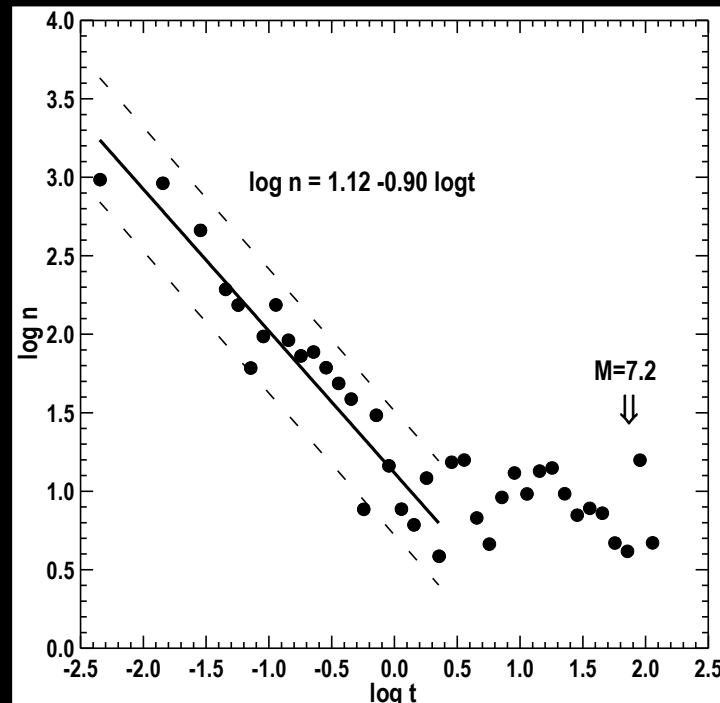
ΠΡΟΑΓΩΓΕΣ



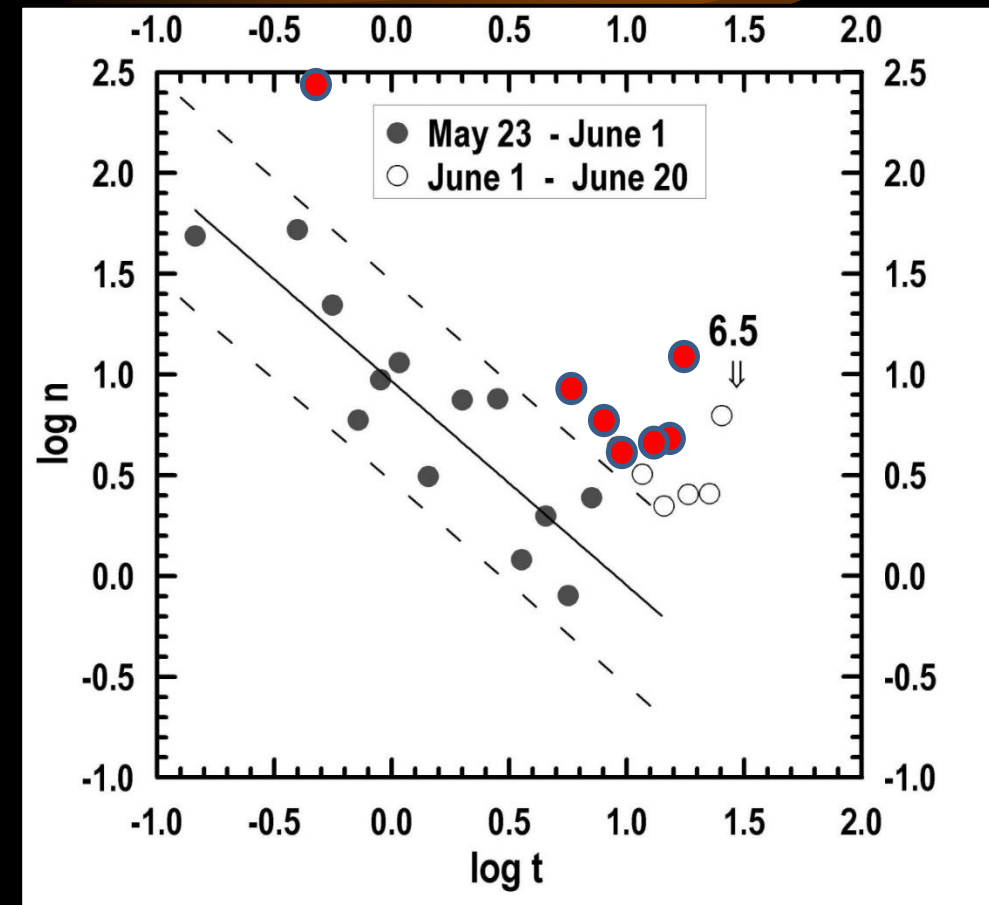
Η μετασεισμική ακολουθία του
σεισμού του Izmit (**$M=7.5$, 17.8.1999**)

12 Νοεμβρίου 1999

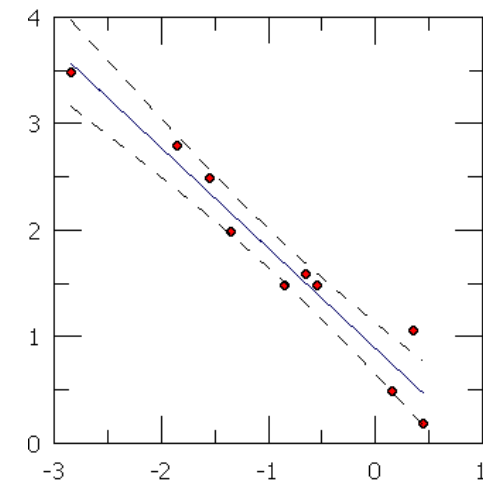
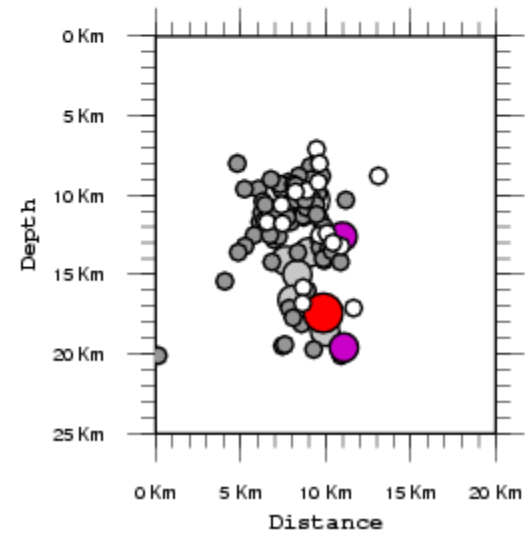
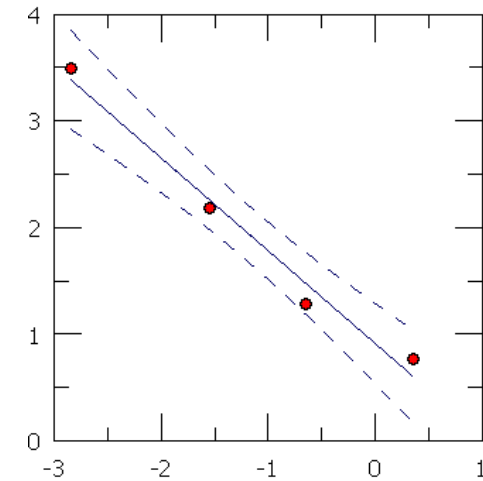
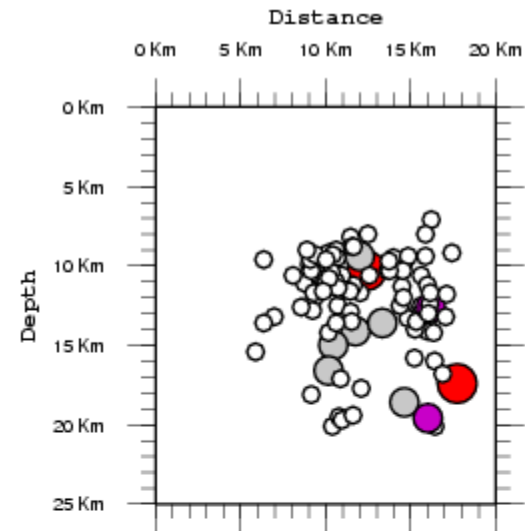
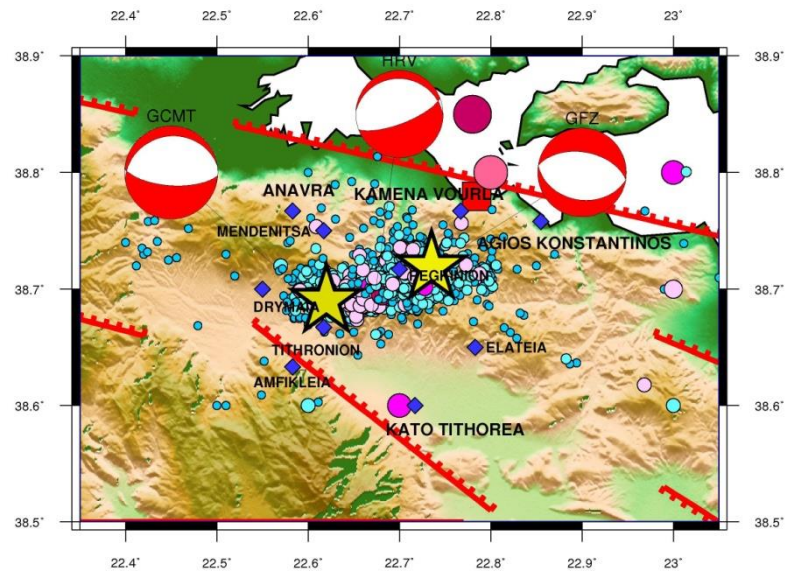
Ducze (150 km ανατολικά), **$M=7.2$**



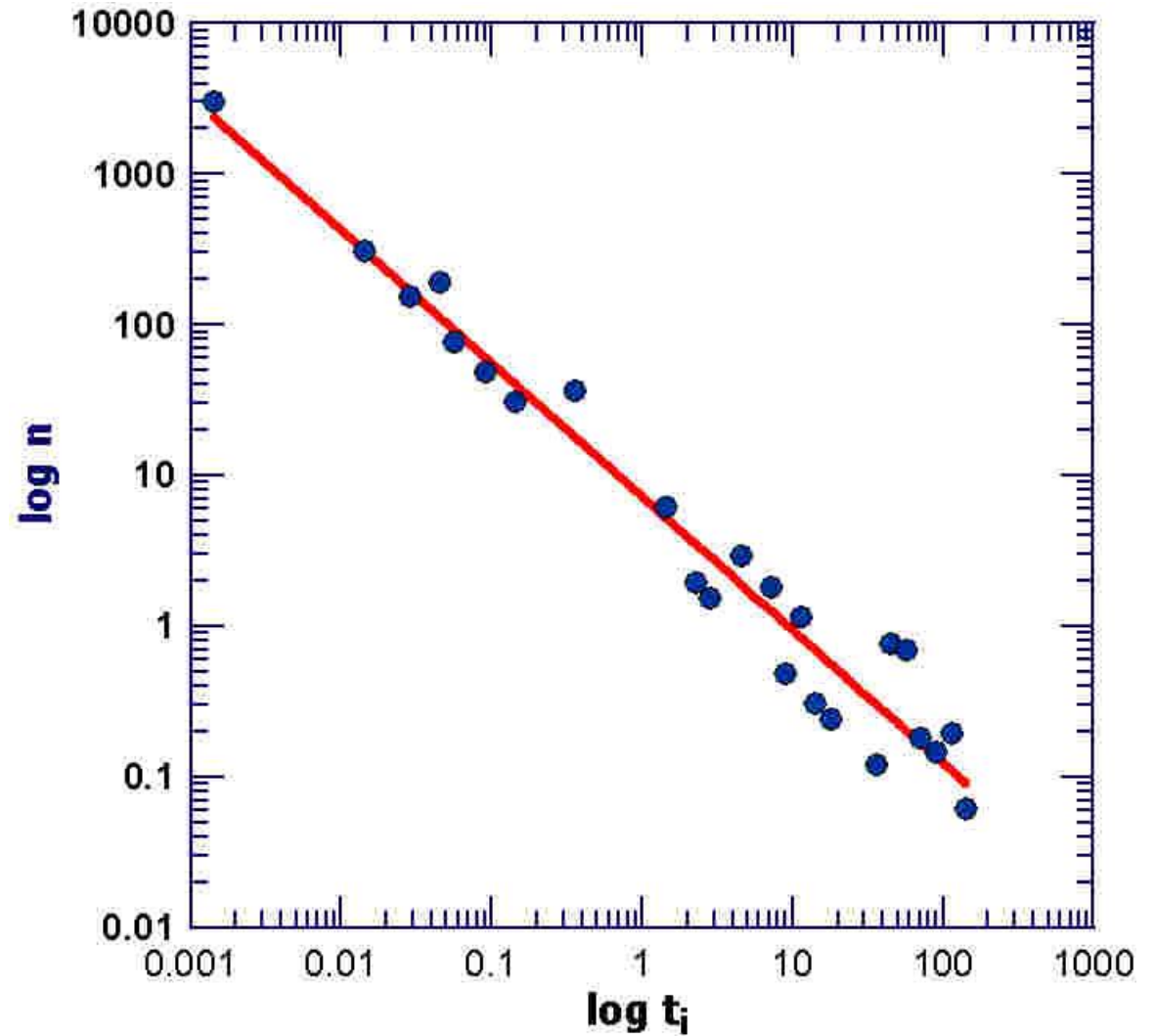
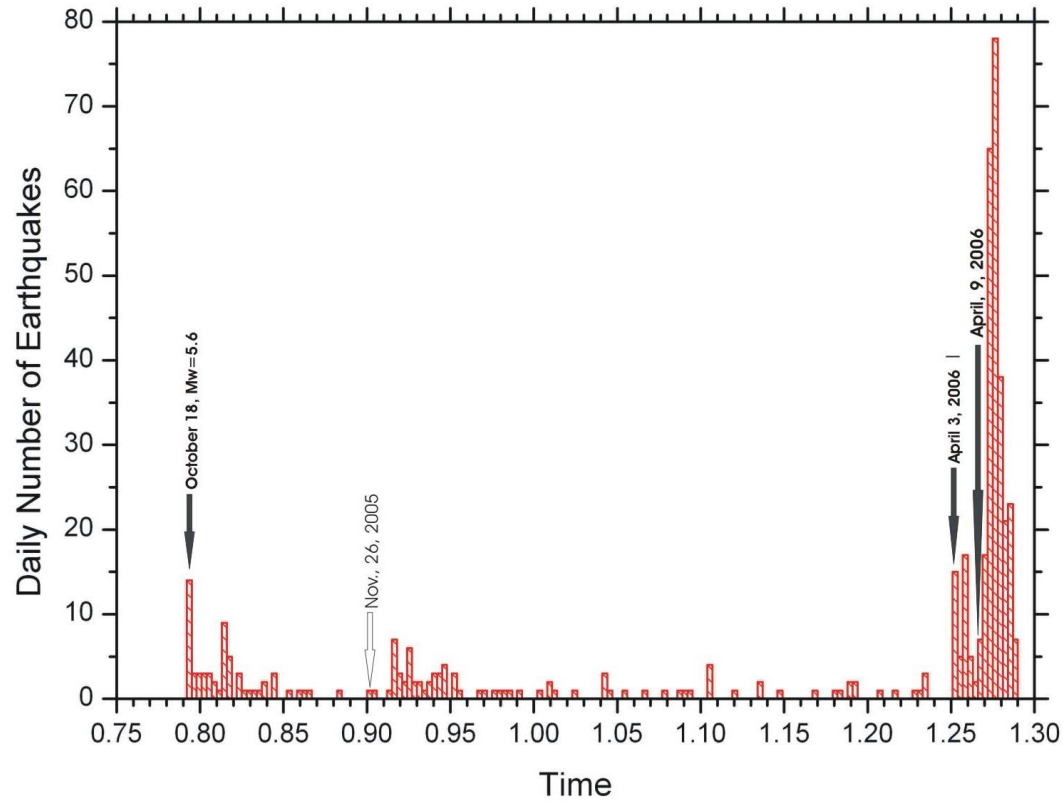
Karakaisis (2001)

