

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΚΑΙ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ
ΤΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΩΝ ΤΙΜΩΝ**

Δρ. ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ

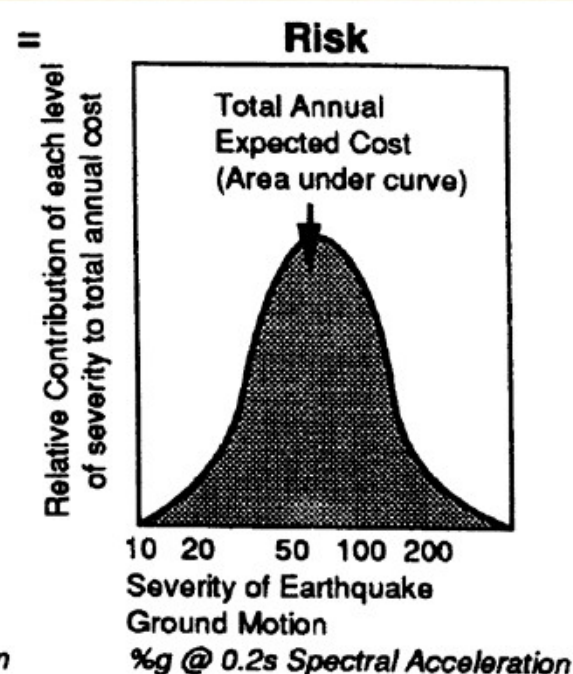
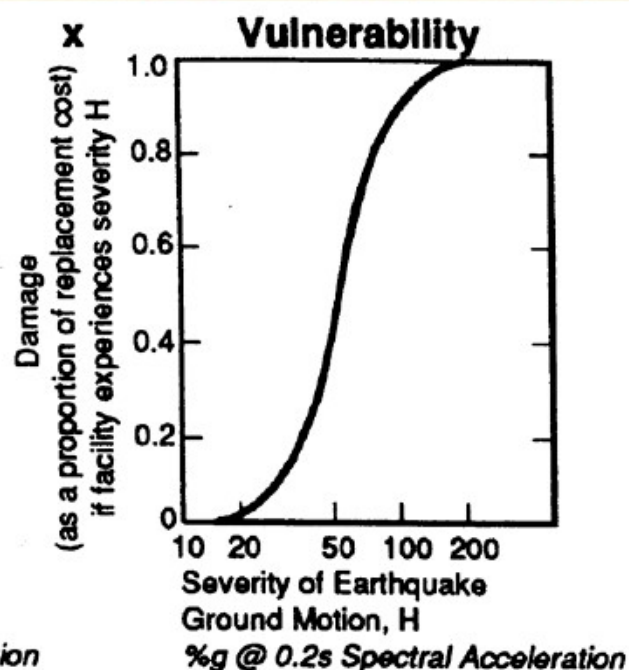
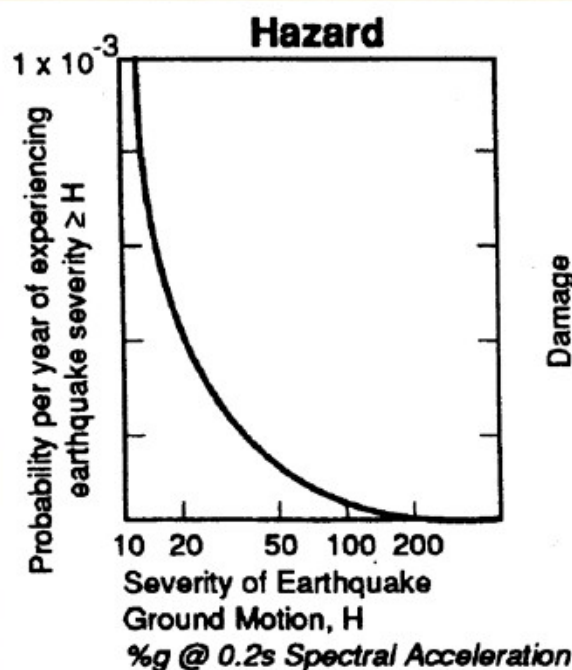
Σεισμολόγος

Διευθυντής Ερευνών ΙΤΣΑΚ

chpapai@itsak.gr

- **ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (H)**
Πιθανολογική – Αιτιοκρατική Εκτίμηση
- **ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ (R)**
- **ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ (V)**

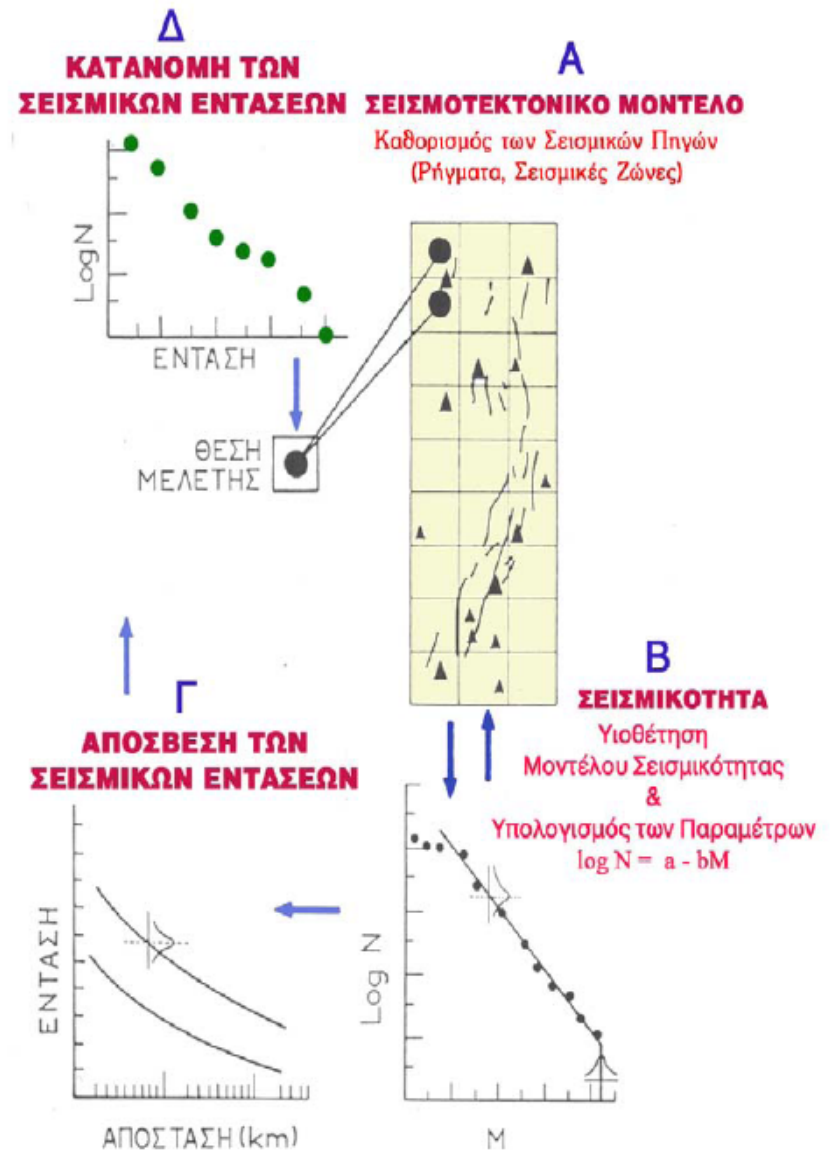
$$R = H * V$$



ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

$$P_t = 1 - \exp (-N_0 t e^{-Y})$$

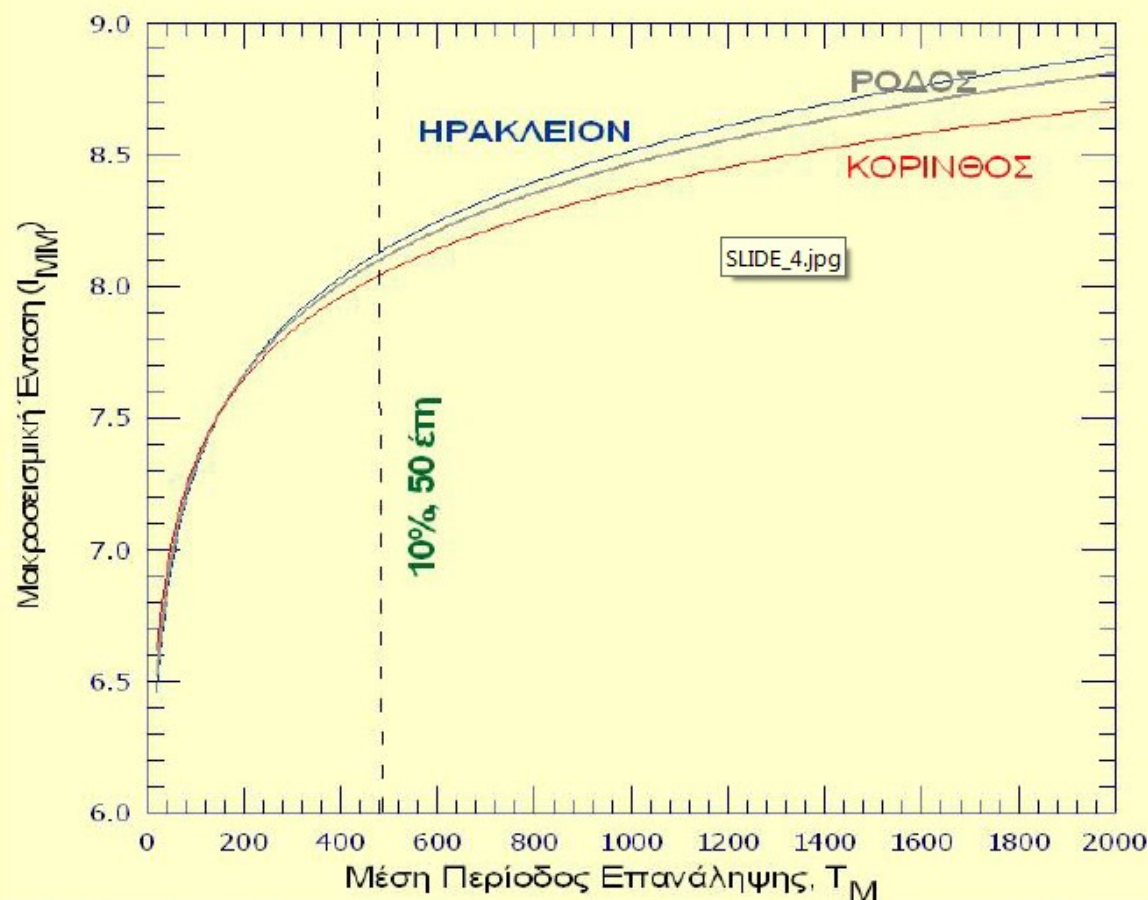
$$Y_t = \frac{\ln N_0 t}{\beta} - \frac{\ln [-\ln(1 - P_t)]}{\beta}$$



Ο Ε.Α.Κ. Αρκεί για τις τιμές της Σεισμικής Επικινδυνότητας?

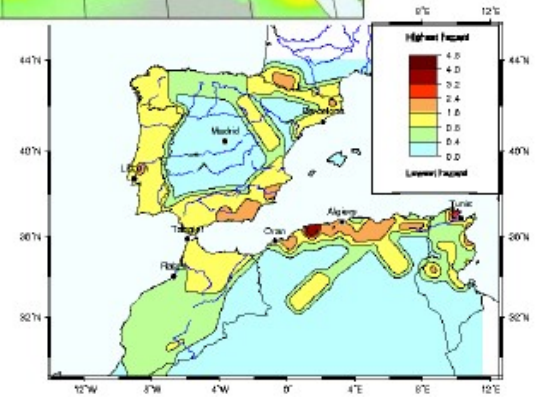
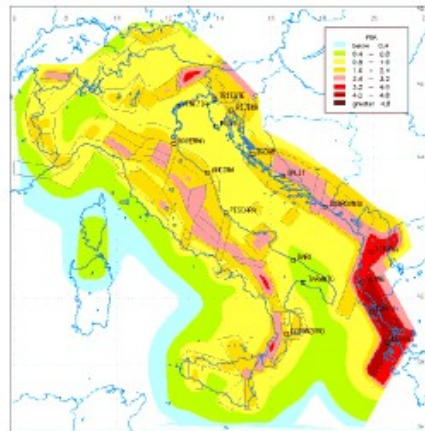
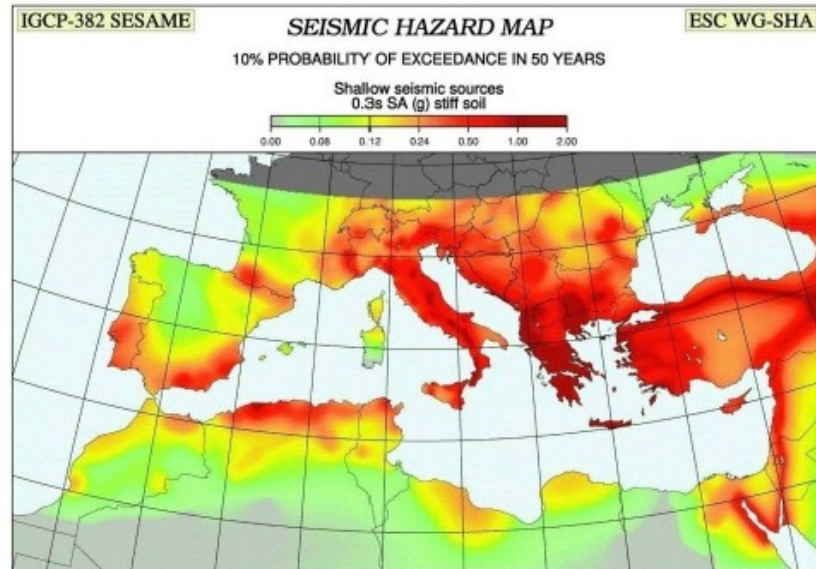
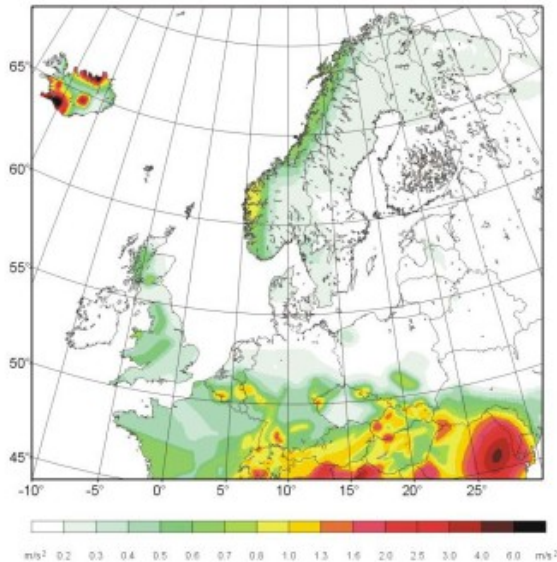
ΟΧΙ !!!

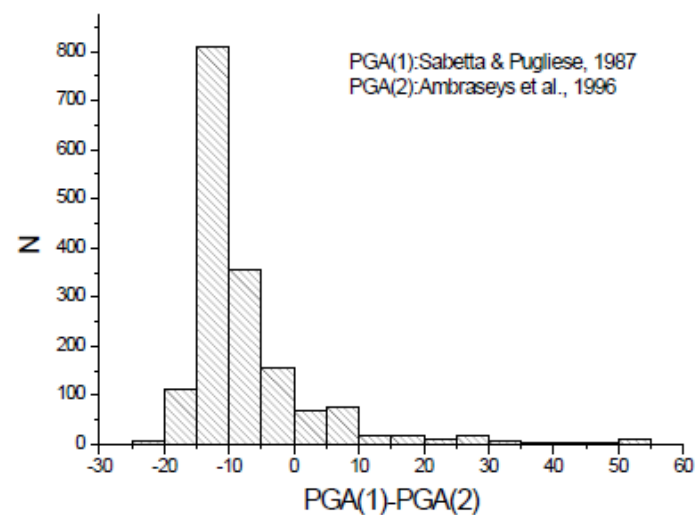
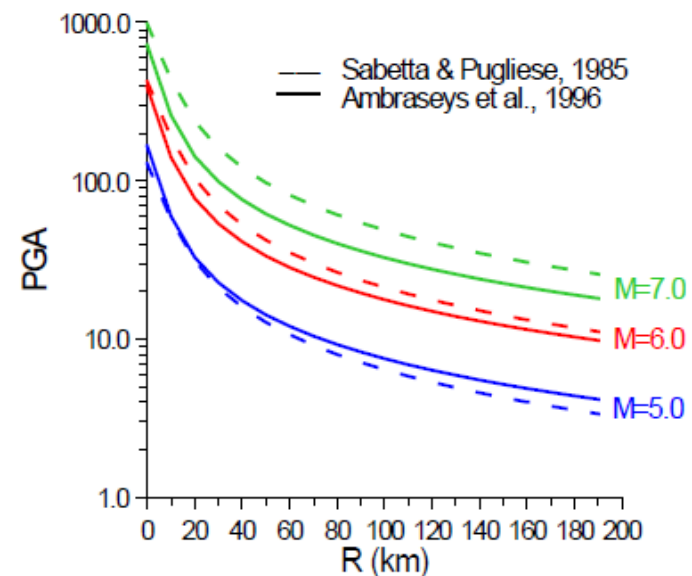
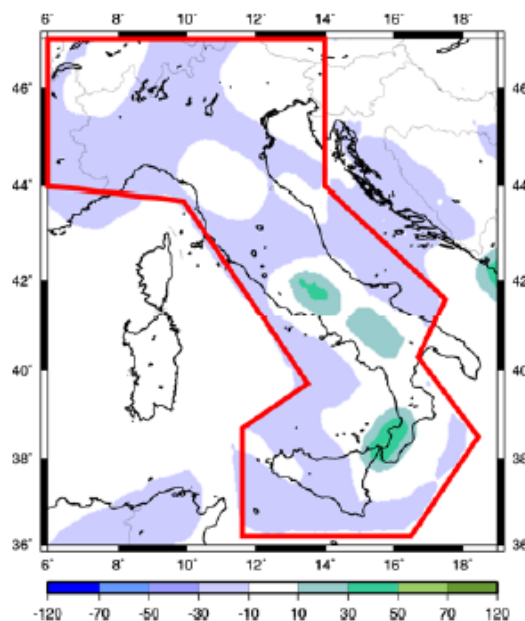
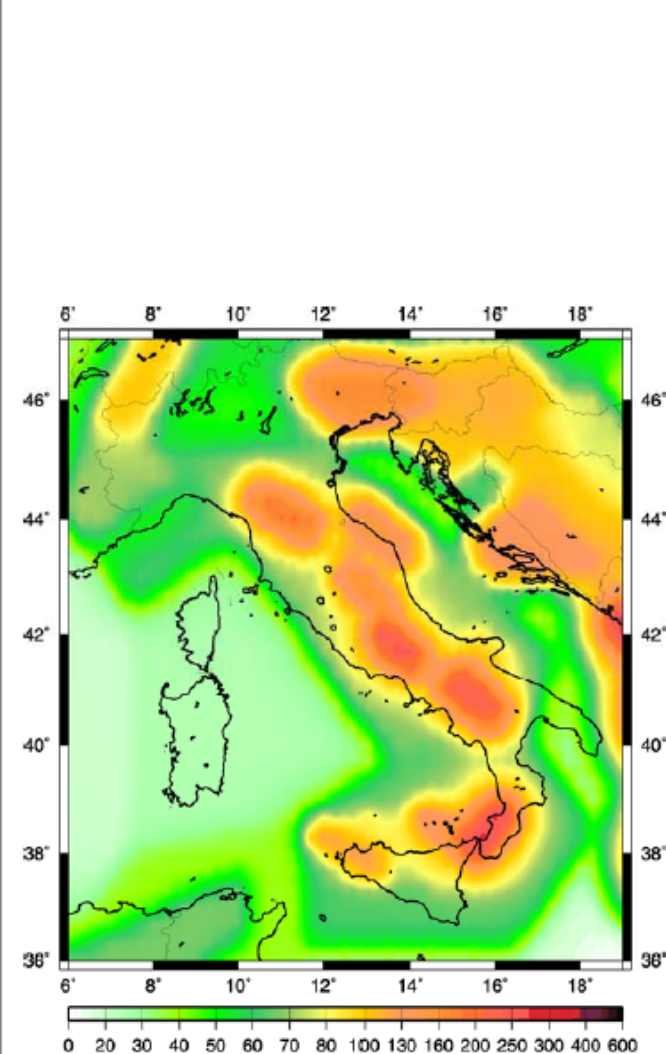
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ



Αν και οι τρεις πόλεις ανήκουν στην ίδια κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας, ωστόσο τα αποτελέσματα για μικρές πιθανότητες (μεγάλες μέσες περιόδους επανάληψης) διαφοροποιούνται.

