

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Αρ. Πρωτ. 2401
30-12-86

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ
ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ

Ο Α Σ Π

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΑΘΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1986

46/α

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ
ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ

Ο Α Σ Π

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΑΘΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1986

46/α

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Σελ.

Πρόλογος.....	
1. Πιθανολογικό μοντέλο εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.....	2
2. Στατιστικά μοντέλα στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.....	6
2.1. Εισαγωγή.....	6
2.2. Θεωρητικό υπόβαθρο.....	6
2.3. Στατιστική μεγεθών.....	7
2.4. Στατιστική των αναμενόμενων εδαφικών παραμέτρων.....	9
2.5. Εφαρμογή για την πόλη της Καλαμάτας.....	9
2.5.1.Αναμενόμενα σεισμικά μεγέθη για την πόλη της Καλαμάτας.	10
2.5.2.Αναμενόμενες εδαφικές επιταχύνσεις για την πόλη της Καλαμάτας.....	12
2.5.3.Αναμενόμενες εδαφικές ταχύτητες για την πόλη της Καλαμάτας.....	14
2.5.4.Αναμενόμενες εδαφικές μετατοπίσεις για την πόλη της Καλαμάτας.....	16
2.5.5.Αναμενόμενες μέγιστες μακροσεισμικές εντάσεις για την πόλη της Καλαμάτας.....	19
2.6. Καθορισμός του πιο πιθανά βλαβερού σεισμικού μεγέθους της πόλης της Καλαμάτας.....	21
2.6.1.Εισαγωγή.....	21
2.6.2.Βασικές θεωρητικές έννοιες.....	21
3. Τροποποιημένη μέθοδος Cornell για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.....	
3.1. Βασικό θεωρητικό υπόβαθρο.....	24
3.1.1.Εμφάνιση σεισμών.....	24
3.1.2.Μέγιστες εδαφικές παράμετροι.....	28
3.2. Εφαρμογή της μεθόδου.....	30
4. Μέθοδος McGuire για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.....	
4.1. Εισαγωγή.....	42
4.2. Χαρακτηριστικά του μοντέλου McGuire.....	42
4.2.1.Εμφάνιση των σεισμών.....	42

4.2.2.Μοντέλο σεισμικών πηγών.....	44
4.2.3.Υπολογισμός της σεισμικής επικινδυνότητας.....	44
4.3. Εφαρμογή του μοντέλου McGuire στην πόλη της Καλαμάτας...	46
4.4. Εφαρμογή του μοντέλου McGuire στην πόλη της Καλαμάτας με παράμετρο τη μακροσεισμική ένταση.....	50
5. Μοντέλο διάρρηξης στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνό- τητας.....	
5.1. Εισαγωγή.....	52
5.2. Γενικά χαρακτηριστικά του μοντέλου διάρρηξης.....	52
5.3. Εφαρμογή του μοντέλου διάρρηξης.....	53
6. Υποδείξεις για τα φάσματα σχεδιασμού στην Καλαμάτα.....	59
6.1. Φάσμα κατά Seed και τους συνεργάτες του.....	60
6.2. Φάσμα κατά τη μεθοδολογία Newmark και των συνεργατών του	62
6.3. Φάσμα κατά τη μεθοδολογία ATC-3.....	64

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της Μικροζωνικής μελέτης της πόλης της Καλαμάτας ανατέθηκε απο τον ΟΑΣΠ στον Τομέα Γεωφυσικής του Παν/μίου Αθηνών ο υπολογισμός της σεισμικής επικινδυνότητας.

Στο παρόν τεύχος που αποτελεί και την τελική έκθεση αναλύονται και περιγράφονται οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν και παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα τόσο σε μορφή πινάκων όσο και διαγραμμάτων .

Πιστεύουμε ότι τόσο οι αναμενόμενες στάθμες εδαφικών κινήσεων (ένταση, επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση) όσο και τα φάσματα σχεδιασμού που προτείνονται σε συνδυασμό και με άλλες σχετικές εργασίες θα βοηθήσουν στο σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό της πόλης της Καλαμάτας .

Η συγκεκριμένη εργασία εκπονήθηκε απο τους καθηγ.Ι.Δρακόπουλο (χωρίς αμοιβή),επικ. καθηγ. Κ. Μακρόπουλο (επιστ.υπεύθυνος) και Δρ. Σεισμ. Γ. Σταυρακάκη .