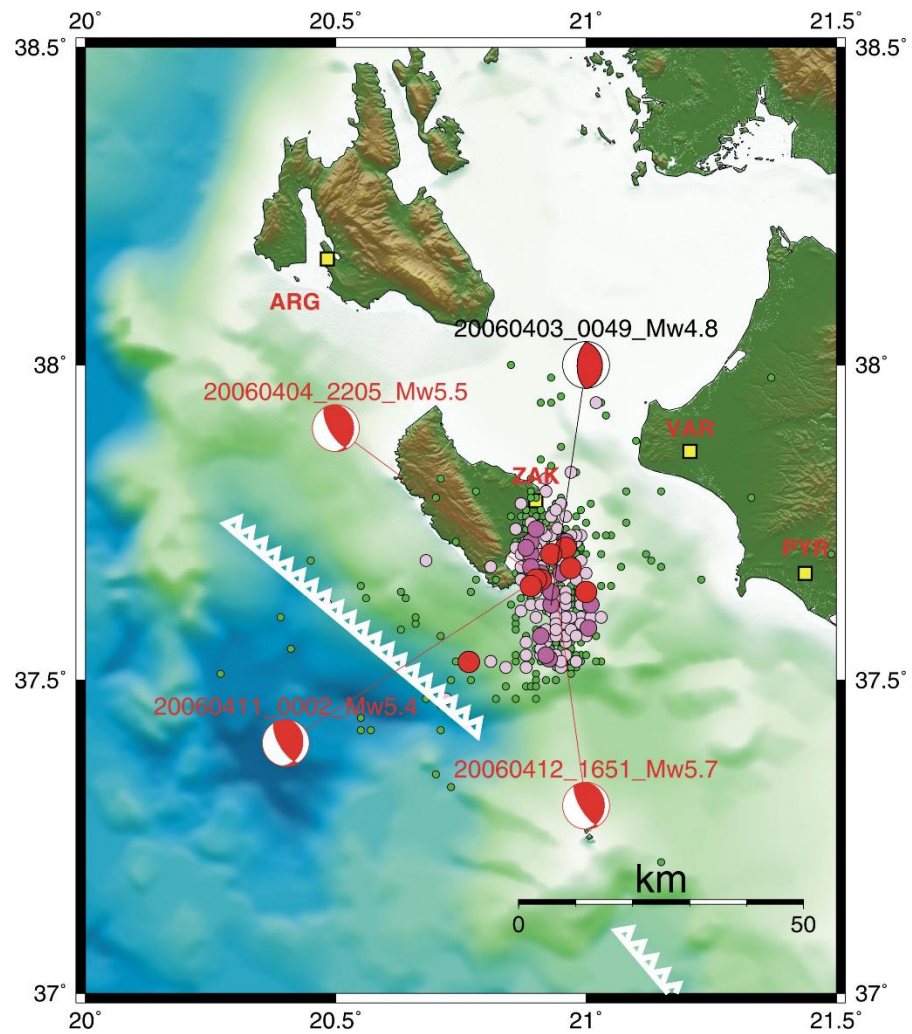
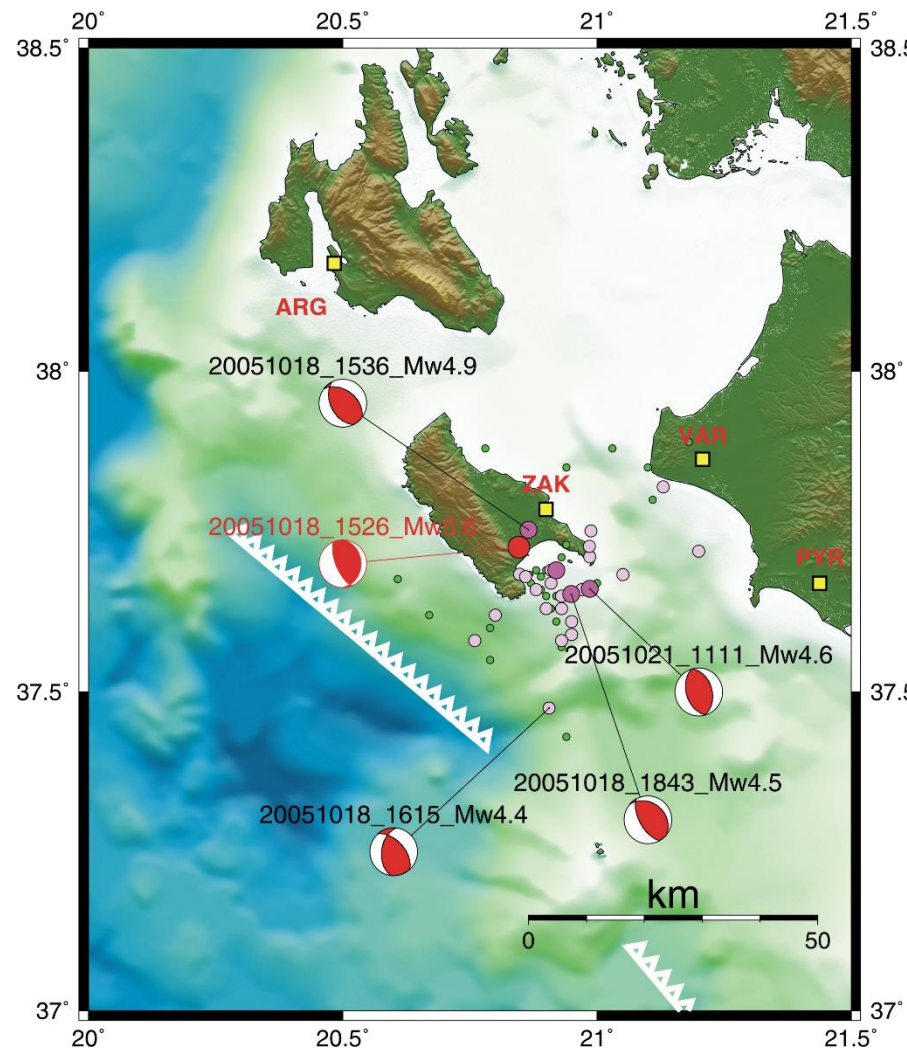


ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



ΖΑΚΥΝΘΟΣ 2005-2006





BEHIND VAN: TECTONIC STRESS CHANGES OR EARTHQUAKE INDUCED ALERTNESS?

F. MULARGIA

*Dipartimento di Fisica, Settore di Geofisica, Università di Bologna,
Viale Berti Pichat 8, I-40127 Bologna, Italy*

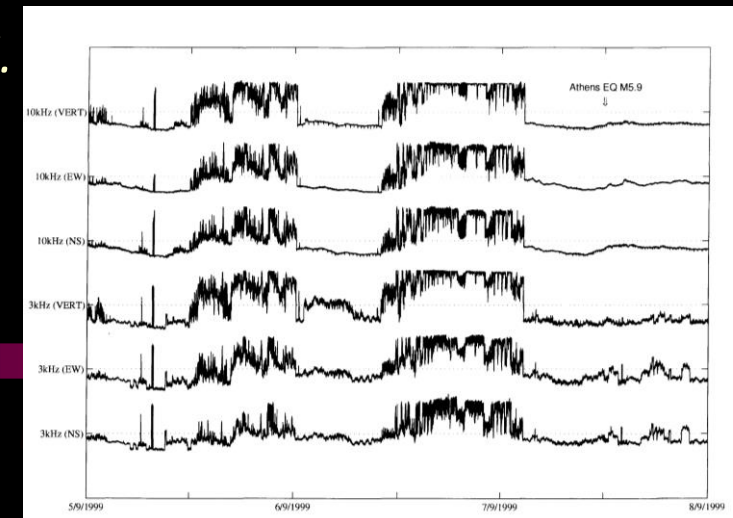
P. GASPERINI

The largest earthquakes which occurred in Greece in the period 1987–1992 with epicenter in the operational region of the VAN network have been identified on the basis of the average recorded values for m_b , M_S and M_L . About half of these earthquakes associate with predictions following them while less than one third associate with the ones preceding them. We propose two possible explanations, neither appearing entirely satisfactory. The first one assumes that VAN signals have a physical basis similar to that of the electric signals measured in the laboratory by Hadjicontis & Mavromatou¹, i.e. they are originated by changes in stress, and occur therefore more after than before earthquakes. Alternatively, the prevalence of backward associations is originated by an unconscious increase in “sensitivity” of the observers after an earthquake with large felt effects.

Mulargia & Gasperini (1996)

- 1) Περισσότεροι από τους **μισούς σεισμούς προηγούνται των σημάτων** και λιγότερο από το 1/3 έπεται!
- 2) Οι συσχετίσεις εκ των υστέρων γίνονται λόγω της **αυξημένης «ευαισθησίας» των επιστημόνων μετά από ένα ισχυρό σεισμό!**

*Eftaxias et al.
(2000)*



Η μορφή των VLF σημάτων δείχνει ότι **προέρχονται από τεχνητές (βιομηχανικές) πηγές** (*Gruszow et al., 1996, Pham and Geller, 2002, etc.*)

GEOFYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 23, NO. 16, PAGES 2025-2028, AUGUST 1, 1996

Identification and analysis of electromagnetic signals in Greece: the case of the Kozani earthquake VAN prediction

S.Gruszow^{1,2}, J.C Rossignol², A.Tzanis¹, J.L. Le Mouél²

Abstract. An electric station was installed in July 1993, 4.5 km away from the VAN station of Ioannina, and recorded in the following two years a number of anomalous signals, including those of April 18 and 19, 1995, interpreted by the VAN group as Seismic Electric Signals precursors to the May 13 Kozani earthquake (West-Macedonia). A magnetic station was also installed and clearly recorded the magnetic components of the same events. The amplitude, shape, characteristic pattern and duration, magnetic characteristics and polarisation of the anomalous signals suggest that they are generated by artificial (industrial) sources.

Seismicity anomalies prior to 8 June 2008, $M_w=6.4$ earthquake in Western Greece

G. Chouliaras

National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics, P.O. Box 20048, 11810 Athens, Greece

Received: 2 February 2009 – Revised: 2 March 2009 – Accepted: 4 March 2009 – Published: 11 March 2009

Abstract. The epicentral area of the $M_w=6.4$, 8 June 2008 earthquake in Western Greece is characterized by the aftershock distribution in Fig. 1a (<http://bbnet.gein.noa.gr>).

G. Chouliaras: 8 June 2008, $M_w=6.4$ earthquake in Western Greece

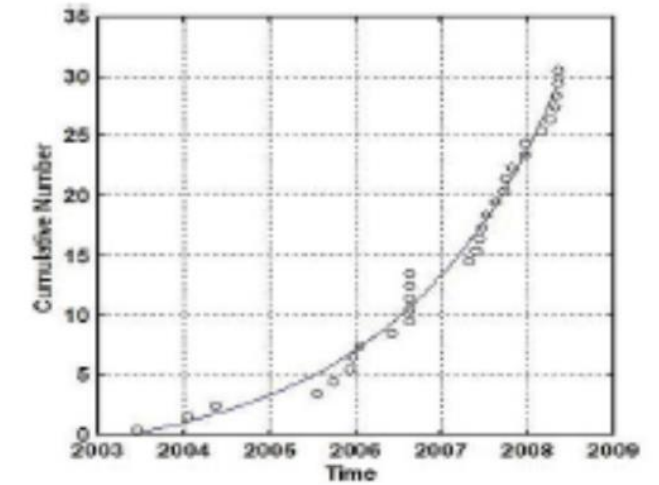


Fig. 7a. Fit of the power law time-to-failure equation to the cumulative seismicity 5 years prior to the 8 June 2008 main shock.

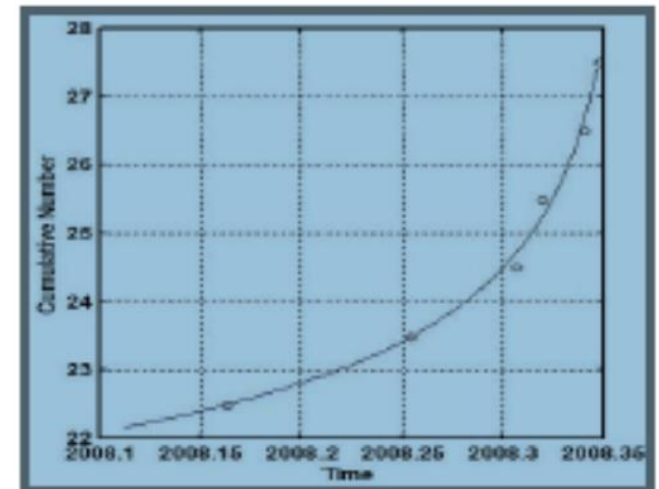
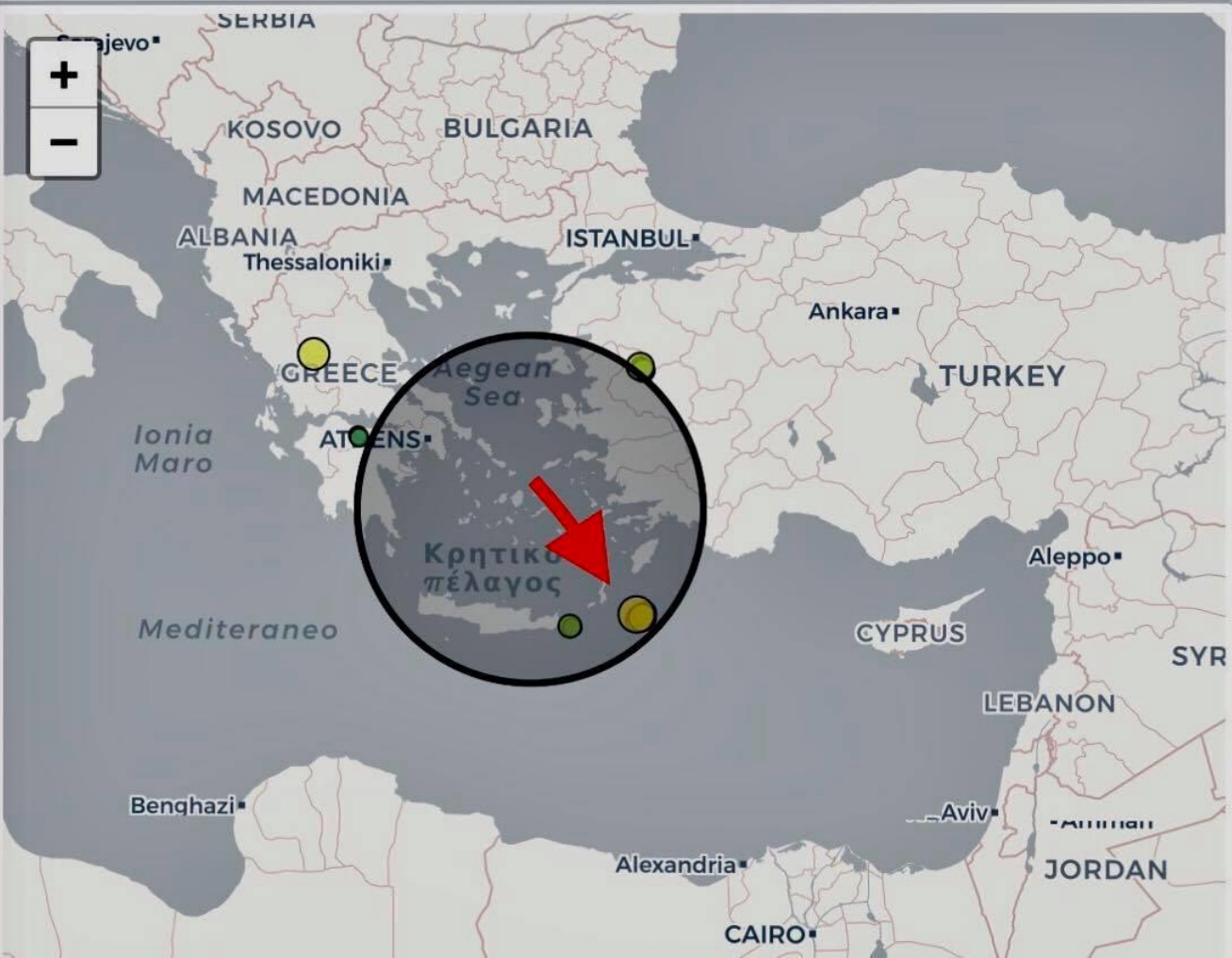
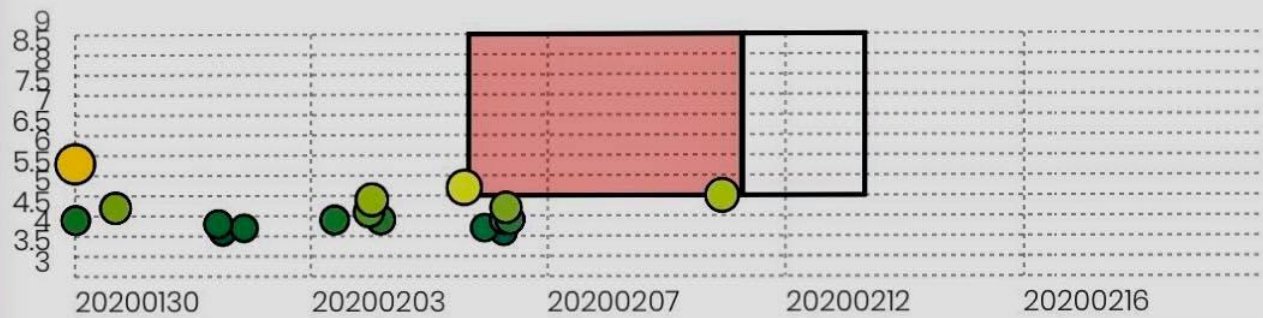


Fig. 7b. Fit of the power law time-to-failure equation to the cumulative seismicity 5 months prior to the 8 June 2008 main shock.

