A satellite map of the Mediterranean region, showing the Balkans, Greece, and surrounding seas. The text is overlaid on the map.

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

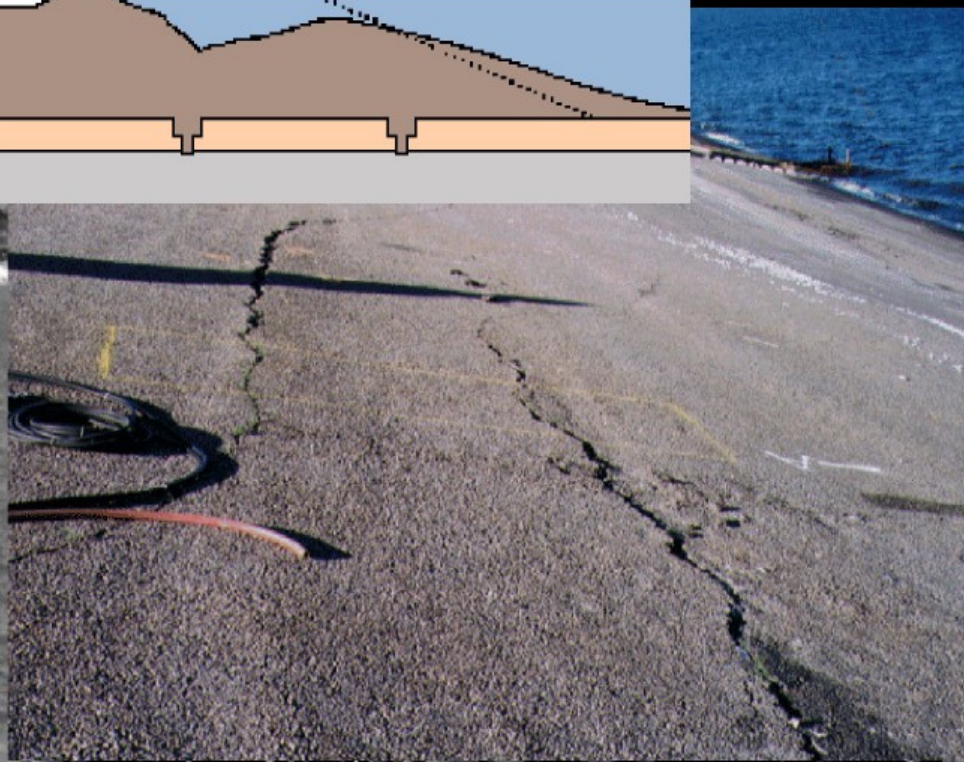
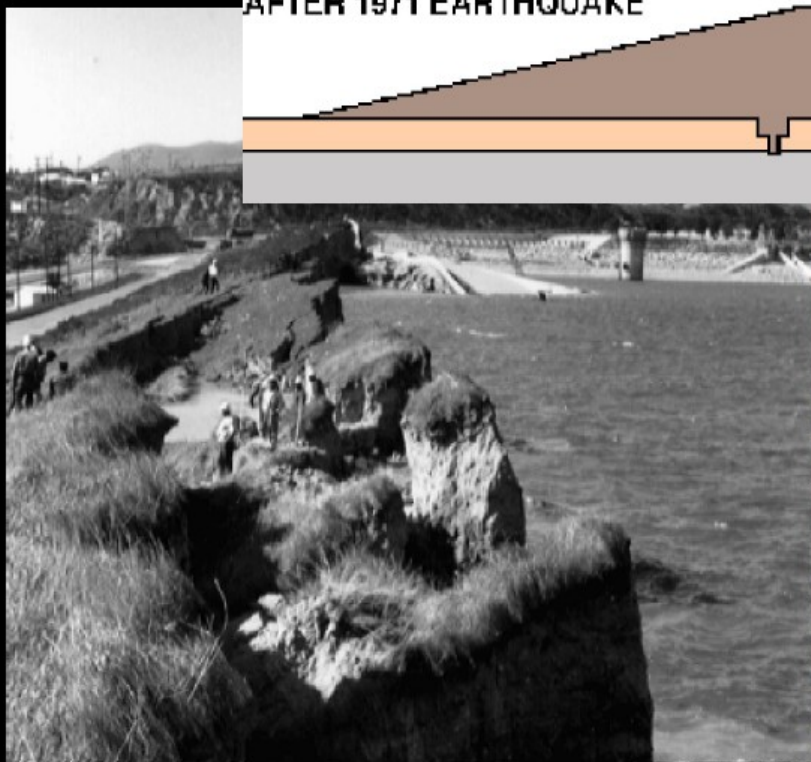
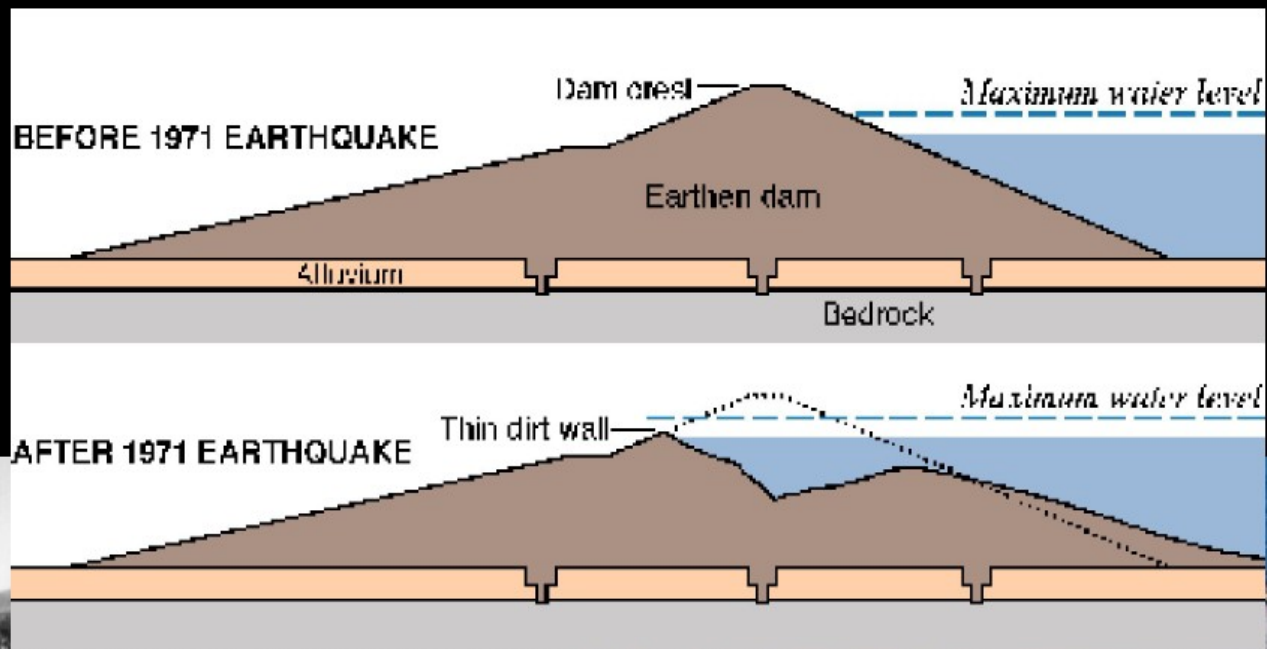
Κ. Παπαζάχος & Α. Κυρατζή

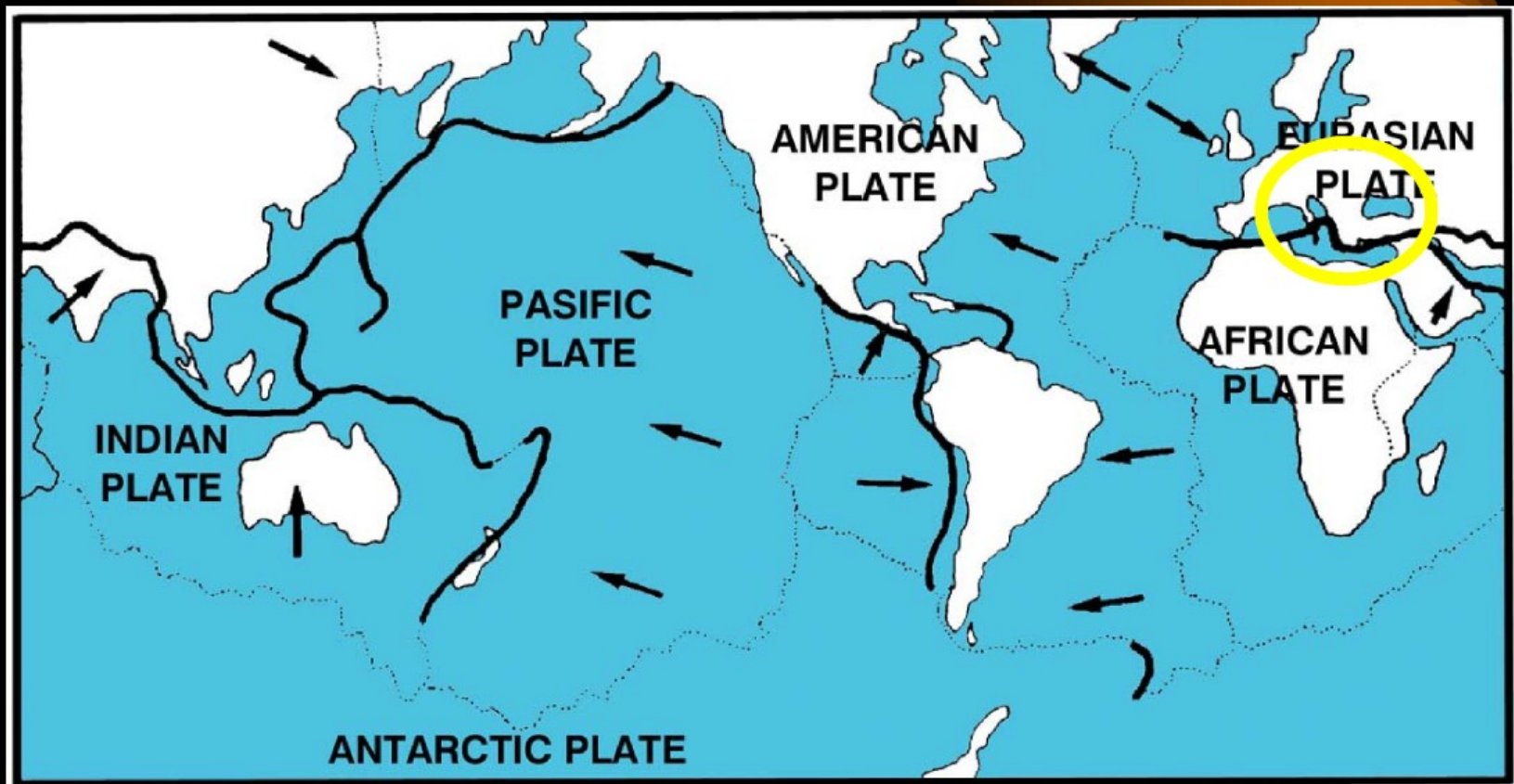
Εργ. Γεωφυσικής ΑΠΘ

Email: krapaza@geo.auth.gr

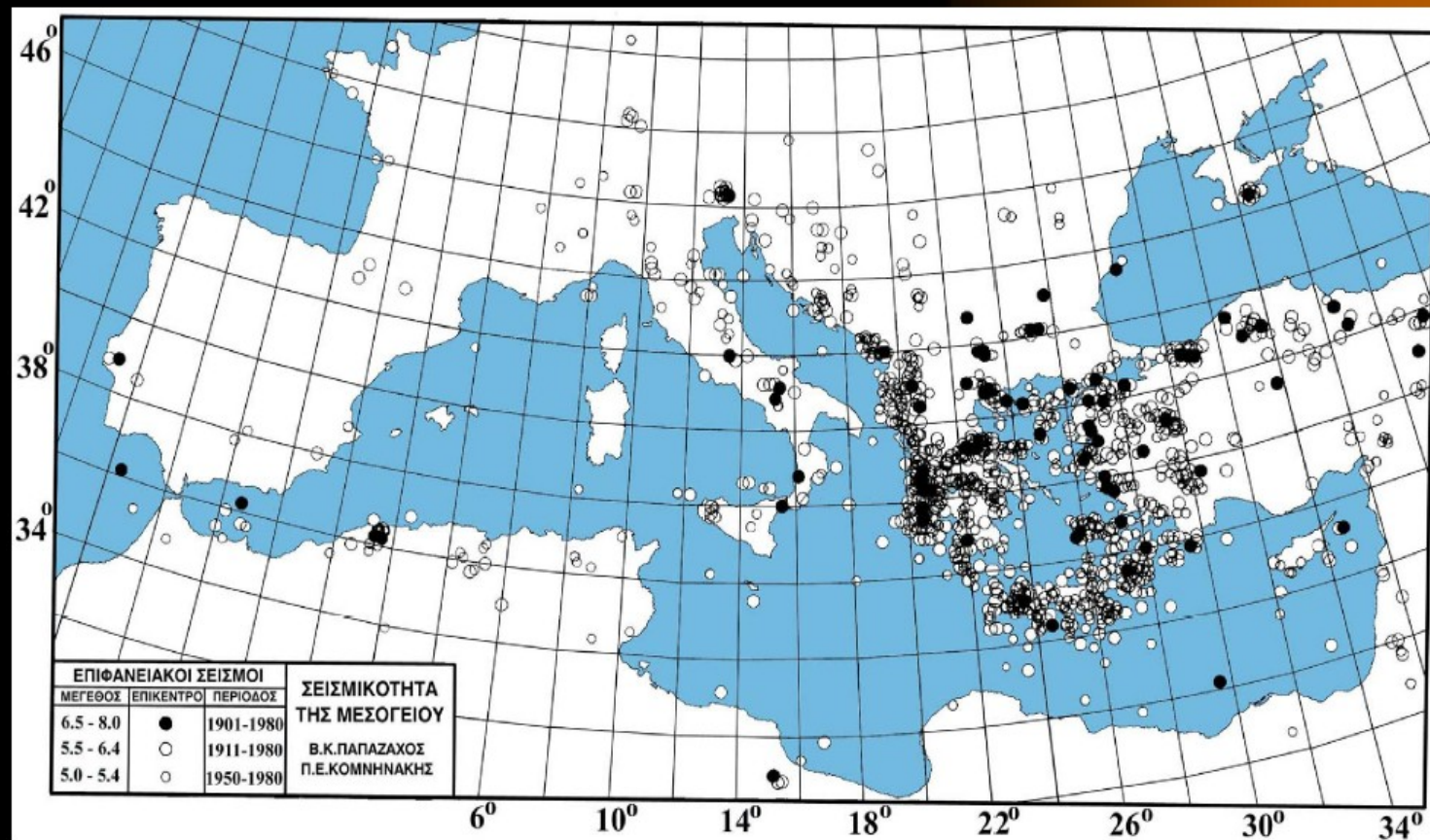


Σεισμός Αλάσκας

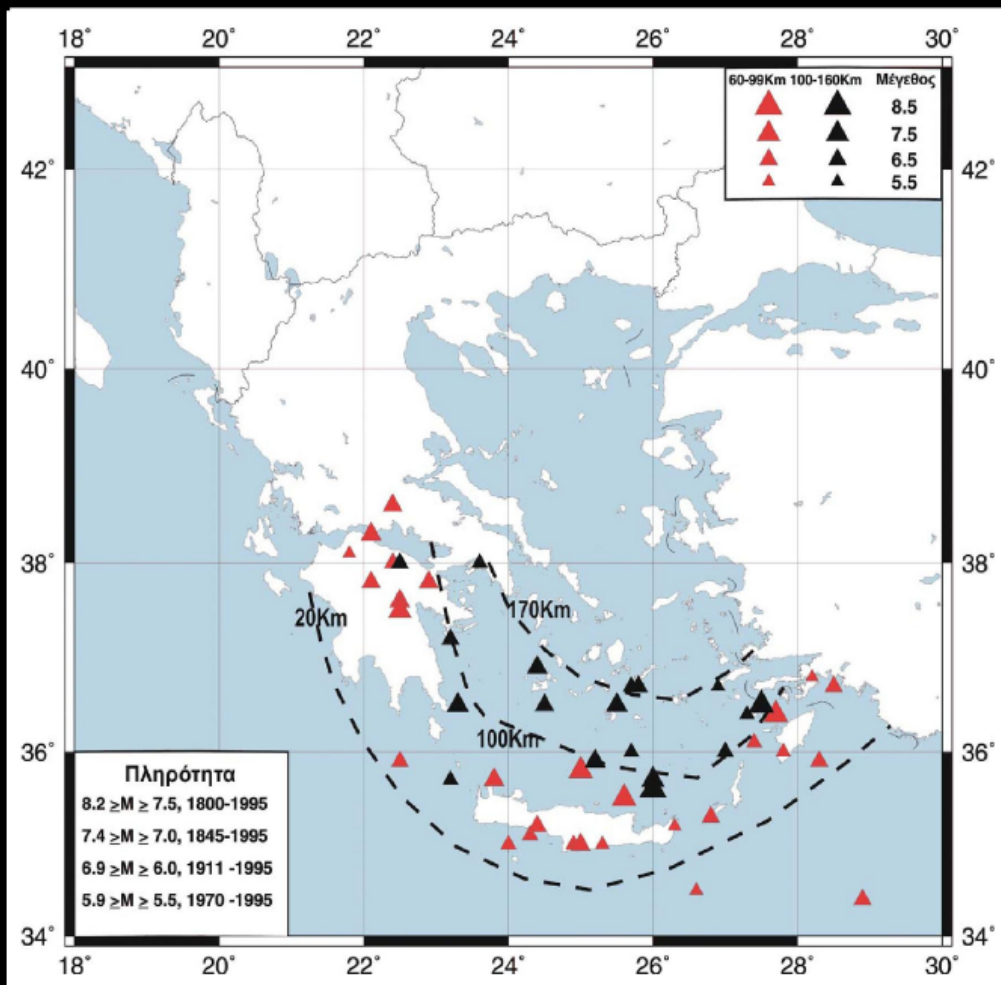




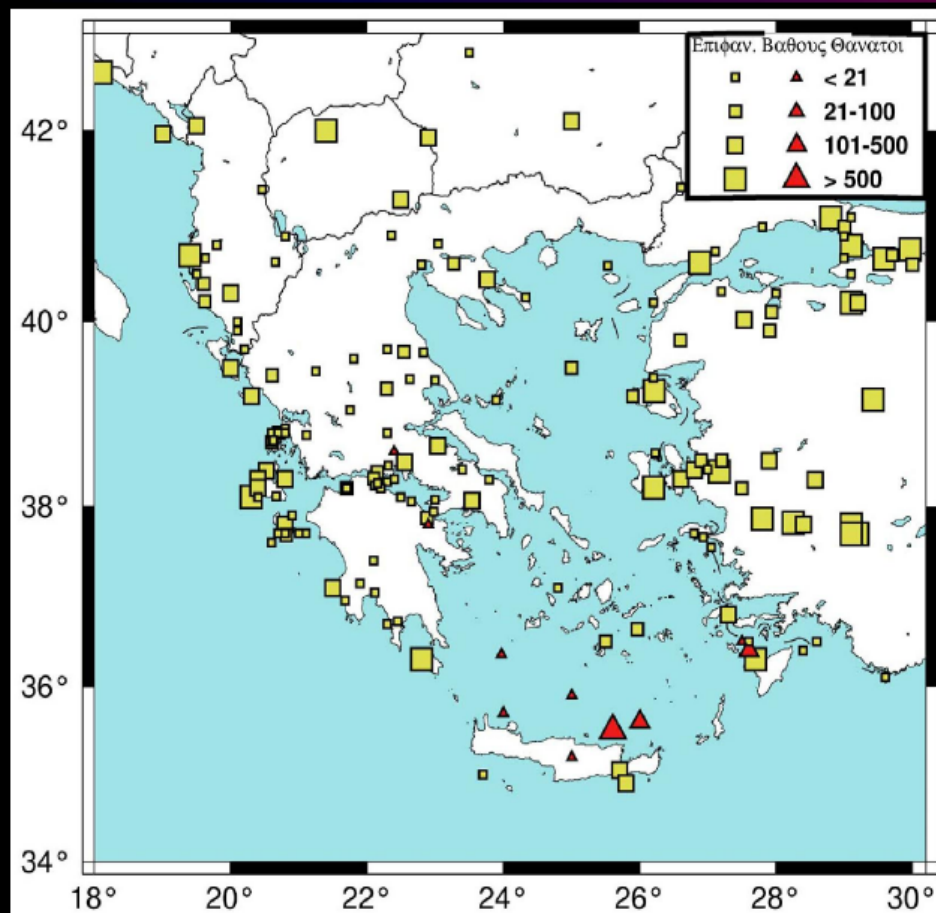
Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου



Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου

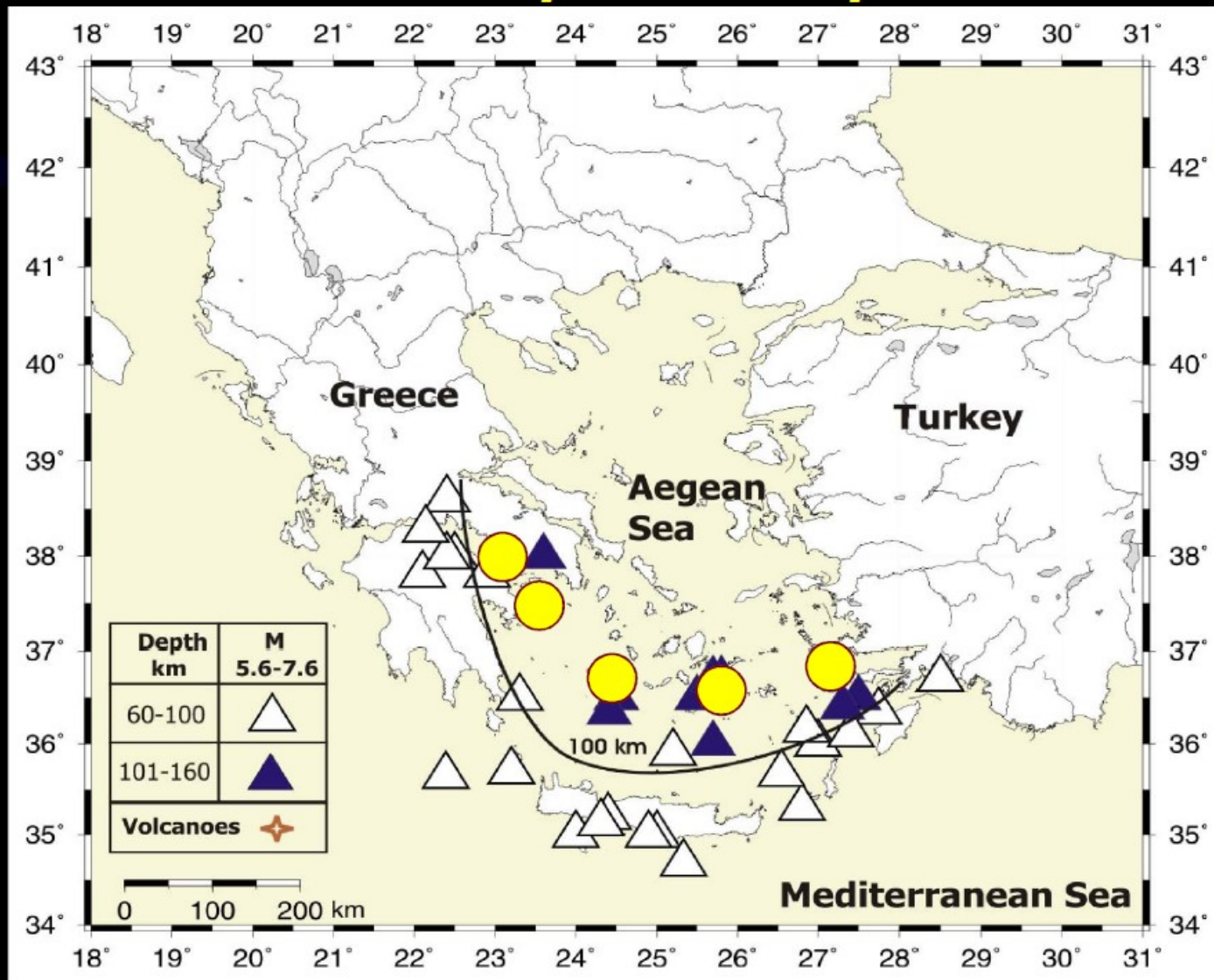


Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου

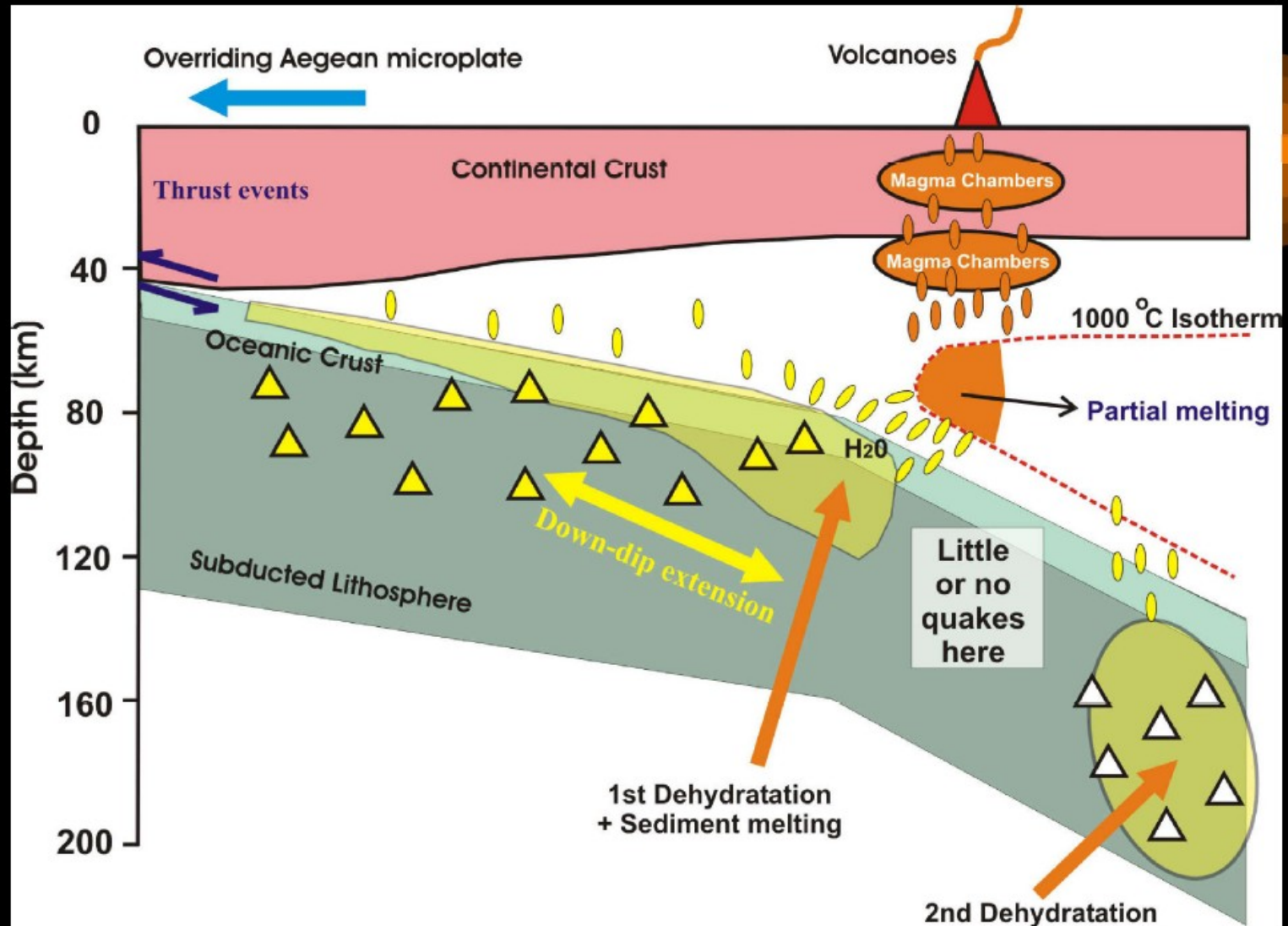


Παπαζάχος & Παπαζάχου (2005)

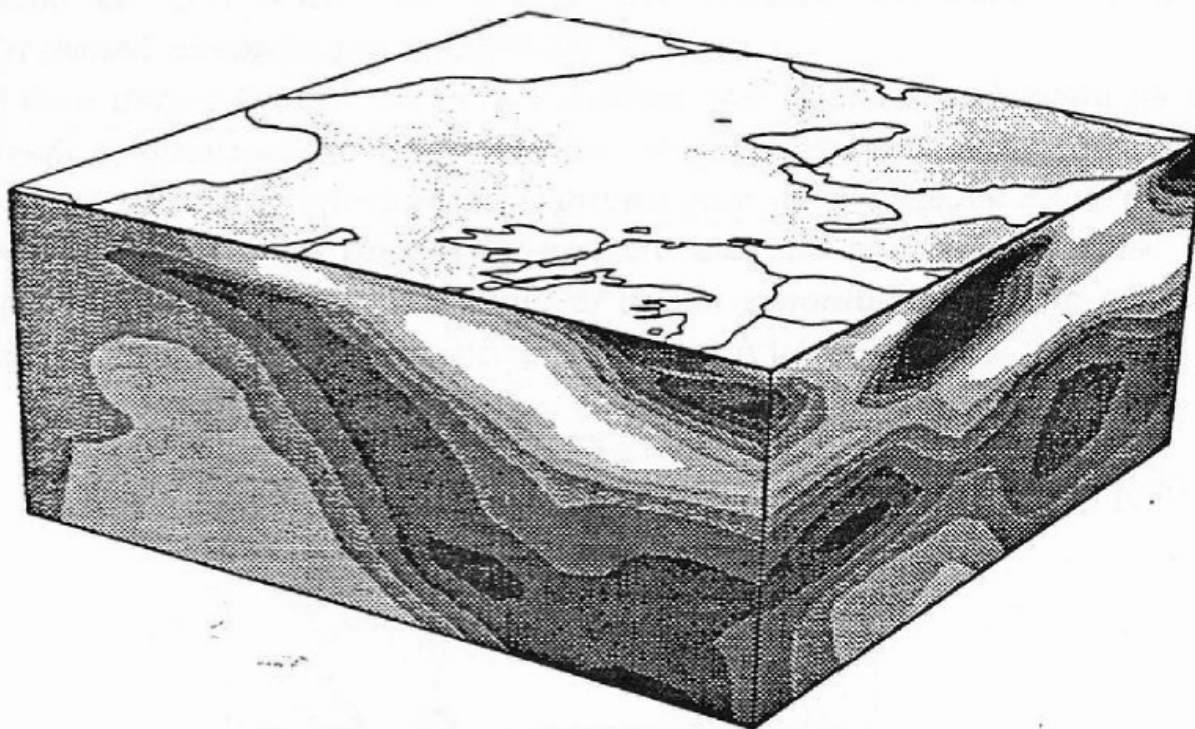
Σεισμοί Ενδιαμέσου Βάθους



Μοντέλο

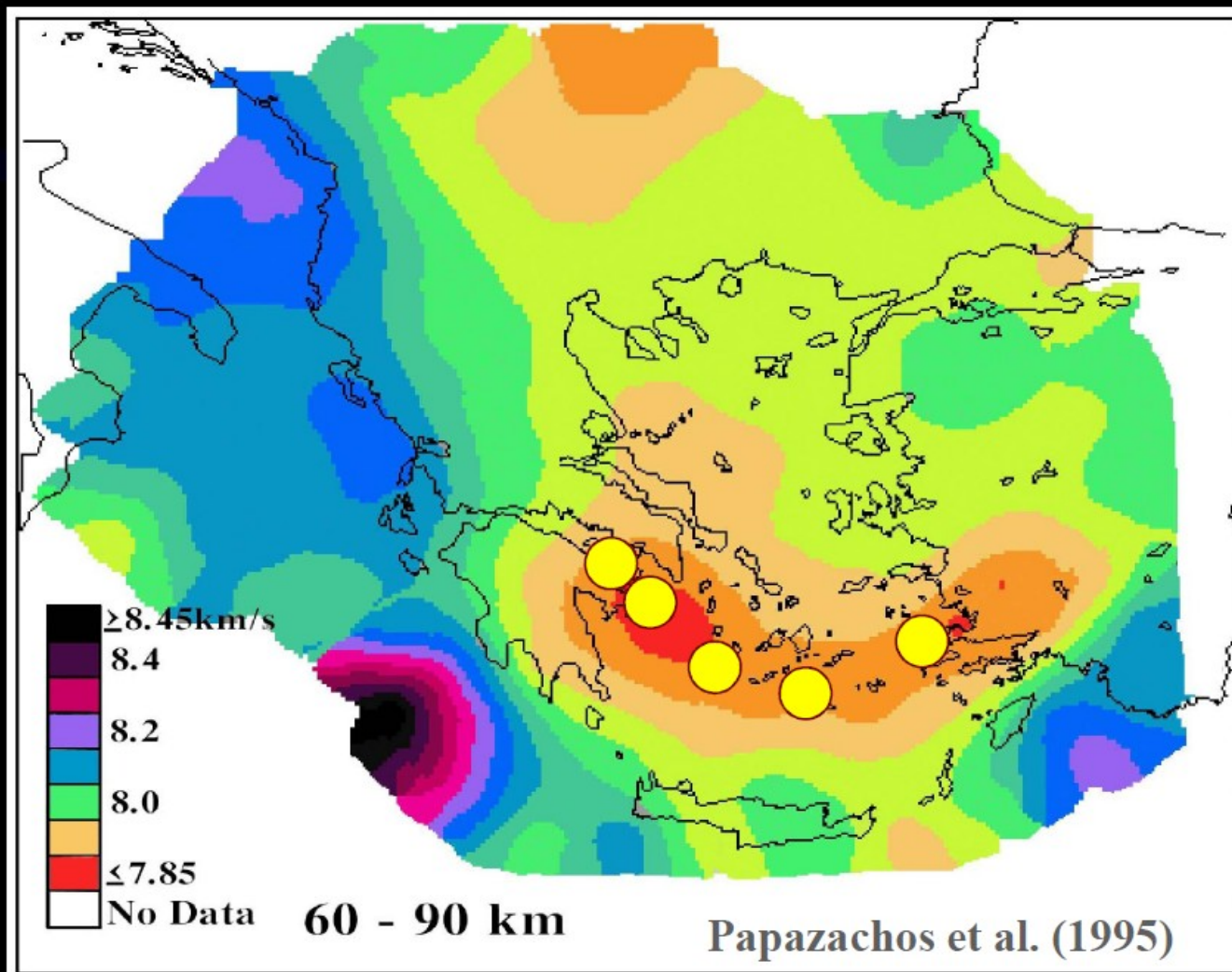


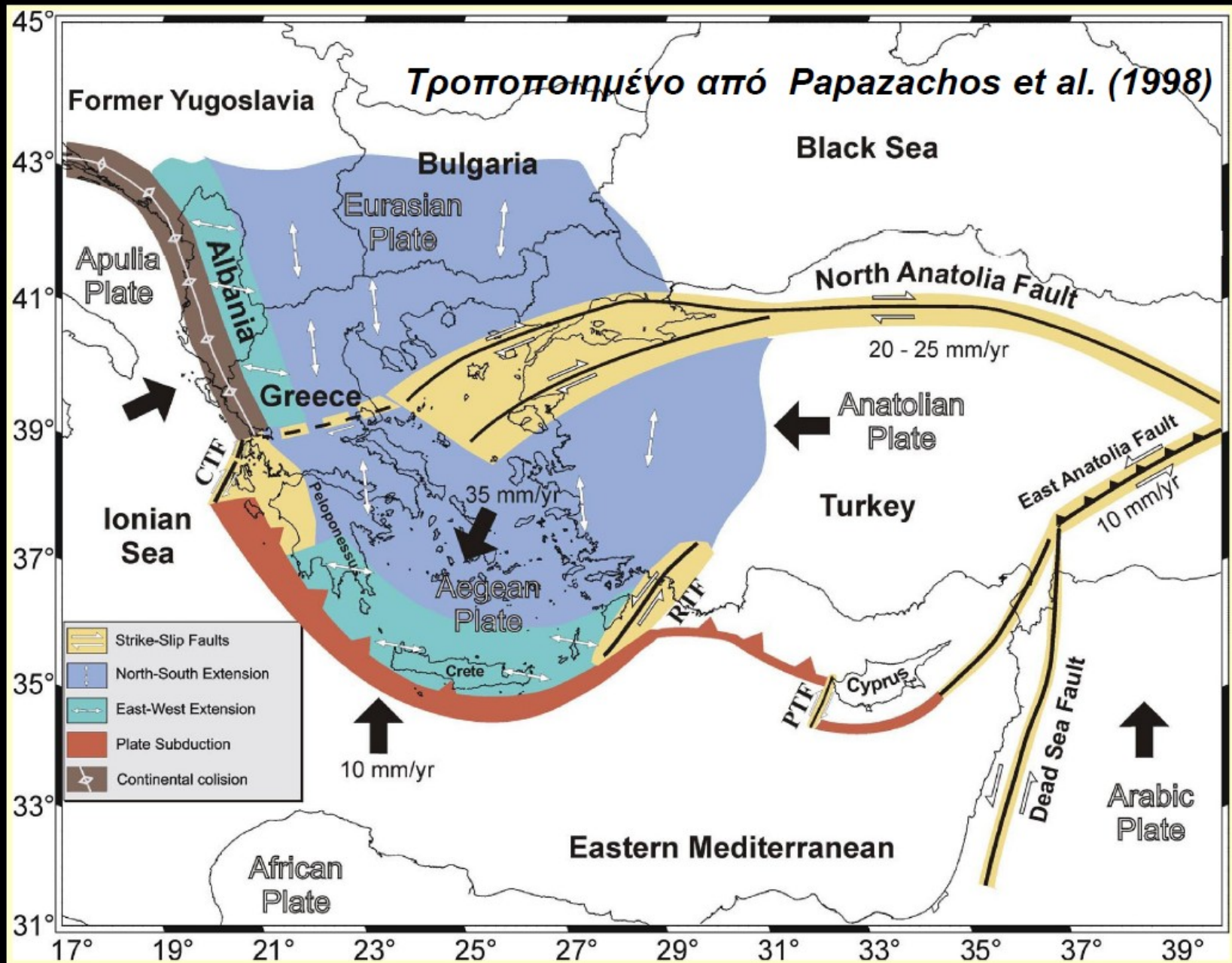
Βαθιά δομή - Τομογραφία



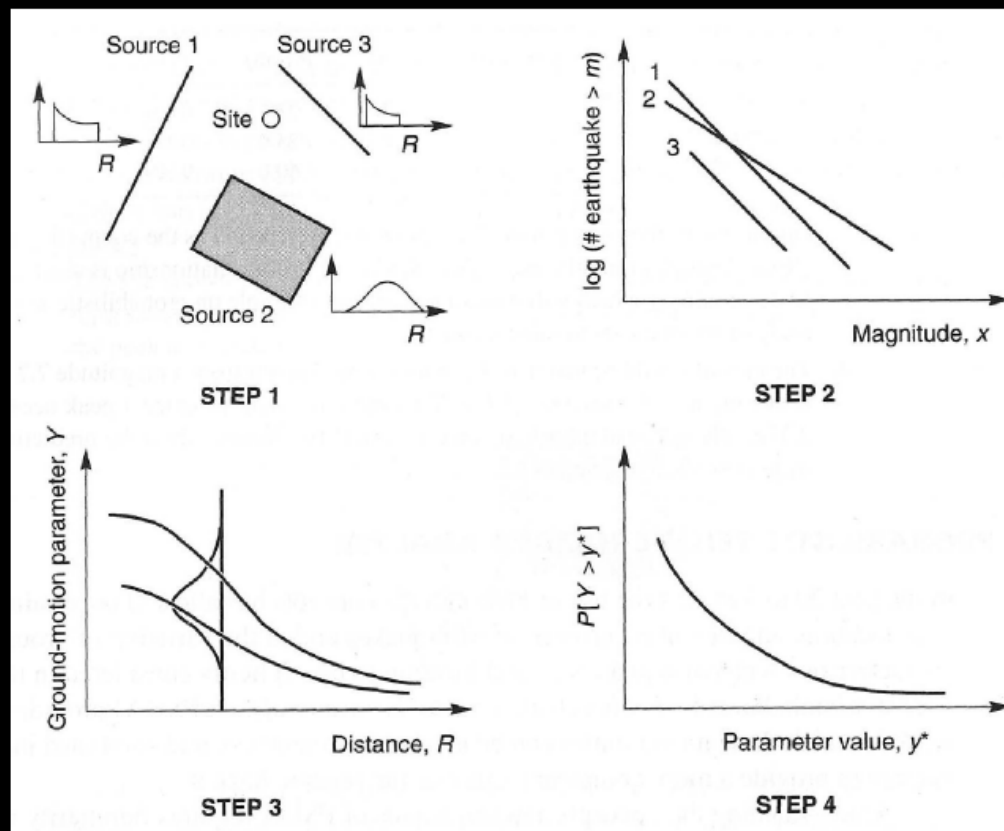
Spakman (1987)