Στην παρούσα εργασία συμμετείχαν και άλλοι συνεργάτες του Τομέα ή επιστήμονες που εκπονούν διδακτορική διατριβή.

Με την παρούσα εργασία συνυποβάλλεται και σχετική μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας που βρίσκεται υπό δημοσίευση.

1. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Η μελλοντική σεισμική φόρτιση σε μια περιοχή προσδιορίζεται σήμερα με τον πλέον αξιόπιστο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα ενόργανα σεισμολογικά δεδομένα και συνδυάζοντάς τα με τα γενικά σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής.

Στο σχήμα 1.1. φαίνεται συνοπτικά η διαδικασία και τα διάφορα στάδια που ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.

Στο στάδιο (1) έγινε η επιλογή των σεισμών που αντιστοιχούν σε ακτίνα μήκους 1.5° από την πόλη της Καλαμάτας. Οι σεισμοί πάρθηκαν από τον κατάλογο των Makropoulos et al. (1986) και αντιστοιχούν στη χρονική περίοδο 1900 - 1983 και με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 5.0. Σεισμοί με μικρότερα μεγέθη δεν λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση επειδή η επίδραση τους στις κατασκευές θεωρείται πολύ μικρή. Στο παράρτημα I φαίνονται όλες οι παράμετροι των σεισμών που αντιστοιχούν σε 1.5° από την πόλη της Καλαμάτας. Για τη στατιστική ανάλυση των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών εξετάσθηκαν μόνο οι σεισμοί που αντιστοιχούν σε ακτίνα μήκους μιας μοίρας από την Καλαμάτα.

Στο στάδιο (2) έγινε η γραφική απεικόνιση των σεισμικών επικέντρων σε κλίμακα 1:2.000.000 όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.

Στο στάδιο (3) έγινε το μοντέλο σεισμικών πηγών της περιοχής. Το μοντέλο υιοθετήθηκε ύστερα από συνδυασμό της γεωγραφικής κατανομής των σεισμικών επικέντρων με τα γενικά σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τις δυνατότητες της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και με υποκειμενική κρίση. Σεισμική πηγή (seismic source) ορίζεται ο χώρος απ'όπου αναμένεται μελλοντική σεισμική δραστηριότητα. Τα μοντέλα που εξετάσθηκαν για την πόλη της Καλαμάτας θεωρήθηκαν γραμμικά όταν τα επίκεντρα βρίσκονται κατά προσέγγιση σ'ευθεία γραμμή, και επιφανειακά όταν η κατανομή των επικέντρων είναι τυχαία σε μια ευρύτερη επιφάνεια με ρήγματα διαφόρων διευθύνσεων.

Για κάθε σεισμική πηγή προσδιορίστηκαν οι συντελεστές a και b του επαναληπτικού μοντέλου εμφάνισης των σεισμών

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

όπου:

$N(M)$ ο συσσωρευτικός αριθμός των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ενός προκαθορισμένου M .

Στο στάδιο (4) έγινε η επιλογή του μοντέλου για την εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης τόσο των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών όσο και των μέγιστων εδαφικών παραμέτρων για την πόλη της Καλαμάτας. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής, όσο και τα αποτελέσματα του πρόσφατου καταστρεπτικού σεισμού της 13 Σεπτεμβρίου 1986 μελετήθηκαν και εφαρμόστηκαν οι πιο σύγχρονες μέθοδοι εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η μέθοδος των ακραίων τιμών θεωρώντας το σύνολο των σεισμών που έχουν γίνει σε απόσταση 1° και 1.5° γύρω από την πόλη της Καλαμάτας σαν ένα στατιστικό δείγμα και υπολογίστηκαν όλες οι στατιστικές παράμετροι όπως αναλυτικά περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