Time window: elapsed



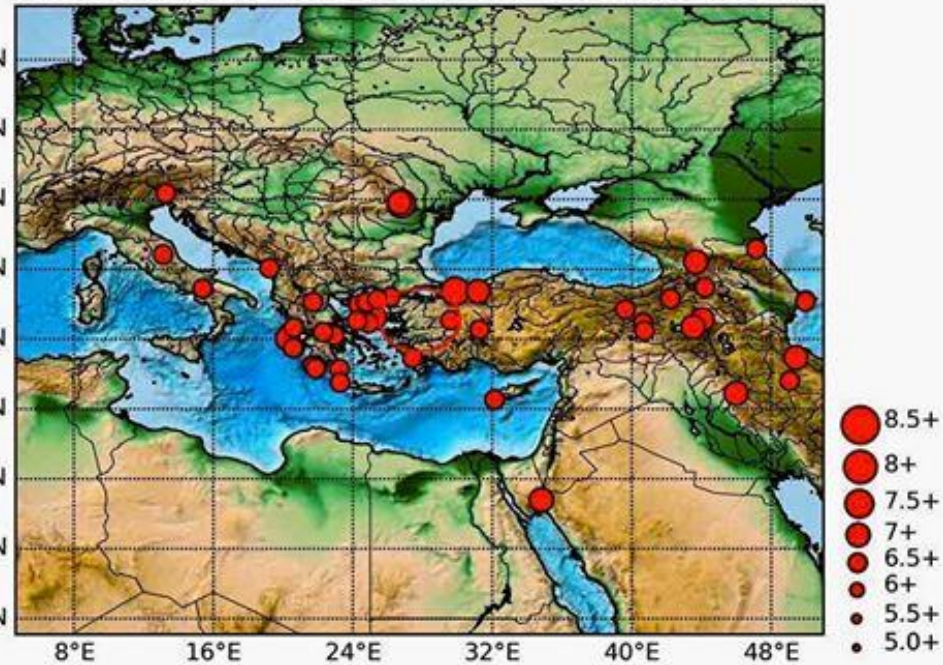
Prediction	Issued on	Status
# 4374	2020-02-06 11:02	True

At least 1 M5.0+ earthquake to occur within 300 km of (36.83, 25.73) between 2020-02-06 11:12 and 2020-02-13 11:12

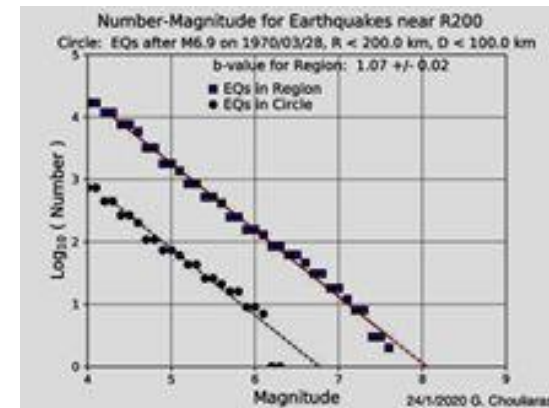
Odds	Staked	Return
1:3.44	1	3

Earthquakes M>6.5 near R200

From: 1970/03/28 To: 2018/10/25 R<200 km, D<100 km



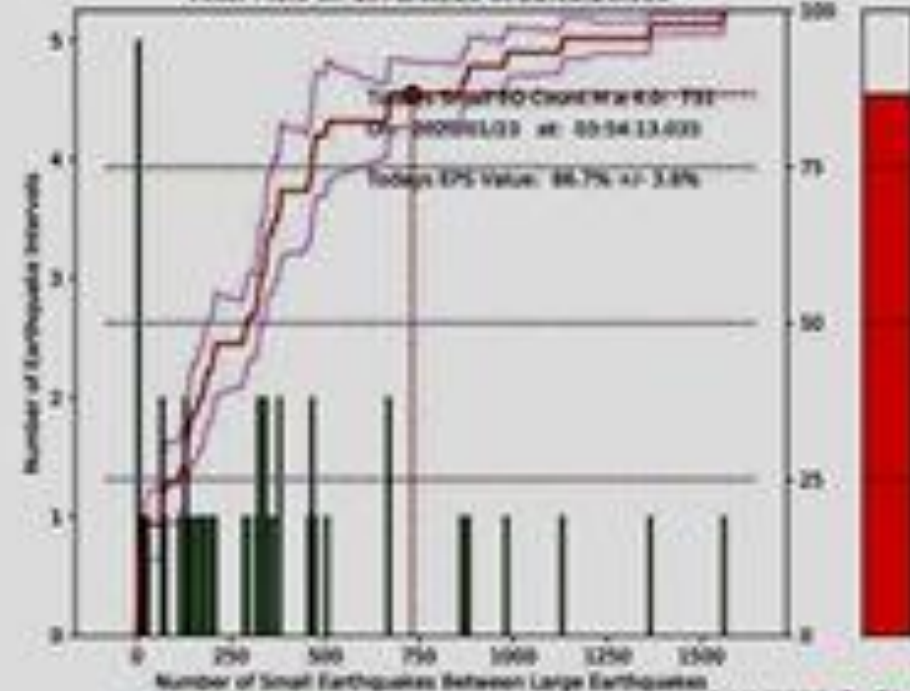
23/1/2020 G. Chouliaras



24/1/2020 G. Chouliaras

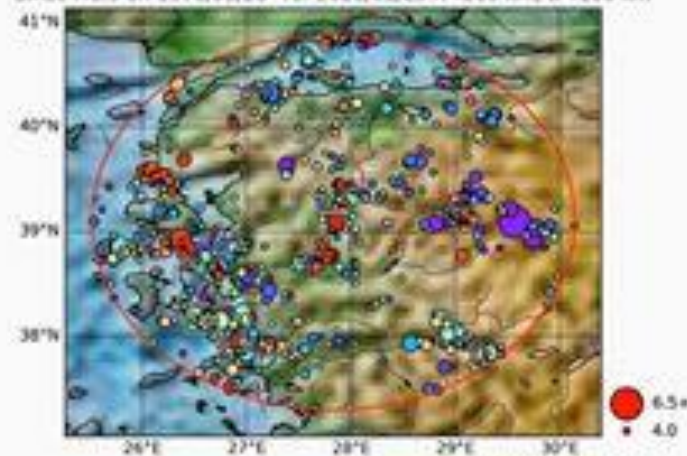
EPS for M>6.5 Earthquakes near R200 R<200 km, D<100 km

After M6.9 on 1970/03/28 at 23:02:26.000



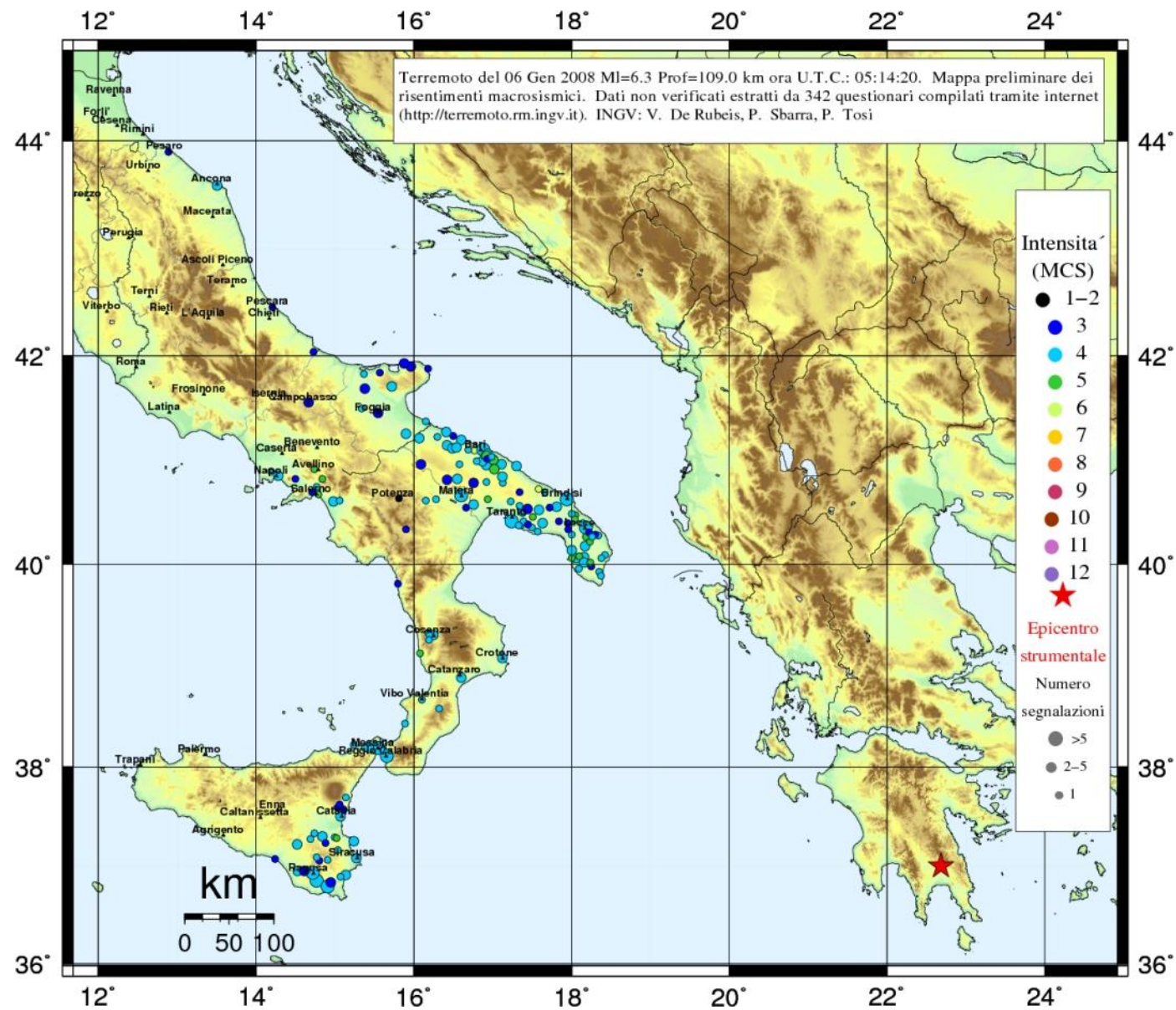
24/1/2020 G. Chouliaras

Small Earthquakes M>4.0 near R200
Since M6.9 on 1970/03/28 To: 2020/01/23 R<200 km, D<100 km

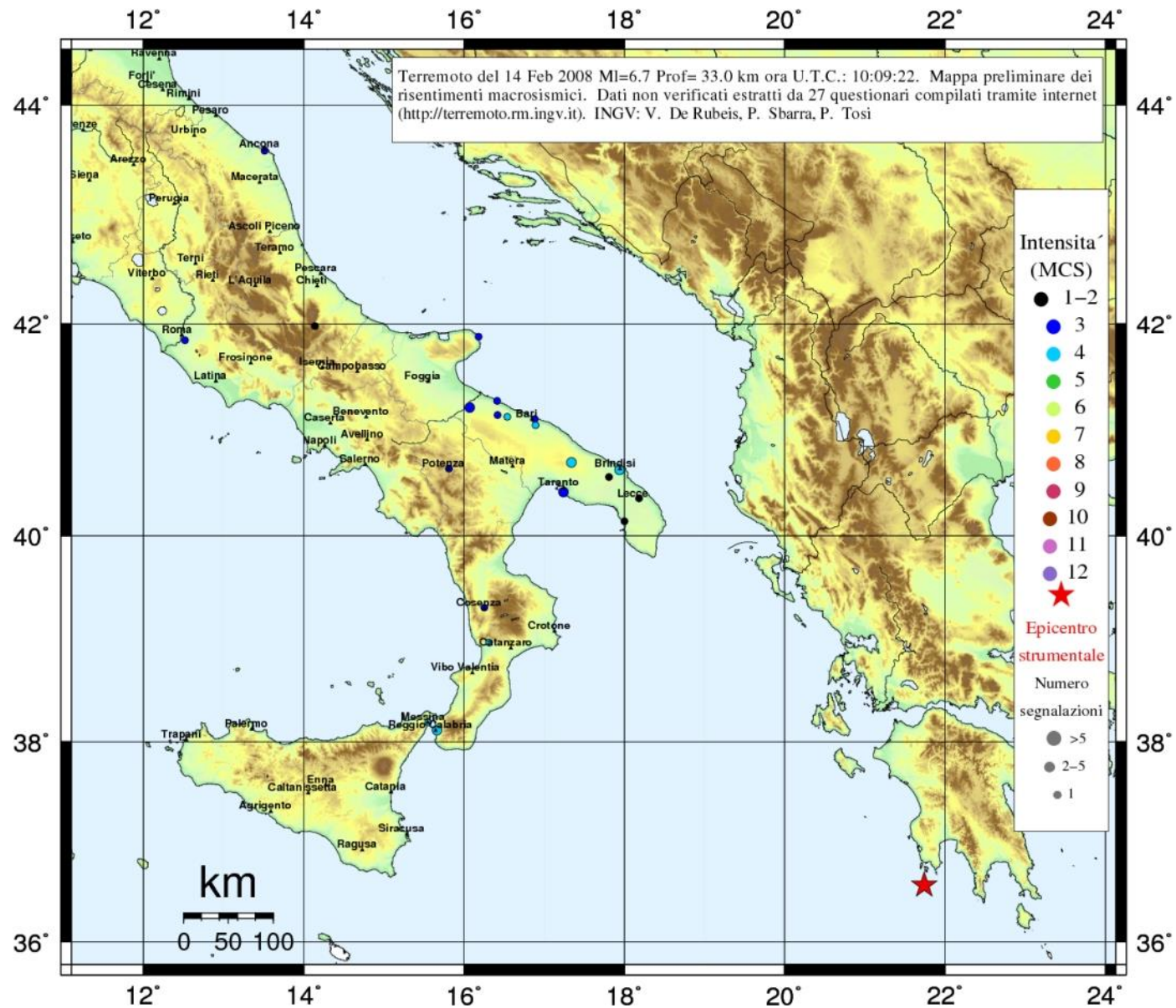


24/1/2020 G. Chouliaras

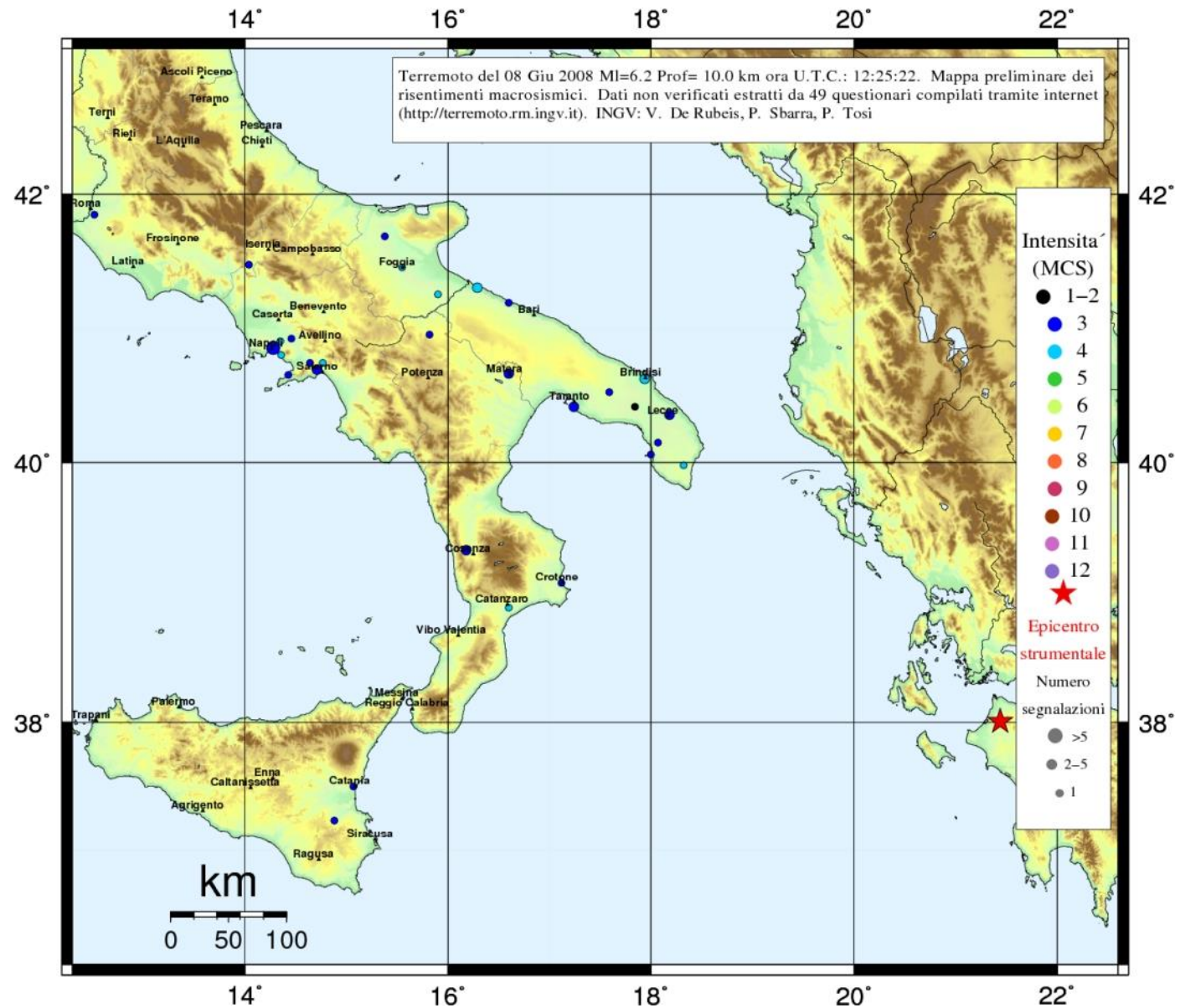
M 6.2
H=82 km
(06 Jan 08)



M 6.85
H=35 km
(14 Feb 08)



M 6.4
H=3 km
(08 June 08)