Βαθιά δομή - Τομογραφία



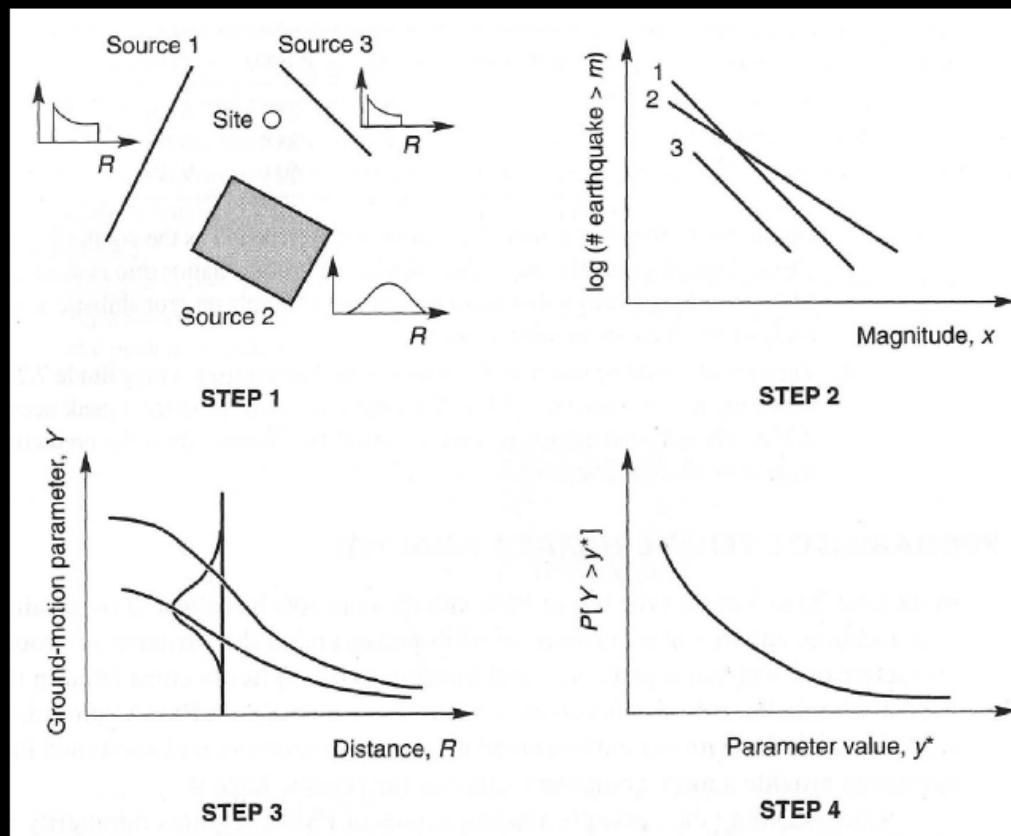


Σεισμική επικινδυνότητα



**Πιθανολογική
προσέγγιση**

Σεισμική επικινδυνότητα

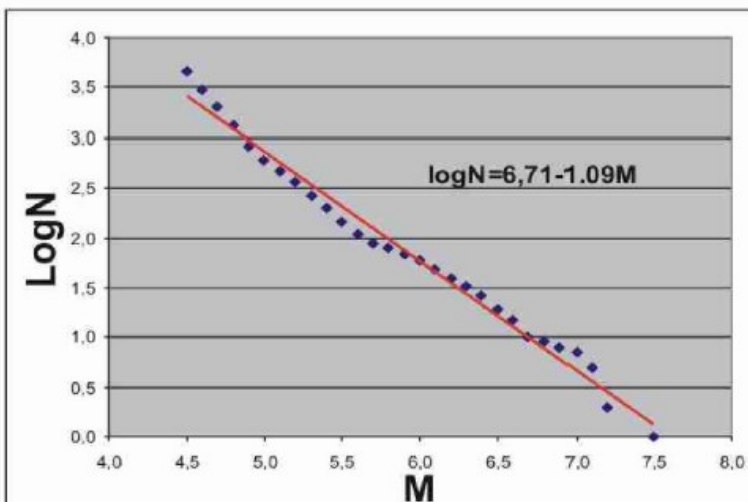


**Πιθανολογική
προσέγγιση**

Πιθανολογική εκτίμηση Σεισμικής Επικινδυνότητας

Β. Καθορισμός μοντέλου σεισμικότητας

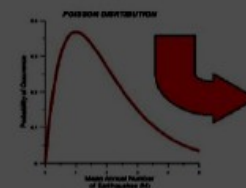
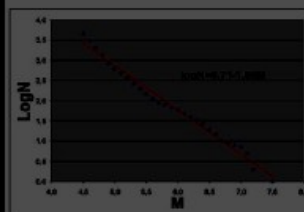
Μοντέλο Σεισμικότητας (Παραμετροί της σχέσης $\text{Log}N=a-bM$)



Σεισμοτεκτονικό Μοντέλο Καθορισμός σεισμικών πηγών



Μοντέλο Σεισμικότητας (Παραμετροί της σχέσης $\text{Log}N=a-bM$)

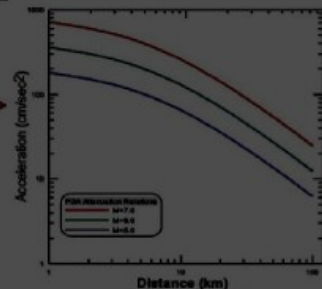


A

B

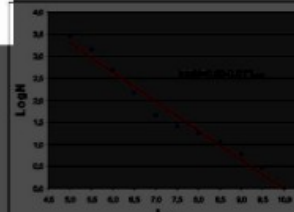
Δ

Γ



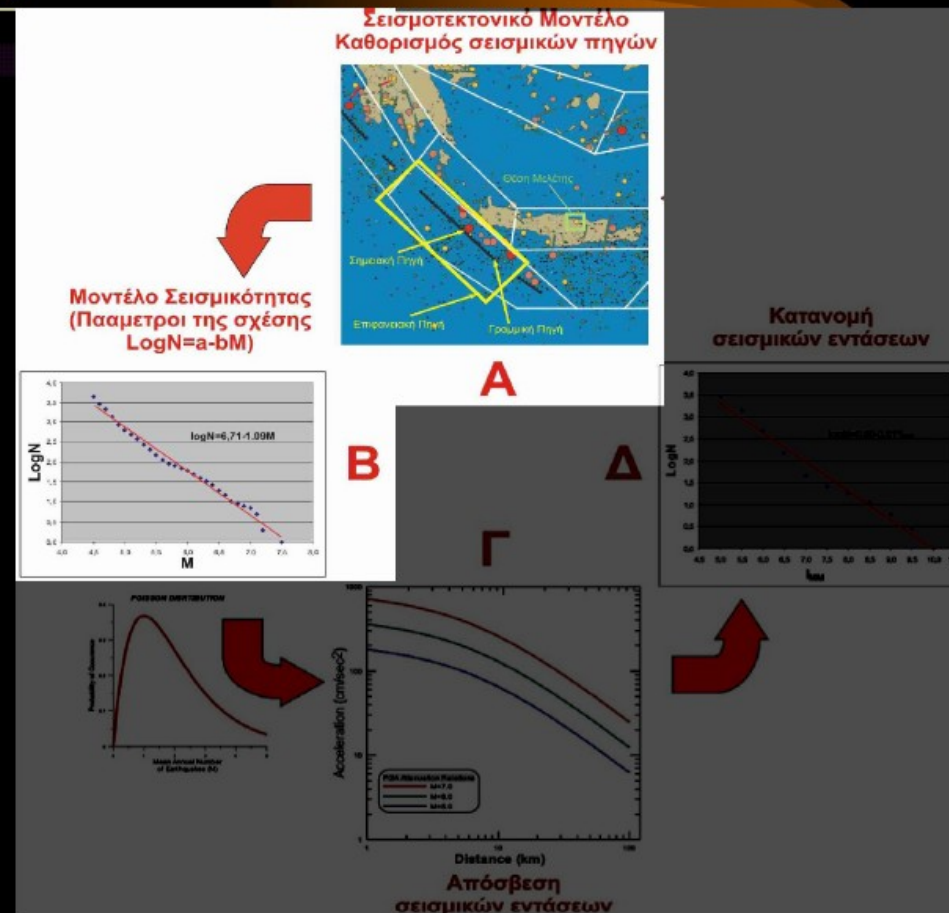
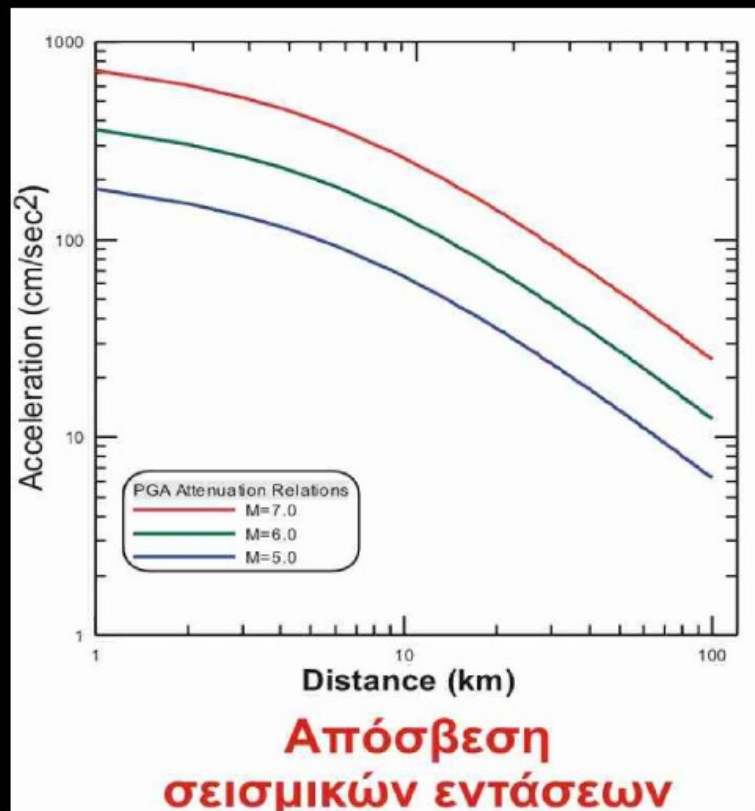
Απόσβεση
σεισμικών εντάσεων

Κατανομή σεισμικών εντάσεων



Πιθανολογική εκτίμηση Σεισμικής Επικινδυνότητας

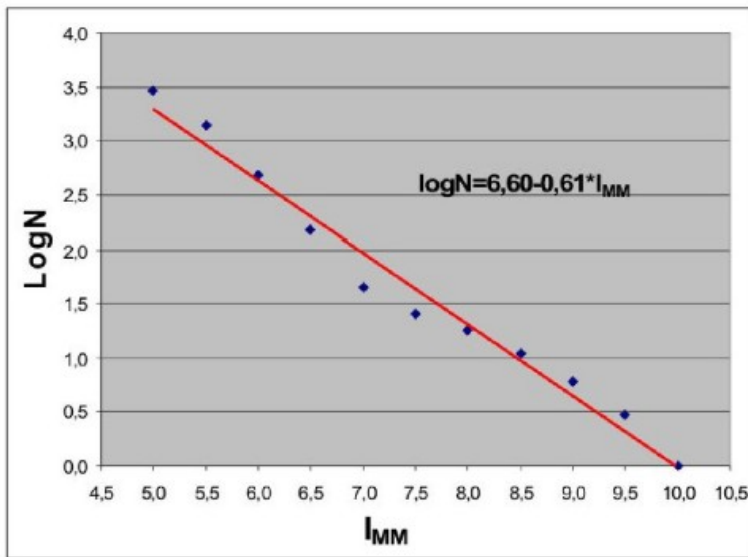
Γ. Καθορισμός σχέσεων απόσβεσης



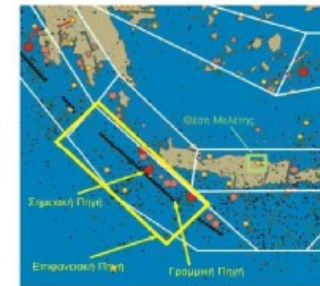
Πιθανολογική εκτίμηση Σεισμικής Επικινδυνότητας

Δ. Καθορισμός πιθανολογικής ανάλυσης

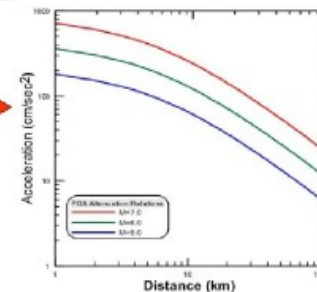
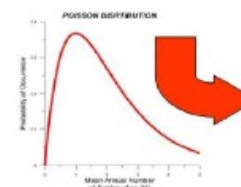
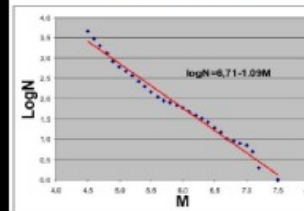
Κατανομή σεισμικών εντάσεων



Σεισμοτεκτονικό Μοντέλο Καθορισμός σεισμικών πηγών

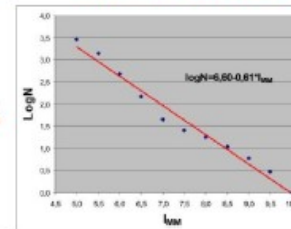


Μοντέλο Σεισμικότητας (Παμετροί της σχέσης LogN=a-bM)



Απόσβεση σεισμικών εντάσεων

Κατανομή σεισμικών εντάσεων



Εκτίμηση Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η πιθανότητα υπέρβασης μιας τιμής της εδαφικής κίνησης υπολογίζεται με βάση το

“Θεώρημα της ολικής πιθανότητας”

$$P(Y > y) = \int \int_{R M} P(Y > y | m, r) f_M(m) f_R(r) dm dr$$

P: η πιθανότητα υπέρβασης

Y: η ένταση της εδαφικής κίνησης

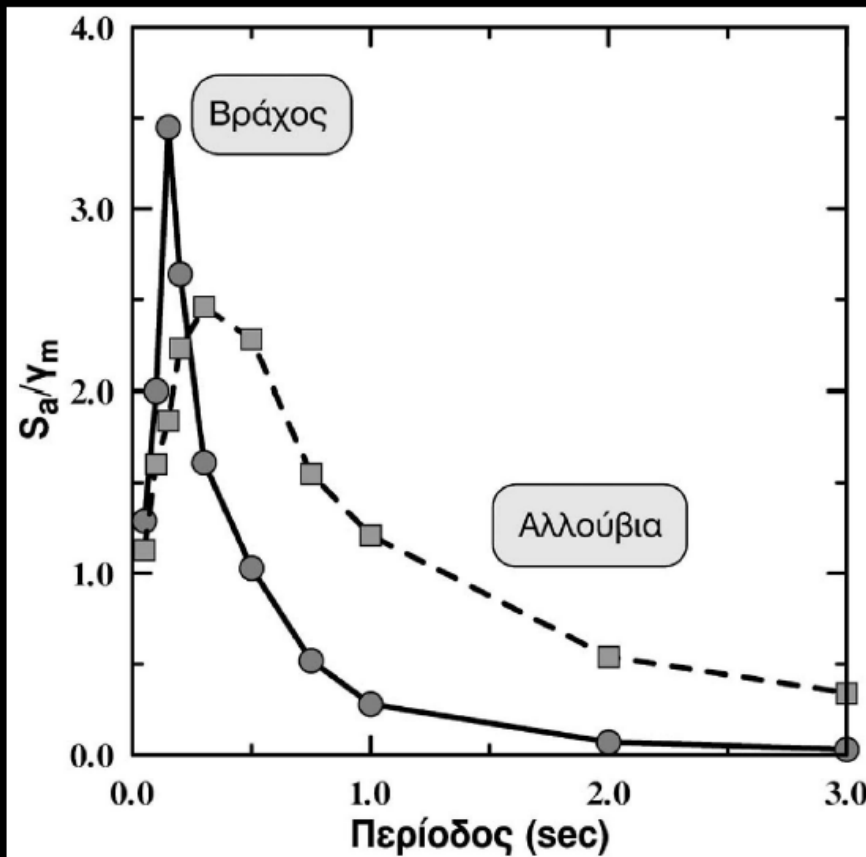
y: το επίπεδο της εδαφικής κίνησης για το οποίο υπολογίζεται η πιθανότητα

M: το μέγεθος του σεισμού

R: η εστιακή απόσταση

Σεισμική επικινδυνότητα

Εκτίμηση παραμέτρων επικινδυνότητας



➤ Πού γίνονται σεισμοί;
(Ζώνες, ρήγματα, κλπ.)

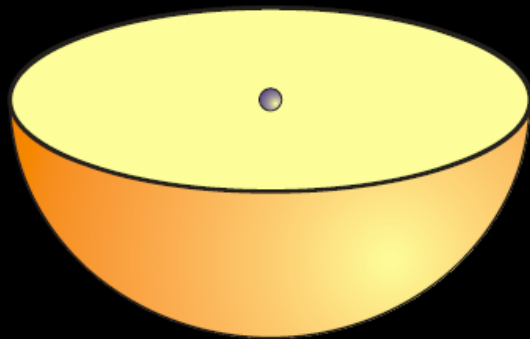
➤ ~~(Καθώς γίνονται οι σεισμοί;~~
~~(Poisson, χρονικά εξαρτώμενα μοντέλα)~~

➤ ~~Πώς μεταβάλλεται η ισχυρή σεισμική~~
~~κίνηση με την απόσταση;~~
(Σχέσεις απόσβεσης)

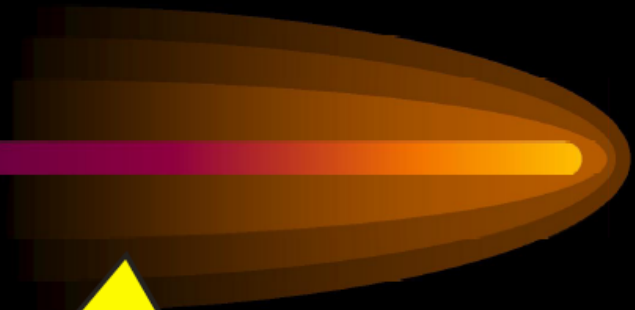
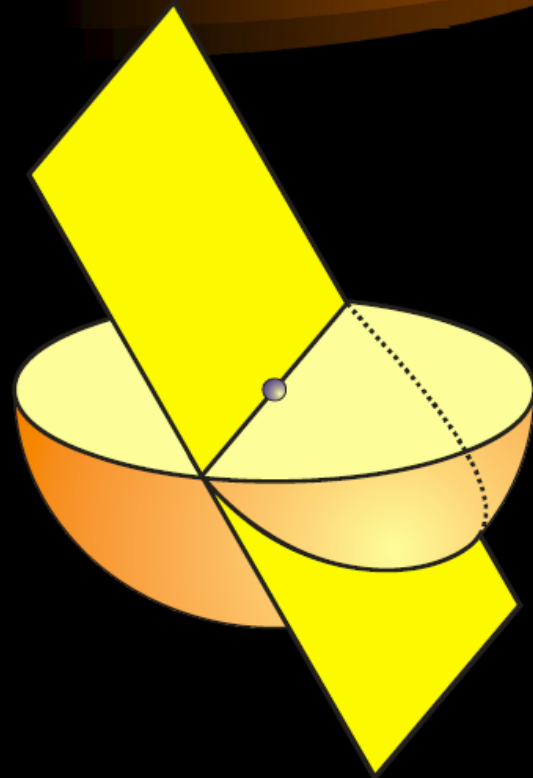
➤ ~~Πώς ενισχύεται κίνηση από τις τοπικές~~
~~εδαιφικές συνθήκες;~~

Μηχανισμοί Γένεσης

N

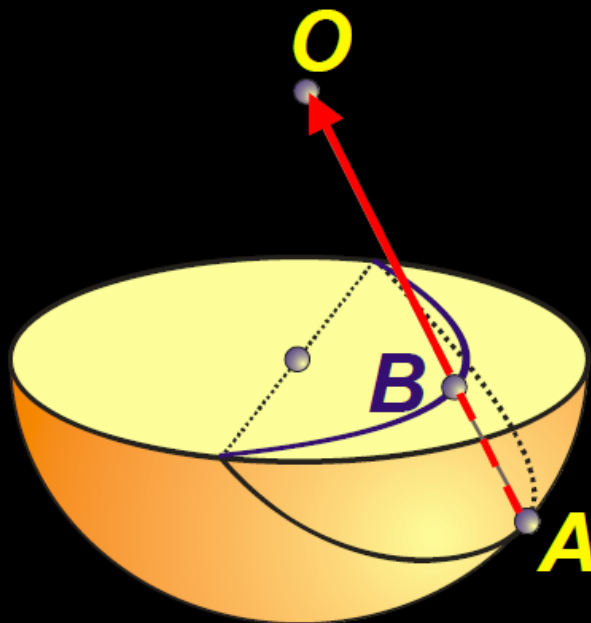


N

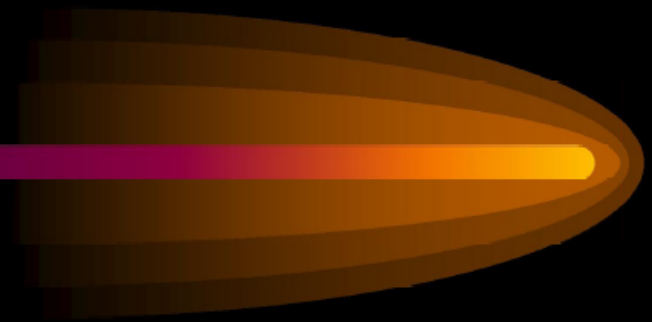
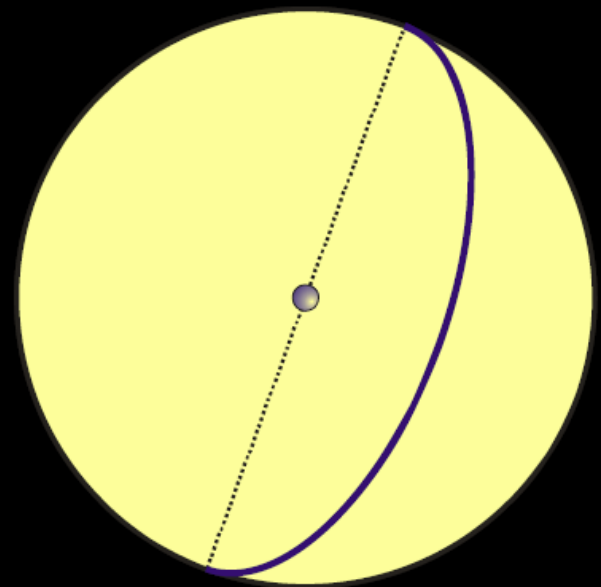


Μηχανισμοί Γένεσης

N

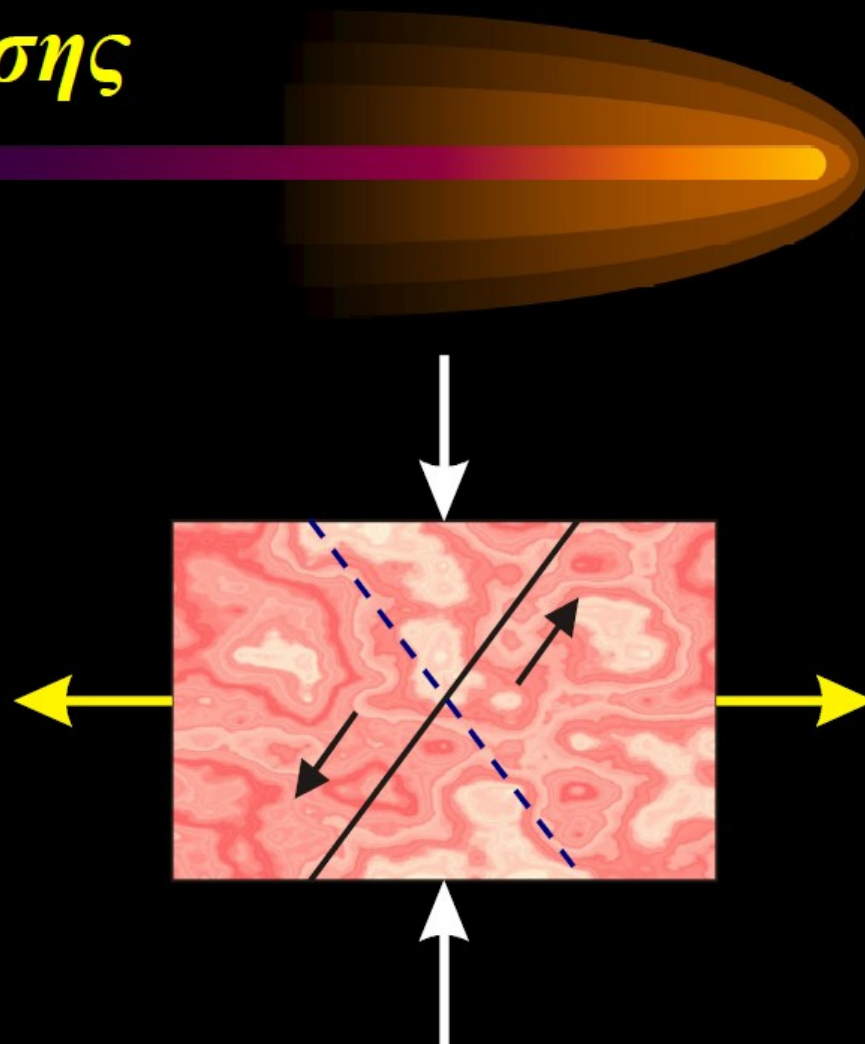
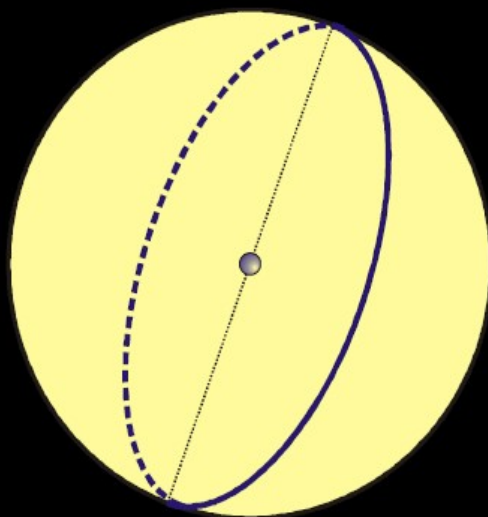


N

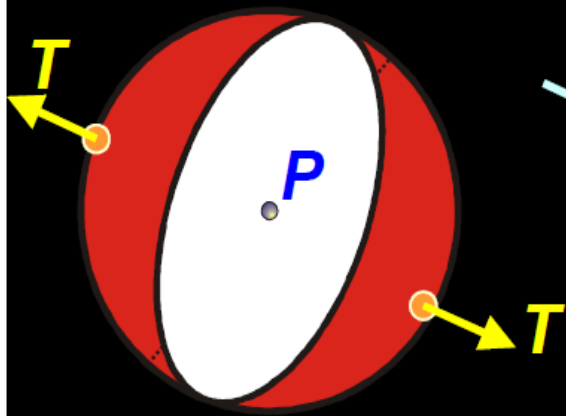


Μηχανισμοί Γένεσης

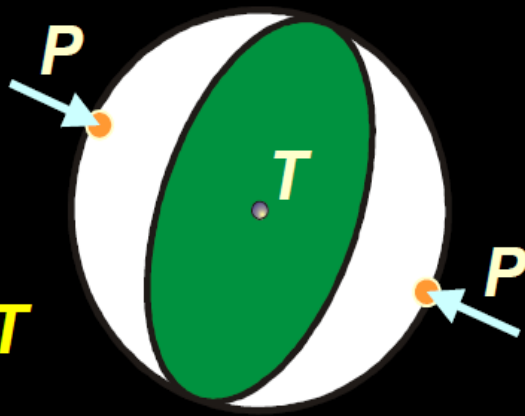
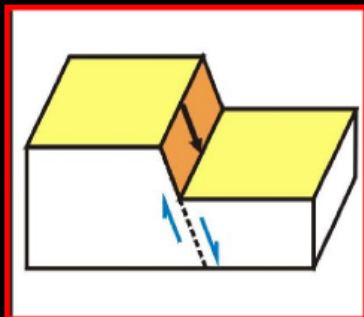
N



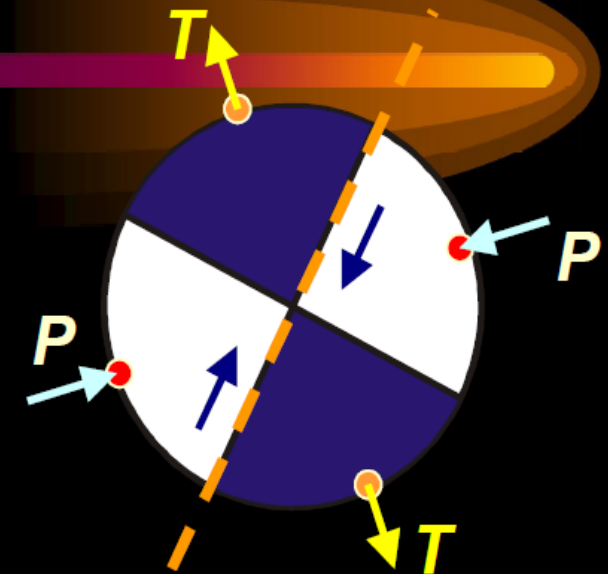
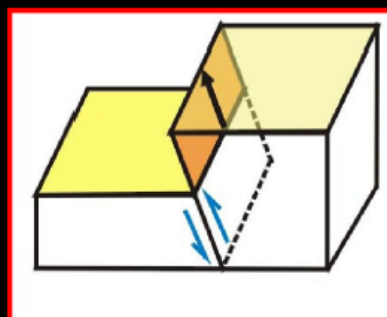
Μηχανισμοί Γένεσης



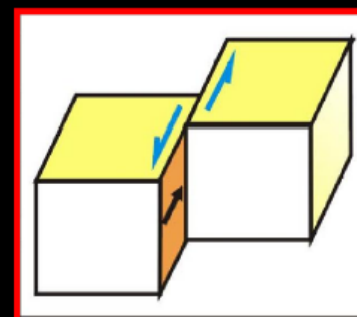
Κανονικά



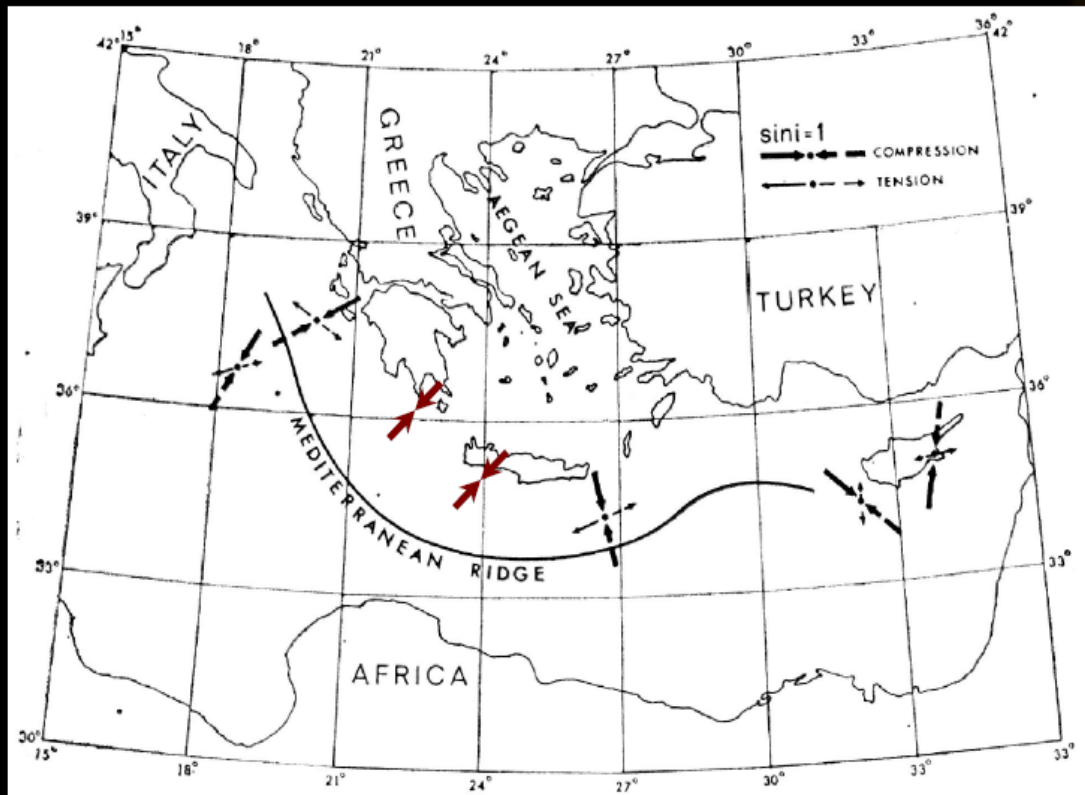
Ανάστροφα



Οριζόντιας Μετατόπισης

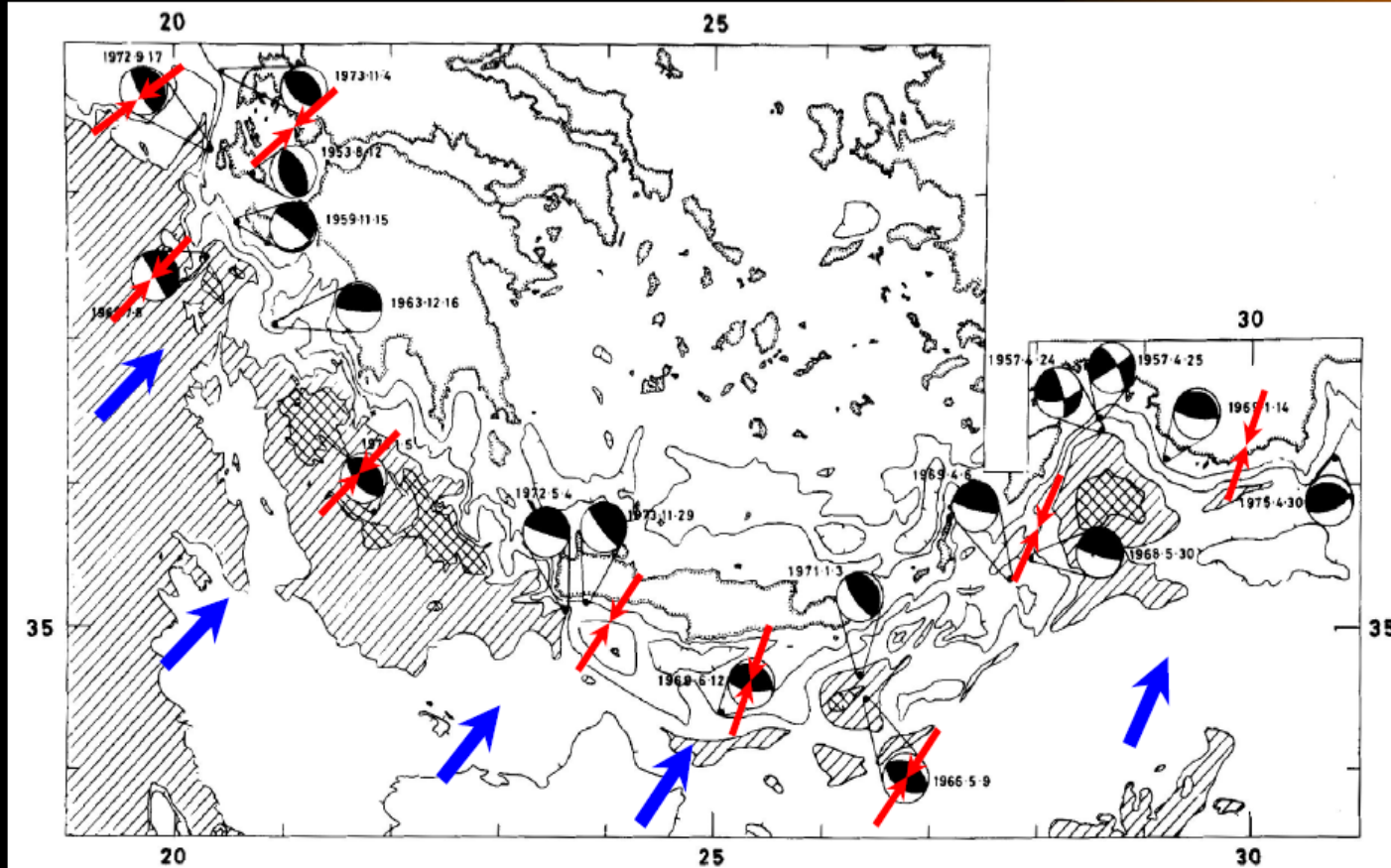


Πεδίο τάσεων και Μηχανισμοί γένεσης



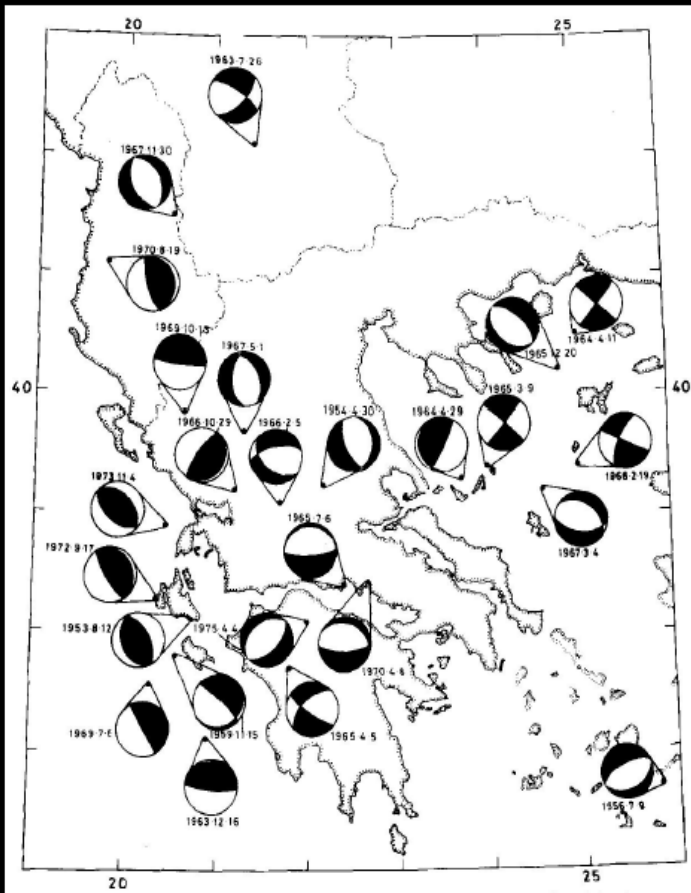
Papazachos & Delibasis (1969)
Comninakis & Papazachos (1972)

