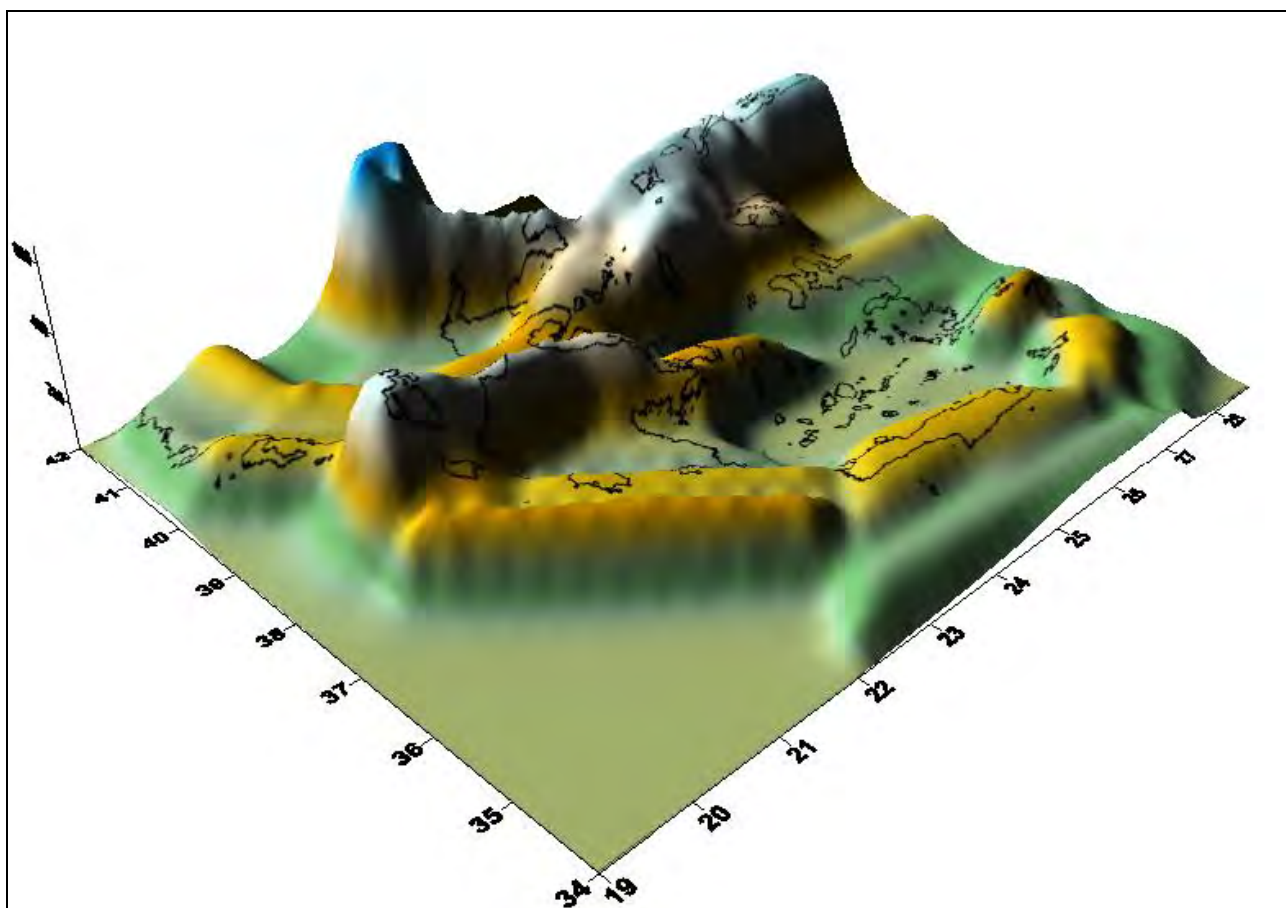


ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΑΣΠ

*“Συλλογή & επεξεργασία σεισμικών δεδομένων και εκπόνηση
νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας
συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό
και τον Ευρωκώδικα 8”*



ΑΘΗΝΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2002

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	8
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Συνοπτική Περιγραφή της μεθόδου	8
1.3 Εφαρμογή	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ	54
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	54
2.1 Μέθοδος McGuire (επιφανειακό μοντέλο)	54
2.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά της μεθόδου	54
2.1.2 Μοντέλο σεισμικών πηγών και σεισμολογικά δεδομένα	56
2.1.3 Απόσβεση παραμέτρων σεισμικής κίνησης	58
2.1.4 Εφαρμογή - Αποτελέσματα	59
2.2 Μέθοδος McGuire (γραμμικό μοντέλο)	69
2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά της μεθόδου	69
2.2.2 Εφαρμογή – Αποτελέσματα	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Έκθεση αυτή περιλαμβάνει μέρος των αποτελεσμάτων (όσον αφορά το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ) του ερευνητικού προγράμματος του ΟΑΣΠ με τίτλο “ *Συλλογή & επεξεργασία σεισμικών δεδομένων και εκπόνηση νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8*”. Οι υπολογισμοί και ο σχεδιασμός των χαρτών έγινε από τους Γ. Σταυρακάκη (Δ/ντής Γ.Ι.) και Ι. Λατουσάκη (Ερευνητής Β’ βαθμίδος). Για τη συλλογή και επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων έλαβαν μέρος οι Γ. Δρακάτος, Γερ. Παπαδόπουλος, Δ. Παπαναστασίου, (Ερευνητές Β’ βαθμίδας), Ι. Καλογεράς, Ι. Μπασκούτας (Ερευνητές Γ’ βαθμίδας), Αθ. Γκανάς (Ερευνητής Δ’ βαθμίδας).

Απρίλιος, 2002

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος

Δρ Ι. Λατουσάκης
Ερευνητής Β’, Γ.Ι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η σεισμική επικινδυνότητα των περιοχών εκτιμάται με διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθοδολογίες. Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διαφορετικά μοντέλα, τα οποία προσεγγίζουν το πρόβλημα με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με την πληρότητα των σεισμολογικών δεδομένων και ανάλογα με τις διαθέσιμες σεισμοτεκτονικές και γεωφυσικές πληροφορίες των εξεταζόμενων περιοχών.

Γενικά, τα μοντέλα αυτά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνα τα οποία εξετάζουν τα σεισμολογικά δεδομένα σαν ένα στατιστικό δείγμα και δε λαμβάνουν υπόψη σεισμικές πηγές (σημειακές, επιφανειακές, γραμμικές). Η αξιοπιστία τους εξαρτάται κύρια από τη χρονική διάρκεια των σεισμολογικών δεδομένων και την πληρότητα αυτών. Η μέθοδος των ακραίων τιμών, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική της κατηγορίας αυτής έχει εφαρμοστεί τόσο στον Ελληνικό χώρο όσο και σε άλλες περιοχές (*Makropoulos, 1978, Makropoulos and Burton, 1984a,b, Makropoulos et al. 1986; Makropoulos et al., 1988; Tsapanos and Burton, 1991; Tsapanos, 2000*).

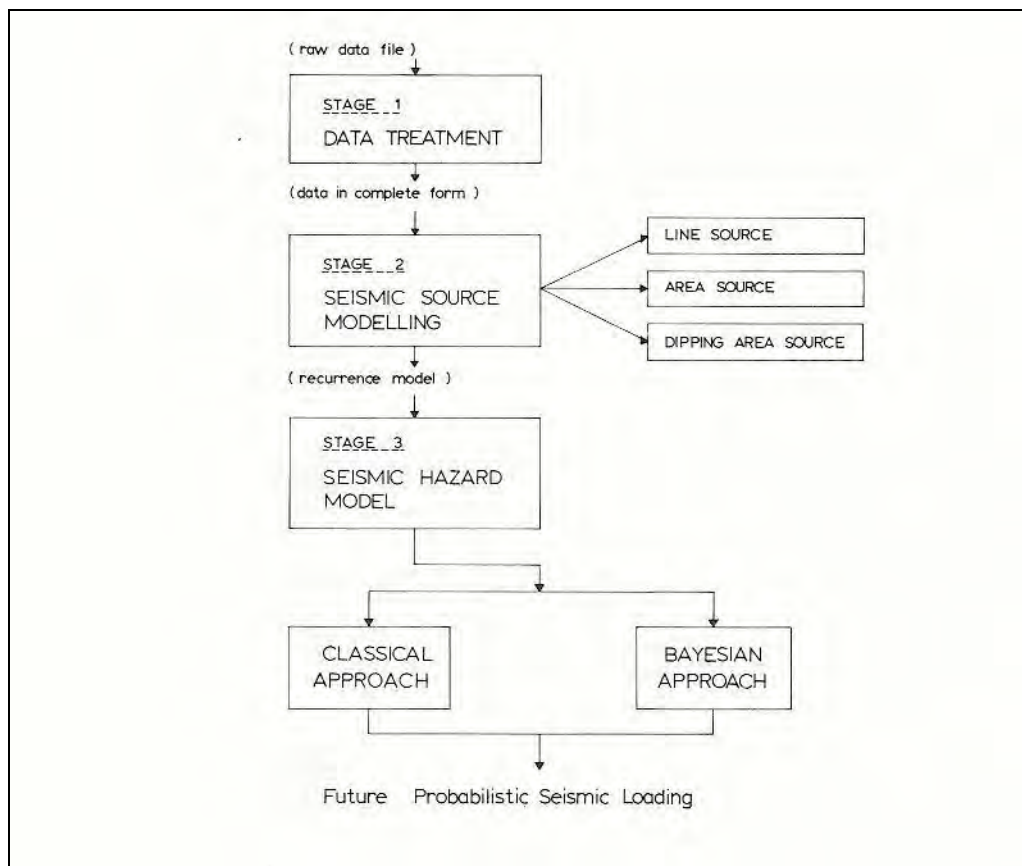
Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα μοντέλα εκείνα τα οποία λαμβάνουν υπόψη και τα σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά των περιοχών υπό την έννοια ότι η γεωγραφική κατανομή των epicέντρων των σεισμών μπορεί να συσχετιστεί με γνωστά ρήγματα (θέση, παράταξη, κλίση, μήκος, πλάτος, κλπ). Σε περιπτώσεις που η γεωγραφική κατανομή των epicέντρων παρουσιάζεται διάσπαρτη, ή η ακριβής θέση και οι λοιπές παράμετροι των ρηγμάτων δεν είναι γνωστές, τότε χρησιμοποιείται το επιφανειακό μοντέλο των σεισμικών πηγών. Η δεύτερη κατηγορία μπορεί να χωριστεί σε δύο υπο-κατηγορίες ανάλογα με το στατιστικό πρότυπο εμφάνισης των σεισμών.

Στην πρώτη εμπίπτουν τα μοντέλα εκείνα τα οποία θεωρούν ότι οι σεισμοί ακολουθούν την κατανομή Poisson με το μέσο ρυθμό εμφάνισης των σεισμών ως σταθερή παράμετρο και ότι το βάθος των σεισμικών πηγών θεωρείται σταθερό. Τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμοστεί στον Ελληνικό χώρο (*Drakopoulos and Stavrakakis, 1988; Ganas and Papoulia, 2000; Makropoulos et al., 1986; Παπαϊωάννου και συν., 1984; Papaioannou et al., 1985; Papaioannou, 1986a; Παπαϊωάννου Χρ.Α.(1986b); Papaioannou and Papazachos, 2000; Papazachos et al.,*

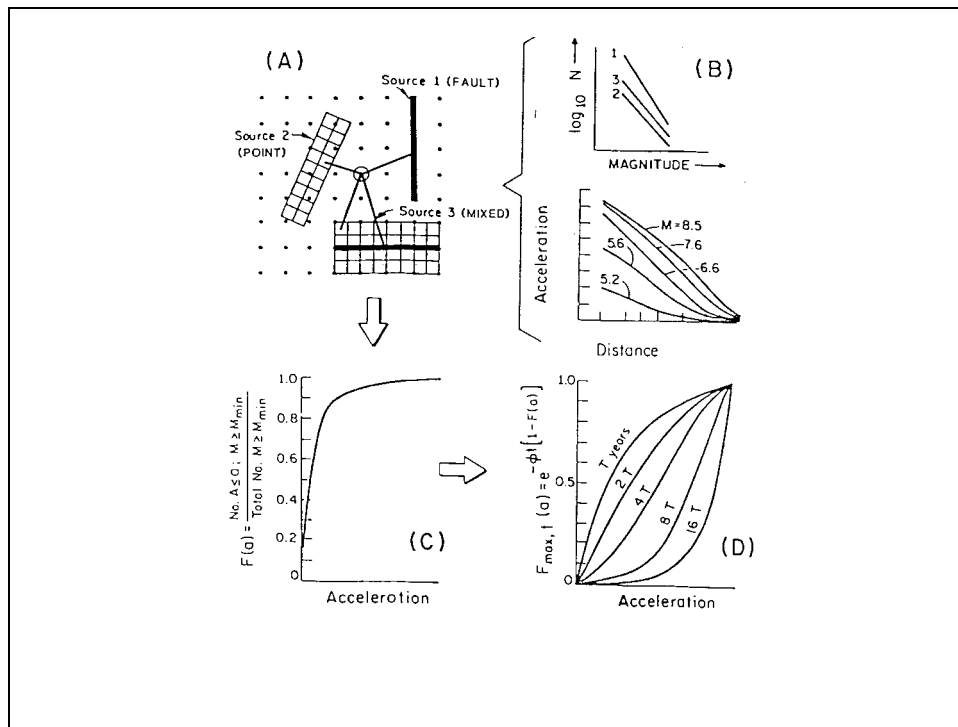
1990,1993; Papazachos and Papaioannou, 1993; Papoulia, 1992; Papoulia and Stavrakakis, 1990; Stavrakakis et al.,1986a; Stavrakakis et al., 1986b; Stavrakakis, 1987a; Stavrakakis et al., 1987b; Stavrakakis and Drakopoulos,1988; Stavrakakis and Papoulia, 1989; Stavrakakis and Papoulia, 1990; Stavrakakis et al., 1997).

Στη *δεύτερη* εμπίπτουν τα μοντέλα εκείνα τα οποία εισάγουν έννοιες της Bayesian στατιστικής όσον αφορά την εμφάνιση των σεισμών, η οποία θεωρείται και πάλι Poissonian, αλλά η παράμετρος λ (μέσος ρυθμός εμφάνισης των σεισμών) είναι τυχαία μεταβλητή και υπολογίζεται η *a priori* και *a posteriori* κατανομή της. Το μέγεθος των σεισμών θεωρείται ότι ακολουθεί την κατανομή Bernoulli και υπολογίζεται η αδέσμευτη κατανομή των σεισμών μεγεθών. Τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμοστεί για τον Ελληνικό χώρο (Σταυρακάκης, 1985; Stavrakakis and Tselentis, 1987; Papadopoulos, 1987; Stavrakakis and Drakopoulos, 1991; Stavrakakis and Drakopoulos, 1995; Papoulia et al., 1996; Papoulia et al., 2001; Tsapanos et al., 2001, Galanis et al., 2001). Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες που ενυπάρχουν στις σχέσεις απόσβεσης, (θεωρώντας την κατανομή των τιμών ως προς τη μέση τιμή και όχι απλά την τυπική απόκλιση αυτών) καθώς επίσης και την κλίση των σεισμικών πηγών.

Πάντως, σε όλες τις περιπτώσεις η σεισμική επικινδυνότητα (στάθμη των αναμενόμενων εδαφικών παραμέτρων με προκαθορισμένο επίπεδο πιθανότητας υπέρβασης σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα), υπολογίζεται από τη συνέλιξη της σεισμικότητας των διαφορετικών σεισμικών πηγών και των σχέσεων απόσβεσης της σεισμικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης (Cornell, 1968,1971). Όλα τα προαναφερθέντα συνοψίζονται στα **Σχήματα I** (Stavrakakis et al., 1986b) και **II** (Algermisen et al., 1982)



Σχήμα Ι: Γενικό διάγραμμα ροής υπολογισμού της σεισμικής επικινδυνότητας των περιοχών (Stavrakakis et al., 1986b)



Σχήμα II: Τρόπος υπολογισμού της σεισμικής επικινδυνότητας των περιοχών (Algermissen et al., 1982)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται εφαρμογή της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood method) με σκοπό να υπολογιστούν η πιθανότητα υπέρβασης ή μη προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών καθώς επίσης και η περίοδος επανάληψης αυτών .

1.2 Συνοπτική Περιγραφή της Μεθόδου

Οι *Kijko and Sellevoll (1989)* πρότειναν τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τη στατιστική ανάλυση των σεισμικών μεγεθών που αναμένονται να εμφανιστούν σε κάποια περιοχή. Η μέθοδος αυτή θεωρείται βελτιωμένη εκείνης των ακραίων τιμών και βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- (1) Η εμφάνιση των σεισμών ακολουθεί τους νόμους της κατανομής Poisson, και
- (2) Τα σεισμικά μεγέθη ακολουθούν την διπλή κολοβή εκθετική κατανομή (doubly truncated exponential distribution).

Τα δεδομένα της μεθόδου είναι:

- (1) Κατάλογος ιστορικών σεισμών, ο οποίος περιλαμβάνει μόνο τους μεγαλύτερους σεισμούς (extremes), χωρίς να απαιτείται να ικανοποιείται το κριτήριο της πληρότητας.
- (2) Κατάλογος σεισμών με πλήρη σεισμολογικά δεδομένα και ο οποίος υποδιαιρείται σε υπό-καταλόγους με διαφορετική πληρότητα των σεισμικών μεγεθών,
- (3) Μέγιστο μέγεθος σεισμού

Τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι:

- (1) Το μέσο ποσοστό εμφάνισης των σεισμών με προκαθορισμένο μέγεθος,
- (2) Η παράμετρος **b** της σχέσης $\log N(m) = a - bm$, όπου $N(m)$ είναι ο συσσωρευτικός αριθμός των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του m ,

- (3) Οι αβεβαιότητες, συνδεδεμένες με τις προαναφερθέντες παραμέτρους,
- (4) Η περίοδος επανάληψης των σεισμικών μεγεθών,
- (5) Η πιθανότητα υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών.

Σύμφωνα με την αρχή της συσχέτισης δεδομένων, (βλέπε *Kijko and Sellevoll, 1989* και για τα σύμβολα που ακολουθούν) προκύπτει ότι η συνάρτηση πιθανοφάνειας του υποκαταλόγου που περιέχει μόνο τους μέγιστους (extremes) ιστορικούς σεισμούς και των καταλόγων που περιέχουν πλήρη στοιχεία, θα είναι:

$$L(\Theta / m) = \prod_{i=0}^S L_i(\Theta / m_i) \quad (1.1)$$

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων $\Theta = (\beta, \lambda)$ (συνάρτηση σεισμικότητας) ακολουθείται η διαδικασία της μέγιστης πιθανότητας, σύμφωνα με την οποία η σχέση (1.1) θα παρουσιάζει μέγιστο. Η λύση, προϋποθέτει:

$$\Psi_1^E + \Psi_1^C = 0 \quad (1.2)$$

$$\Psi_2^E + \Psi_2^C = 0 \quad (1.3)$$

όπου:

$$\Psi_1^E = - \sum_{j=1}^n t_j \frac{G(\underline{x}_{oj} | t_j) cF(\underline{x}_{oj}) - G(\bar{x}_{oj} | t_j) cF(\bar{x}_{oj})}{G(\underline{x}_{oj} | t_j) - G(\bar{x}_{oj} | t_j)},$$

$$\Psi_2^E = \lambda \sum_{j=1}^n t_j \frac{G(\underline{x}_{oj} | t_j) B(\underline{x}_{oj}) - G(\bar{x}_{oj} | t_j) B(\bar{x}_{oj})}{G(\underline{x}_{oj} | t_j) - G(\bar{x}_{oj} | t_j)}$$

$$\Psi_1^C = \frac{n_c}{\lambda} - \sum_{i=1}^S T_i cF(m_i),$$

$$\Psi_2^C = \sum_{i=1}^S (D_{1i} + D_{2i}),$$

$$B(x) = c(m_{\min}, m_{\max}) F(x) - E(m_{\min}, x) ,$$

$$c(x, y) = [x A(x) - y A(y)] / [A(x) - A(y)] ,$$

$$D_{1i} = n_i c(m_i, m_{\max}) - \sum_{j=1}^n c(\underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij}) ,$$

$$D_{2i} = [\lambda T_i - n_i / cF(m_i)] B(m_i) ,$$

$$E(x, y) = [x A(x) - y A(y)] / [A(x) - A(y)] ,$$

$cF(x)$ είναι η συνάρτηση συσσωρευτικής πιθανότητας ίση με $1 - F(x)$ και $n_c = \sum_{i=1}^s n_i$ είναι ο αριθμός των σεισμών που περιέχει ο πλήρης κατάλογος. Το σύμβολο, C αναφέρεται στον πλήρη κατάλογο, και το E , στα μέγιστα (extremes).

Σύμφωνα με τους *Kijko and Sellevoll (1989)*, η συνθήκη:

$$X_{\max} = EXPECT(X_{\max} | T) \quad (1.4)$$

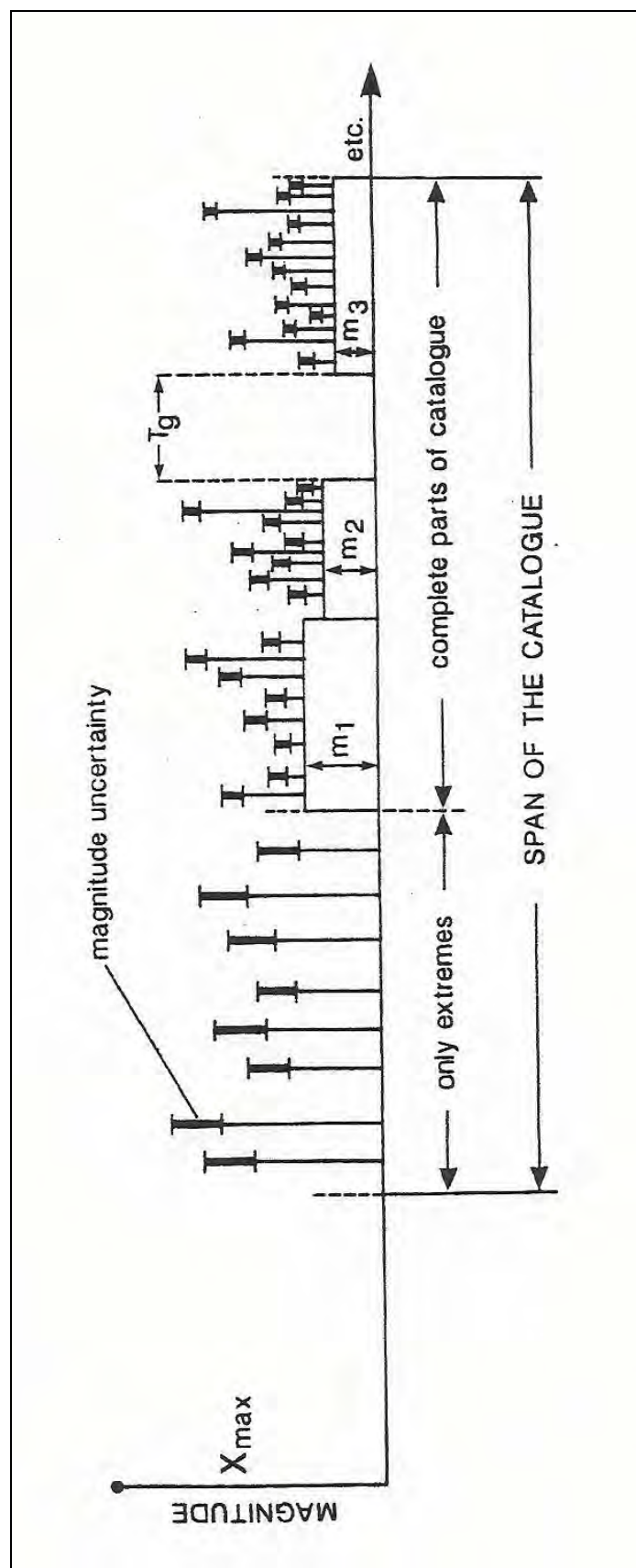
ότι δηλαδή το μέγιστο μέγεθος που έχει παρατηρηθεί είναι ίσο με $EXPECT(X_{\max} | T)$, και ότι το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος στο χρονικό διάστημα T είναι:

$$EXPECT(X_{\max} | T) = m_{\max} - \frac{E_1(TZ_2) - E_2(TZ_1)}{\beta \exp(-TZ_2)} - m_{\min} \exp(-\lambda T) \quad (1.5)$$

όπου: $Z_i = -\lambda A_i / (A_2 - A_1)$, $i = 1, 2$.

Οι εξισώσεις (1.1) - (1.5) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των βασικών παραμέτρων β ($\mathbf{b} = \mathbf{b} \log e$), λ (μέσο ποσοστό εμφάνισης σεισμών, και m_{\max} (μέγιστος σεισμός).

Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου δίνεται από *Kijko and Sellevoll (1989)* και από *Papadopoulos and Kijko (1991)*. Εφαρμογή της μεθόδου αυτής στον Ελληνικό χώρο έχει γίνει από *Stavarakis, 1990; Papadopoulos and Kijko 1991; Papoulia and Stavarakis, 1995*. Η γενική φιλοσοφία της μεθοδολογίας απεικονίζεται στο **Σχήμα 1**.