Studies within the GSHAP and SESAME projects

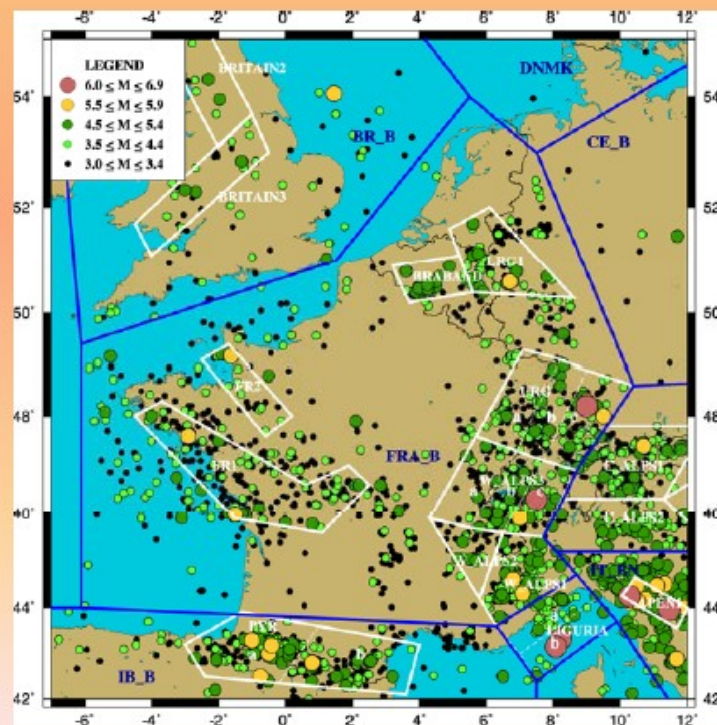
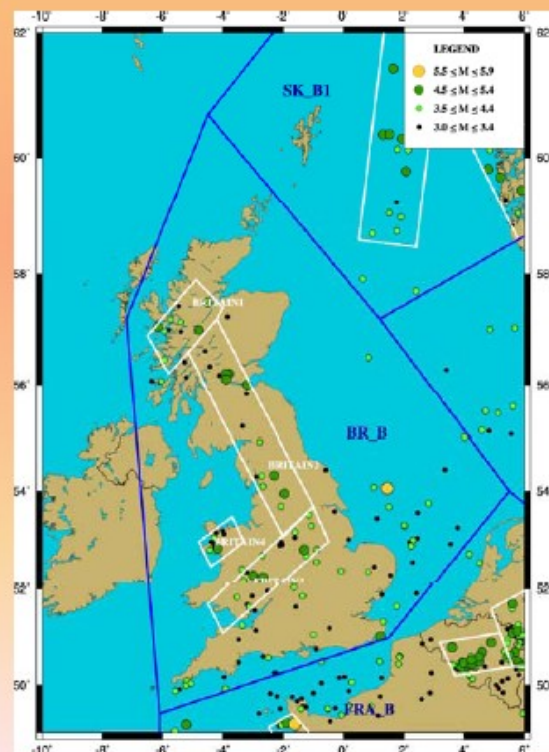
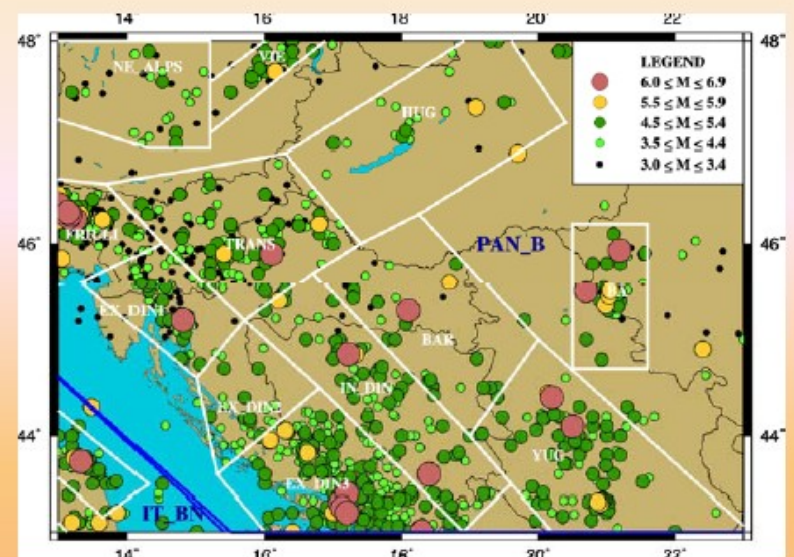


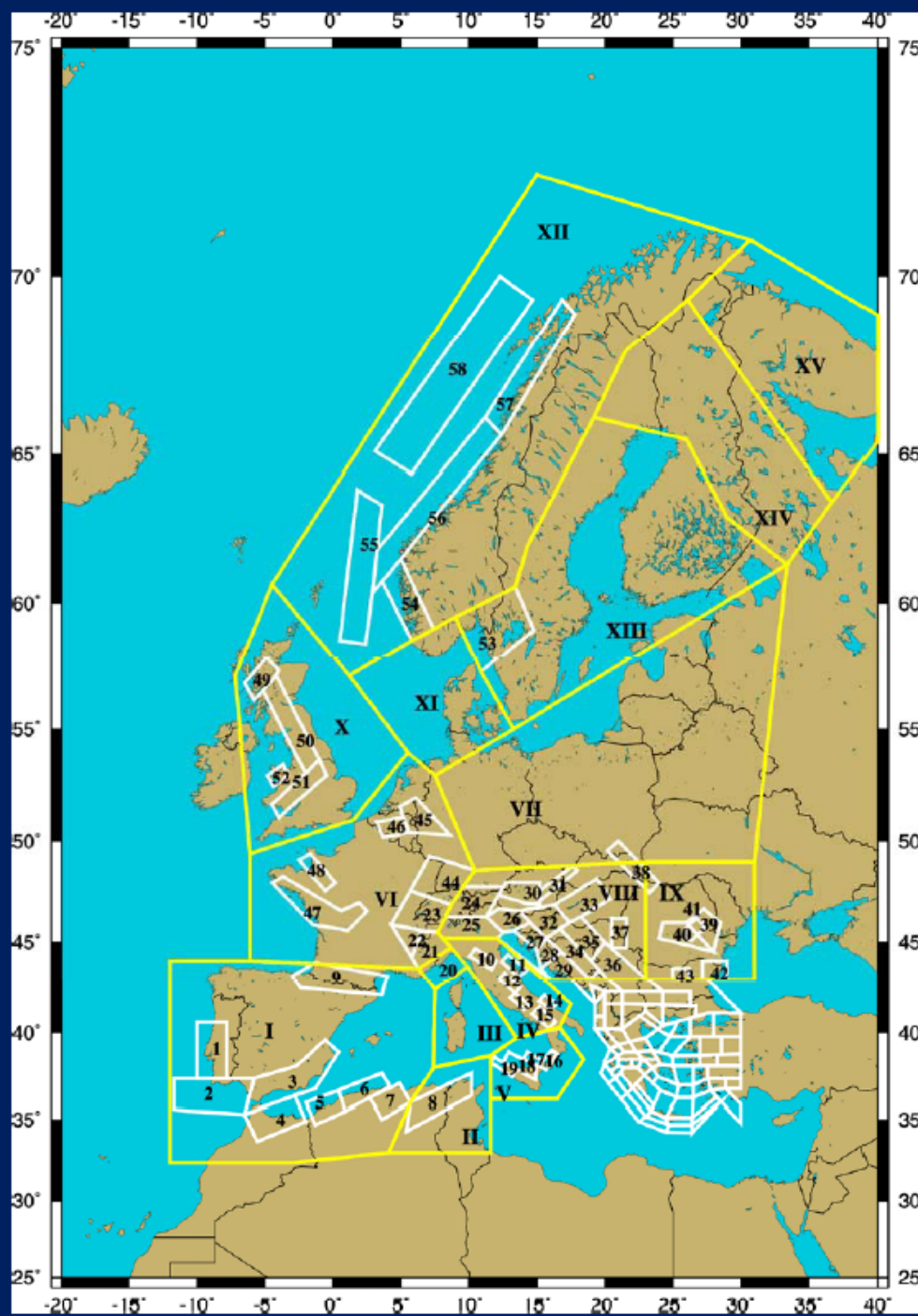


Sabetta and Pugliese (1987)

$M = M_S$ for $M > 5.5$ $M = M_{L(TRI)}$ for $M < 5.5$

Baba et al 2004





**Για τον Ευρωπαϊκό
Χώρο καθορίστηκαν
15 Gross Sources
(background sources)
58 Seismic Sources**

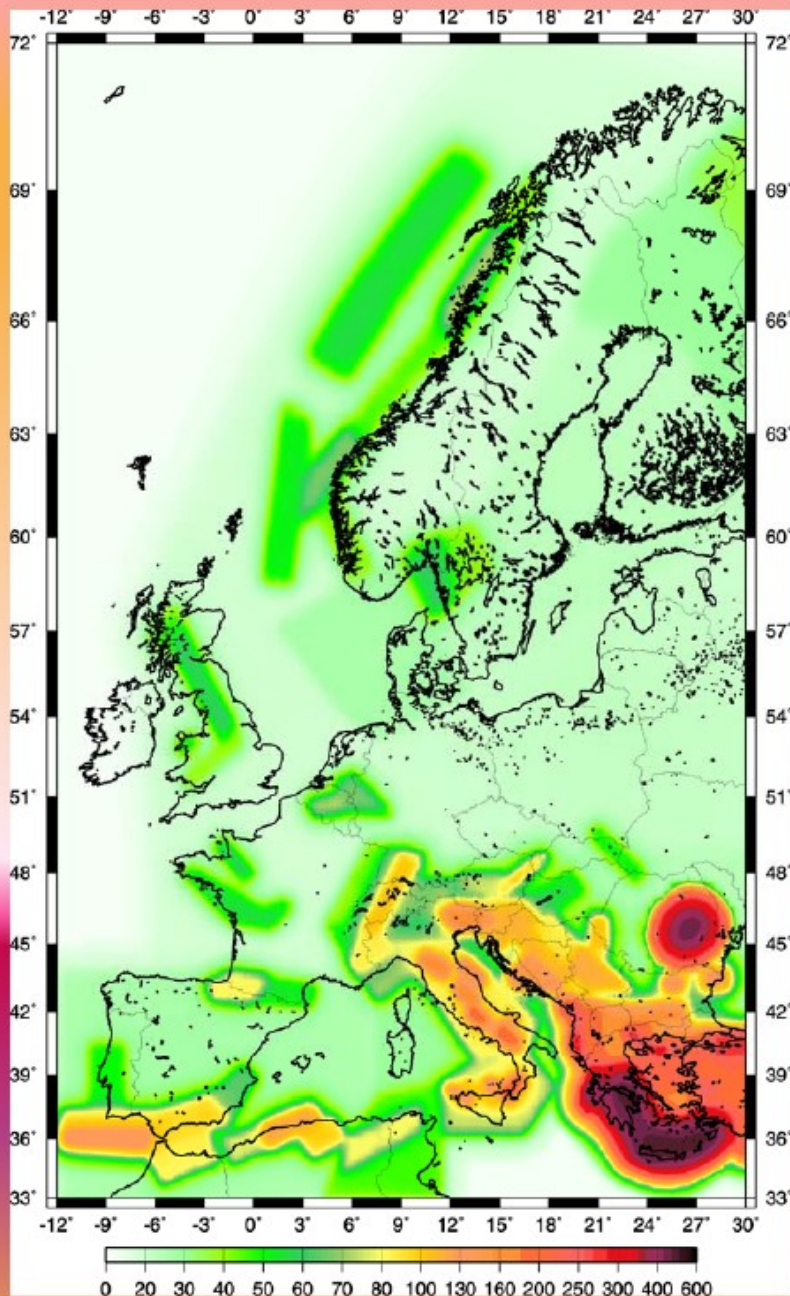
**Για τις οποίες
καθορίστηκαν οι
παράμετροι σεισμικότητας**

**Υιοθέτηση του μοντέλου
Ραφαίου & Ραζαχός
(2000) για το Ν. Βαλκανικό
χώρο.**

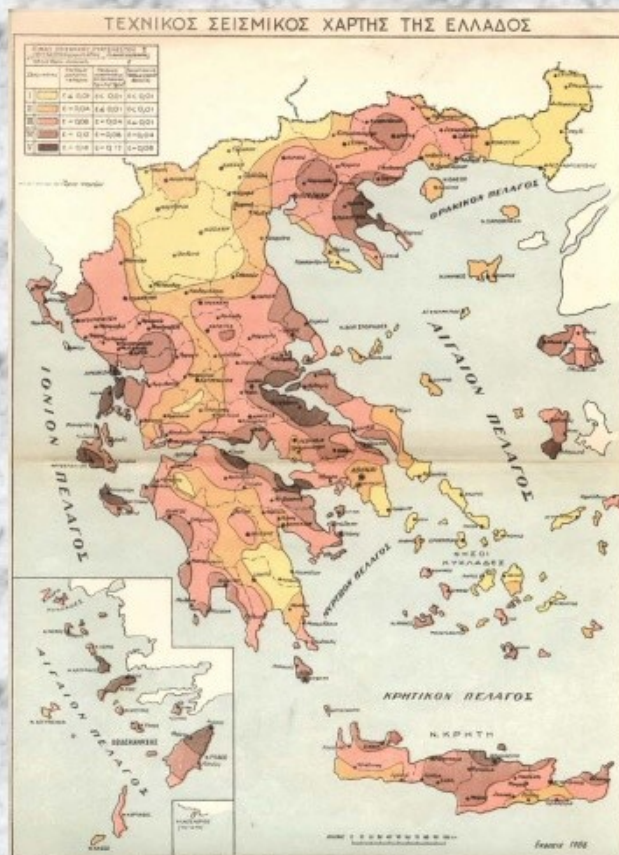
SEISMIC HAZARD MAP

Depicting the distribution of the PGA values for $T_M=475$ years using the attenuation formulae proposed by Ambraseys et al (1996) (shallow eqs), &

Theodulidis (1991) (id eqs. Greece)
Lungu et al (1997) (id eqs. Vrancea)



ΠΡΩΤΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

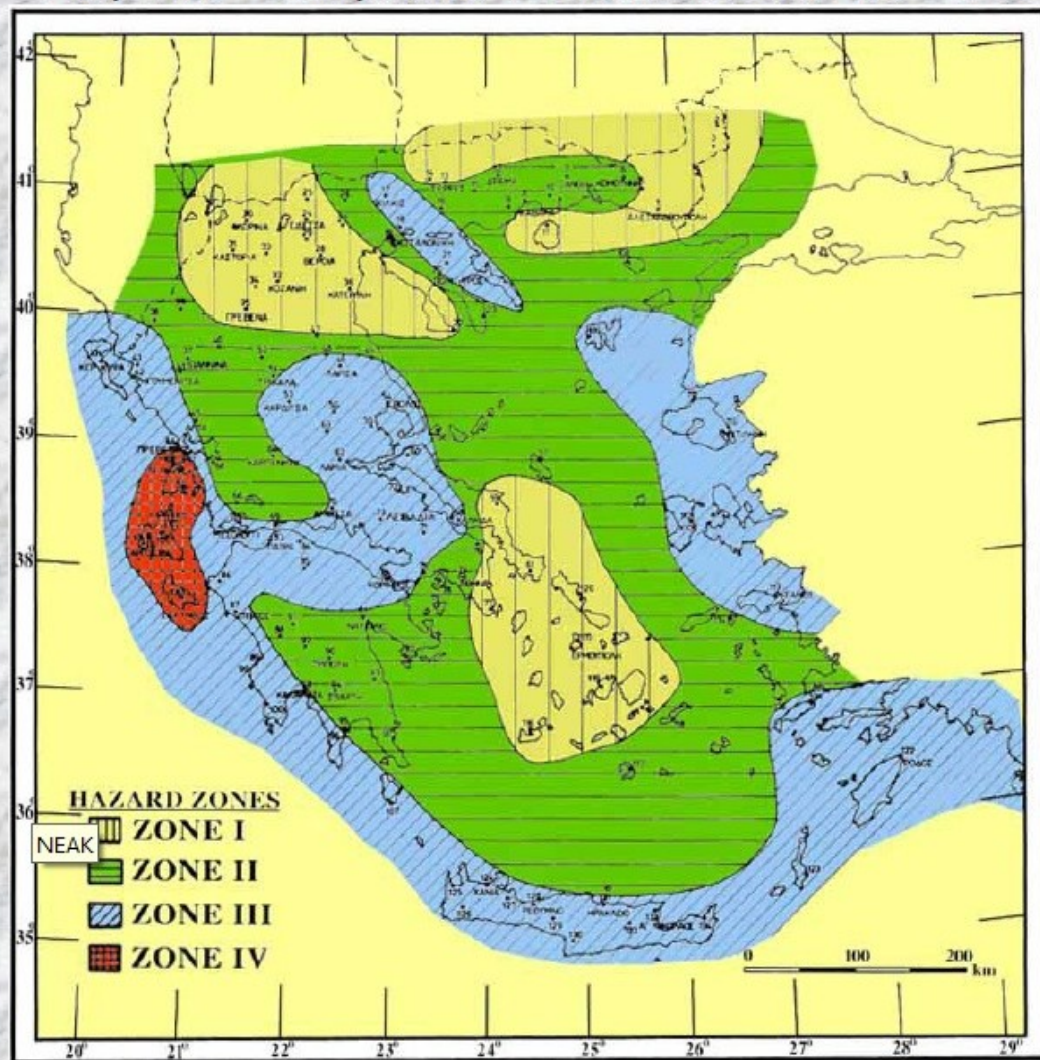


1956 Ρουσσόπουλος

(Πρώτη παρουσίαση:

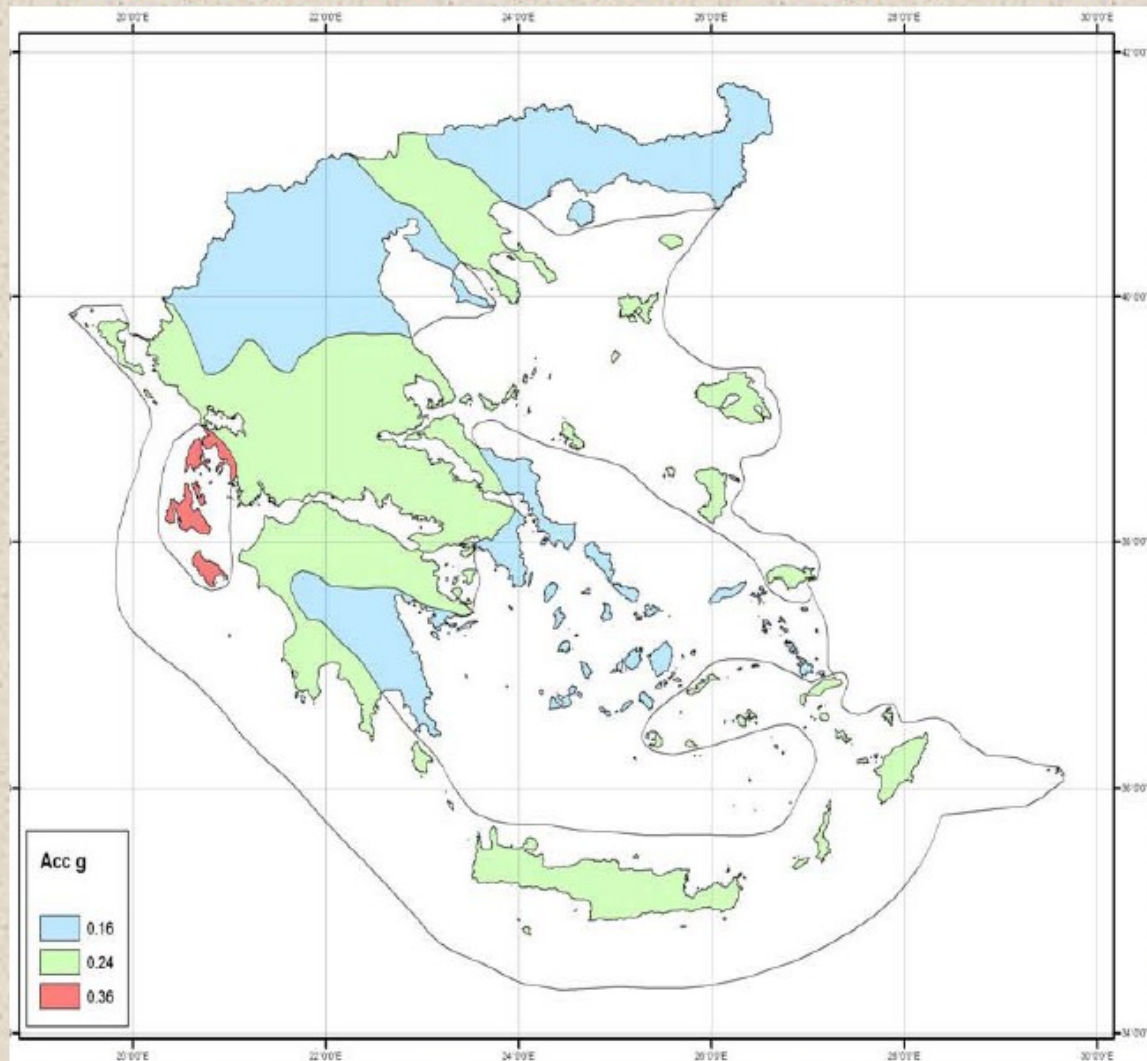
Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 184, 1939)

Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας 1989



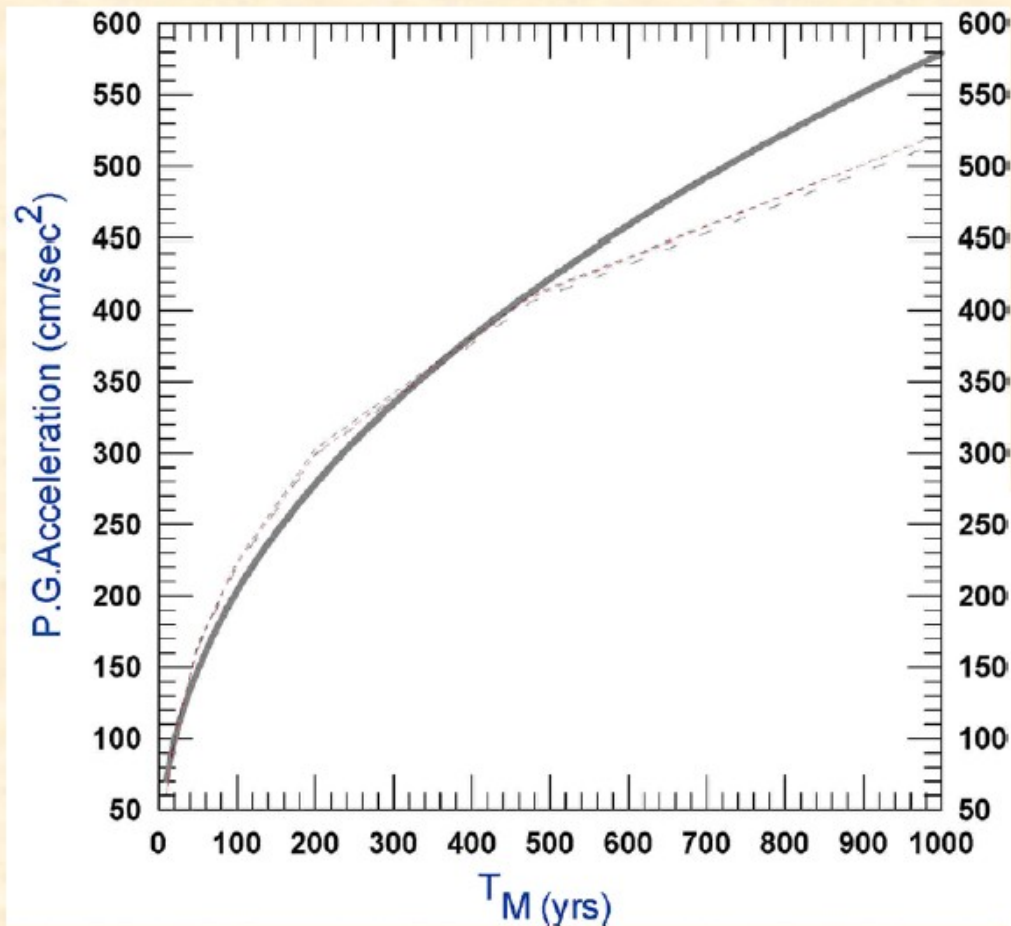
Παπαζάχος και συν. (1989)

ΙΣΧΥΩΝ ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



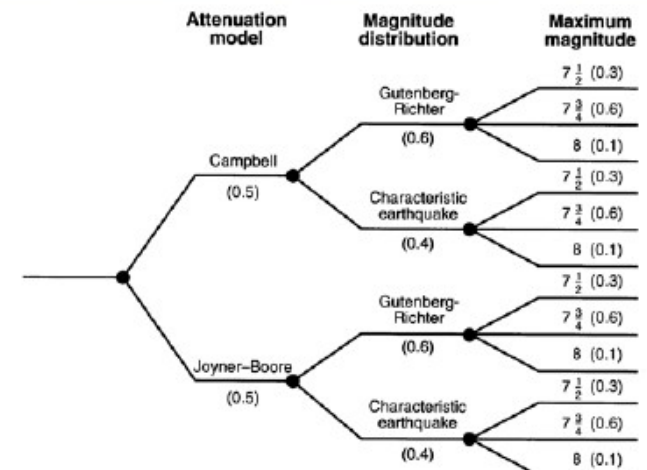
Παπαϊωάννου και συν. (2002, 2006)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ Σ.Ε. ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΙΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ