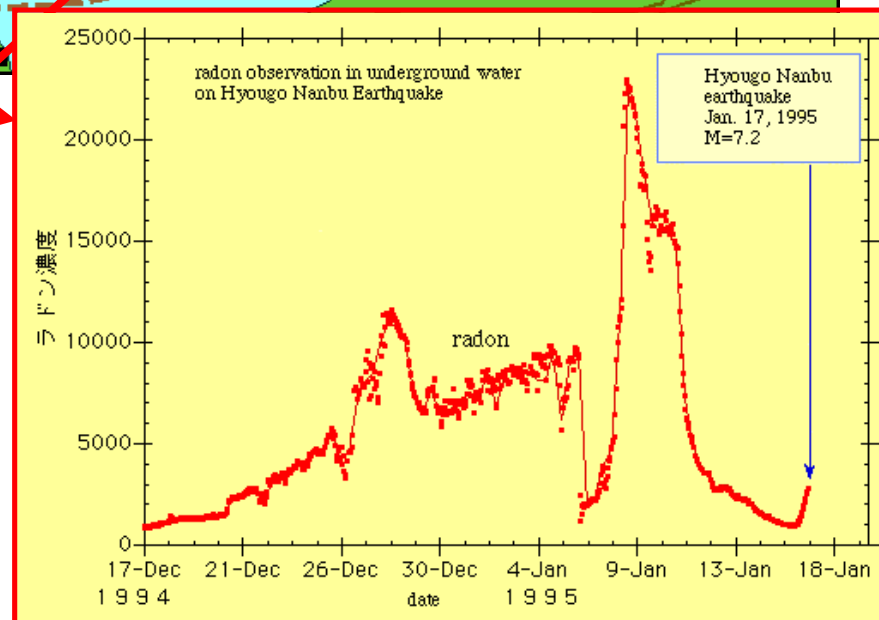
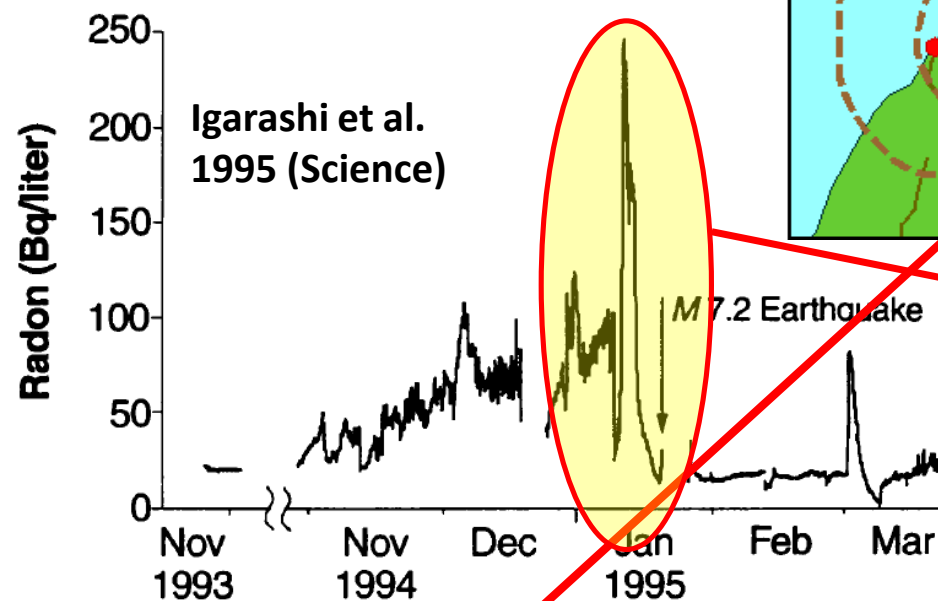
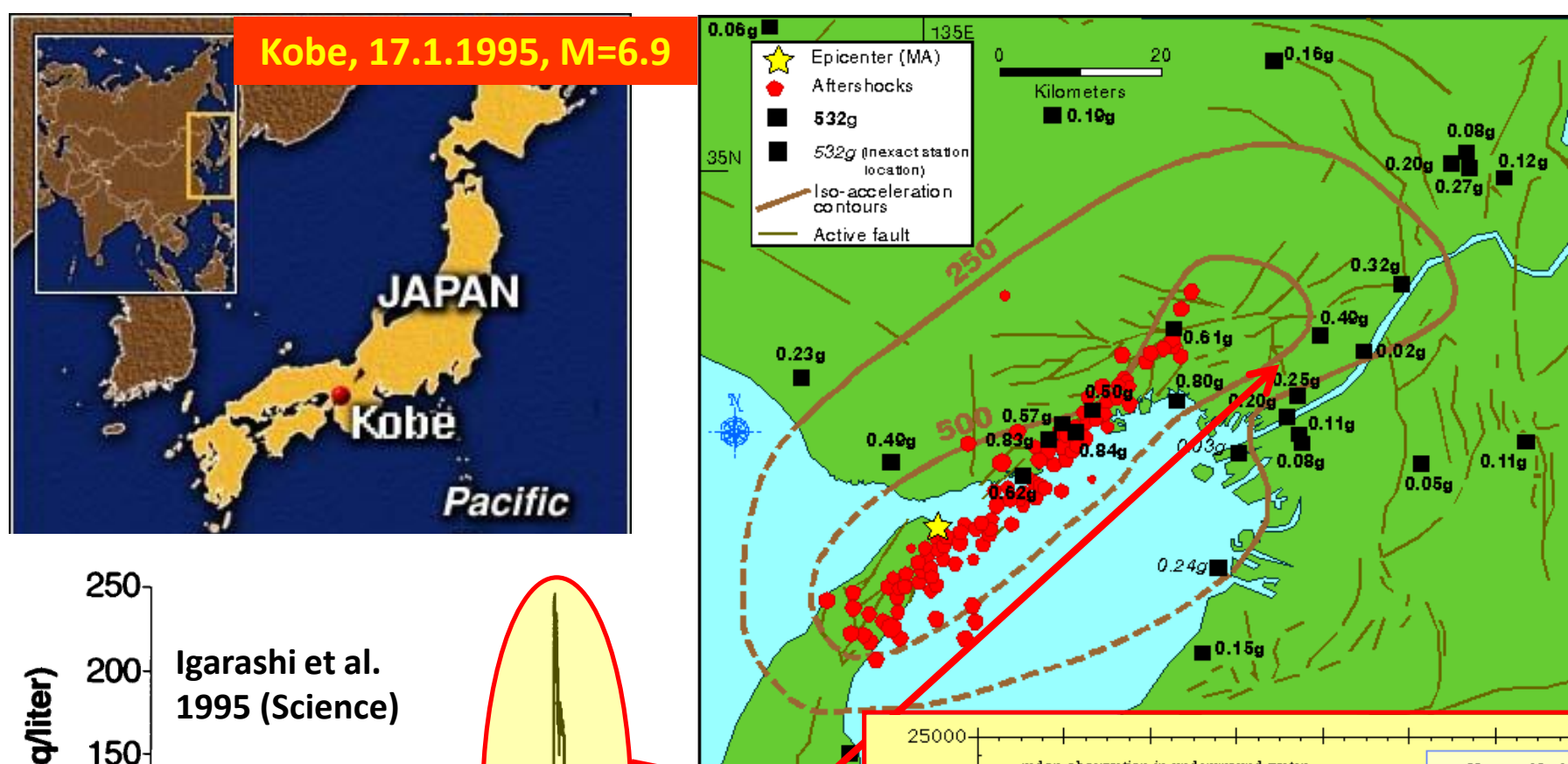
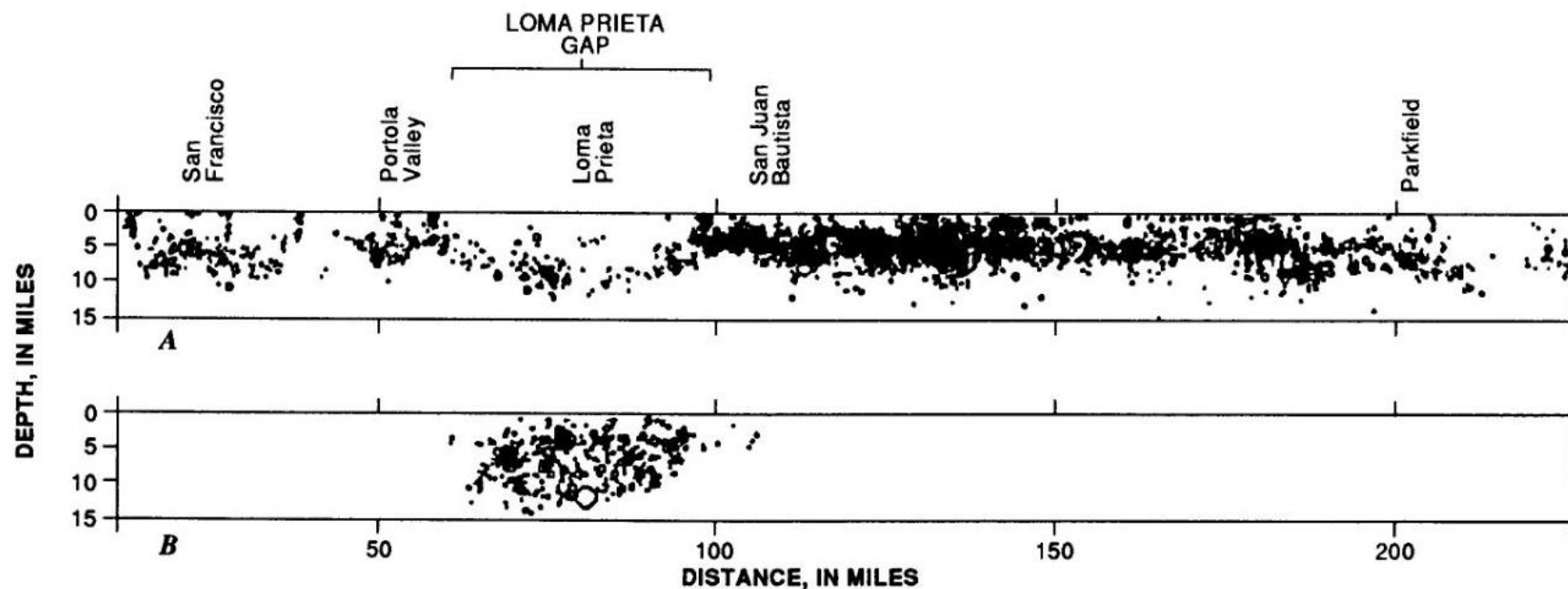


Fig. 2. Radon concentration data at the well in the southern part of Nishinomiya city, Hyogo prefecture, Japan.

Μακροπρόθεσμη πρόγνωση σεισμών

Προσωρινά σεισμικά κενά

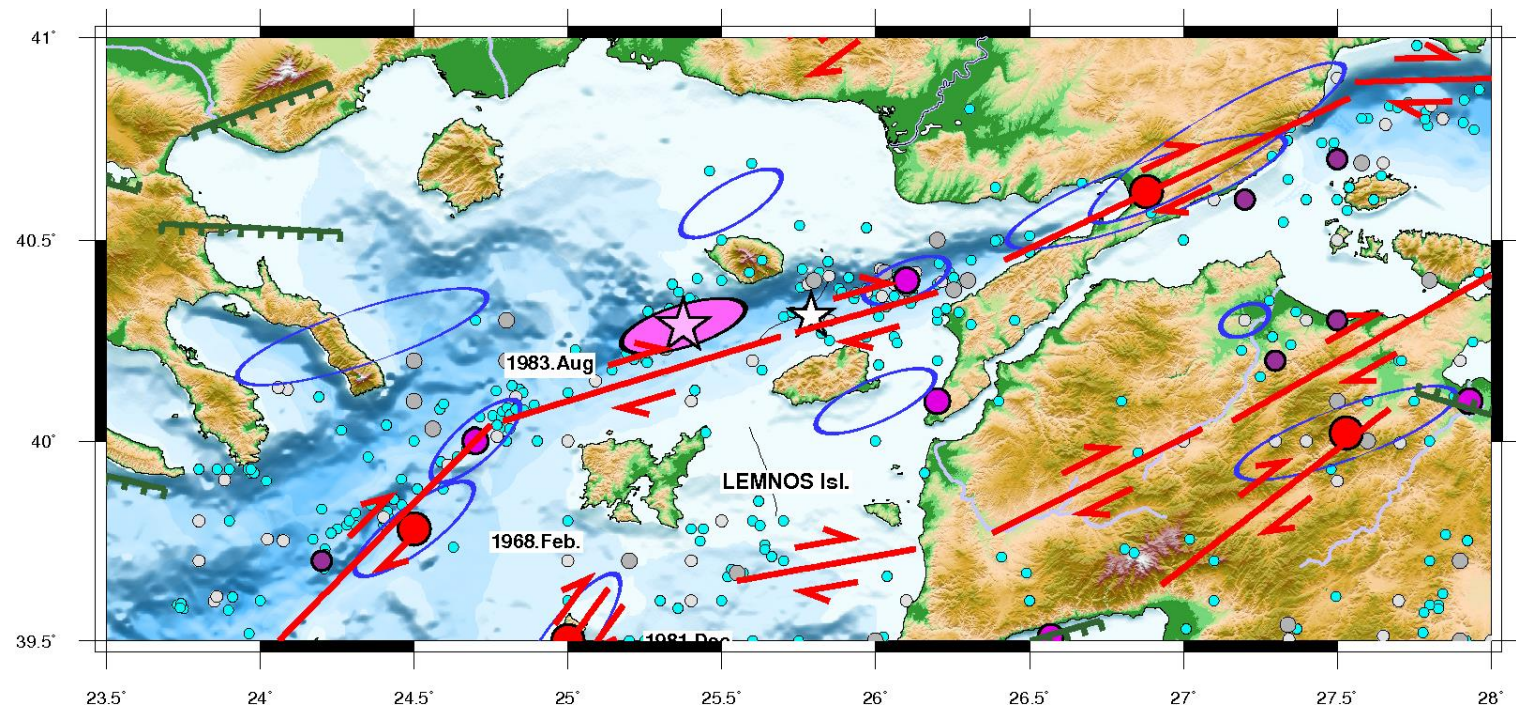
- Χαρτογραφώντας επίκεντρα (ή εστίες) σεισμών, μπορεί να βρούμε κάποιες ασυνέχειες.
- Υπάρχει ενδεχόμενο να έγιναν σ' αυτές σεισμοί στο παρελθόν και να γίνουν στο μέλλον.



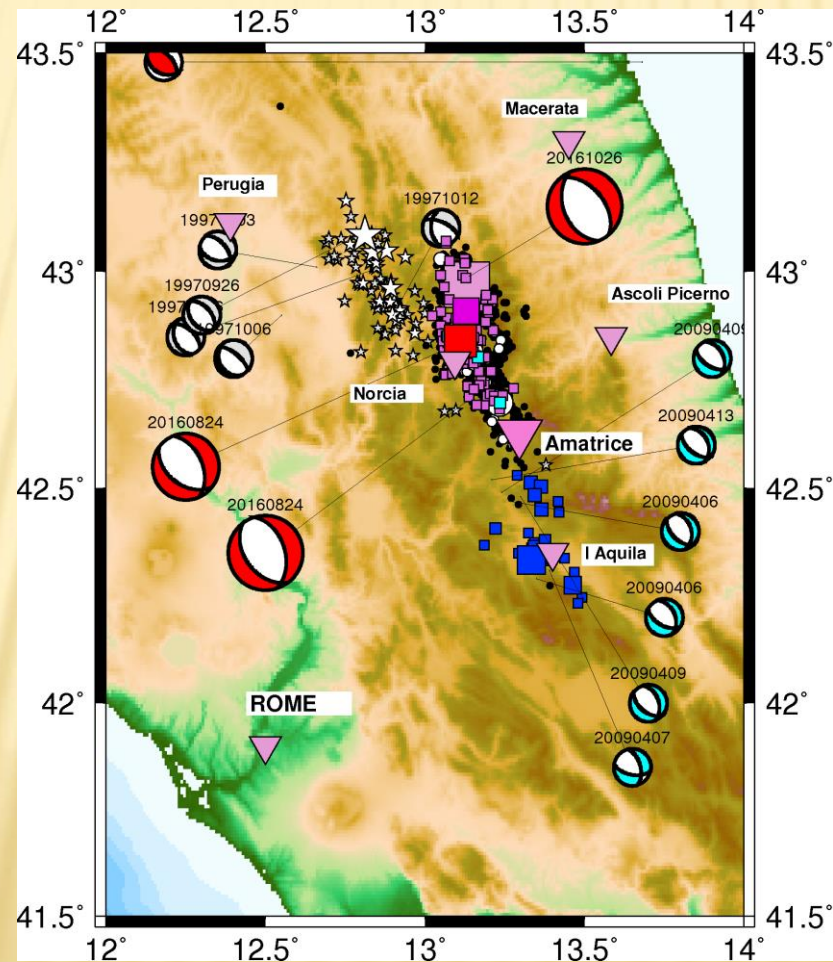
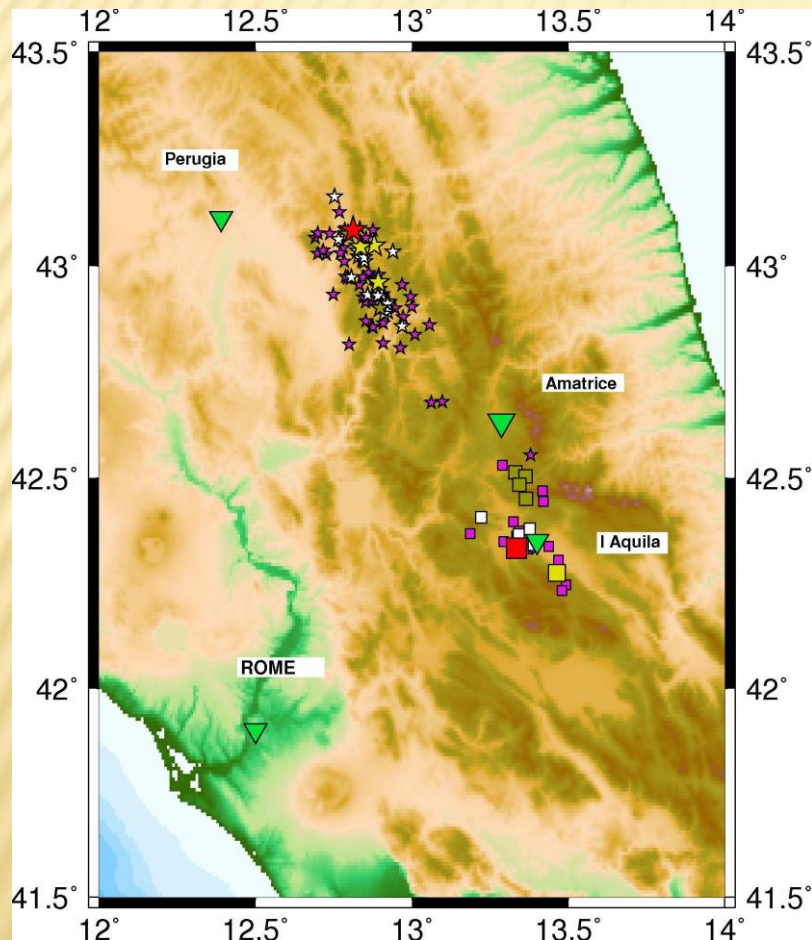
Πάνω: Εστίες σεισμών από το 1969 ως το 1989 πάνω στο ρήγμα του Αγ. Ανδρέα.