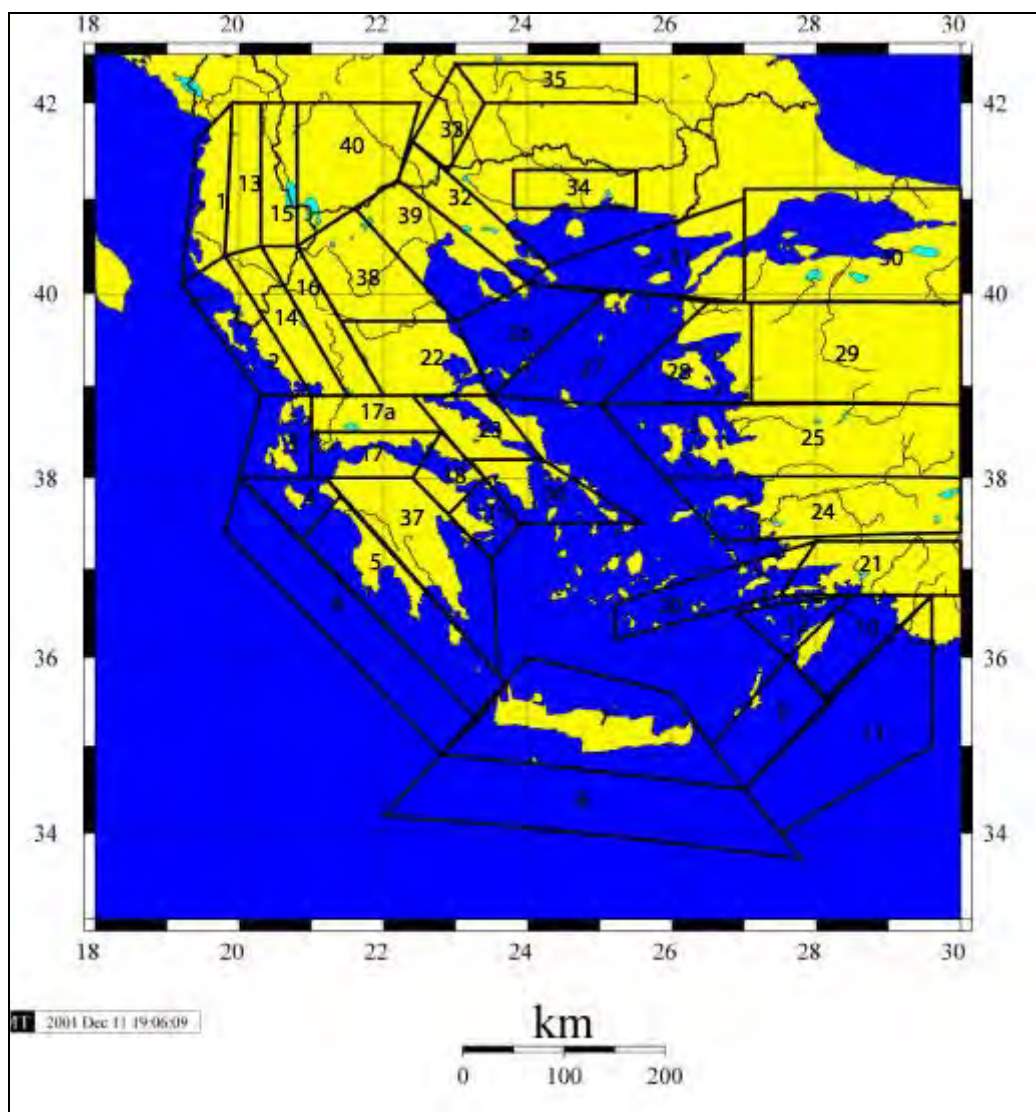
Σχήμα 1: Τρόπος απεικόνισης ιστορικών (μέγιστα) και ενόργανων (πλήρη) σεισμολογικών δεδομένων στη μέθοδο Kijko and Sellevoll (1989)

1.3 Εφαρμογή

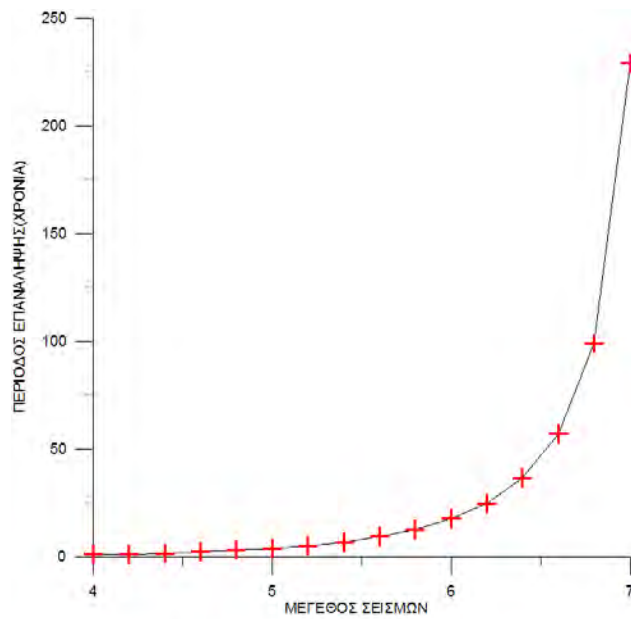
Για τον Ελληνικό χώρο και το μοντέλο των σεισμικών πηγών του **Σχήματος 2** χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι κατάλογοι σεισμών:

- (α) Ο κατάλογος ιστορικών σεισμών *Papazachos and Papazachou (1989;1997)* για τη χρονική περίοδο 550 BC - 1899,
- (β) Τα συμπληρωματικά στοιχεία σύμφωνα με *Papadopoulos et al. (2000)*, *Papadopoulos and Plessa (2001)*, *Papadopoulos and Vassilopoulou (2001)*,
- (γ) Ο κατάλογος *Makropoulos et al. (1989)* με ενόργανα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1900-1949,
- (δ) Ο κατάλογος του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου για τη χρονική περίοδο 1964-2000, όπως βελτιώθηκε από *Papanastassiou et al. (2001)* για τη χρονική περίοδο 1950-2000.

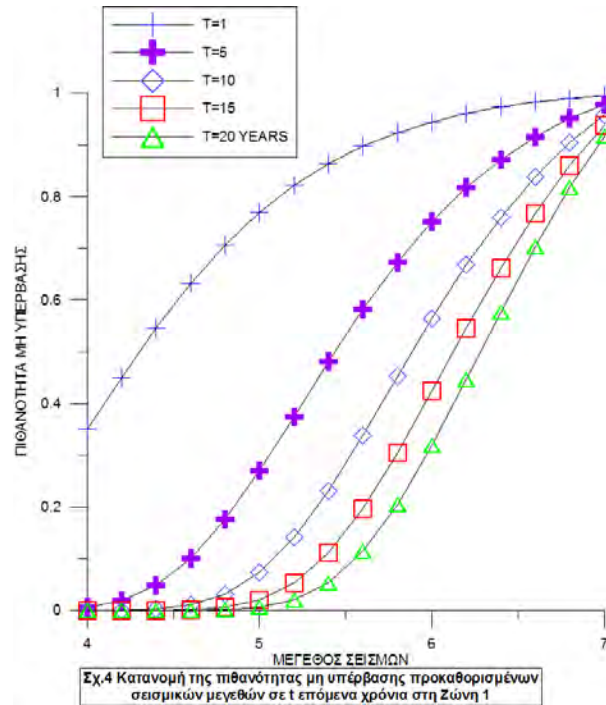
Βάσει των σεισμολογικών στοιχείων και της προαναφερθείσας μεθοδολογίας, υπολογίσαμε τις βασικές παραμέτρους β , λ , m_{\max} , την πιθανότητα να μη ξεπεραστούν προκαθορισμένα σεισμικά μεγέθη σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, καθώς επίσης και τη περίοδο επανάληψης αυτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα **Σχήματα 3 – 82**.



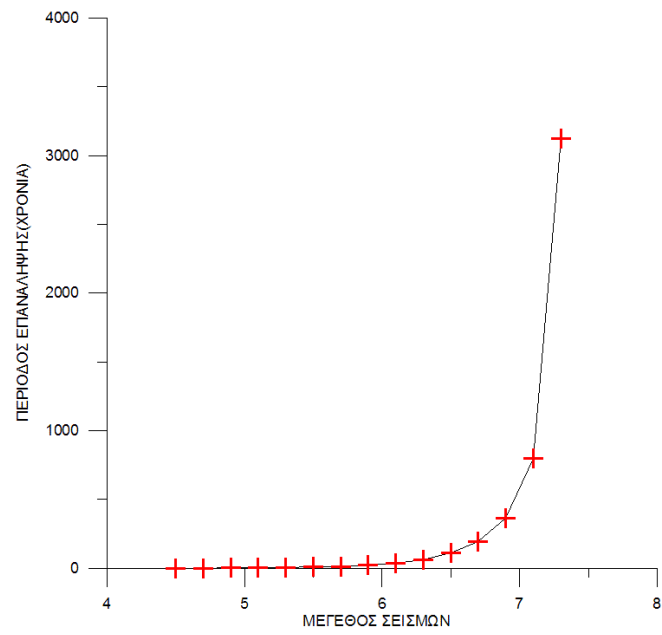
Σχ.2 Μοντέλο Επιφανειακών Σεισμικών Πηγών του Ελληνικού χώρου και των γειτονικών περιοχών (Βασικό μοντέλο από Papazachos, 1989)



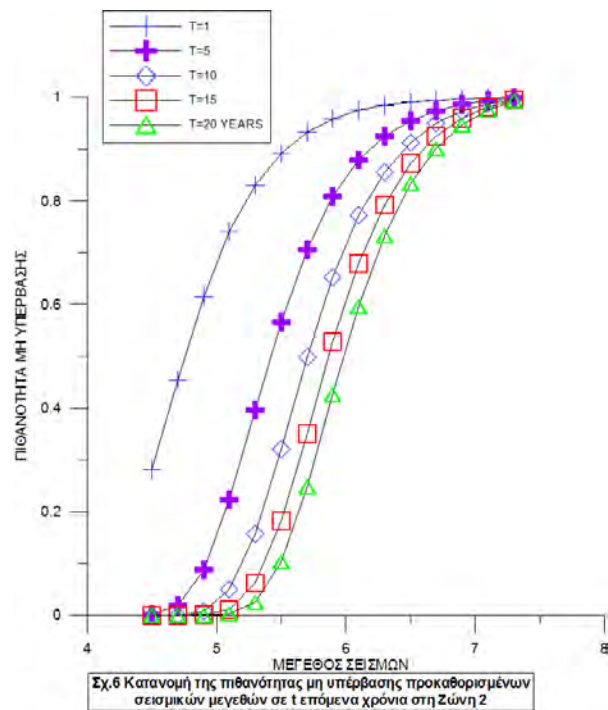
Σχ.3 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 1



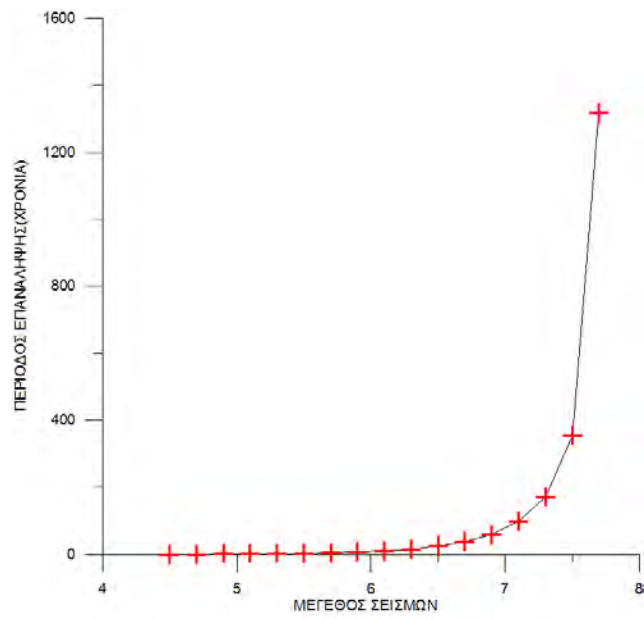
Σχ.4 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 1



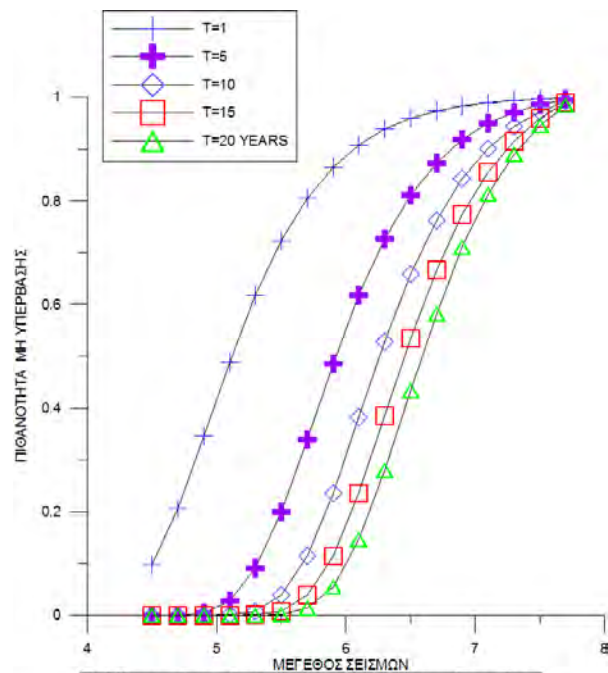
Σχ.5 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 2



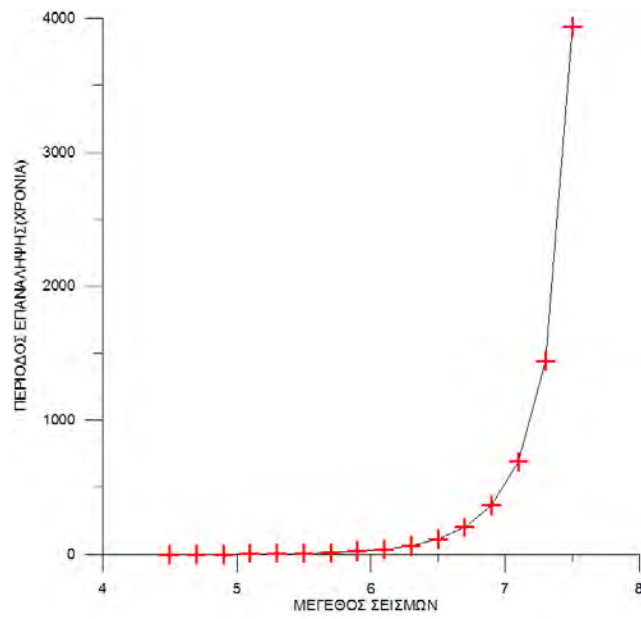
Σχ.6 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 2



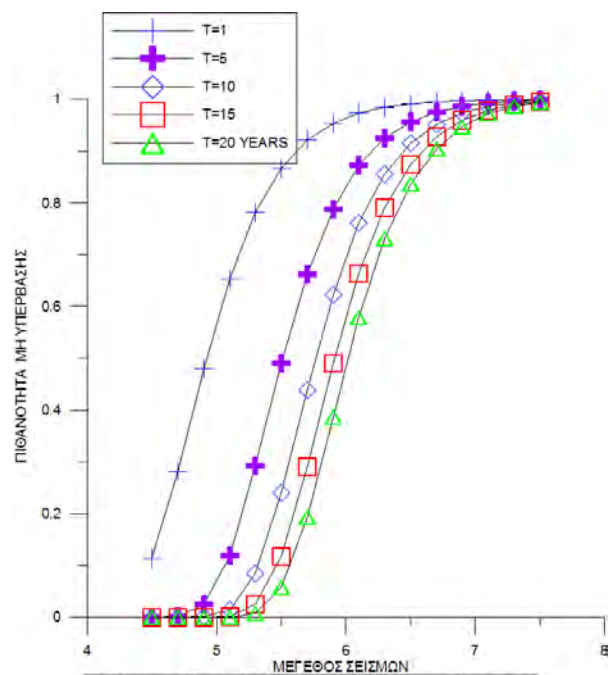
Σχ.7 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 3



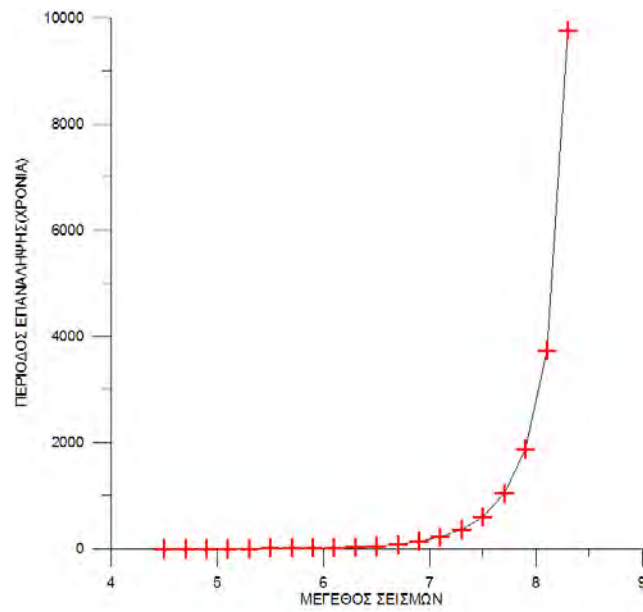
Σχ.8 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 3



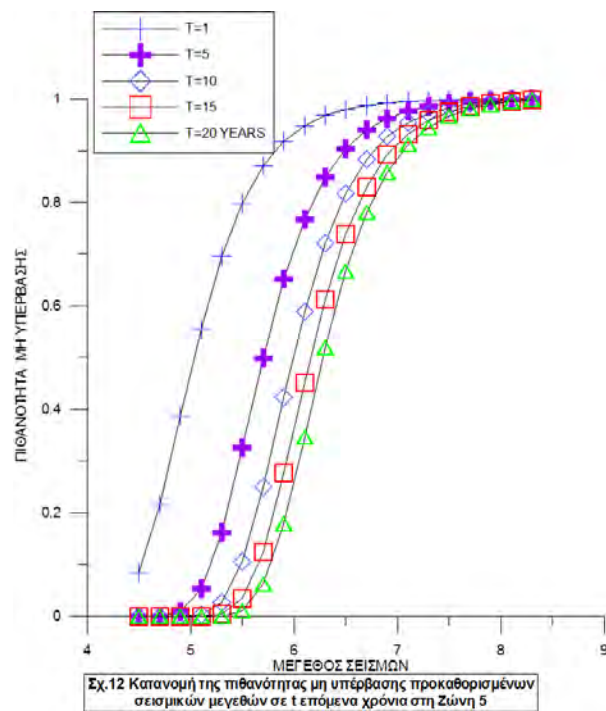
Σχ.9 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 4



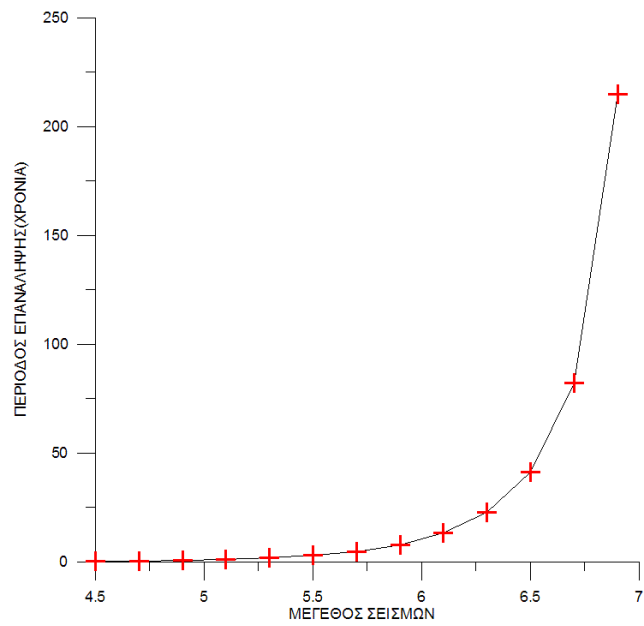
Σχ.10 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 4



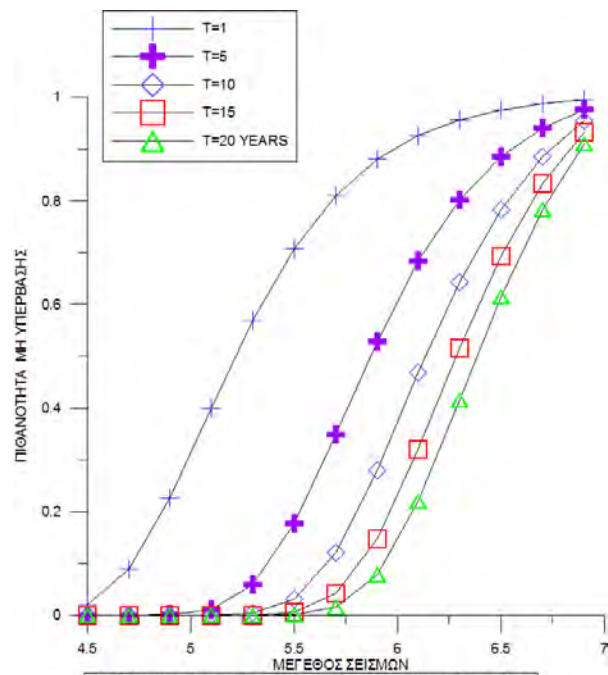
Σχ.11 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 5



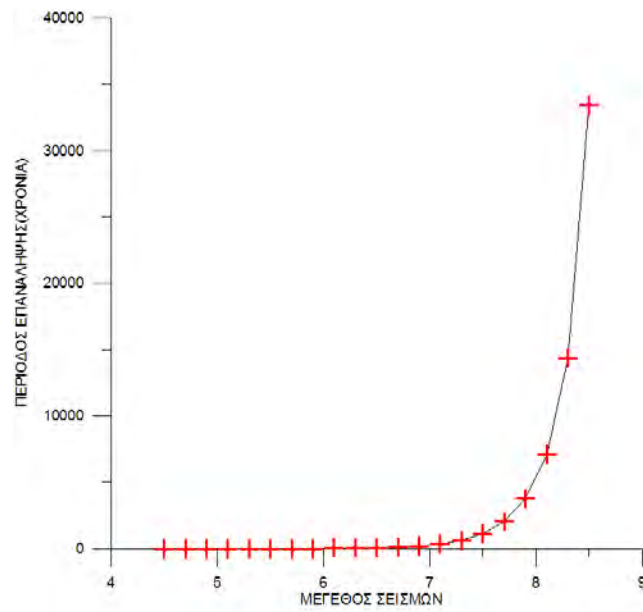
Σχ.12 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 5



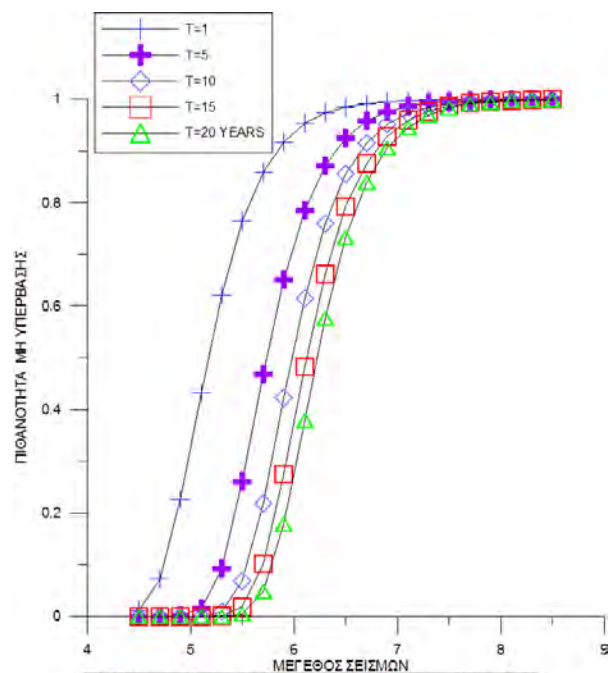
Σχ.13 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 6



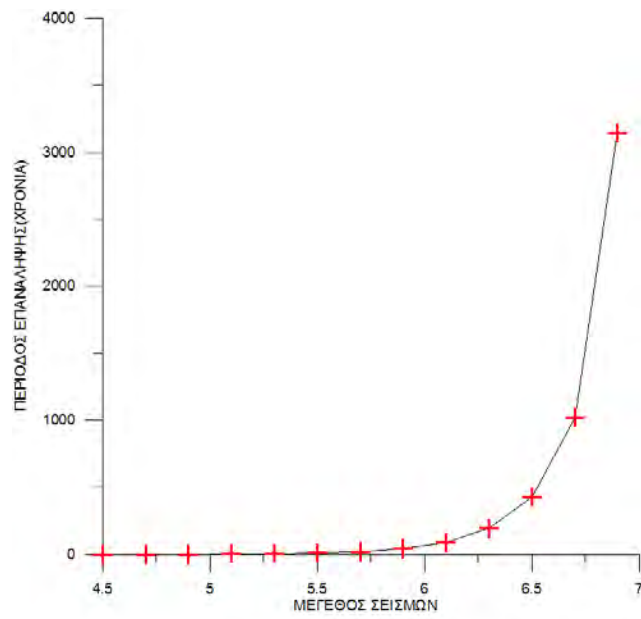
Σχ.14 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 6



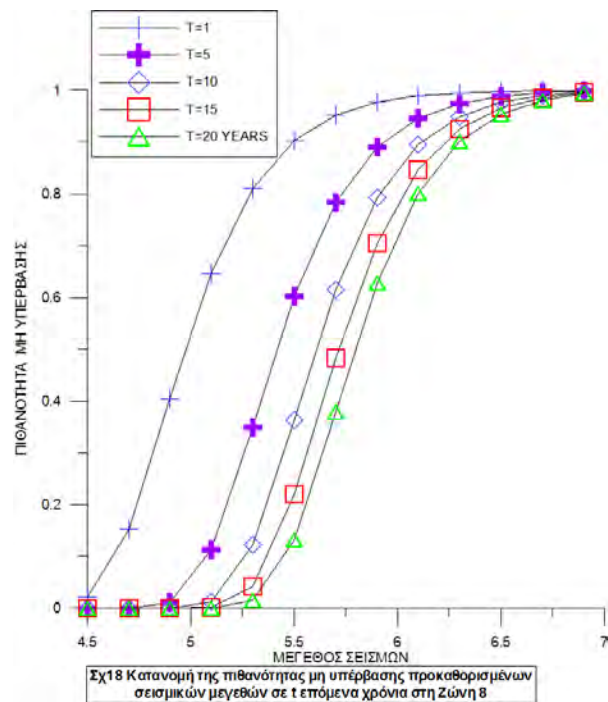
Σχ.15 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 7



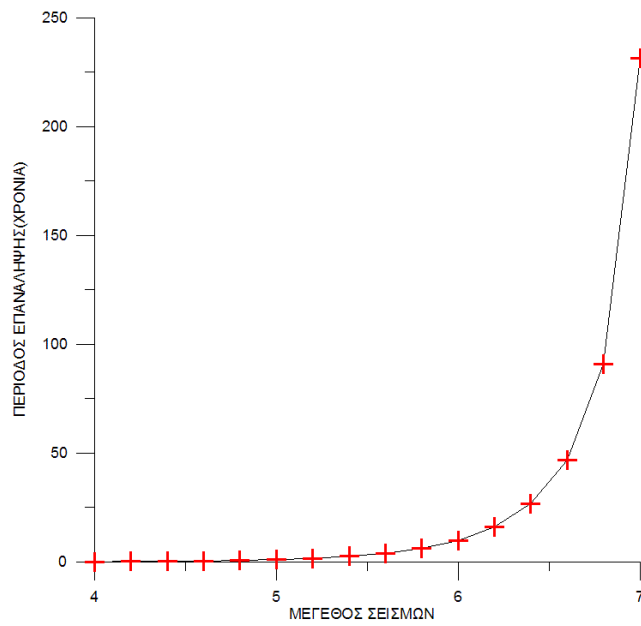
Σχ.16 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 7



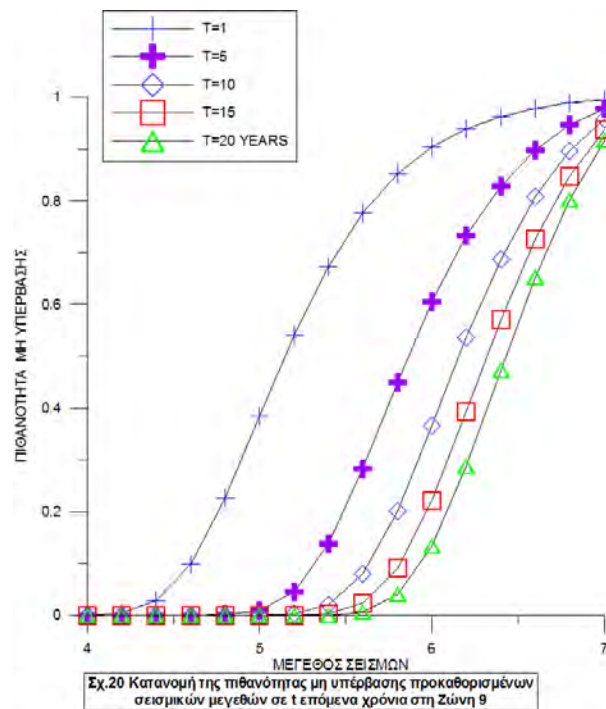
Σχ.17 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 8