Πεδίο τάσεων και Μηχανισμούς γένεσης

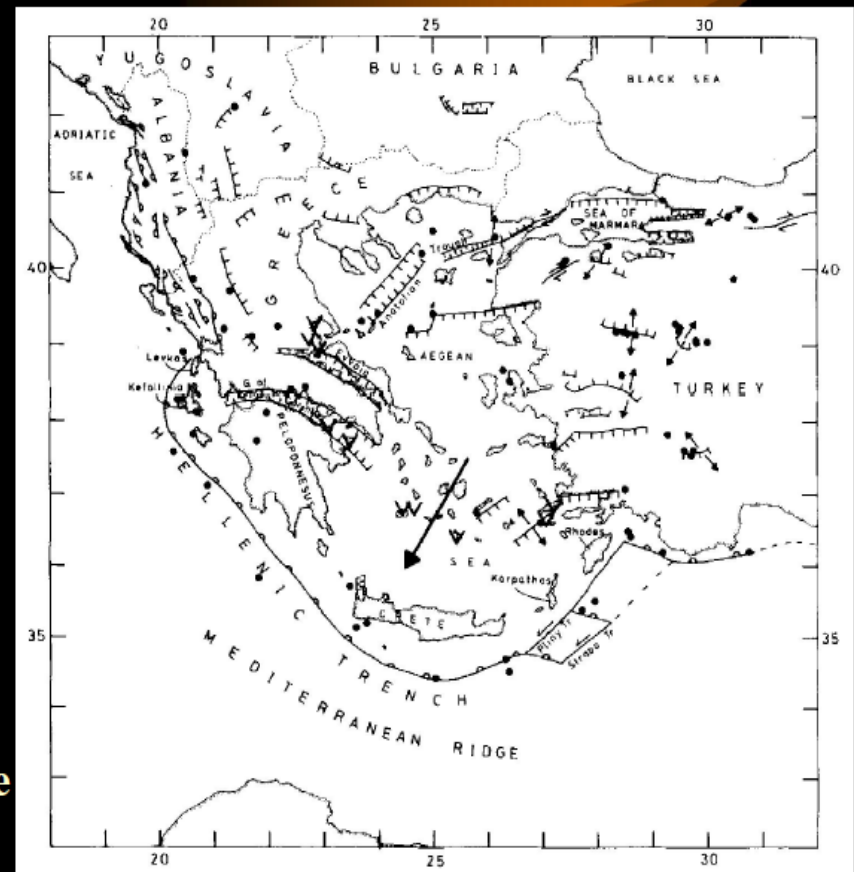


**McKenzie
(1972, 1978)**

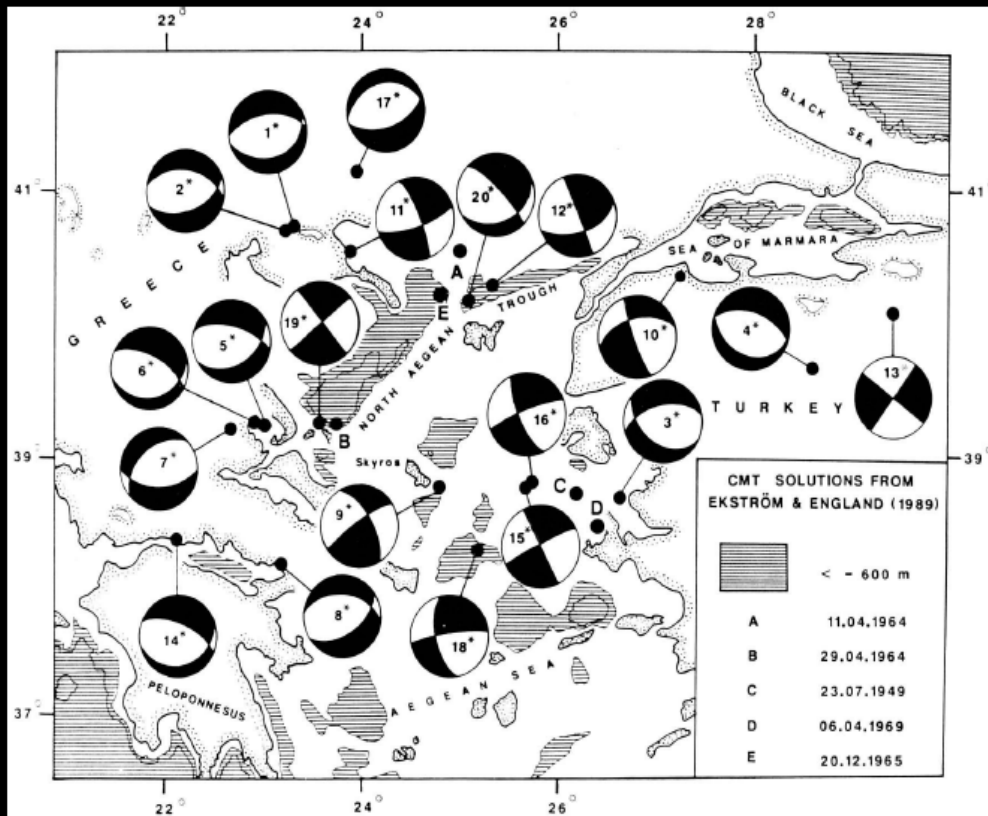
Stress and active faults from Fault Plane Solutions



McKenzie
(1978)

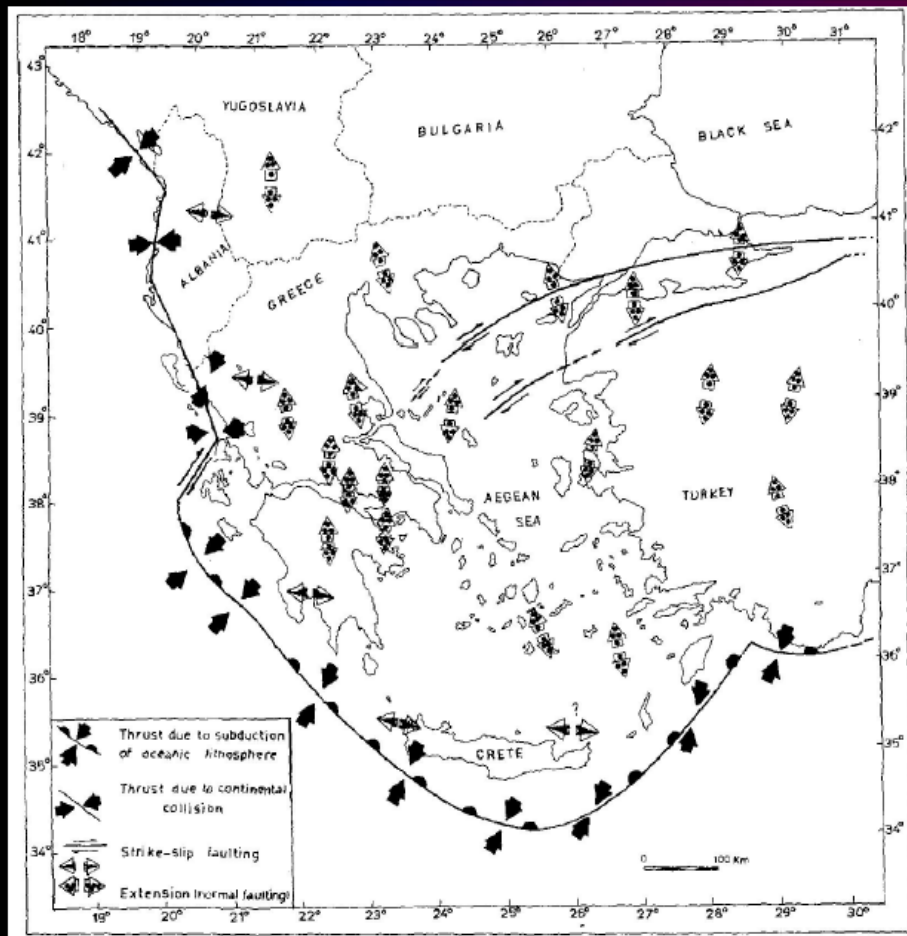


Stress and active faults from Fault Plane Solutions



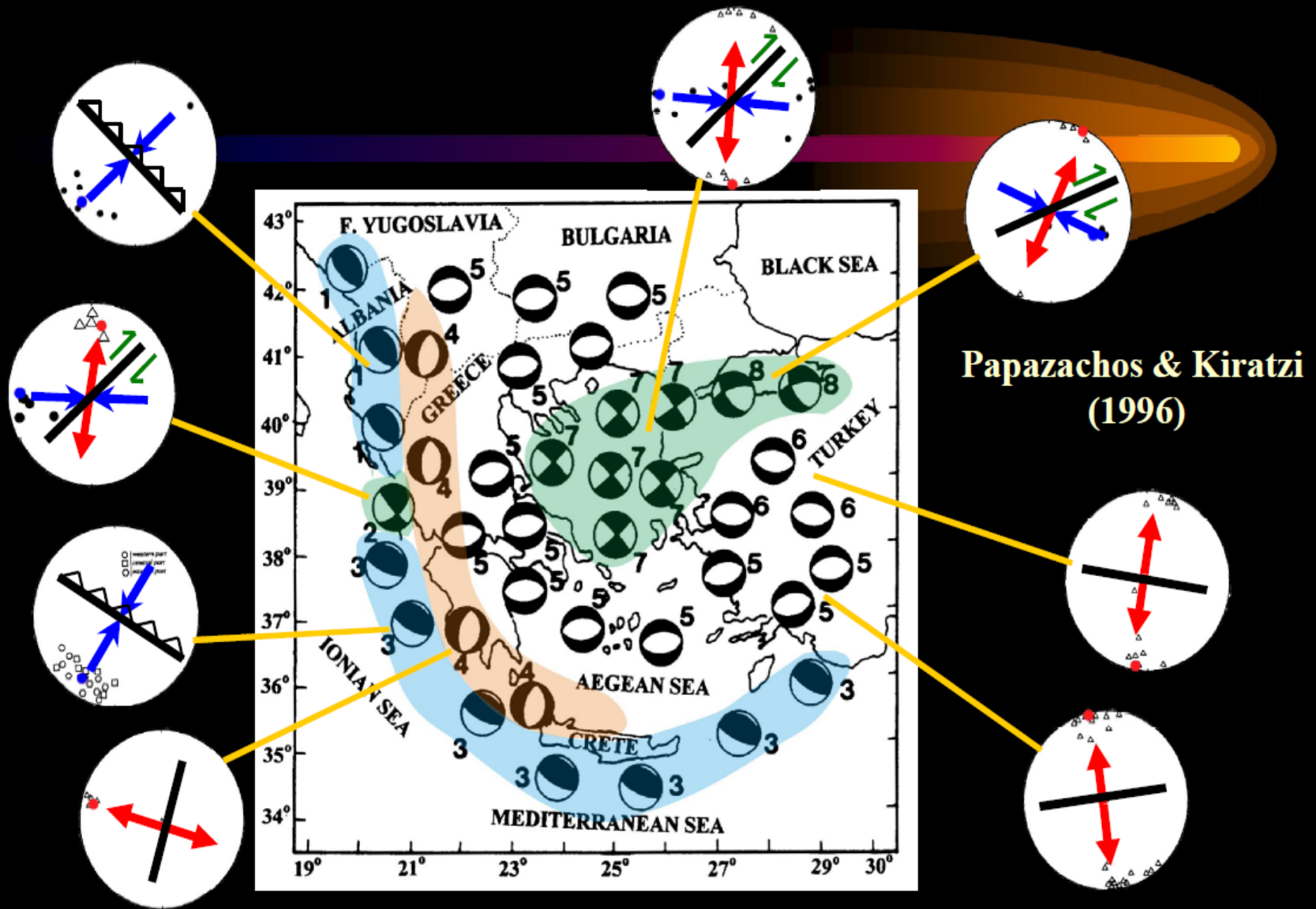
**Taymaz et al.
(1991)**

Stress and active faults from Fault Plane Solutions



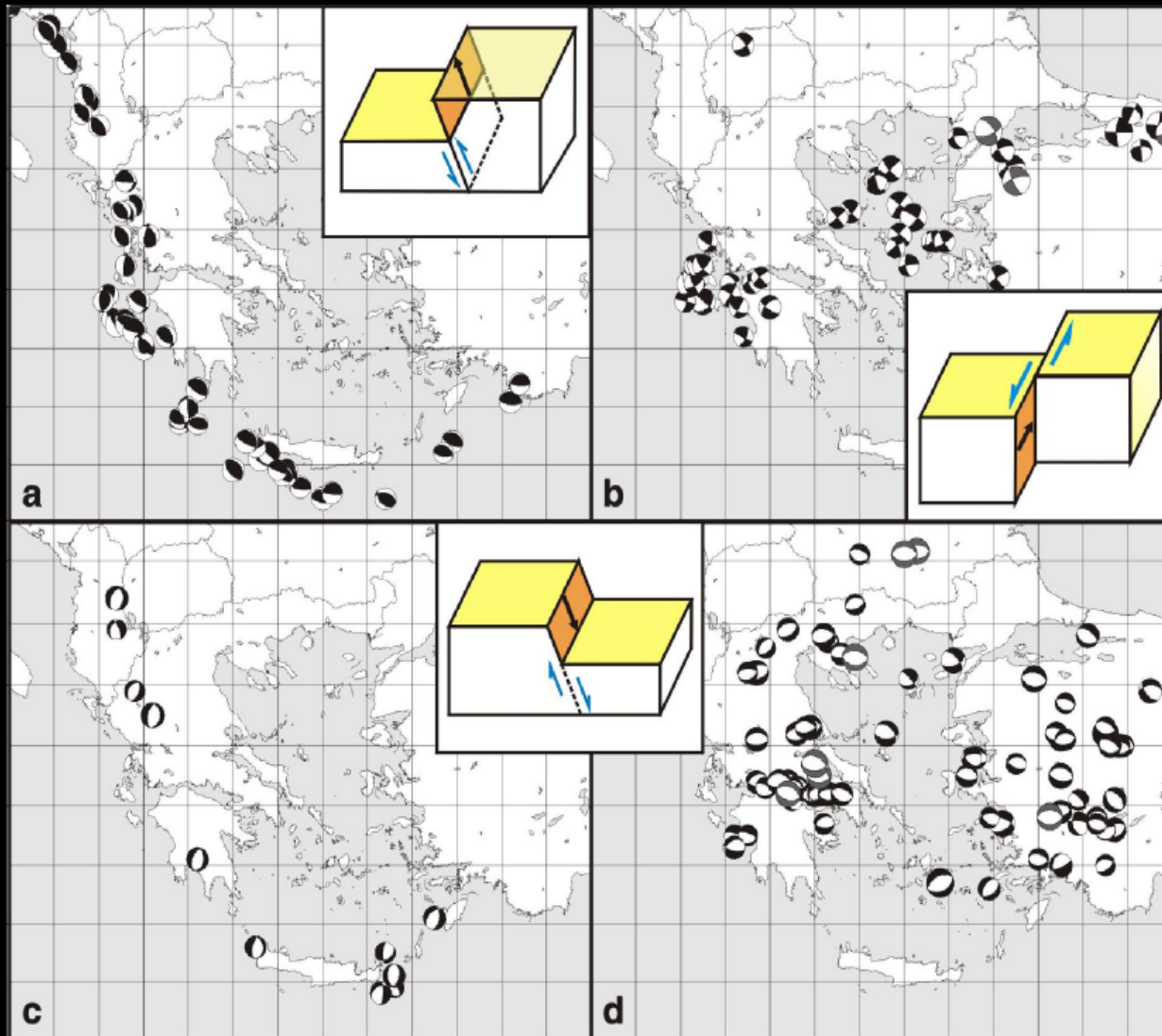
Papazachos et al.
(1991)

Stress and active faults from Fault Plane Solutions



Ανάστροφα

Οριζόντιας Μετατόπισης

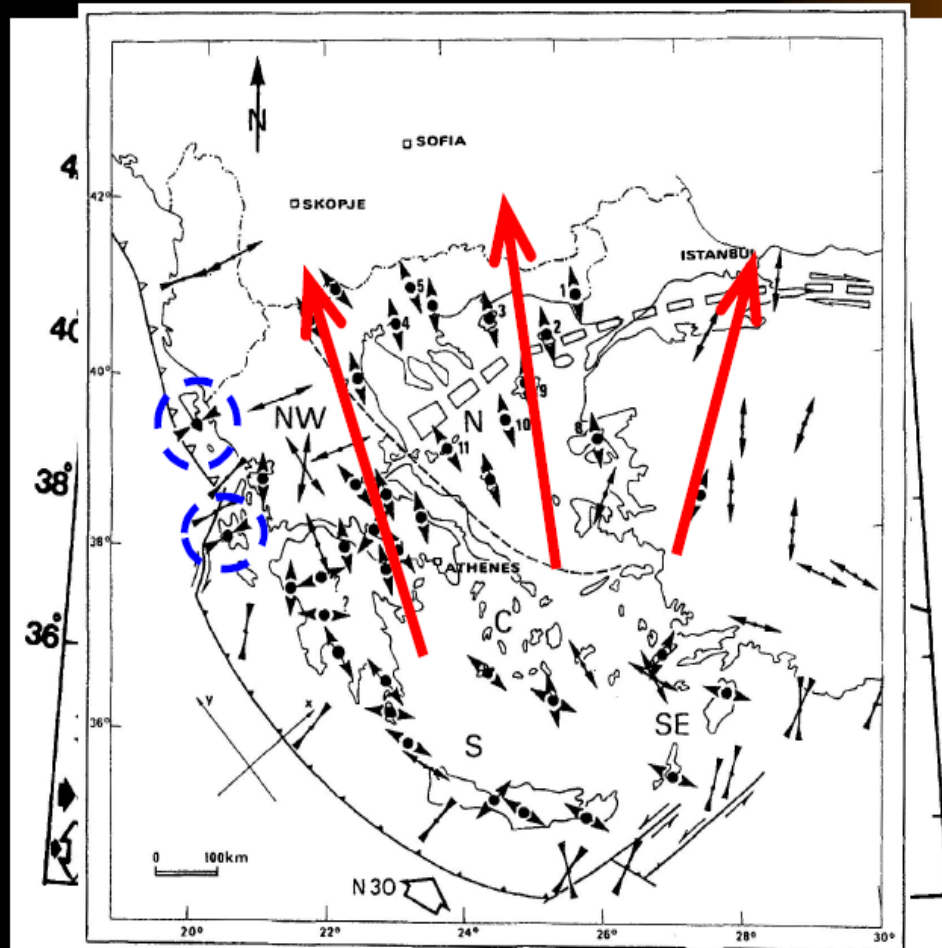


Κανονικά

*Γεωφυσικά
στοιχεία*

Papazachos (2001)

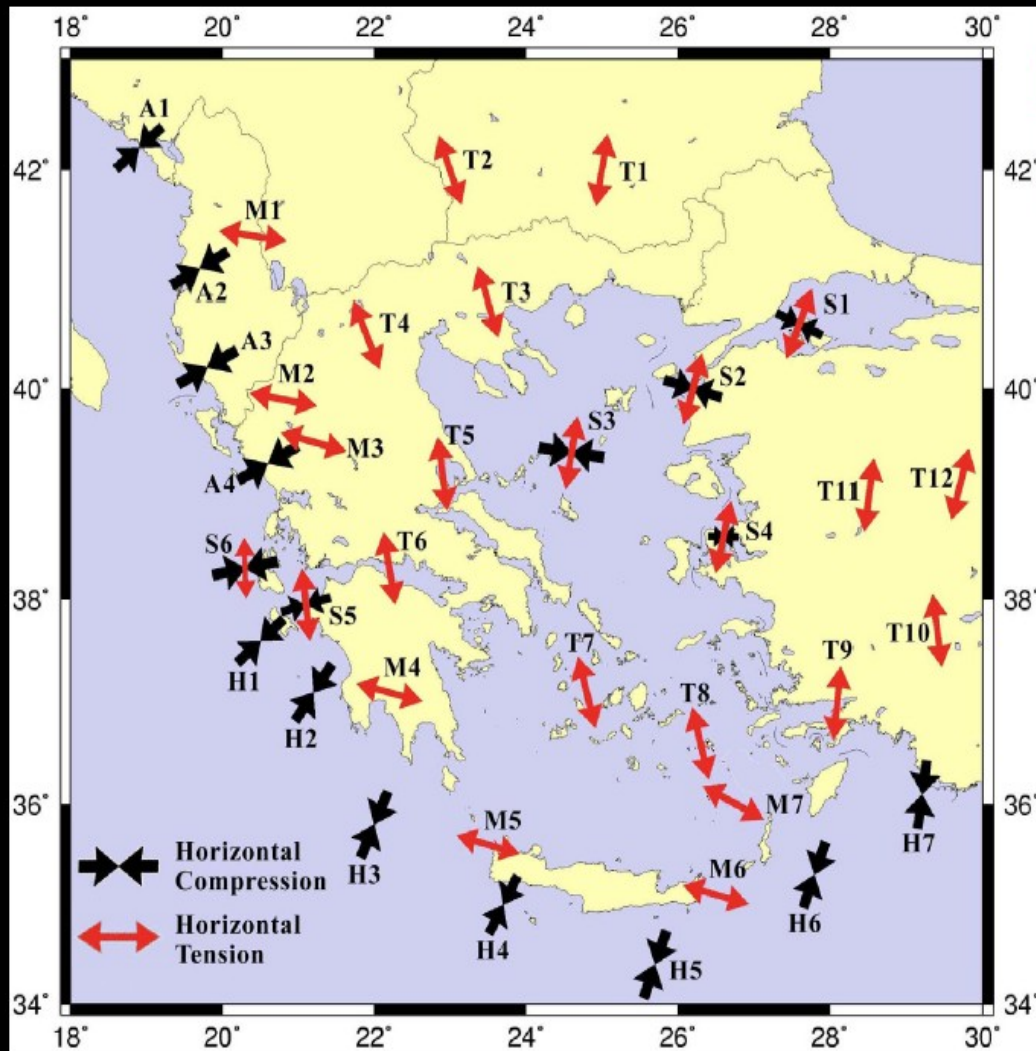
Πεδίο Τάσεων & Ενεργά Ρήγματα από Μηχανισμούς Γένεσης και Γεωλογικές Παρατηρήσεις



Papazachos & Kiratzi
(1996)

Mercier et al.
(1989)

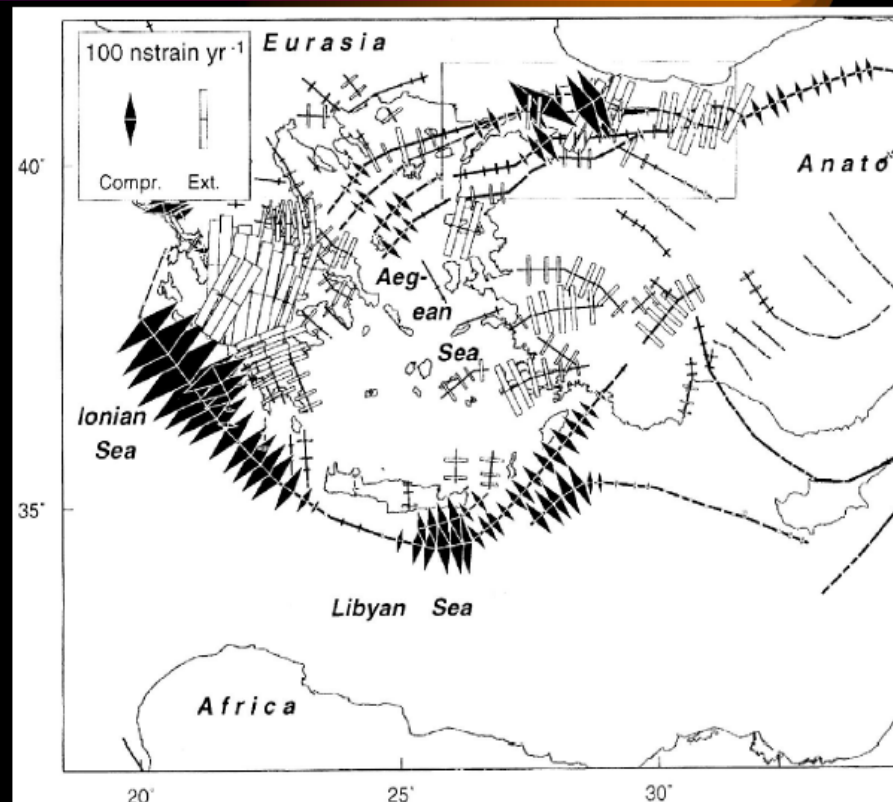
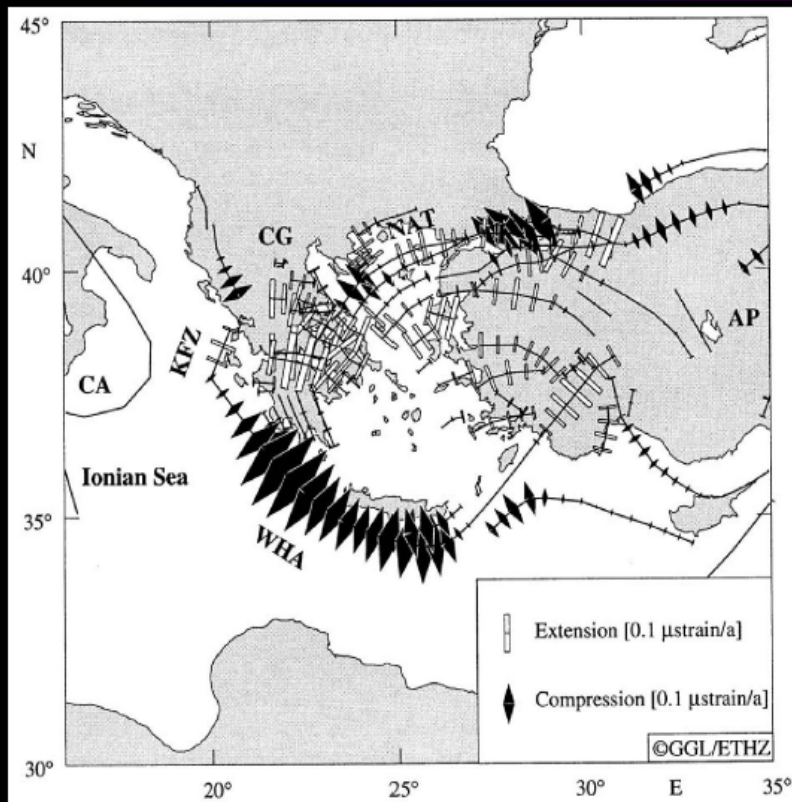
Πεδίο Τάσεων στο Αιγαίο



Papazachos et al.
(1998)

Ενεργός Τεκτονική του Αιγαίου

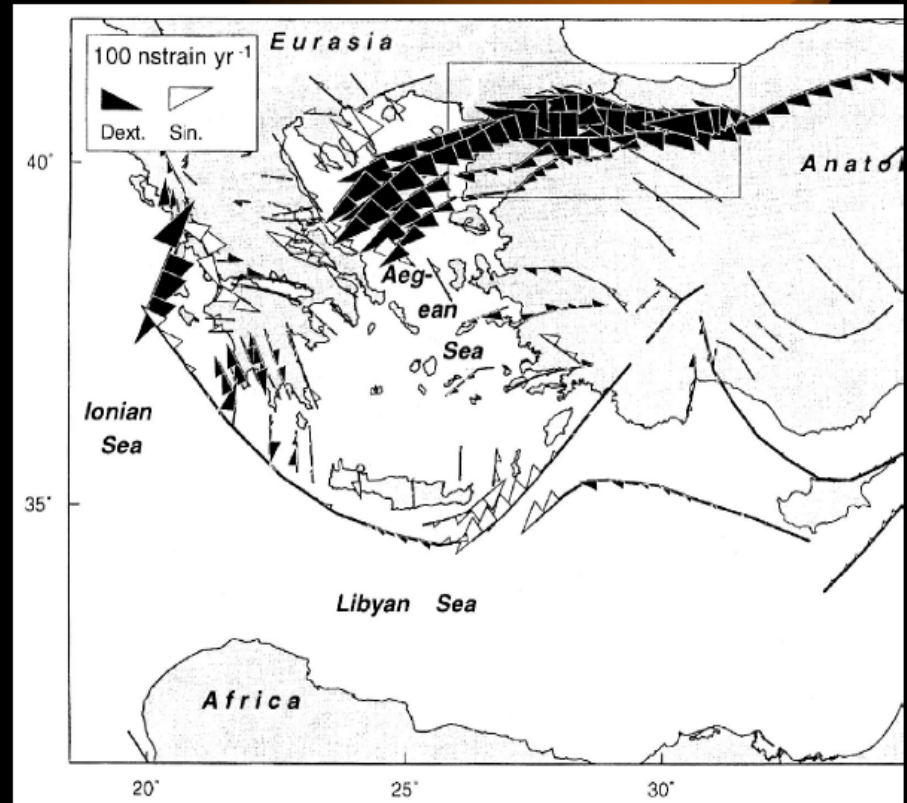
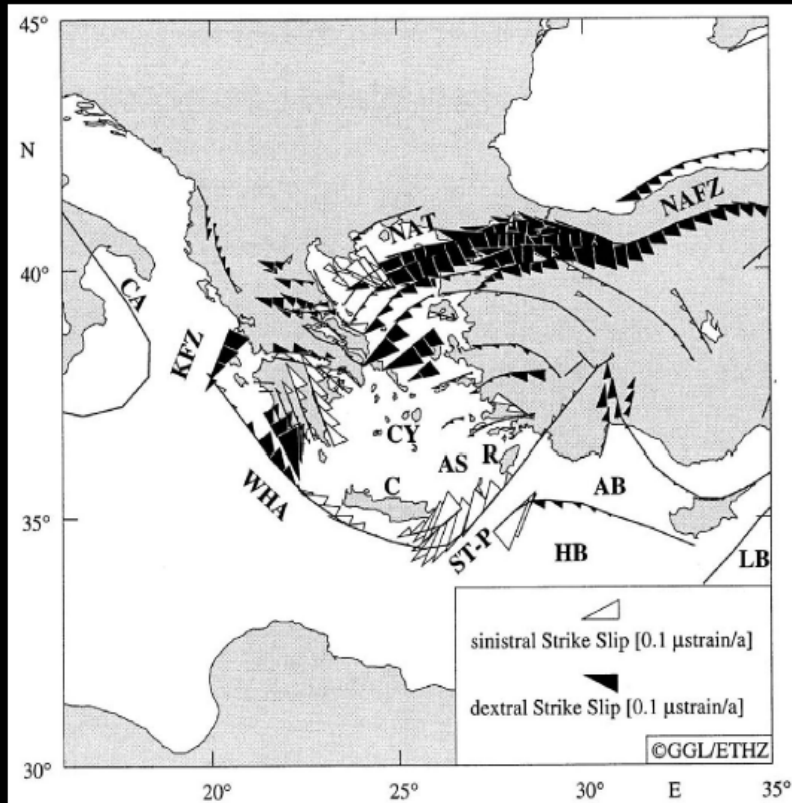
GPS



Kahle et al. (1998, 2000)

Ενεργός Τεκτονική του Αιγαίου

GPS



Kahle et al. (1998, 2000)

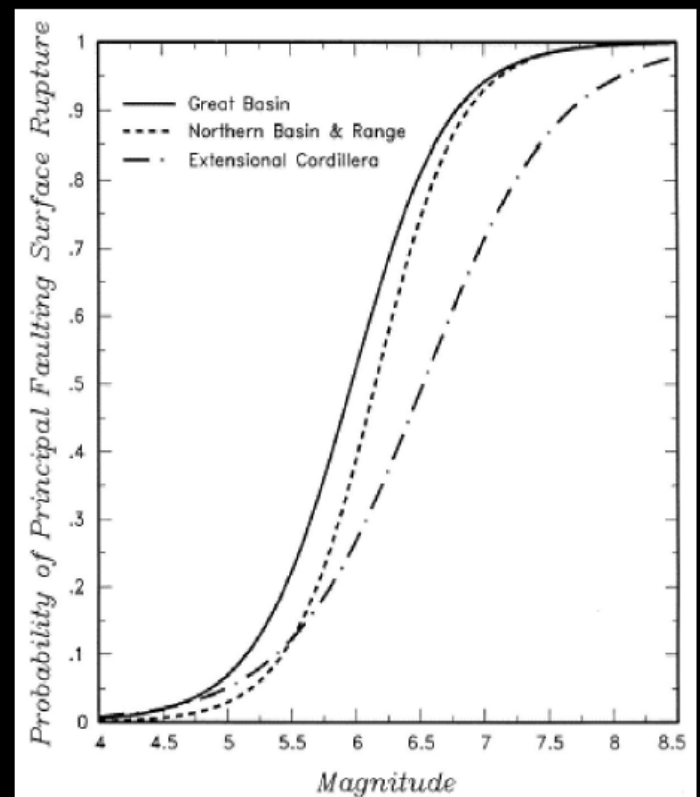
Ενεργά Ρήγματα -Κύριο Πρόβλημα



- Ποια τα ενεργά ρήγματα του Ελληνικού χώρου;
- Με ποια από αυτά σχετίζονται οι γνωστοί ισχυροί ($M_w \geq 6.0$) επιφανειακοί ($h < 60\text{km}$) σεισμοί από τον 5^ο αιώνα π.χ. μέχρι σήμερα;

Προβλήματα στον προσδιορισμό των ενεργών ρηγματών στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο

- Πολλοί σεισμοί σε υποθαλάσσια ρήγματα
- Πολλοί σεισμοί δεν έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος ($M \leq 7.0$) και έχουν μικρές ή δύσκολα αναγνωρίσιμες επιφανειακές εκδηλώσεις



Λύση προβλήματος αναγνώρισης ρηγμάτων

Συνδυασμός γεωφυσικών & γεωλογικών μεθόδων

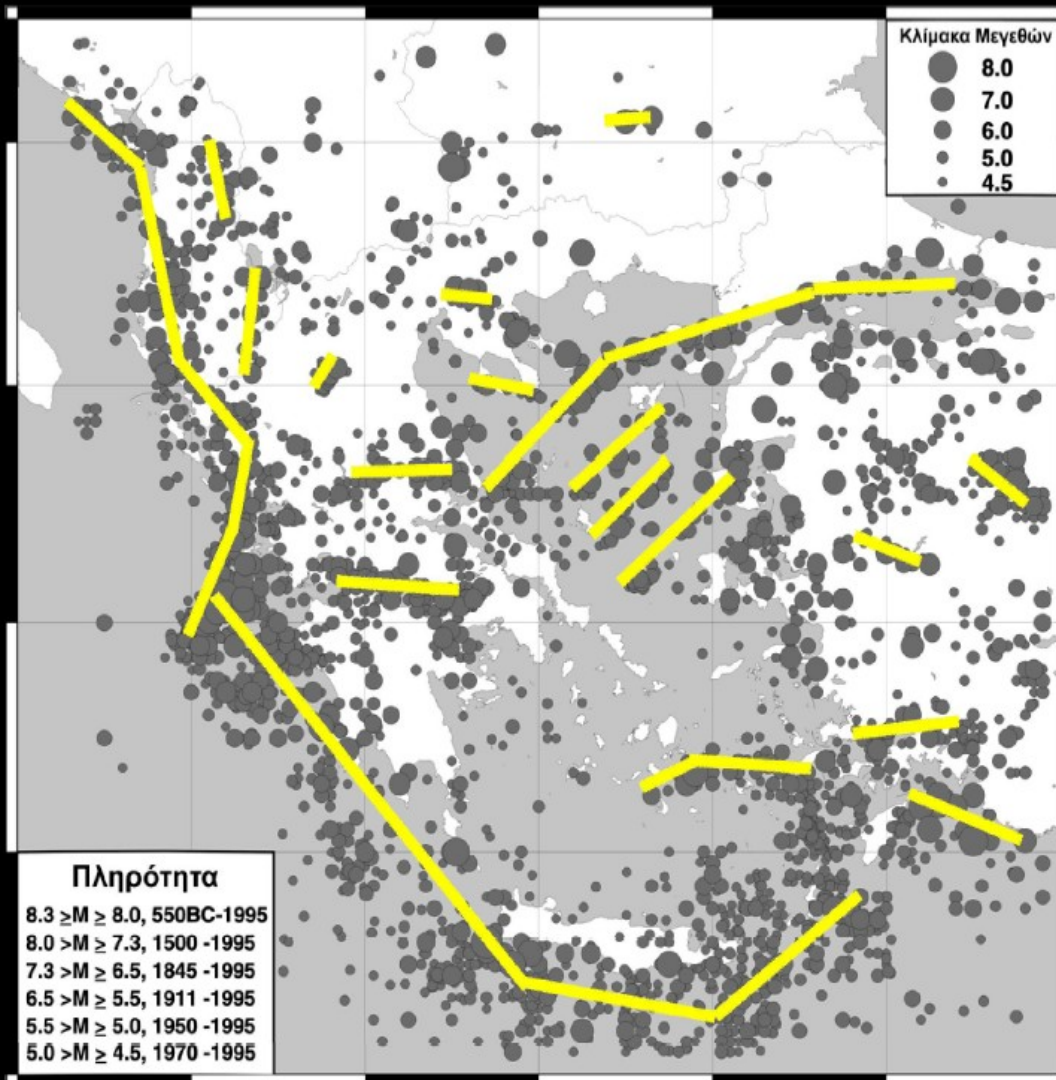
A) Γεωφυσικά στοιχεία

*Επίκεντρα ισχυρών σεισμών & σεισμικών ακολουθιών,
μηχανισμοί γένεσης, μακροσεισμικές πληροφορίες*