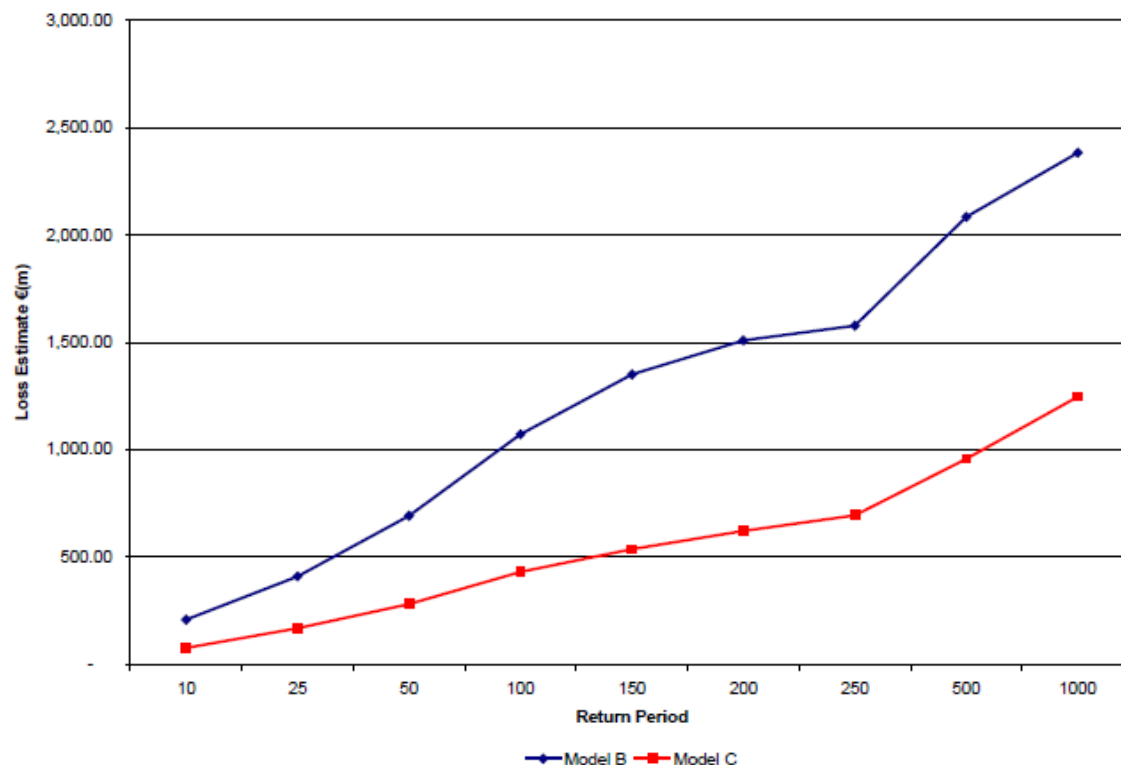
$$Y_t = \frac{\ln N_o t}{\beta} - \frac{\ln[-\ln(1 - P_t)]}{\beta}$$

$$T_m = - \frac{Dt}{\ln(1 - P_t)}$$

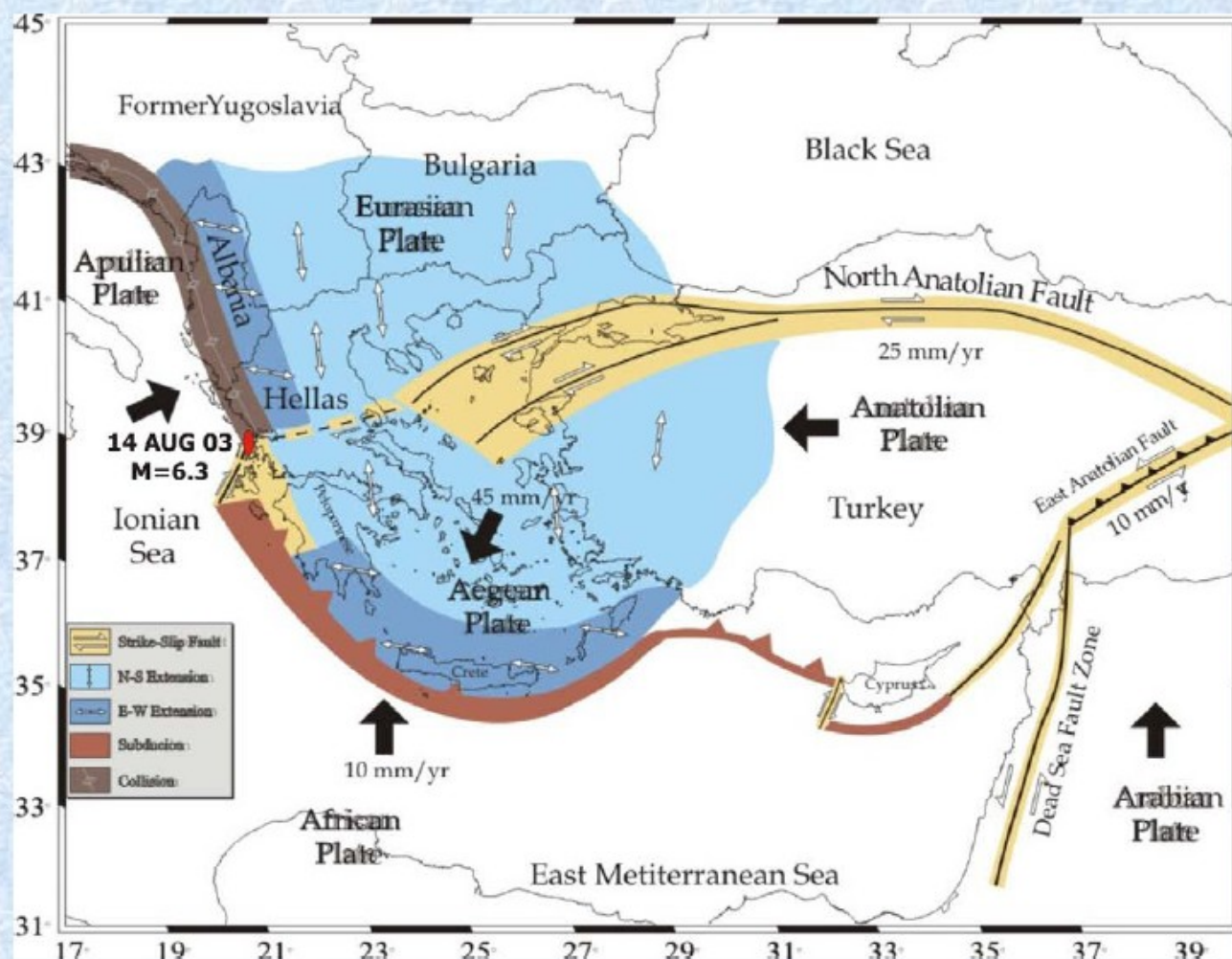


ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Model Comparisons –Greece Market Earthquake PML

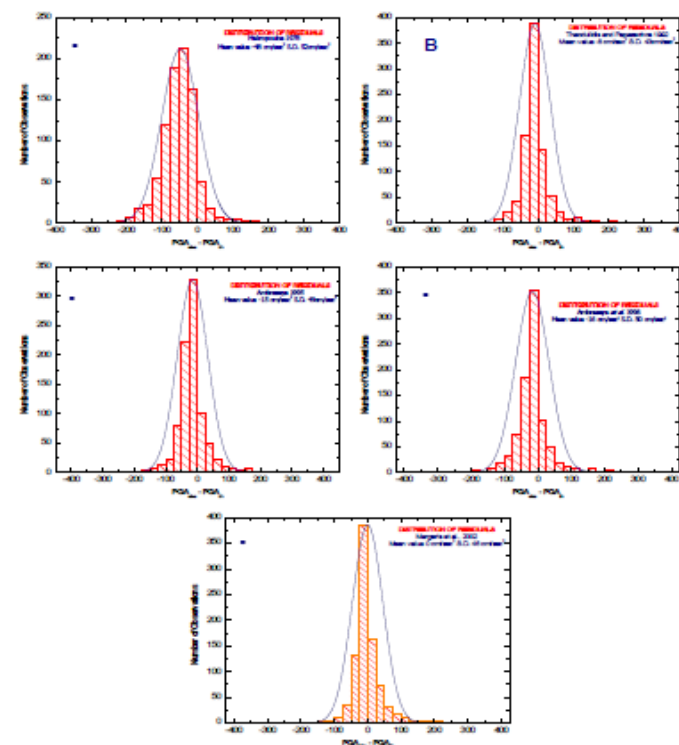
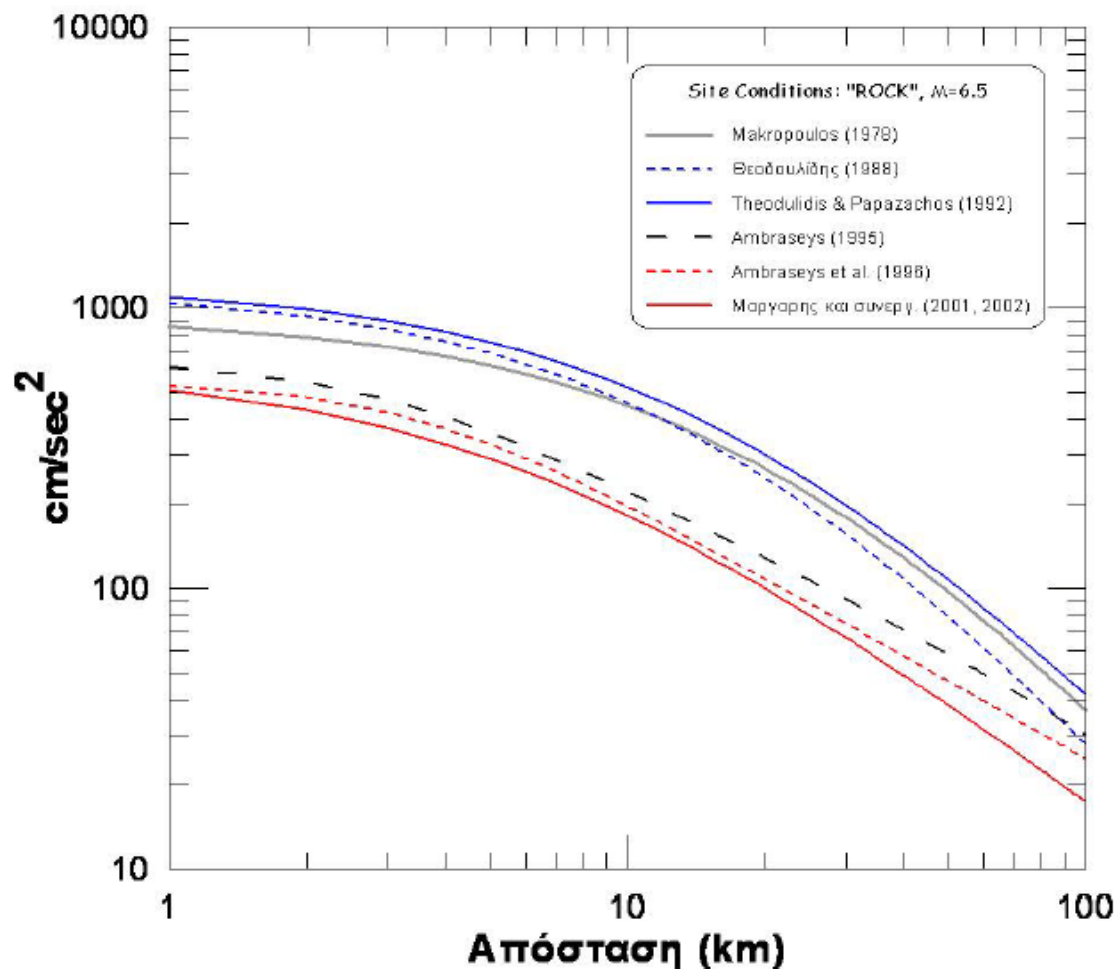


ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΥΡΥΤΕΡΟΥ ΑΙΓΙΑΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

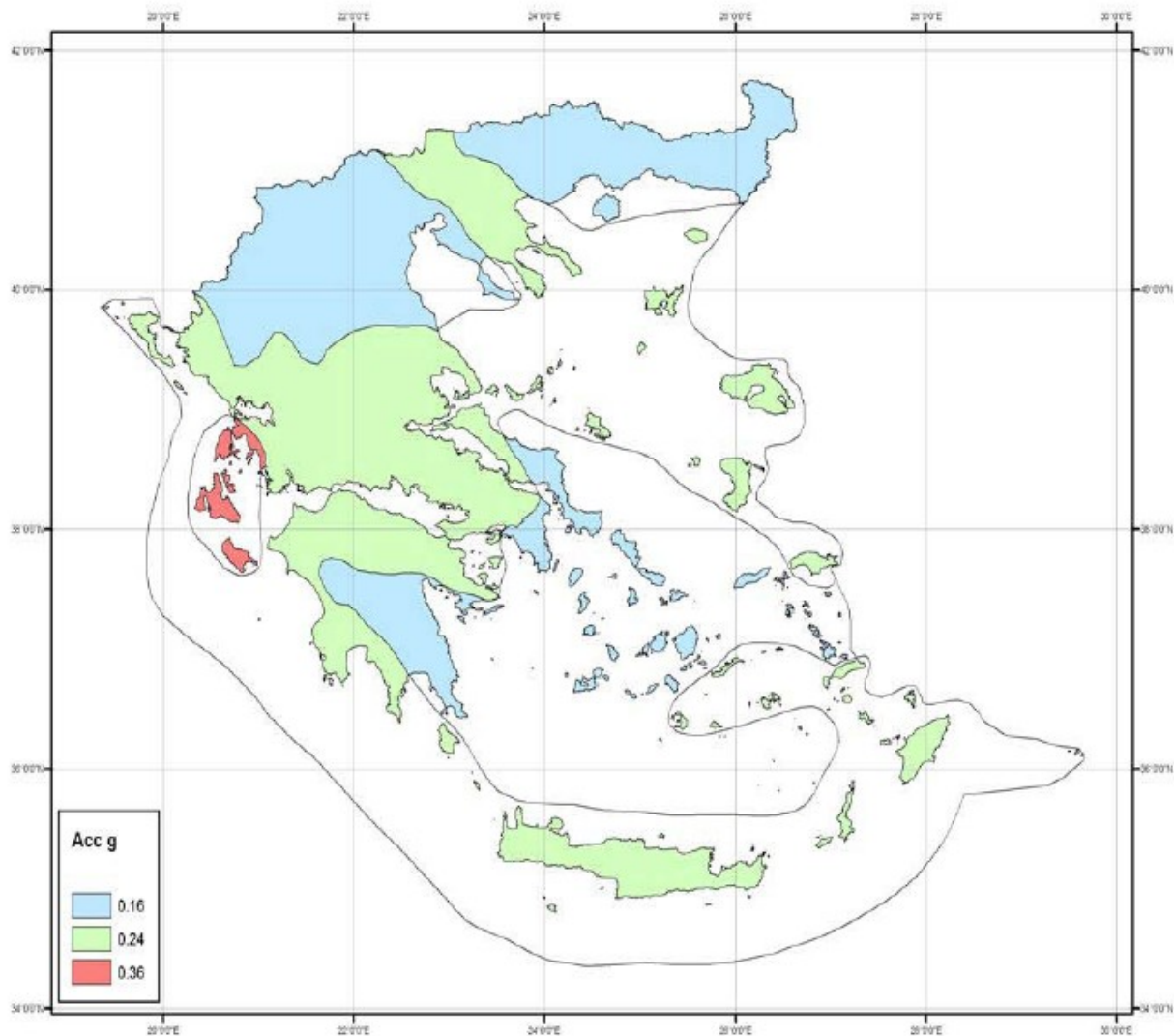


Papazachos et al., 1999
Boll. Geof. Teor. Appl

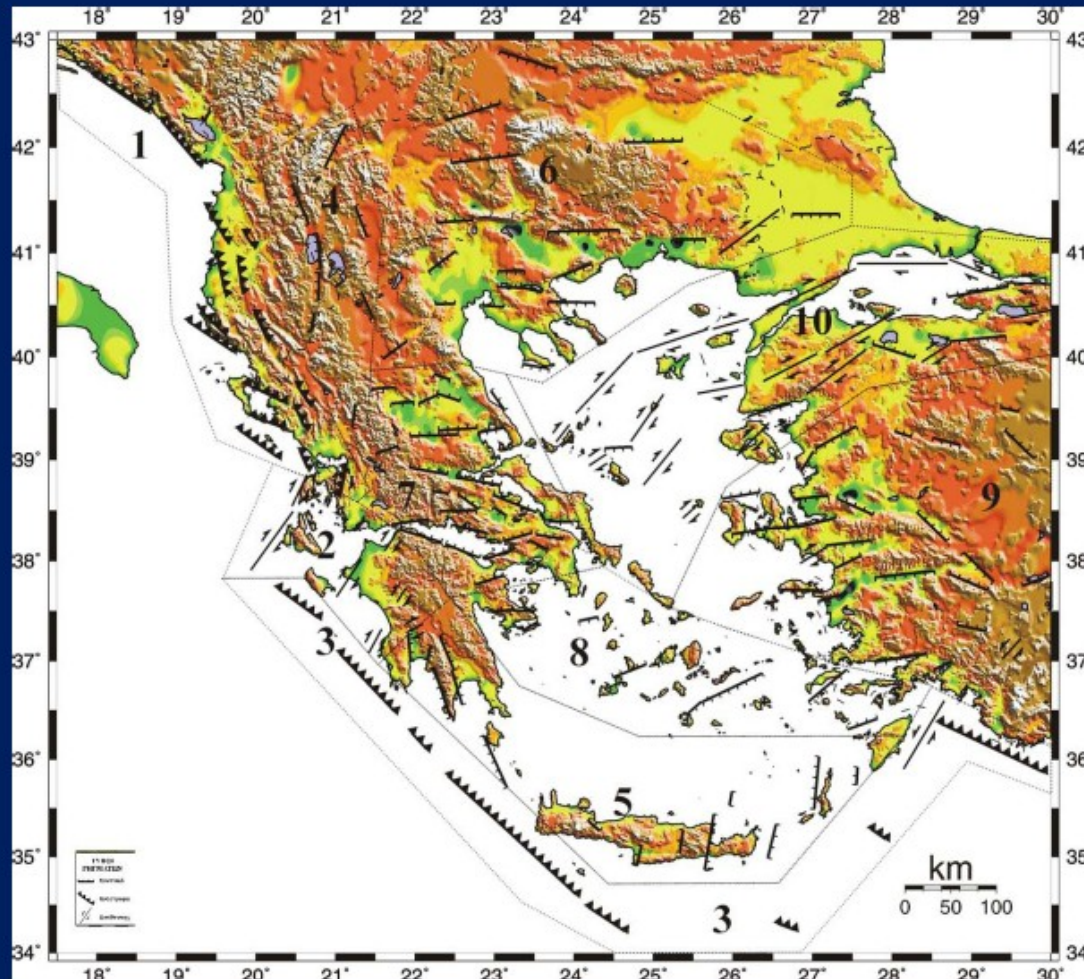
ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ



ΝΕΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



ΝΕΟΤΕΡΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ



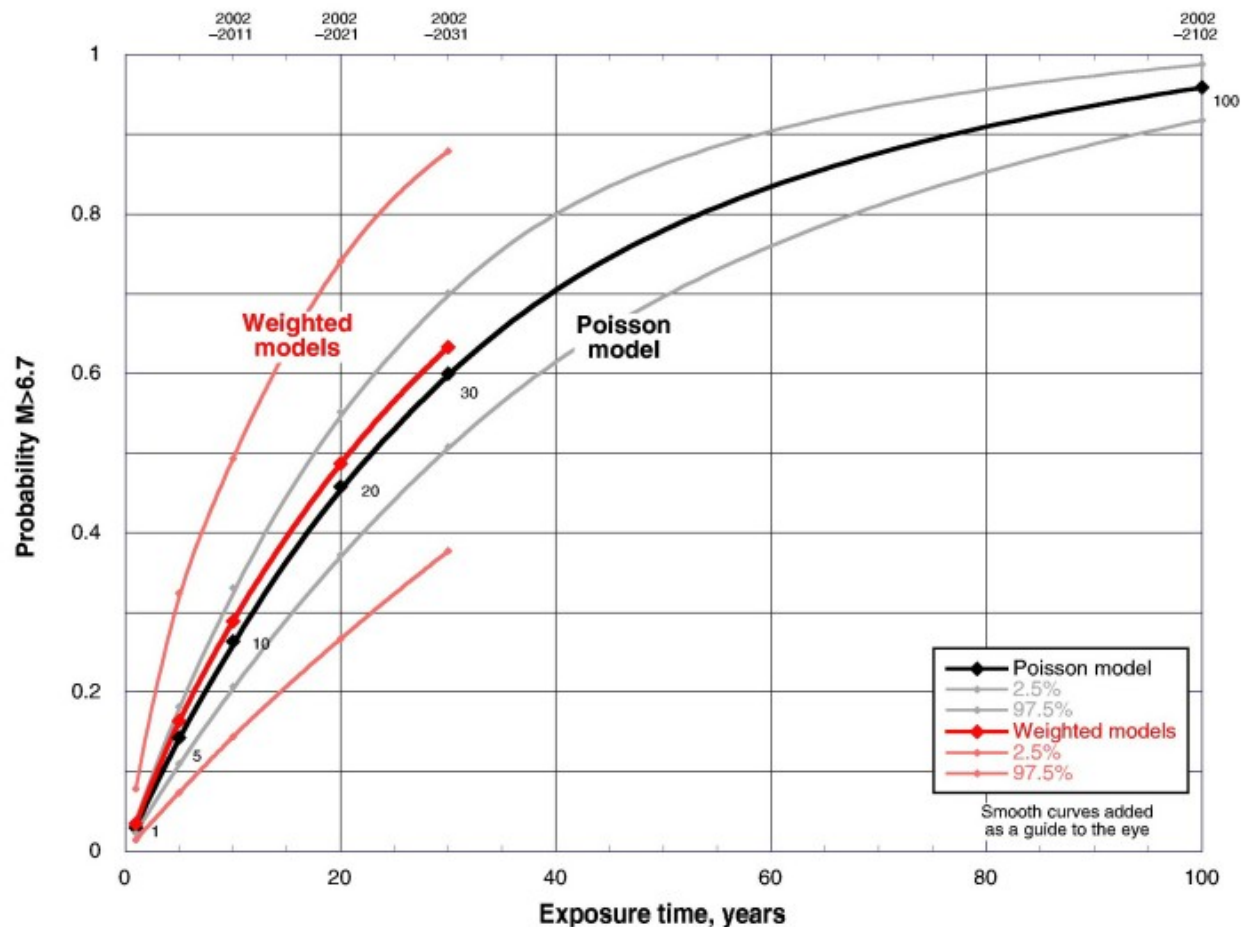
Οι ισχυροί σεισμοί συμβαίνουν σε ρήγματα και **δεν** κατανέμονται μέσα σε ολόκληρη σεισμική πηγή.

Καθορισμός των ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο (Παπαζάχος και συν. 2001).

ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Στον υπολογισμό της σεισμικής επικινδυνότητας χρησιμοποιούνται διάφορα στατιστικά μοντέλα τα οποία μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) Τα χρονικά μη εξαρτημένα μοντέλα και β) τα χρονικά εξαρτημένα.
- Τα πρώτα έχουν τύχει ευρείας εφαρμογής και οι αβεβαιότητες τους είναι γνωστές. Τα χρονικά εξαρτημένα μοντέλα απαιτούν μεγάλο όγκο ιστορικών δεδομένων και λεπτομερή γνώση του σεισμοτεκτονικού πεδίου για τον καθορισμό αξιόπιστων σεισμοτεκτονικών μονάδων εντός των οποίων ισχύουν. Στις Μικροζωνικές μελέτες γίνεται χρήση και των δύο αυτών μοντέλων.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ



Κατανομή Πιθανοτήτων για τη Γένεση Ισχυρών Σεισμών σε Διάφορα Τμήματα Ρηγμάτων

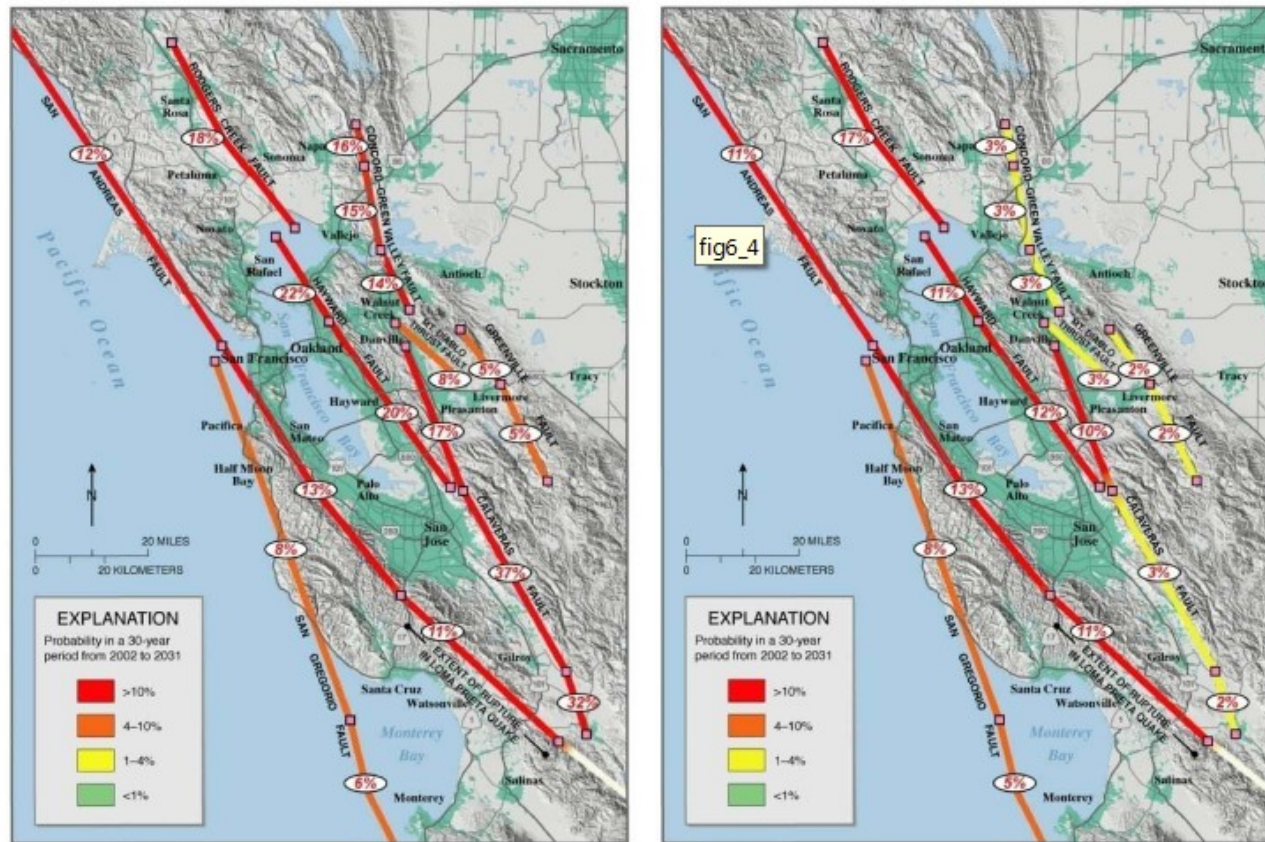
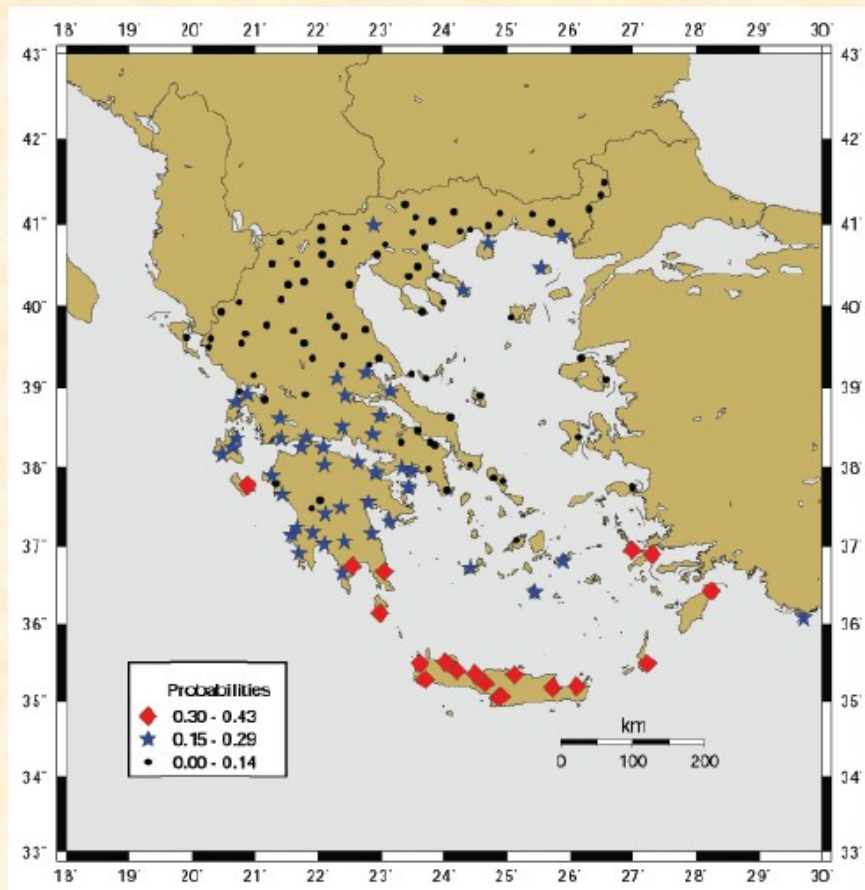


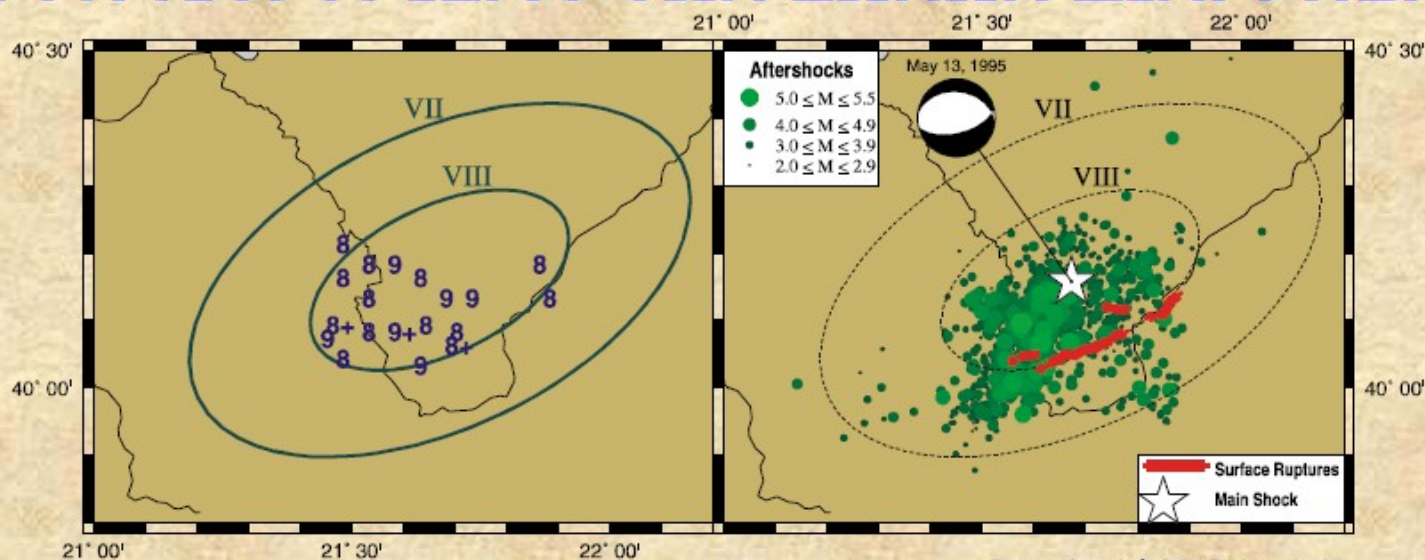
Figure 6.4. Probabilities of fault segment ruptures during the next 30 years. a) all characterized ruptures; b) $M \geq 6.7$ ruptures. Probabilities and uncertainties are listed in Table 6.3. Pink boxes are segment boundaries.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ



ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΕΧΟΥΜΕ ΤΟ “ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ” ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ
ΕΝΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ
ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΓΙΑ

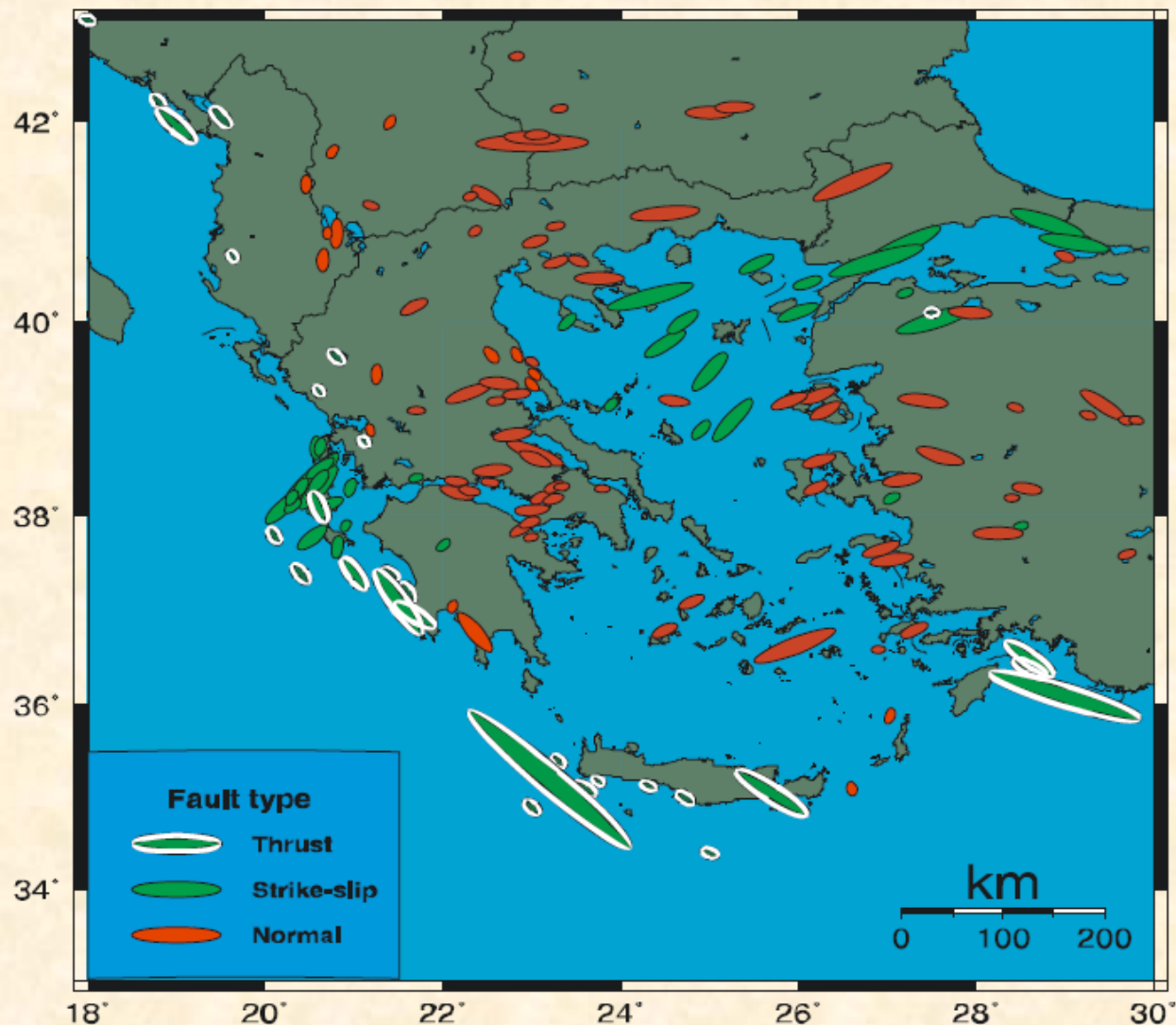
ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ & ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ



Papazachos et al., 1999: Tectonophysics)

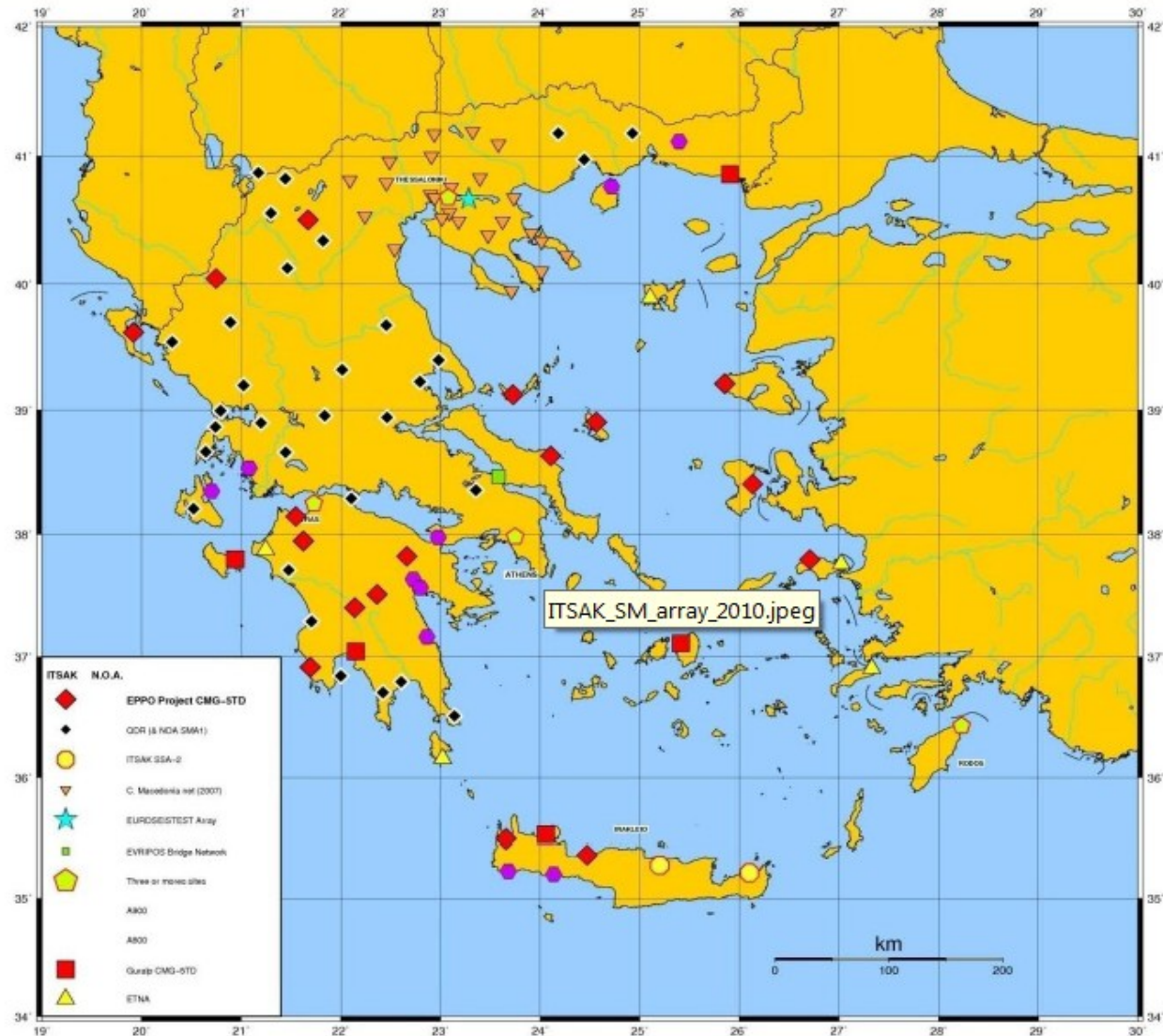
Οι ισόσειστες VII & VIII (αριστερά) είναι σε απόλυτη συμφωνία με το σειсмоγόνο χώρο (δεξιά) όπως καθορίστηκε με ενόργανα δεδομένα. Επίσης το αζιμούθιο του μέγιστου άξονα των ισοσειστών είναι σε εξαιρετική συμφωνία με τη παράταξη του γεωλογικού ρήγματος,

ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

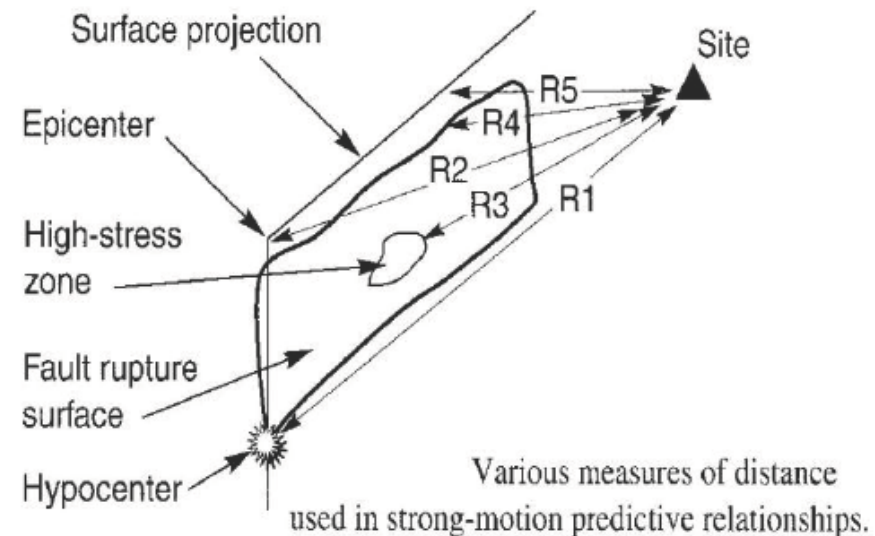
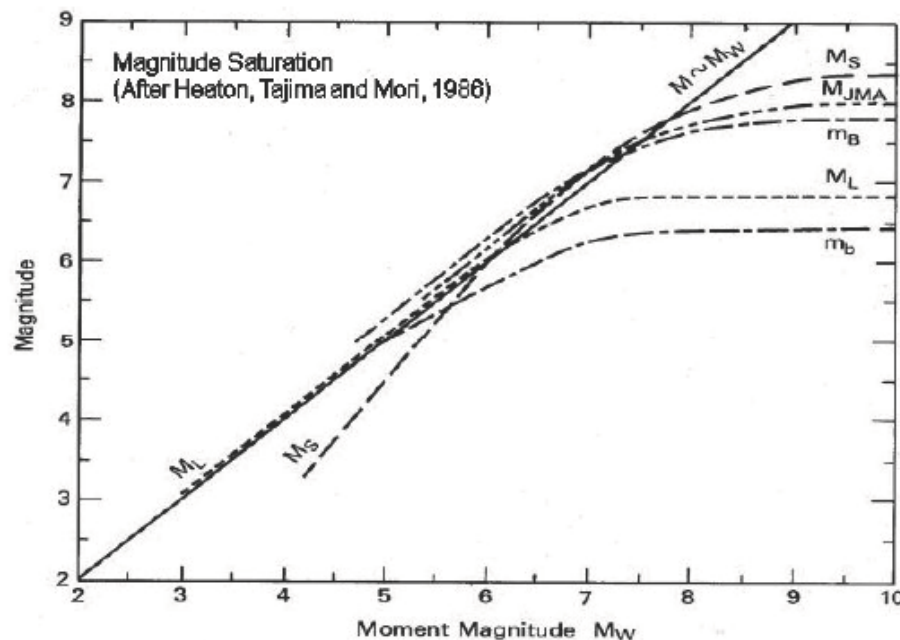


Papazachos et al. (1989): Tectonophysics.

ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ “ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ”



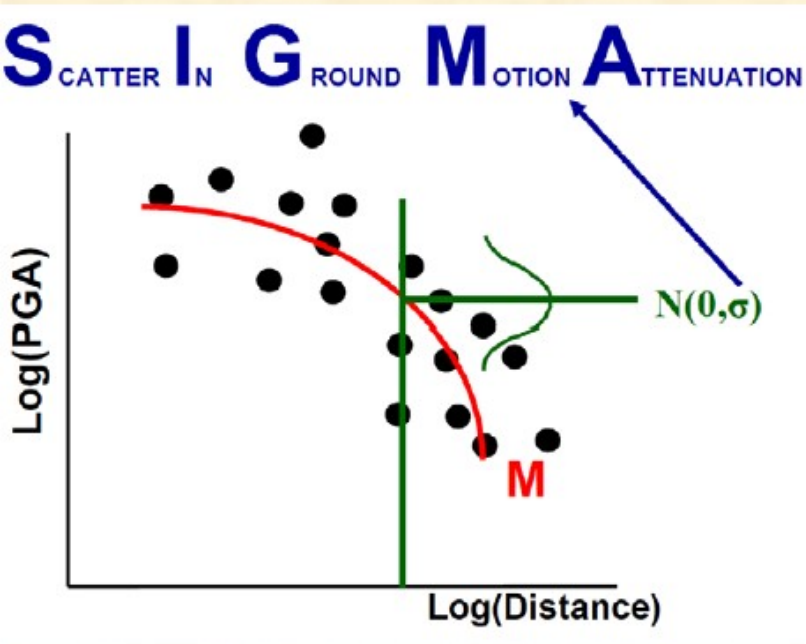
Εμπειρικές Σχέσεις

$$\ln PGA = 4.16 + 0.69M_W - 1.24/\ln(R+6) + 0.12S (\pm 0.70)$$

$$\ln PGV = -1.51 + 1.11M_W - 1.20/\ln(R+5) + 0.29S (\pm 0.80)$$

$$\ln PGD = -6.63 + 1.66M_W - 1.34/\ln(R+5) + 0.50S (\pm 1.08)$$

Margaris et al 2002



The misunderstanding of the proper treatment of ground-motion variability in PSHA is one of the key causes of the confusion regarding the increase in hazard found for modern studies

Bommer and Abrahamson (2006)

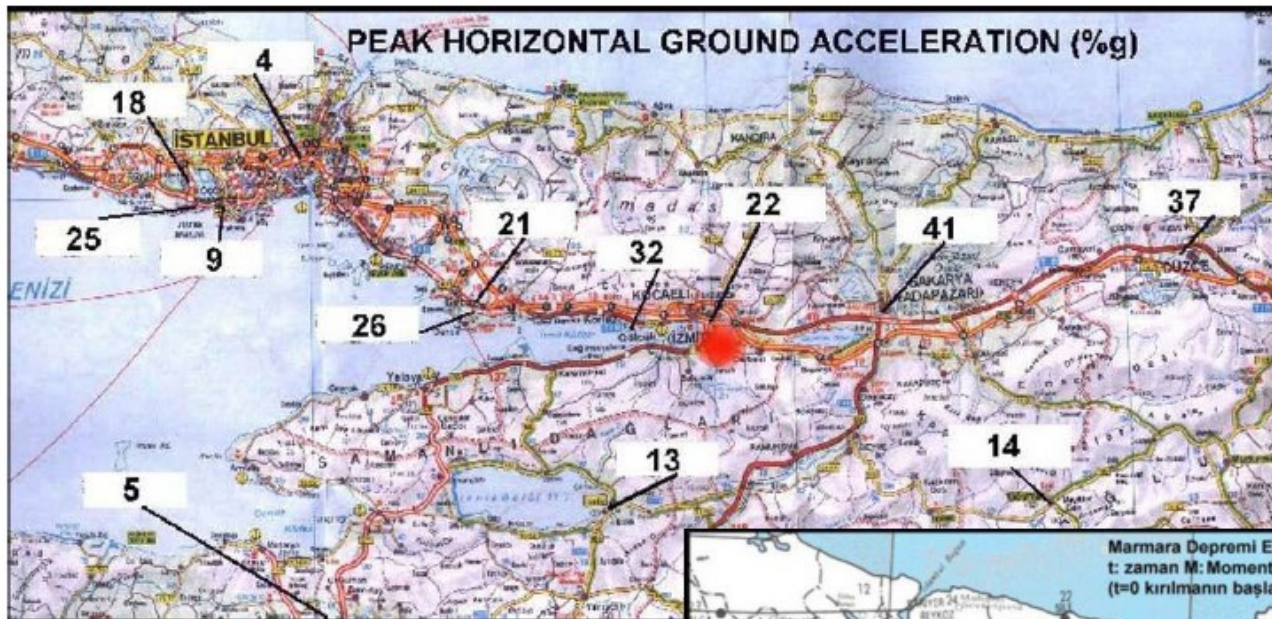
Near Denver, Colorado



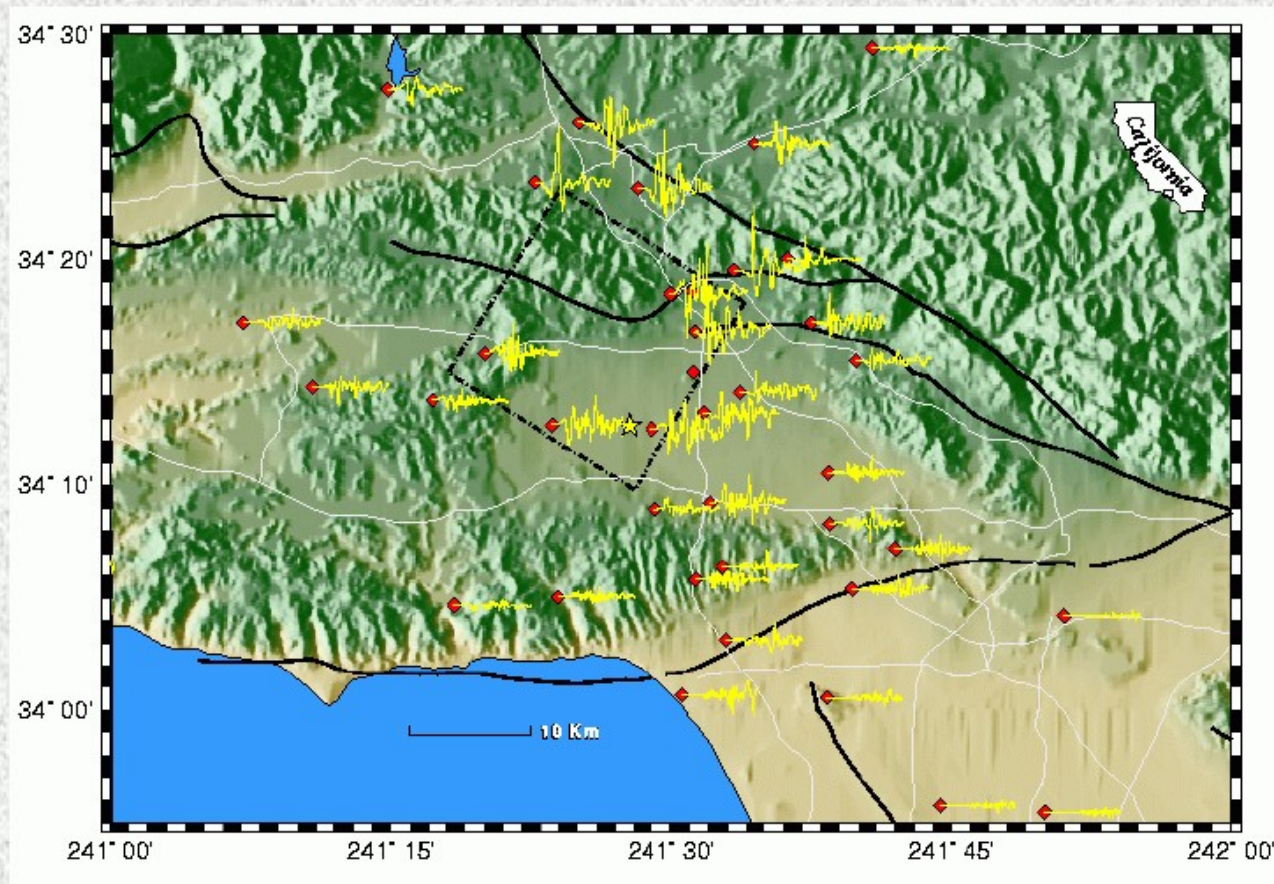
(Frank Scherbaum)

ΑΠΟΣΒΕΣΗ !!!

ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΑΠΛΗ ΥΠΟΘΕΣΗ



ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ **ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ** ΤΟ
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ



ΕΙΝΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟ ΟΜΩΣ

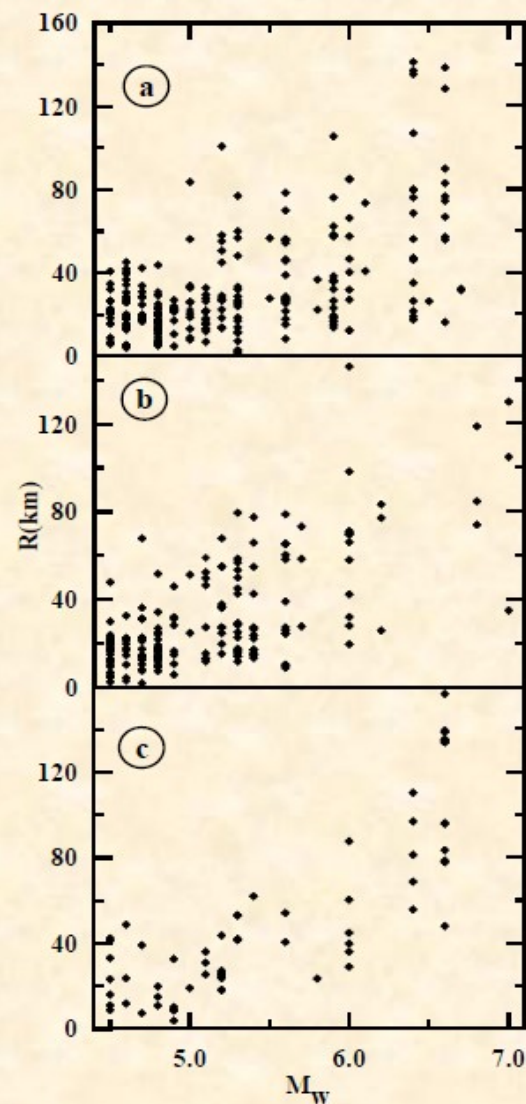
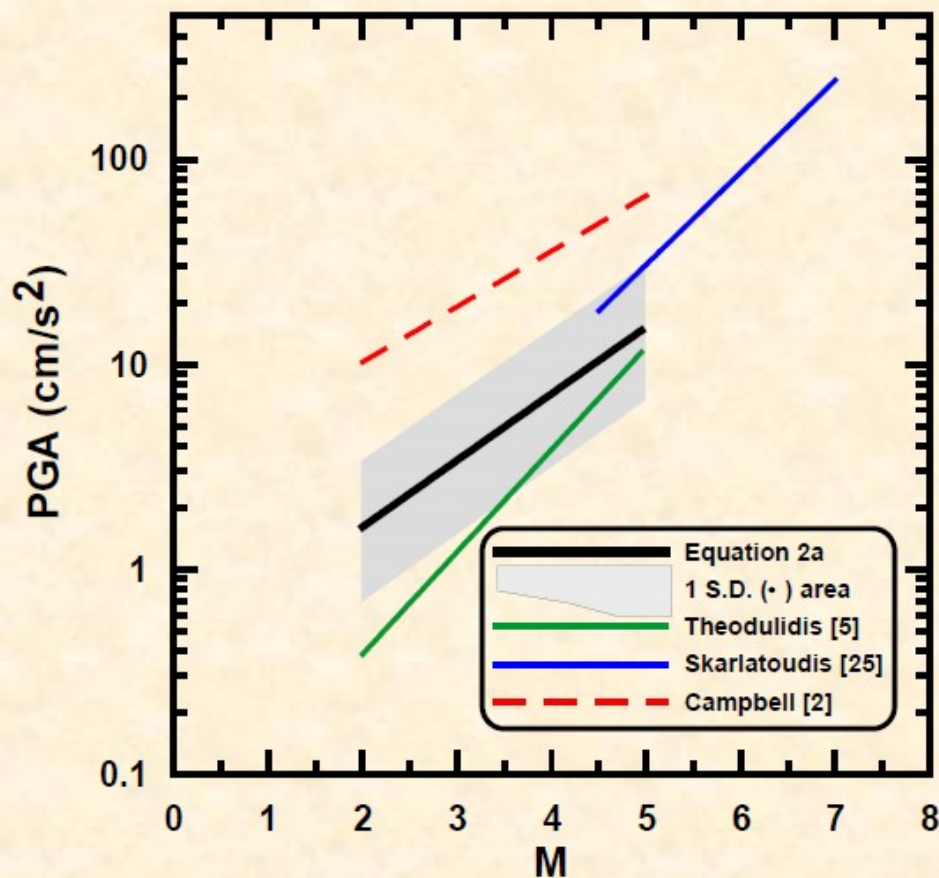
Εμπειρικές Σχέσεις

$$\log \text{PGA} = 0.86 + 0.45M_w - 1.27 \log(R^2 + h^2)^{1/2} + 0.10F + 0.06S \pm 0.232$$

$$\log \text{PGV} = -1.47 + 0.52M_w - 0.93 \log(R^2 + h^2)^{1/2} + 0.07F + 0.11S \pm 0.244$$

$$\log \text{PGD} = -4.08 + 0.88M_w - 1.27 \log(R^2 + h^2)^{1/2} - 0.02F + 0.25S \pm 0.341$$

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ



ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

$$\log N = a_t - bI_{MM}$$

$$a = a_t - \log(tS)$$

$$T_m = 10^{bI} / 10^a$$

$$P_t = 1 - \exp(-N_o t e^{\bullet I})$$

$$N_o = 10^{a_o} \quad \bullet = b / \log e$$

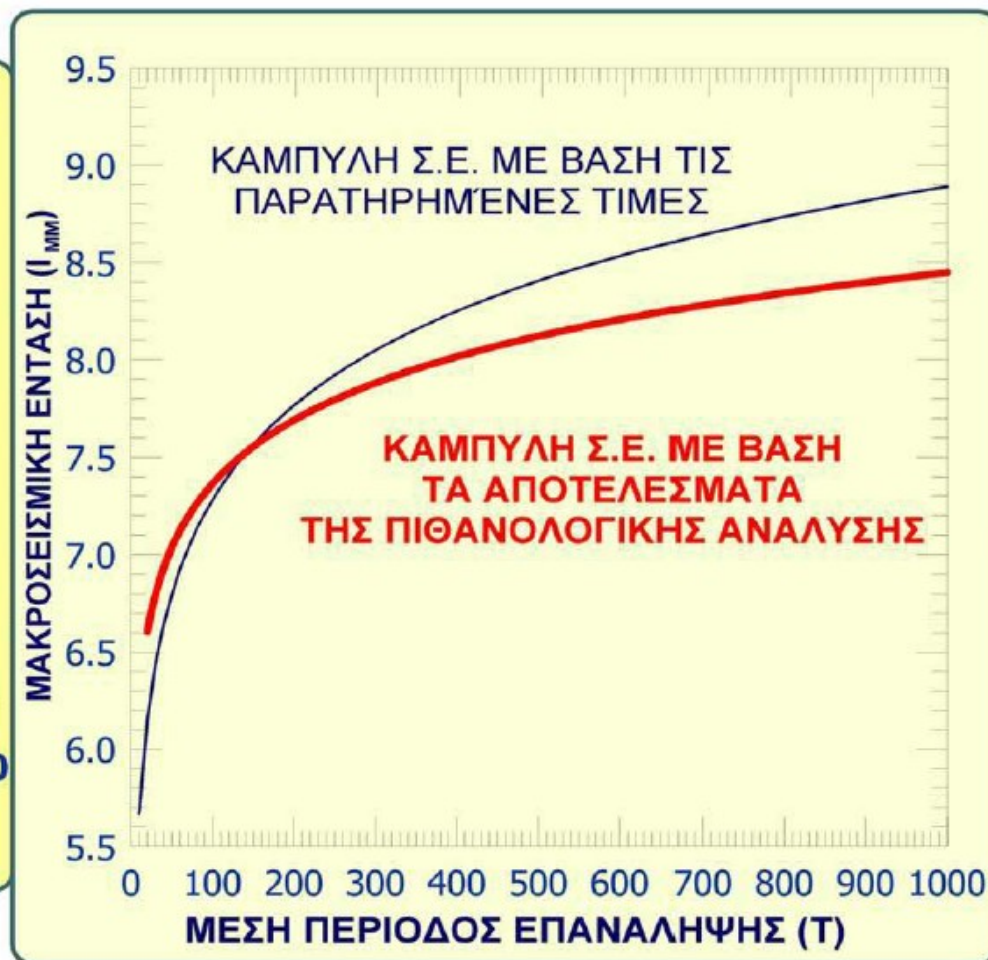
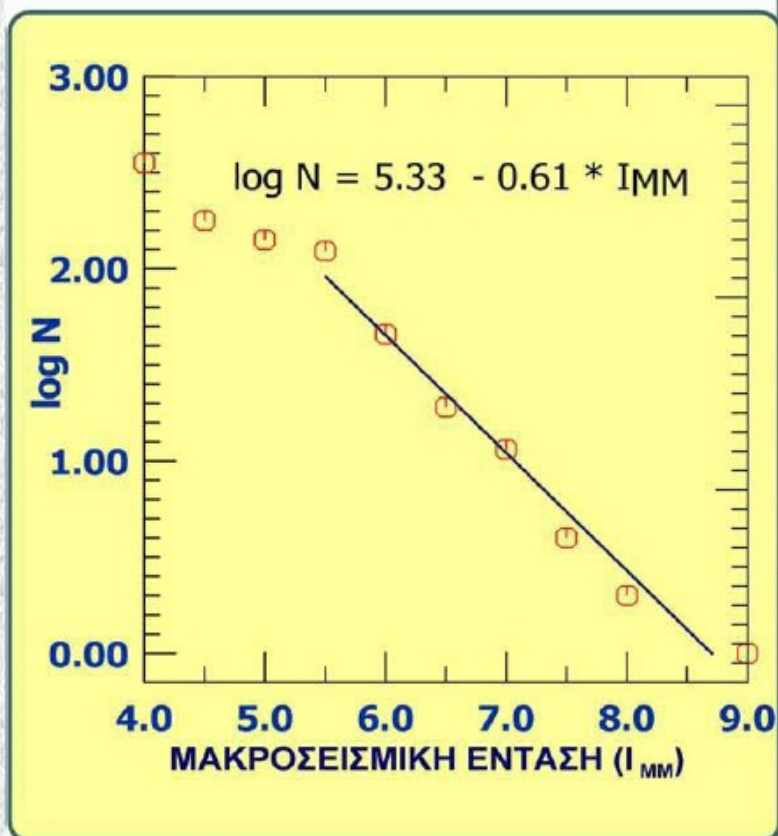
$$I_t = \frac{a + \log t}{b} - \frac{\log[-\ln[1 - Pt]]}{b}$$

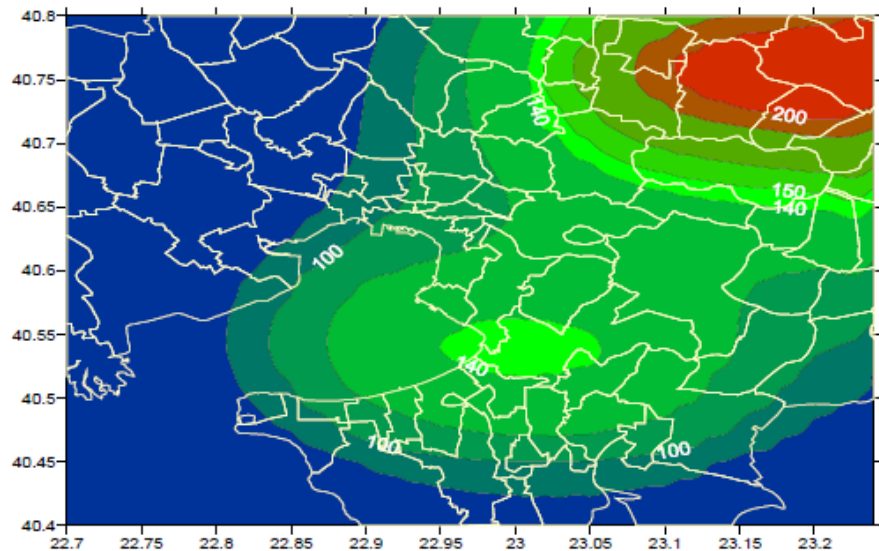
$$I_t = \frac{a}{b} + \frac{\log t}{b}$$

$$P_t = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_m}\right)$$

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

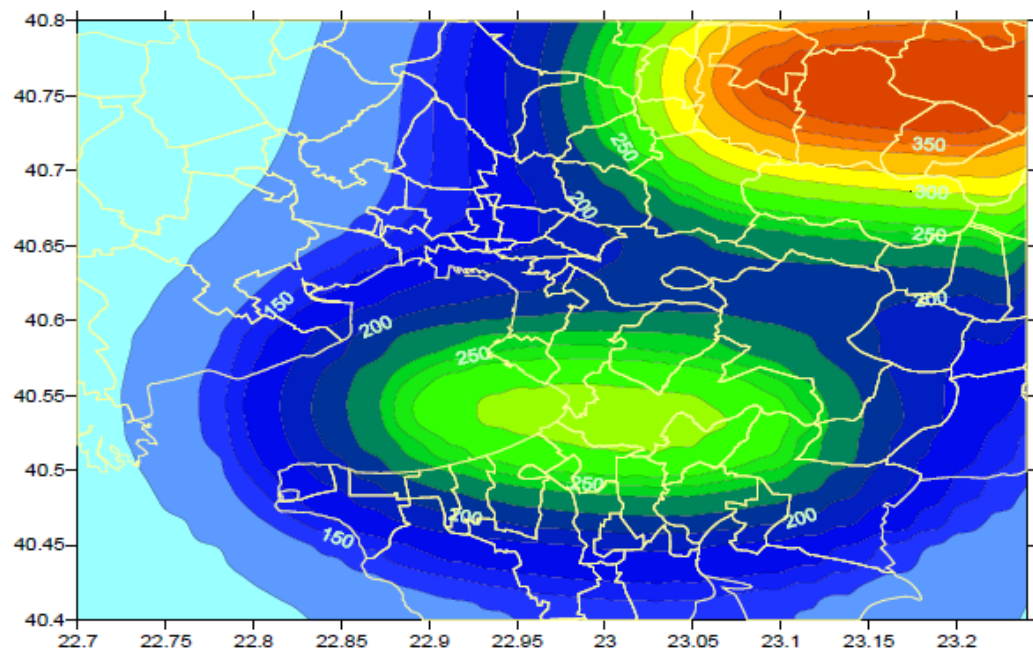
Σεισμική Επικινδυνότητα με Βάση τις Μακροσεισμικές Εντάσεις



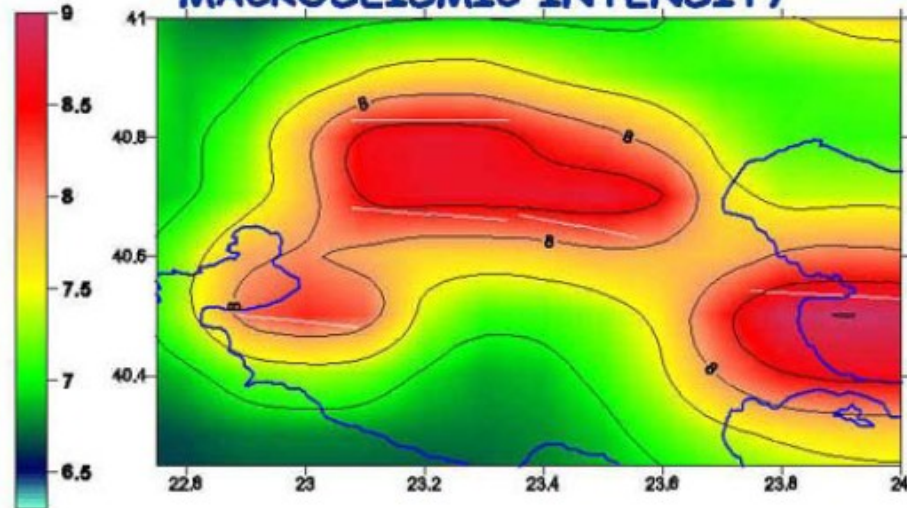


Γεωγραφική κατανομή των
μεγίστων τιμών της μέγιστης
οριζόντιας εδαφικής
επιτάχυνσης (cm/sec^2) για
μέση περίοδο $T_M=100$ έτη

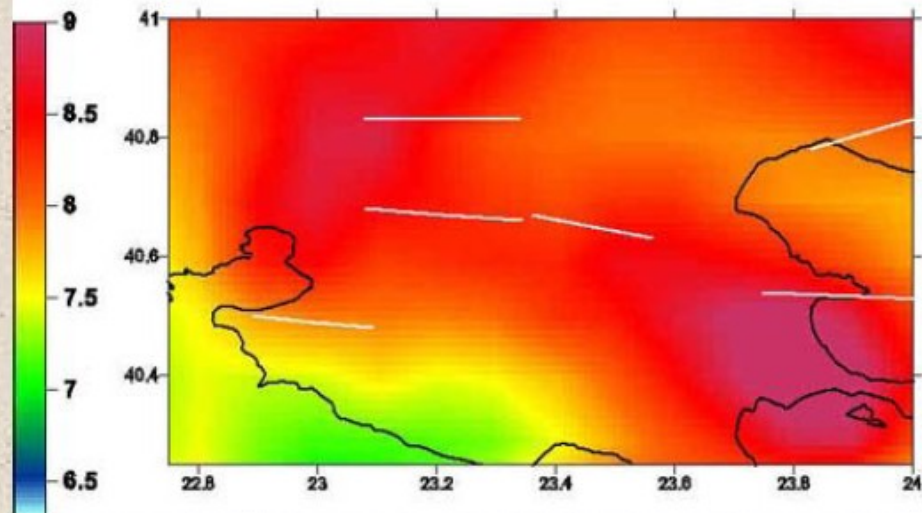
Γεωγραφική κατανομή
των μεγίστων τιμών της
μέγιστης οριζόντιας
εδαφικής επιτάχυνσης
(cm/sec^2) για μέση
περίοδο $T_M=475$ έτη



Seismic Hazard Results for $T_m=476$ yrs MACROSEISMIC INTENSITY

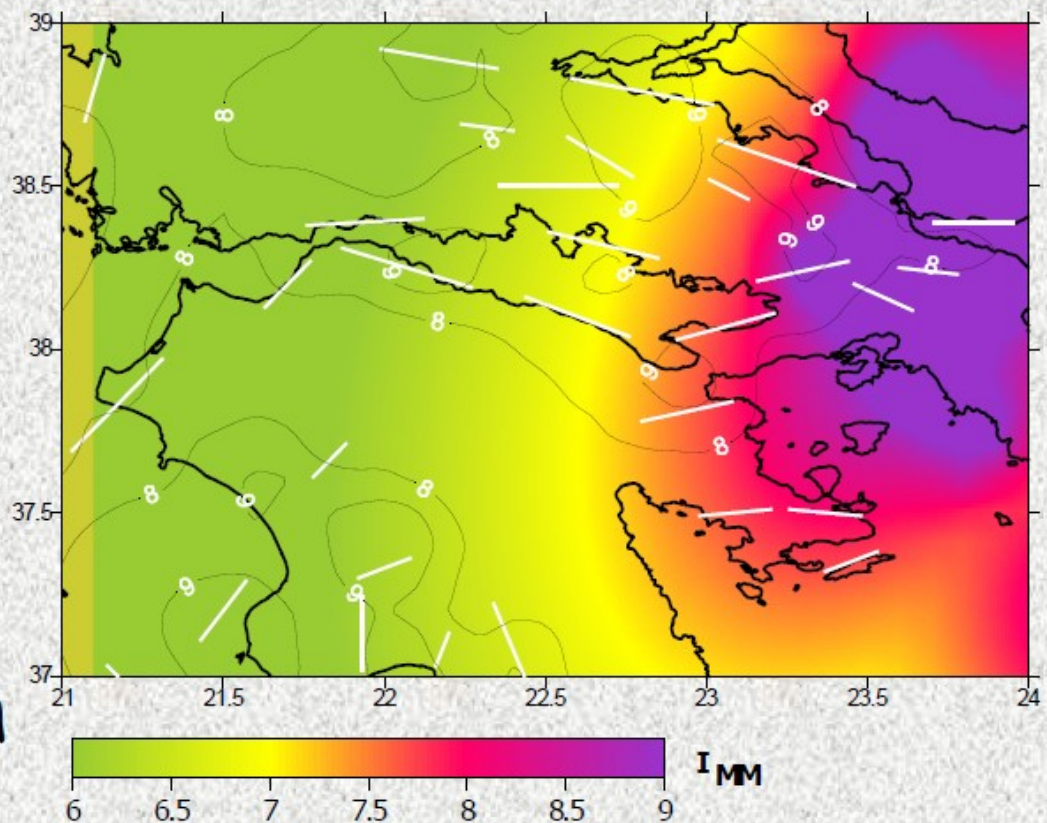


MAXIMUM OBSERVED INTENSITIES



Γεωγραφική κατανομή
των μεγίστων
εντάσεων στην
ευρύτερη περιοχή
του Κορινθιακού
Κόλπου.

Οι άσπρες γραμμές
δείχνουν τα ρήγματα
των ισχυρών σεισμών
στην ευρύτερη περιοχή
(Παπαζάχος και
συνεργάτες, 2001).