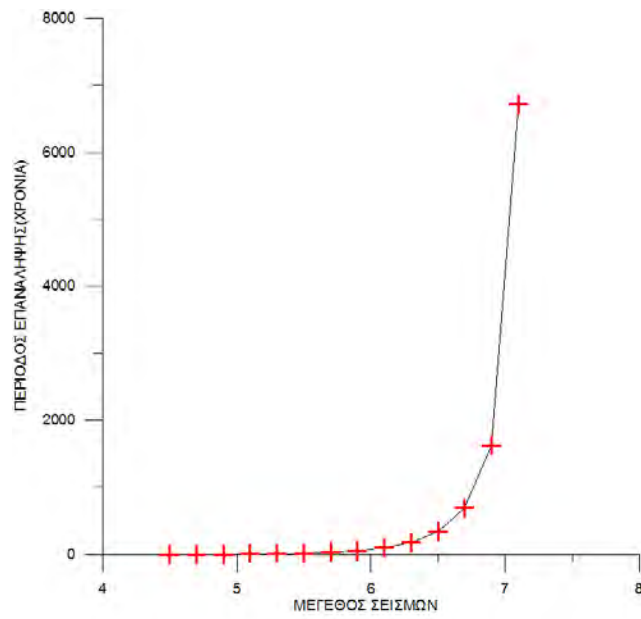
Σχ.18 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 8



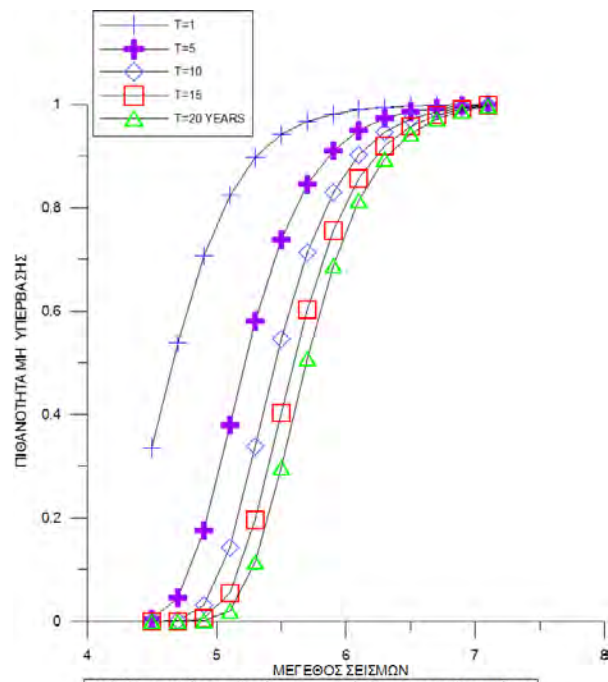
Σχ.19 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 9



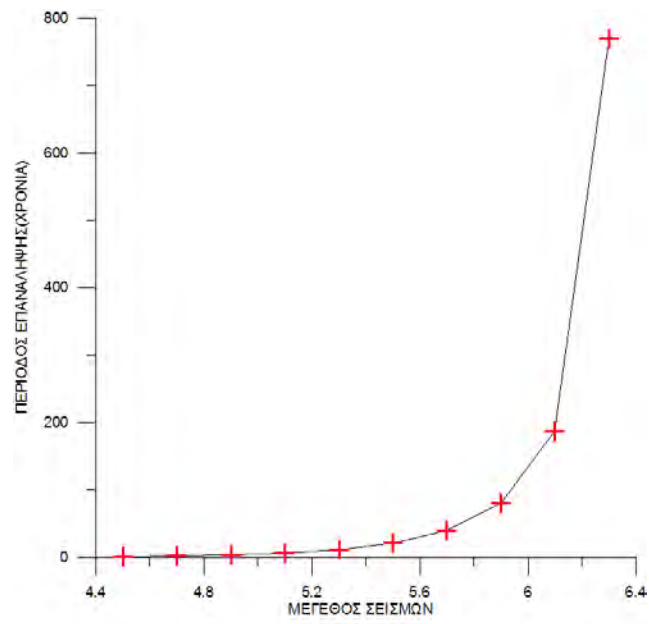
Σχ.20 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 9



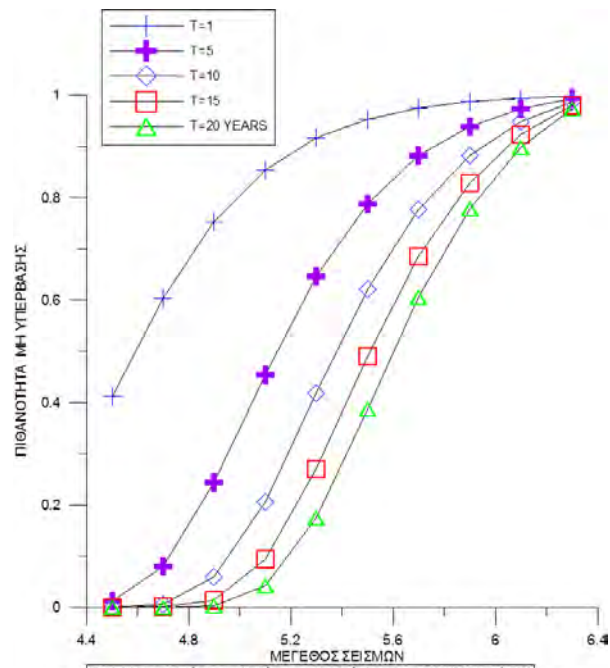
Σχ.21 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 10



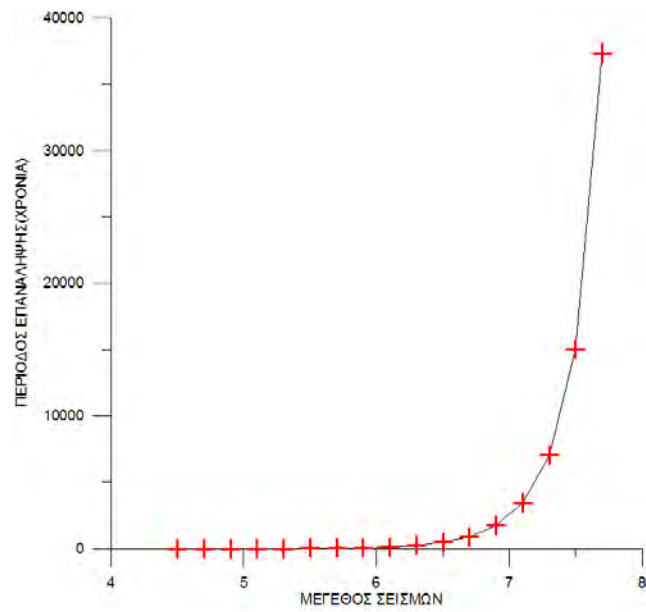
Σχ.22 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 10



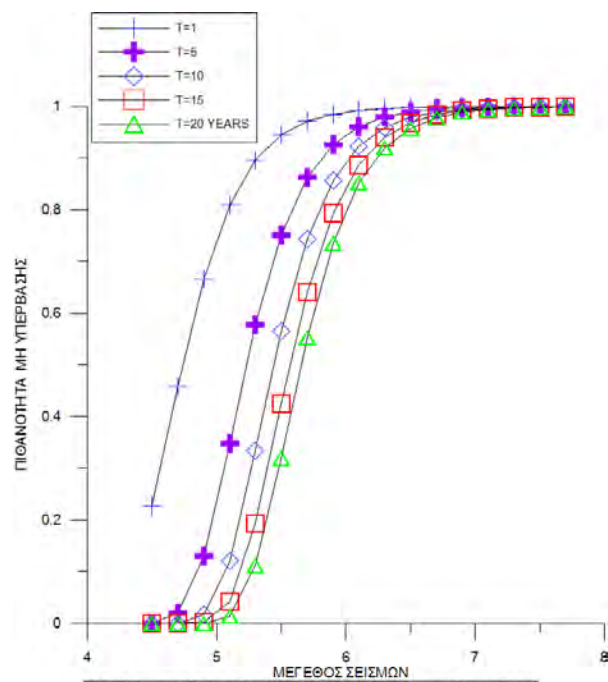
Σχ.23 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 11



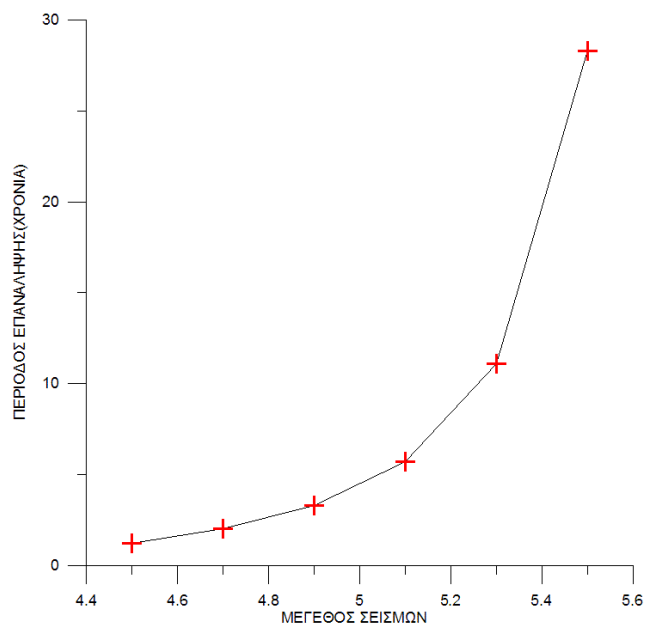
Σχ.24 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 11



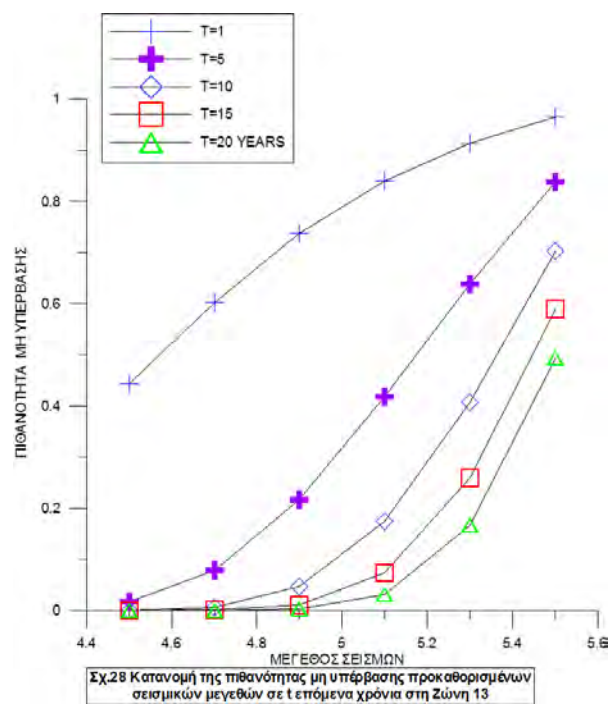
Σχ.25 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 12



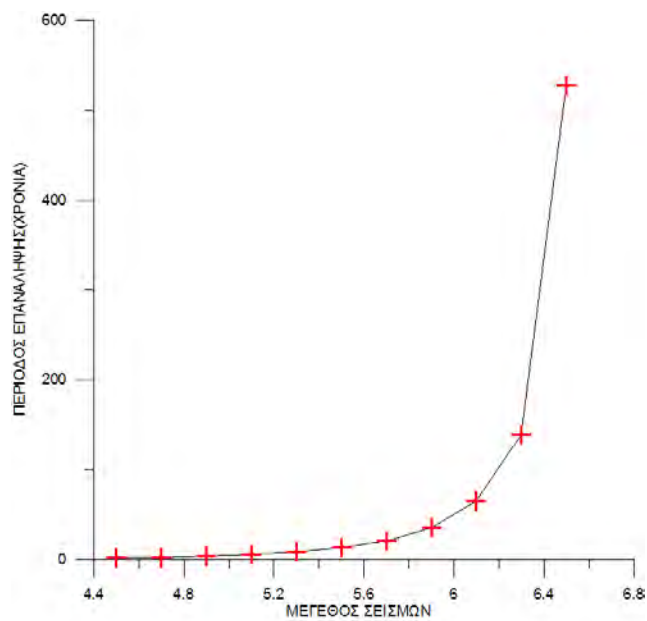
Σχ.26 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 12



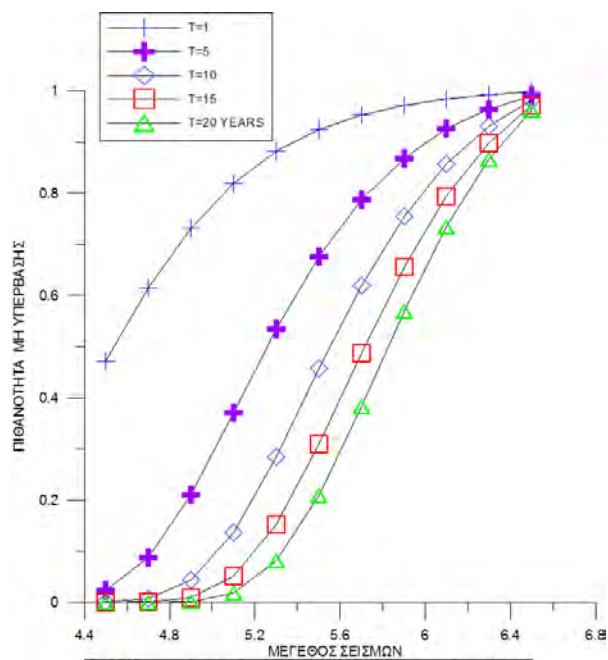
Σχ.27 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 13



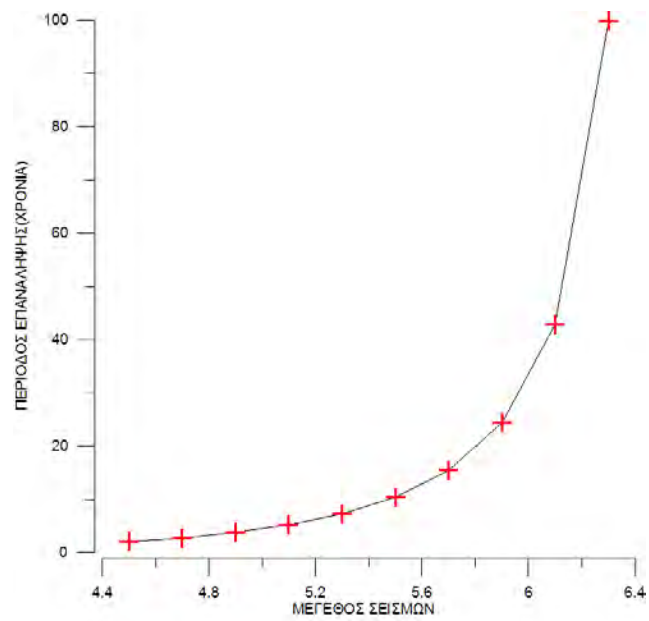
Σχ.28 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 13



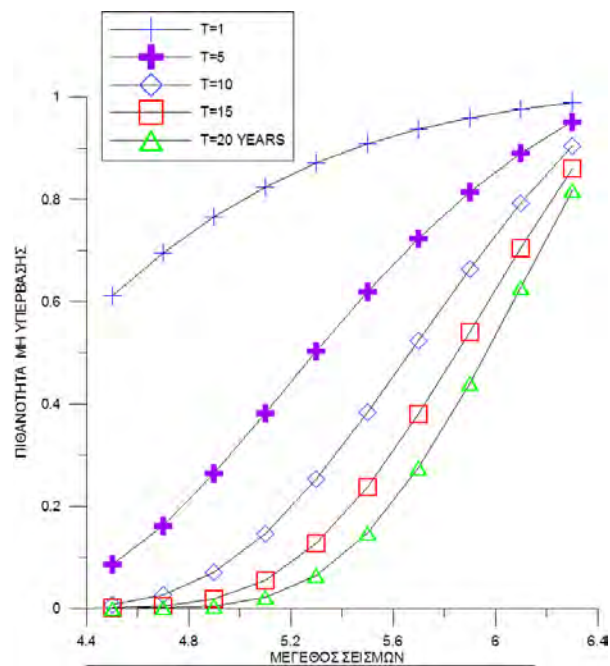
Σχ.29 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 14



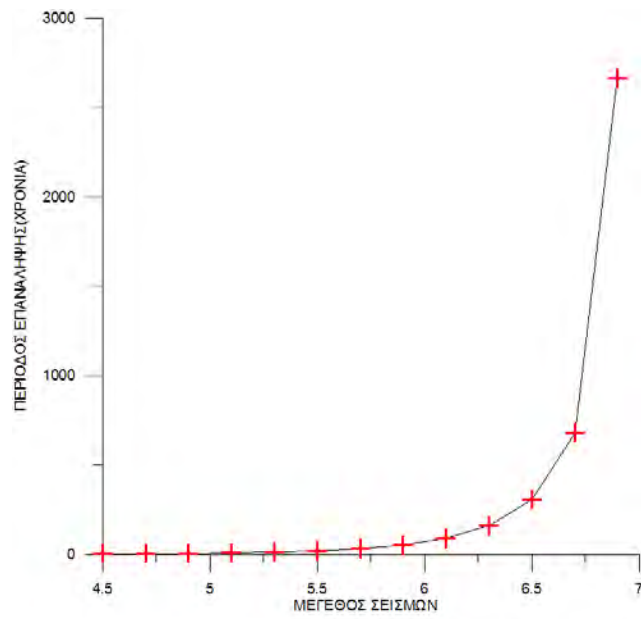
Σχ.30 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε τ επόμενα χρόνια στη Ζώνη 14



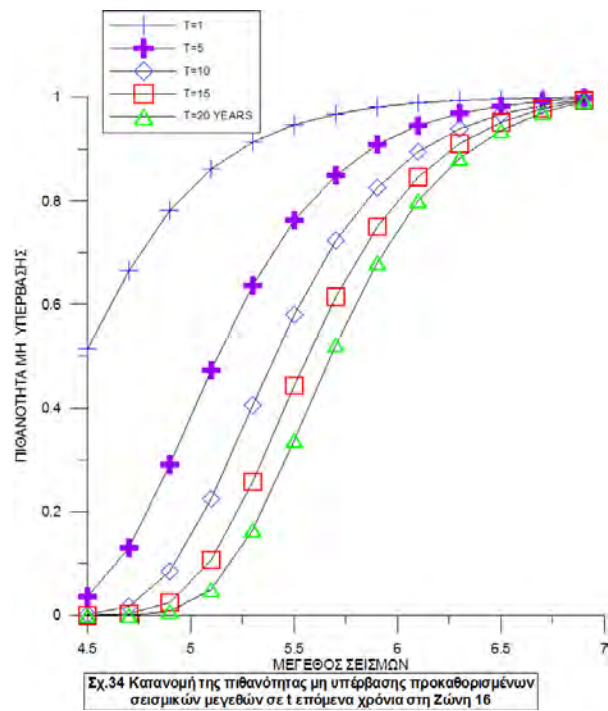
Σχ.31 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 15



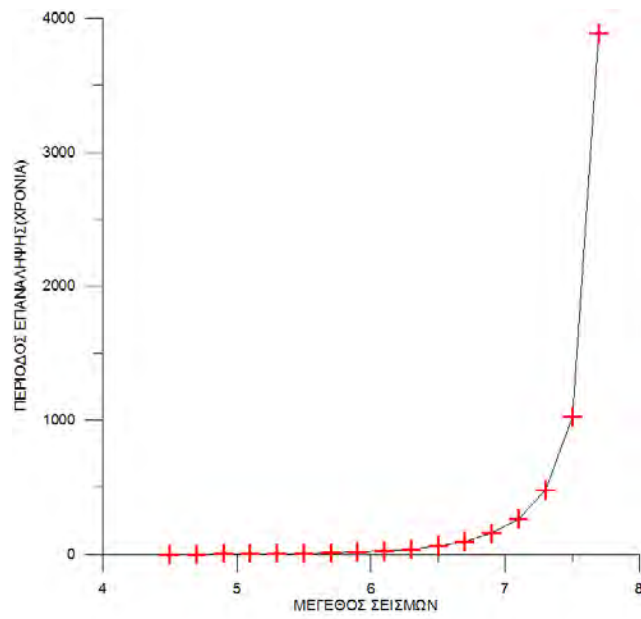
Σχ.32 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 15



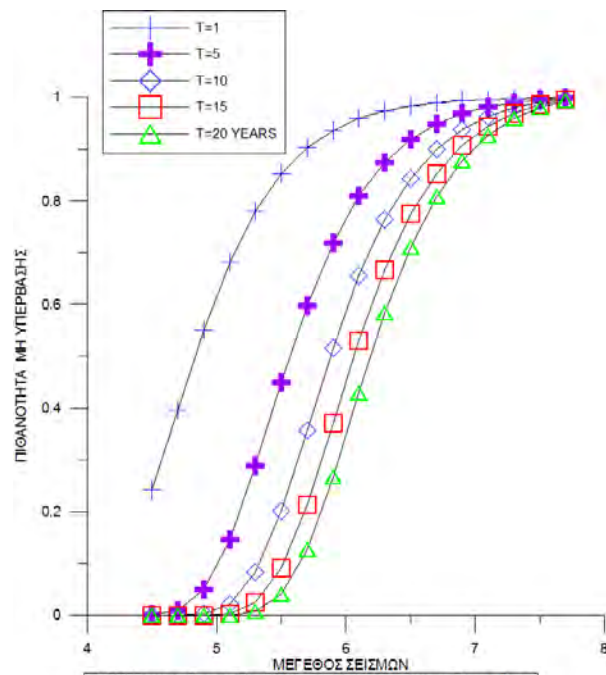
Σχ.33 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 16



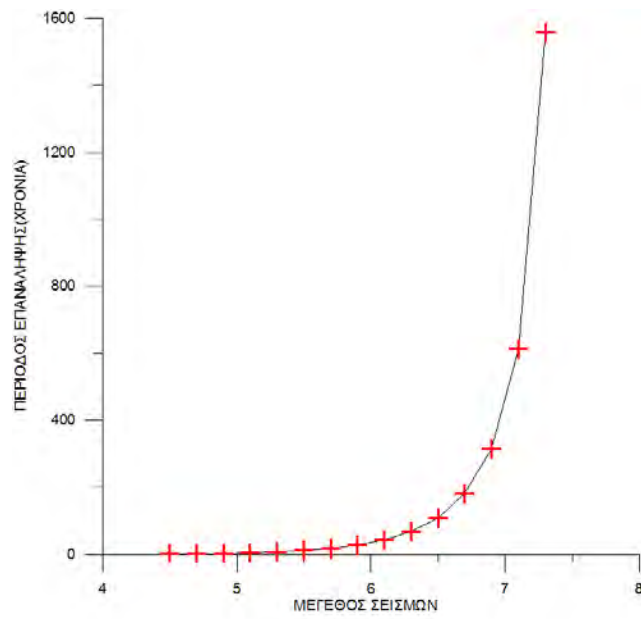
Σχ.34 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 16



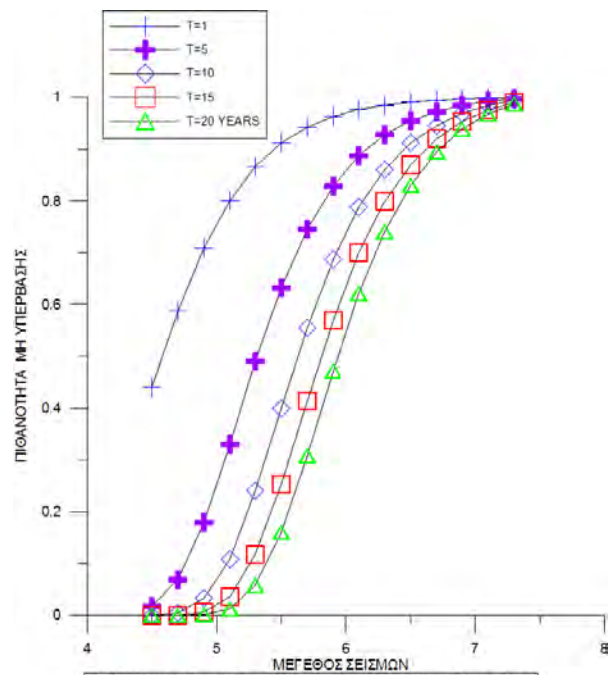
Σχ.35 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 17



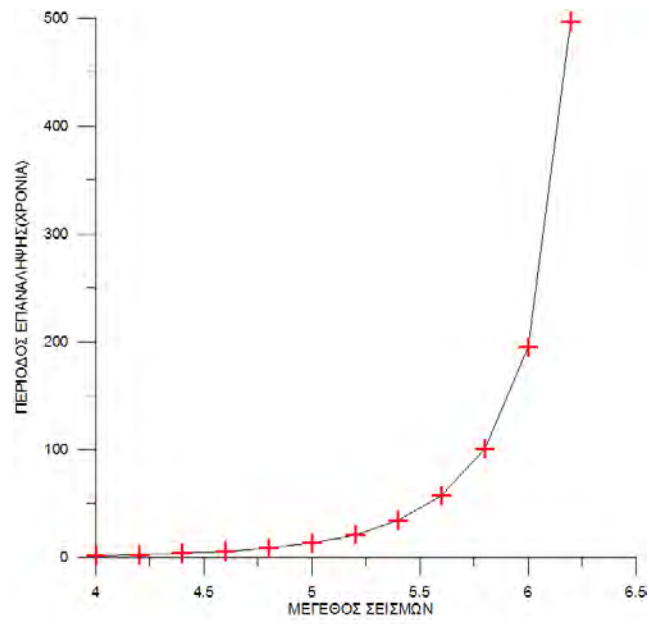
Σχ.36 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 17



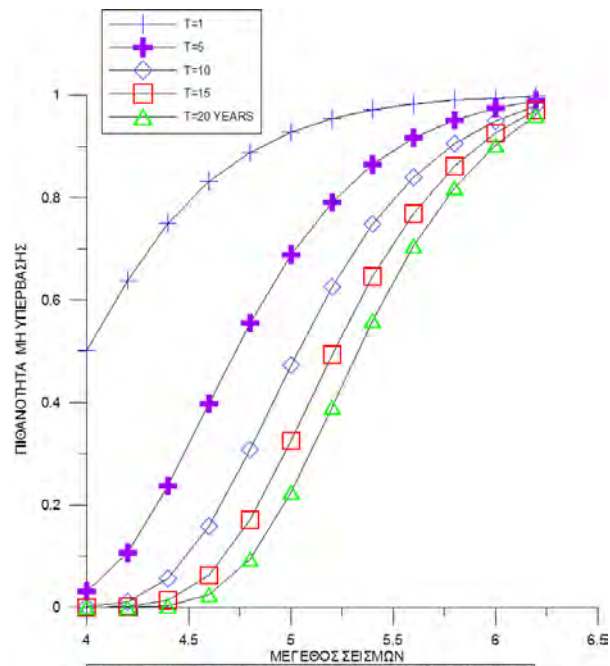
Σχ.37 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 18



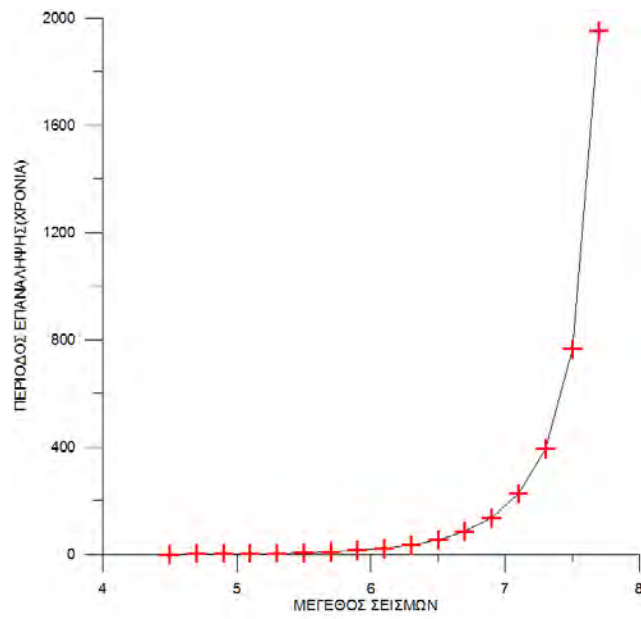
Σχ.38 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 18