B) Γεωλογικά στοιχεία

*Γεωμετρική-κινηματική-δυναμική συμβατότητα του
προτεινομένου ρήγματος με το γενικότερο πεδίο τάσεων,
στρωματογραφική διάρθρωση των μεταλπικών Νεογενών &
Τεταρτογενών ιζημάτων, γεωμορφολογικά-μορφοτεκτονικά
στοιχεία*

Γεωφυσικά στοιχεία

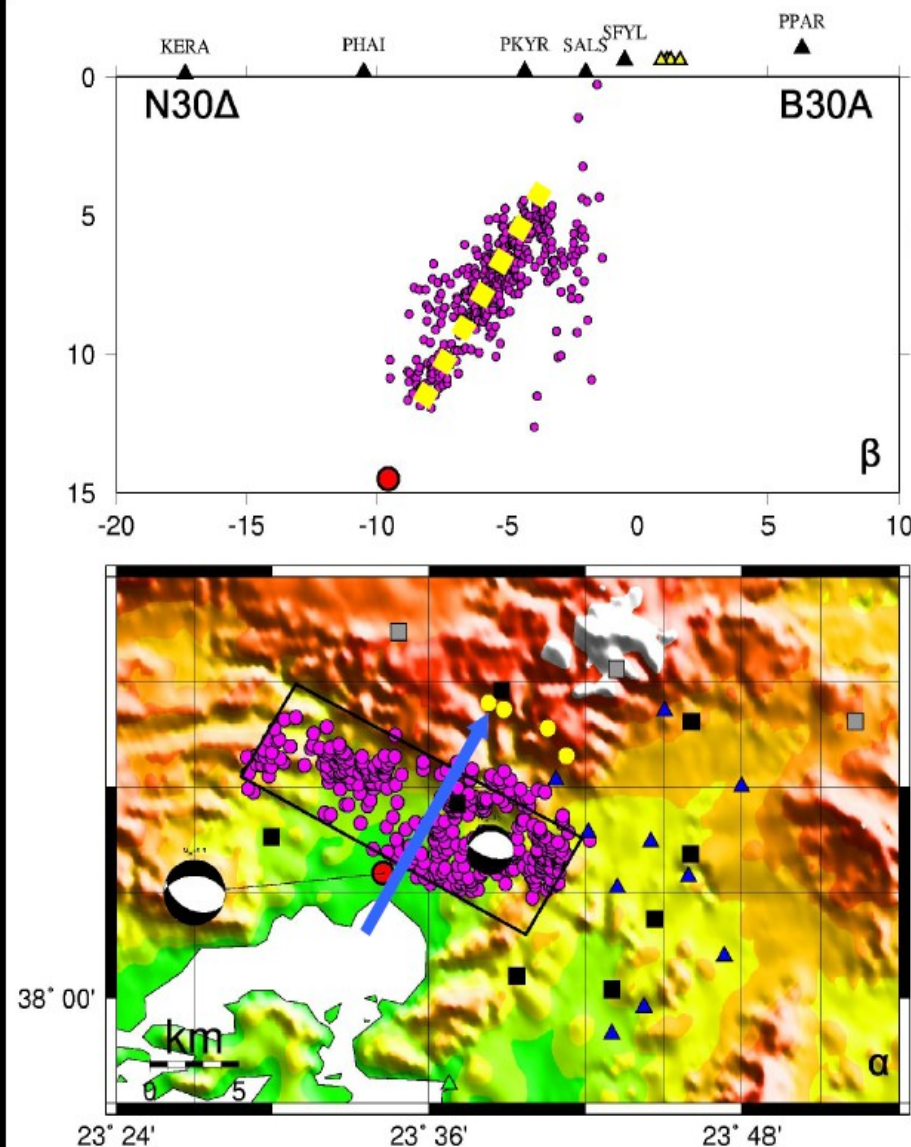


Papazachos et al. (1997)

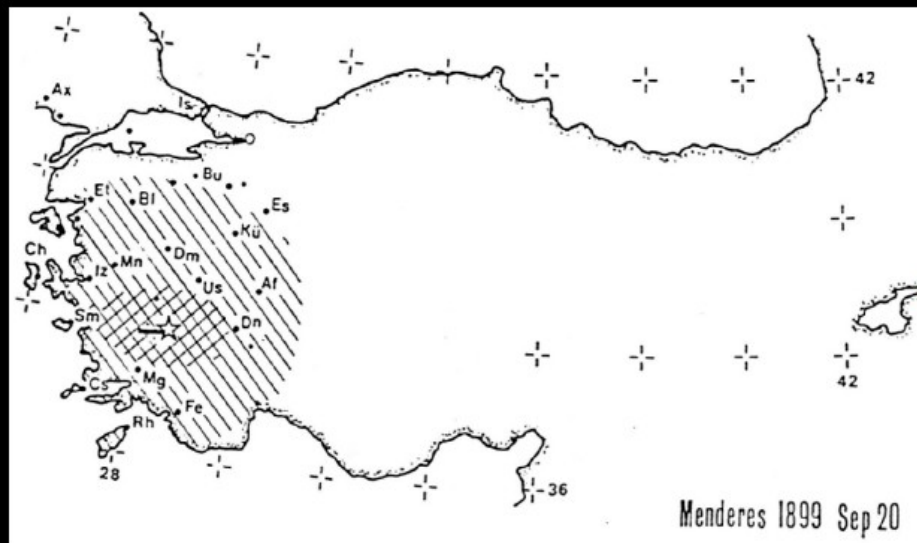
Σεισμολογικές Πληροφορίες



Papazachos et al. (2001)



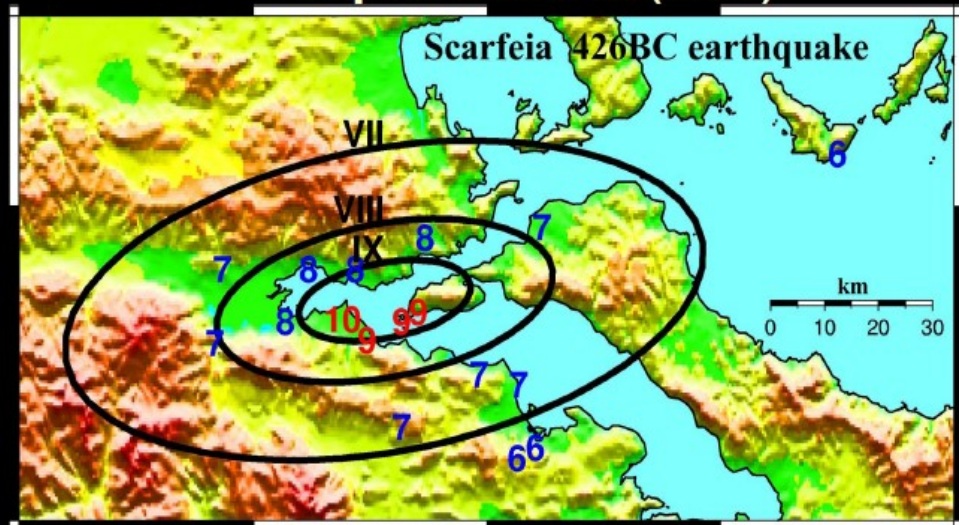
α



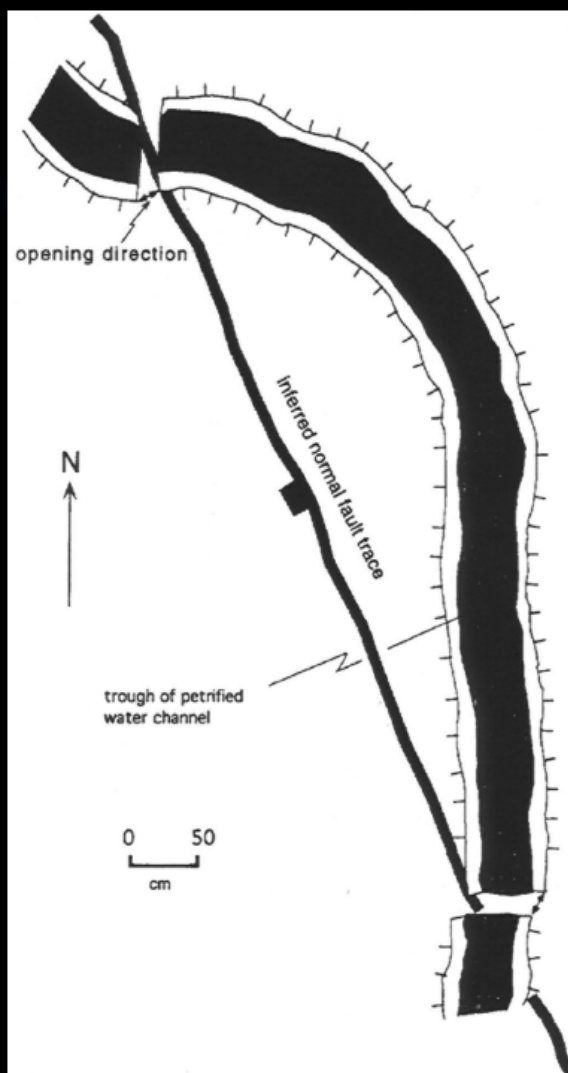
Ambraseys (1988)

**Ιστορικά
στοιχεία**

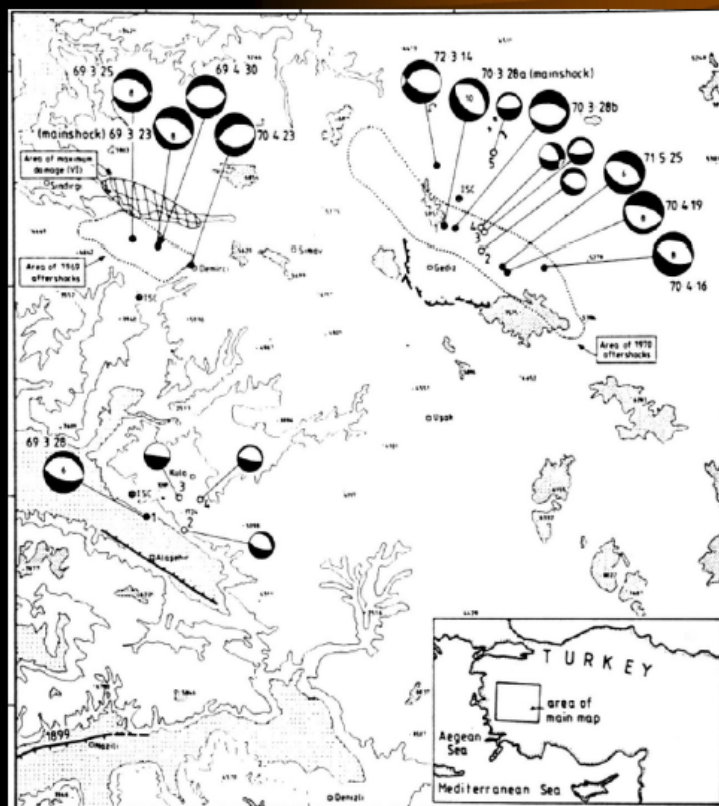
Papazachos et al. (1997)



Συνδυασμός πληροφοριών

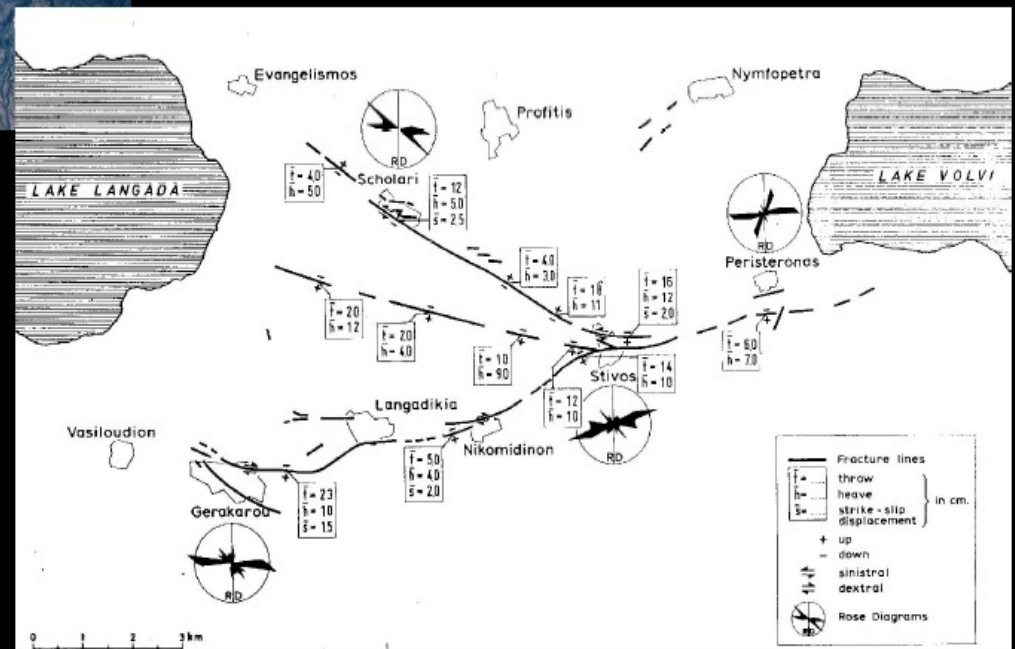
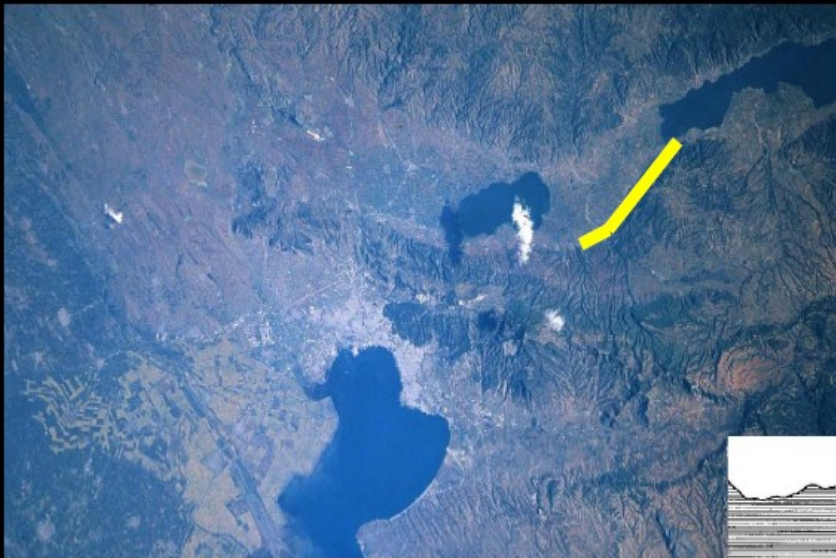


Hancock & Altunel (1997)

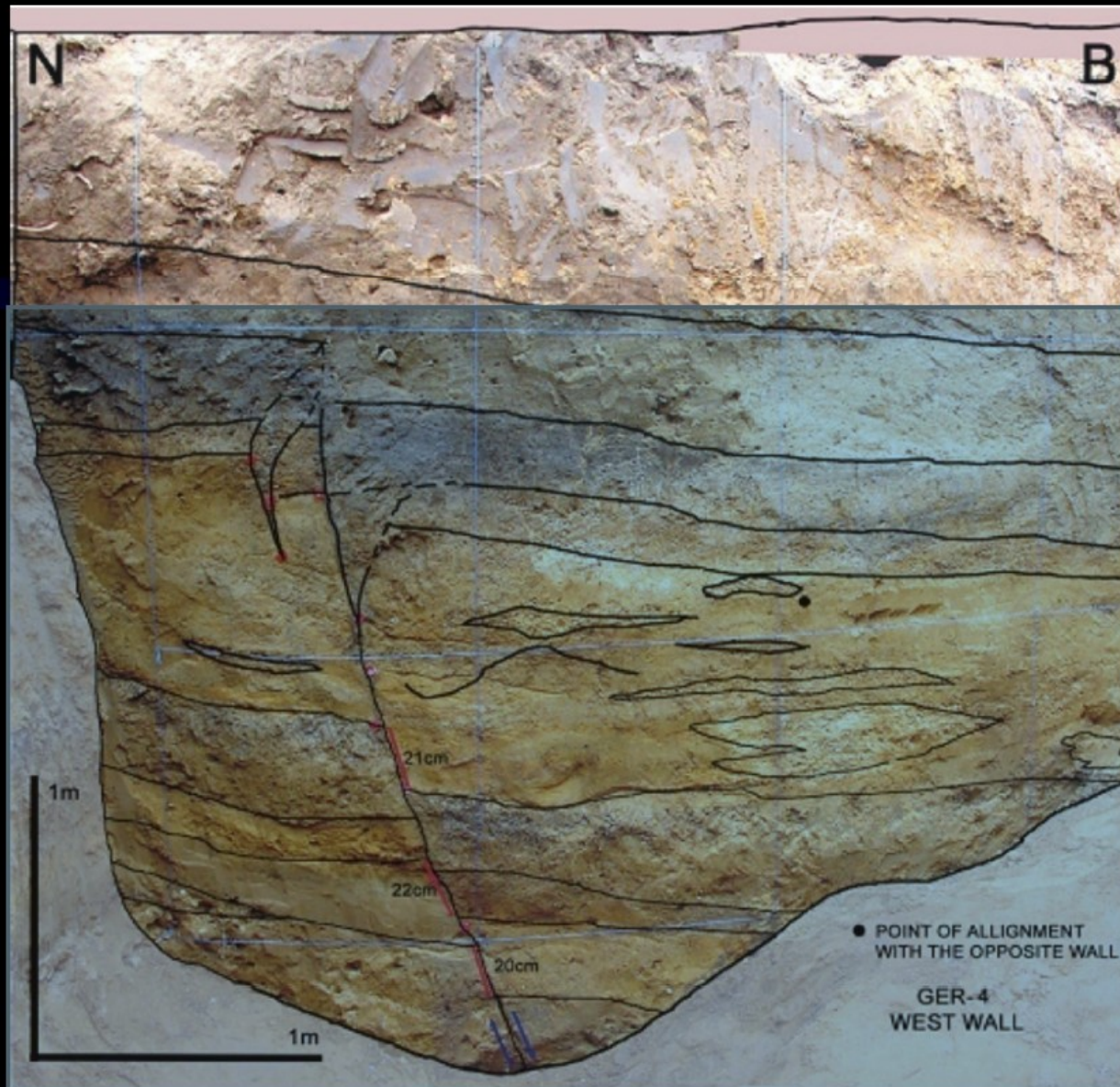


Eyidogan & Jackson (1985)

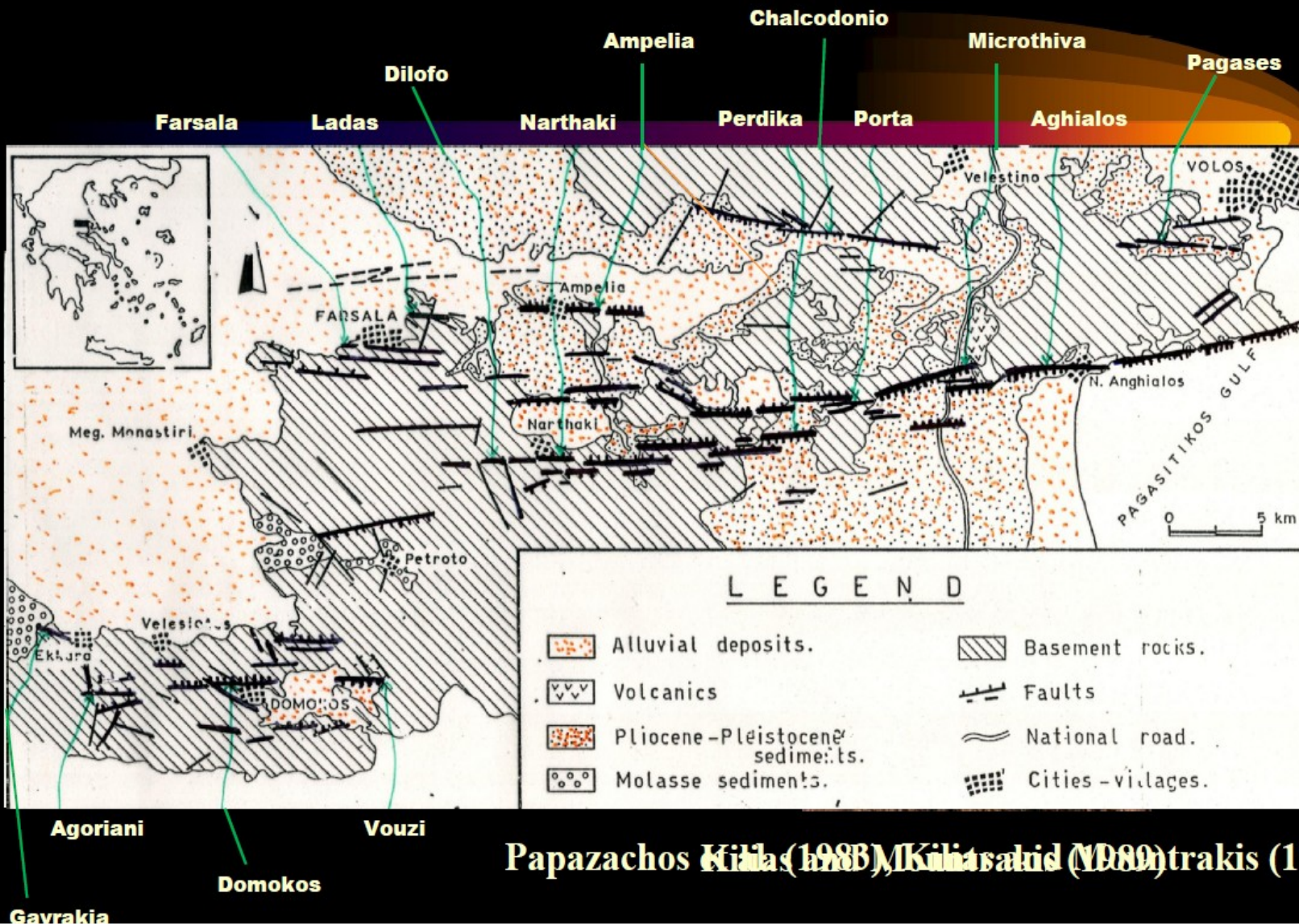
Συνδυασμός πληροφοριών



Papazachos et al. (1979)

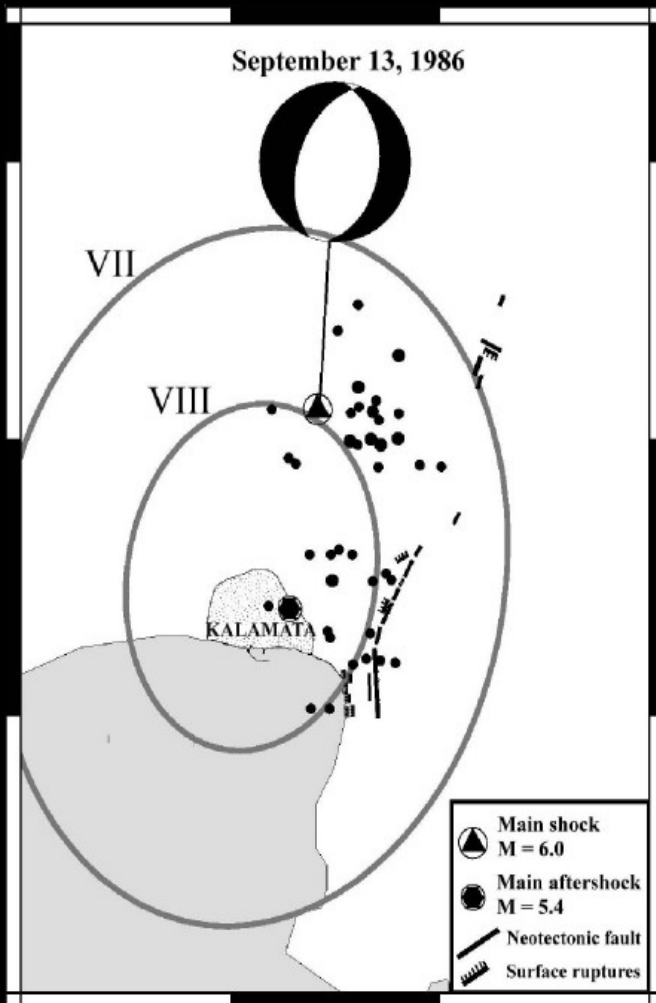


Chatzipetros and Pavlides (1998)



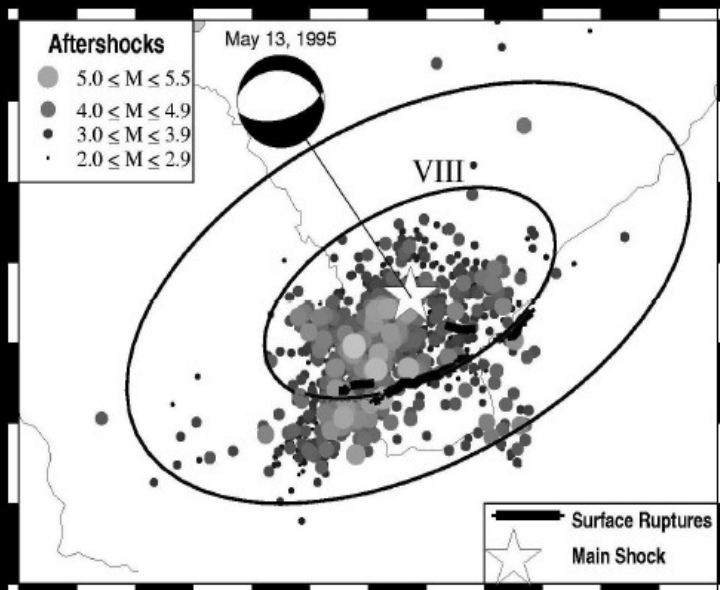
Papazachos (1983), Kiliakidis (1989), Kiliakidis (1989)

Συνδυασμός πληροφοριών



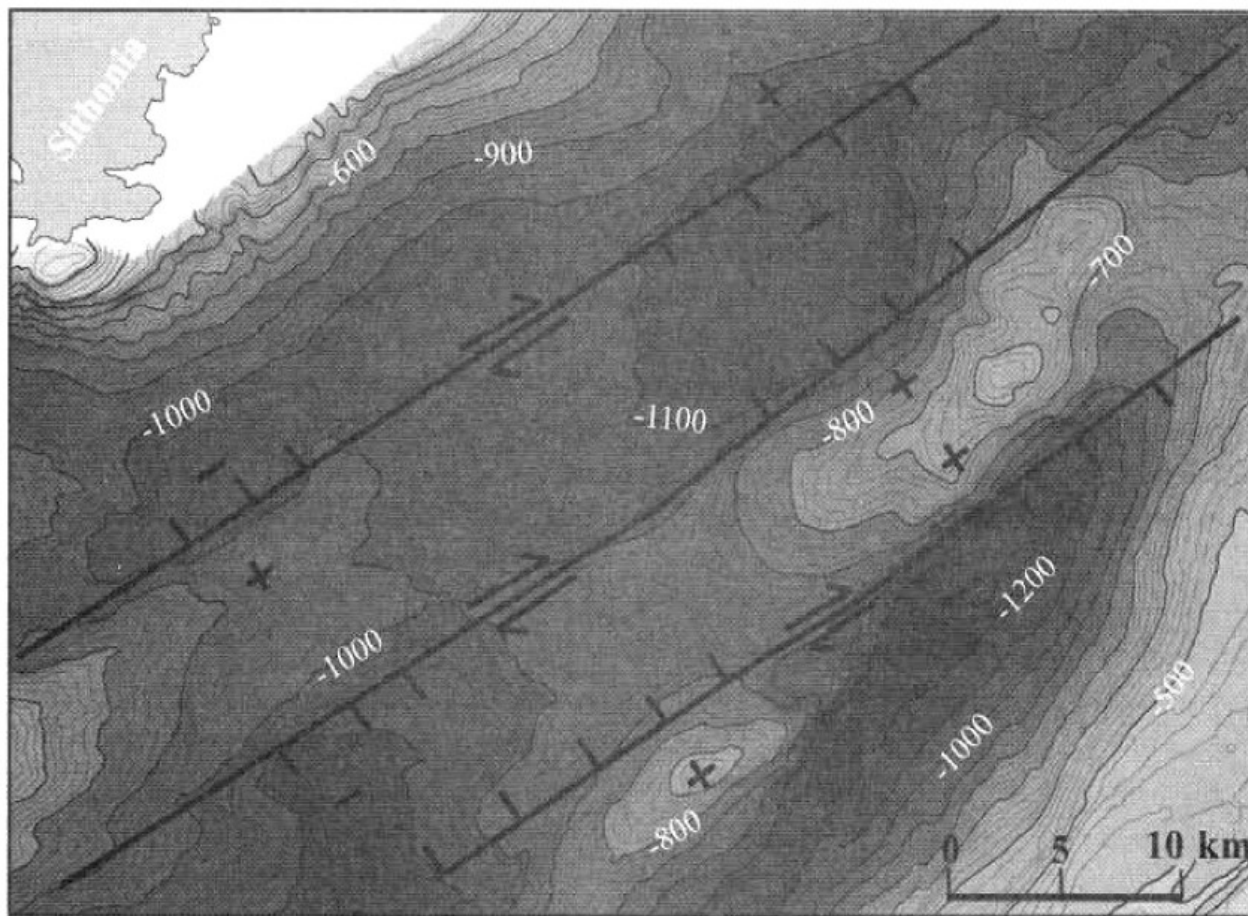
Papazachos et al. (1988)

Συνδυασμός πληροφοριών



Papazachos et al. (1998), Pavlides et al. (1996)

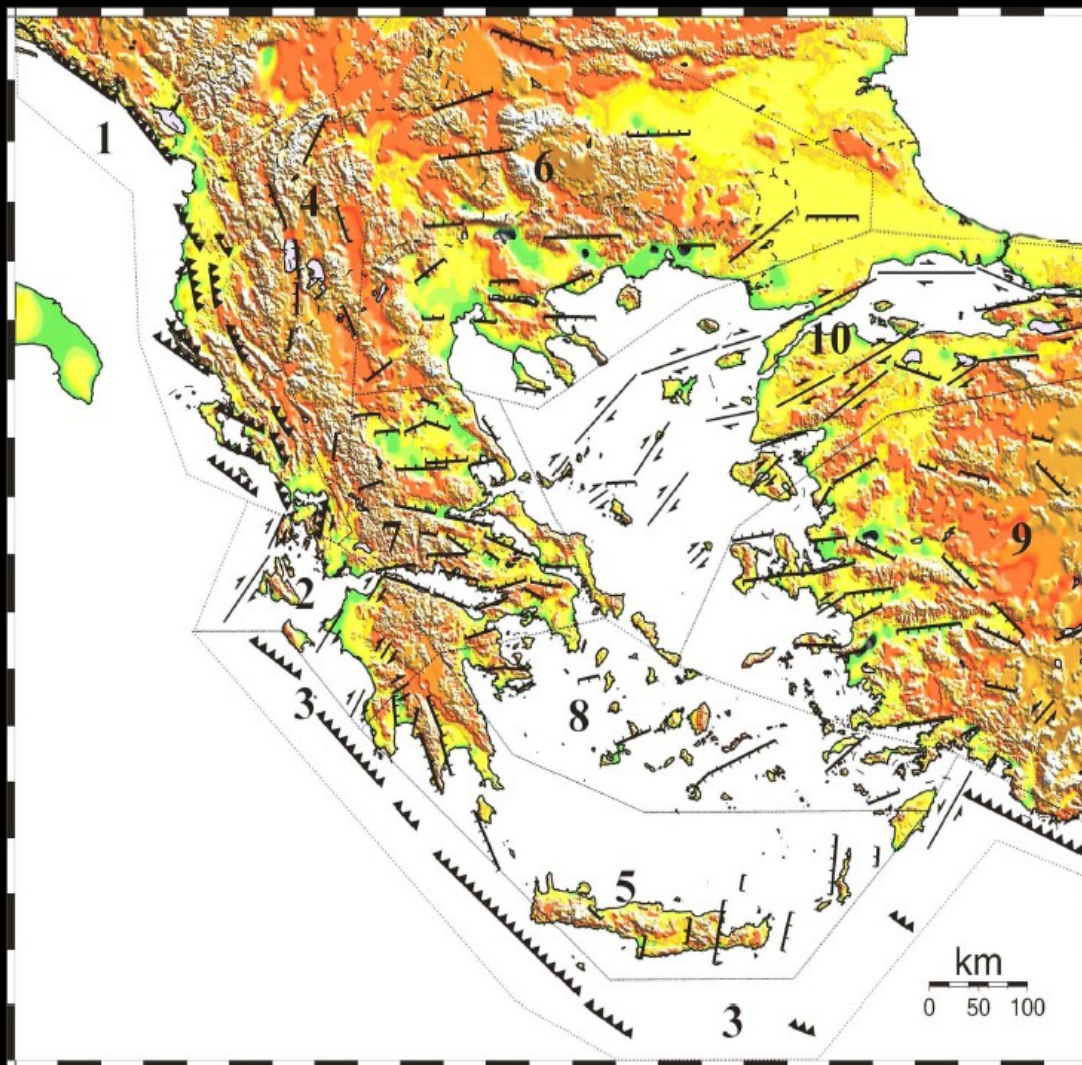




**(Papanikolaou et al.,
2002, 2007)**

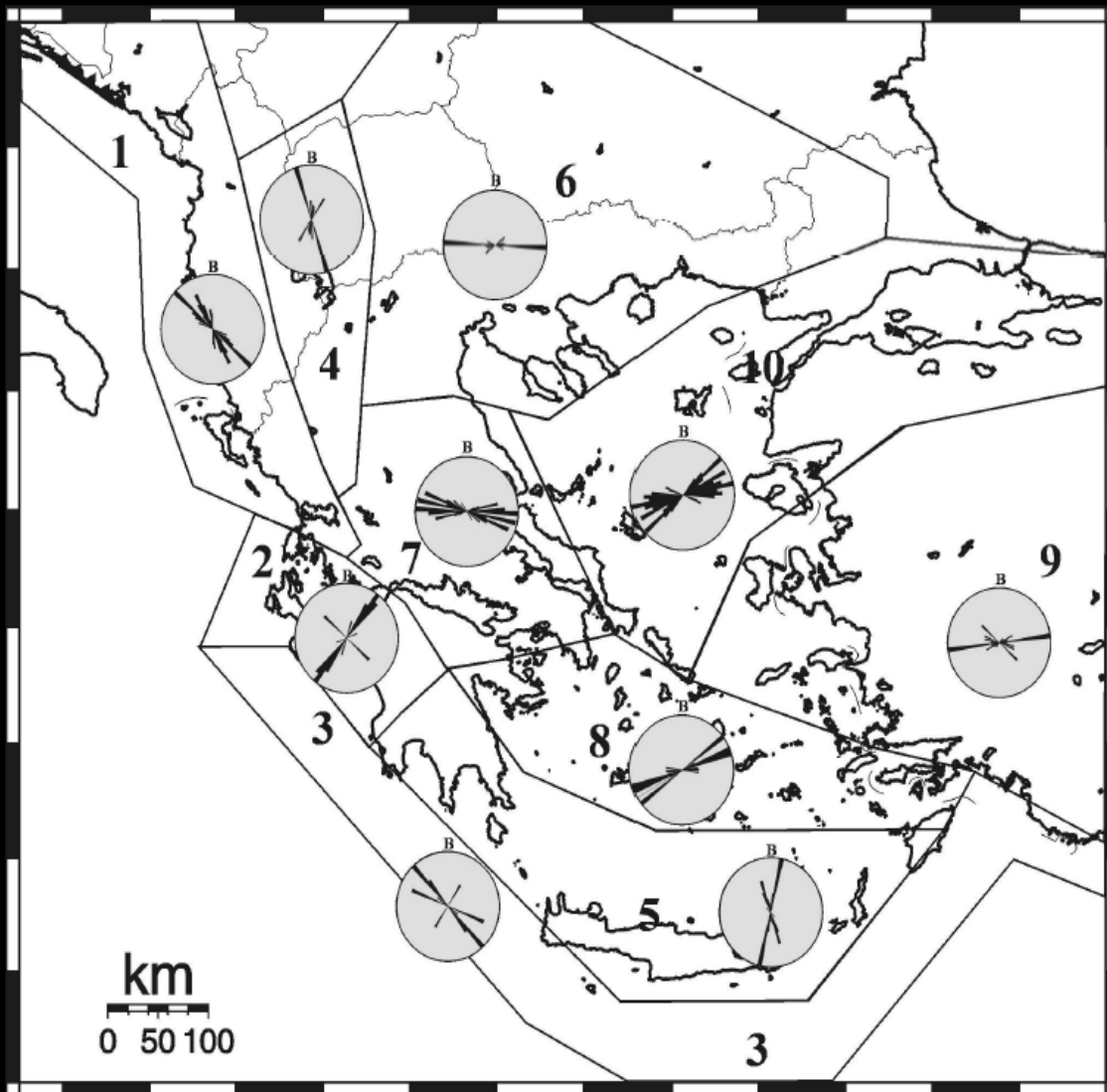
Ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς

- **567 ισχυροί επιφανειακοί σεισμοί ($M_w \geq 6.0$) (34°N - 43°N , 18°E - 30°E)**
- **159 Ρήγματα**
 - **23 Ανάστροφα (16%)**
 - **105 Κανονικά (66%)**
 - **31 Οριζόντιας Μετατόπισης (20%)**
- **Μέσο μήκος 43km (16-200km)**
- **Μέση περίοδος επανάληψης ~70-110έτη**