Κάτω: Εστίες του κύριου σεισμού της Loma Prieta (M=6.9, 18.10.1989) και των μετασεισμών του.

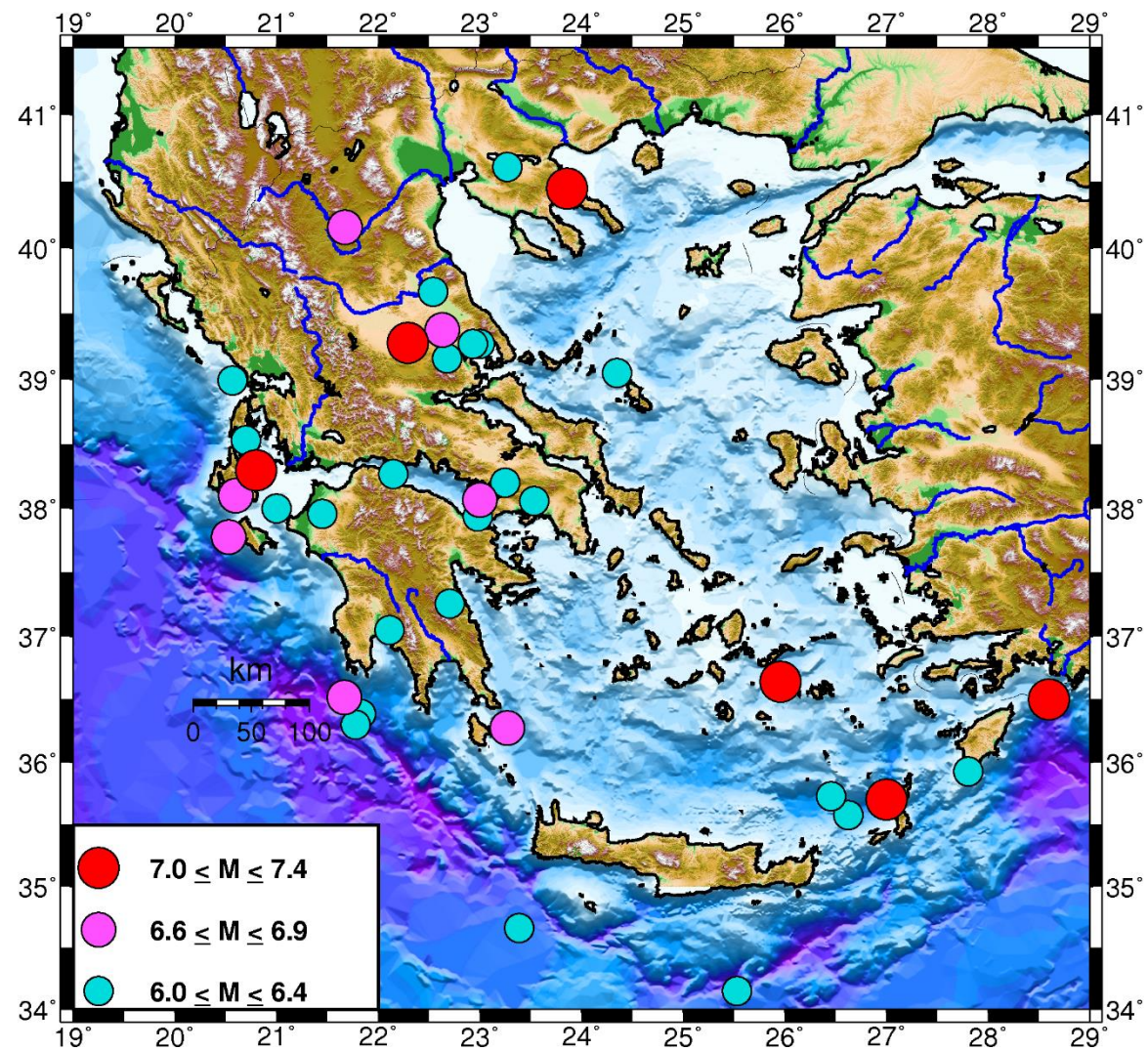
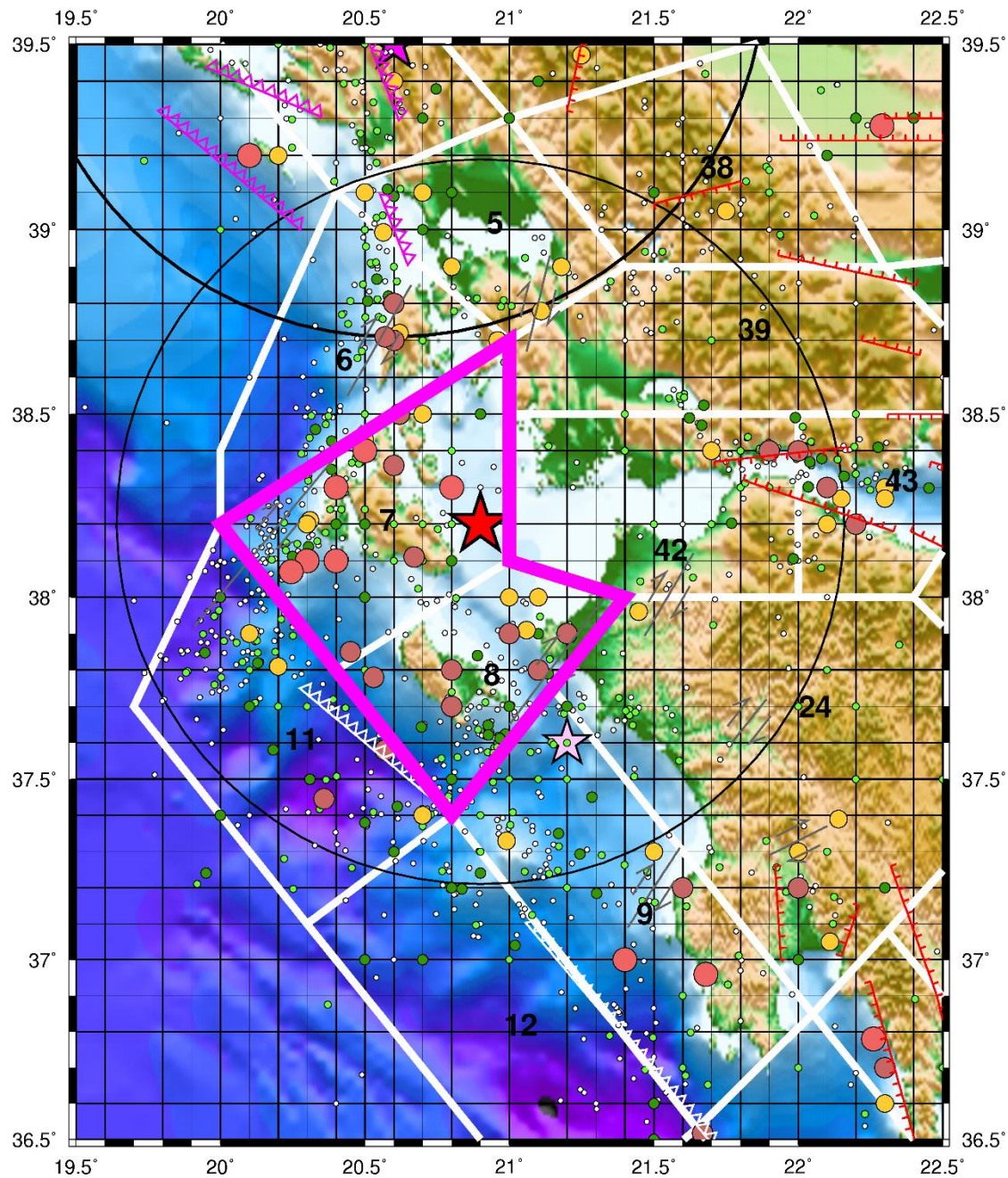
(USGS Open File Report 1989)

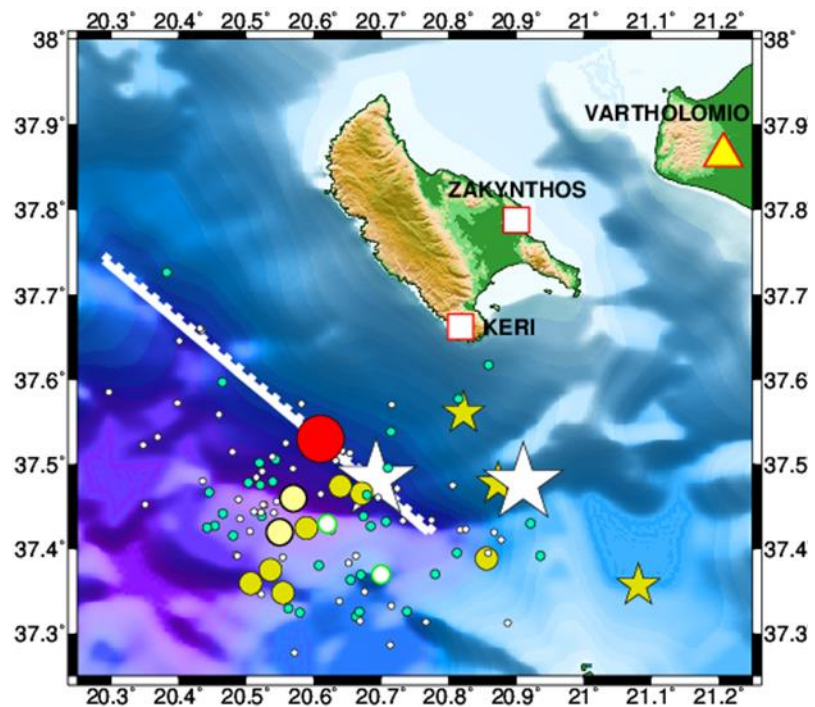


ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ 1997-2016

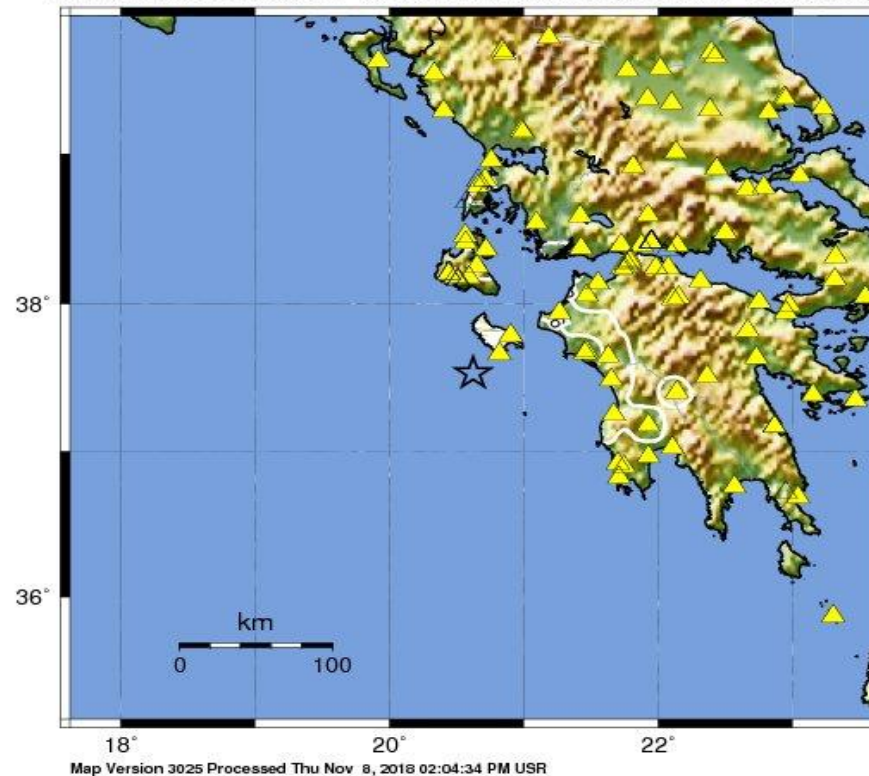


Η ακολουθία
Αυγούστου-
Οκτωβρίου 2016
έγινε στο "κενό" των
2 ακολουθιών 1997
και 2009.



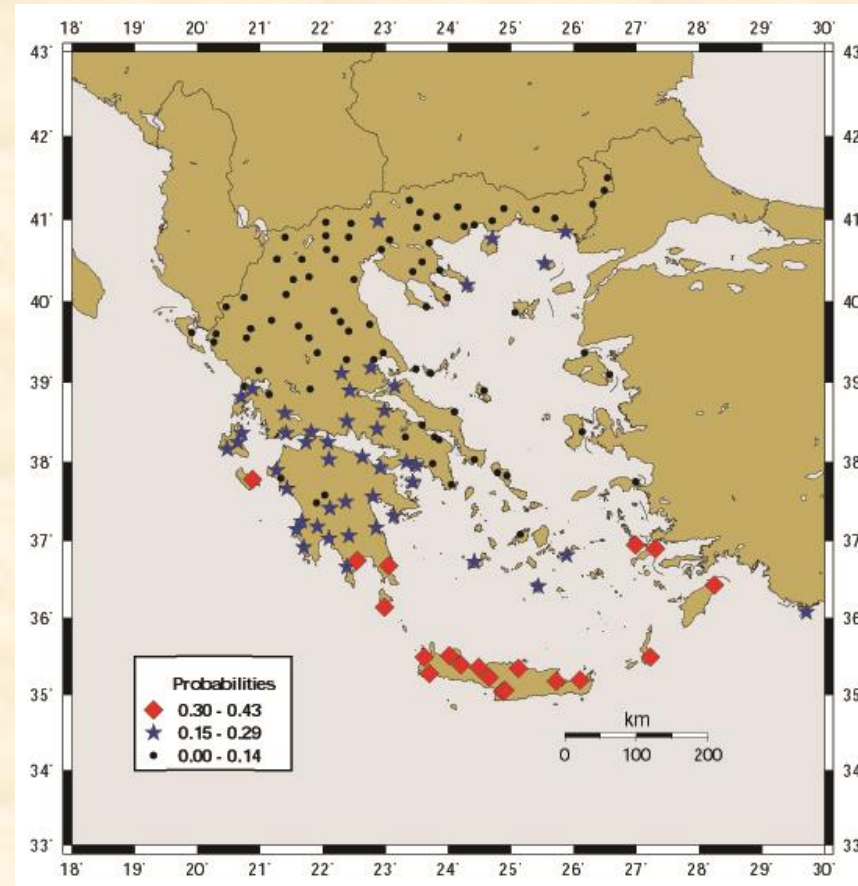


ITSAK Peak Accel. Map (in %g) : Ionian Sea
OCT 25 2018 10:54:52 PM GMT M 6.8 N37.53 E20.62 Depth: 10.0km ID:auth2018uyar