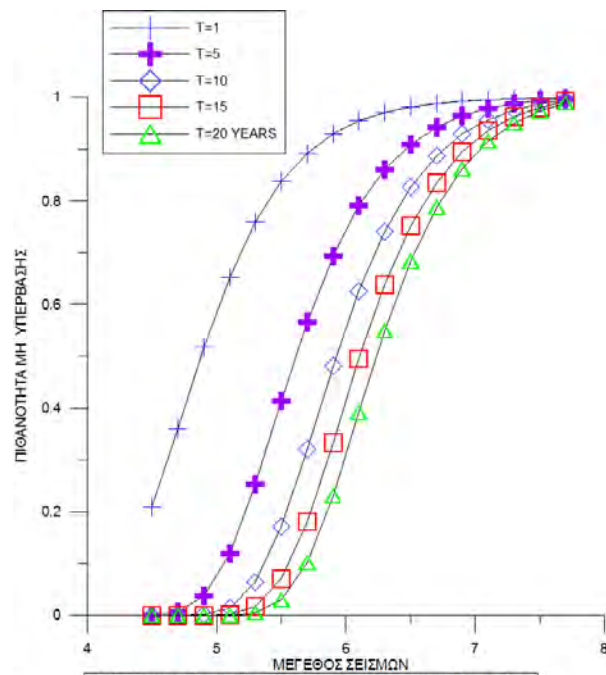
Σχ.39 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 19



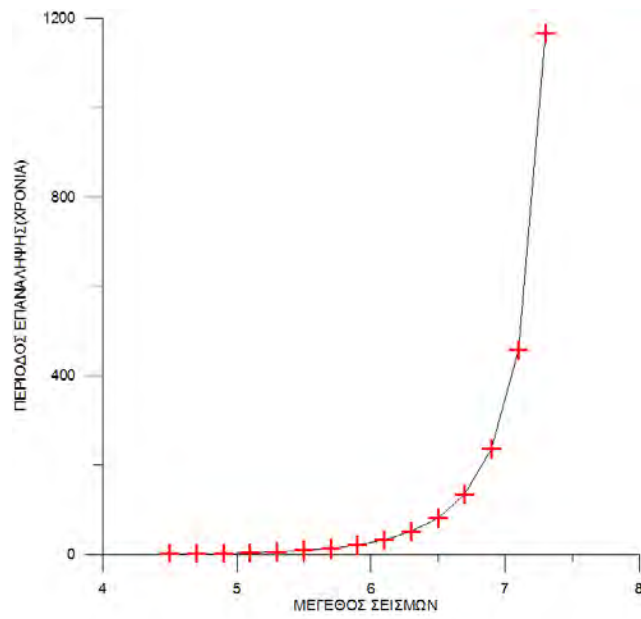
Σχ.40 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 19



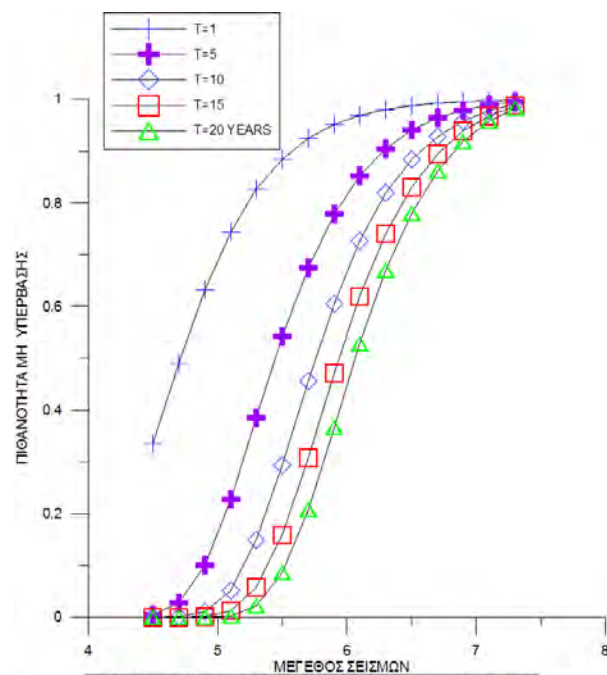
Σχ.41 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 20



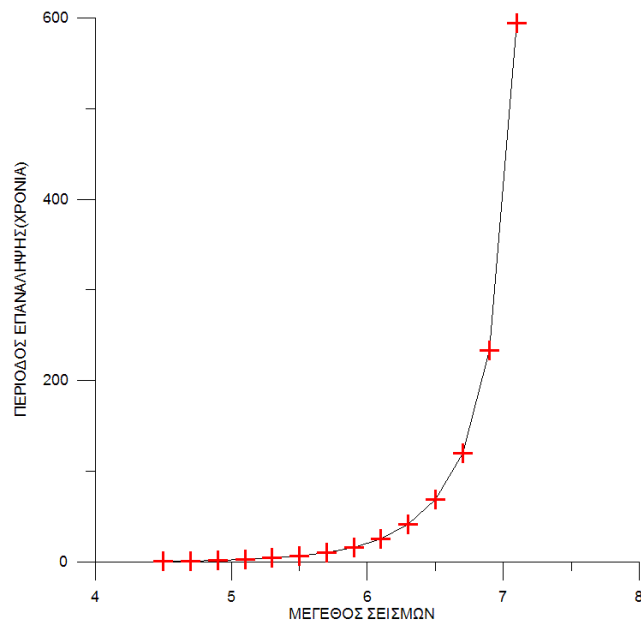
Σχ.42 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 20



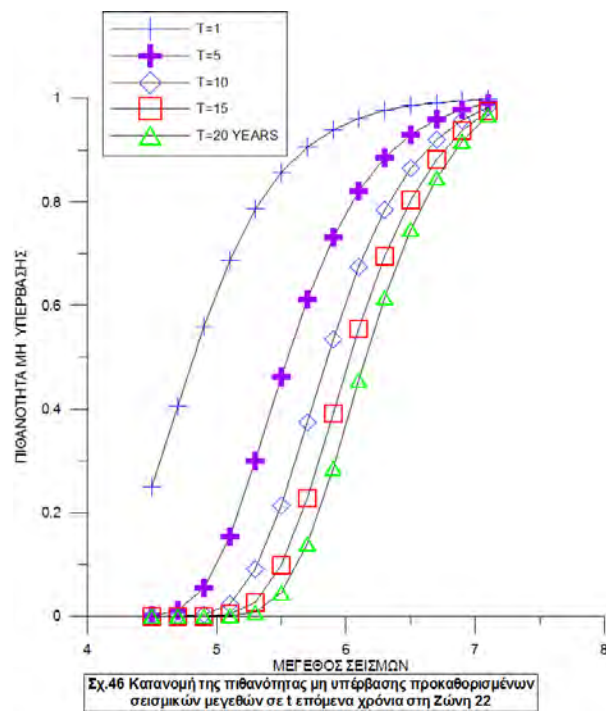
Σχ.43 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 21



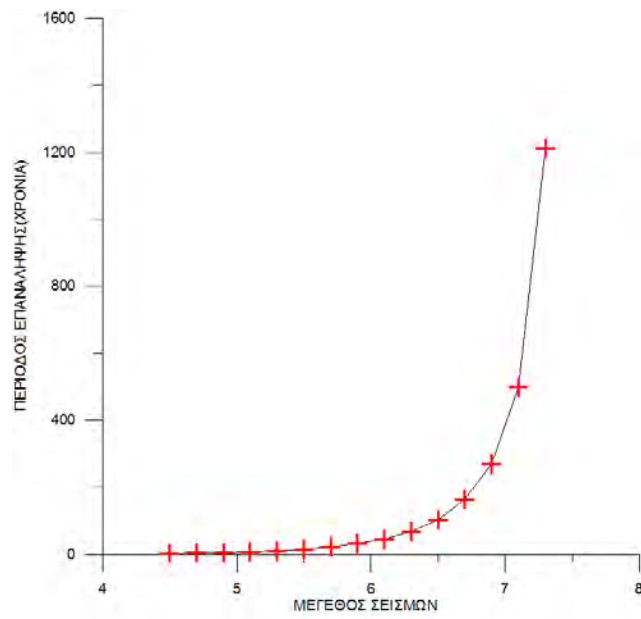
Σχ.44 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε τ επόμενα χρόνια στη Ζώνη 21



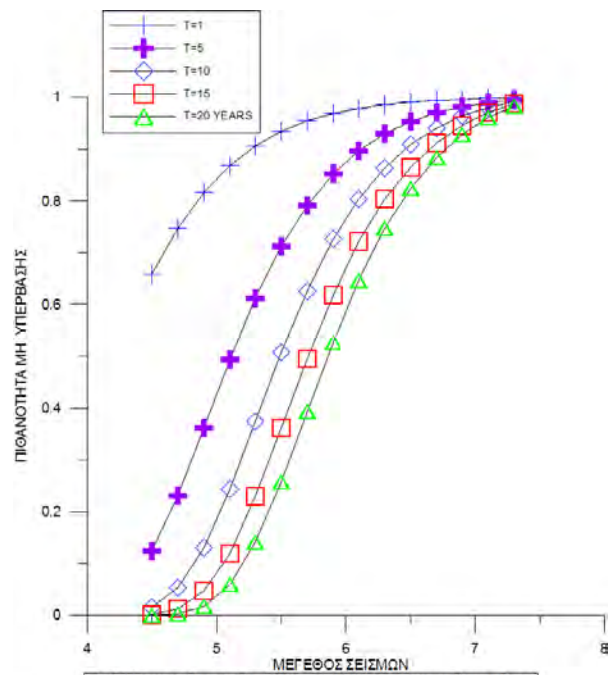
Σχ.45 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 22



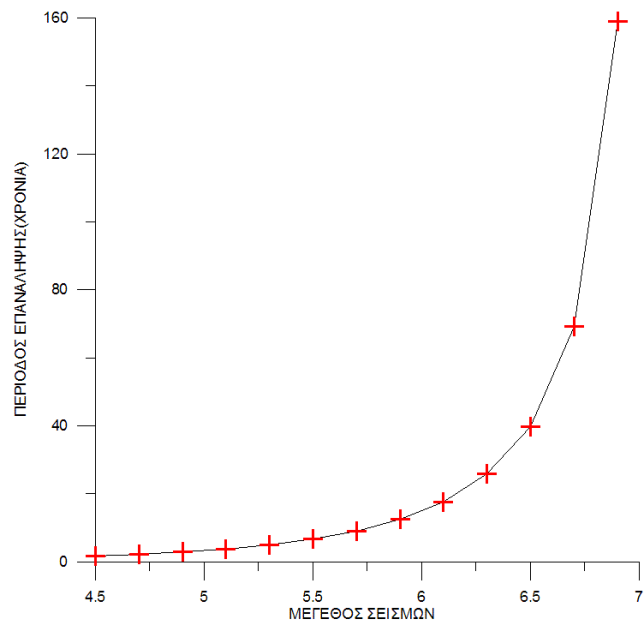
Σχ.46 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 22



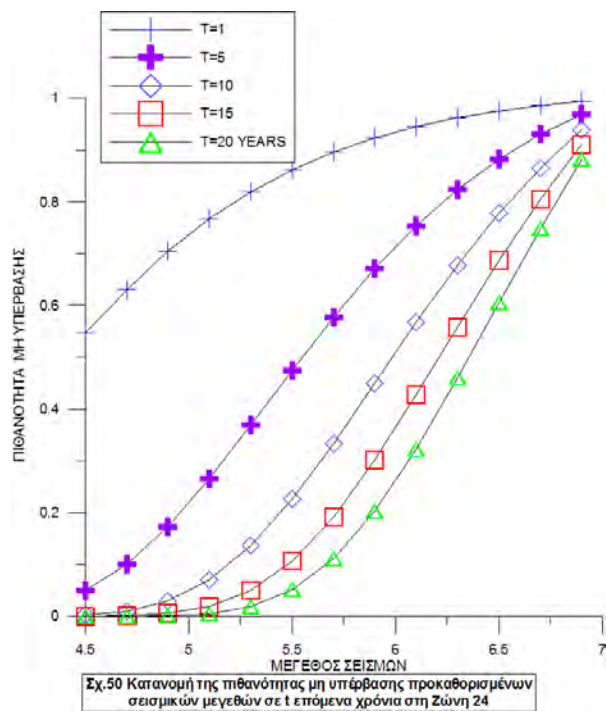
Σχ.47 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 23



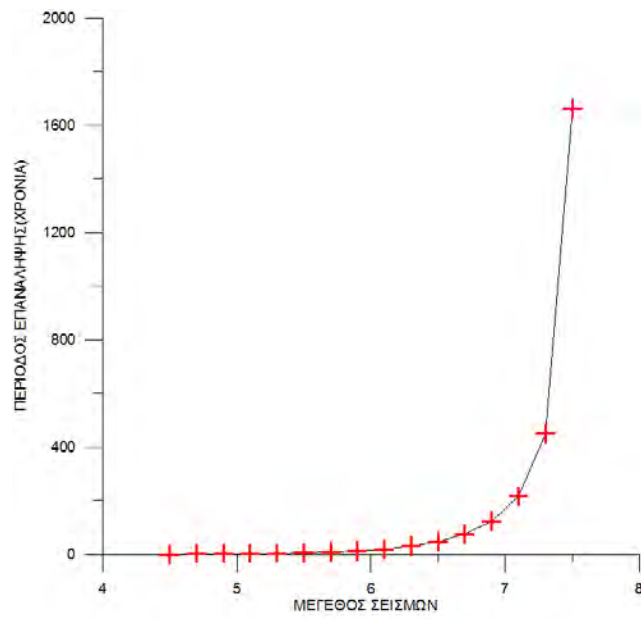
Σχ.48 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 23



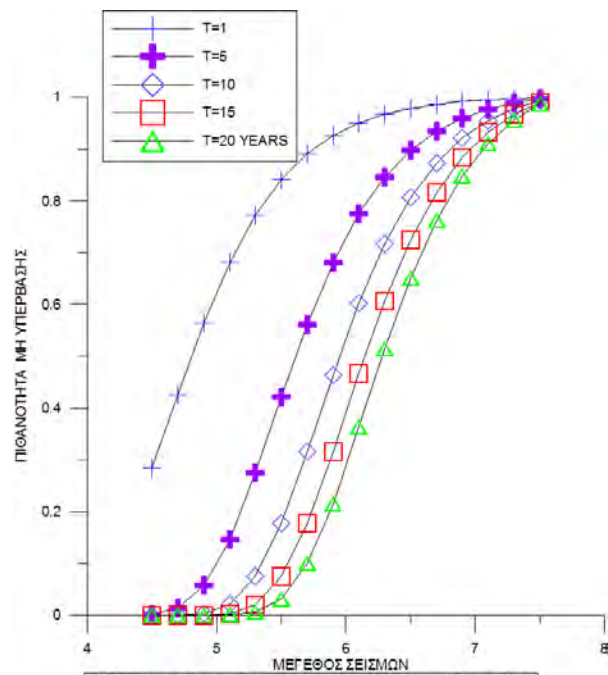
Σχ.49 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 24



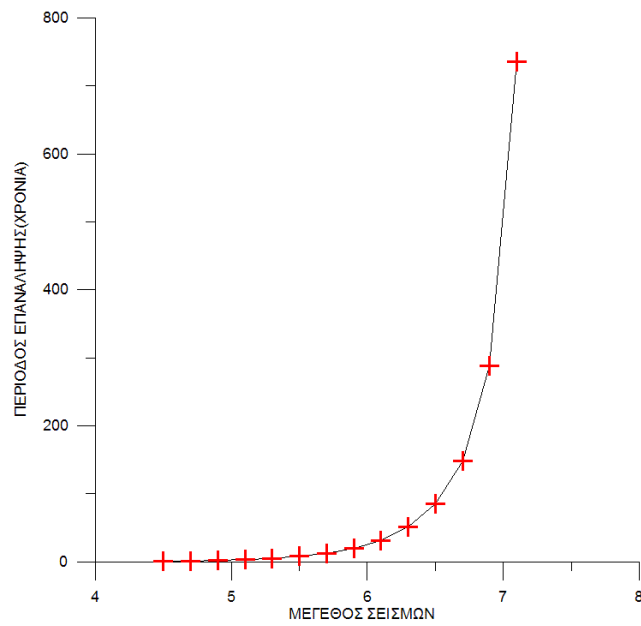
Σχ.50 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 24



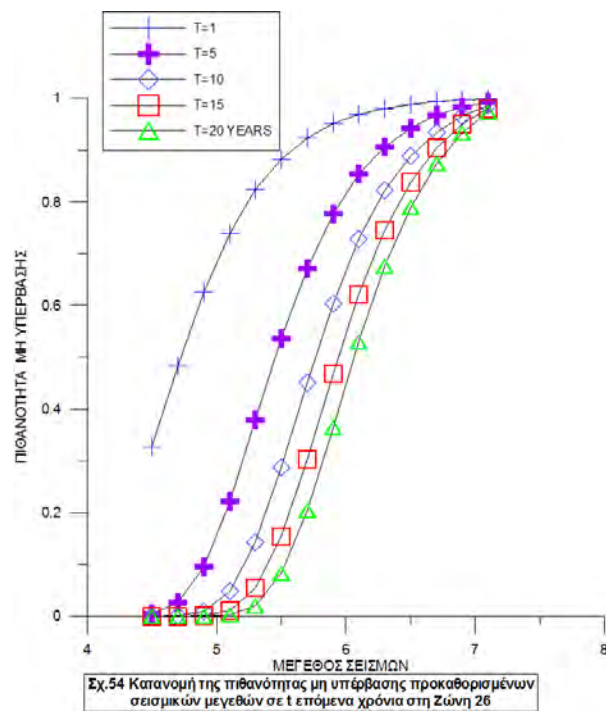
Σχ.51 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 25



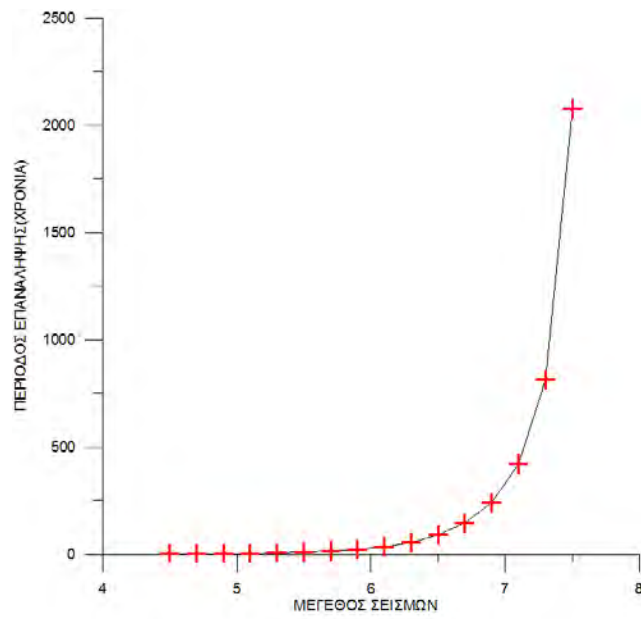
Σχ.52 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 25



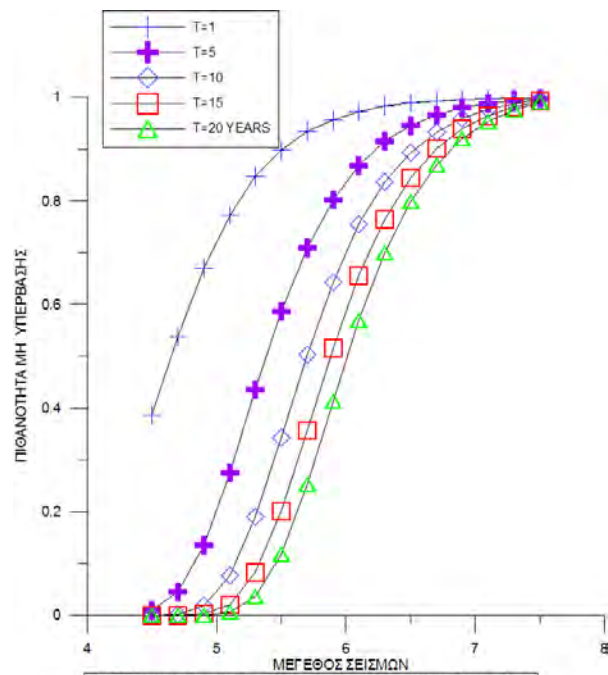
Σχ.53 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 26



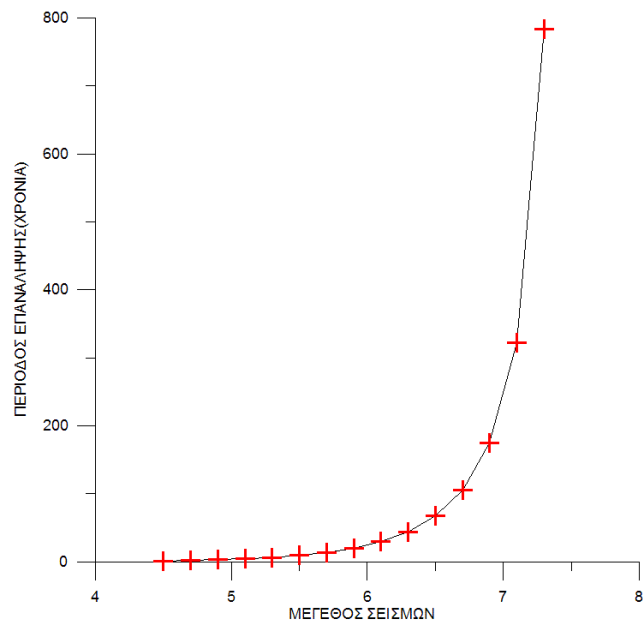
Σχ.54 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 26



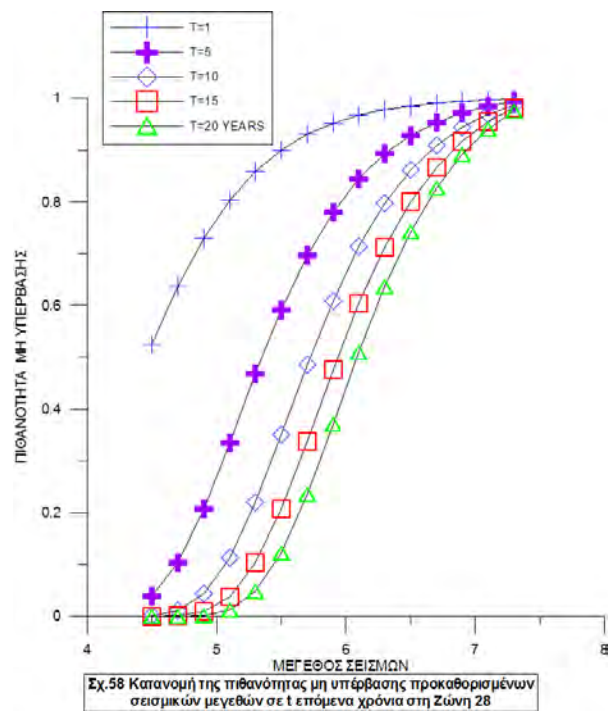
Σχ.55 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 27



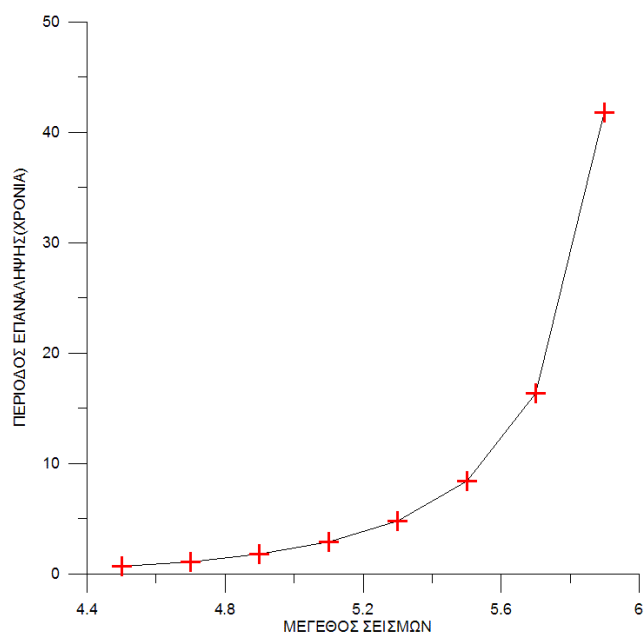
Σχ.56 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 27



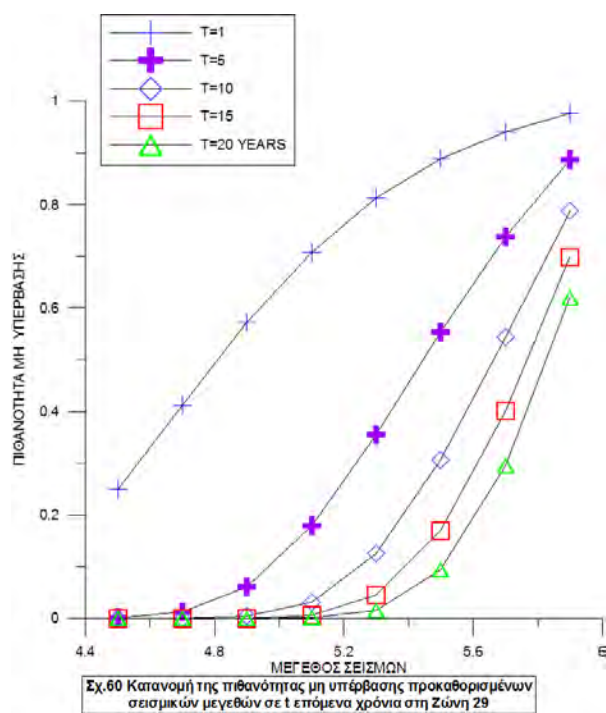
Σχ.57 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 28



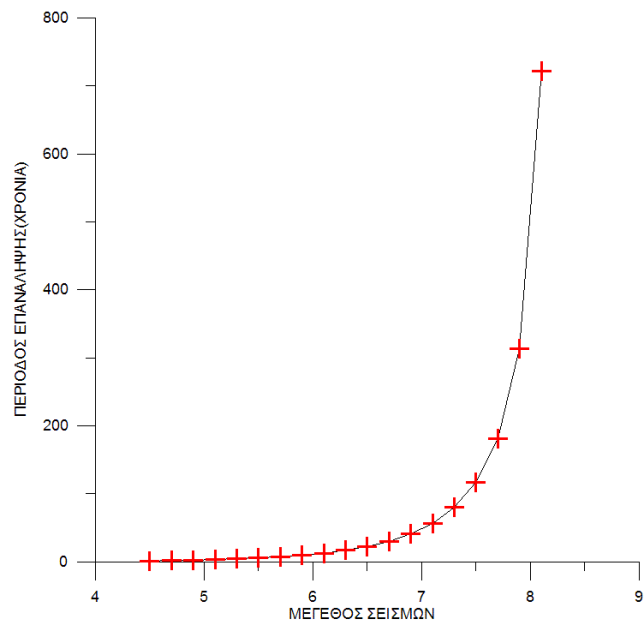
Σχ.58 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 28