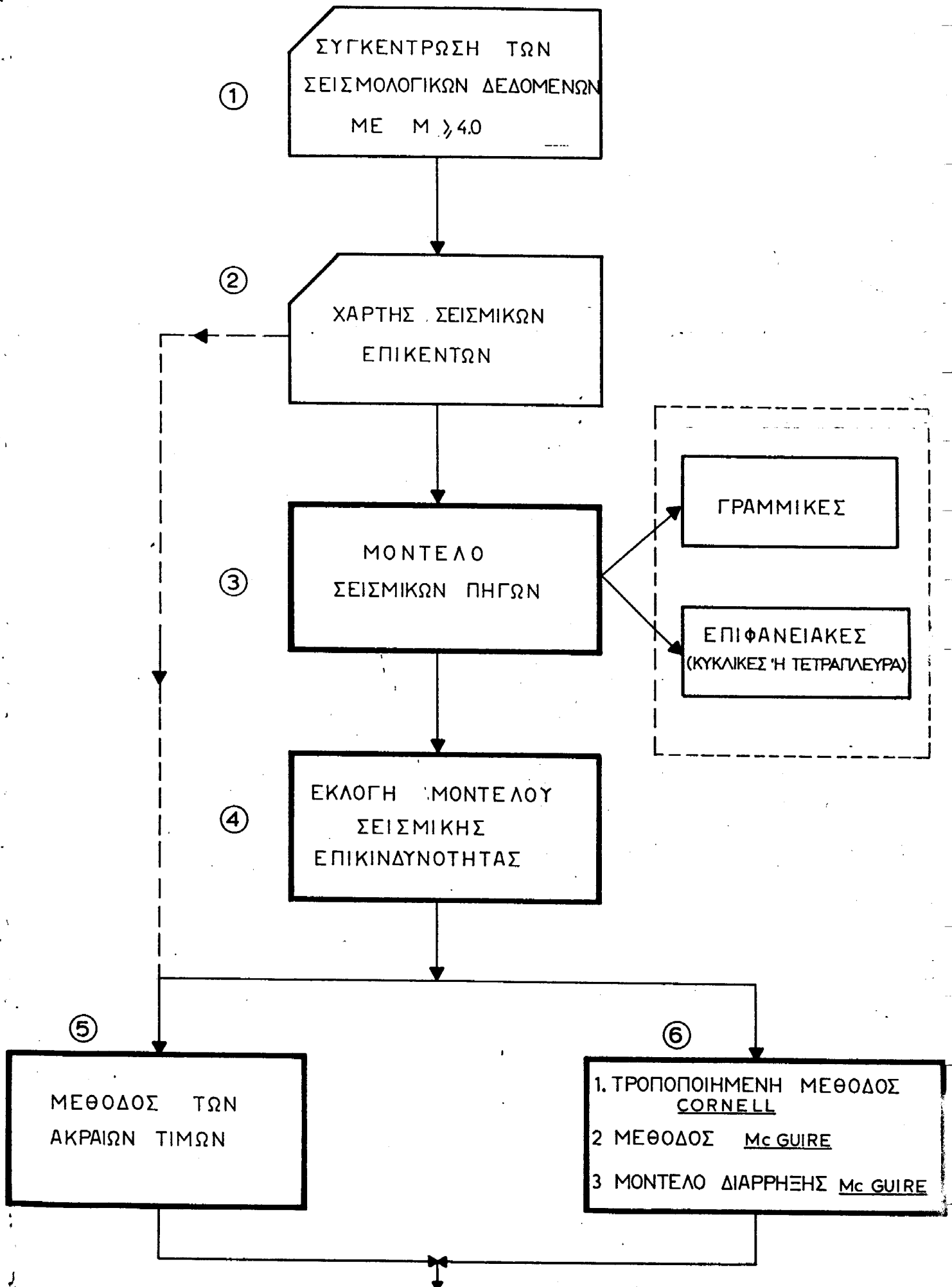
Στη συνέχεια εξετάστηκαν μοντέλα που ενσωματώνουν τα γενικά σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά με τη σεισμικότητα της περιοχής. Τα μοντέλα αυτά θεωρούν ότι η εμφάνιση των σεισμών είναι μια διαδικασία Poisson στο χώρο και στο χρόνο και διαφέρουν στον τρόπο απεικόνισης των σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την εξεταζόμενη πόλη της Καλαμάτας.