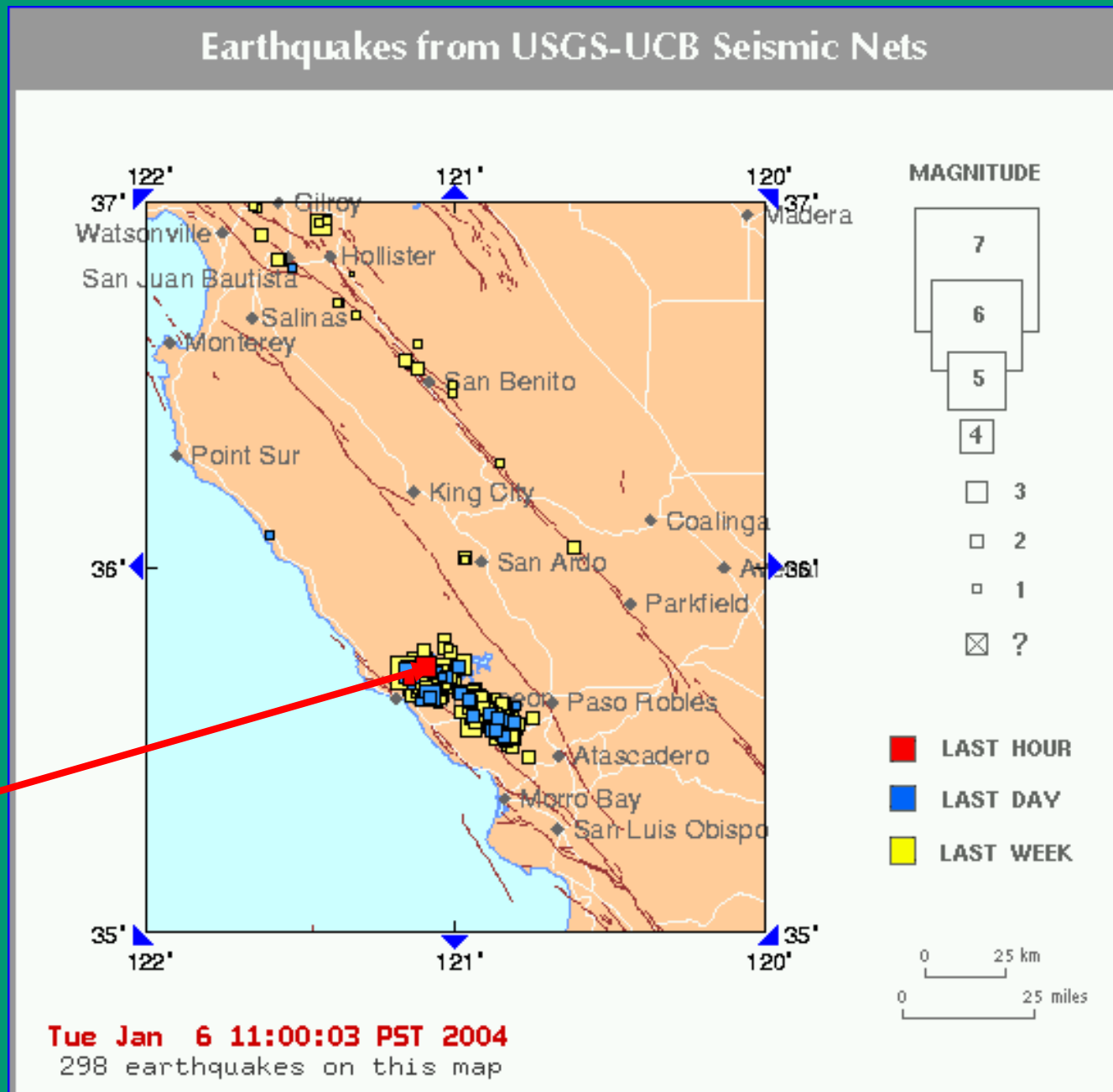
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ	Μέγιστη τιμή ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ cm/sec ²	Μέγιστη τιμή ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ cm/sec	Μέγιστη τιμή ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ cm
ZAK2	NS-comp	154	14.4	8.4
	EW-comp	165	16.4	5.5
	Z-comp	71	9.8	7.7
KRI1	NS-comp	111	13.2	10.6
	EW-comp	356	17.2	4.4
	Z-comp	159	7.3	6.8

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ



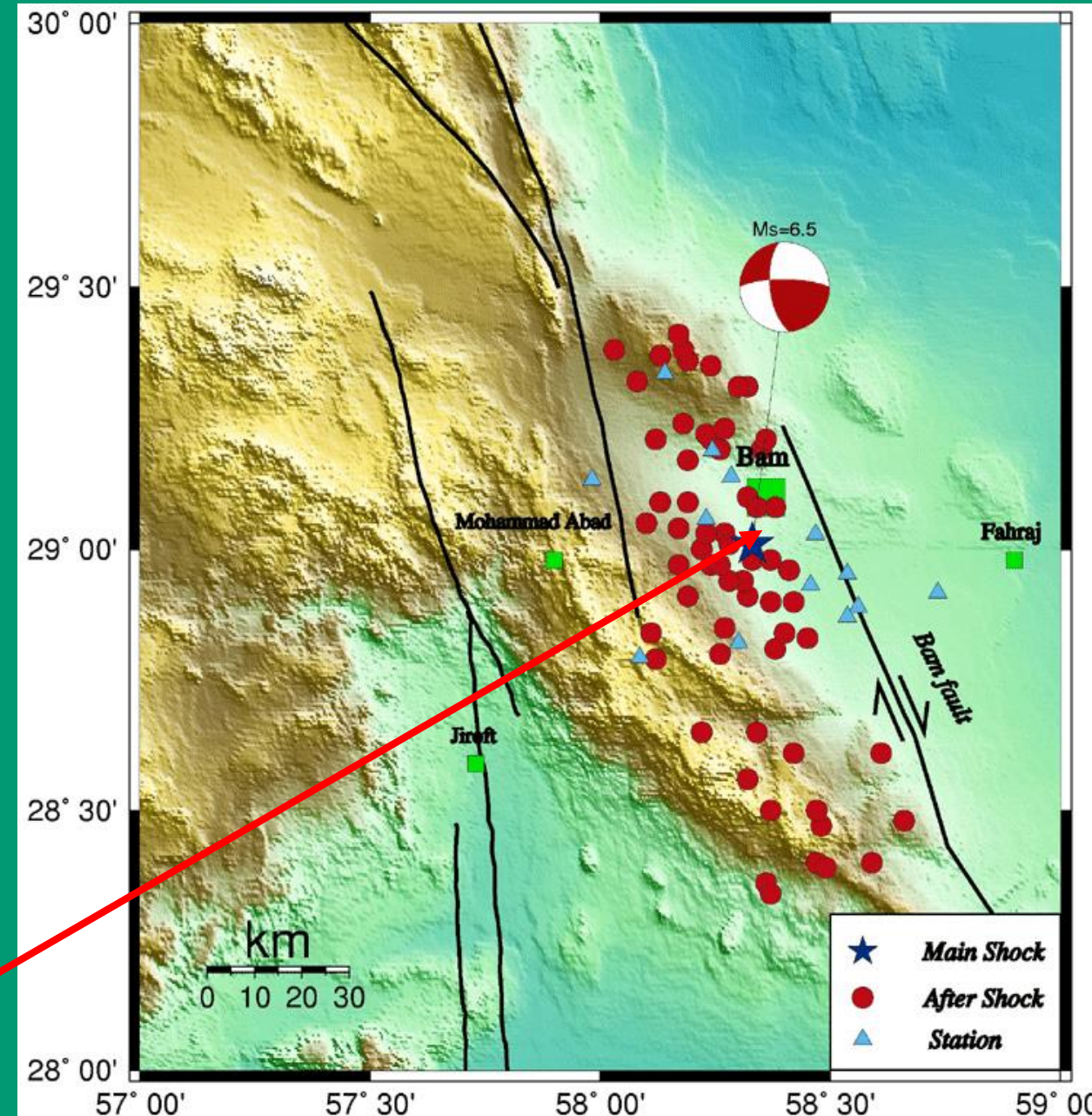
2003 San Simeon
earthquake (M 6.5): 2
deaths in Paso Robles

0.48g

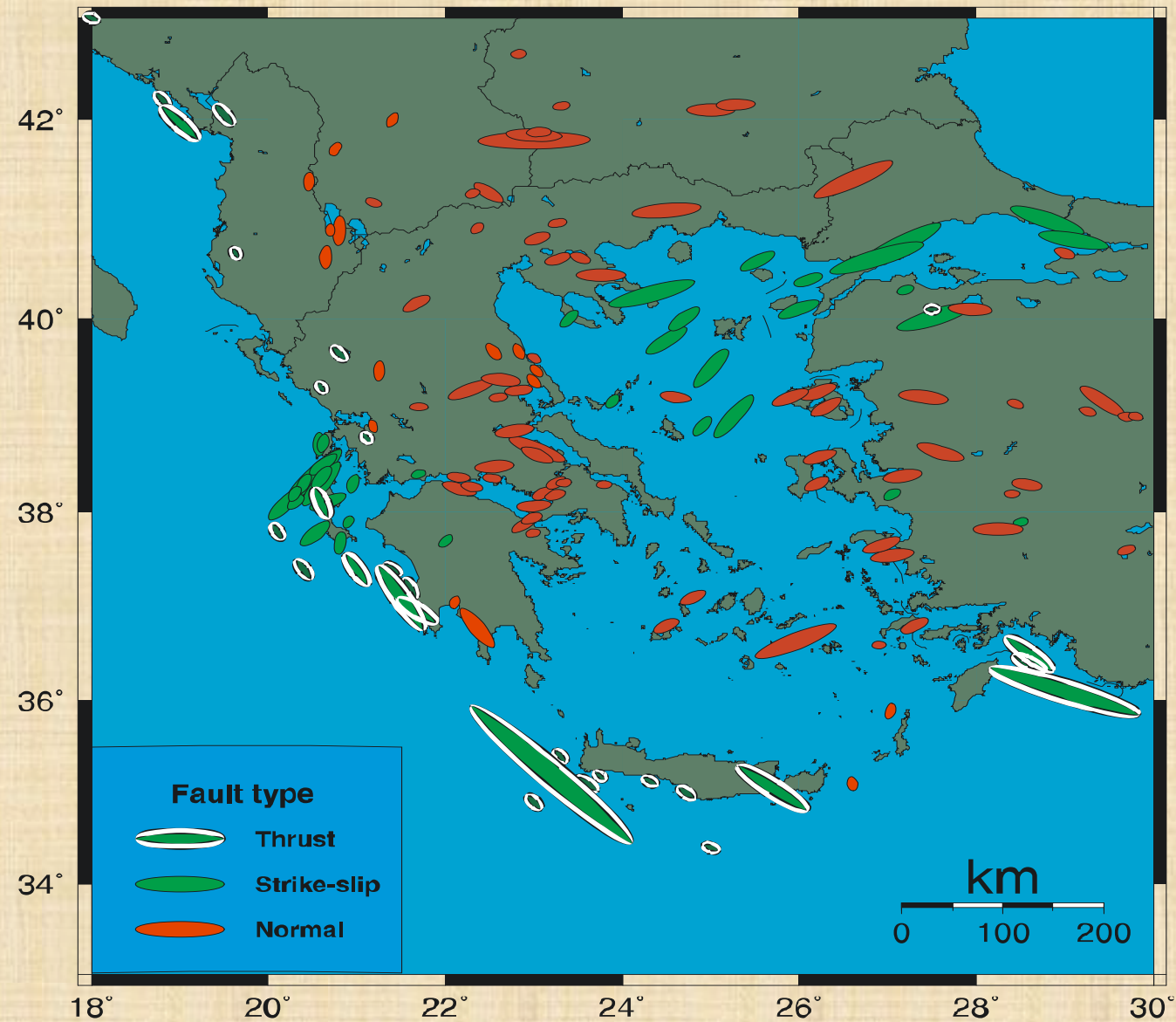


- Contrast damage with that in Bam, Iran (M 6.6)
- >30,000 deaths
- Why so many deaths, compared to Paso Robles?
- Was ground motion higher than in Paso Robles? (0.98g pga in Bam; 0.48g 10 km from Paso Robles)
- Was the construction less earthquake resistant?

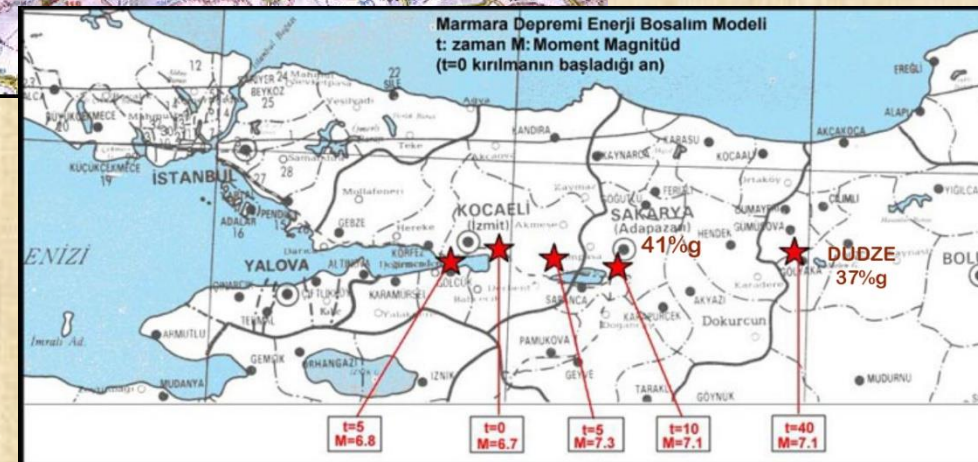
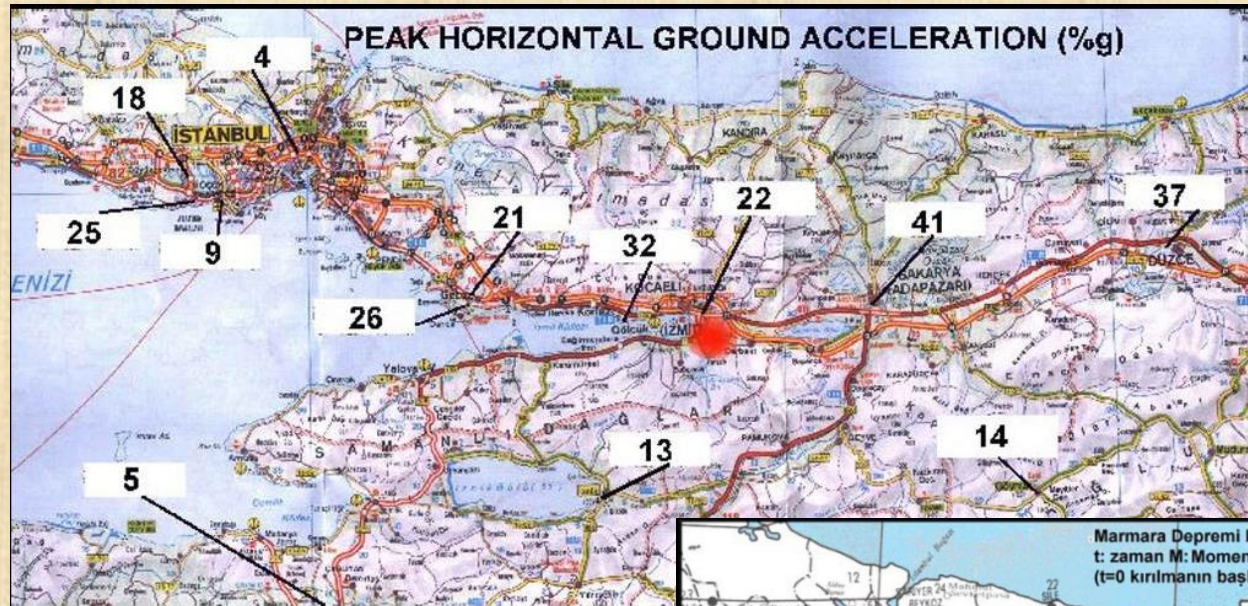
0.98g

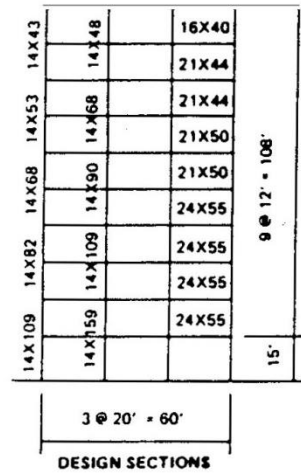


ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

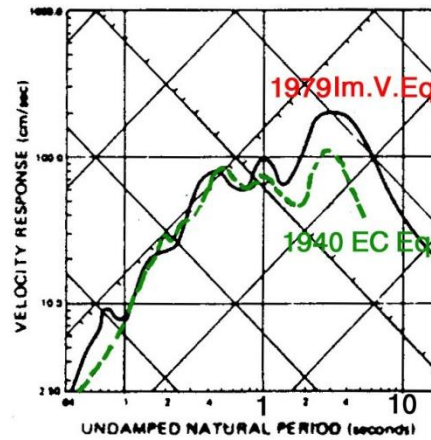
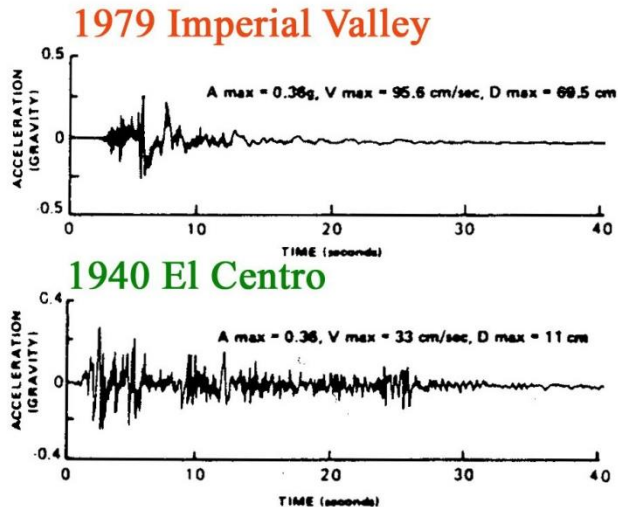
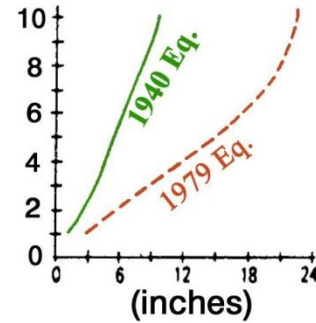


ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΣΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ





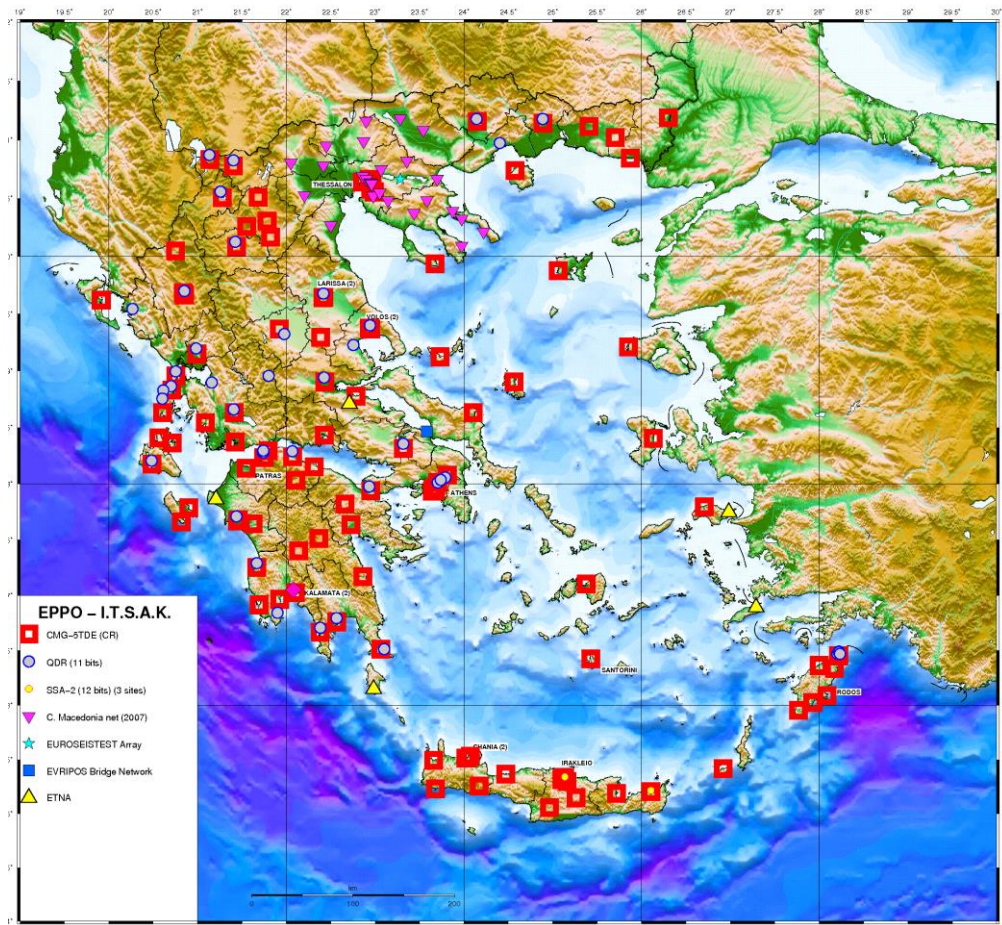
(a) Design Frame



(Anderson and Naeim, 1984).