*159 ρήγματα που
προκάλεσαν τους
γνωστούς ισχυρούς
επιφανειακούς
σεισμούς*

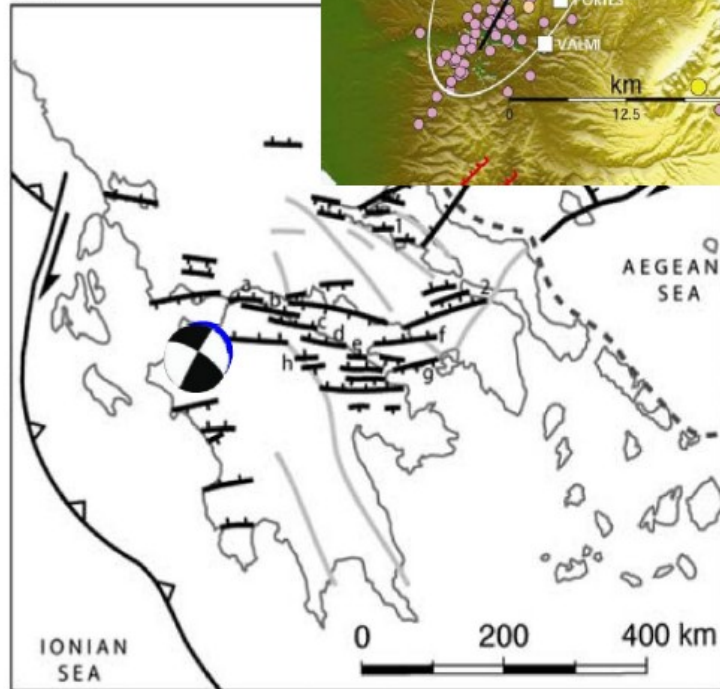
Παπαζάχος και συν., 2001



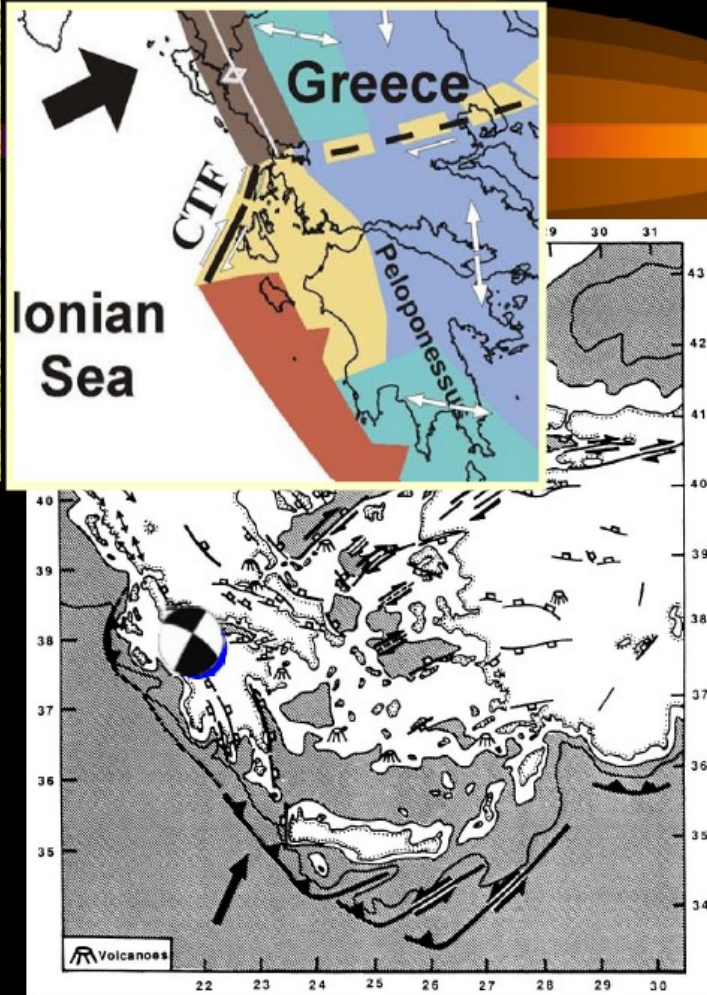
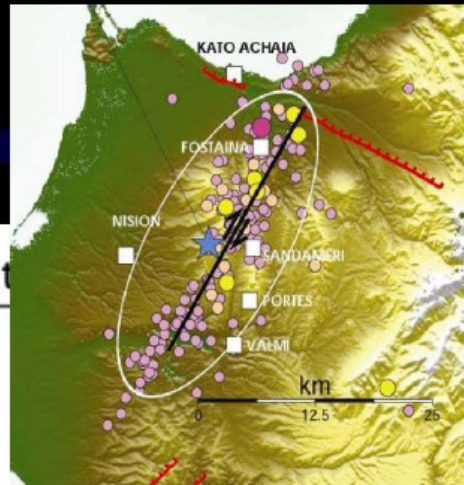
*Οι 10 κύριες ζώνες
και τα αντίστοιχα
ροδοδιαγράμματα
κατανομής
ρηγμάτων*

ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΓΜΑΤΑ

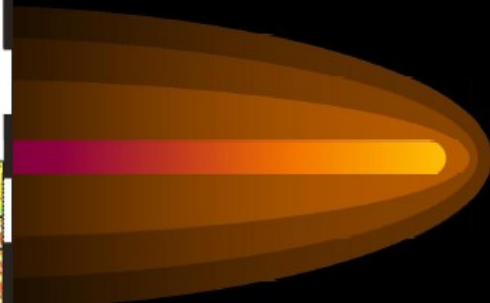
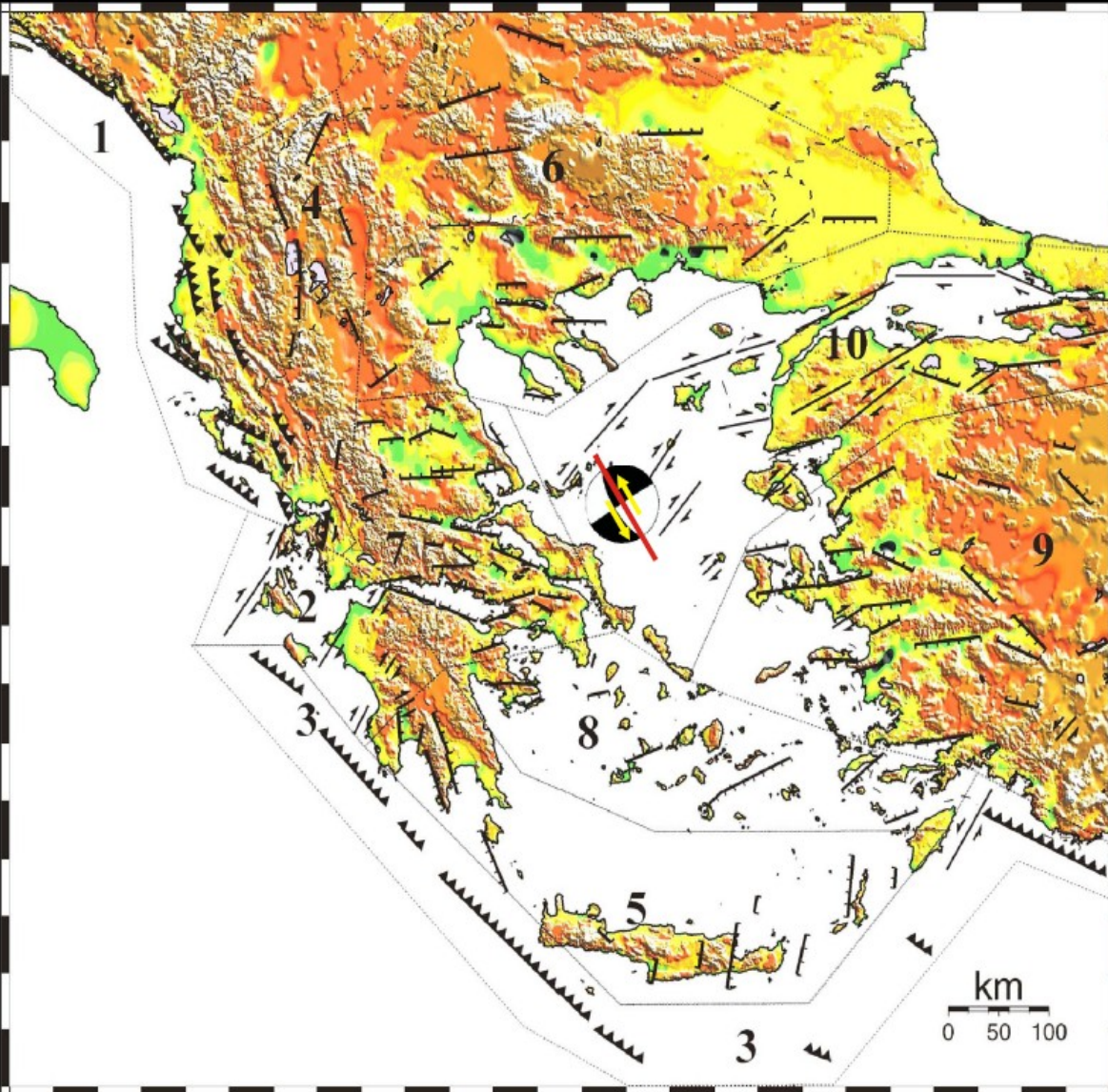
(B) Late-Pliocene t

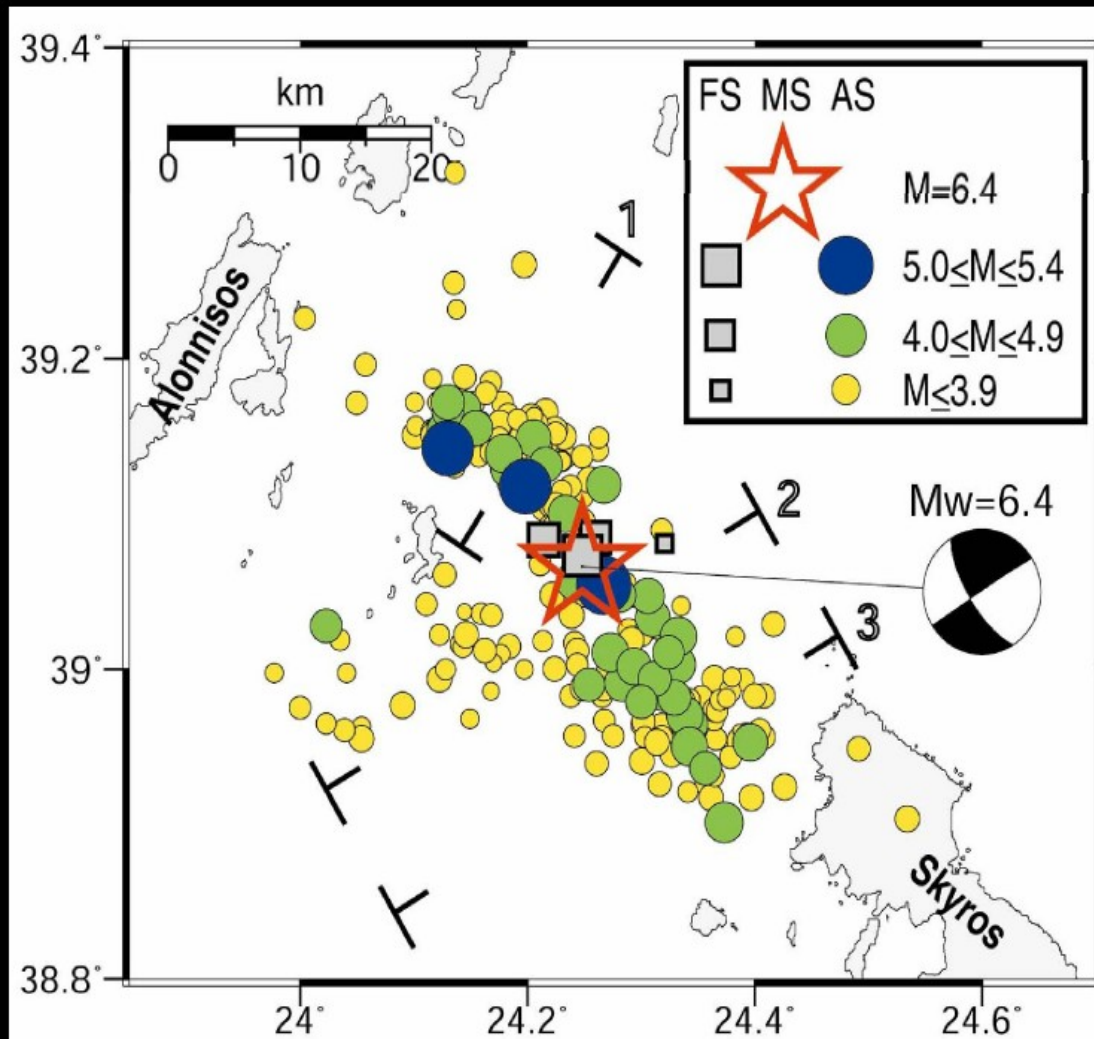


Papanikolaou and Royden (2007)

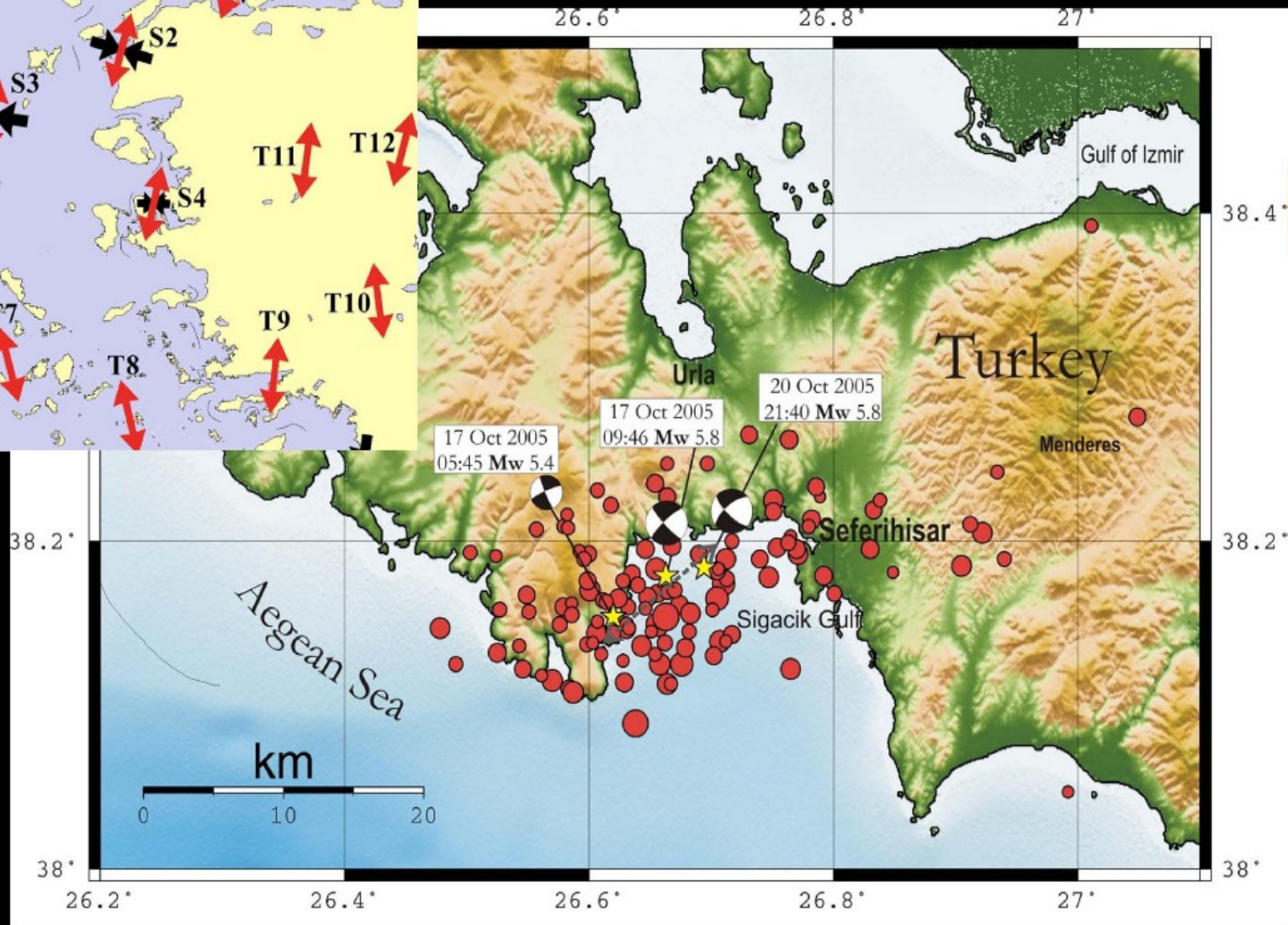
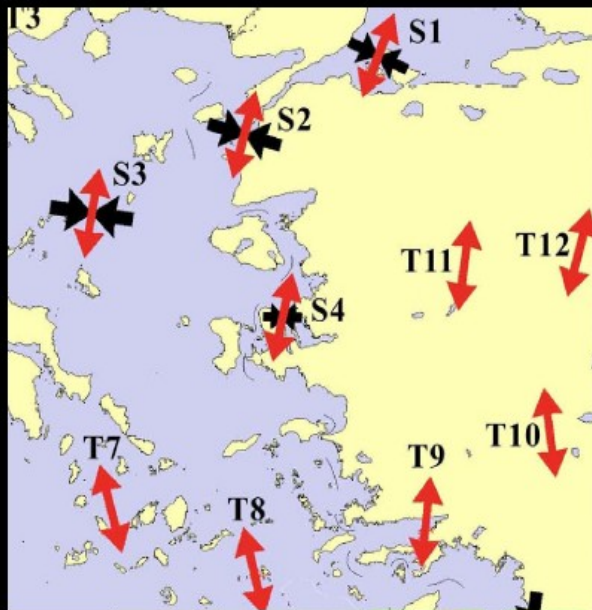


Taymaz et al. (2001)



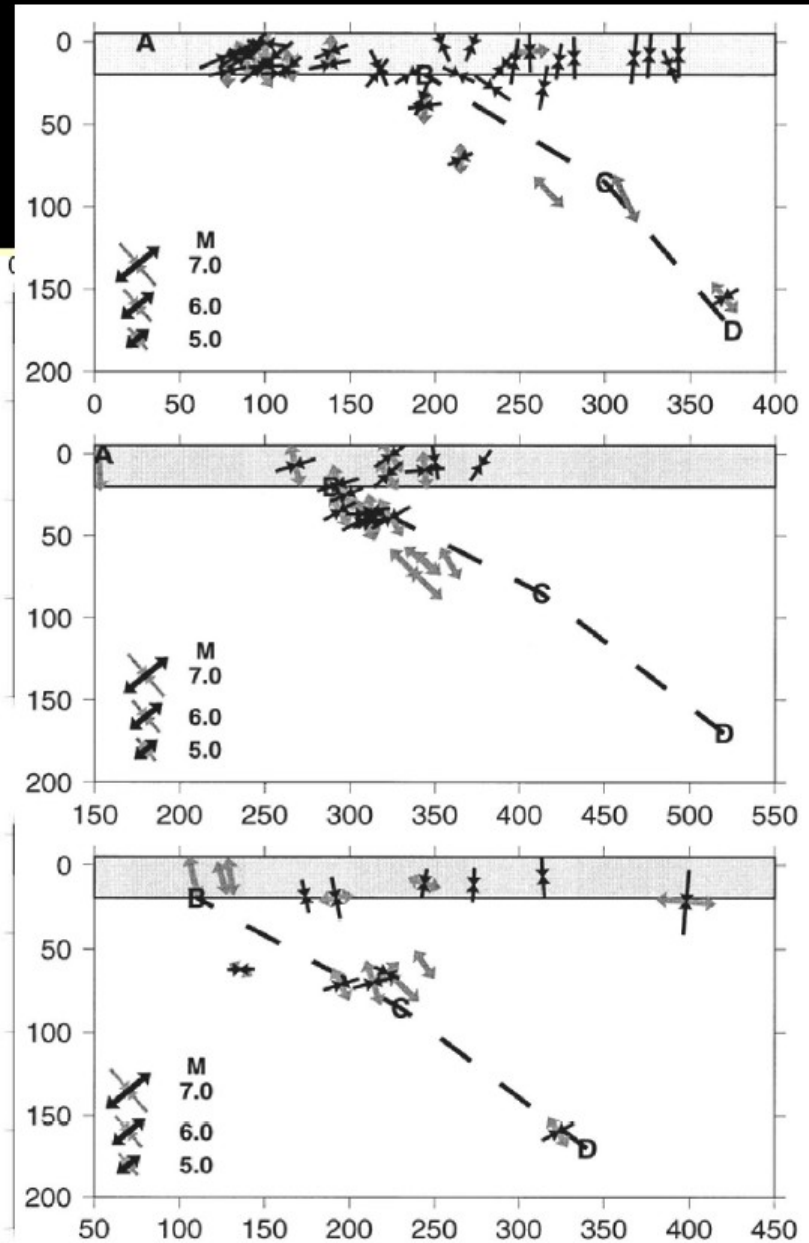
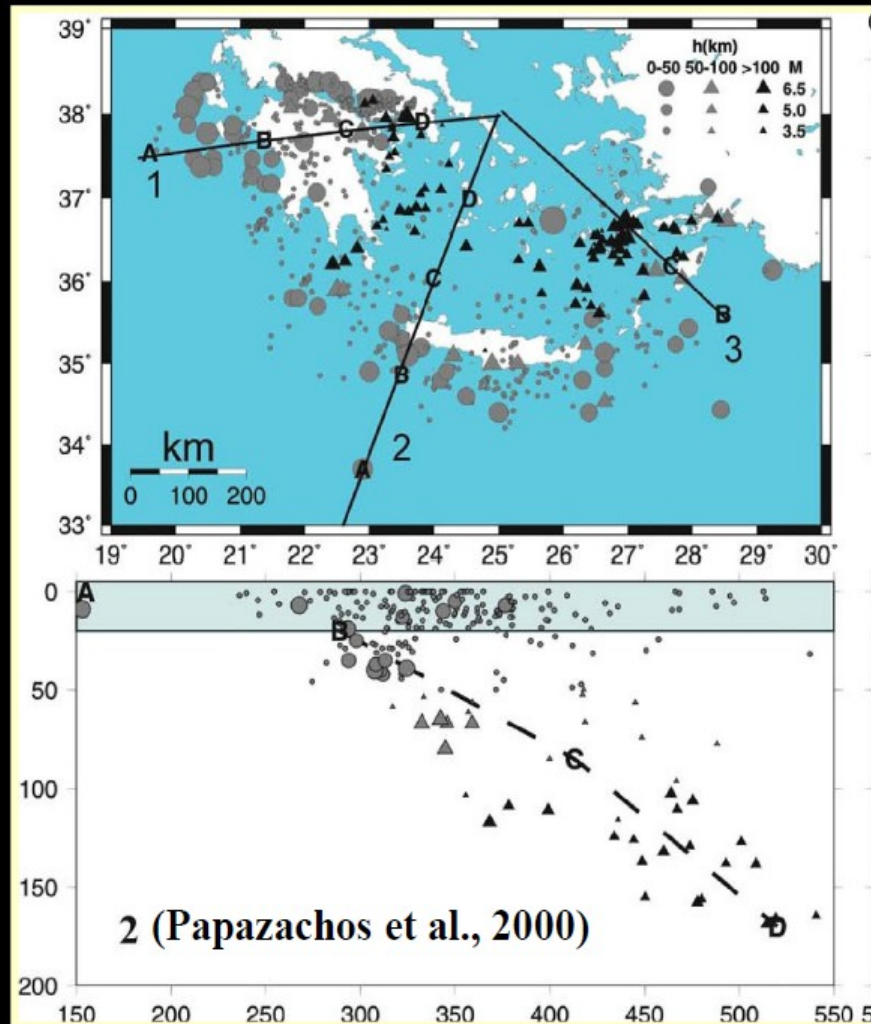


(Karakostas et al., 2003)

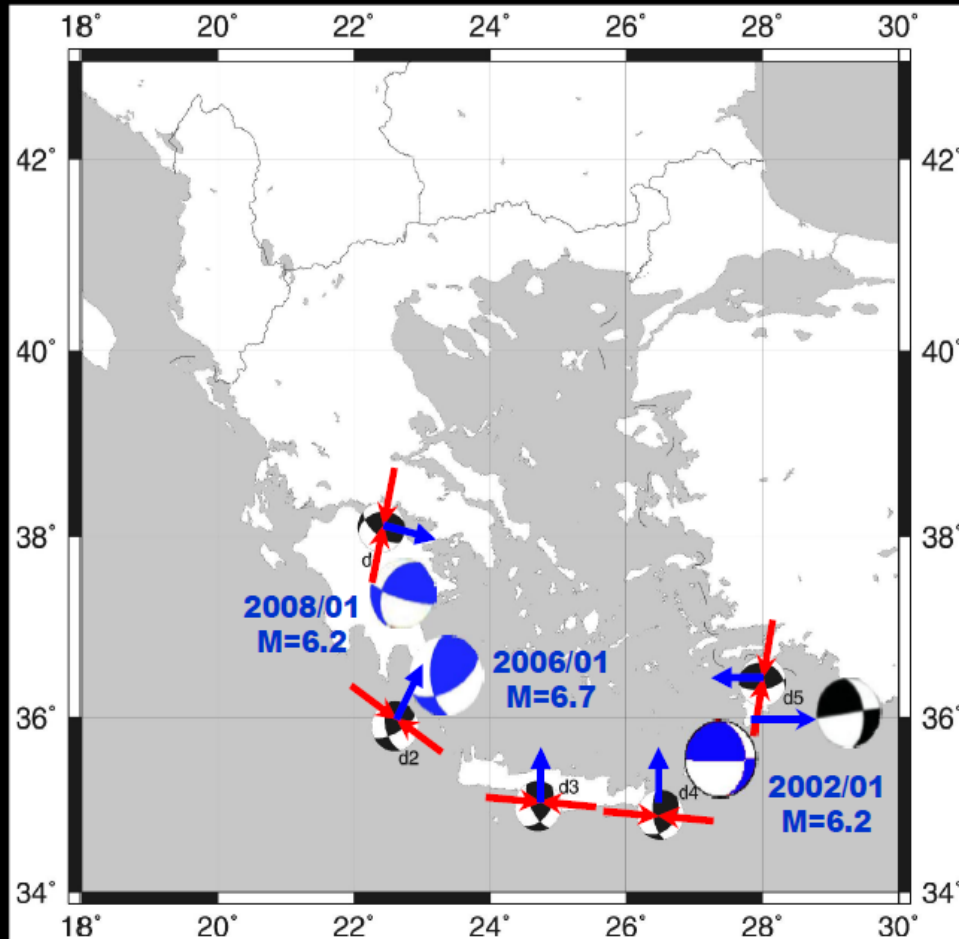


Benetatos et al. (2006)

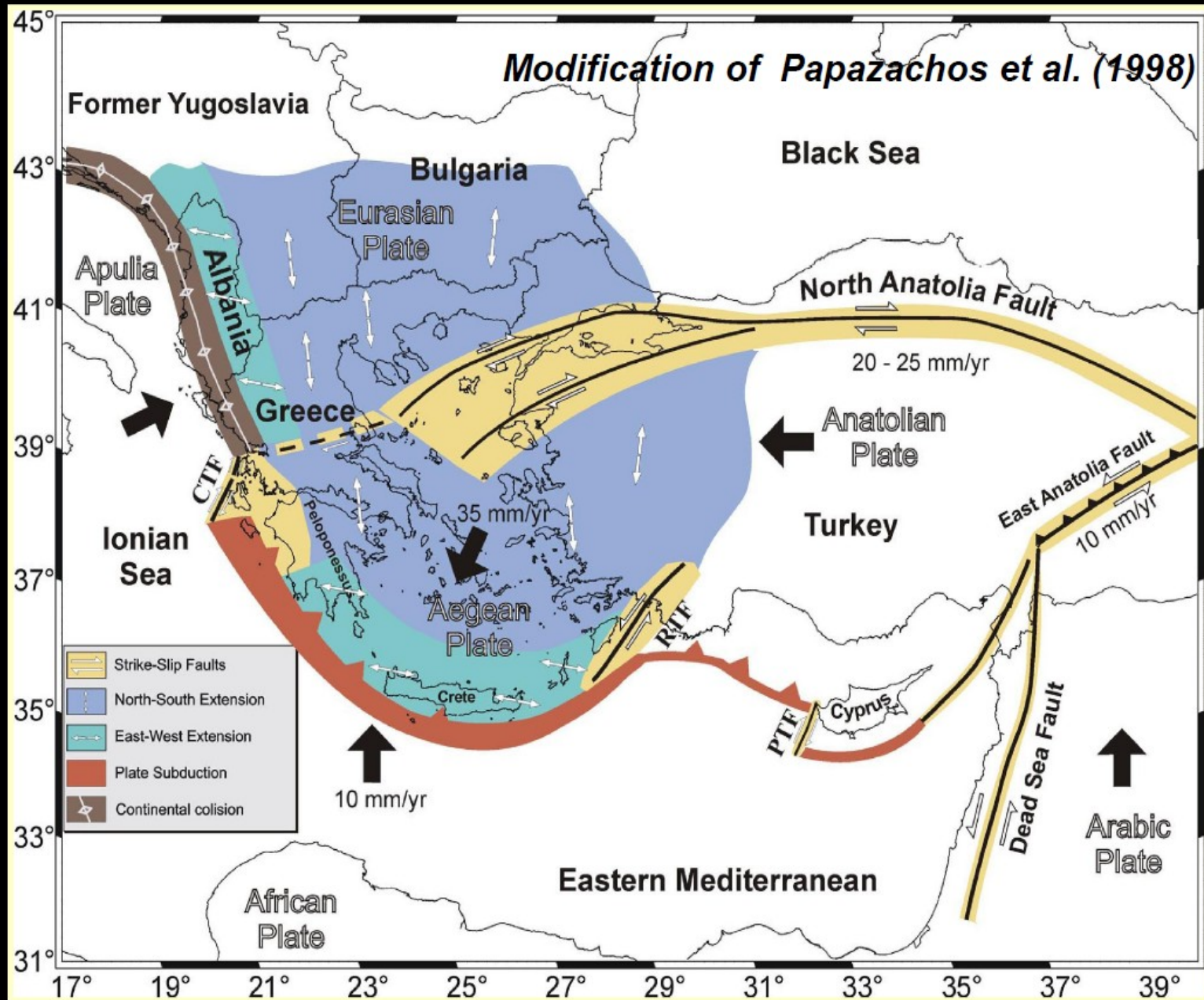
Σεισμοί βάθους & πεδίο τάσεων



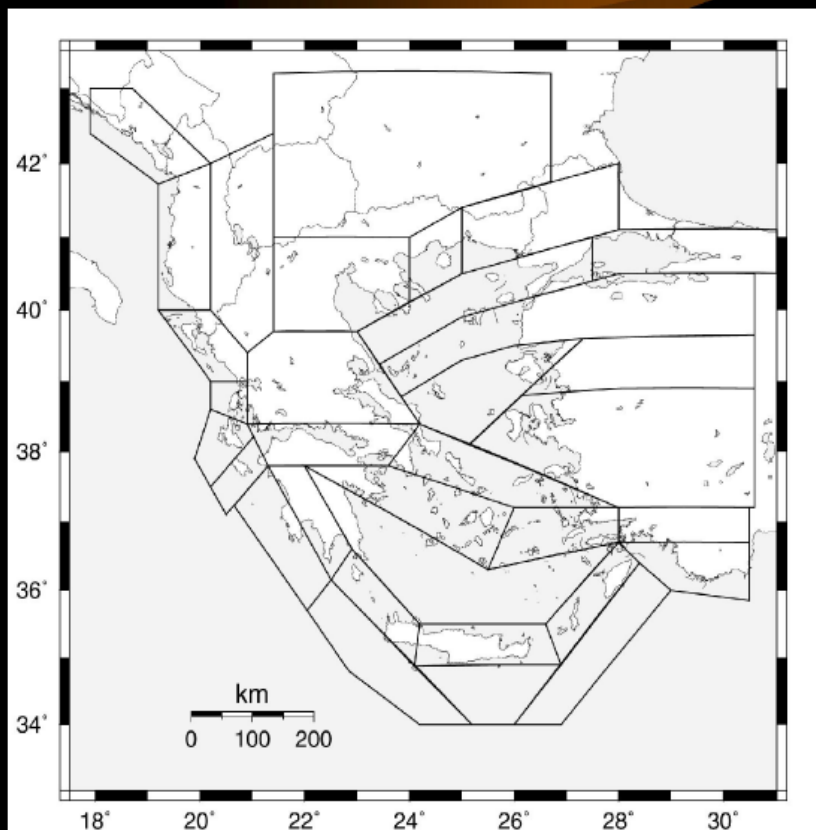
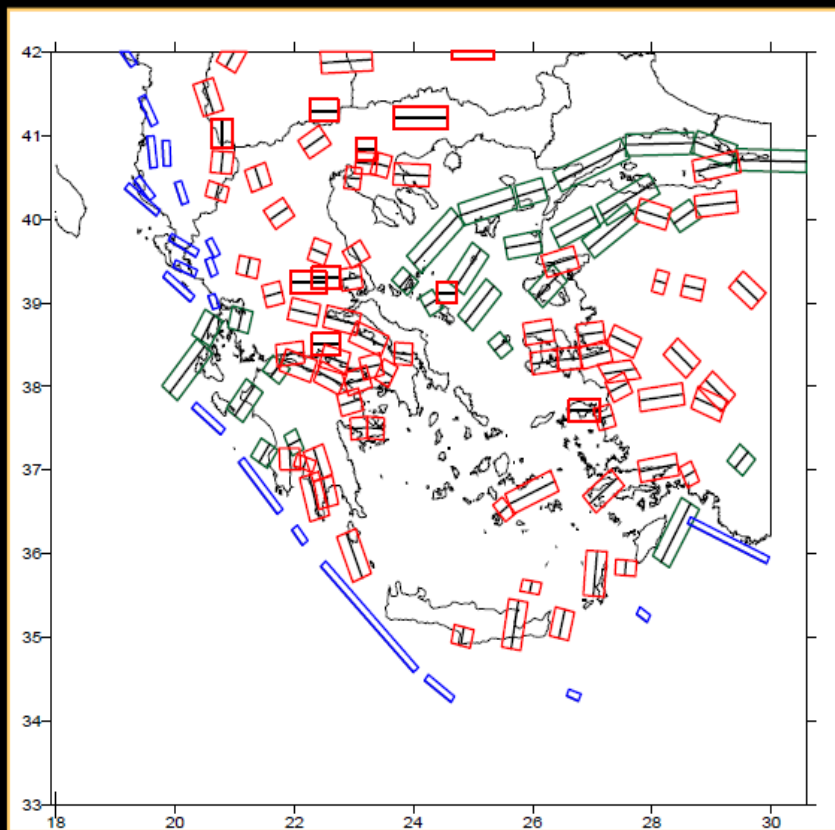
Σεισμοί βάθους & πεδίο τάσεων



(Taymaz et al., 1990,
Papazachos, 1990)

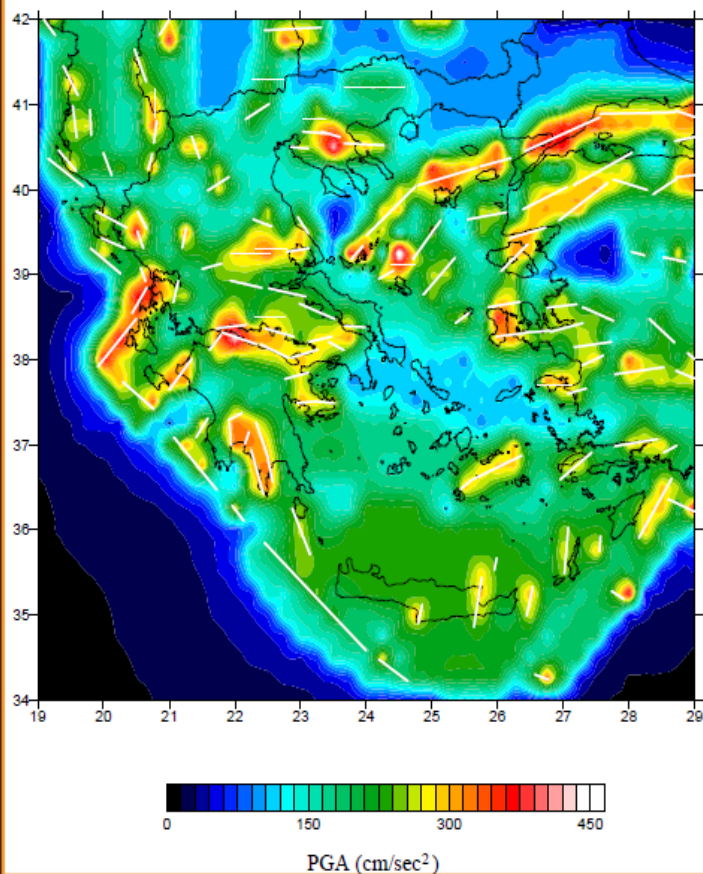


Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2002

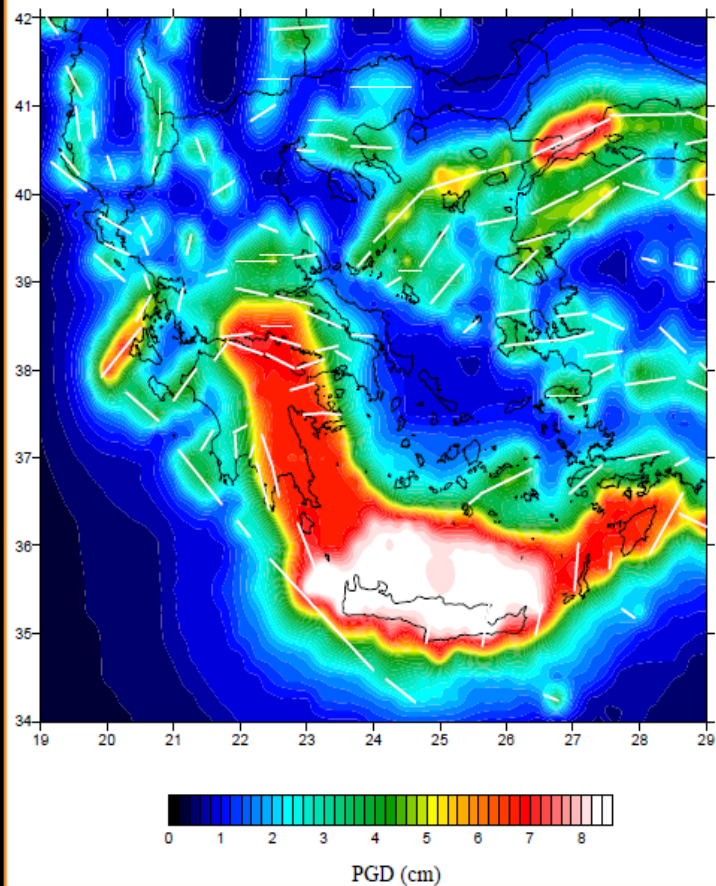


Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2002

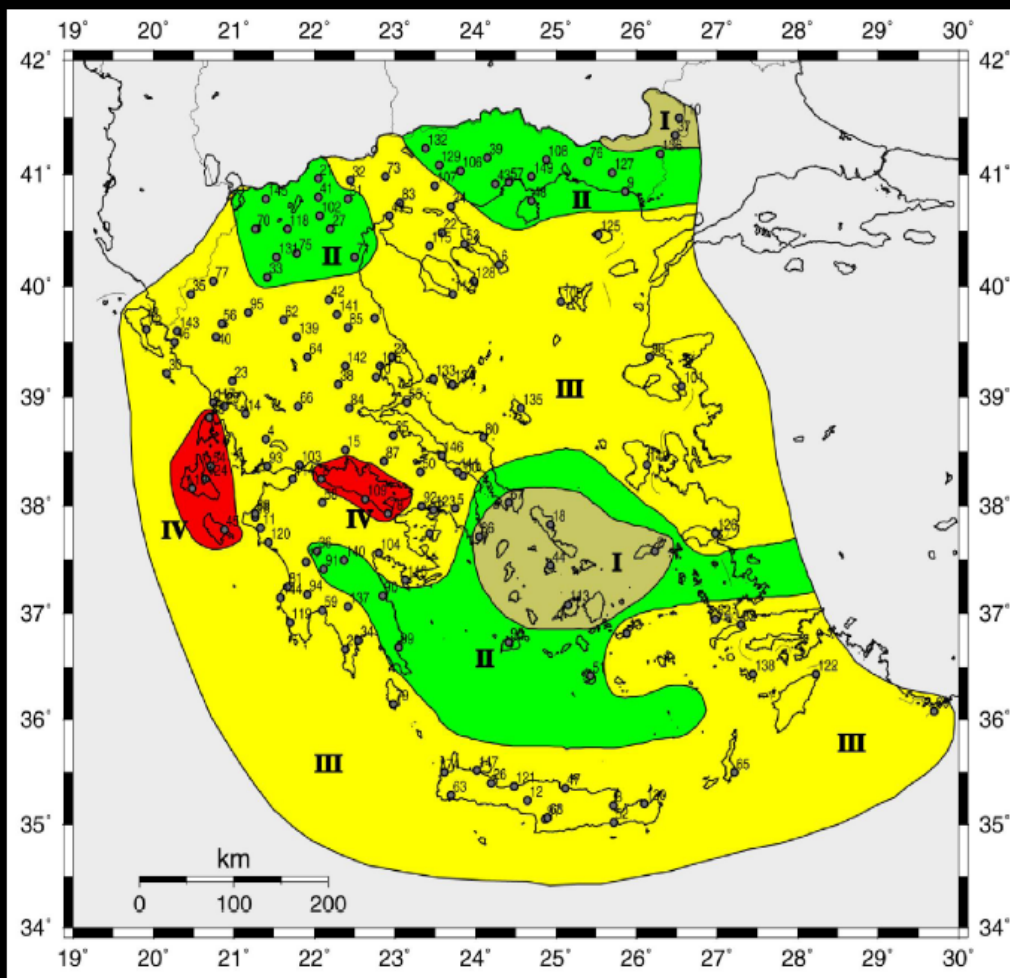
PGA (475 έτη ή 10% 50 έτη)