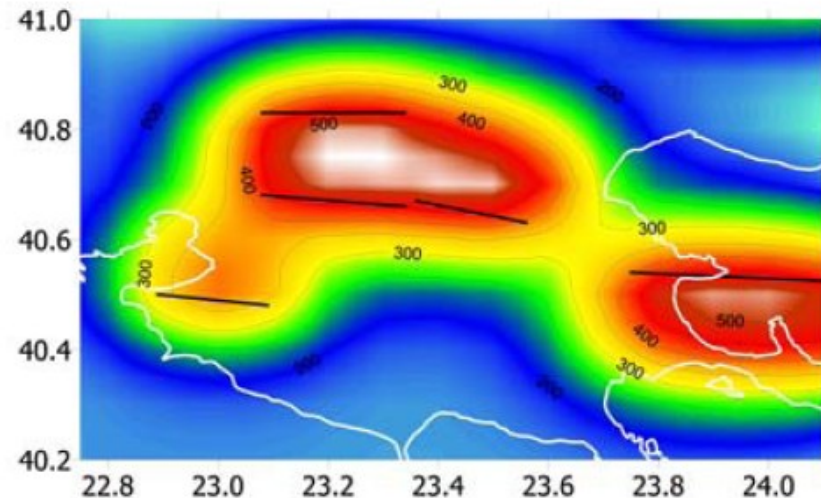


ΕΠΙΔΡΑΣΗ
ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ
ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ
ΚΑΙ
ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ
ΘΕΩΡΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ
ΣΤΑ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

SEISMIC HAZARD IN TERMS OF PGA

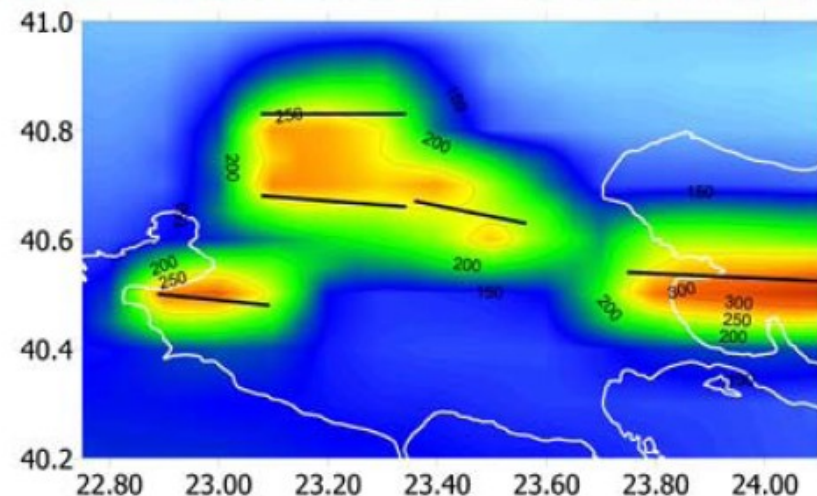
Faults and Area sources

Attenuation relations **Scarlatoudis et al. (2003, 2004)**
Epicentral Distance

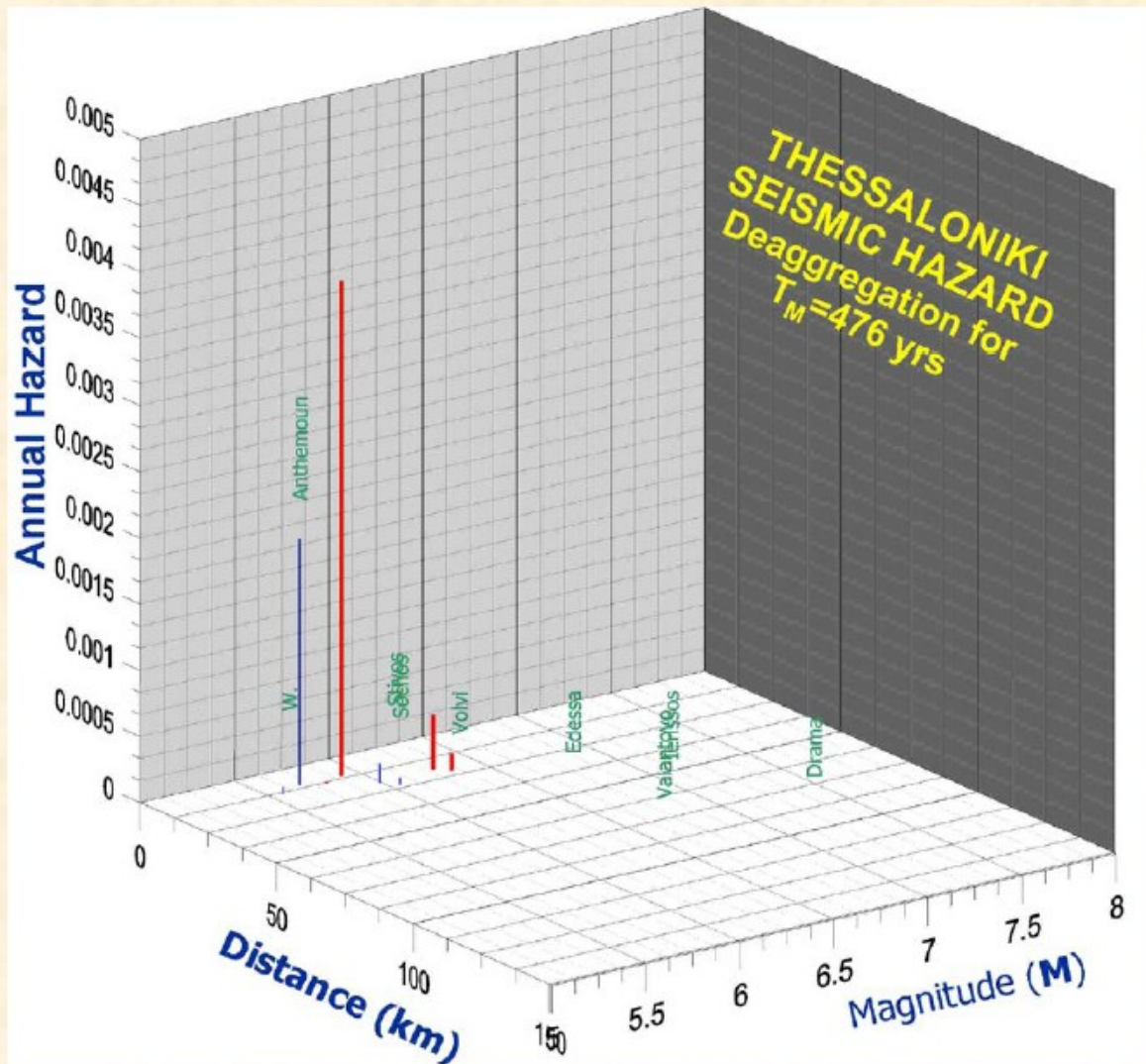


Attenuation relation **Abraseys et al. (1996)**

Distance = Closest distance to surface projection of the rupture



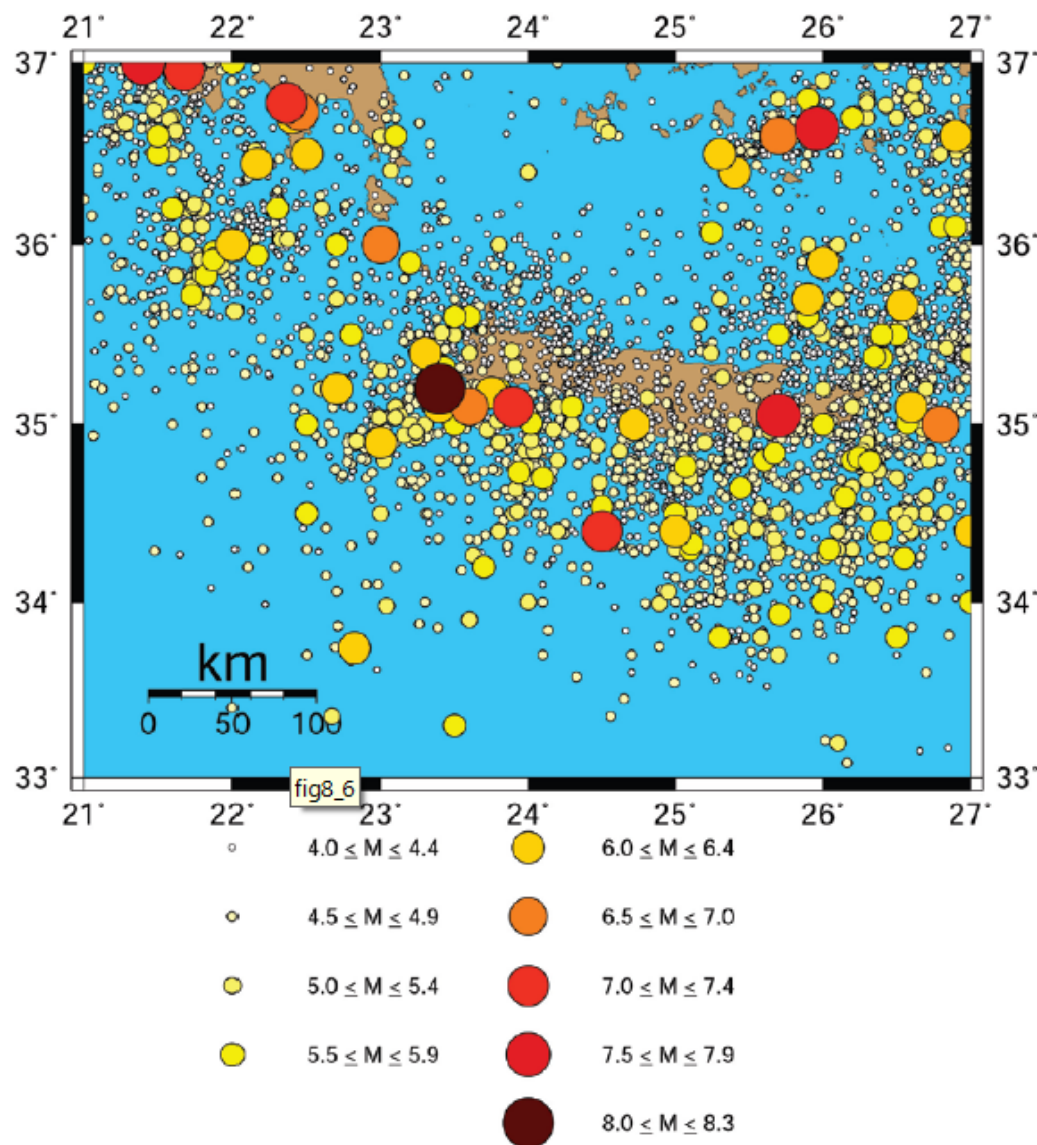
Από-συνάθροιση Αποτελεσμάτων για την Θεσσαλονίκη

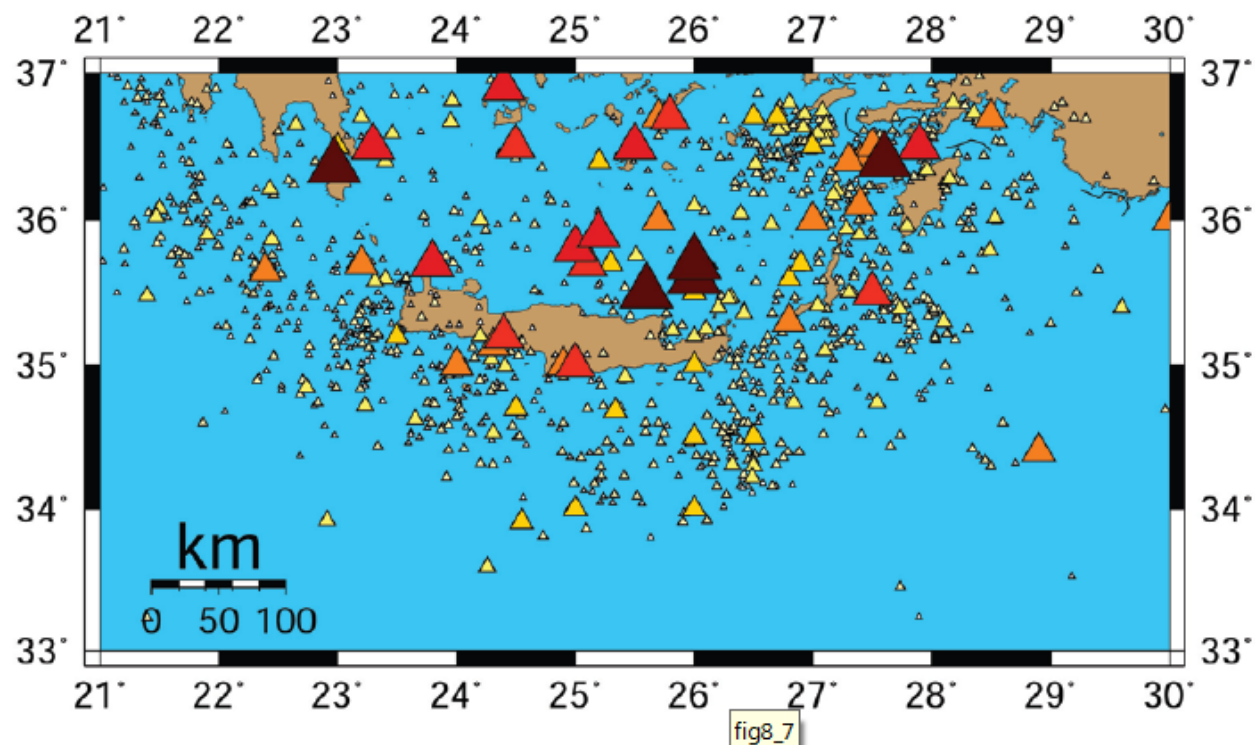


De-aggregation of
seismic hazard for
THESSALONIKI

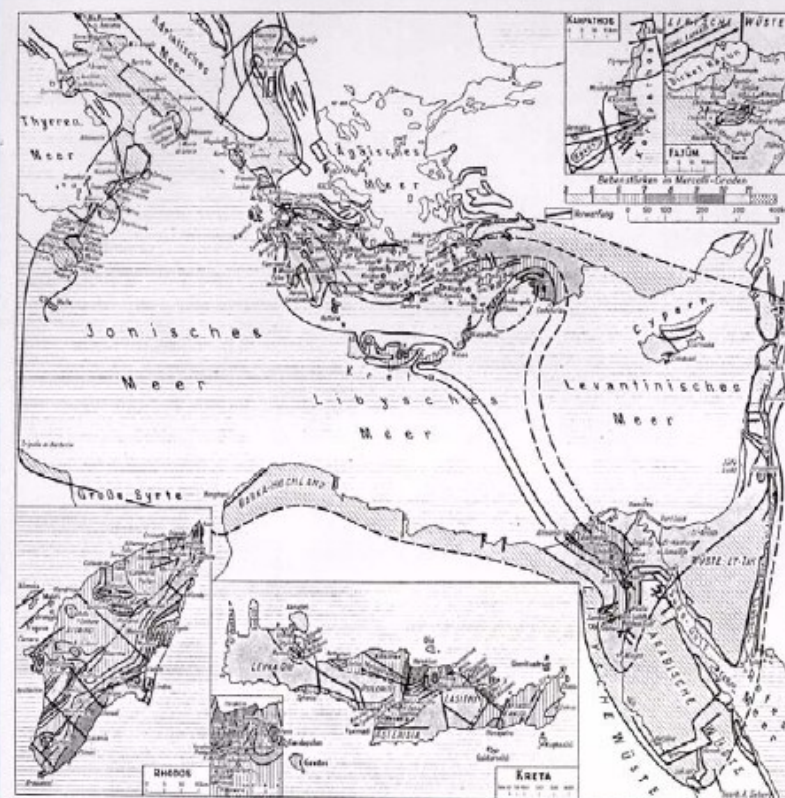
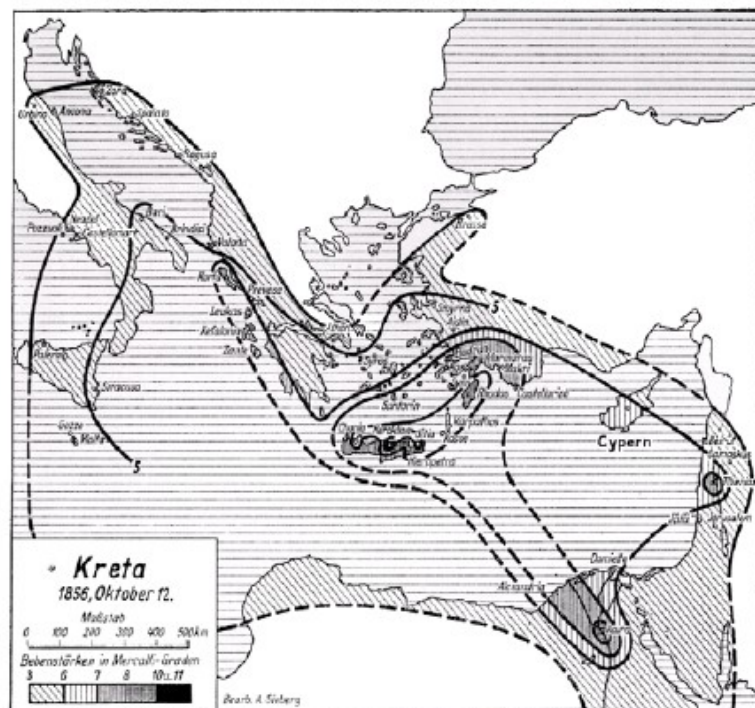
For PGA (blue bars) and
Macroseismic Intensity
(red bars).

*Γεωγραφική
κατανομή των
επικέντρων των
επιφανειακών
σεισμών στην
ευρύτερη περιοχή
της Κρήτης*





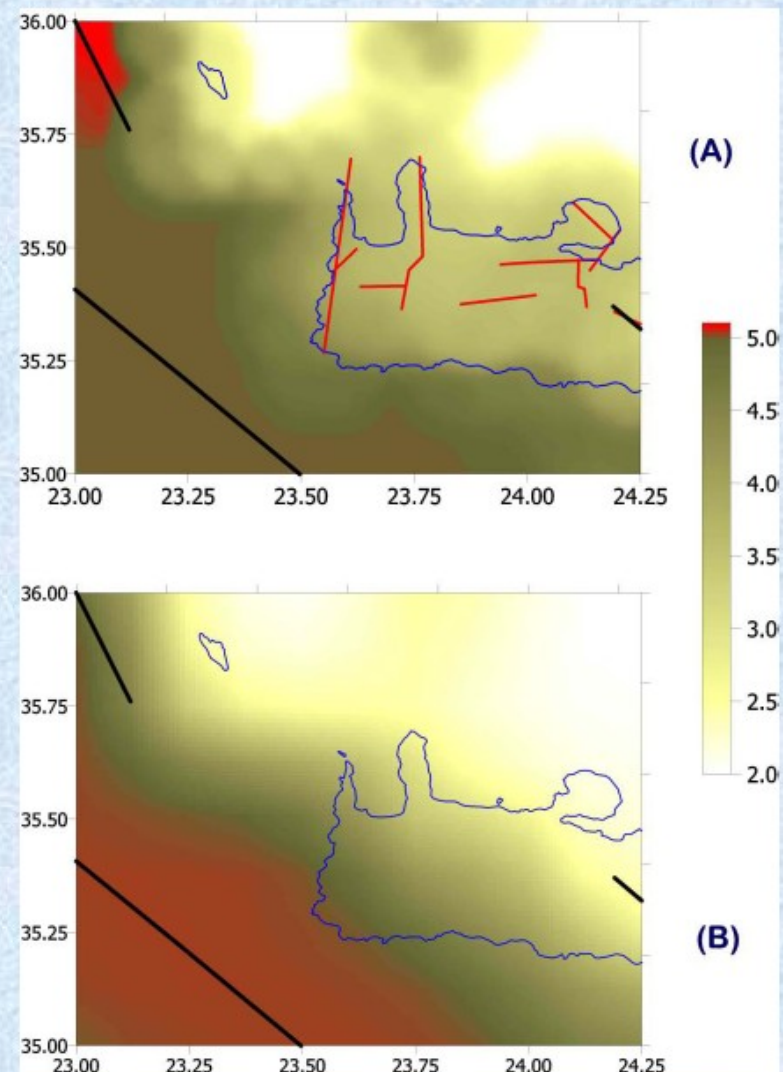
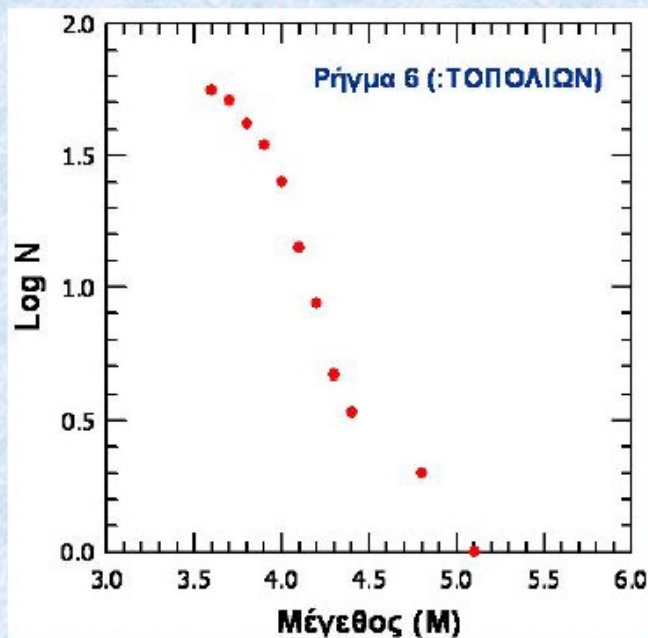
*Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των
σεισμών ενδιάμεσου βάθους στην ευρύτερη
περιοχή της Κρήτης*



ΧΑΝΙΑ

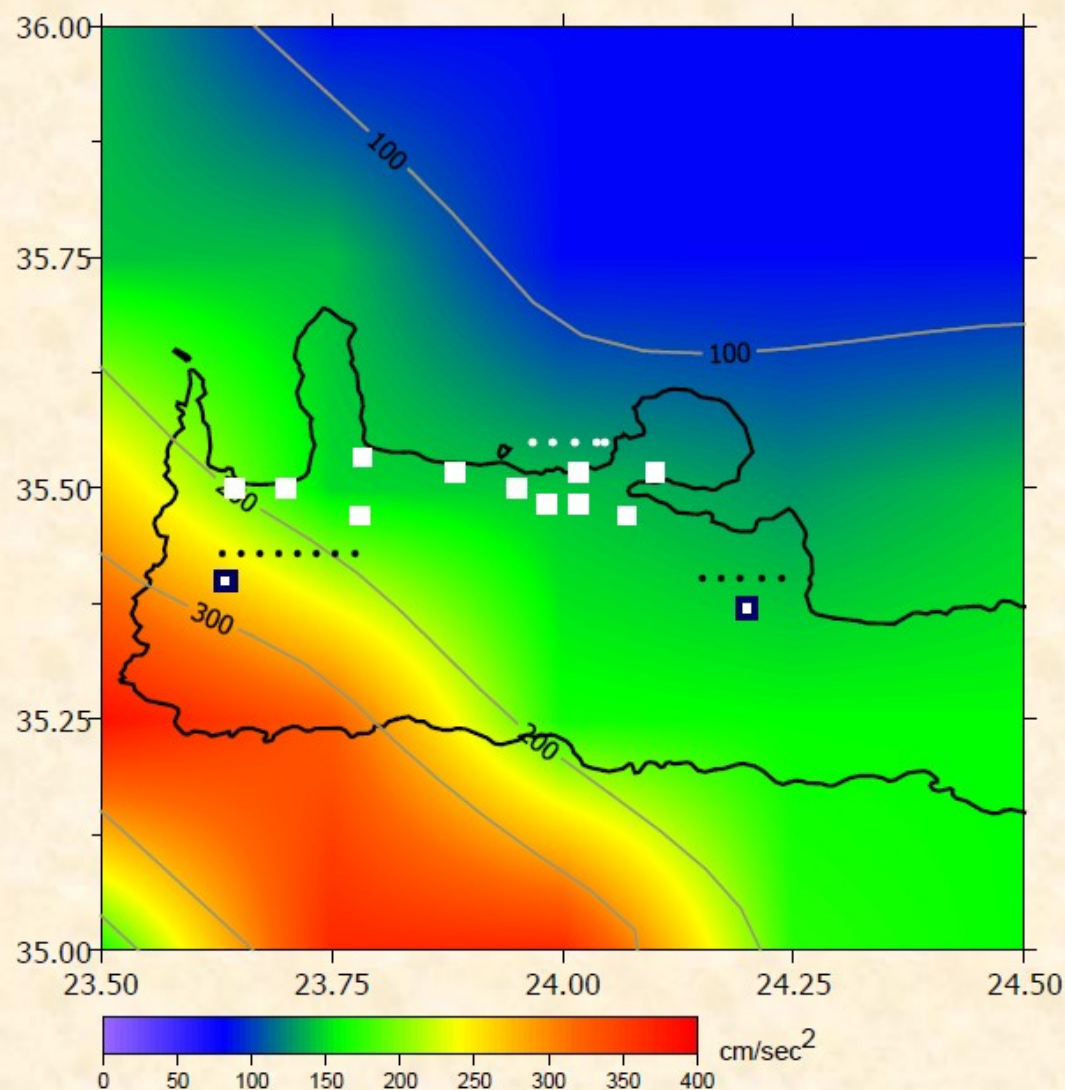
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Γεωγραφική κατανομή της παραμέτρου a/b με τη χρήση των παραμέτρων σεισμικότητας των ρηγμάτων της γεωλογικής έκθεσης (A) και με τη χρήση μόνο των ρηγμάτων των μεγάλων σεισμών (B)