Διαφορετική απόκριση της ίδιας κατασκευής σε δύο διαφορετικά επιταχυνσιογράμματα τα οποία είχαν την ίδια μέγιστη επιτάχυνση. Το συχνотικό περιεχόμενο των δύο καταγραφών είναι εντελώς διαφορετικό.

National Accelerometric Network .



120 επιταχυνσιογράφοι Υψηλής ανάλυσης(24bits)
Συνεχούς καταγραφής Απόλυτο χρόνο(GPS)

ΣΥΝΟΛΟ: ~250 επιταχυνσιογράφοι 'ελευθέρου πεδίου'

http://www.itsak.gr/page/infrastructures/networks/acc_network/



[http://ghead.itsak.gr/
Shakemaps.itsak.gr](http://ghead.itsak.gr/Shakemaps.itsak.gr)

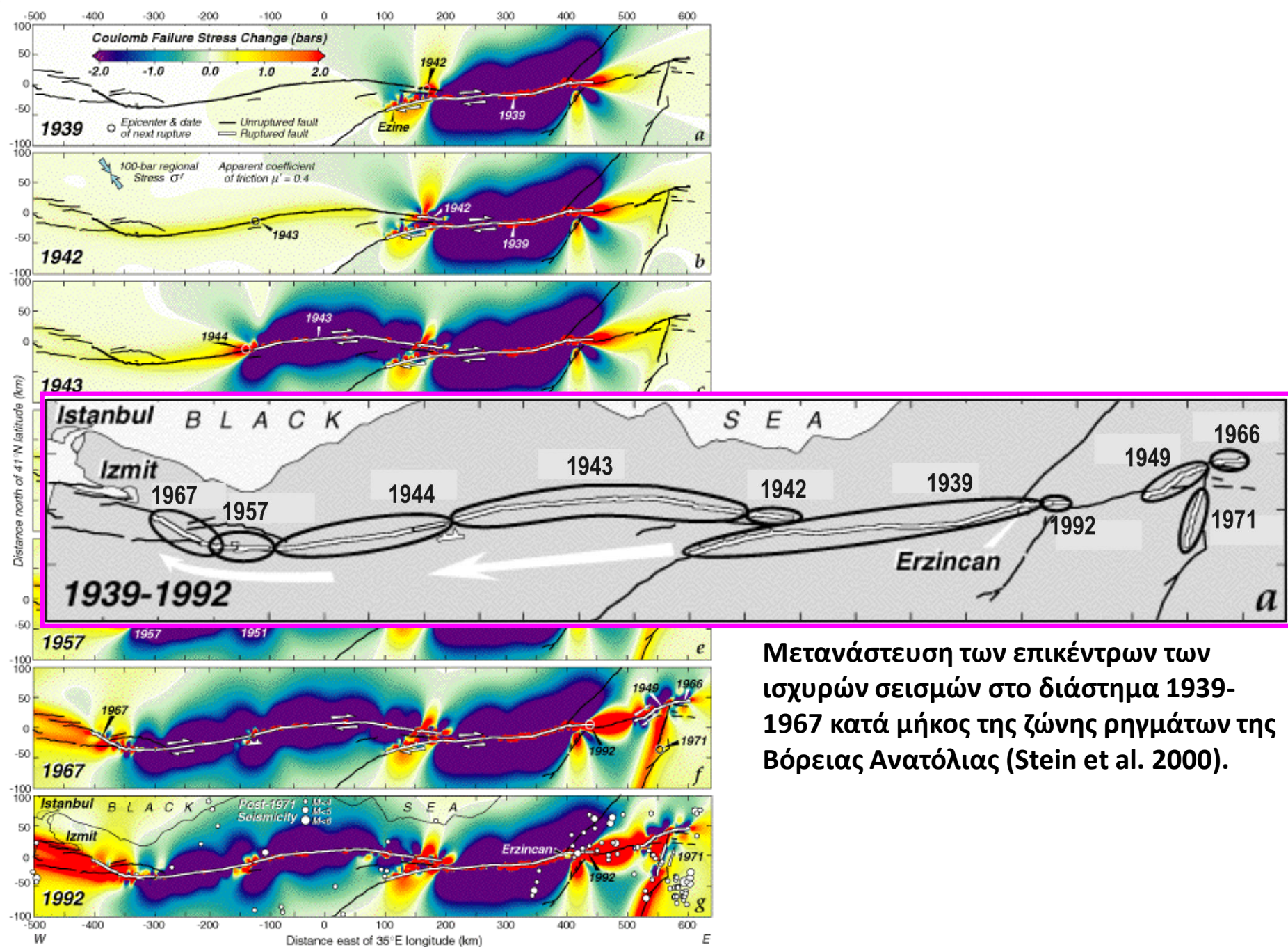


Figure 4 17 Oct 96 Stein et al.

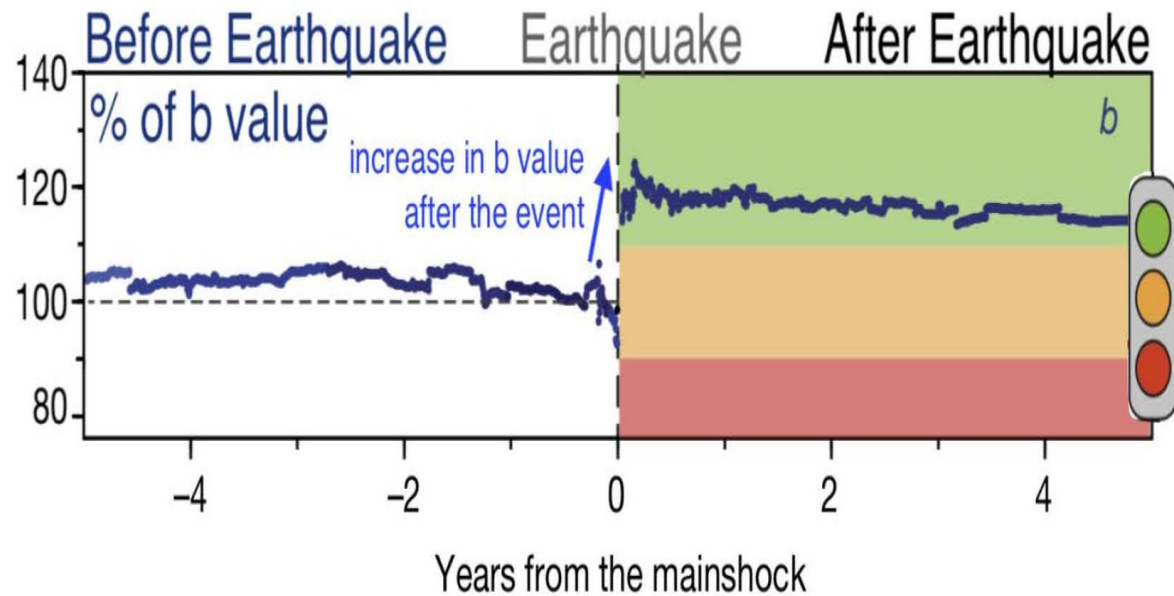
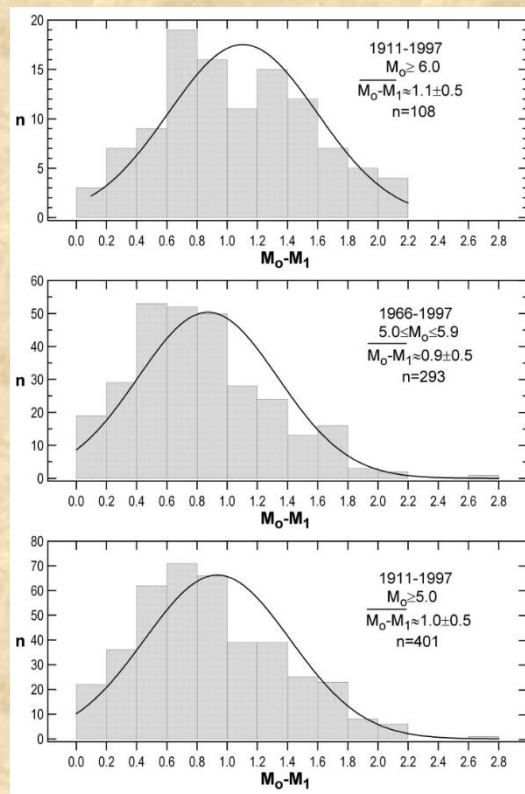
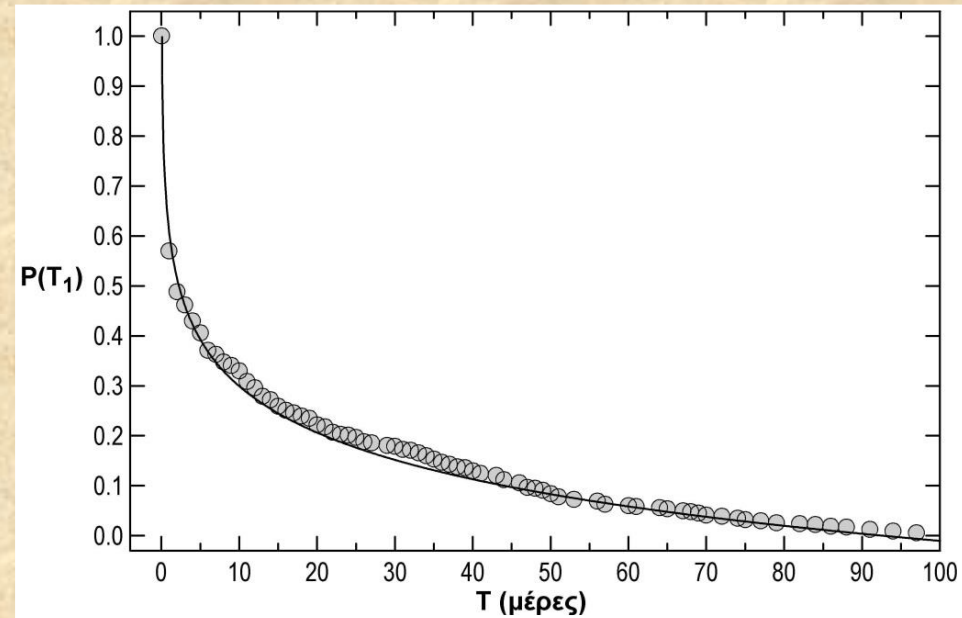


Figure annotated from Gulia & Wiemer [2019] showing the b value changes through time. After the earthquake, a 10% increase in b value creates a 'green' light. Alternately, a change of less than 10% would result in a 'yellow' light, and a 10% decrease in b heralds a potential oncoming large earthquake ('red' light).

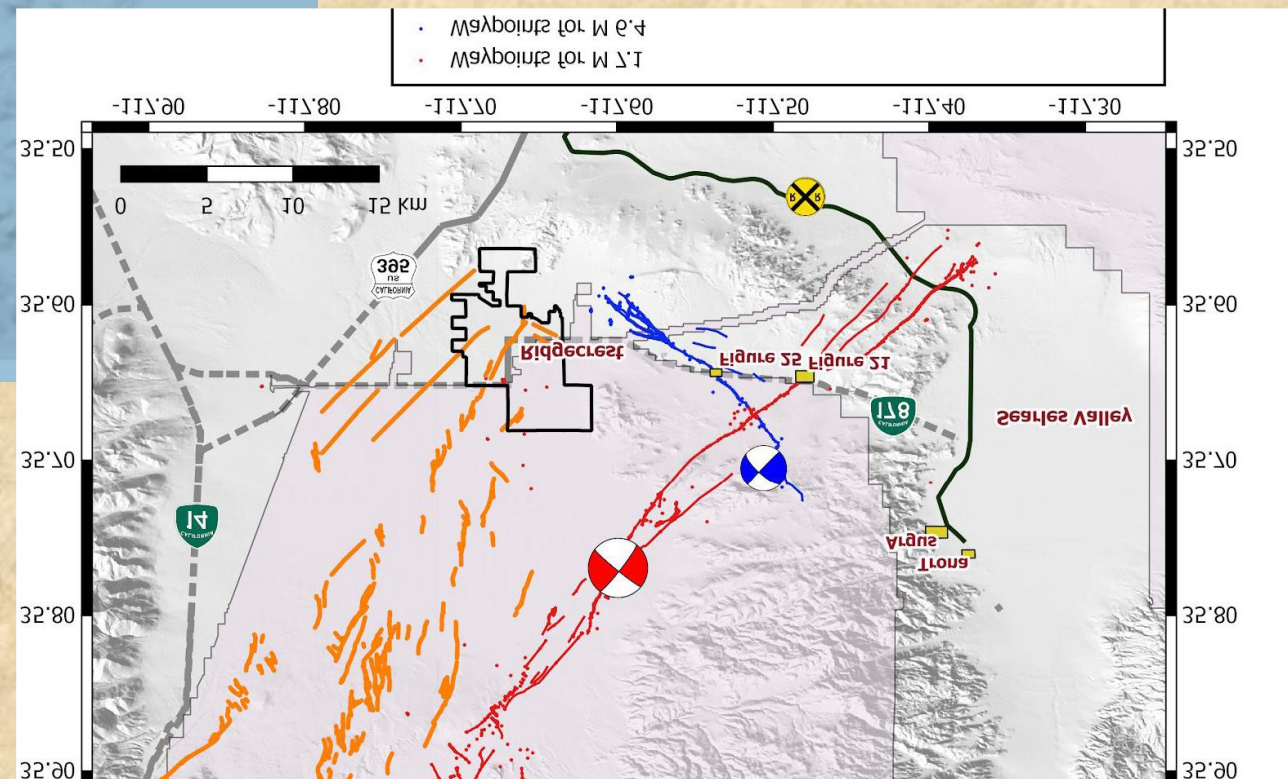
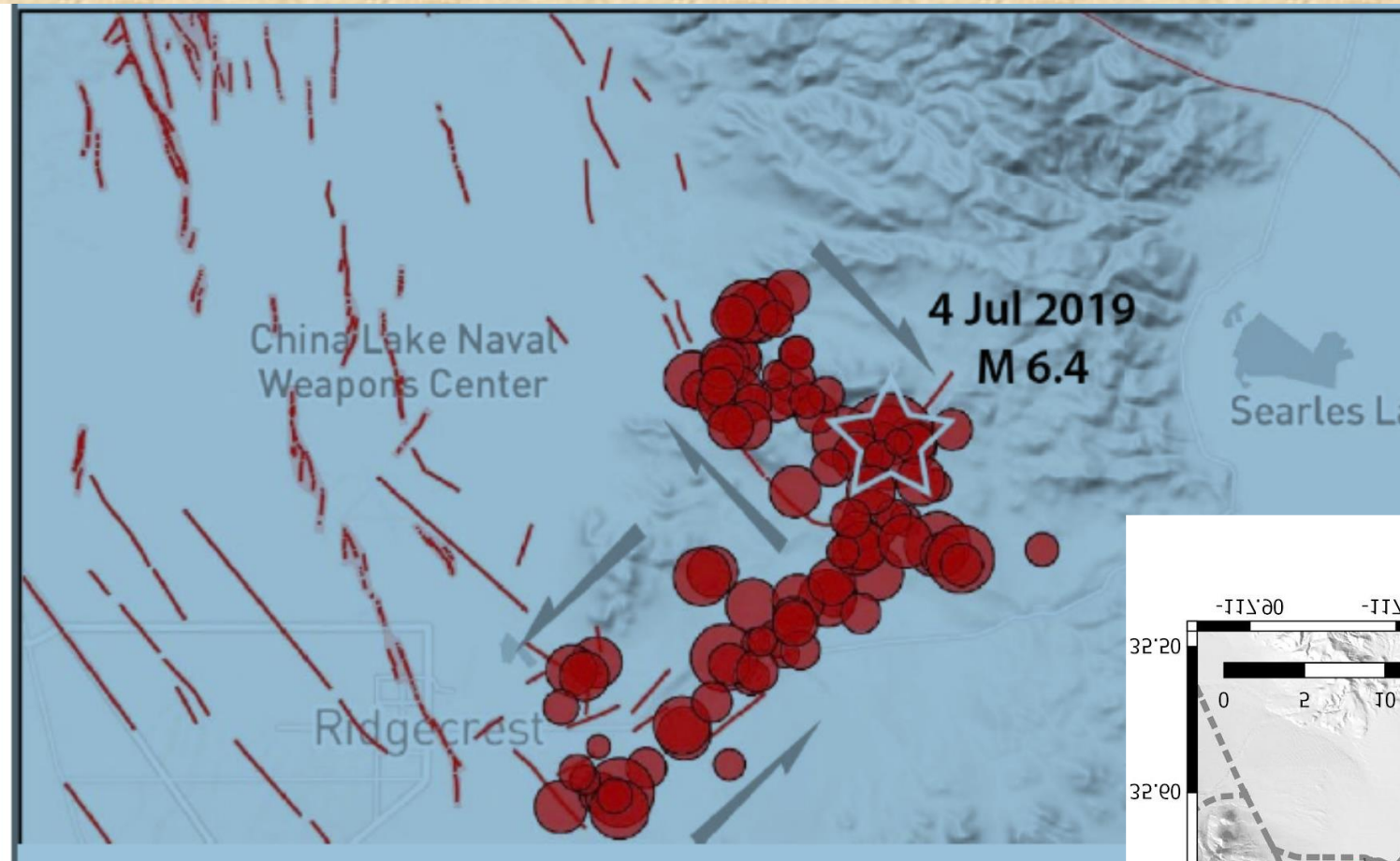