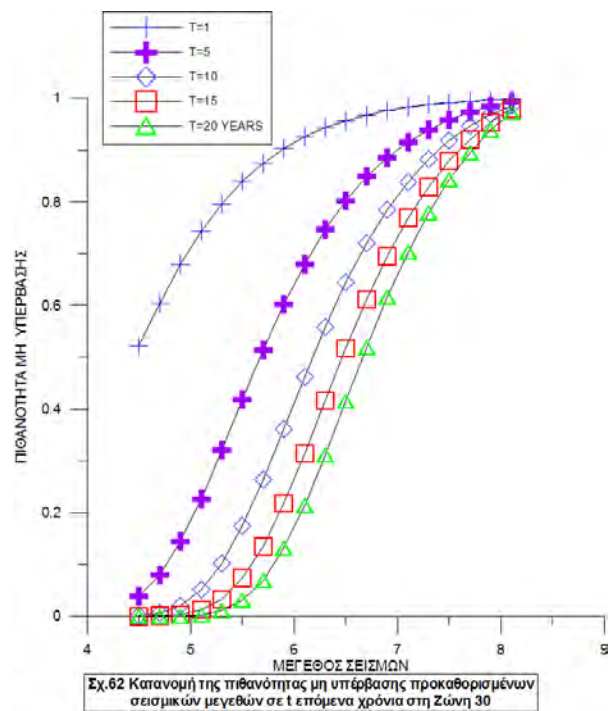
Σχ.59 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 29



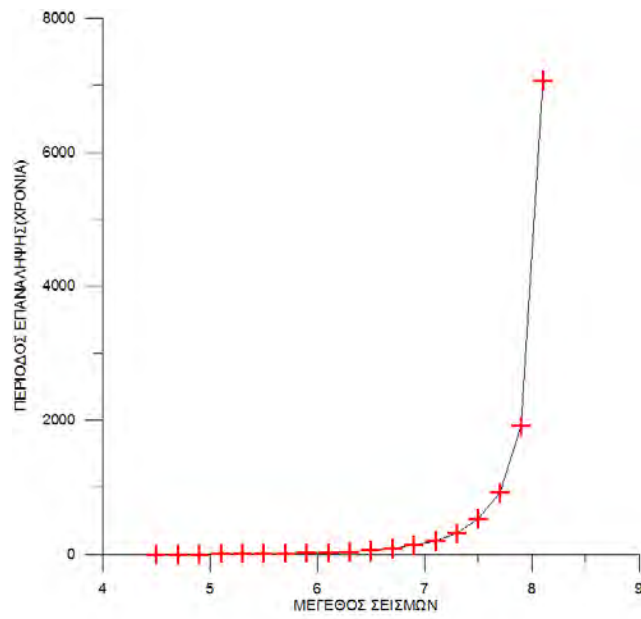
Σχ.60 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 29



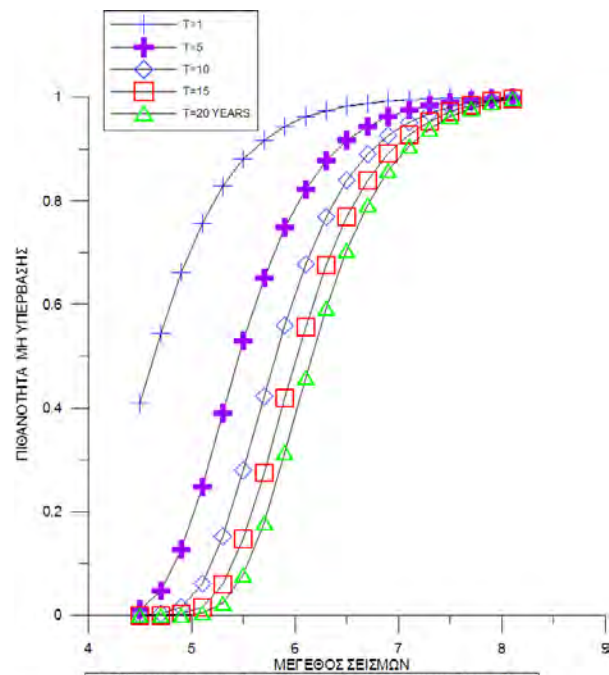
Σχ.61 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 30



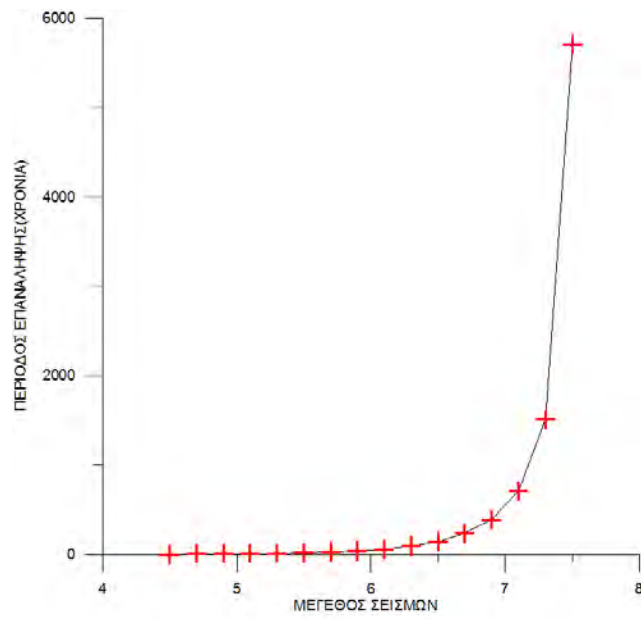
Σχ.62 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 30



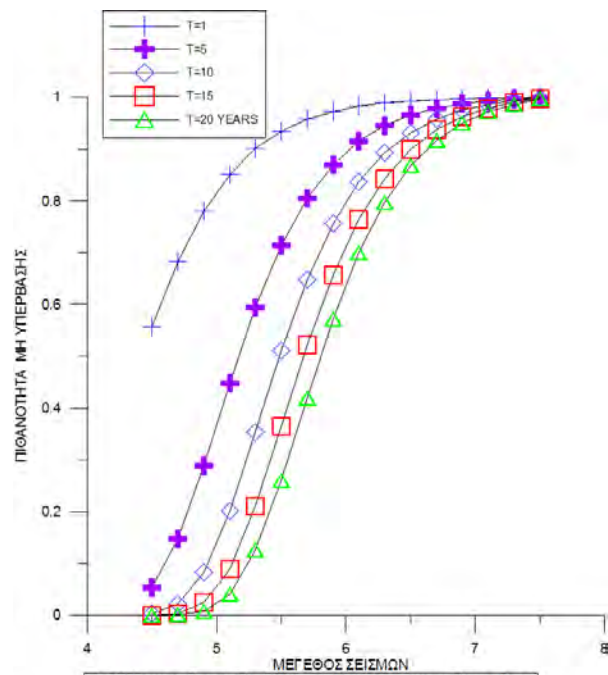
Σχ.63 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 31



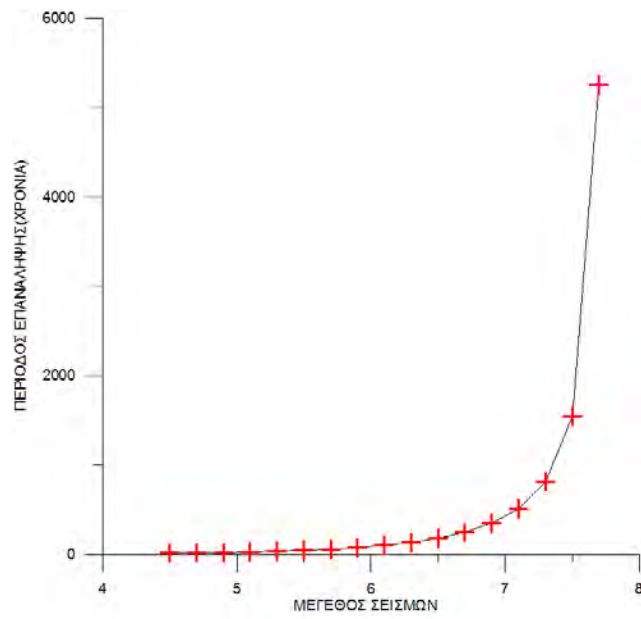
Σχ.64 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 31



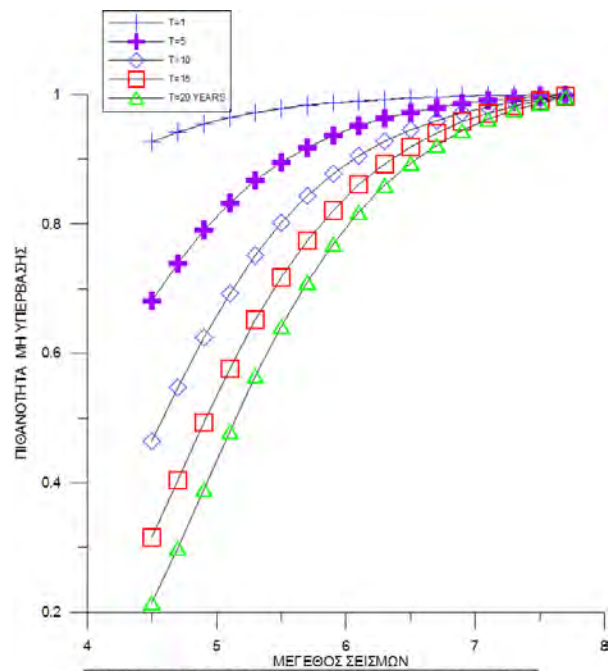
Σχ.65 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 32



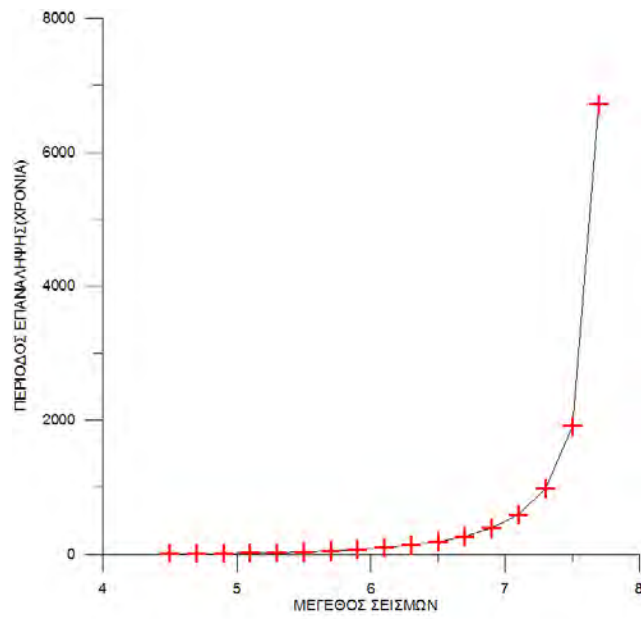
Σχ.66 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 32



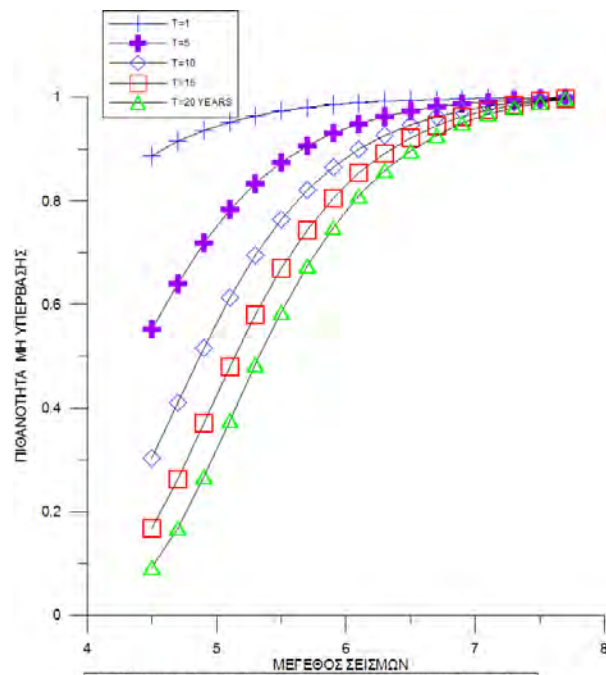
Σχ.67 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 33



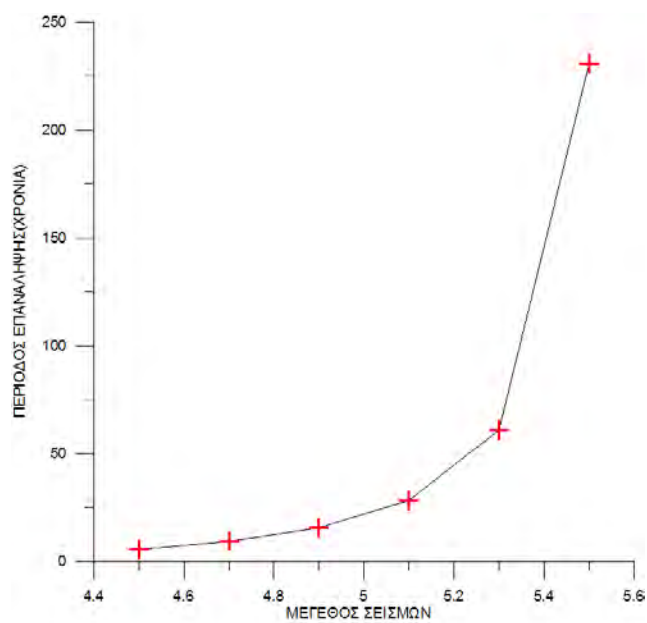
Σχ.68 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 33



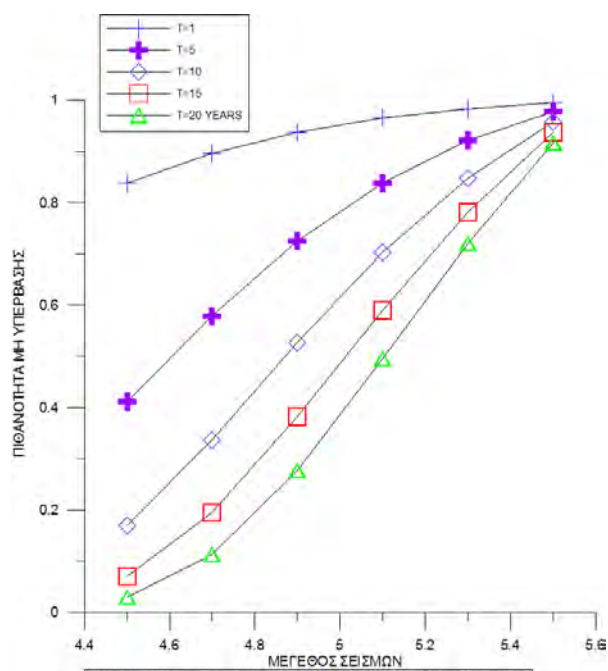
Σχ.69 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 34



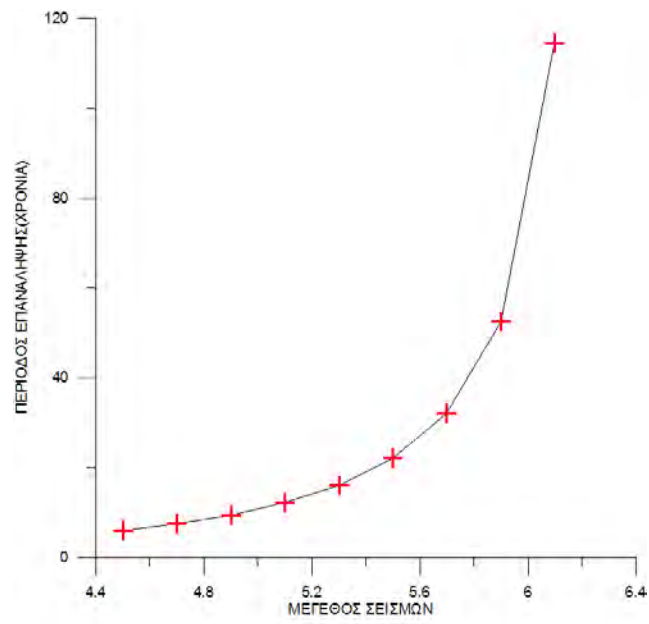
Σχ.70 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 34



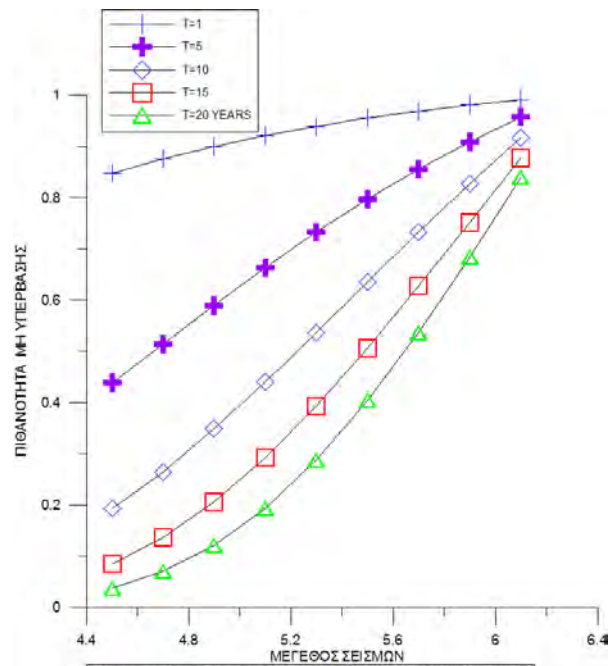
Σχ.71 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 35



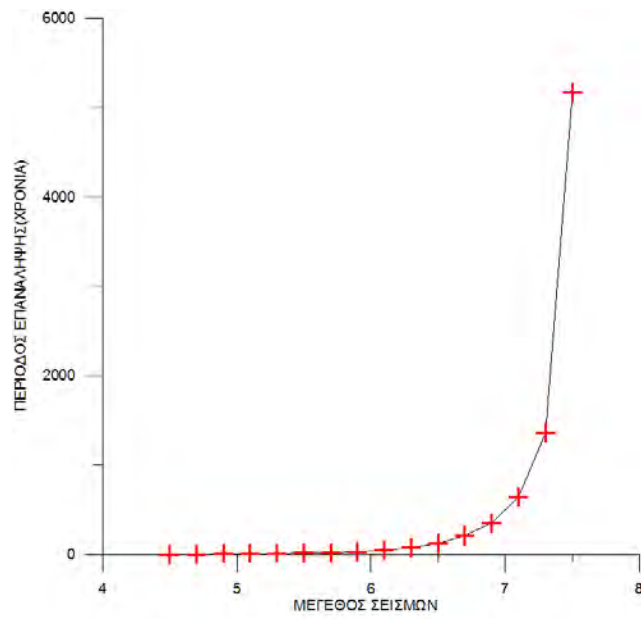
Σχ.72 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 35



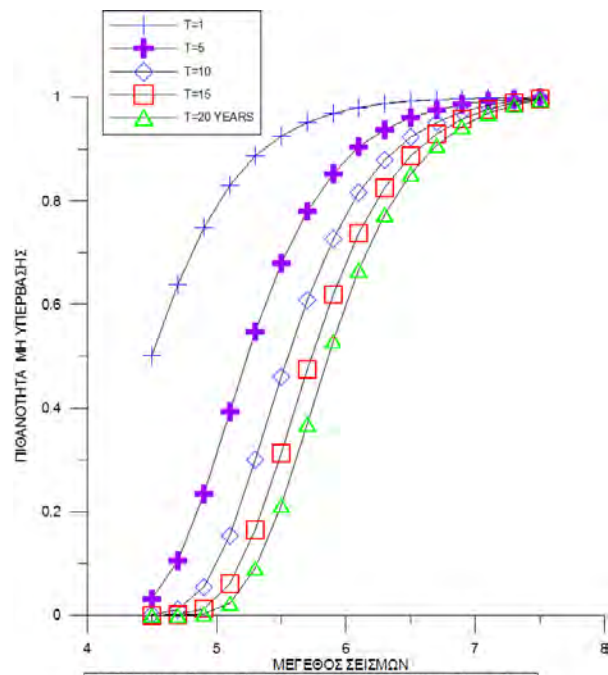
Σχ.73 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 36



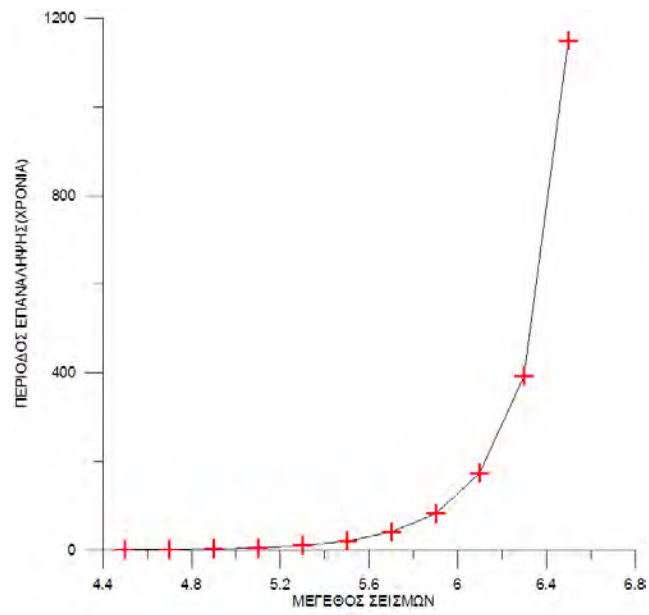
Σχ.74 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 36



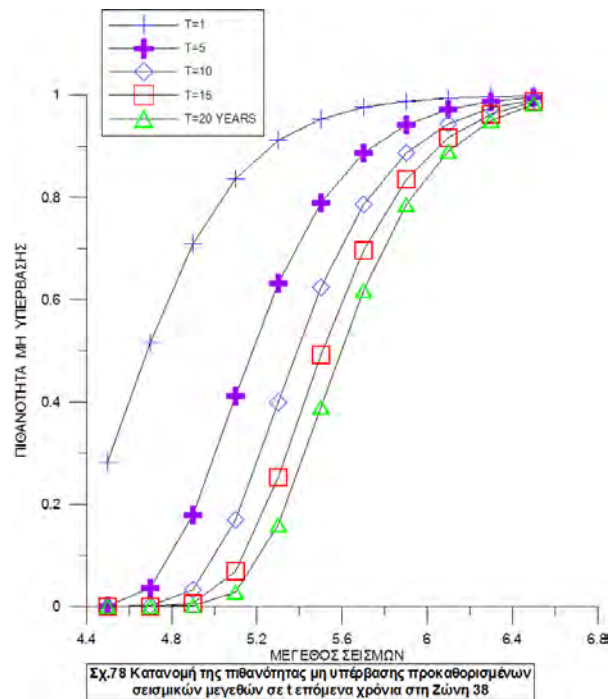
Σχ.75 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 37



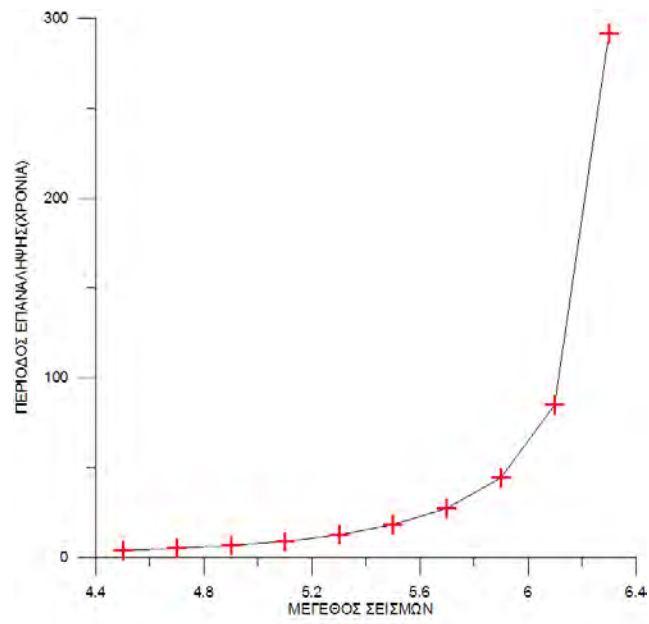
Σχ.76 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 37



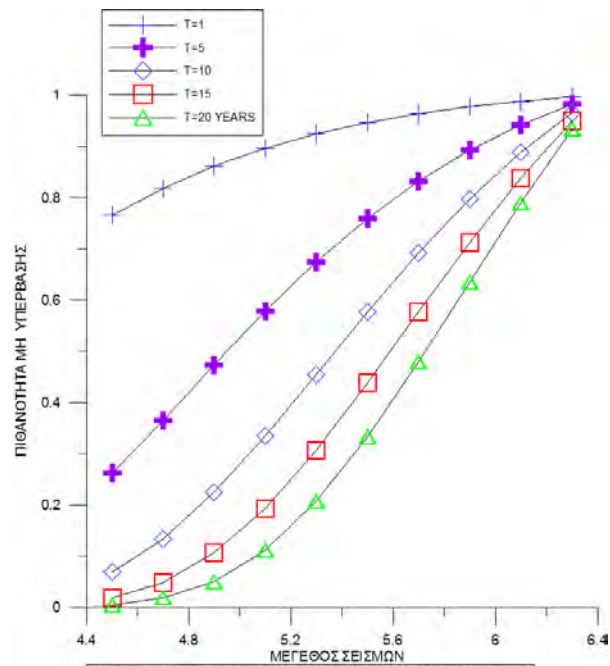
Σχ.77 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 38



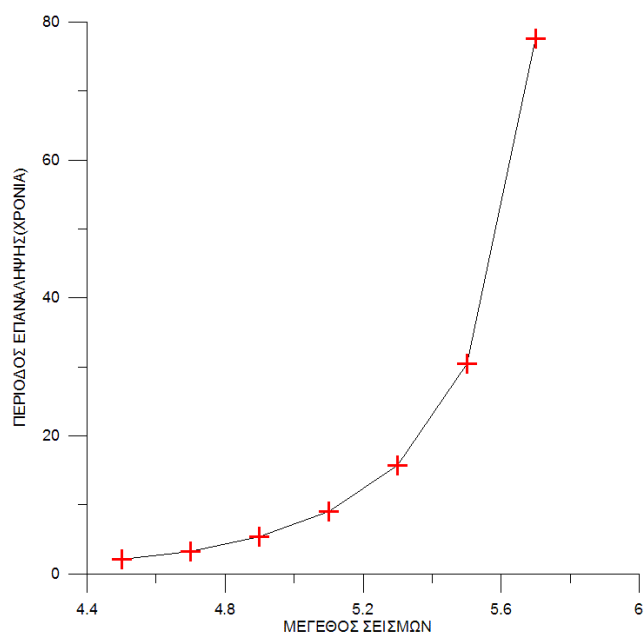
Σχ.78 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 38



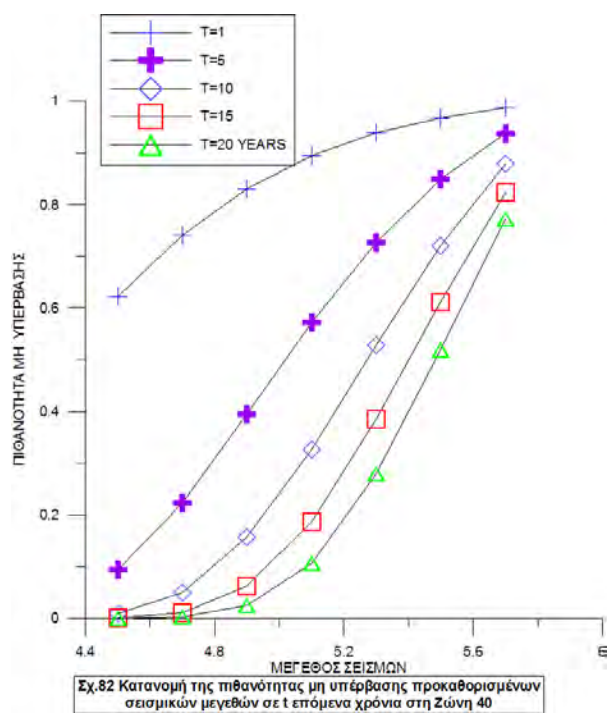
Σχ.79 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 39



Σχ.80 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 39



Σχ.81 Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνη 40



Σχ.82 Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

2.1 Μέθοδος McGuire (Επιφανειακό Μοντέλο)

2.1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά της Μεθόδου

Ο McGuire (1976) ανέπτυξε ένα μοντέλο εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας, χρησιμοποιώντας επιφανειακές πηγές.