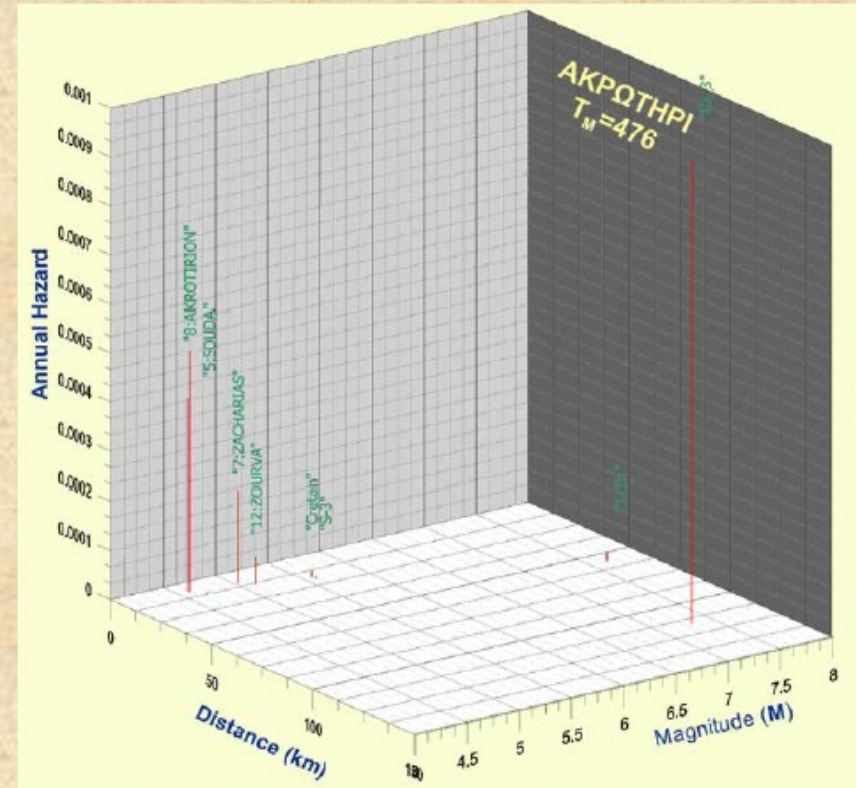
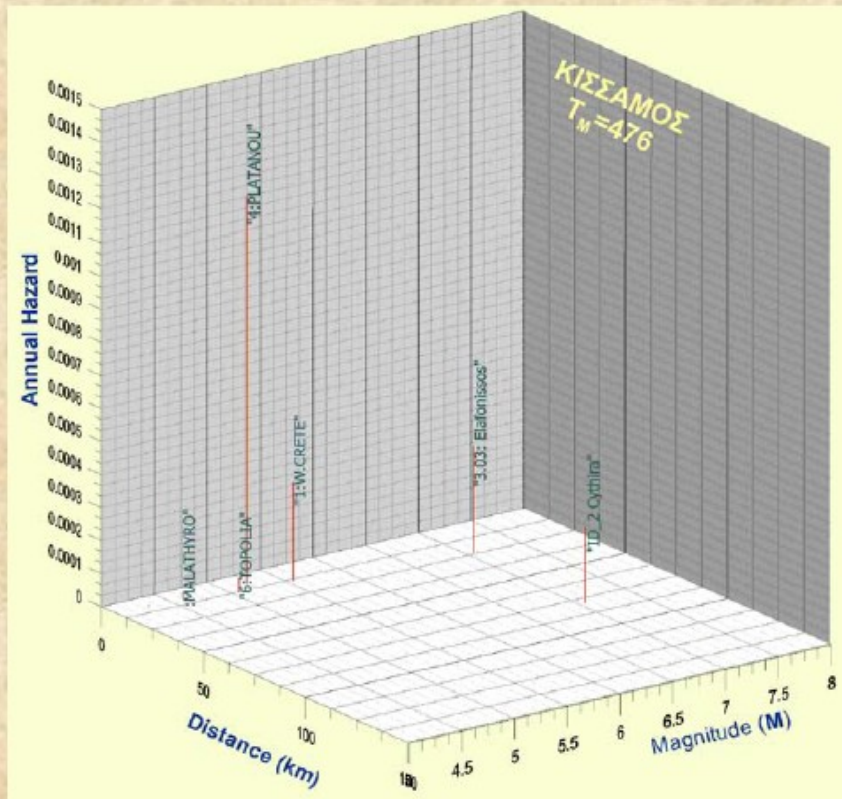


Χάρτης κατανομής της
αναμενόμενης
μέγιστης οριζόντιας
επιτάχυνσης στην
ευρύτερη περιοχή
του Νομού Χανίων με
βάση τις τιμές οι
οποίες υπολογίστηκαν
για το πρόγραμμα
σεισμικής
επικινδυνότητας από
το ΙΤΣΑΚ

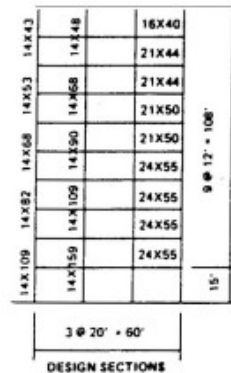
(Παπαϊωάννου, 2002).



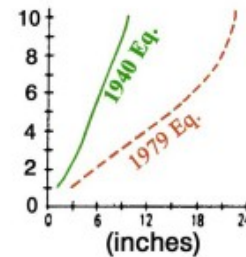
Από-συνάθροιση Αποτελεσμάτων για δύο θέσεις



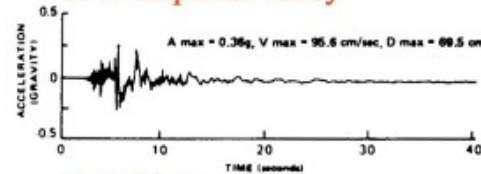
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ



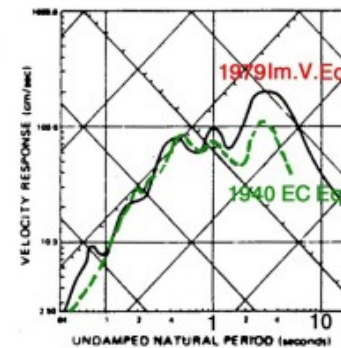
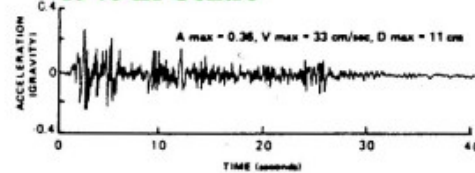
(a) Design Frame



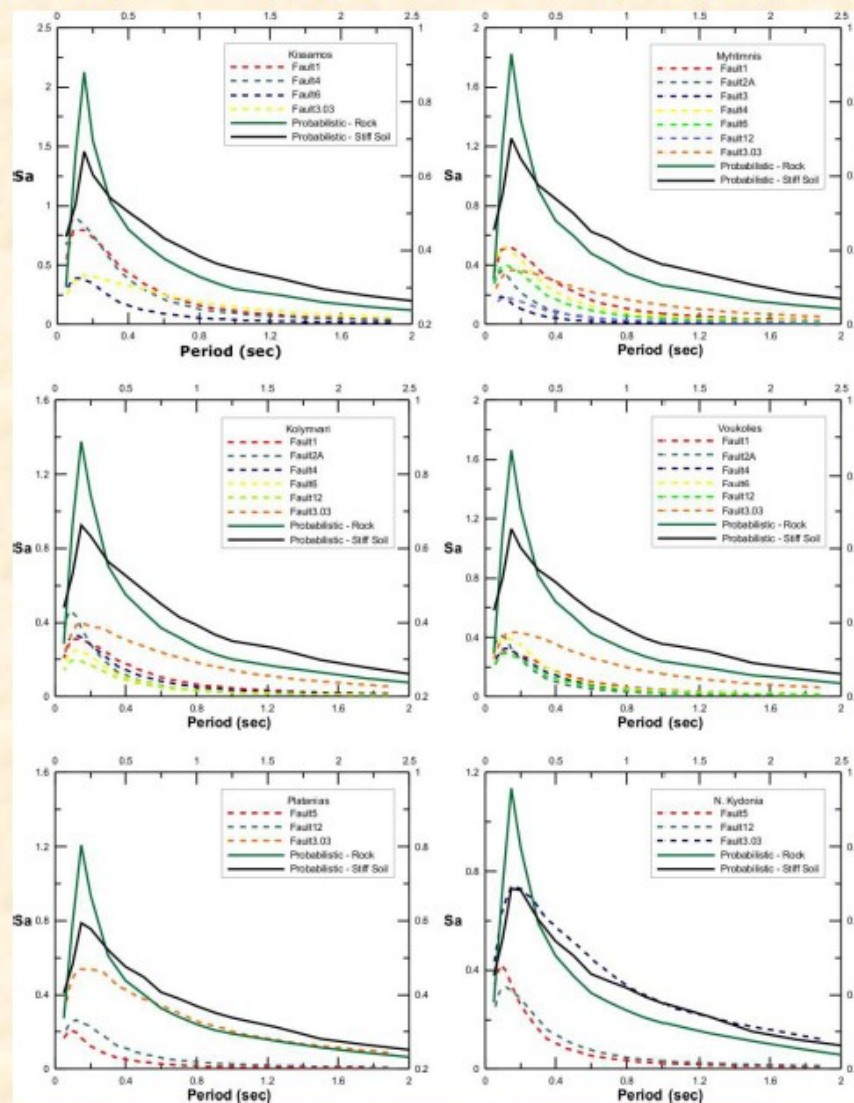
1979 Imperial Valley



1940 El Centro



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

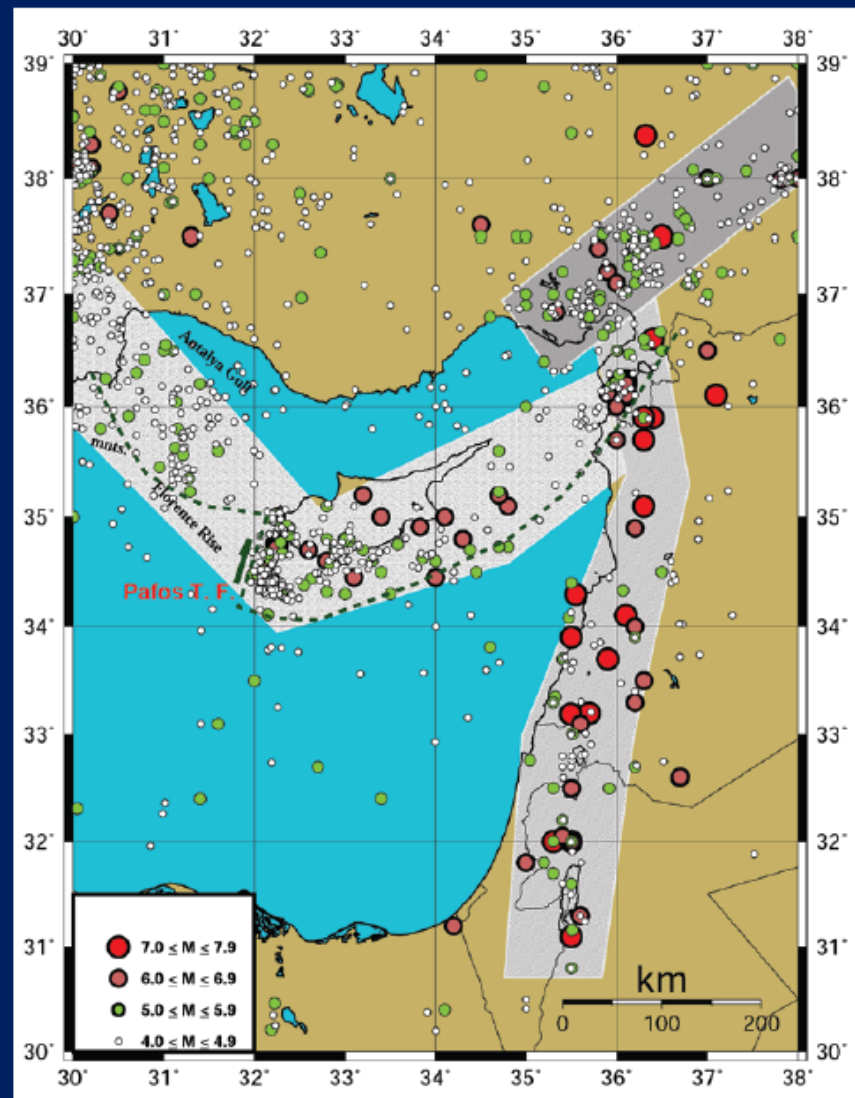


ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

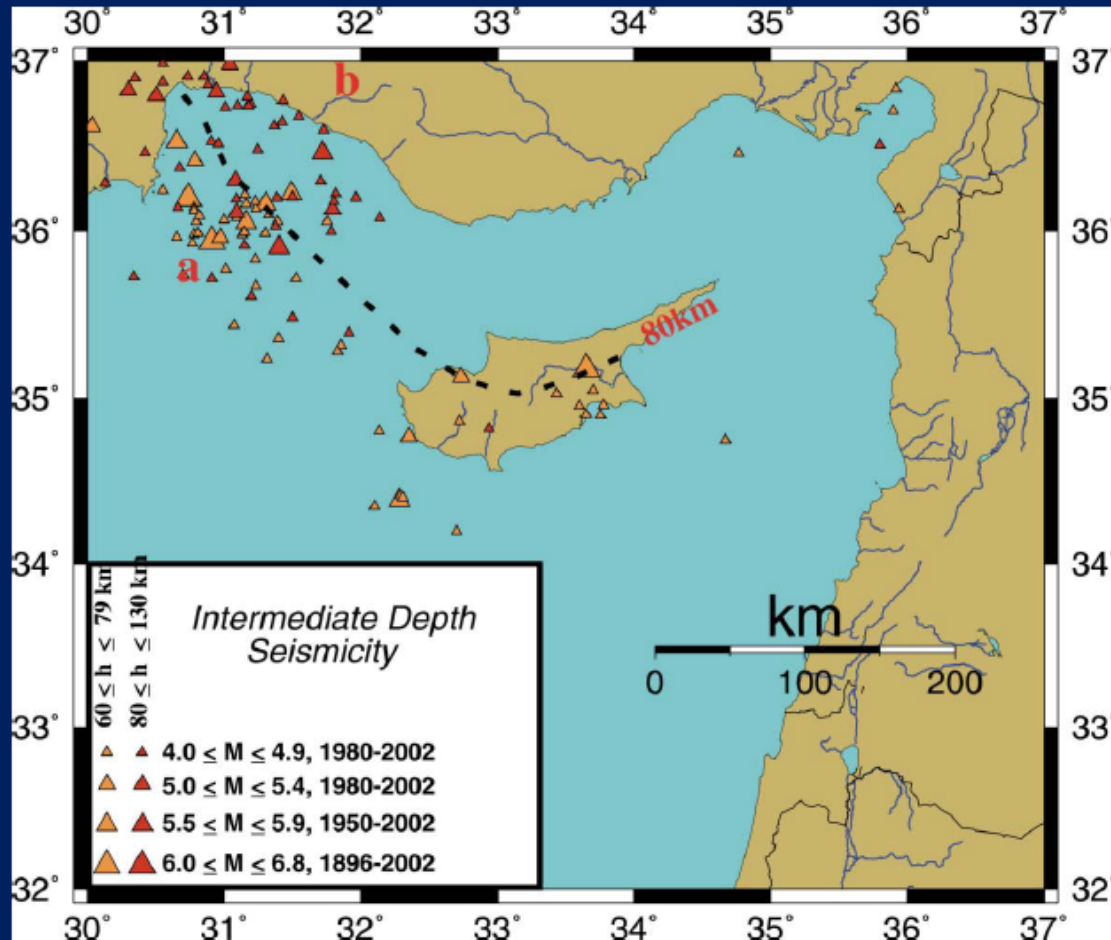
Από τη γεωγραφική κατανομή της σεισμικής δράσης των επιφανειακών σεισμών στην ευρύτερη περιοχή, καθορίζονται 3 σεισμικές ζώνες, οι οποίες σχετίζονται με τις 3 κύριες σεισμοτεκτονικές μονάδες στη περιοχή.

Αυτές είναι: *το Κυπριακό Τόξο, η ζώνη διάρρηξης της Νεκράς Θάλασσας και το δυτικό όριο του Ρήγματος της Ανατολικής Ανατόλιας.*

(Παπαϊωάννου, 2001).

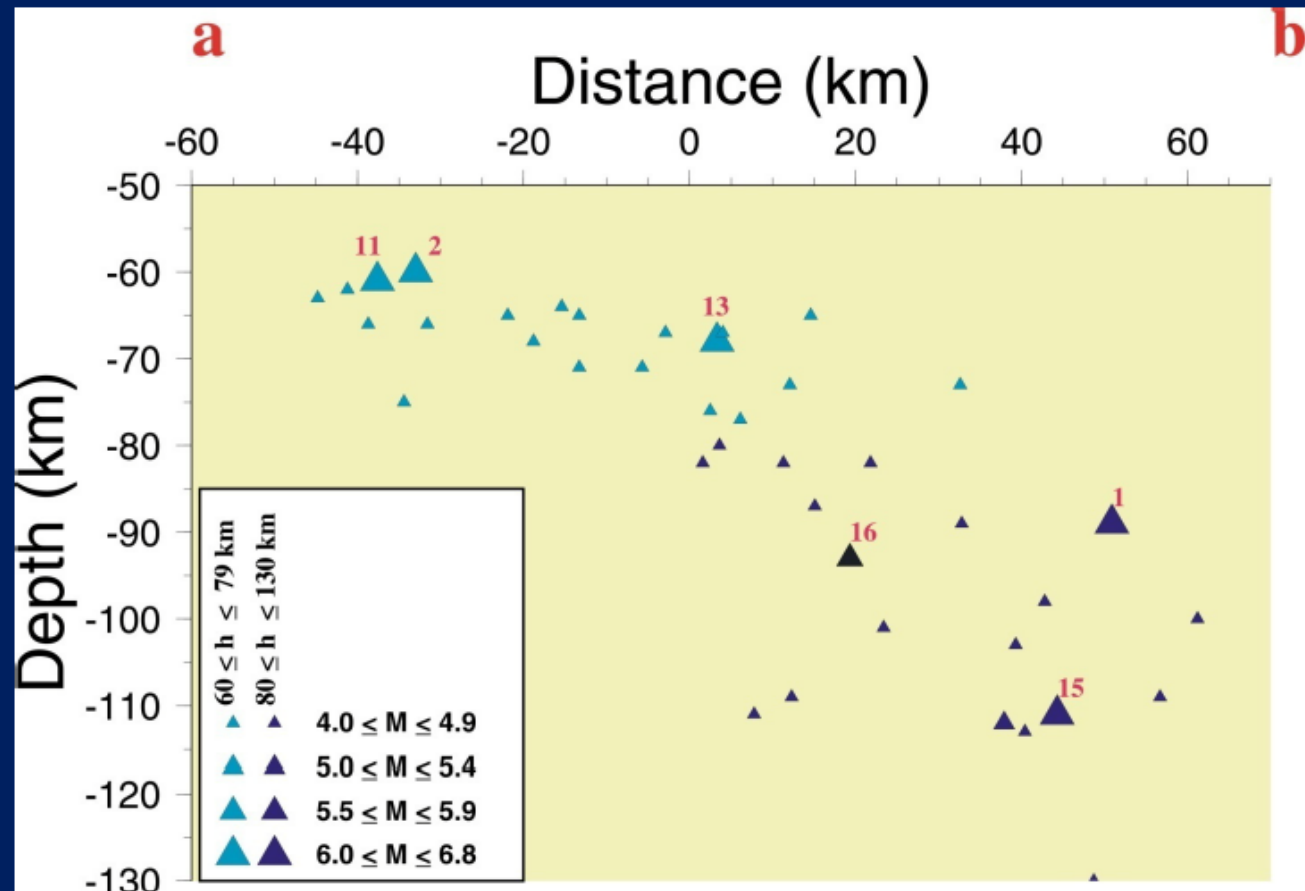


ΣΕΙΣΜΟΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΒΑΘΟΥΣ



Γεωγραφική κατανομή των πλέον αξιόπιστων επικέντρων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου (Parazachos & Papaioannou 1989; Τροποποιημένο).

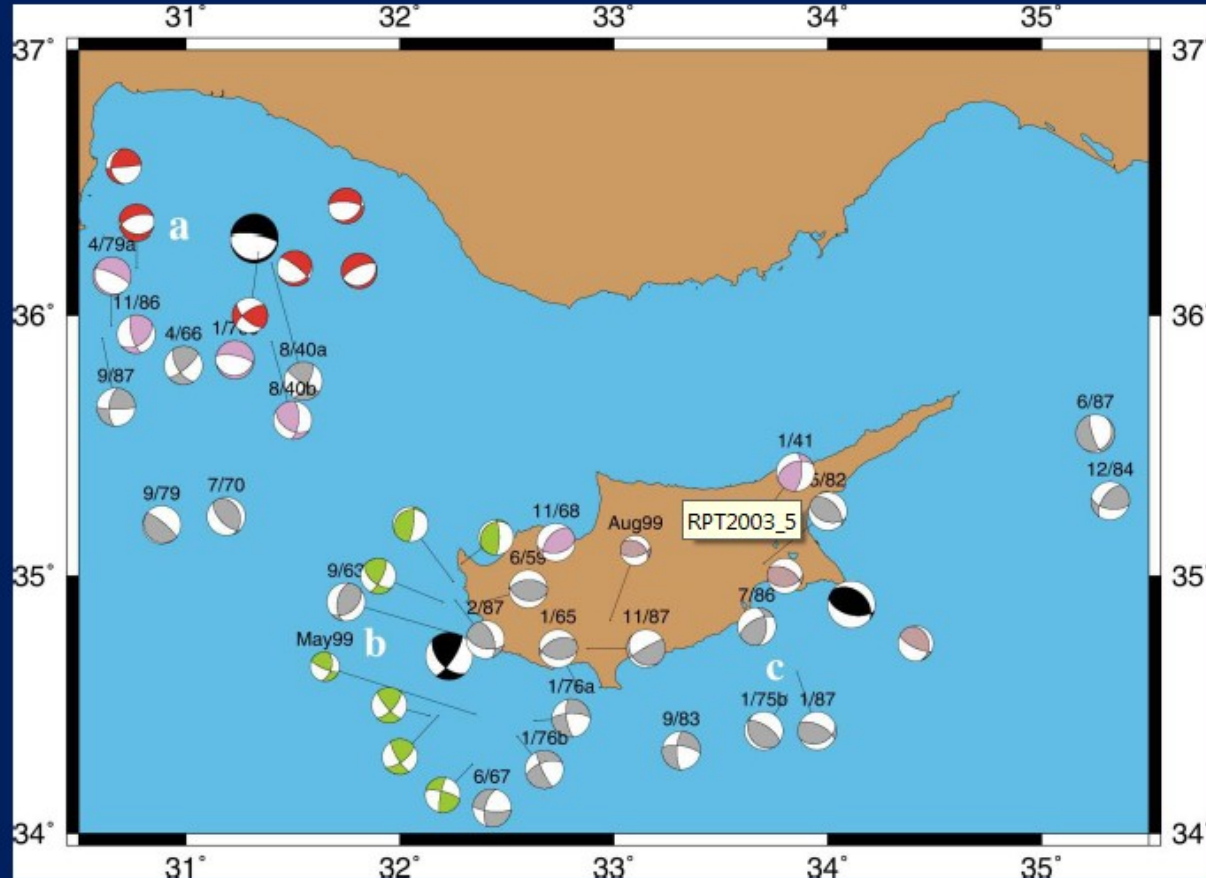
ΣΕΙΣΜΟΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΒΑΘΟΥΣ



Κατανομή με το βάθος των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου.