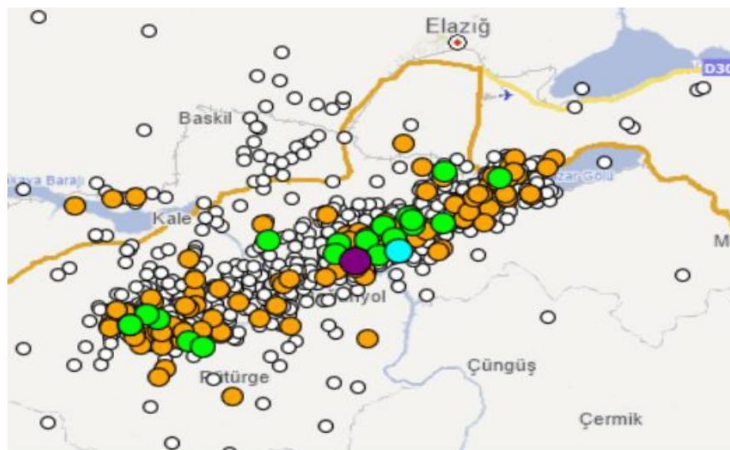
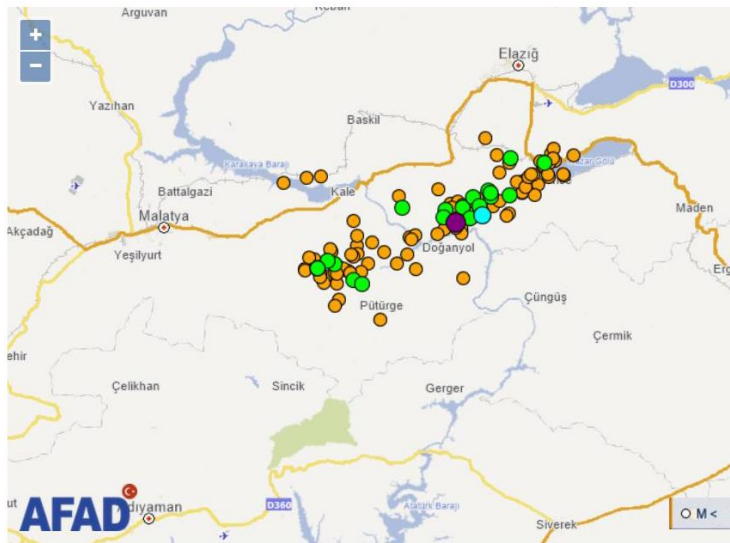
Διαφορά των μεγεθών του κύριου σεισμού, M_0 , και του μεγαλύτερου μετασεισμού του. Η μέση τιμή της διαφοράς στο άθροισμα των δύο αυτών συνόλων που φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος ($n=401$ ακολουθίες) είναι 1.0 ± 0.5 .



Πιθανότητας γένεσης, $P(T_1)$, του μεγαλύτερου μετασεισμού να γίνει σε χρόνο T_1 (σε μέρες) μετά τον κύριο σεισμό.

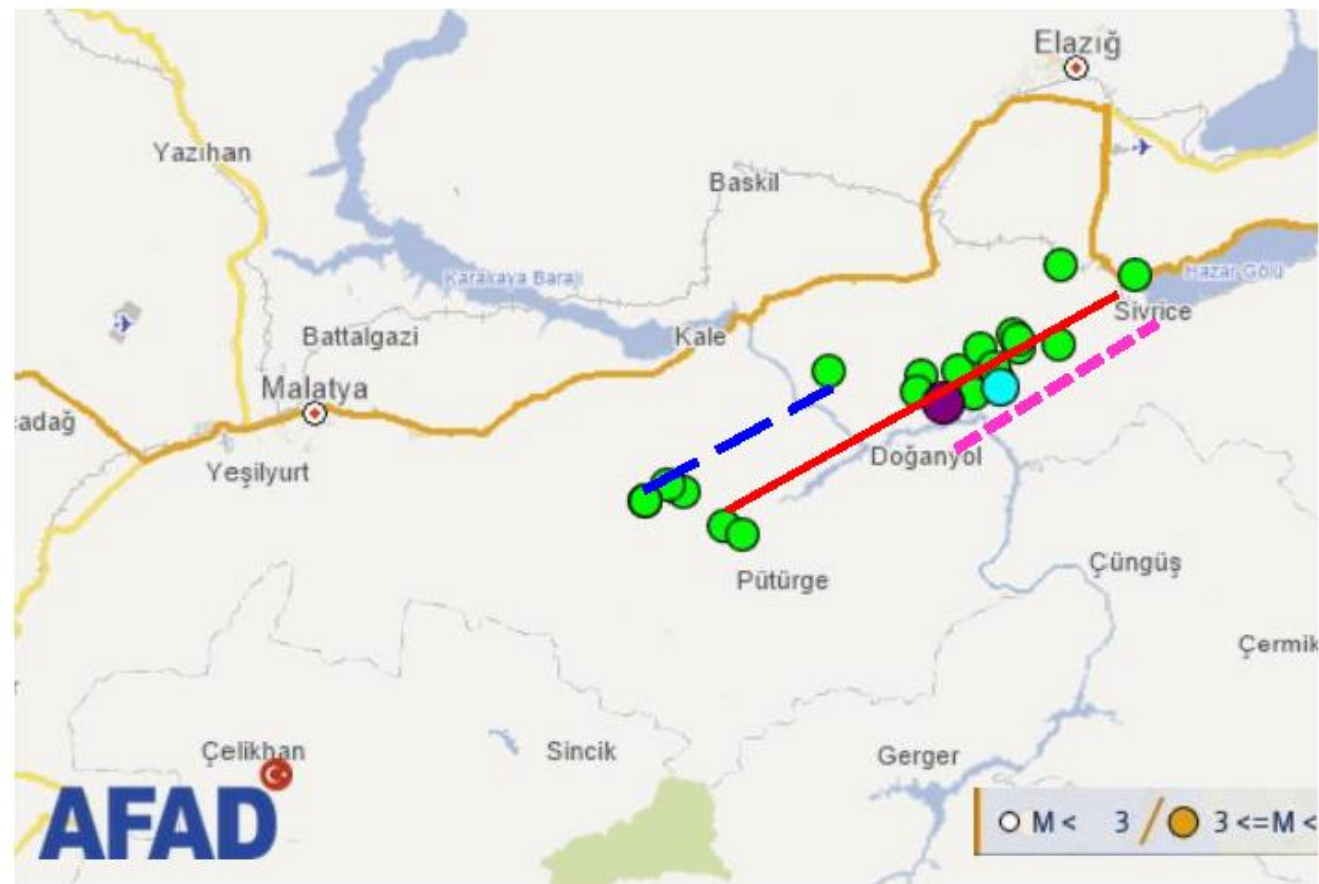
39% πιθανότητα ο μεγαλύτερος μετασεισμός να γίνει μέσα στις πρώτες 24 ώρες μετά τον κύριο σεισμό, 65% μέσα στην πρώτη εβδομάδα





Aftershock activity up to Jan. 27, 08:00 for $M \geq 3.0$ (upper) and all the earthquakes (lower)

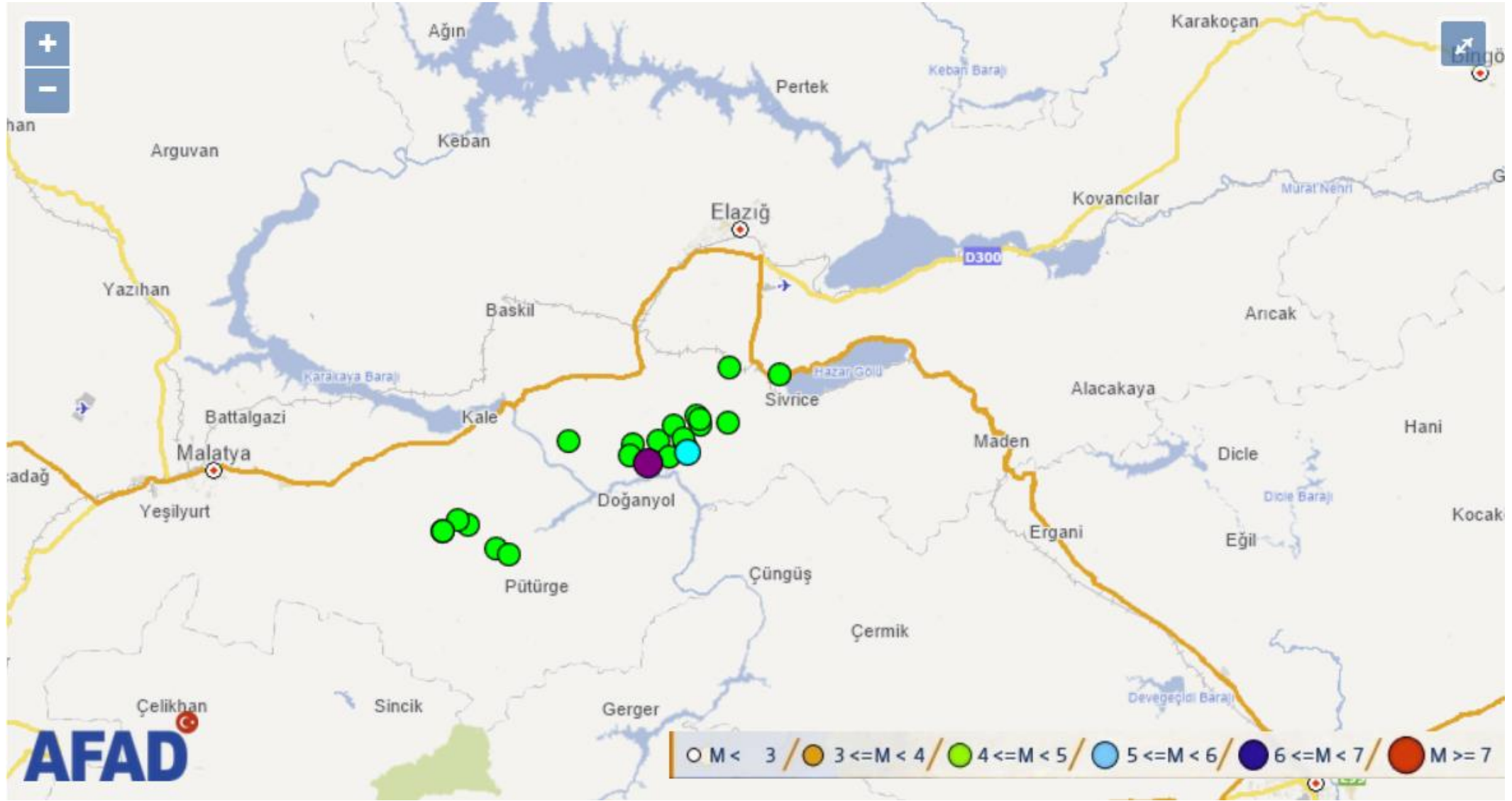
Aftershock activity up to Jan. 27, 2000 for $M \geq 4.0$, 08:00 UTC

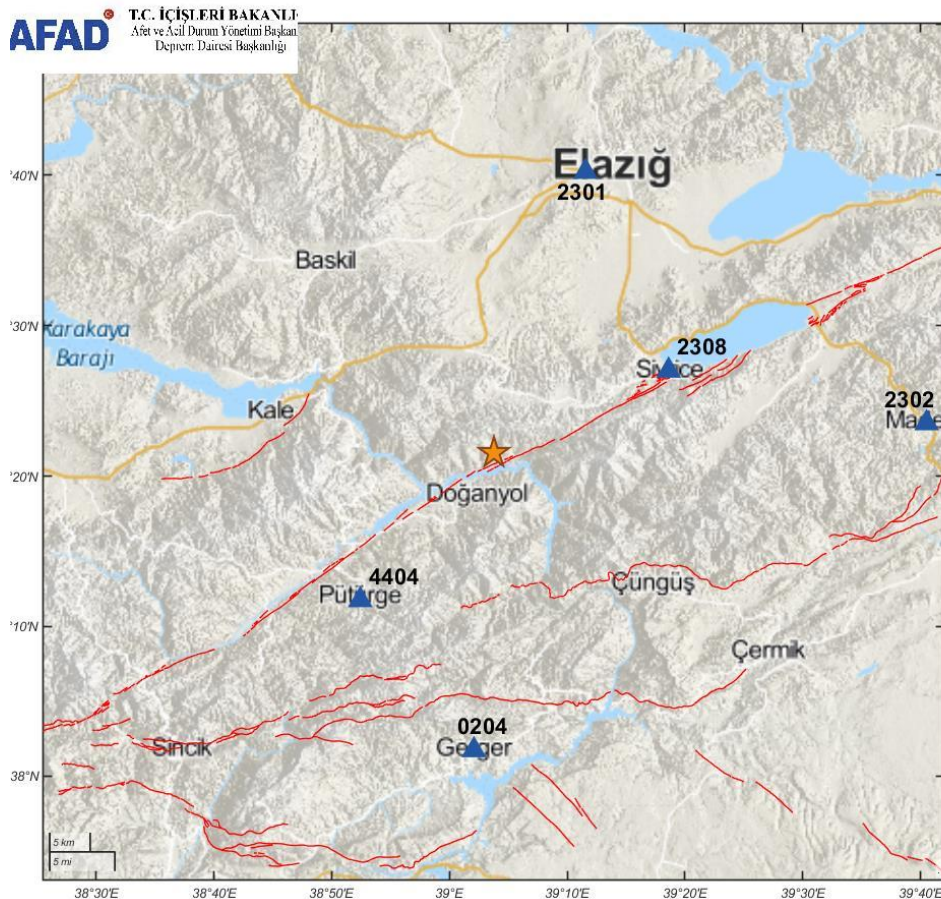


RED line has length of 56 Km -> $M=7.0$

Hatched orange line has length 29 km -> $M=6.5$

Hatched blue line (gap) has length 23-28 km -> $M=6.4$





Ορισμένες προκαταρκτικές πληροφορίες σχετικά με τη χωρική κατανομή των κορυφαίων επιταχύνσεων του σεισμού (ELAZIĞ). Το αστέρι αντιπροσωπεύει το επίκεντρο του κύριου σεισμού, που βρίσκεται σχεδόν στην ίδια επικέντρική (και ενδεχομένως και στην JB απόσταση). Οι τιμές PGA μπορούν να παρέχουν ορισμένες προκαταρκτικές πληροφορίες. Οι τιμές του σταθμού 4404 ($\Delta = 25$ km) που βρίσκεται στον ΝΔ τερματισμό της διάρρηξης ήταν 207/239/154 cm/sec² για συνιστώσες NS / EW / UD. Οι αντίστοιχες τιμές του σταθμού 2308 ($\Delta = 24$ km) ήταν 238/293/190 cm/sec². Οι τιμές για τον σταθμό 2301 (Elazığ) που βρίσκεται σε 36 km απόσταση ήταν 119/140/66 cm / sec² και για τον σταθμό 0204 ($\Delta = 37$ km) ήταν 94/110/61 cm / sec². Αν λάβουμε υπόψη την κατανομή των μετασεισμάτων, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν ενδείξεις ότι η διάρρηξη είχε κατευθυντικότητα προς τη ΒΑ. Η ανάλυση των κυματομορφών επιτάχυνσης θα δείξει αν αυτό είναι σωστό.