PGD (475 έτη ή 10% 50 έτη)



Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2002



Κατηγορία (Ζώνη)	g	Εύρος τιμών (cm/sec ²)
I	0.11	75-130
II	0.18	130-220
III	0.25	220-290
IV	0.36	290-

Νέες σεισμικές ζώνες του Ελληνικού χώρου



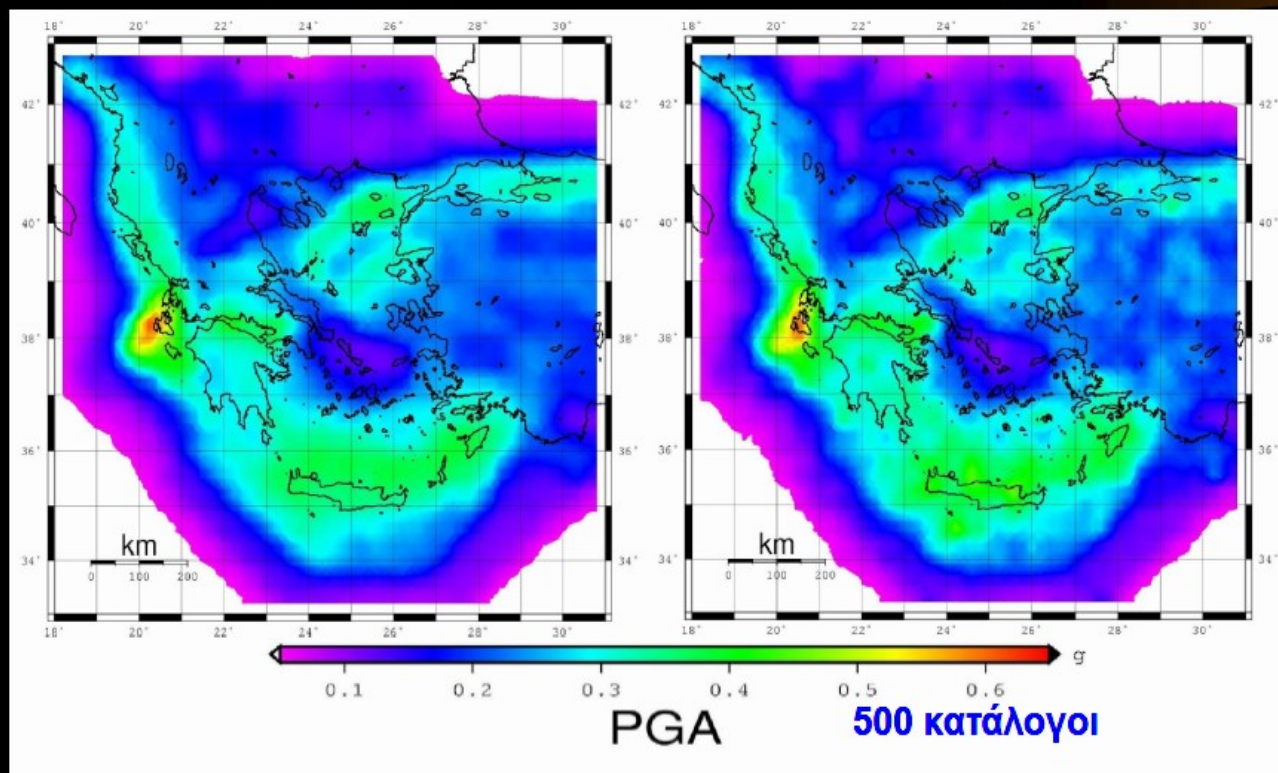
Παράδειγμα
διαχωρισμού
σεισμικών ζωνών

(Βαμβακάρης, 2010)

Νέες σεισμικές ζώνες του Ελληνικού χώρου

63.2% πιθανότητα υπέρβασης
στα 476 χρόνια

2% πιθανότητα υπέρβασης
στα 10 χρόνια



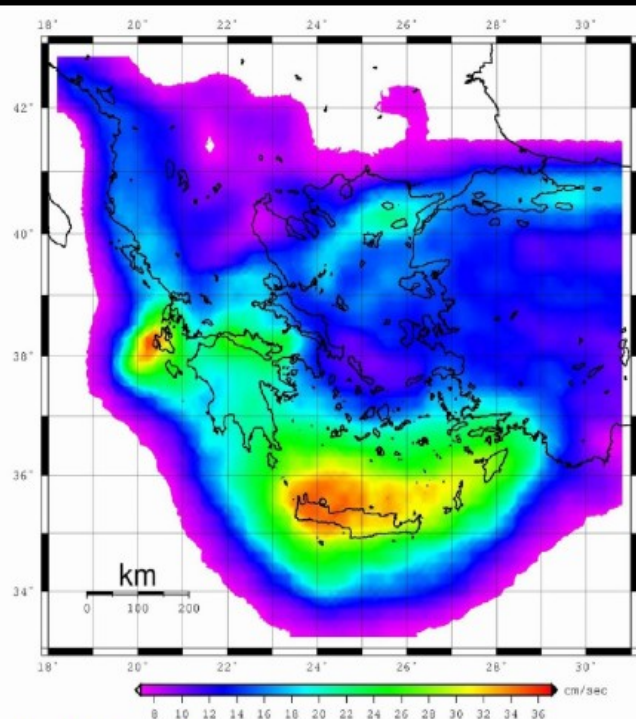
ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΩΝΩΝ

113 επιφανειακές
(Βαμβακάρης, 2010)

7 ενδιαμέσου βάθους
(Papazachos &
Papaisiannou, 1993)

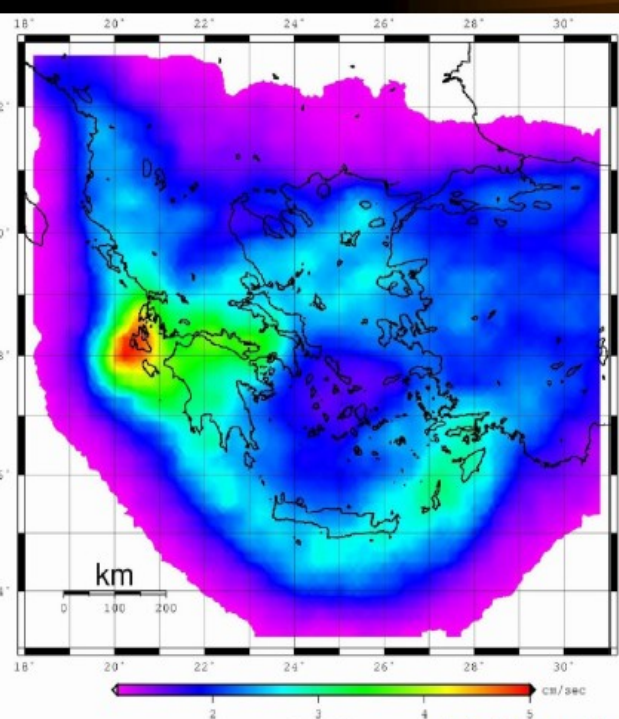
Νέες σεισμικές ζώνες του Ελληνικού χώρου

Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα, PGV



T=476 χρόνια

PGV



PGV

T=10 χρόνια

ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΩΝΩΝ

**113 επιφανειακές
(Βαμβακάρης, 2010)**

**7 ενδιάμεσου βάθους
(Papazachos &
Papadimitriou, 1993)**

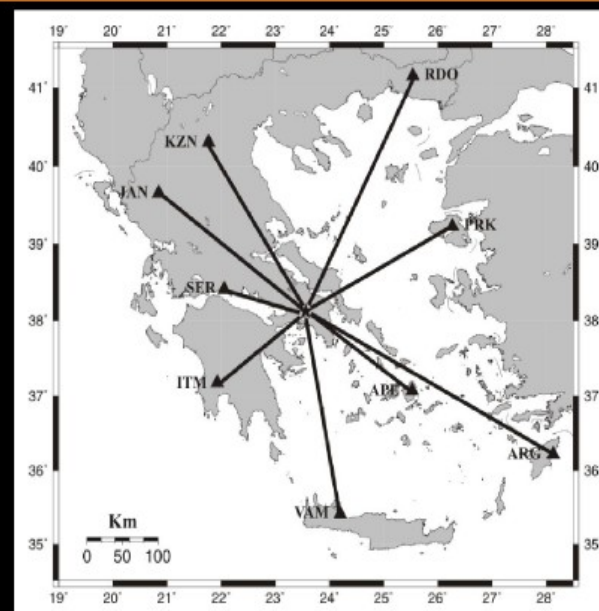
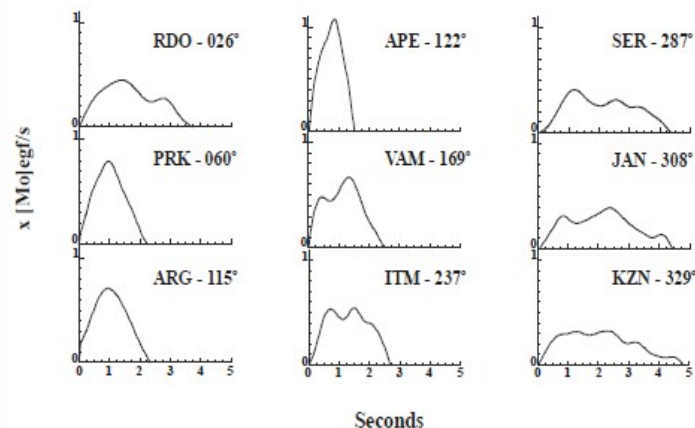
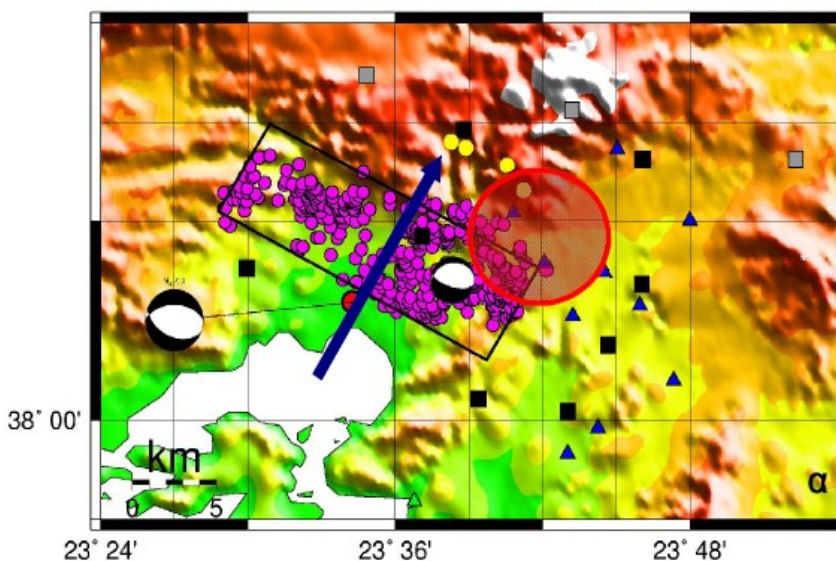
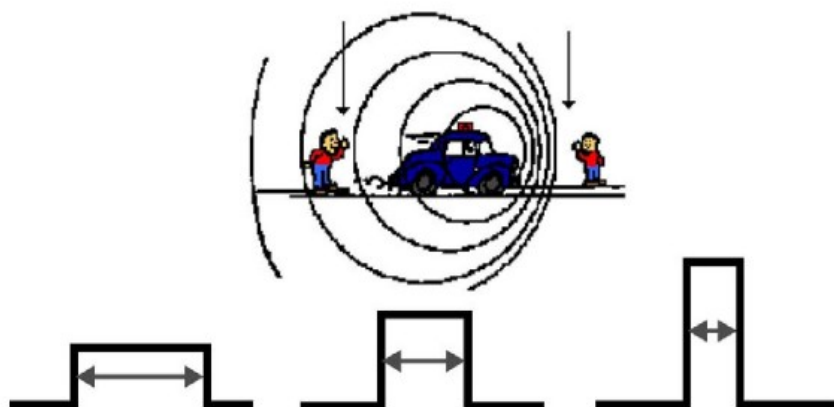
(Τιμές PGV: έως ~35cm/sec στη Δ. Κρήτη) (Τιμές PGV: έως ~5cm/sec στην Κεφαλονιά)

Κατανόηση κατανομής βλαβών

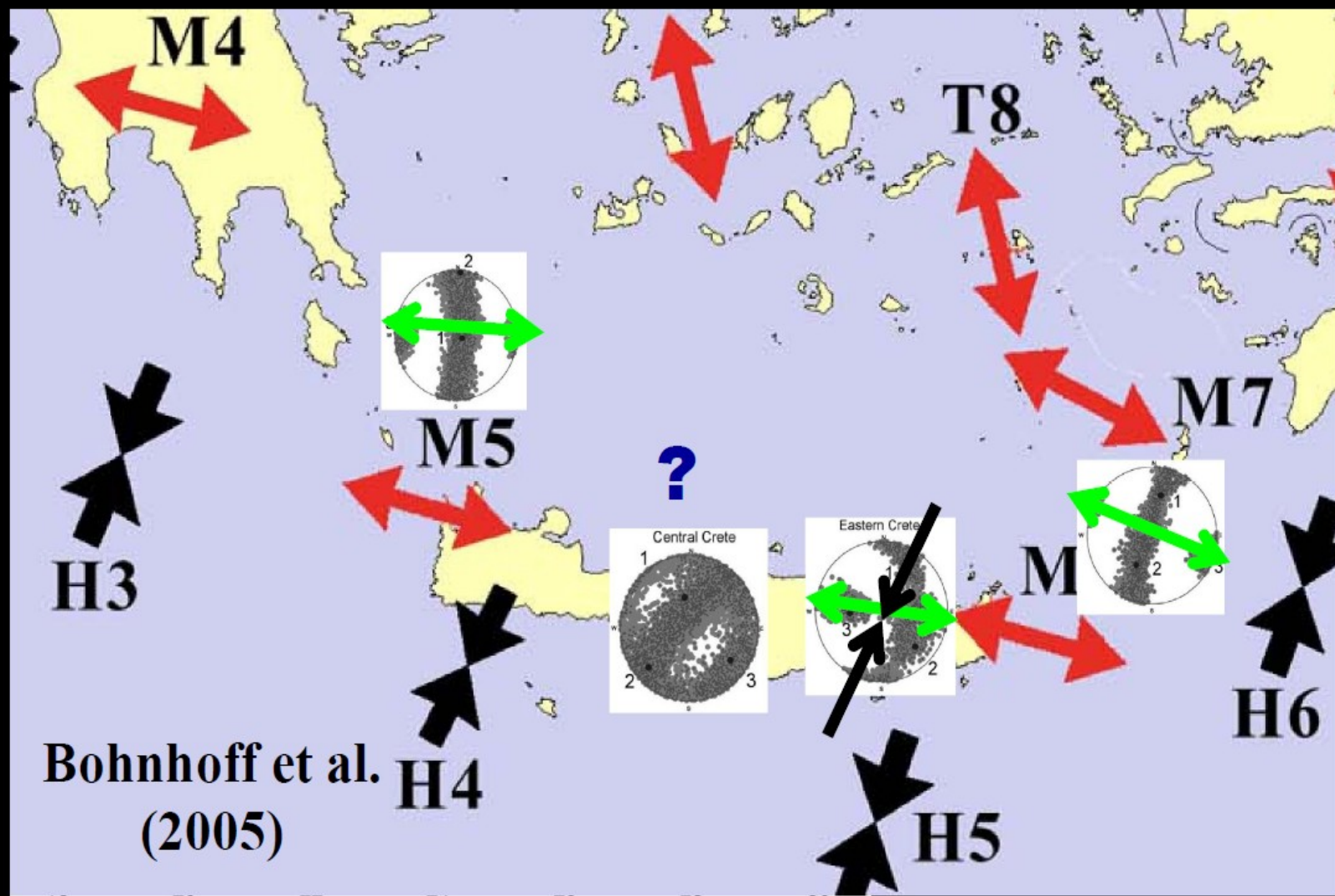
Roumelioti et al. (2002)

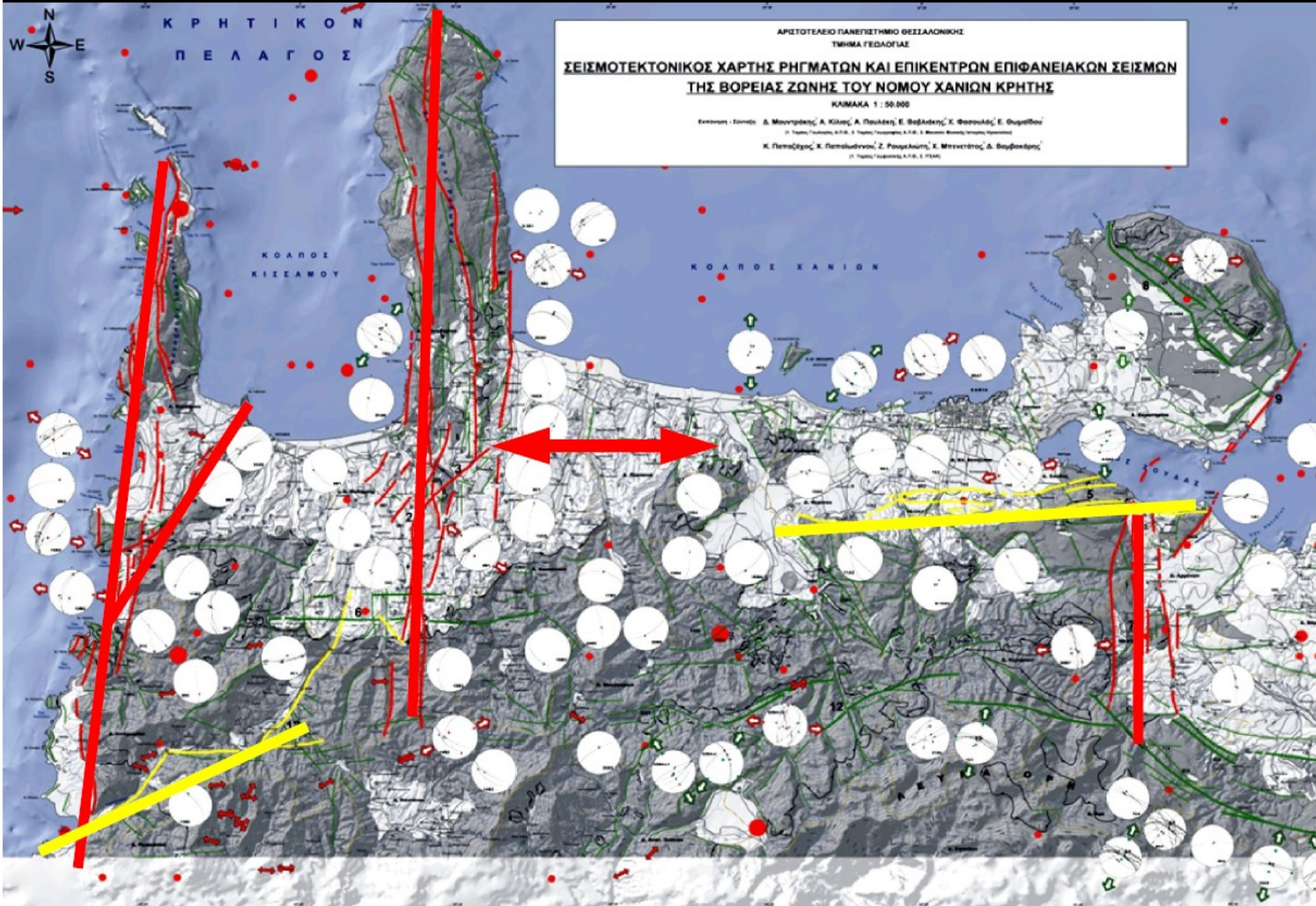
Υψίσυχο κύμα
Μικρό μήκος κύματος

Χαμηλόσυχο κύμα
Μεγάλο μήκος κύματος

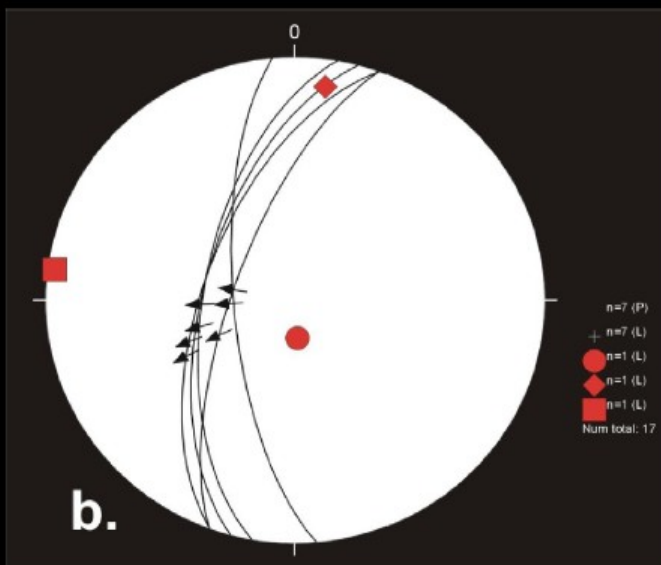
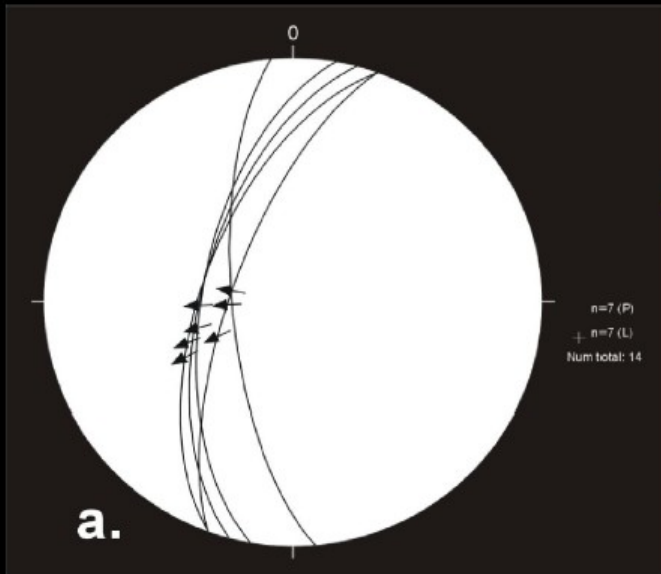


Αξιοποίηση μοντέλου

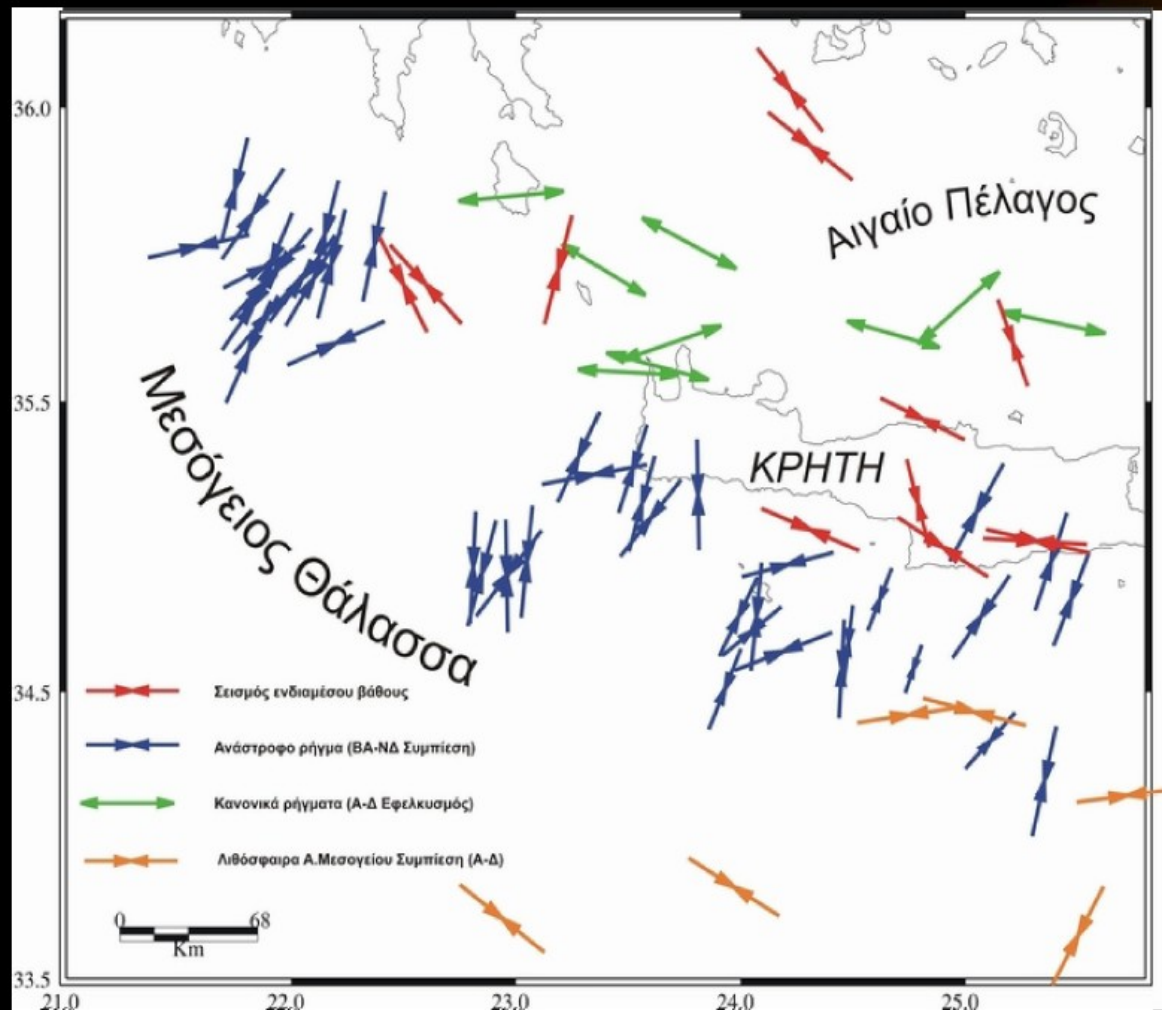




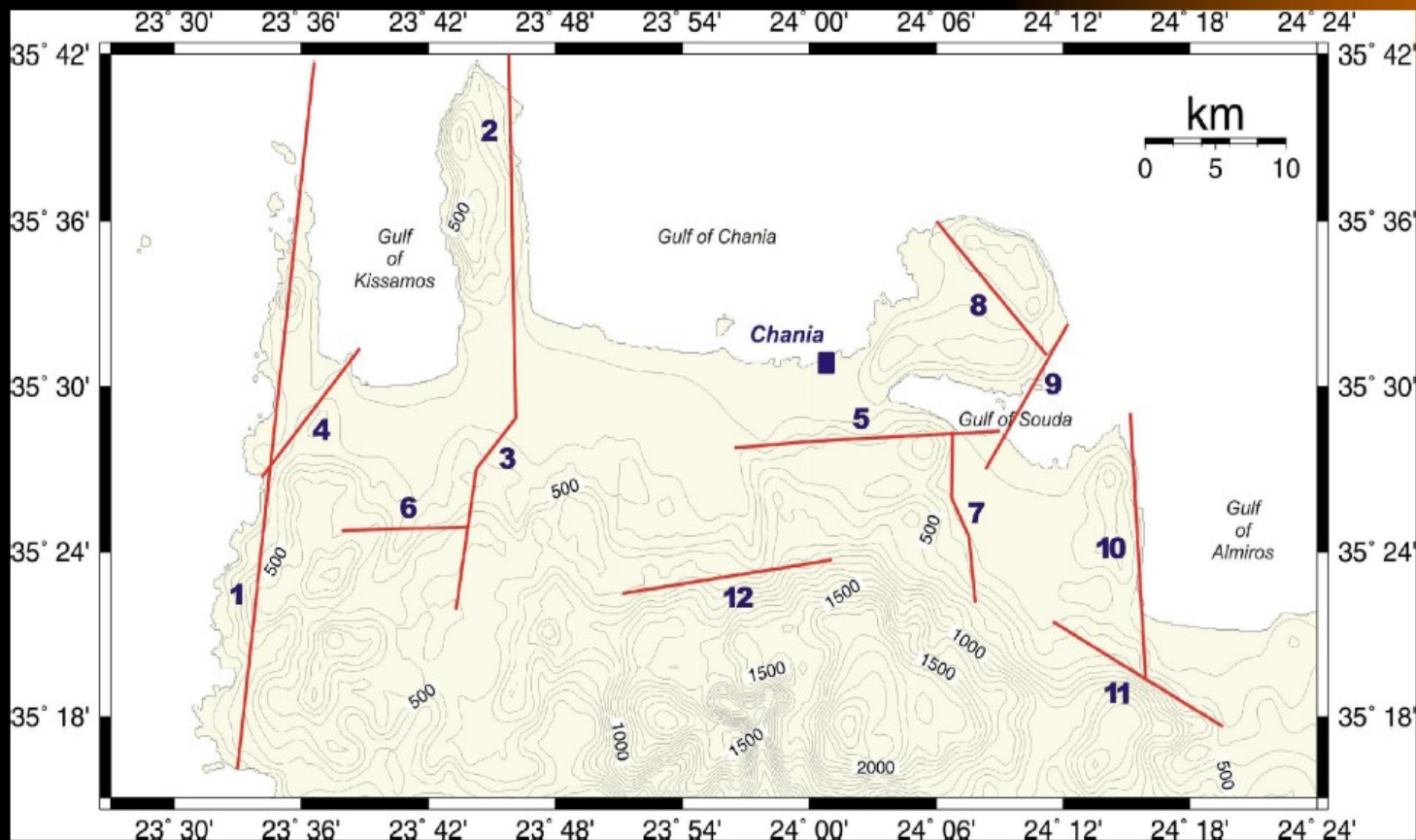
Ρήγμα Δυτικής Κρήτης

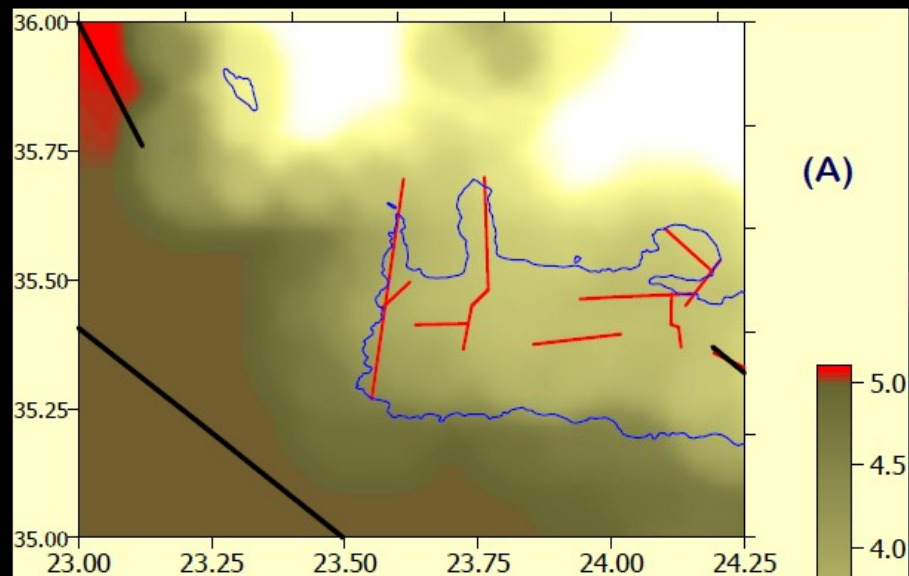


Υπολογισμός Σεισμικής Επικινδυνότητας

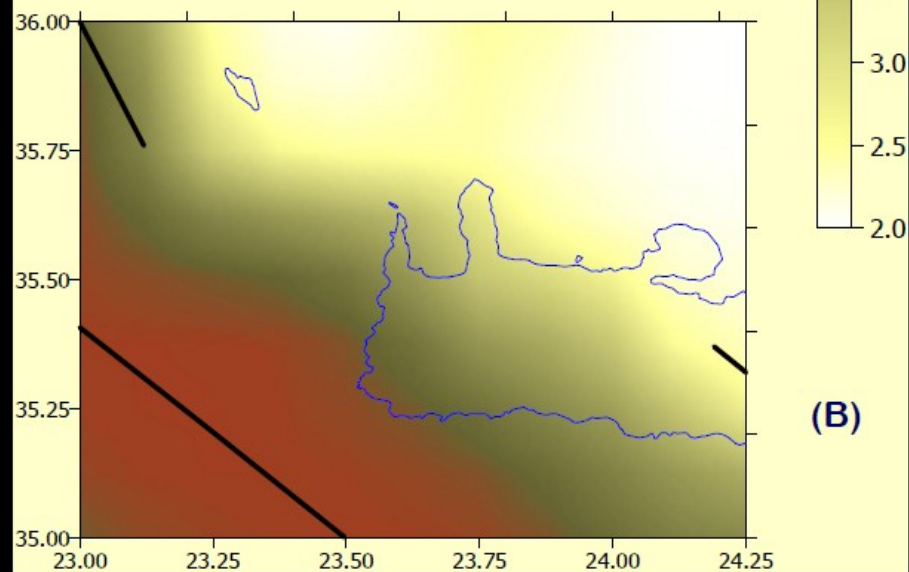


Υπολογισμός Σεισμικής Επικινδυνότητας

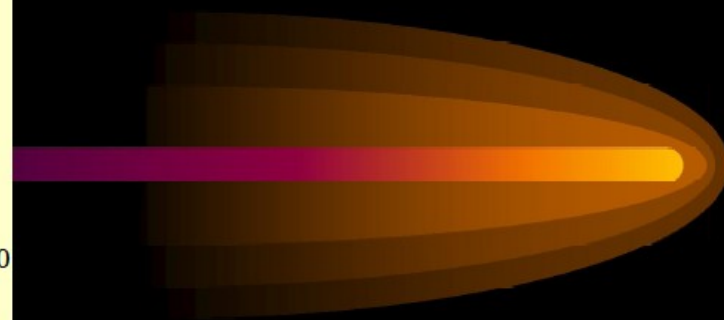




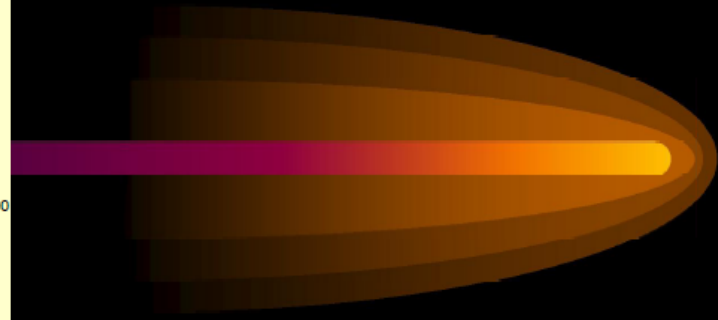
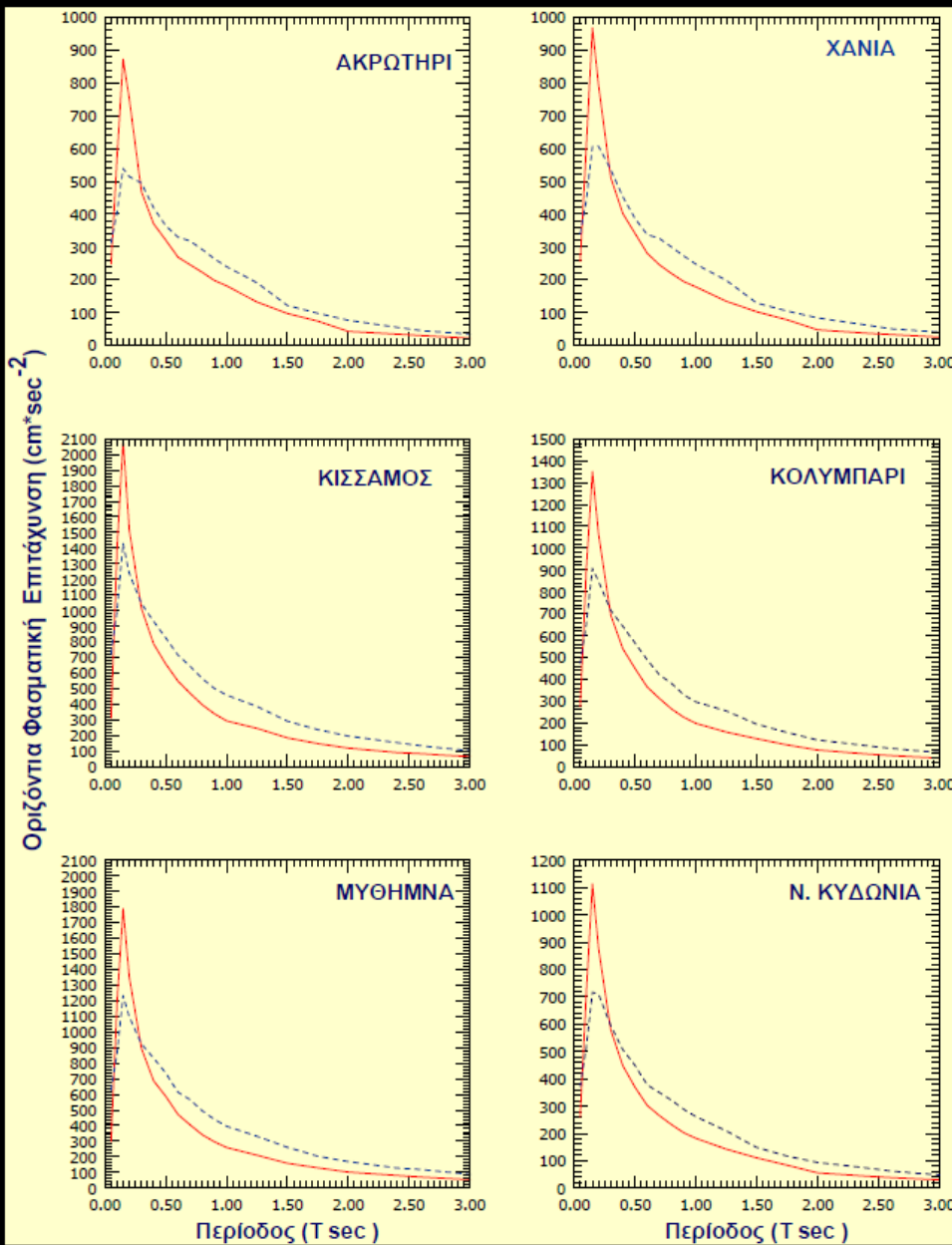
(A)