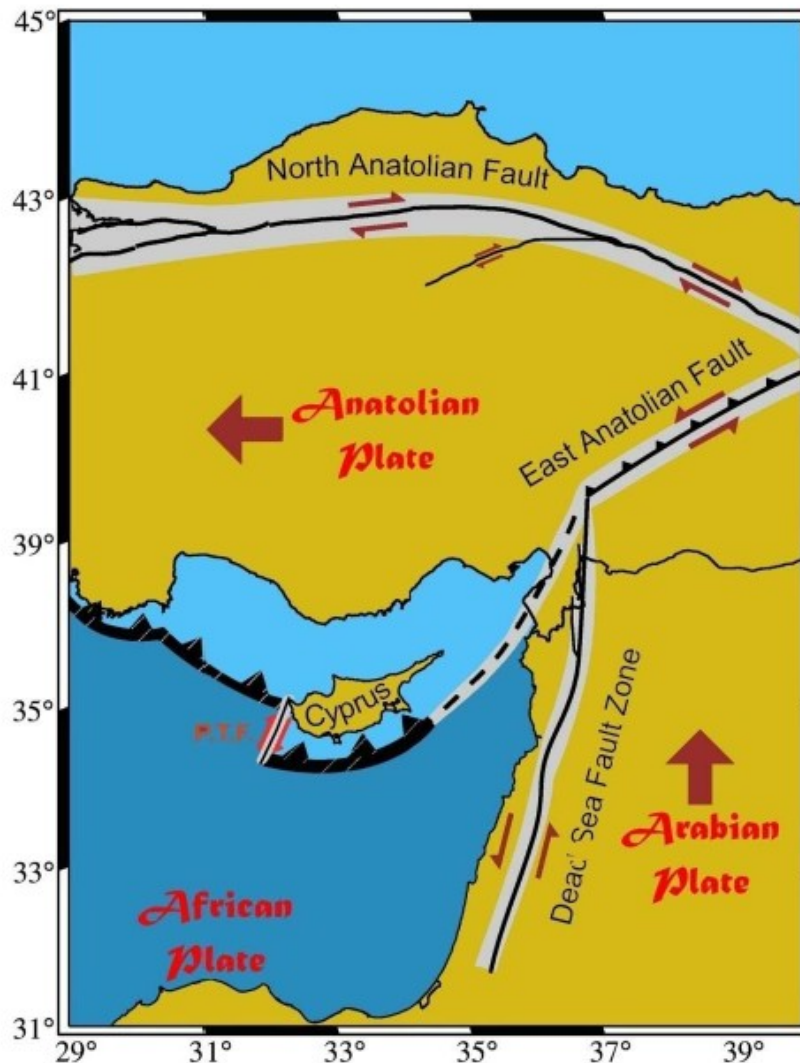
(Papazachos & Papaioannou 1989; Τροποποιημένο).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ



Γεωγραφική κατανομή των Μηχανισμών Γένεσης.
Οι τυπικοί μηχανισμοί επιφανειακών (b, c) και ενδιάμεσου
βάθους (a) σεισμών (Parazachos and Papaioannou, 1999)
δίνονται επίσης.

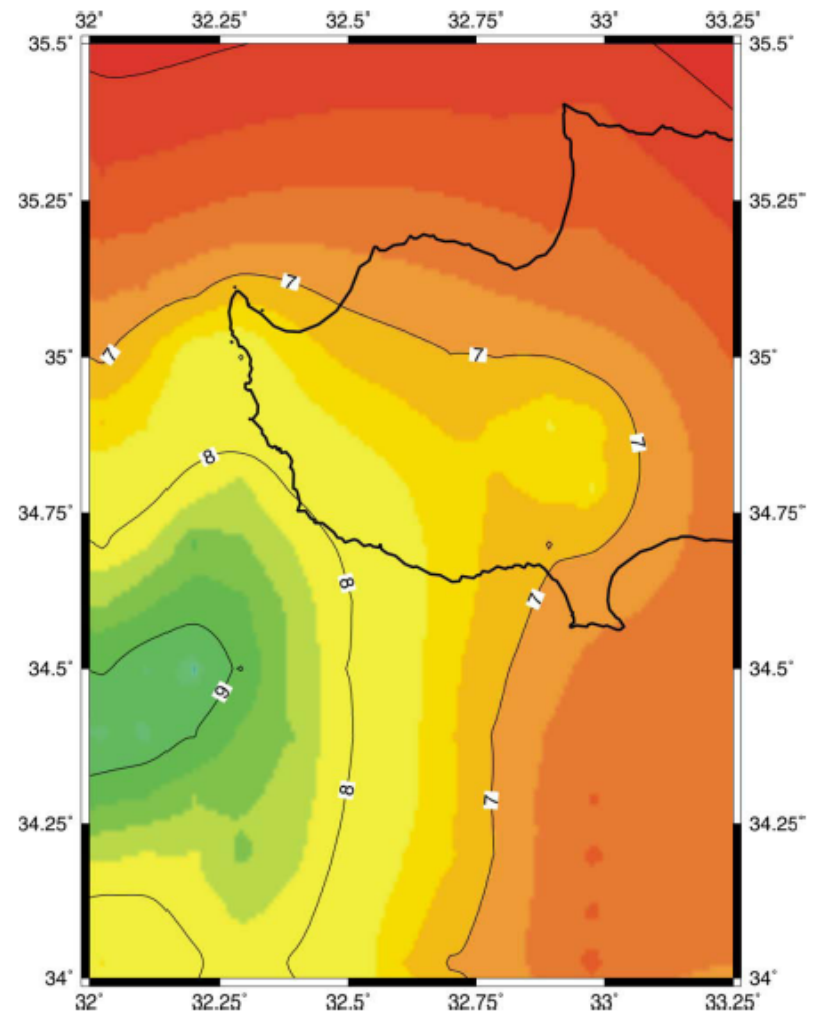
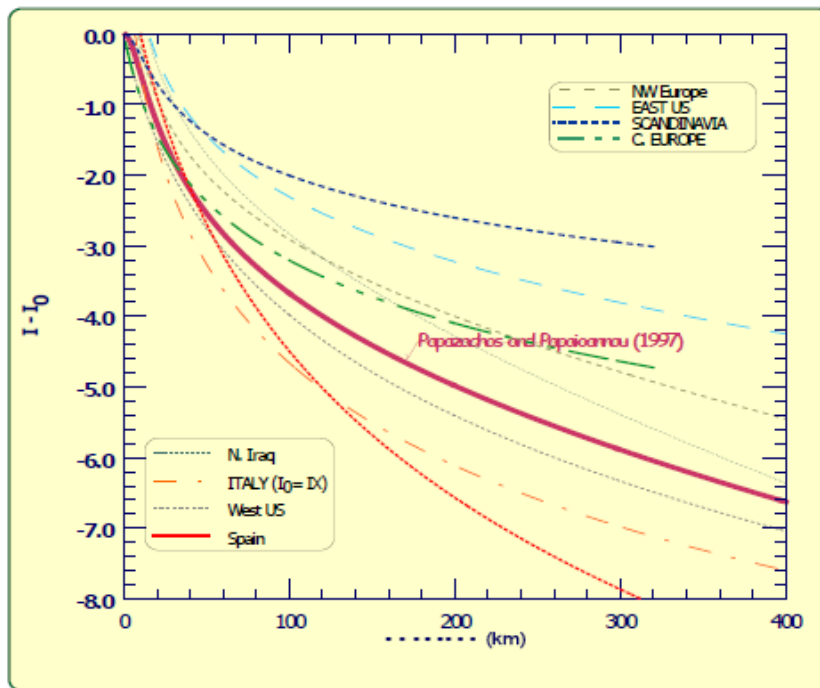
Σεισμοτεκτονικό Μοντέλο της Ανατολικής Μεσογείου



*Papazachos and
Papaioannou
(Tectonophysics, 1999).*

ΑΠΟΣΒΕΣΗ

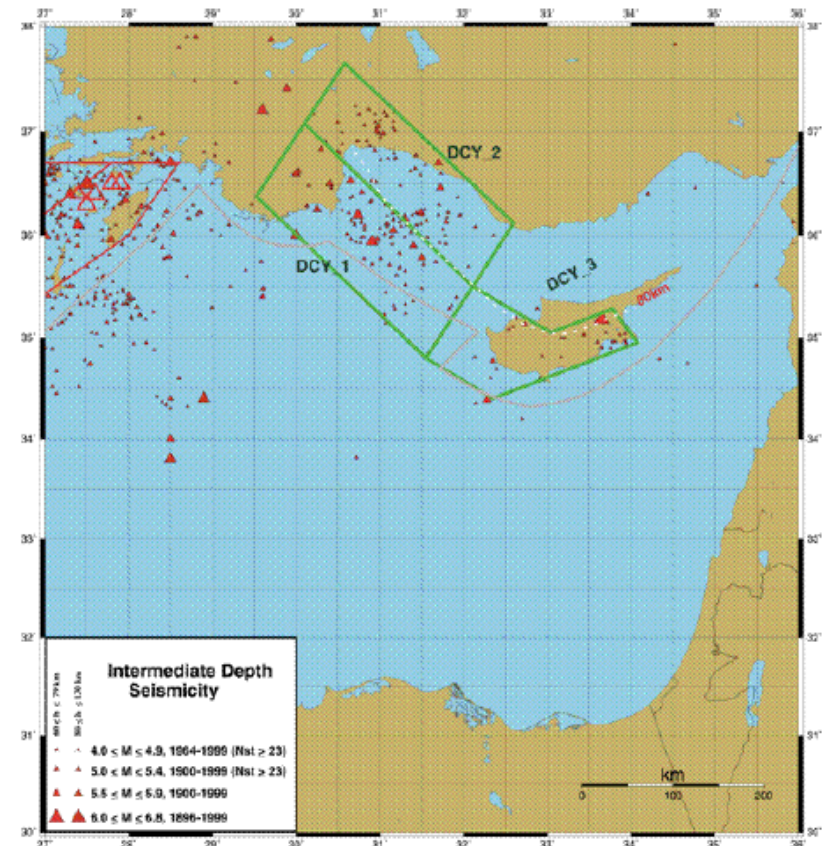
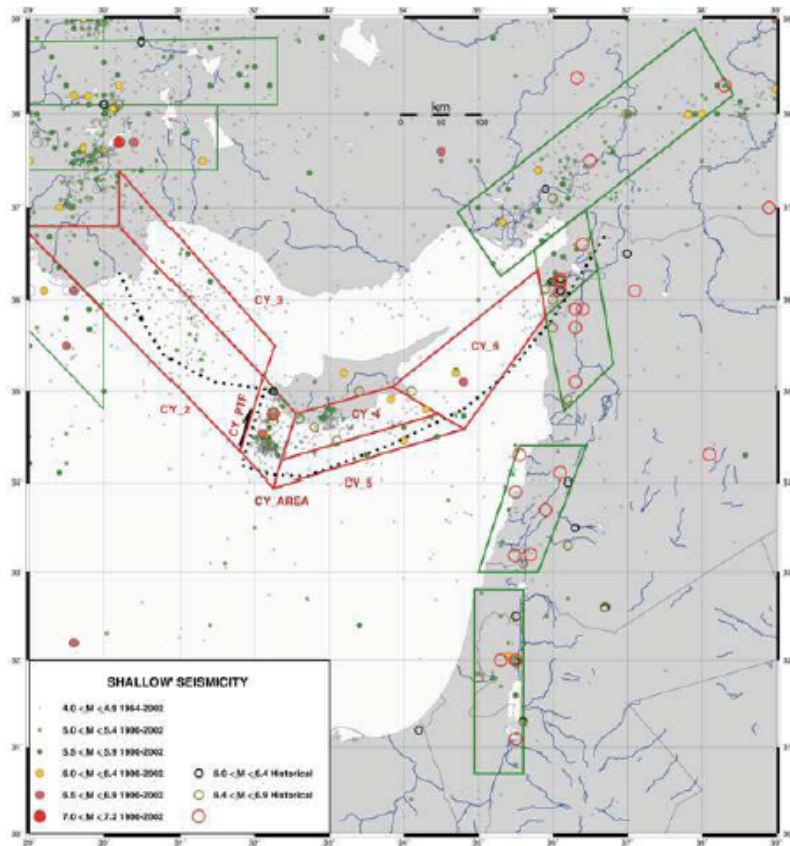
ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ & ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ (ΡΗΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ)

Παραϊοαννου (Boll. Geof. Teor. Appl. 2001)

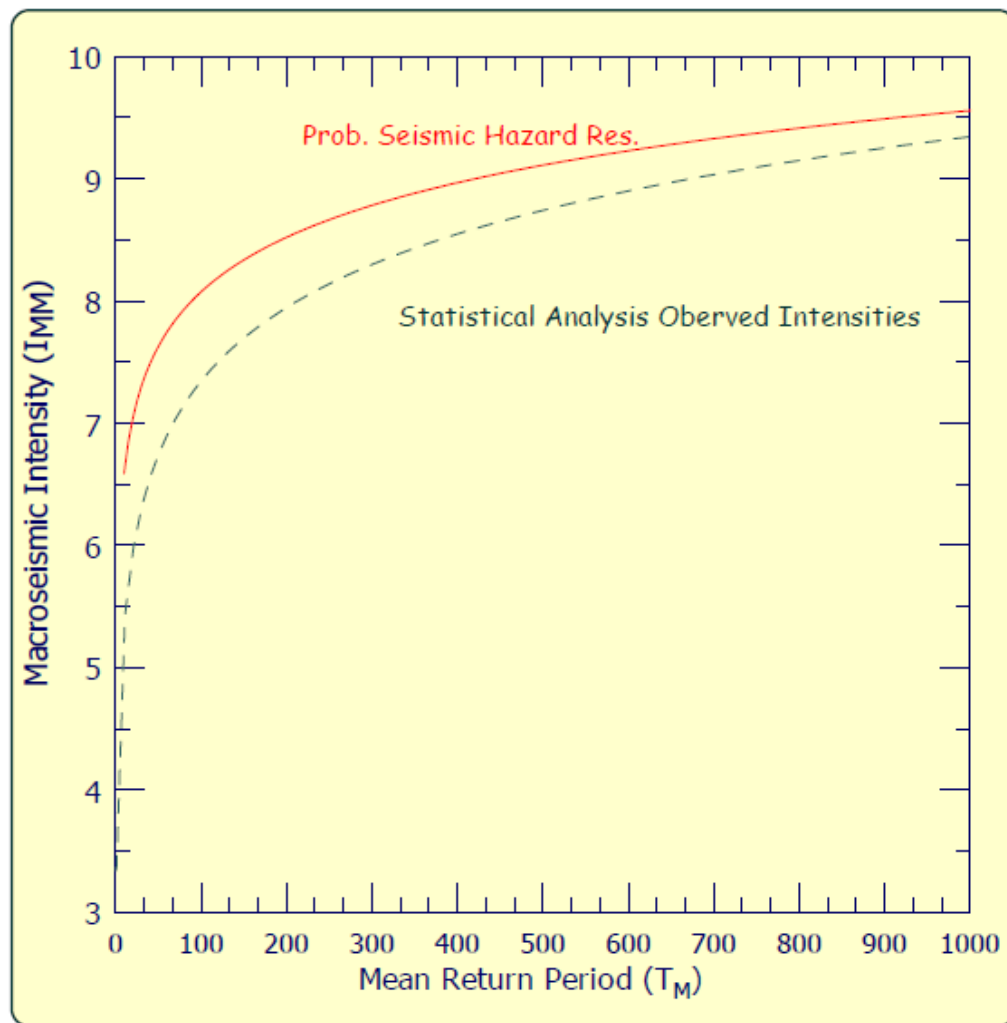
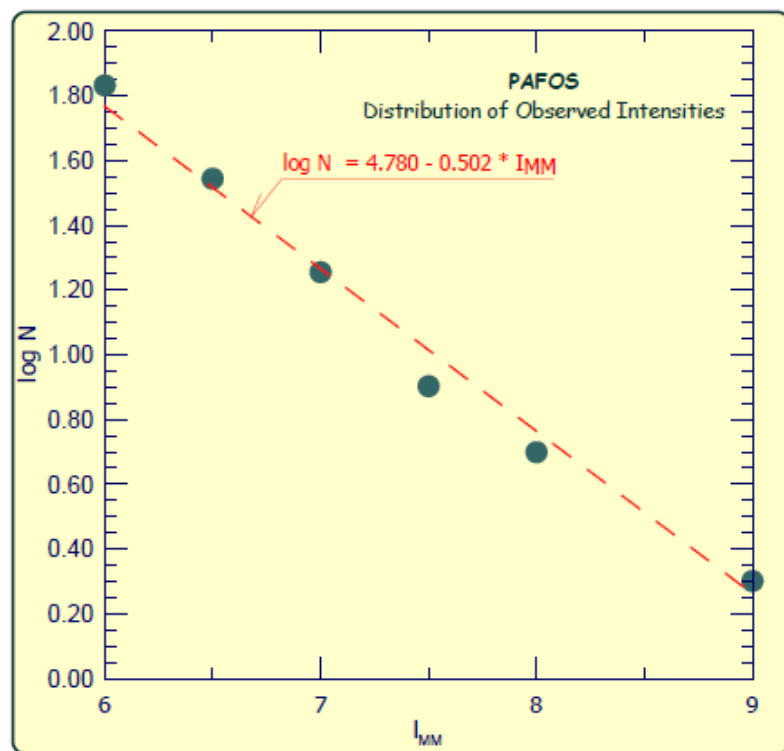
Επιφανειακοί Σεισμοί



Σεισμοί Ενδιαμέσου Βάθους

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

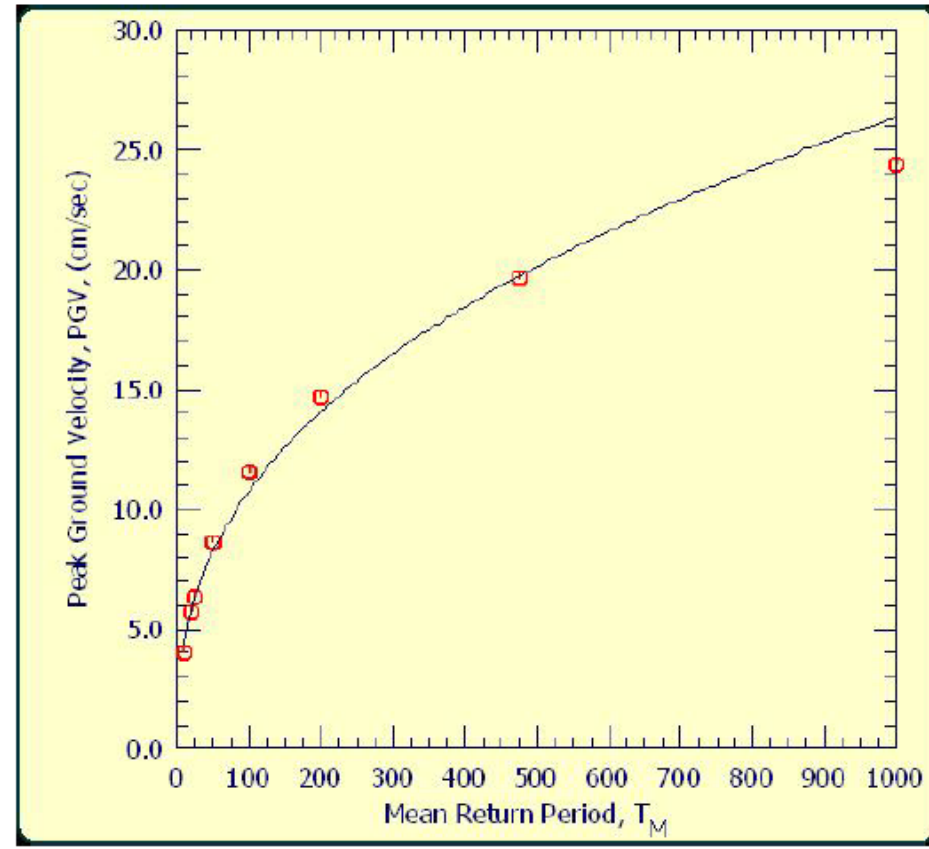
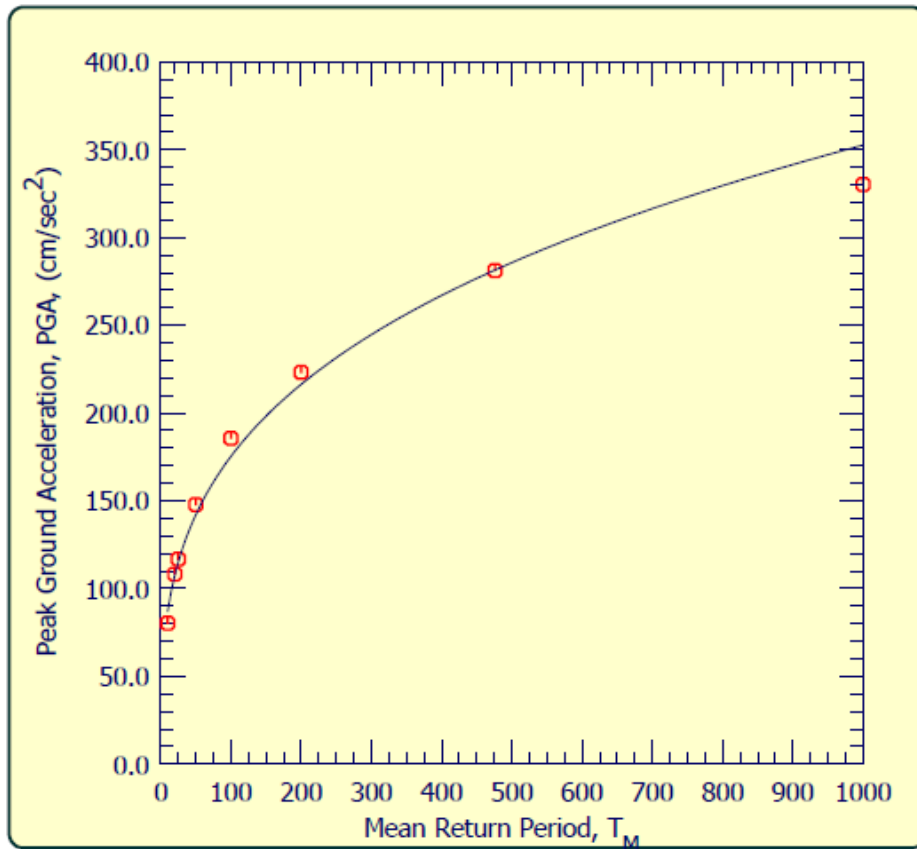
ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ



342 – 1996 $I_{MM} \geq IX$
 1491 – 1996 $I_{MM} \geq VII$
 1896 – 1996 $I_{MM} \geq VI$

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ



ISTANBUL