Οι υπολογισμοί βασίζονται στο θεώρημα ολικής πιθανότητας, σύμφωνα με το οποίο:

$$P[A] = \iint P[A/m, r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (2.1)$$

Όπου: $P[A]$ είναι η αδέσμευτη πιθανότητα να εμφανιστεί στην εξεταζόμενη περιοχή σεισμική επιτάχυνση A , δεδομένης της πιθανότητας σεισμού, μεγέθους m , σε απόσταση r ,
 $f_R(r)$ και $f_M(m)$ είναι οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας της απόστασης και του σεισμικού μεγέθους, αντίστοιχα.

Οι μέγιστες τιμές των σεισμικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων θεωρούνται ότι ακολουθούν τη λογαριθμο-κανονική κατανομή και ο λογάριθμος αυτών την κανονική κατανομή.

Το μοντέλο επανάληψης των σεισμών δίνεται από τη σχέση:

$$\log N(M) = a - bM \quad (2.2)$$

όπου: a και b είναι σταθερές, χαρακτηριστικές της σεισμικής πηγής.

Θεωρώντας ότι τα μεγέθη διαδοχικών σεισμών είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, προκύπτει ότι η αθροιστική κατανομή των μεγεθών για κάθε σεισμό θα είναι:

$$F_M(m) = k[1 - \exp(-b(m - m_0))], m_0 \leq m \leq m_1 \quad (2.3)$$

όπου: m_0 είναι το μικρότερο μέγεθος σεισμού που λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας, και
 m_1 είναι το μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί να εμφανιστεί στη δεδομένη σεισμική πηγή.

Οι σταθερές β και k δίνονται από τις σχέσεις:

$$\beta = b \ln 10 \quad (2.4)$$

$$k = [1 - \exp(-b(m - m_0))]^{-1}$$

Από τη σχέση (2.3) προκύπτει ότι η συνάρτηση πυκνότητας του σεισμικού μεγέθους θα είναι:

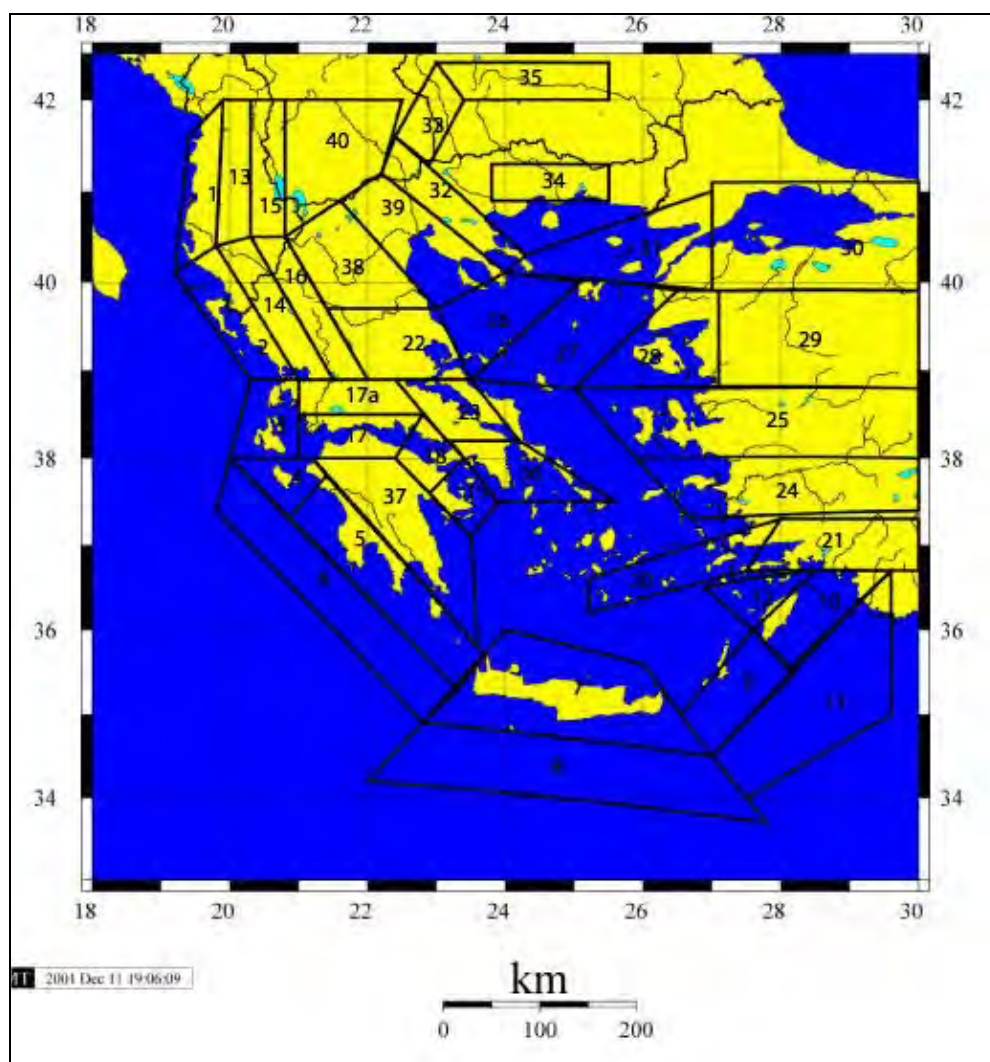
$$f_M(m) = bk \exp(-b(m - m_0)) \quad (2.5)$$

με $m_0 \leq m \leq m_1$

Με συνδυασμό της σχέσης απόσβεσης της σεισμικής επιτάχυνσης και της συνάρτησης πυκνότητας των σεισμικών μεγεθών υπολογίζεται η σεισμική επικινδυνότητα στις εξεταζόμενες θέσεις. Οι υπολογισμοί γίνονται με την βοήθεια του προγράμματος H/Y (McGuire, 1976).

2.1.2 Μοντέλο Σεισμικών Πηγών και Σεισμολογικά Δεδομένα

Το μοντέλο επιφανειακών σεισμικών πηγών που χρησιμοποιήσαμε φαίνεται στο **Σχήμα 2.1**, το οποίο είναι ουσιαστικά το μοντέλο σεισμικών πηγών σύμφωνα με *Parazachos (1989)* με μικρή τροποποίηση για ορισμένες σεισμικές πηγές. Για κάθε σεισμική πηγή υπολογίστηκαν οι σταθερές a και b της επαναληπτικής σχέσης των Gutenberg-Richter καθώς και ο μέσος ρυθμός εμφάνισης των σεισμών (ν) με $M \geq 4.5$. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 1 ($\beta = b \ln 10$, R είναι ο συντελεστής συσχέτισης της σχέσης $\log N(M) = a + bM$).



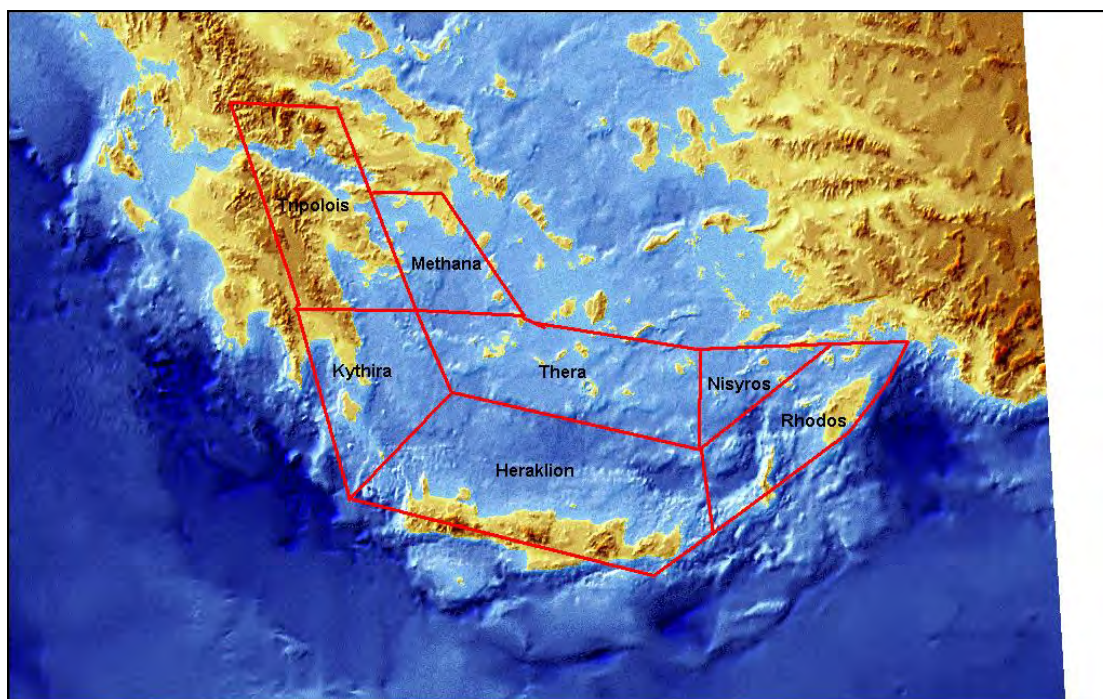
Σχ.2.1 Μοντέλο Επιφανειακών Σεισμικών Πηγών του Ελληνικού χώρου και των γειτονικών περιοχών (Βασικό μοντέλο από Parazachos, 1989)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ

ΠΗΓΩΝ

Σεισμική Πηγή	a	b	β	v	R
1	7.50	-1.29	2.98	0.991	-0.98
2	7.51	-1.23	2.83	1.889	-0.99
3	6.33	-0.95	2.19	2.270	-0.97
4	7.74	-1.28	2.95	1.909	-0.99
5	7.20	-1.12	2.59	2.745	-0.99
6	6.69	-0.98	2.25	3.810	-0.99
7	7.81	-1.20	2.77	5.140	-0.99
8	8.84	-1.44	3.31	4.581	-0.99
9	8.97	-1.49	3.43	5.023	-0.99
10	8.57	-1.49	3.43	1.465	-0.98
11	7.07	-1.18	2.71	1.150	-0.96
12	7.18	-1.18	2.73	1.336	-0.99
13	8.34	-1.46	3.37	1.144	-0.96
14	6.50	-1.09	2.50	0.710	-0.98
15	4.61	-0.72	1.65	0.417	-0.98
16	5.12	-0.81	1.86	0.803	-0.97
17	5.87	-0.88	2.02	1.625	-0.99
17 ^a	5.12	-0.81	1.86	0.803	-0.09
18	4.91	-0.76	1.76	0.594	-0.96
19	4.91	-0.76	1.76	0.580	-0.96
20	8.09	-1.36	3.13	0.046	-0.99
21	7.59	-1.31	3.01	0.990	-0.98
22	6.15	-0.98	2.27	1.099	-0.98
23	4.54	-0.75	1.72	0.269	-0.91
24	6.23	-1.04	2.39	0.674	-0.99
25	5.76	-0.87	2.00	1.315	-0.98
26	5.51	-0.81	1.86	1.391	-0.99
27	3.85	-0.51	1.17	0.667	-0.92
28	4.23	-0.61	1.40	0.611	-0.92
29	7.16	-1.13	2.60	2.280	-0.98
30	4.34	-0.56	1.28	1.254	-0.99
31	4.29	-0.57	1.32	0.987	-0.98
32	4.48	-0.62	1.42	0.979	-0.98
33	2.71	-0.35	0.80	0.270	-0.98
34	1.73	-0.32	0.73	0.037	-0.66
35*	*	*	*	*	*
36	2.72	-0.39	0.90	0.178	-0.95
37	5.34	-0.78	1.81	1.257	-0.99
38	6.05	-0.94	2.18	1.321	-0.97
39	5.46	-0.91	2.09	0.457	-0.95
40	4.62	-0.72	1.67	0.449	-0.96

Στο **Σχήμα 2.2** παρουσιάζεται το μοντέλο των σεισμικών πηγών για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους (*Papazachos and Papaioannou, 1993*). Οι παράμετροι σεισμικότητας πάρθηκαν από *Papaioannou and Papazachos (2000)*.



Σχήμα 2.2 Μοντέλο σεισμικών πηγών για σεισμούς ενδιάμεσου εστιακού βάθους (*Papazachos and Papaioannou, 1993*)

Οι παράμετροι σεισμικότητας των επιφανειακών σεισμικών πηγών (πίνακας 1) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον κατάλογο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (1964-2000), όπως αυτός συμπληρώθηκε από *Papanastassiou et al., (2001)* για τη χρονική περίοδο 1950-2000.

2.1.3 Απόσβεση Παραμέτρων Σεισμικής Κίνησης

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές σχέσεις απόσβεσης οι οποίες έχουν προταθεί για τον Ελληνικό χώρο, για επιφανειακούς σεισμούς. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν οι σχέσεις:

$$\ln A = 4.22 + 1.20M_s - 1.83 \ln(D+15), \quad (2.6)$$

$$\ln A = 5.24 + 1.01M_s - 1.83 \ln(D+15), \quad (2.7)$$

$$\ln A = 7.68 + 0.70M_s - 1.80 \ln(R+10), \quad (2.8)$$

$$\ln A = 4.09 + 1.12M_s - 1.65 \ln(R+15), \quad (2.9)$$

$$\ln A = 5.54 + 0.48M_s - 1.24 \ln(R+6), \quad (2.10)$$

Οι σχέσεις 2.6 και 2.7 προτάθηκαν από *Theodoulidis (1988,1991)*, η σχέση 2.8 από *Makropoulos and Burton (1984b)*, η σχέση 2.9 από *Theodoulidis and Papazachos (1992)*, και η σχέση 2.10 από *Margaris et al. (2001)*, οι οποίοι πρότειναν την αρχική σχέση $\ln A = 4.16 + 0.69M_w - 1.24 \ln(R+6) + 0.12S \pm 0.7$ (βλ. *Margaris et al., 2001*).

Για σεισμούς ενδιαμέσου εστιακού βάθους χρησιμοποιήθηκε η σχέση

$$\ln A = 3.47 + 0.75M - 0.85 \ln R_{cer} + 0.27S + \sigma_{\ln A} \quad (2.11)$$

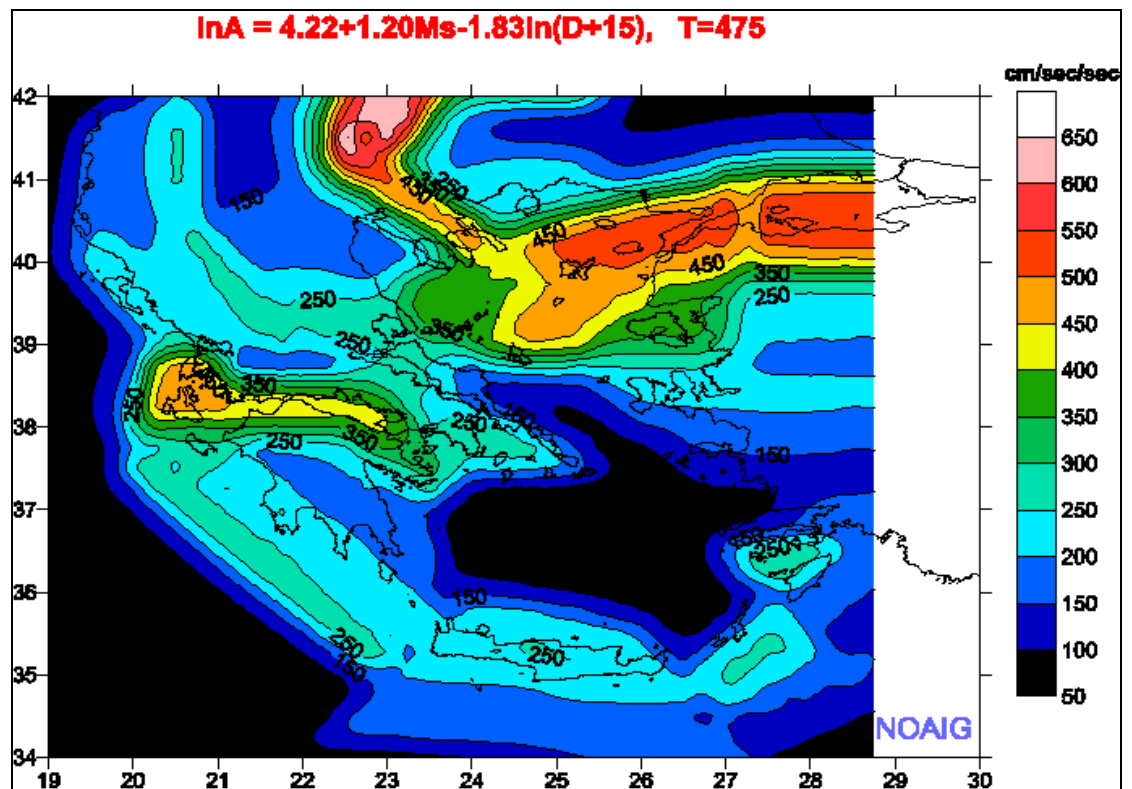
σύμφωνα με *Theodoulidis and Papazachos (1990)*, όπου A είναι η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση σε cm/sec², Ms το επιφανειακό μέγεθος των σεισμών, D, R είναι η επικεντρική απόσταση, R_{cer} είναι η απόσταση από το κέντρο έκλυσης της ενέργειας.

Για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα σε cm/sec, χρησιμοποιήθηκε η σχέση (*Theodoulidis, 1988,1991*)

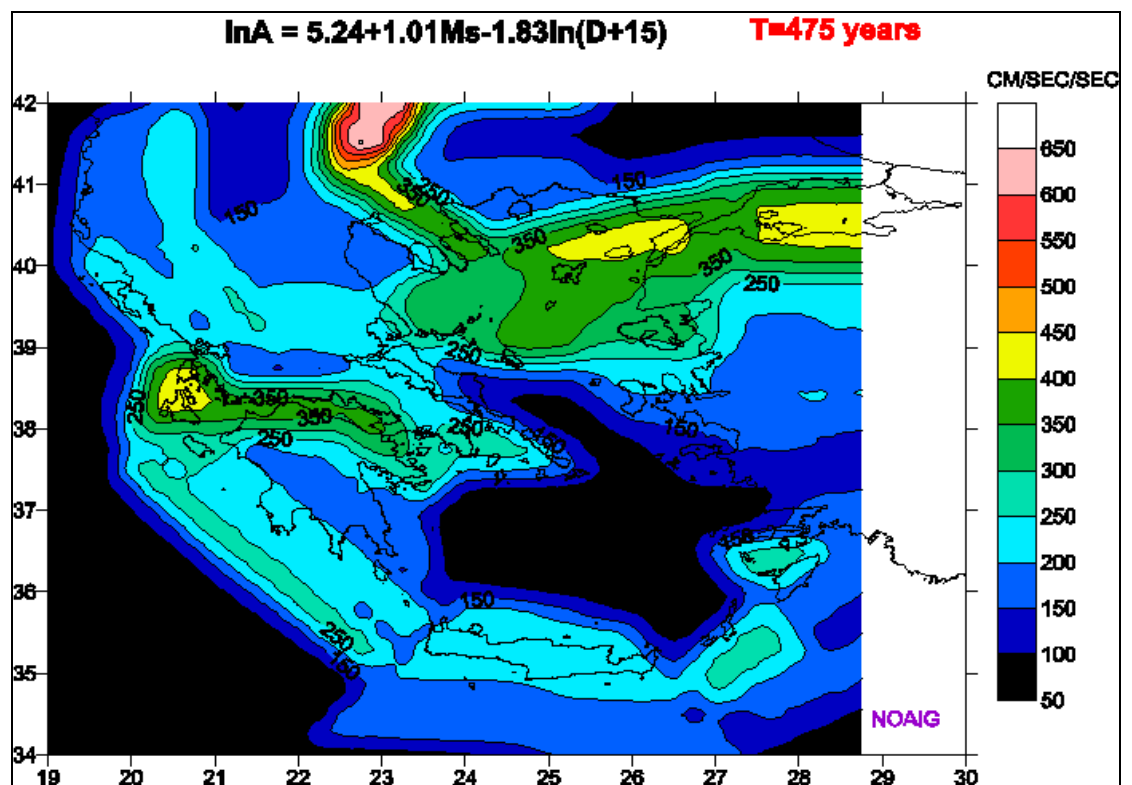
$$\ln V = -0.92 + 1.44M_s - 1.65 \ln(D+10), \quad (2.12)$$

2.1.4 Εφαρμογή - Αποτελέσματα

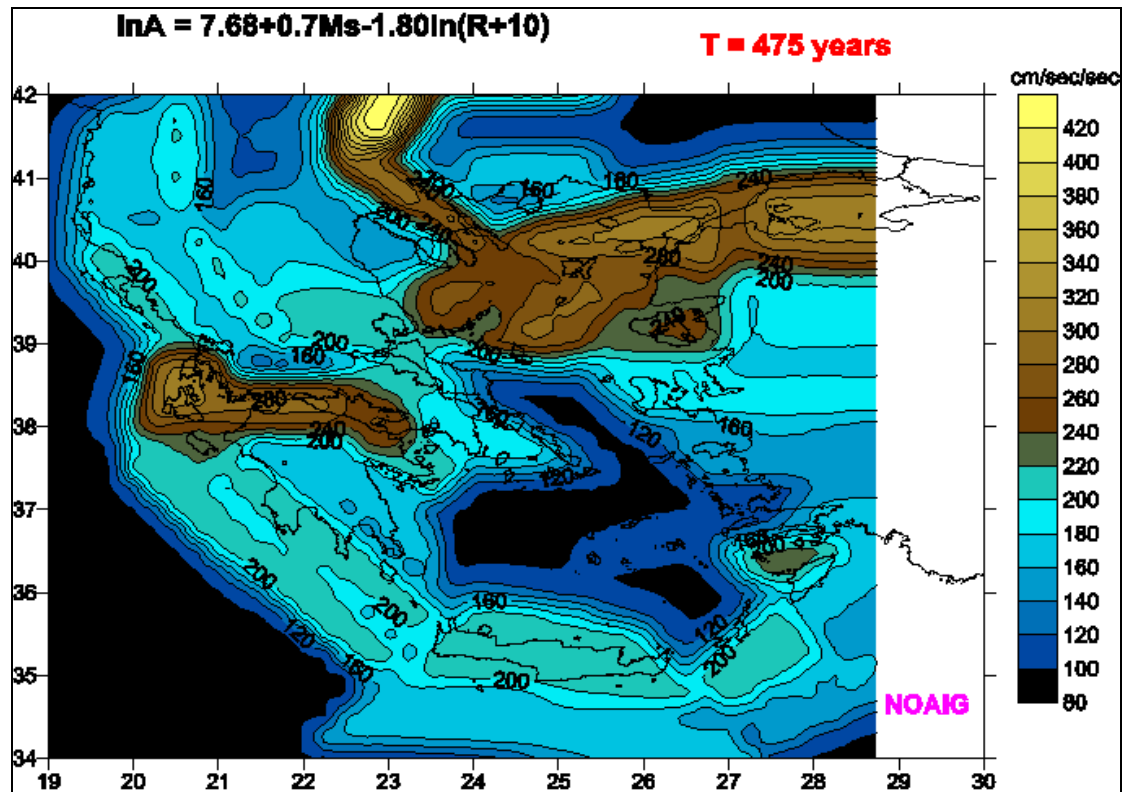
Ο Ελληνικός χώρος και οι γύρω περιοχές χωρίστηκαν σε κάρναβο 0.25 βαθμών της μοίρας και για κάθε σημείο υπολογίστηκαν οι μέγιστες τιμές της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας σύμφωνα με τις προαναφερθείσες σχέσεις απόσβεσης και βάσει της μεθόδου *McGuire (1976)*. Οι υπολογισμοί έγιναν για περίοδο επανάληψης 475 και 949 χρόνια. Ο μέσος όρος των τιμών που προέκυψαν από κάθε σχέση απόσβεσης θεωρήθηκε και η τελική τιμή για το εξεταζόμενο σημείο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα **Σχήματα 2.3-2.16** για τις διαφορετικές σχέσεις απόσβεσης.