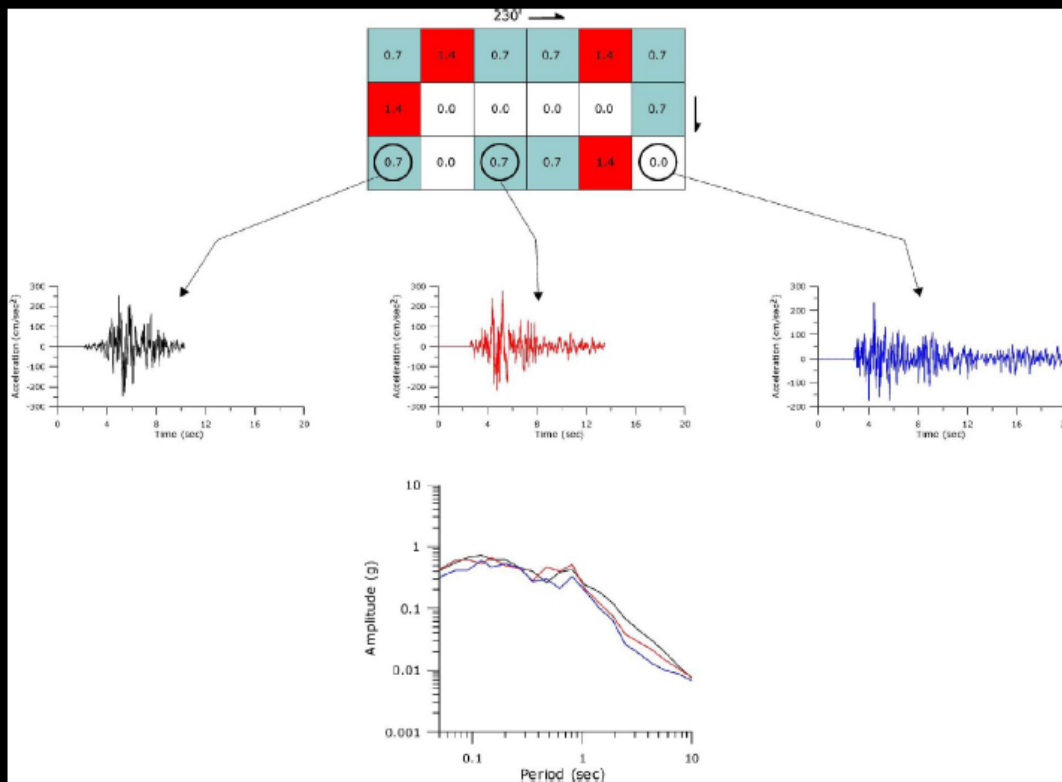
(B)



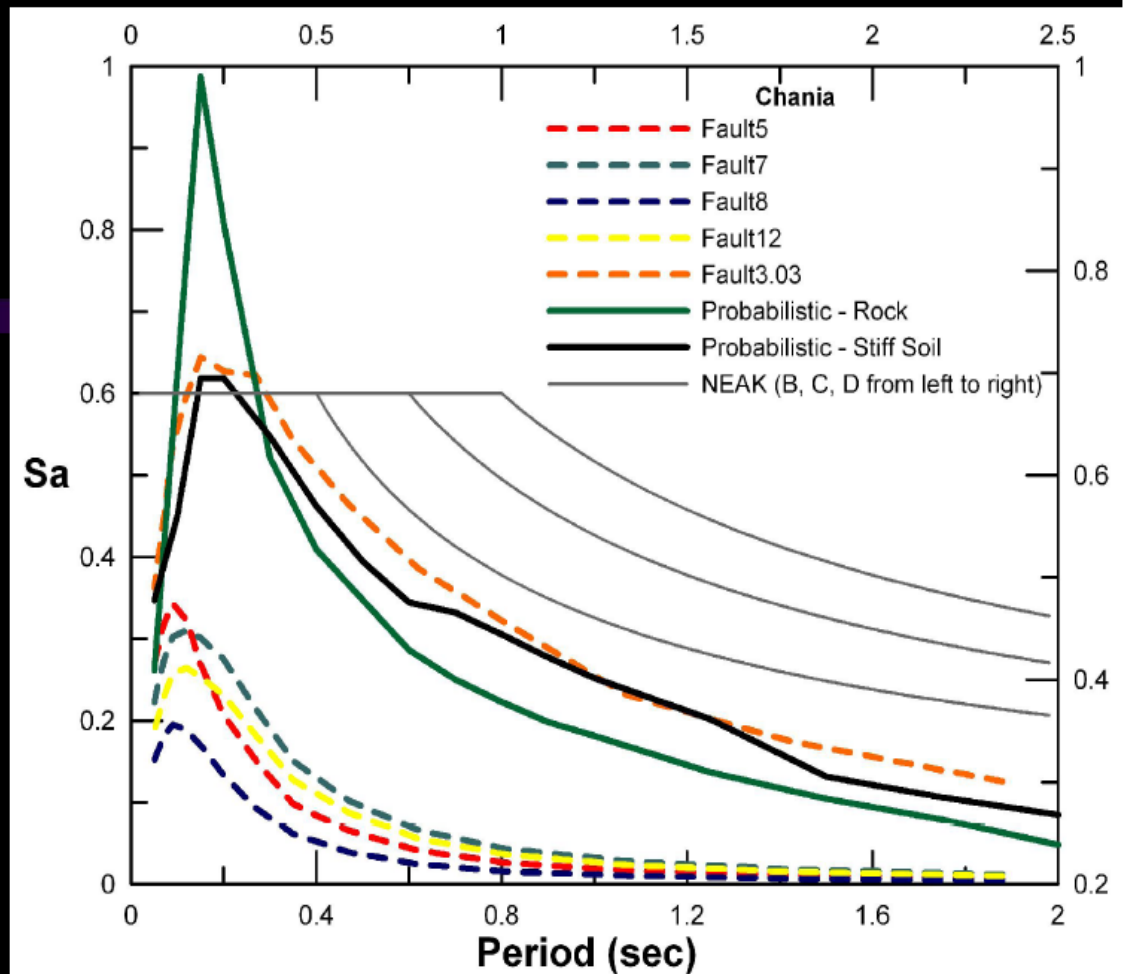
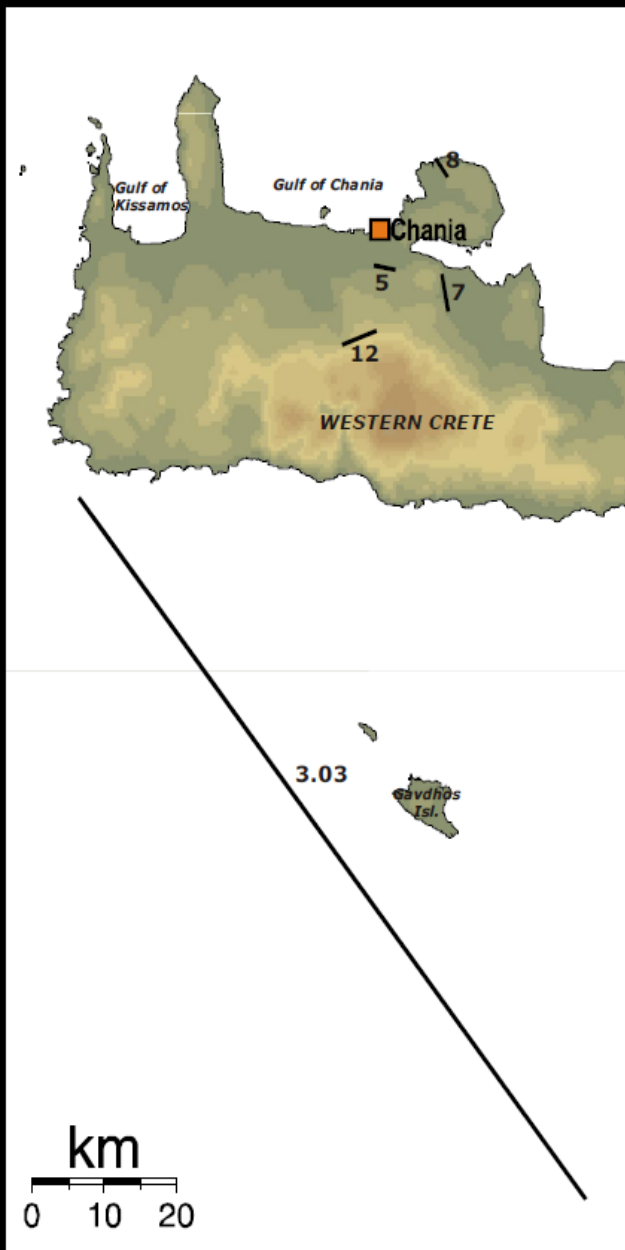
**Υπολογισμός Σεισμικής
Επικινδυνότητας**



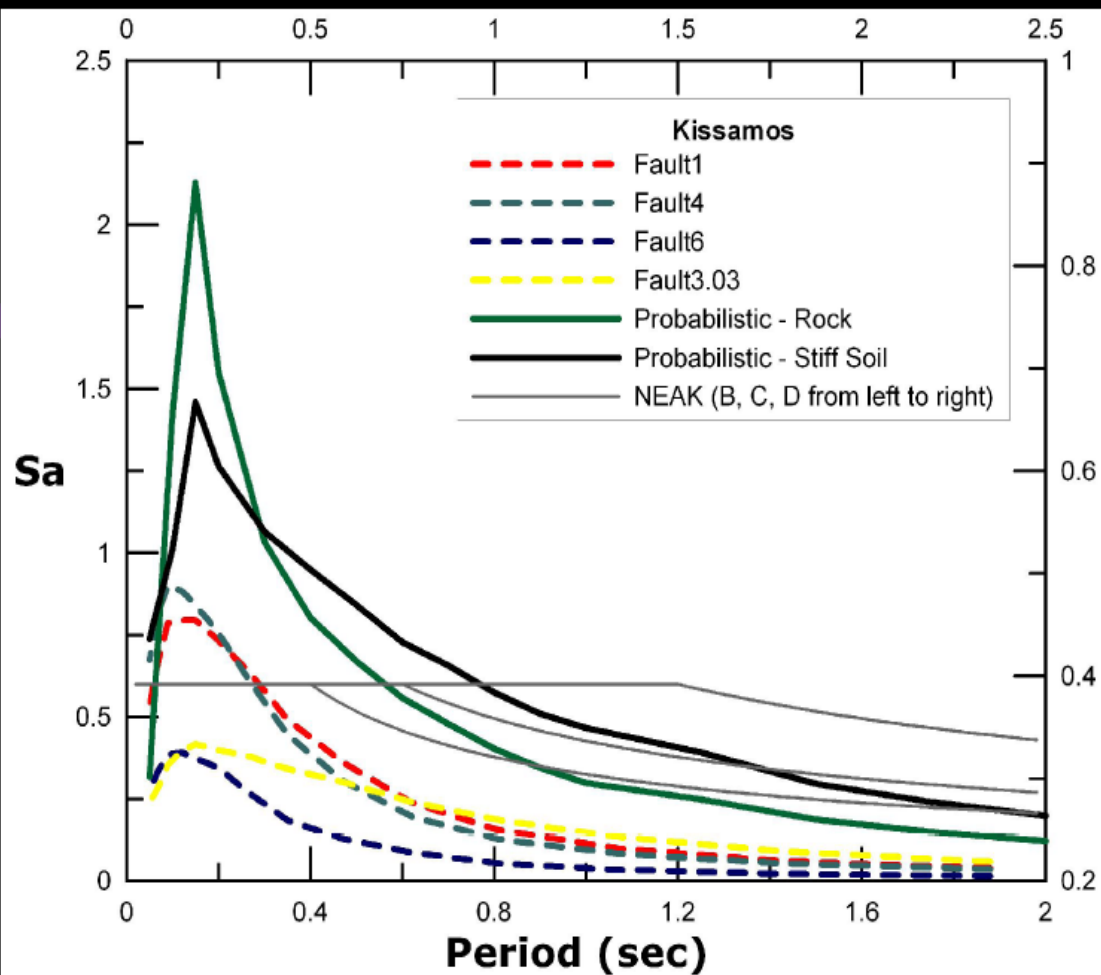
**Πιθανολογικός
Υπολογισμός
Σεισμικής
Επικινδυνότητας**



**Αιτιοκρατικός
Υπολογισμός
Σεισμικής
Επικινδυνότητας**

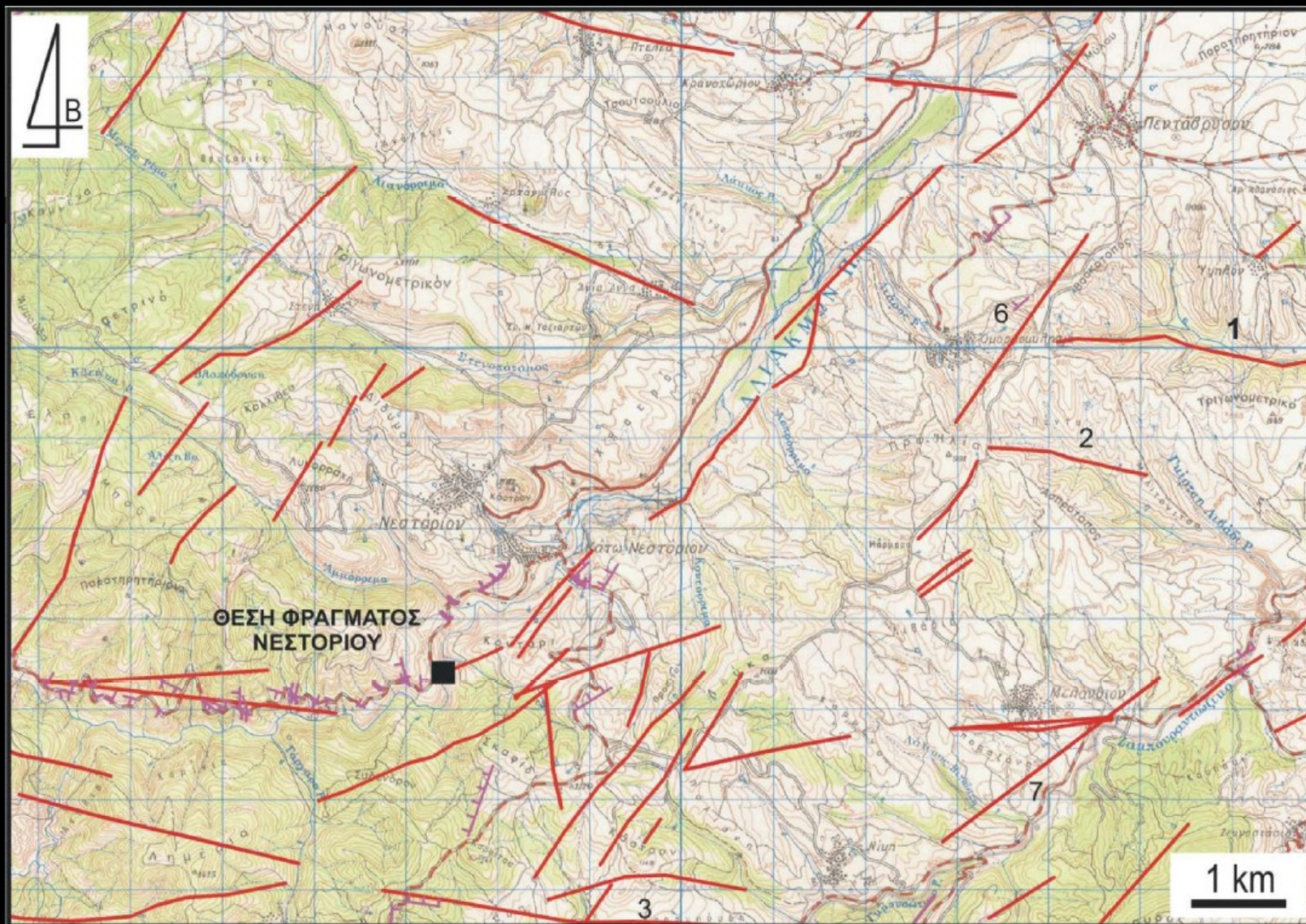


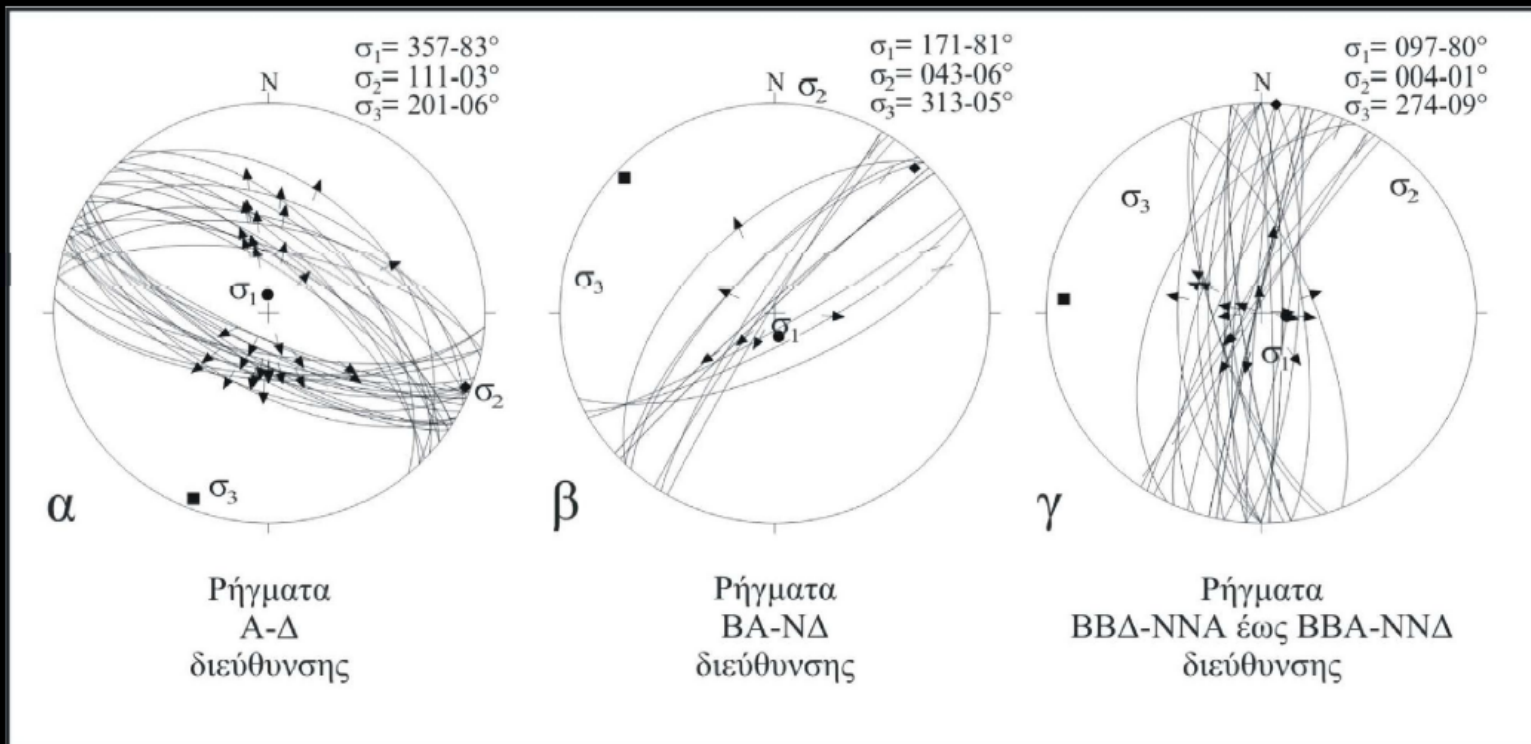
**Υπολογισμός Σεισμικής
Επικινδυνότητας**



**Υπολογισμός Σεισμικής
Επικινδυνότητας**

4B

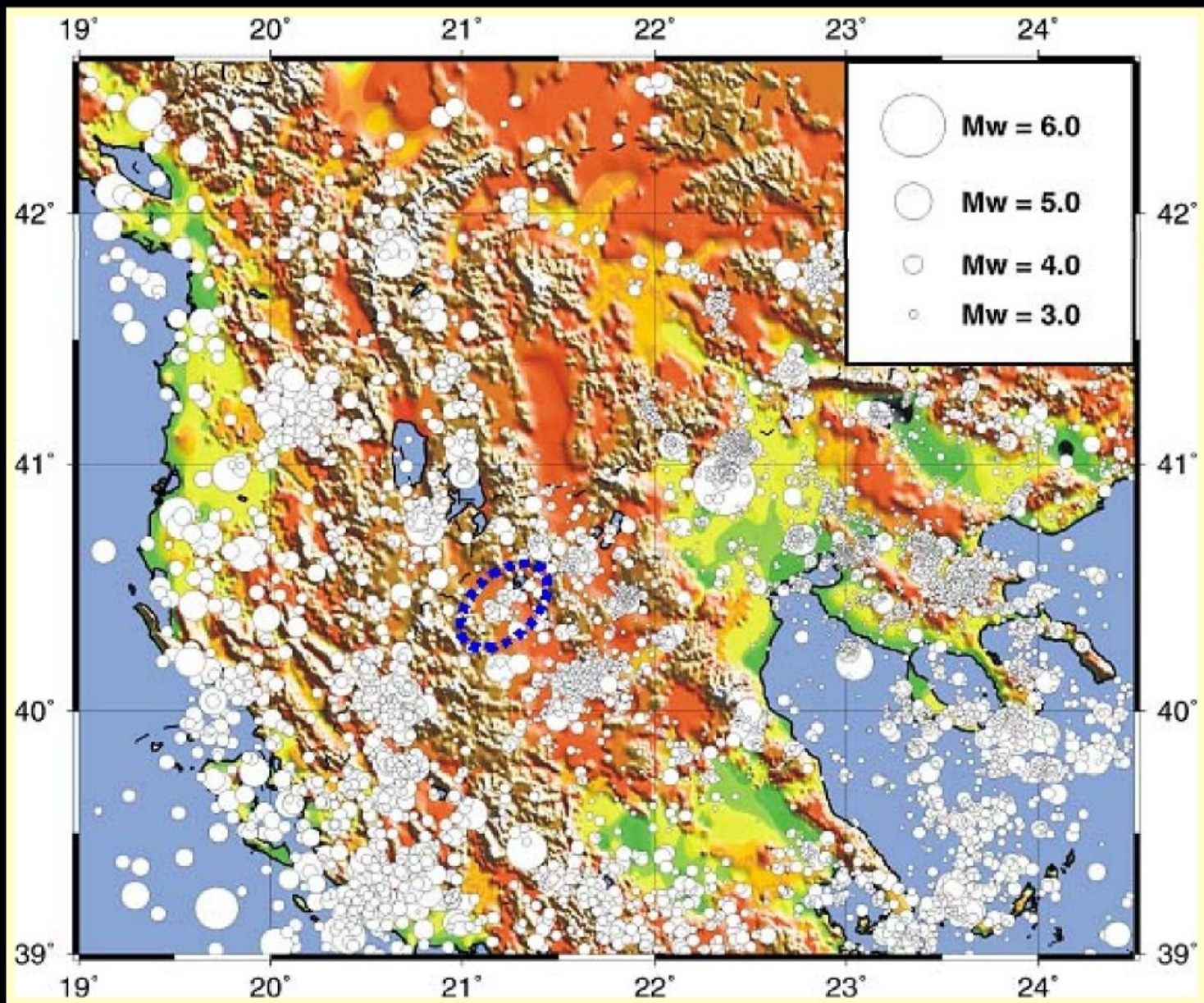


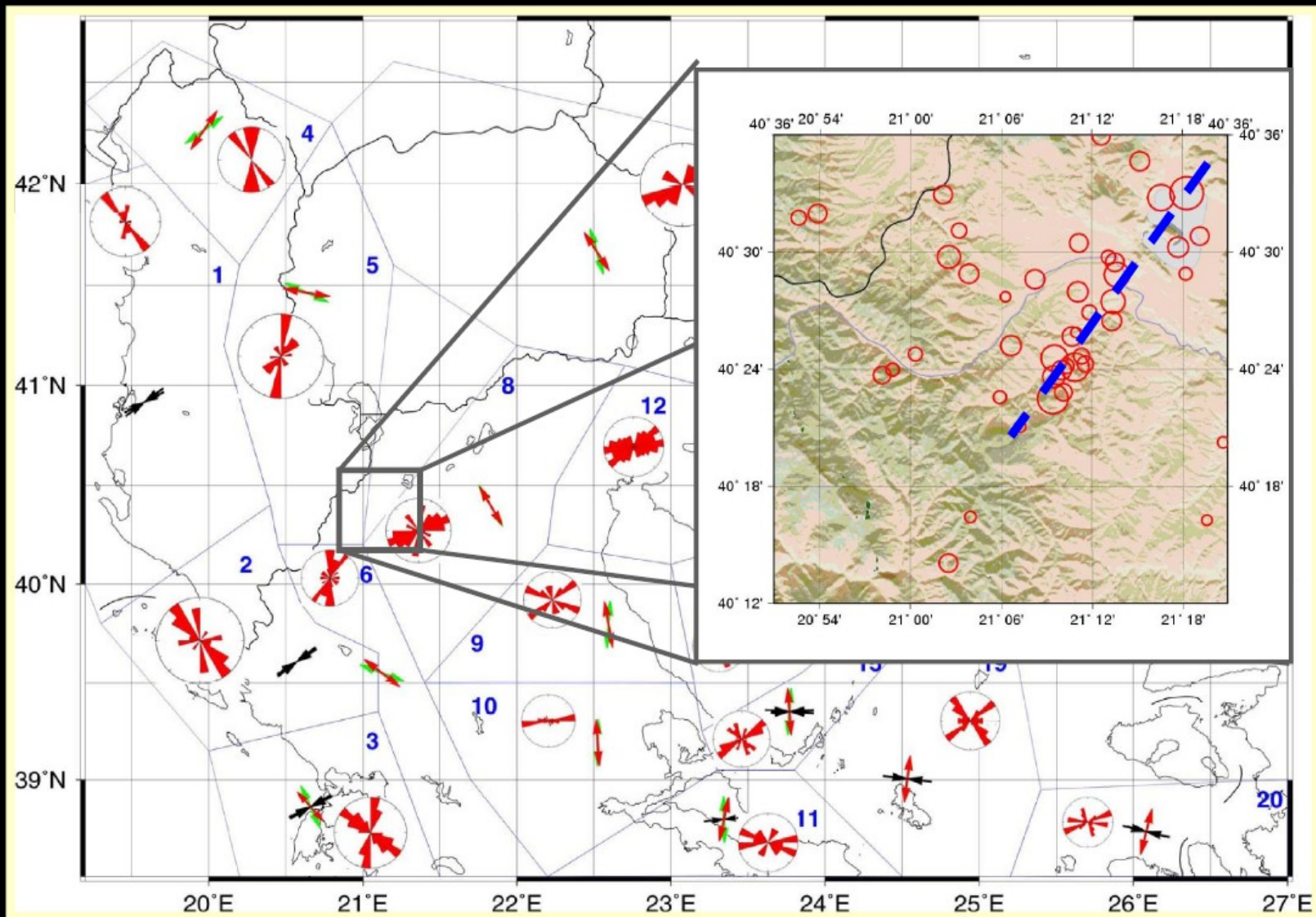


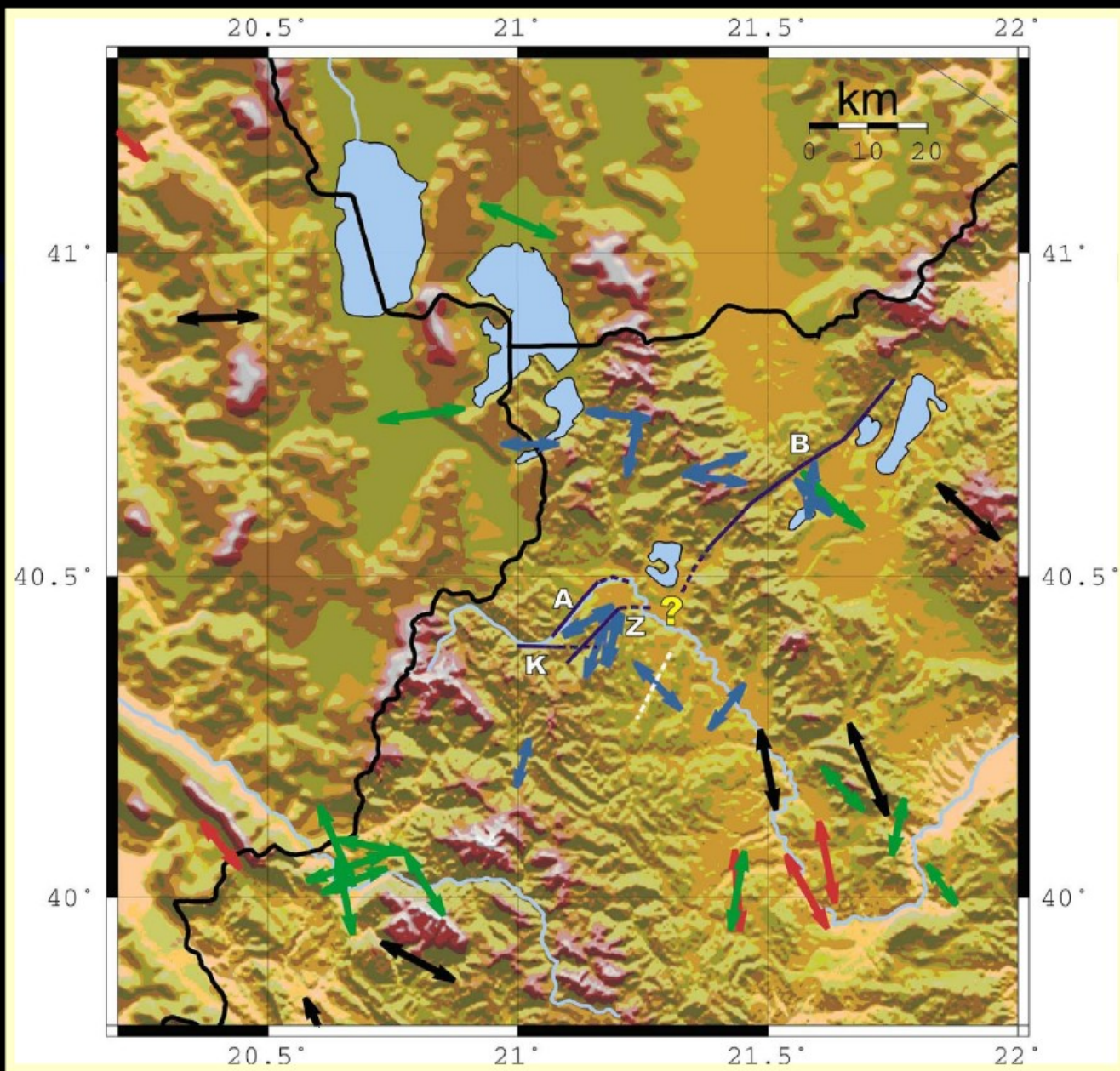
- **ΒΑ-ΝΔ** διεύθυνσης ρηξιγενείς ζώνες του **Ζαμπουραντιώζικου** και του **Αλιάκμονα**, με συνολικό μήκος **10-13 km**, που μπορούν να δώσουν σεισμό μεγέθους έως **M = 6.0**
- **Α-Δ** διεύθυνσης ρηξιγενείς ζώνες στο χώρο του φράγματος, οι οποίες περιορίζονται ανάμεσα στις ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηξιγενείς ζώνες και το μήκος τους δεν υπερβαίνει τα **8-10km** με σεισμό μεγέθους έως **M = 5.8**



Μεγάλο ρήγμα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης στο δρόμο που παρακολουθεί την αριστερή κλιτή της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος







ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



1709, 40.6° N, 21.3° E, h = n, M = (6.0), Καστοριά (VII)

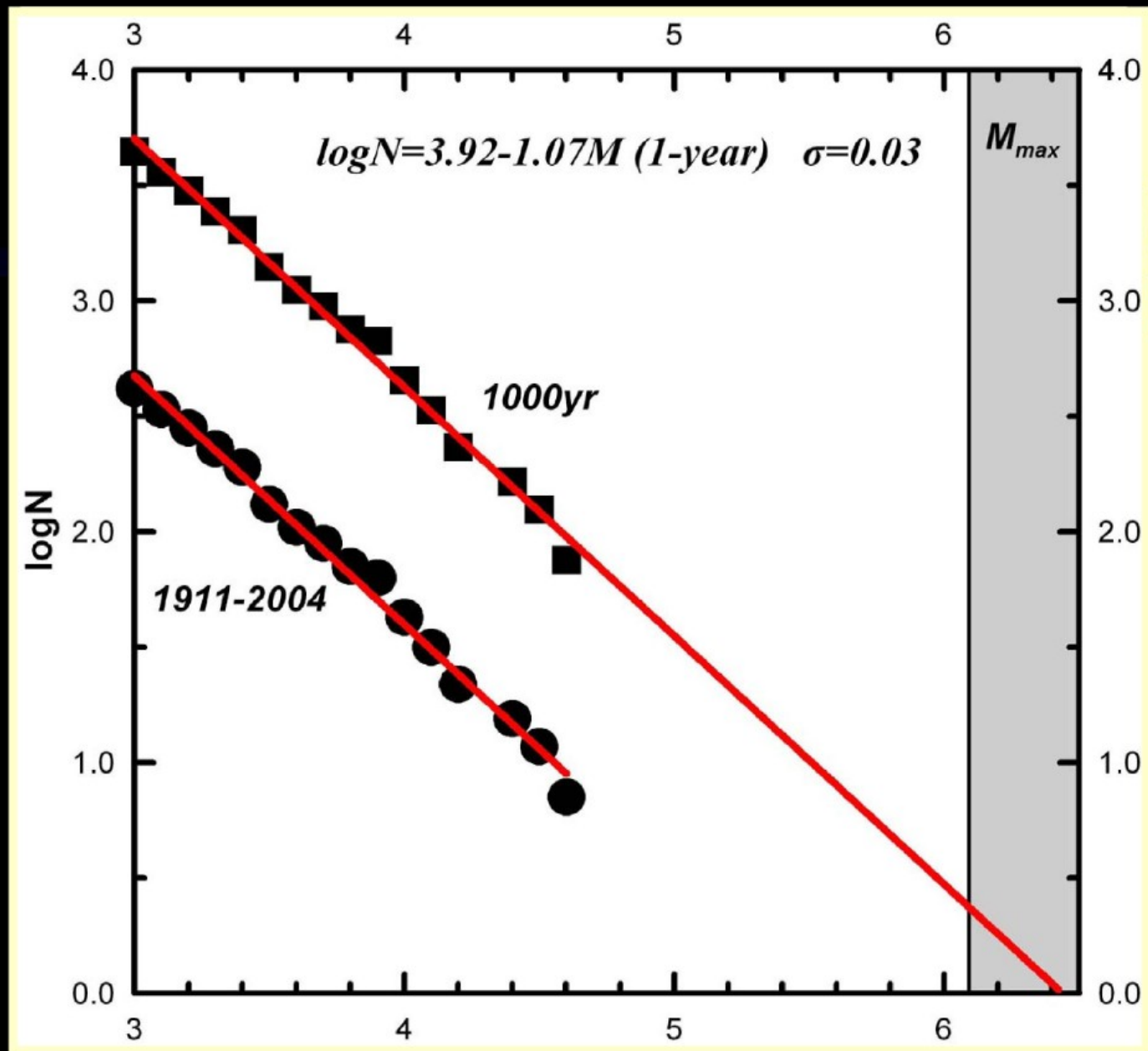
Ένα φιρμάνι που εκδόθηκε στις 10 Δεκεμβρίου του 1711 αναφέρει ότι μερικά μέρη τζαμιών που χτίστηκαν από τους σουλτάνους Μεχμέτ και Σουλεϊμάν στο κάστρο της Καστοριάς καταστράφηκαν από το σεισμό (Ambraseys and Finkel 1999).