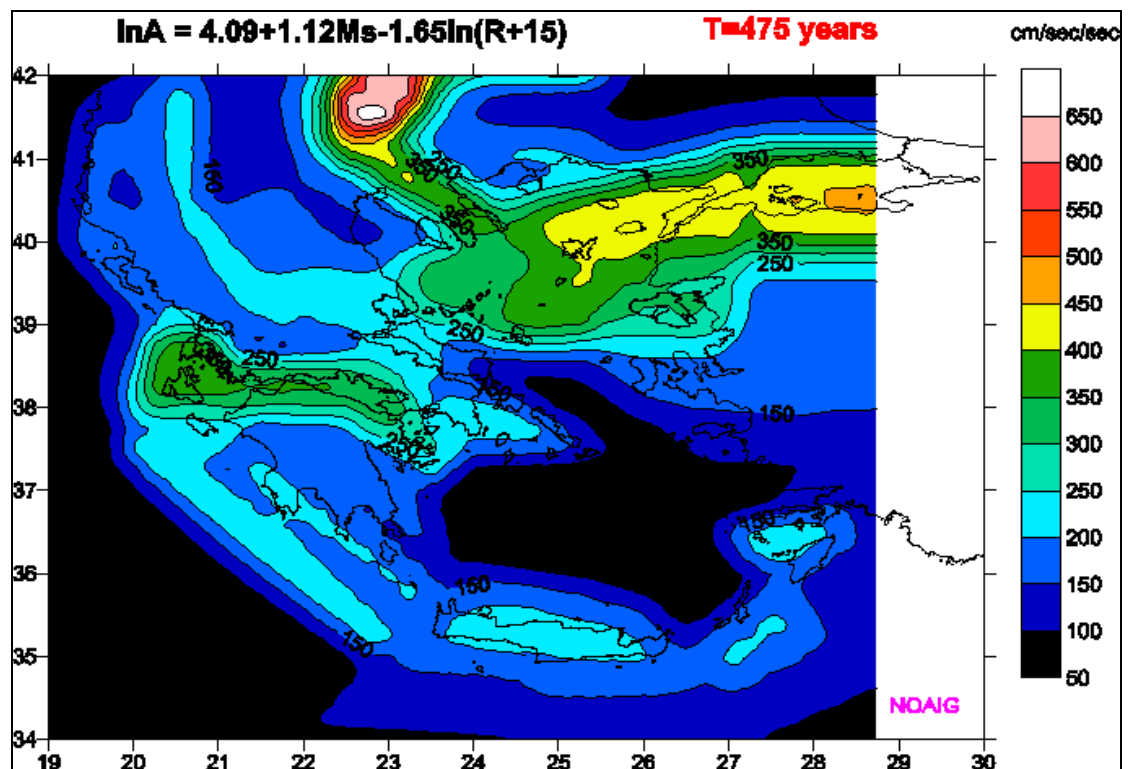
Σχ.2.3 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.6 (βλ. κείμενο)



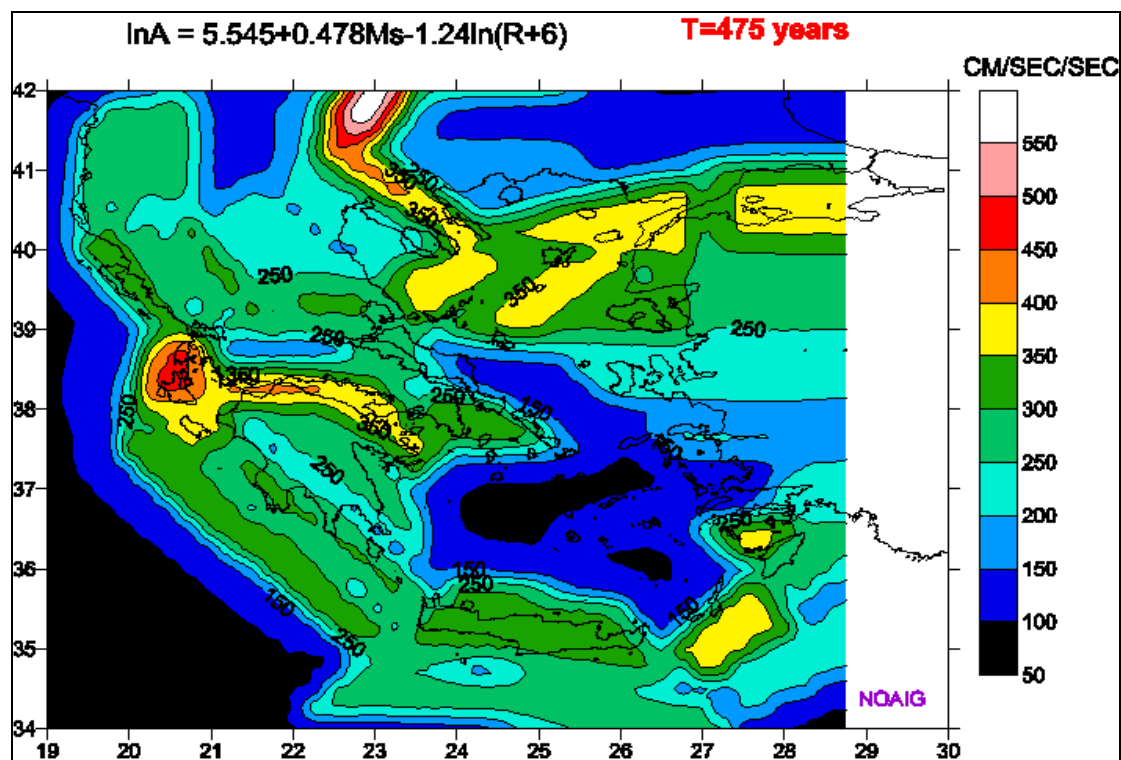
Σχ.2.4 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.7 (βλ. κείμενο)



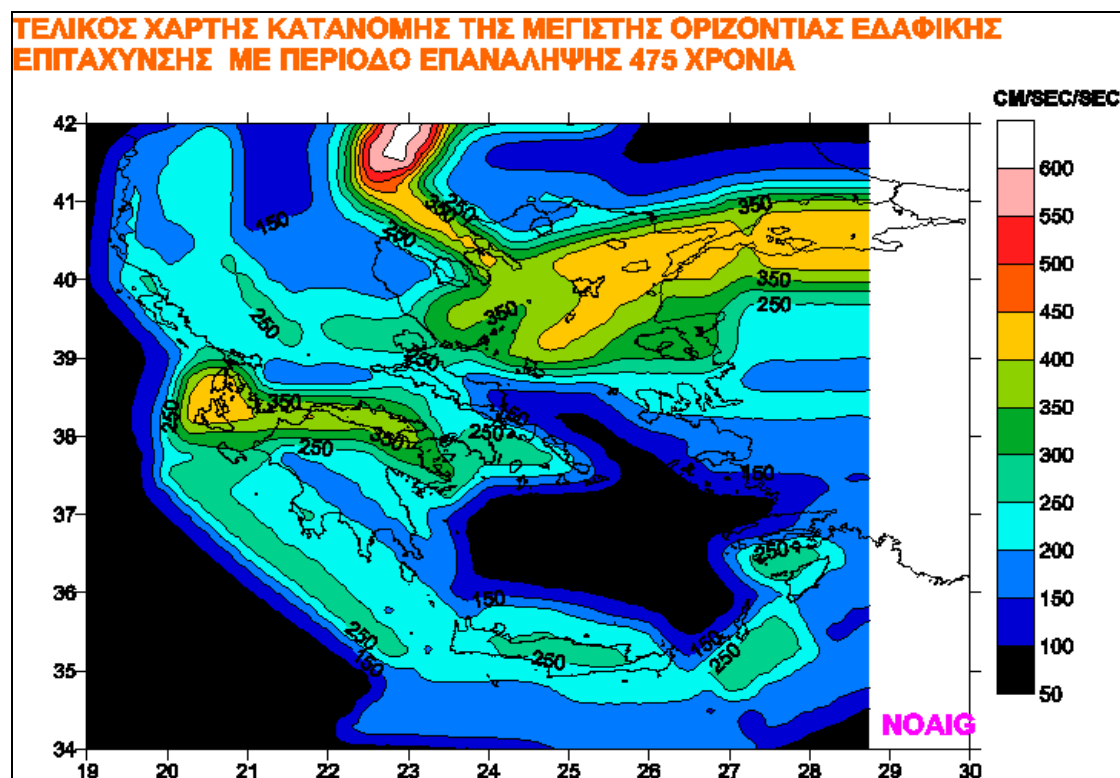
Σχ.2.5 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.8 (βλ. κείμενο)



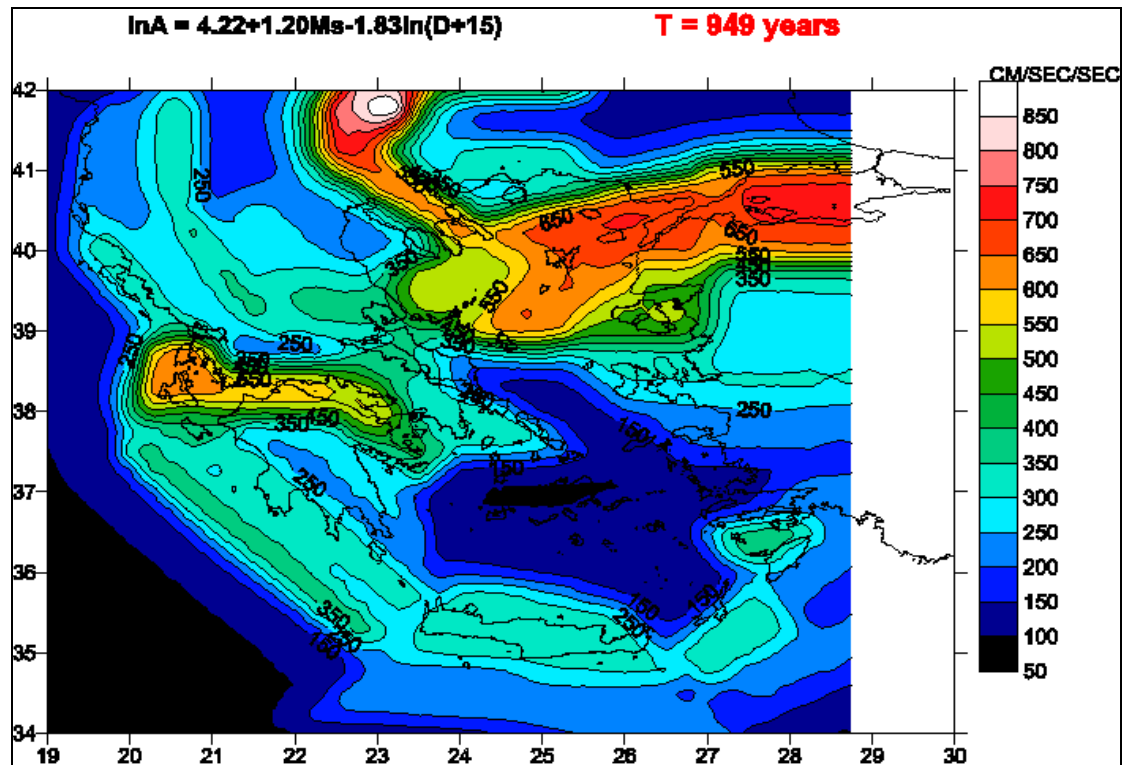
Σχ.2.6 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.9 (βλ. κείμενο)



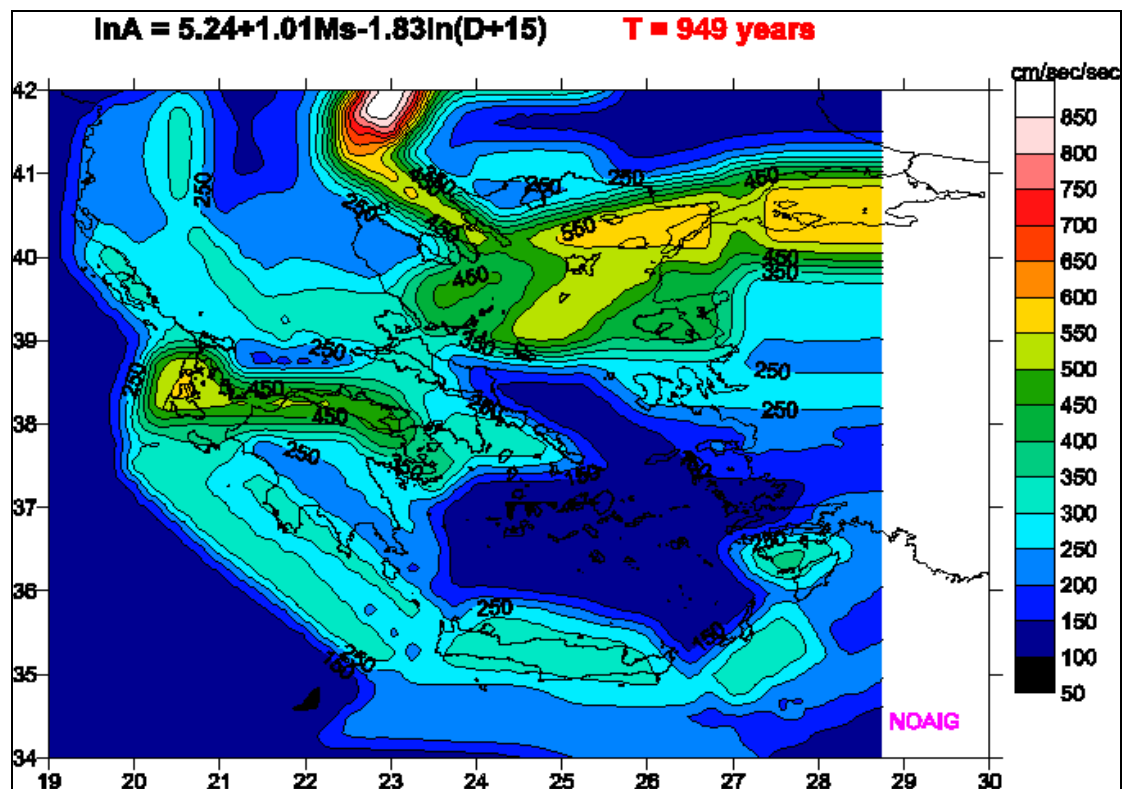
Σχ.2.7 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.10 (βλ. κείμενο)



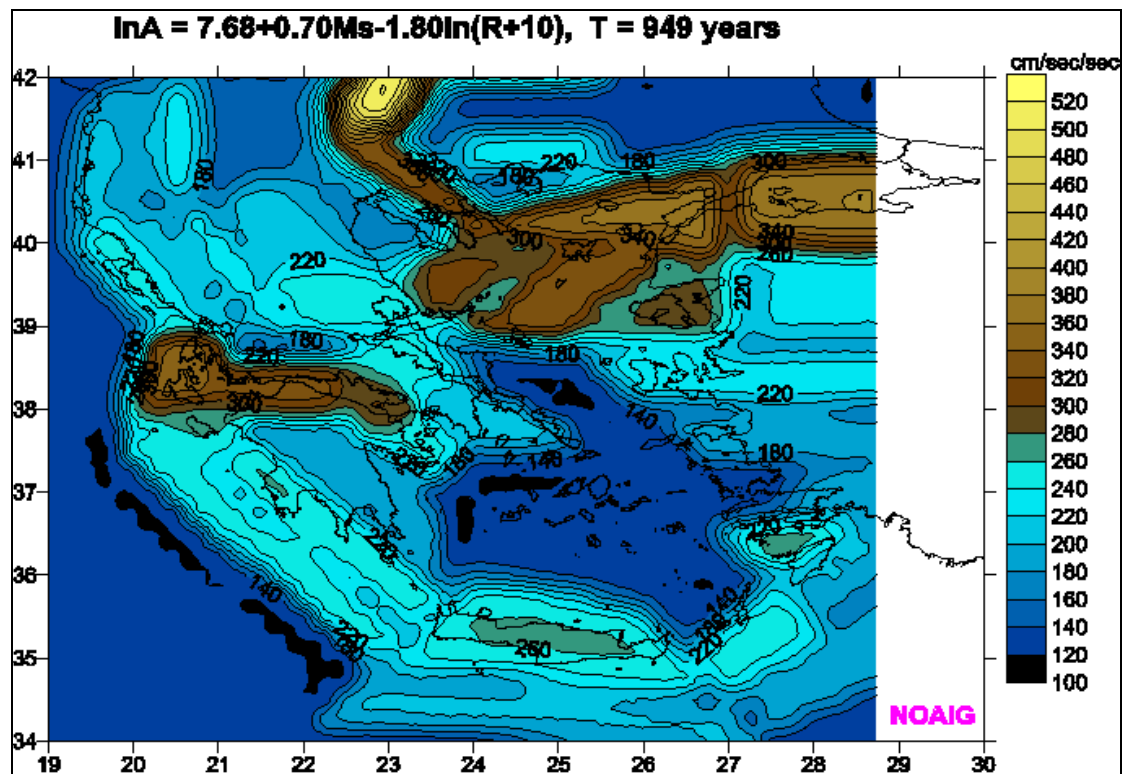
Σχ.2.8



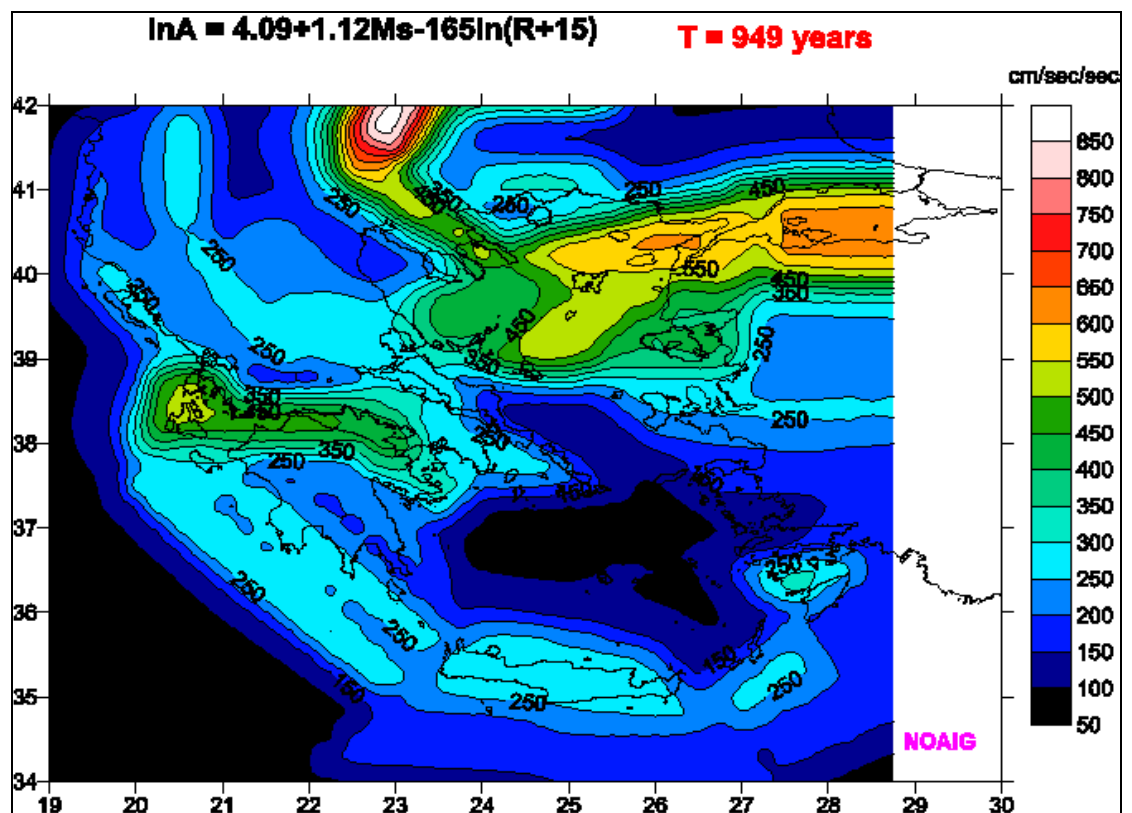
Σχ.2.9 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.6 (βλ. κείμενο)



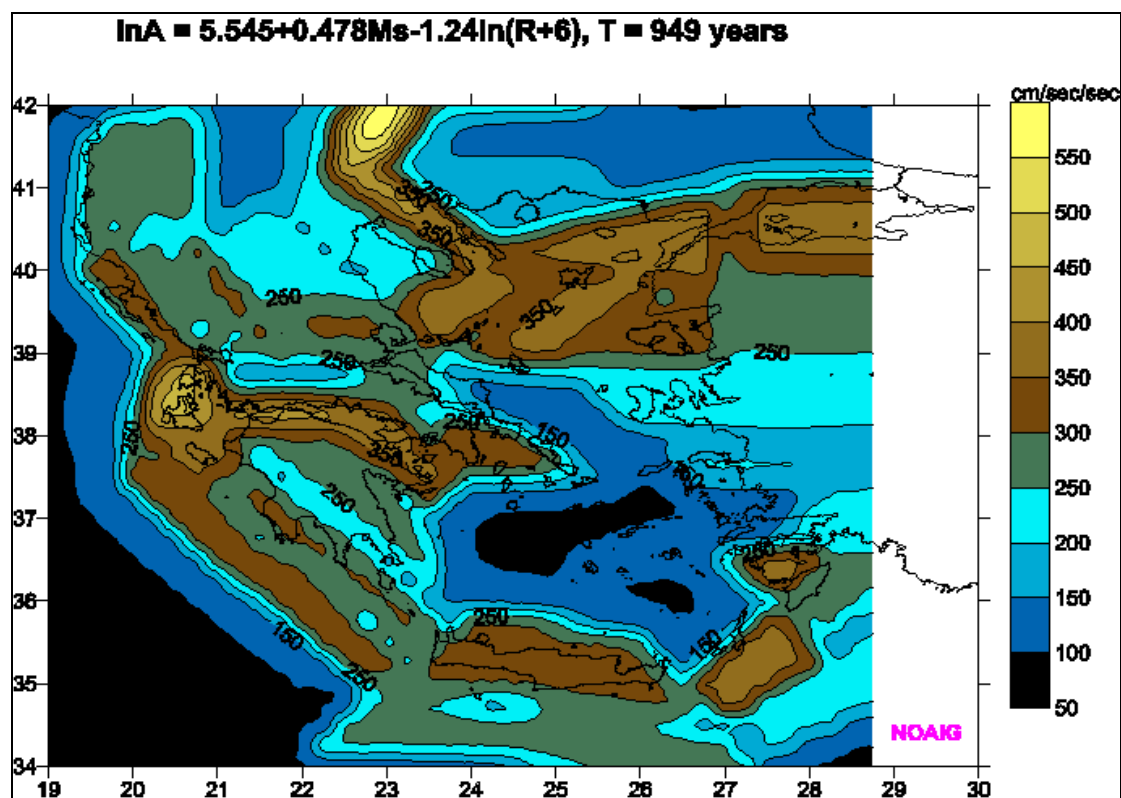
Σχ.2.10 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.7 (βλ. κείμενο)



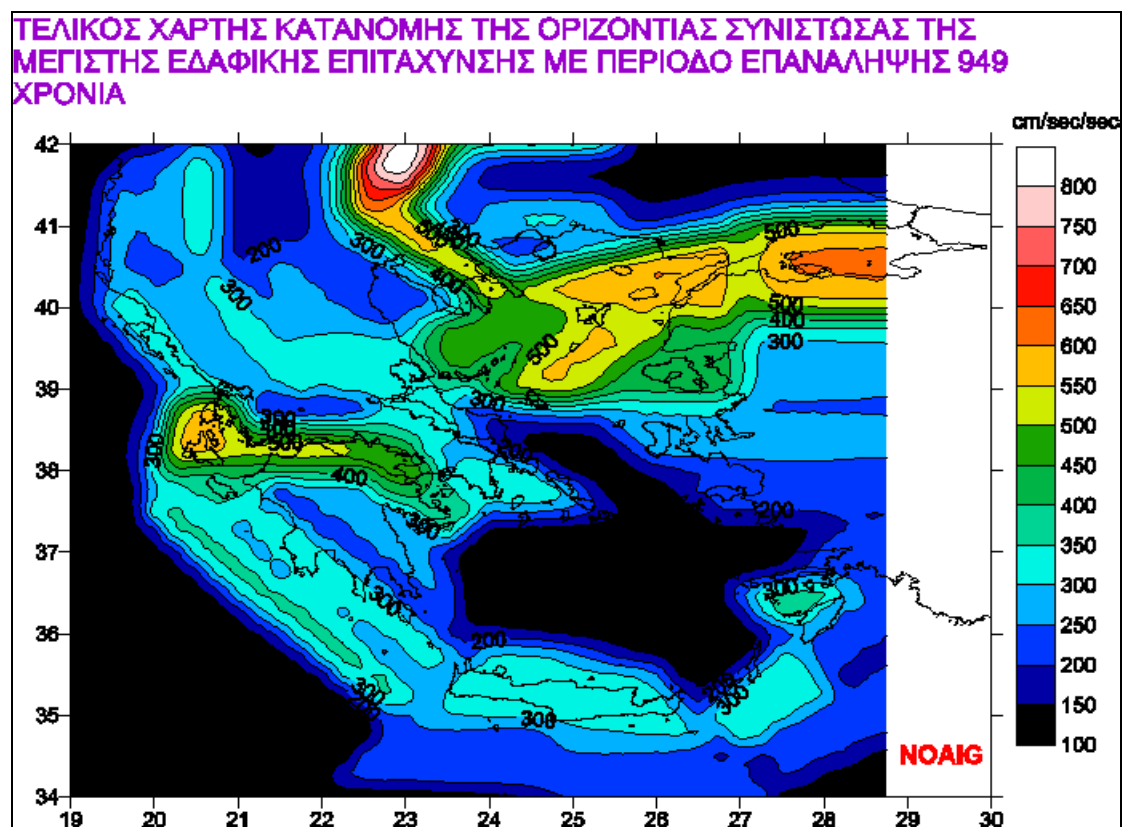
Σχ.2.11 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.8 (βλ. κείμενο)



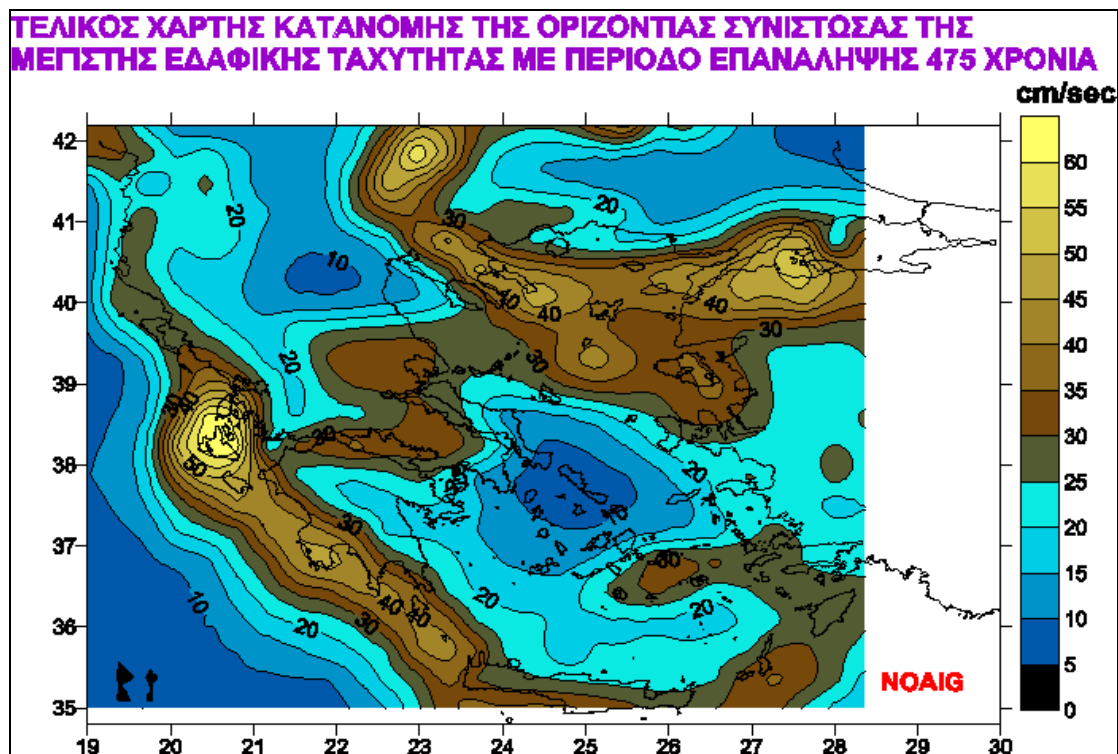
Σχ.2. 12 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.9 (βλ. κείμενο)



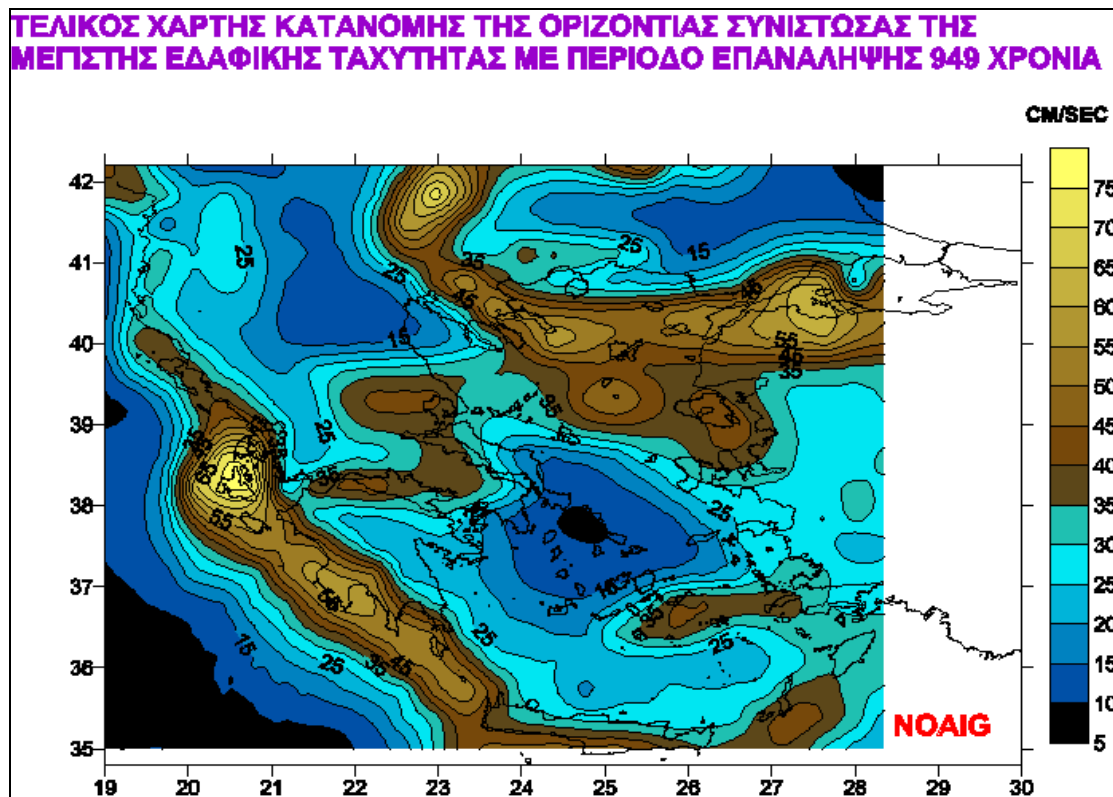
Σχ.2. 13 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.10 (βλ. κείμενο)



Σχ.2. 14



Σχ.2.15 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.12 (βλ. κείμενο)



Σχ.2.16 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας βάσει της σχέσης απόσβεσης 2.12 (βλ. κείμενο)

2.2 Μέθοδος McGuire (Γραμμικό Μοντέλο)

2.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά της Μεθόδου

Και το γραμμικό μοντέλο υπολογισμού της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής βασίζεται στο θεώρημα της ολικής πιθανότητας, δηλαδή:

$$P[A>a] = \iiint P[A>a/m, l_r(m), x] \cdot f_M(m) f_L(l_r) f_x(x) dm \cdot dl_r \cdot dx \quad (2.13)$$

Όπου: $P[A>a]$ είναι η αδέσμευτη πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμική επιτάχυνση, μεγαλύτερη μιας προκαθορισμένης στάθμης,
 $P[A>a/m, l_r(m), x]$ είναι η δεσμευμένη πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμική επιτάχυνση $A>a$, δεδομένου ότι θα γίνει σεισμός μεγέθους m , που θα αντιστοιχεί σε μήκος διάρρηξης l_r και θα γίνει σε απόσταση x .