1812, Μάιος 29, 40.5° N, 21.3° E, h = n, M = (6.5), Καστοριά (VIII)

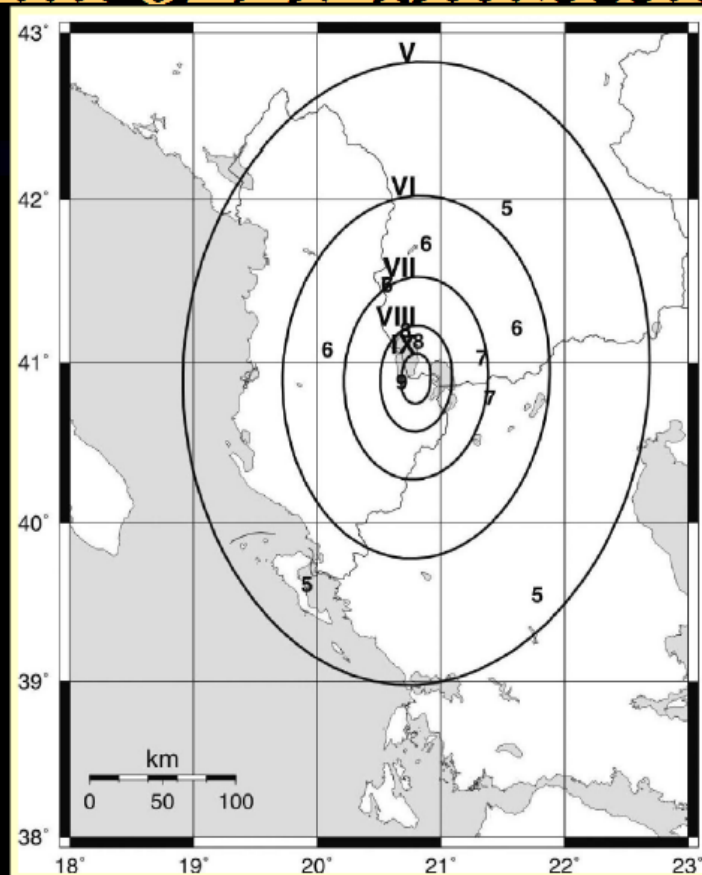
Σύμφωνα με σημείωση εκκλησιαστικού βιβλίου που βρέθηκε στην Παναγιά Ρασιώτισσα στην Καστοριά, έγινε ένας μεγάλος σεισμός στις 17 Μαΐου 1812 (παλαιά ημερομηνία). Τζαμιά, καμινάδες και σπίτια γκρεμίστηκαν. Οι κάτοικοι εγκατέλειψαν τα σπίτια τους και πήγαν στα βουνά και στους δρόμους, όπου κατασκεύασαν καλύβες για να ζήσουν. Οι μετασεισμοί κράτησαν τρεις μήνες (Γκολομπίας 1986).

1894, Αύγουστος 23, 40.3° N, 21.4° E, h = n, M = (6.1), Σιάτιστα (VII)

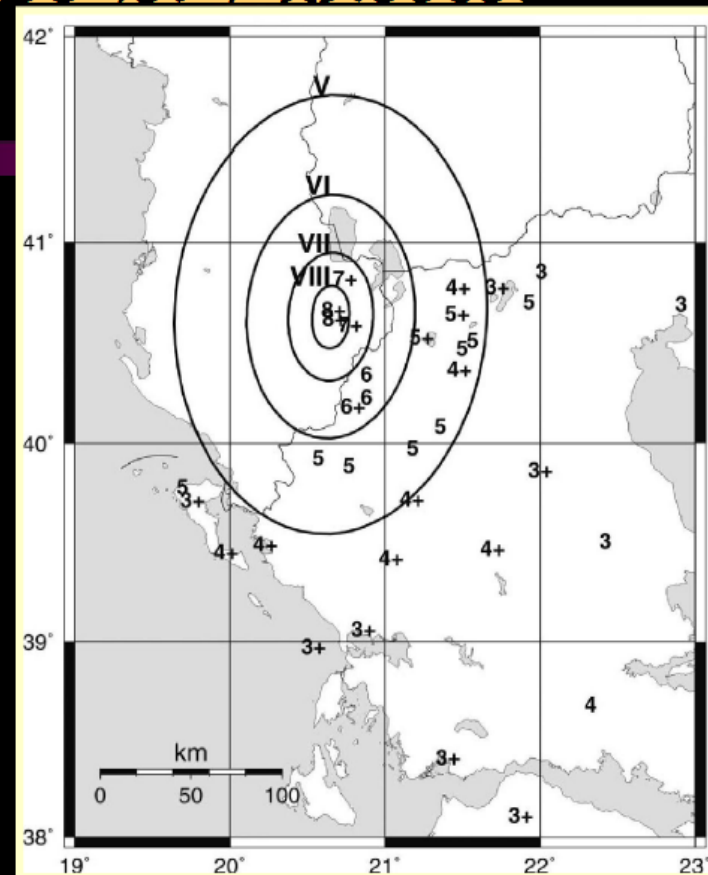
Ο σεισμός προκάλεσε πολλές ζημιές στην περιοχή μεταξύ Σιάτιστας, Σελίστρας (Εράτυρα) και Καστοριάς και έγινε έντονα αισθητός στο Μοναστήρι και την Κορυτσά (Ambraseys 1999).



ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

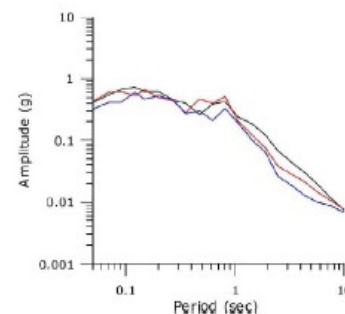
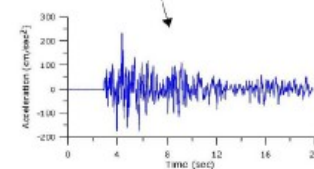
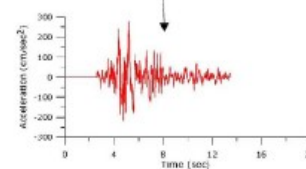
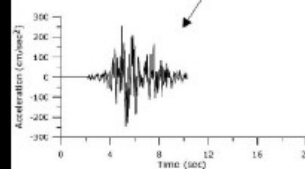
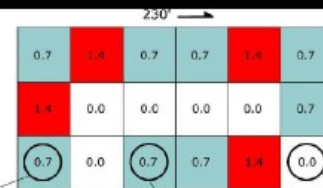
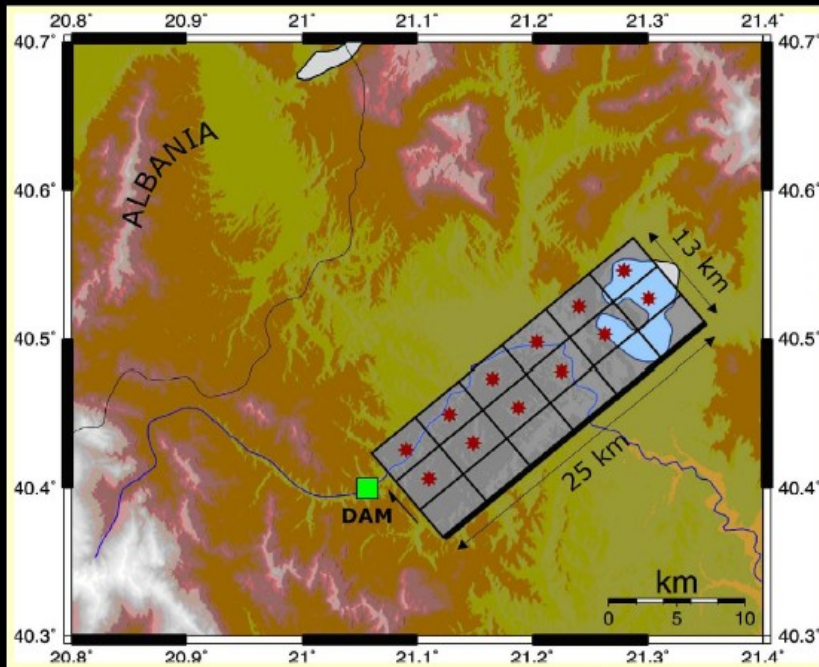


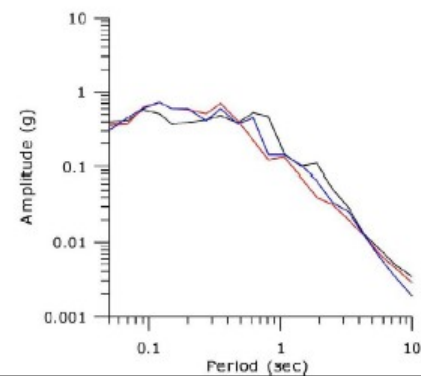
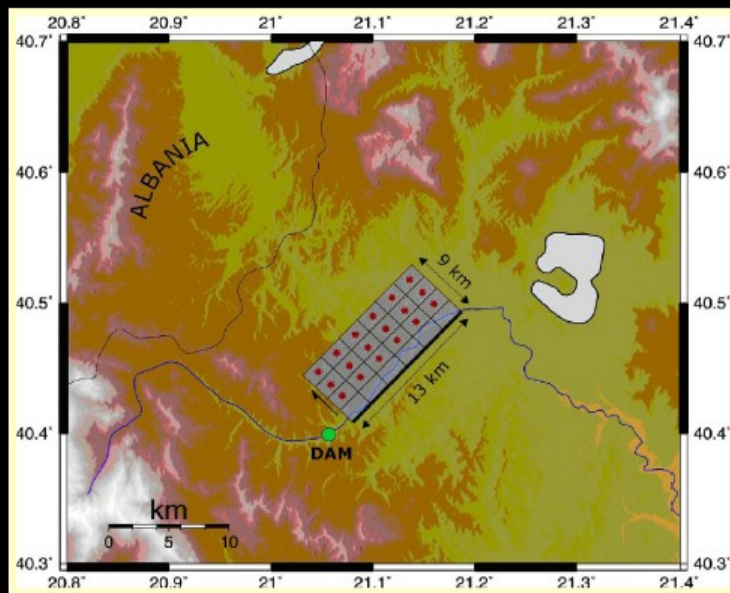
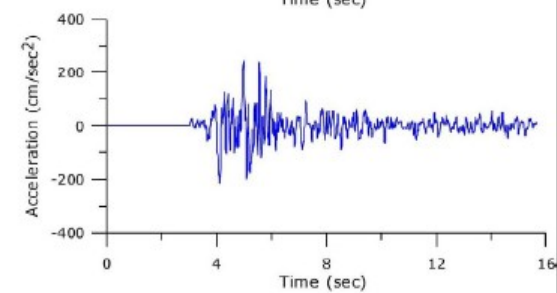
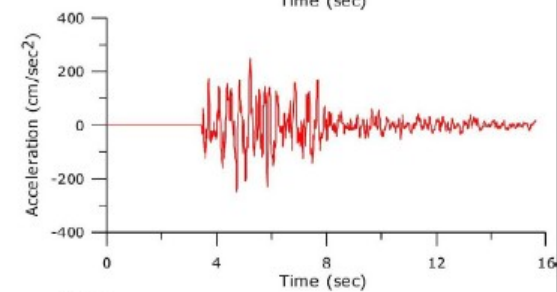
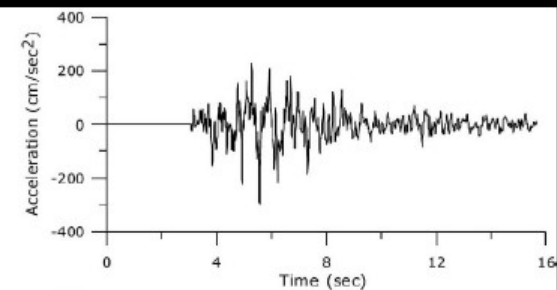
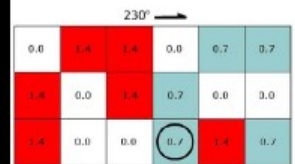
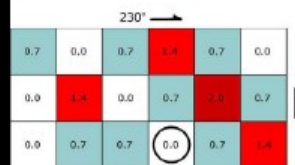
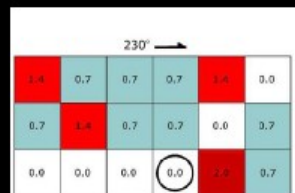
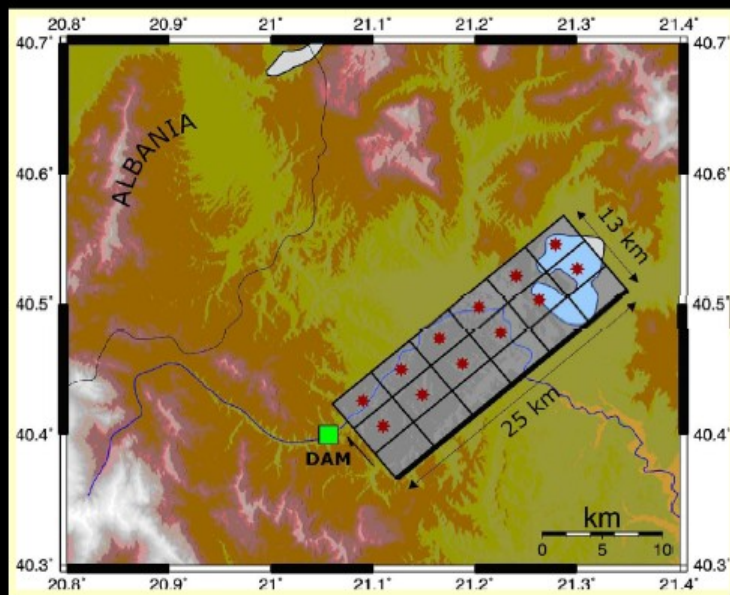
Ισόσειστες του σεισμού 18.02.1911
(Papazachos et al., 1997a).

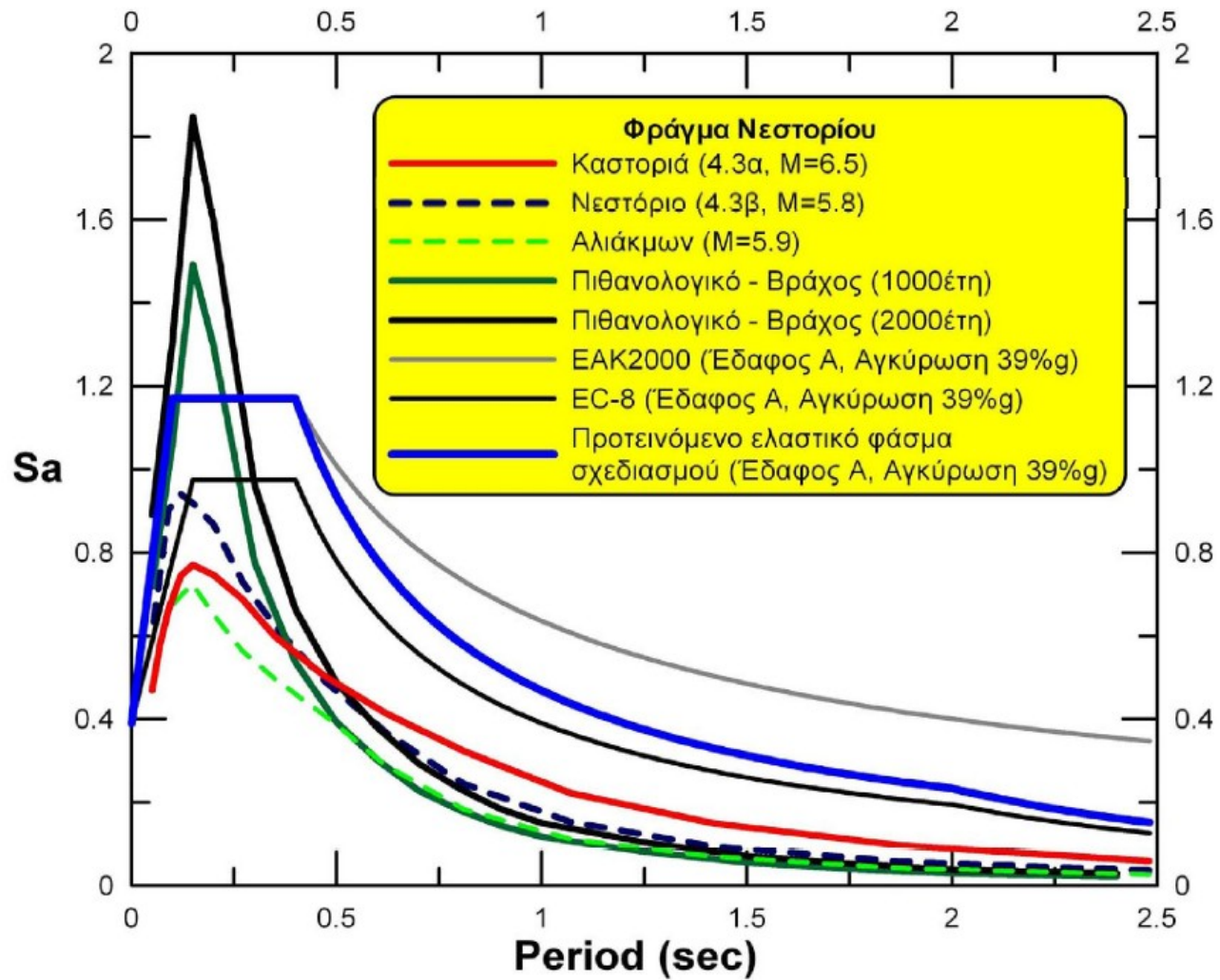


Ισόσειστες του σεισμού 26.05.1960
(Papazachos et al., 1997a).

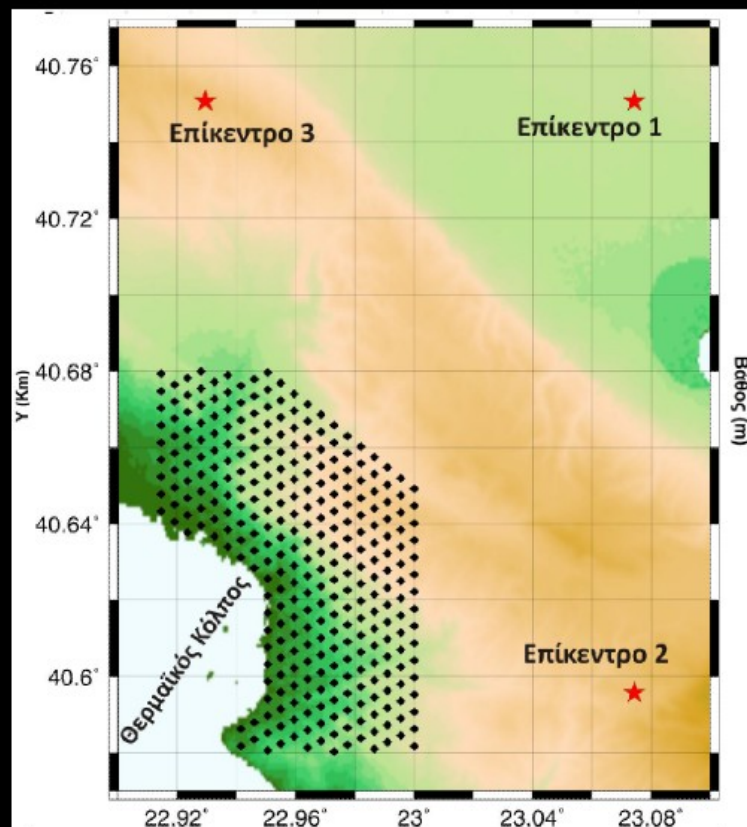
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ Αιτιοκρατικά σενάρια



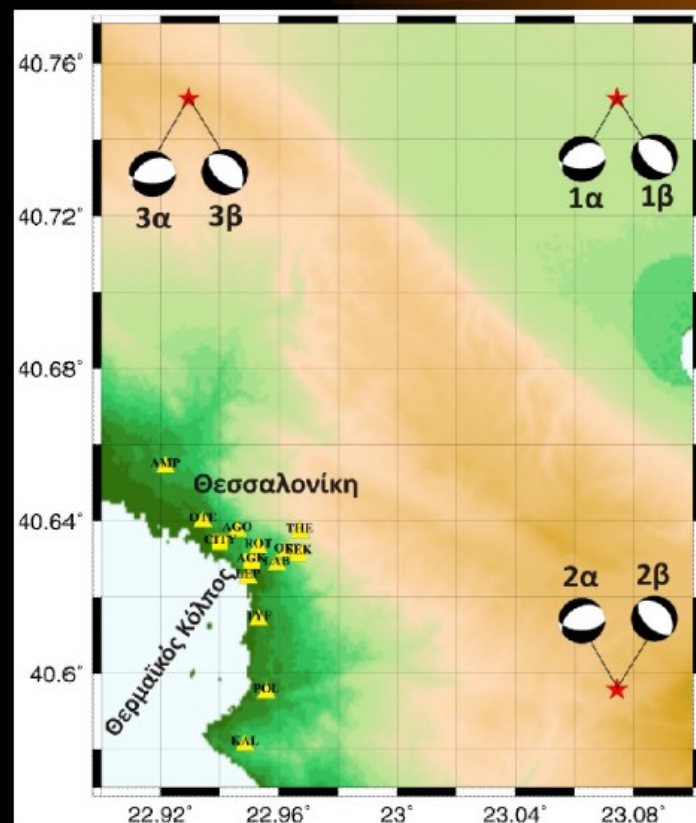




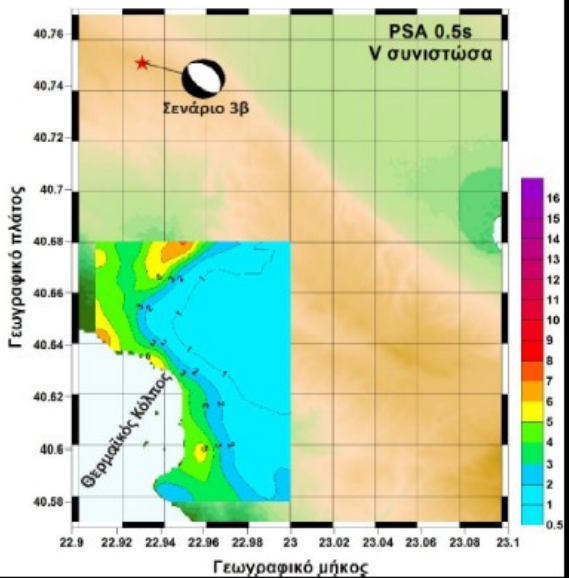
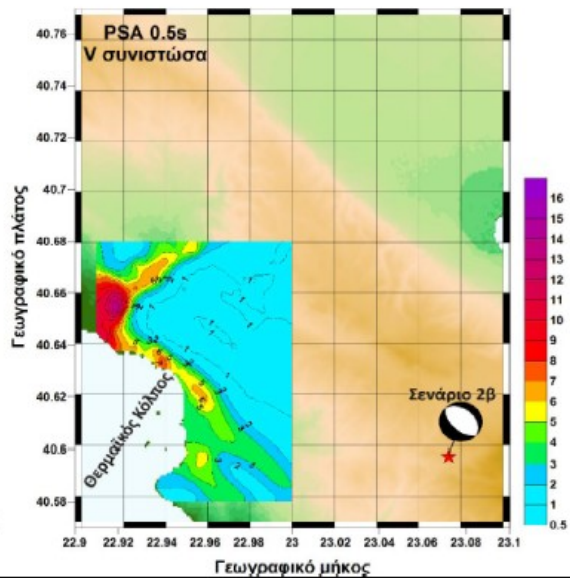
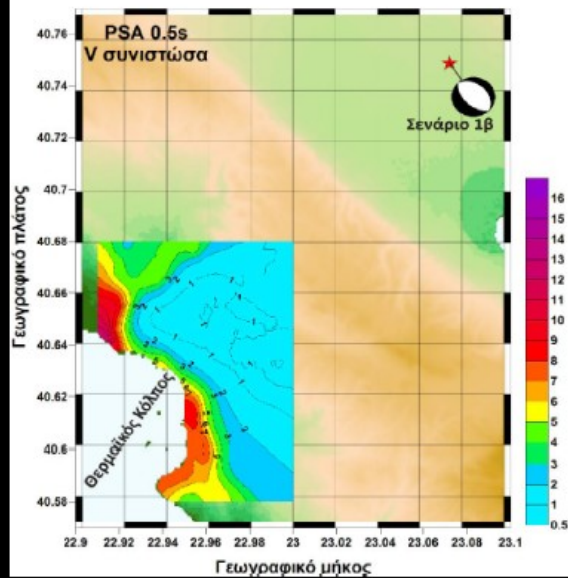
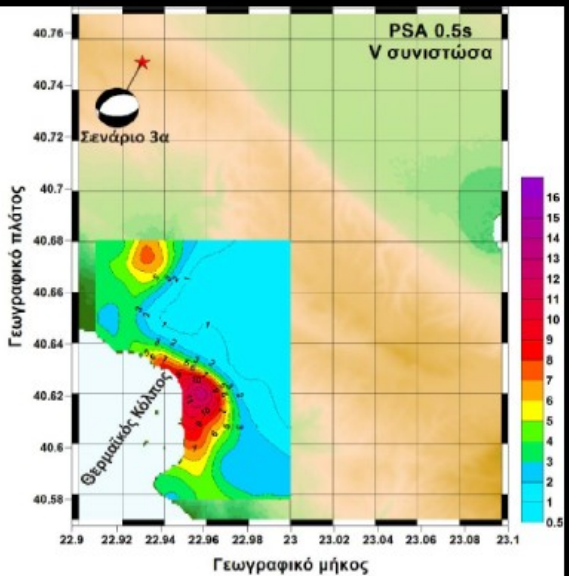
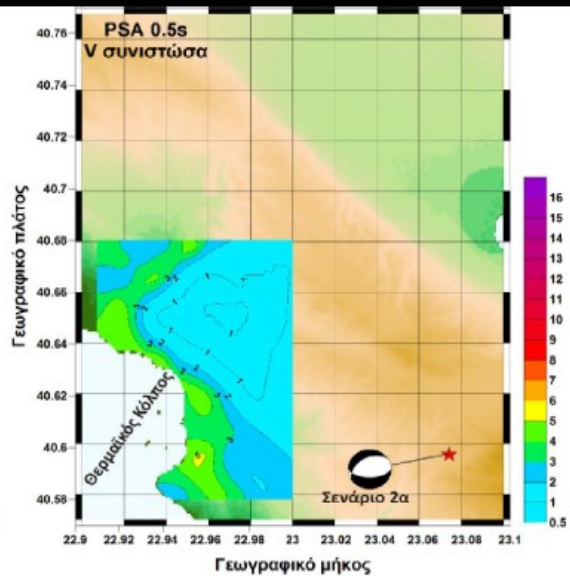
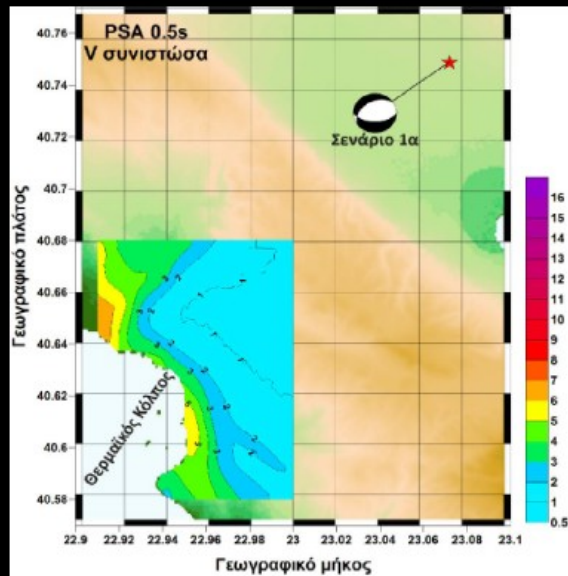
Αιτιοκρατικές προσομοιώσεις & ενεργός τεκτονική



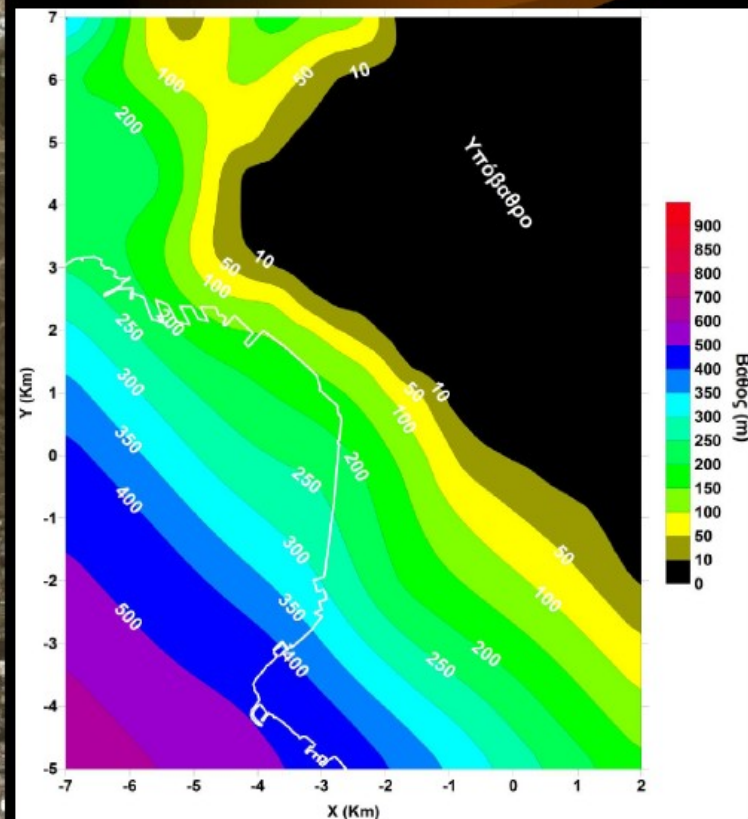
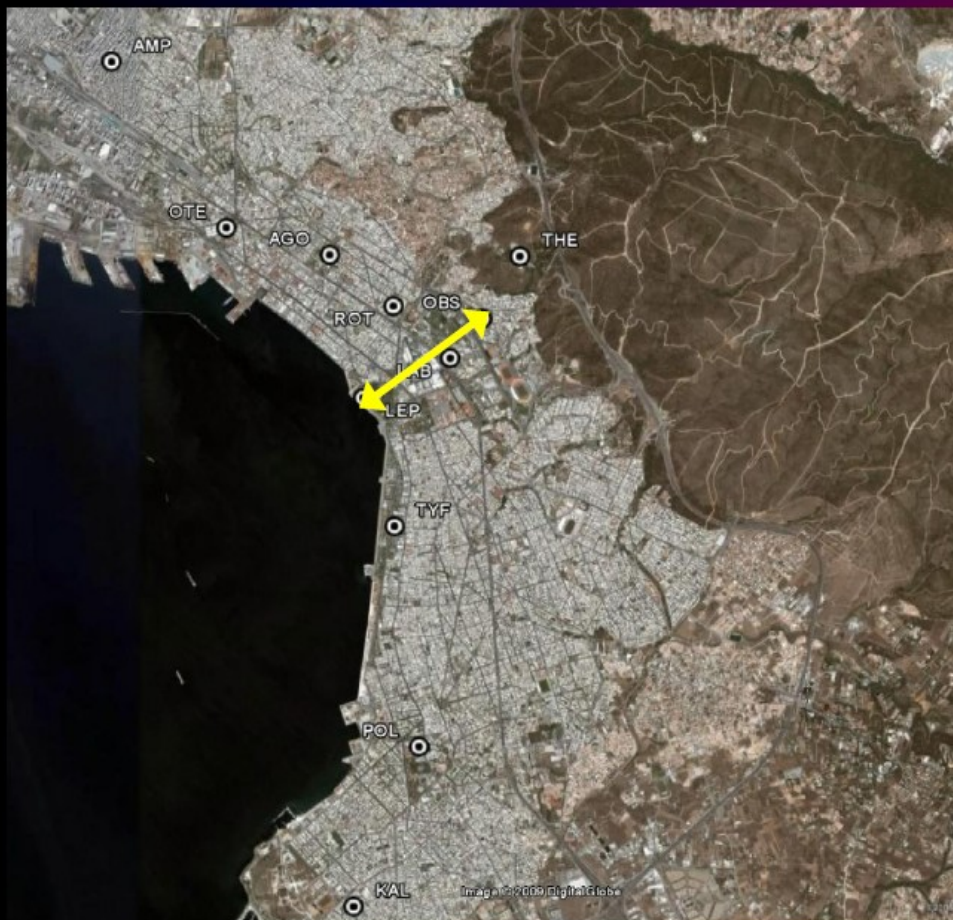
Model **Anastasiadis et al. (2001)**



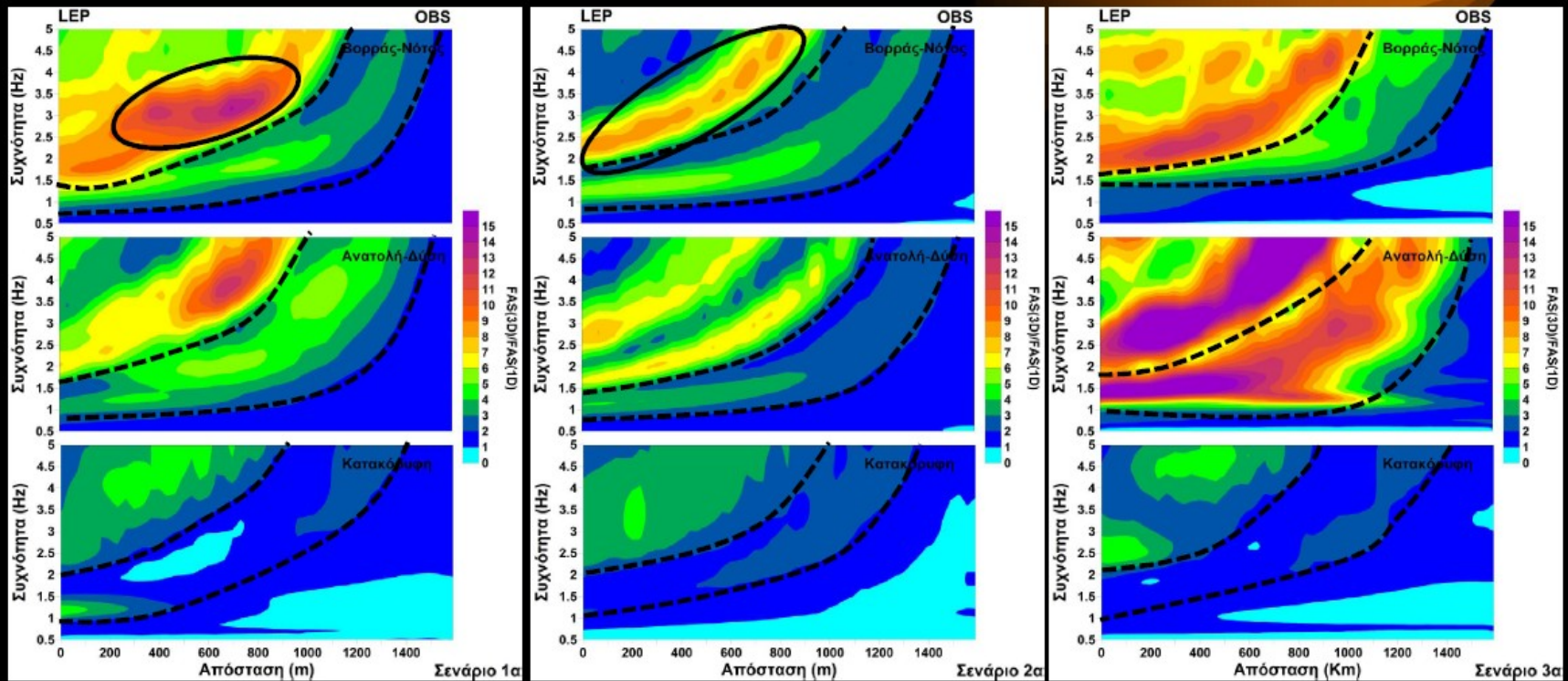
Skarlatoudis et al. (2010)

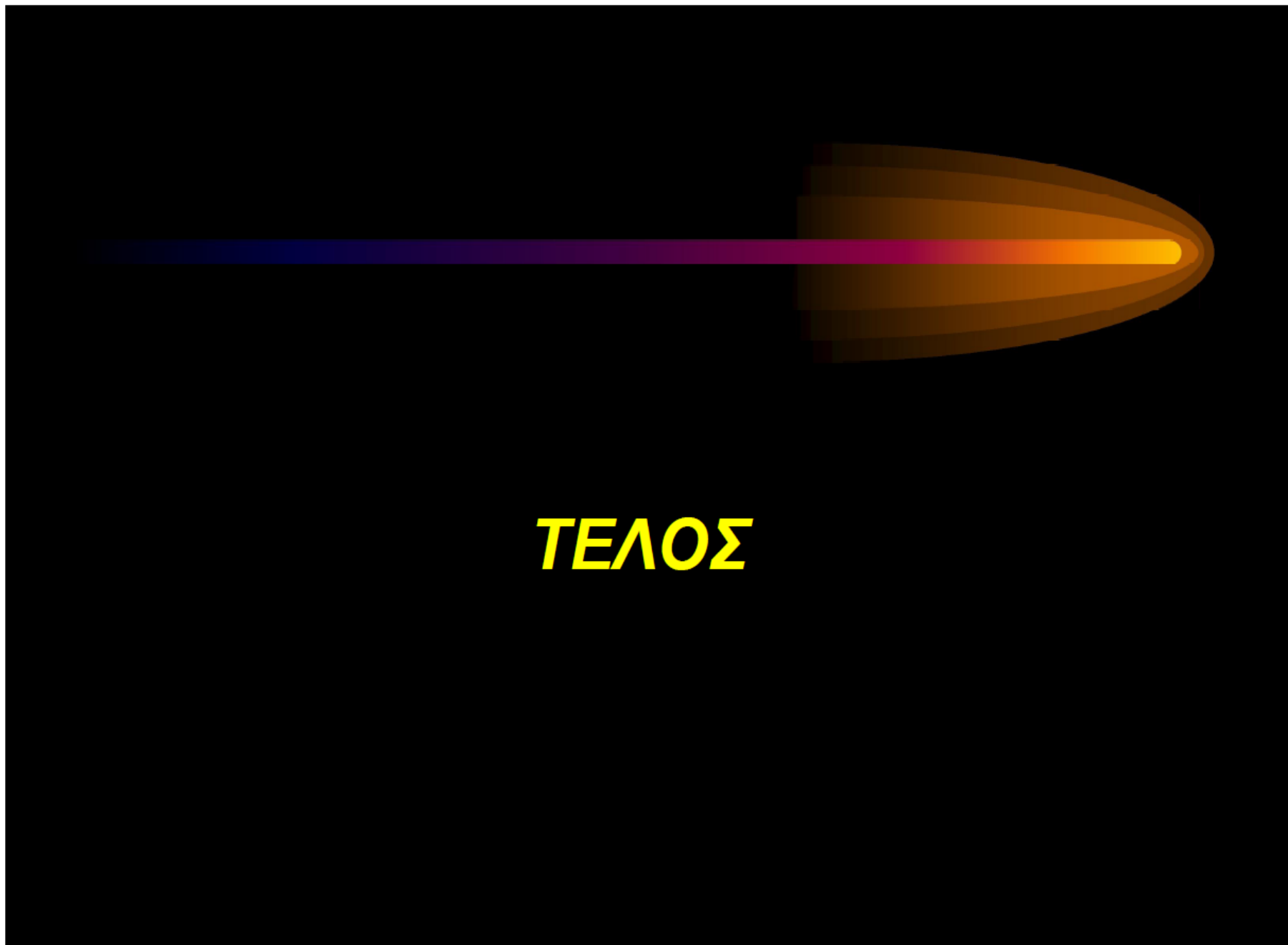


Αιτιοκρατικές προσομοιώσεις & ενεργός τεκτονική



Αιτιοκρατικές προσομοιώσεις & ενεργός τεκτονική





ΤΕΛΟΣ