Η ολοκλήρωση γίνεται ως προς όλα τα μεγέθη M , το συνολικό μήκος διάρρηξης L_r και τη μέγιστη απόσταση. Για να υπολογιστεί ο αναμενόμενος αριθμός των υπερβάσεων, μιας προκαθορισμένης επιτάχυνσης, πολλαπλασιάζουμε την αδέσμευτη πιθανότητα $P[A>a]$ με το μέσο ρυθμό σεισμικότητας για τη χρονική περίοδο που ενδιαφερόμαστε.

Ο συνολικός αριθμός υπερβάσεων υπολογίζεται με το άθροισμα των υπερβάσεων από κάθε ρήγμα χωριστά, η δε πιθανότητα να ξεπεραστεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο σεισμικής επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$P(A>a) = 1 - \exp\{\text{Ολικός Αριθμός Υπερβάσεων}\} \quad (2.14)$$

Η κατανομή των σεισμικών μεγεθών, για ένα συγκεκριμένο ρήγμα, ακολουθεί τους νόμους της εκθετικής κατανομής και είναι:

$$f_M(m) = k\beta \exp\{-\beta(m-m_0)\} \quad (2.15)$$

$$m_0 \leq M \leq M_1$$

όπου: $f_M(m)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας σεισμικών μεγεθών,
 m το σεισμικό μέγεθος που εξετάζεται,
 β είναι η χαρακτηριστική παράμετρος του ρήγματος,
 $\beta = b \ln 10$ όπου b η παράμετρος της γνωστής σχέσης
 $\log N(m) = a - bm$, και
 $k = \{1 - \exp(-(M_1 - m_0))\}^{-1}$

Το μέγιστο μέγεθος M_1 που μπορεί να συμβεί σ' ένα ρήγμα μπορεί να θεωρηθεί, είτε σαν μια απλή αριθμητική τιμή, είτε σαν ένα σύνολο μεγεθών με τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης.

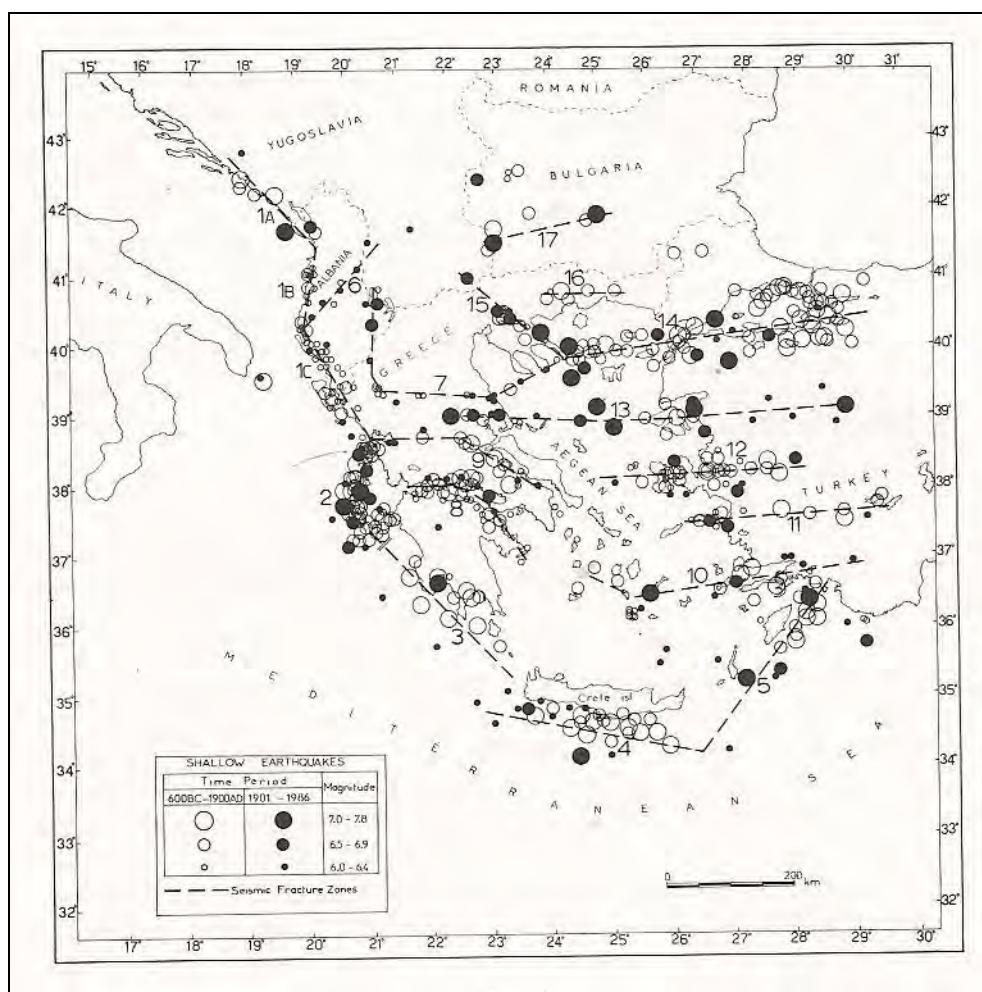
Το μήκος διάρρηξης, όπως τονίσαμε, θεωρείται η σπουδαιότερη παράμετρος στο μοντέλο που εξετάζεται. Η παράμετρος αυτή θεωρείται τυχαία μεταβλητή, με λογαριθμοκανονική κατανομή. Η μέση τιμή του λογάριθμου του μήκους διάρρηξης θεωρείται γραμμική συνάρτηση του μεγέθους των σεισμών και είναι:

$$[\text{mean}] \log L = a + bm \quad (2.16)$$

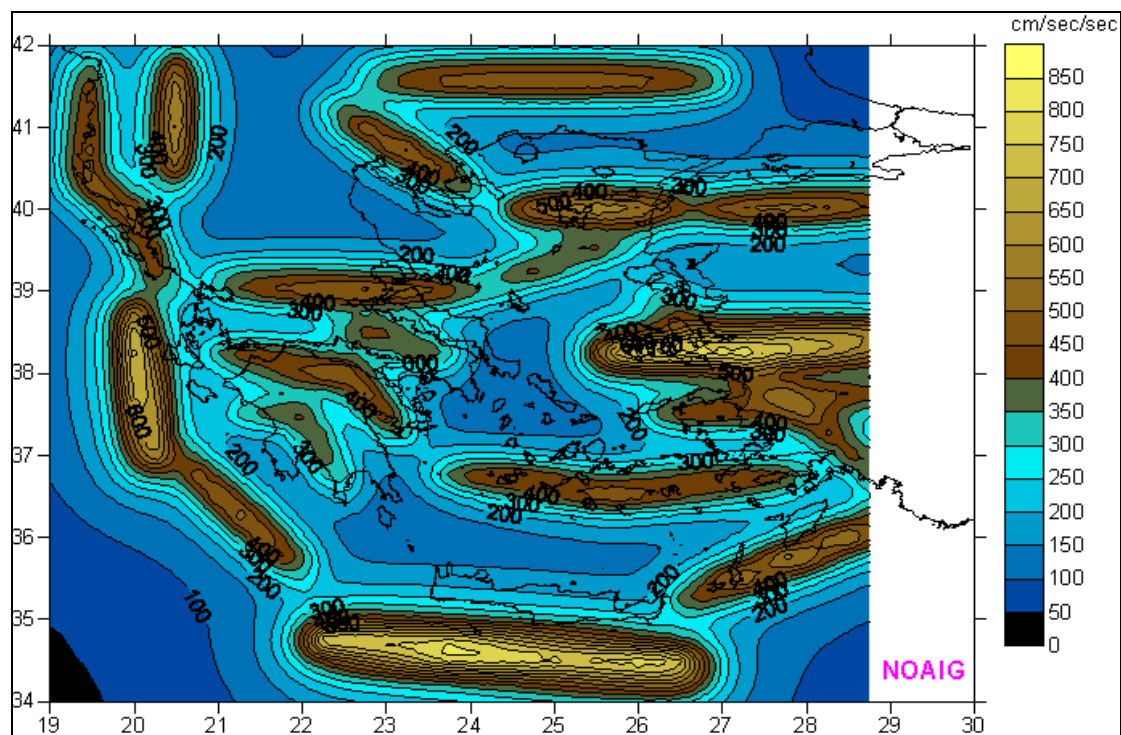
Όπου: a και b Είναι σταθερές παλινδρόμησης

2.2.2 Εφαρμογή - Αποτελέσματα

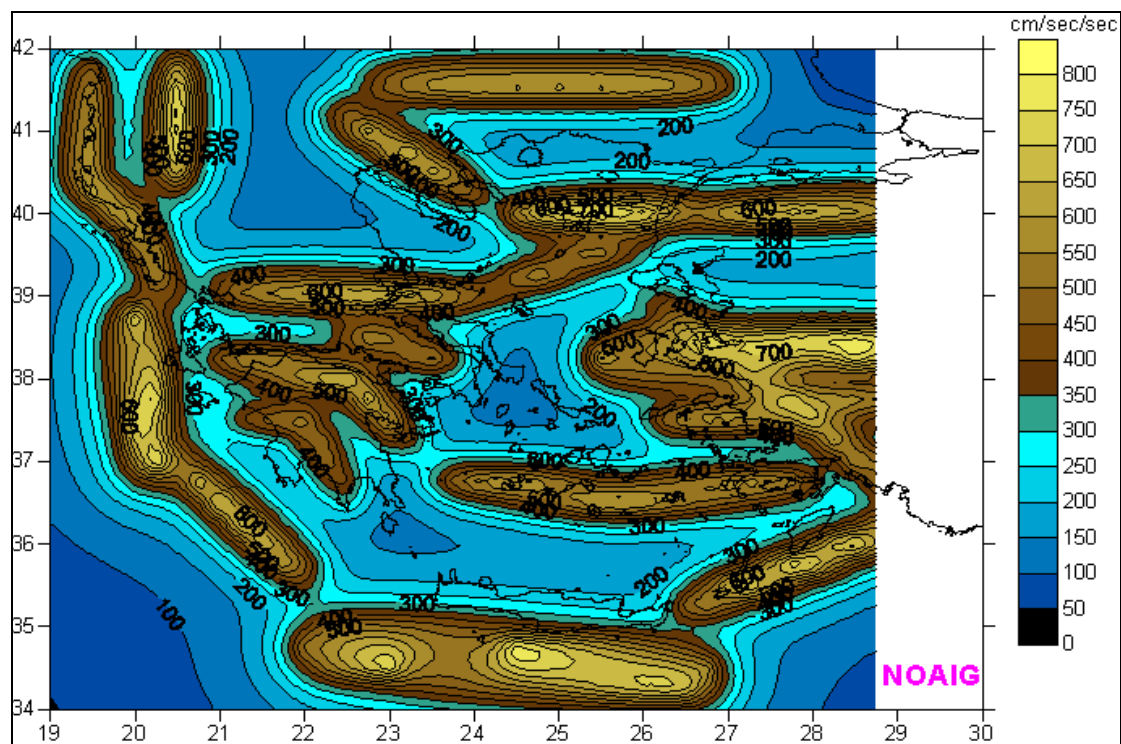
Στο **Σχήμα 2.17** φαίνεται το μοντέλο των μεγάλων ζωνών διάρρηξης σύμφωνα με *Papazachos et al. (1987)*. Ακολουθώντας τη μεθοδολογία *McGuire (1978)*, με τη σχέση απόσβεσης (2.6), και με ελάχιστο μέγεθος 5.5 (a, b, βλ. Table 1, *Papazachos et al., 1987*), υπολογίσαμε τις μέγιστες τιμές της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής επιτάχυνσης με περίοδο επανάληψης 475 και 949 χρόνια. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα **Σχήματα 2.28** και **2.19**, αντίστοιχα.



Σχ. 2.17 Μοντέλο ζωνών διάρρηξης ισχυρών σεισμών του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών (Papazachos et al., 1987)



Σχ.2.18 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης με περίοδο επανάληψης 475 χρόνια, σύμφωνα με το μοντέλο των ζωνών διάρρηξης του σχ.2.17



Σχ.2.19 Κατανομή των μέγιστων τιμών της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης με περίοδο επανάληψης 949 χρόνια, σύμφωνα με το μοντέλο των ζωνών διάρρηξης του σχ.2.17

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Algermissen, S.T., Perkins, D.M., Thenhaus, P.C., Hanson, S.L. and Bender, B.L.(1982).** Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States. U.S. Dept. of Geol. Survey, Open File Rept., 82-1033.
- Cornell, C.A., 1968.** Engineering seismic risk analysis: *Seismol. Soc. America Bull.*, v. 58, no. 5, p. 1503-1606.
- Cornell, C.A., 1971.** Probabilistic analysis of damage to structures under seismic load, in Howell, D.A., Haig, I.P., and Taylor, C., Dynamic waves in civil engineering: *London, Interscience*, p. 473-488.
- Drakopoulos, J. and Stavrakakis G. (1988).** Seismic hazard assessment in Greece based on different source models. *Proc. of XXI Gen. Ass. ESC, Sofia, Aug.23-27, 1988.*
- Galanis,O., Tsapanos, T., Papadopoulos, G. and A. Kiratzi, (2001).** An alternative Bayesian statistics for probabilistic earthquake prediction in Mexico, central and south America. *Bull. Geol. Society of Greece, XXXIV/4,1485-1491.*
- Ganas, A., and Papoulia I.,(2000).** High-resolution Digital Mapping of the Seismic Hazard within the Gulf of Evia rift, Eastern Central Greece using normal fault segments as line sources. *Natural Hazards*, **22**, 203-223.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A. (1989).** Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I. Utilization of extreme and complete catalogs with different threshold magnitudes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **79**, 645-654.
- Makropoulos, K.C. (1978).** The statistics of large earthquake magnitude and an evaluation of Greek seismicity. *Ph.D. Thesis, Univ.of Edinburg, 1-193.*
- Makropoulos, K.C. and Burton, P.W., (1984a).** Seismic hazard in Greece.I. Magnitude recurrence. *Tectonophysics*, **117**,205-257.
- Makropoulos, K.C. and Burton, P.W., (1984b).** Seismic hazard in Greece. II- Ground acceleration. *Tectonophysics* **117**, 259-294.
- Makropoulos, K.C., Stavrakakis, G.N., Latoussakis, J., and Drakopoulos, J. (1986).** A comparative seismic hazard study for the area of Greece. *Proc. 2nd Intern. Sem. On Earthquake Prognostics, Berlin, 179-197 (eds. Vogel and Brandes)*
- Makropoulos, K.C., Stavrakakis, G.N., Latoussakis, J., and Drakopoulos, J. (1988).** Seismic zoning studies in the area of Greece based on the most perceptible earthquake magnitude. *Geofizika*, **5**, 37-48.

- Makropoulos, K.C., Drakopoulos, J. and Latoussakis, J. (1989).** A revised earthquake catalogue since 1987. *Geophys. J. Int.* 98, 391-394.
- Μάργαρης,Β., Παπαζάχος,Κ., Παπαϊωάννου, Χ., Θεοδουλίδης, Ν., Καλογεράς,Ι., Σκαρλατούδης,Α. (2001).** Εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. *Πρακτικά 2^{ου} συνεδρίου αντισεισμικής μηχανικής και τεχνικής σεισμολογίας, 28-30 Νοεμβρίου, 2001, Θεσσαλονίκη, (ΤΕΕ, ΟΑΣΠ, ΙΤΣΑΚ, ΣΠΜΕ), Τόμος Α, 27-36.*
- McGuire, R.K. (1976).** FORTRAN Computer program for seismic risk analysis. *U.S.G.S. Open-File Rept.*, 76-67, 90 pp.
- McGuire, R.K. (1978).** FRISK Computer program for seismic hazard analysis, using faults as earthquake sources. *U.S.G.S. Open-File Rept.*, 78-1007, 62 pp.
- Papadopoulos, G.A. (1987).** An alternative view of the Bayesian probabilistic prediction of strong shocks in the Hellenic arc. *Tectonophysics*, 132, 311-320.
- Papadopoulos, G.A. and A. Kijko (1991).** Maximum likelihood estimation of earthquake hazard parameters in the Aegean area from mixed data. *Tectonophysics*, 185, 277-294.
- Papadopoulos,G.A. , Vassilopoulou, A. & Plessa, A.,(2000).** A new catalogue of historical earthquakes in the Corinth Rift, Central Greece: 480B.C. –A.D. 1910. *In : G.A. Papadopoulos (Ed.) Historical Earthquakes & Tsunamis in the Corinth rift, Central Greece , Inst. of Geodynamics, Natl. Observatory of Athens, Publ. No 12, 9-119.*
- Papadopoulos,G.A. & Plessa, A., (2001).** Historical earthquakes and tsunamis of the South Ionian Sea occurring from 1591 to 1837. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 34/4, 1547-1554.
- Papadopoulos,G.A. & Vassilopoulou, A.,(2001).** Historical and archaeological evidence of earthquakes and tsunamis felt in the Kythira strait, Greece. *In : G.T. Hebenstreit (Ed.) Tsunami Research at the End of a Critical Decade, Kluwer , in press.*
- Παπαϊωάννου, Χρ.Α., Χατζηδημητρίου, Π.Μ., Παναγιωτόπουλος,Δ.Γ., και Παπαζάχος, Β.Κ. (1984).** Εφαρμογή διαφόρων μεθόδων για τον καθορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας σε μεγάλες πόλεις του Ελληνικού χώρου. *Πρακτικά Συν. Σεισμοί και Κατασκευές, ΣΠΜΕ, Αθήνα, 1, 251-261.*
- Papaioannou, Ch.A., Hatzidimitriou, P.M., Papazachos, B.C., and Theodulidis,N.P. (1985).** Seismic hazard assessment for southern Balkan region

based on seismic sources. *Proc. 3rd Int. Symp. Analysis of seismicity and seismic risk, Liblice, Czechoslovakia*, 394-400

Papaioannou, Ch.A.(1986a). Seismic hazard assessment and long-term earthquake prediction in Southern Balkan region. *Proc. of 2nd Int. Sem. On earthquake prognostics, Vogel A. edit., Berlin*, 223-241.

Παπαϊωάννου, Χρ.Α. (1986b). Σεισμική επικινδυνότητα του Ελληνικού χώρου. *Πρακτικά 1^{ov} συμποσίου για τις εξελίξεις στη Σεισμολογία και Γεωφυσική του Ελληνικού χώρου, Θεσ/νίκη*, 277-291.

Papaioannou, Ch.A., and B.C. Papazachos, (2000). Time-Independent and Time-Dependent seismic hazard in Greece based on seismogenic sources. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol.90, 22-33.

Papanastassiou, D., Latoussakis, J., G. Stavrakakis (2001). A revised earthquake catalogue of earthquakes in the broader area of Greece for the period 1950-2000. *Proc. of 9th international congress of the geological society of Greece, Athens, Sep.2001, Vol.III*, 1563-1566

Papazachos, B.C., E.E. Papadimitriou, A.A. Kiratzi, Ch.A. Papaioannou, and G.F. Karakaisis, (1987). Probabilities of occurrence of large earthquakes in the Aegean and surrounding area during the period 1986-2006. *Pure and Applied Geophys.*, 125, 597-612.

Papazachos, B.C. (1989). The seismic zones in the Aegean and surrounding areas. *Proc. Of the XXI General Assembly of the European Seismological Commission, 23-27 August, 1988, Sofia, Bulgaria*, 82-87.

Papazachos, B.C. and Papazachou, Cath. (1989). Earthquakes in Greece. *Editor Ziti, Thessaloniki (in Greek with English abstracts)*.

Papazachos, B.C., Papaioannou, Ch.A., Papastamatiou, D.J., Margaris, B.N. and Thedoulidis, N.P. (1990). On the reliability of different methods of seismic hazard in Greece. *Natural Hazards*, 3, 141-151.

Papazachos, B.C., Papaioannou, Ch.A., Margaris, B.N. and Thedoulidis, N.P.(1993). Regionalization of seismic hazard in Greece based on seismic sources. *Natural Hazards*, 8, 1-13.

Papazachos, B.C. and Papaioannou, Ch.A. (1993). Long-term earthquake prediction in the Aegean area based on a time and magnitude predictable model. *Pure and Applied Geophys.*, 140, 595-612.

- Papazachos, B., and Papazachou Cath., (1997).** The earthquakes of Greece, *Editions Ziti, Thessaloniki*.
- Papoulia, J.E. (1992).** An application of Cornell's classical approach to seismic hazard analysis of Volos, central Greece, *Bull. Geol. Society of Greece*, XXVII,3,223-232.
- Papoulia, J.E. and Stavrakakis, G.N. (1990).** Attenuation laws and seismic hazard assessment. *Natural Hazards*, 3, 49-58.
- Papoulia, J.E. and Stavrakakis, G.N. (1995).** Seismic hazard parameter's estimation in Greece and surrounding area based on historical and instrumental data. *Bull. Geof. Teor. Appl.*, XXXVII, 315-322.
- Papoulia, J.E. and Stavrakakis, G., and Kavadas, S. (1996).** A linear and Bayesian source model for seismic hazard estimation along subduction zones. *Bull. Geol. Soc. of Greece (spec. edition)*, No.6, 186-192.
- Papoulia, J.E. and Stavrakakis, G., and Papanikoloau, D. (2001).** Bayesian estimation of strong earthquakes in the inner Messianiakos fault zone, southern Greece, based on seismological and geological data. *Journal of Seismology*, 5, 233-242.
- Σταυρακάκης, Γ.Ν. (1985).** Συμβολή της στατιστικής Bayes στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης και προσομοίωση των αναμενόμενων ισχυρών εδαφικών κινήσεων. *Διδακτ. Διατριβή, Παν. Αθηνών*, 1-294.
- Stavrakakis G., Drakopoulos, J. and Papoulia, J. (1986a).** A fault rupture model for seismic hazard analysis in the Gulf of Corinth, central Greece. *Proc. Inter. Symp. On Engen. Geol. Problems, Bari, Italy*, 167-176.
- Stavrakakis G., Drakopoulos, J. and Makropoulos, K. (1986b).** A model for the seismic hazard assessment in southwestern Peloponessus and synthesized ground motions for the city of Kalamata. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 233-249.
- Stavrakakis, G.N. (1987).** A present-day methodology for seismic hazard evaluation. *In: A proposal for a uniform Eurocode no 8*, 1-48.
- Stavrakakis, G.N. and Tselentis, G.A. (1987).** Bayesian probabilistic prediction of strong earthquakes in the main seismogenic zones of Greece. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 29, 51-63.
- Stavrakakis G., Drakopoulos, J. and Latoussakis, J. (1987).** A seismic hazard model based on the expected earthquake magnitude from a fault. *Proc. Inter. Symb. on seismic zoning, Canton, China*, 260-271.

- Stavrakakis, G.N. and Drakopoulos J. (1988).** An improved model for evaluating seismic hazard in a archeological site. *Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. of Ancient Works, Monum., and Hist. sites*, 1273-1277.
- Stavrakakis G.N. and Papoulia, J.E.(1989).** Uniform risk spectrum of strong earthquake ground motion. *Proc. 4th Int. Sym., Liblice, Praha, on the analysis of seismicity and seismic risk*, 417, 424.
- Stavrakakis G.N. and Papoulia, J.E.(1990).** A linear model for seismic hazard analysis in Greece. *Proc. 9th E.C.E.E., Moscow*, 237-244.
- Stavrakakis, G.N. and Drakopulos, J. (1991).** A Bayesian model for *seismic hazard mapping in Greece*. *Proc. 1st Int. Conf. of Earthquake Eng., Berlin*, 1-44.
- Stavrakakis, G.N. and Drakopulos, J. (1995).** Bayesian probabilities of earthquake occurrences in Greece and surrounding areas. *Pageoph*, 144, 307-319.
- Stavrakakis, G.N. (1990).** Seismicity gaps and seismic hazard in Greece and surrounding area. *Proc. of 9th European Conf. on Earthq. Eng., Moscow*, 143-151.
- Stavrakakis, G.N., T.D. Papadopoulos, N.S. Voulgaris, and J.K. Drakopoulos (1997).** Seismic hazard estimation in the framework of microzonation studies. *Engineering Geology and the Environment, Balkema (Rotterdam) editions (Eds. Marinos, Koukis, Tsiambaos, Stournaras)*, 1493-1498.
- Theodoulidis, N. .P. (1988).** Seismic response spectra in the area of Greece. *Proc. of the 1st symposium on the development of seismology and geophysics in Greece, Thessaloniki, 1-3 July*, 225-240.
- Theodoulidis, N.P. (1991).** Contribution to the study of strong motion in Greece. *Ph.D. Thesis, Univ. Thessaloniki*, 1-500.
- Theodoulidis, N. and B. Papazachos (1990).** Strong motion from intermediate subduction earthquakes and its comparison with that of shallow earthquakes in Greece. *Proc. of XXII Gen. Ass. ESC, Barcelona, Sep. 1990*.
- Theodoulidis, N. and B.C. Papazachos (1992).** Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I. Peak ground acceleration, velocity and displacement. *Soil Dynamics and Earthq. Eng.*, 11, 387-402.
- Tsapanos, T.M. and Burton, P.W. (1991).** Seismic hazard evaluation for specific seismic regions of the world. *Tectonophysics*, 195,153-169.
- Tsapanos, T.M. (2000).** Evaluation of the seismic hazard parameters for selected regions of the world: The maximum regional magnitude. *Ann. di Geof., (in press)*.

Tsapanos, T.M., O.Ch. Galanis, S.D. Mavridou, and M.P. Helmi (2001). Bayesian probabilities for occurrence of large earthquakes in the seismogenic sources of Japan and Phillipine during the period 1998-2017. *Bull. Geol. Society of Greece, XXXIV*, 1619-1625