Επειδή η κατανομή των βλαβών εξαρτάται, εκτός των άλλων, κύρια από τον τρόπο διάδοσης της διάρρηξης στο επίπεδο του ρήγματος, εφαρμόστηκε και το μοντέλο McGuire σύμφωνα με το οποίο ο υπολογισμός της πιθανότητας υπέρβασης μιας ορισμένης στάθμης των εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων βασίζεται στο μήκος διάρρηξης L που αντιστοιχεί σε σεισμικό μέγεθος M , σύμφωνα με τη σχέση

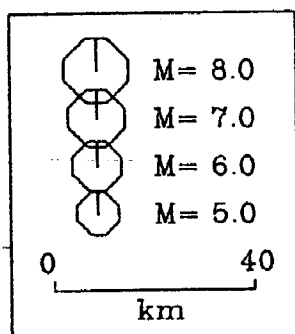
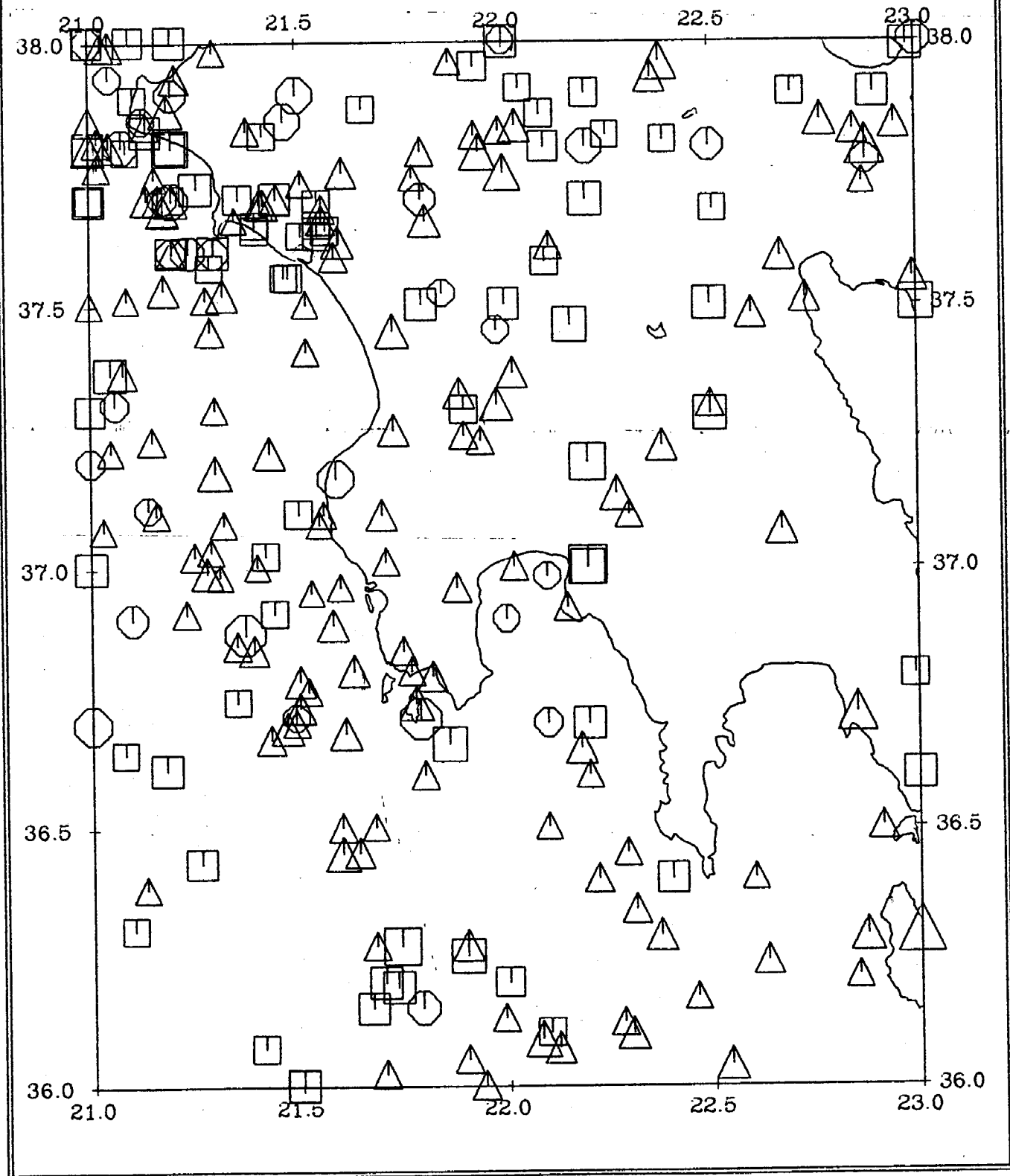
$$\log L = -a + bM$$

όπου a και b σταθερές παλινδρόμησης.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μοντέλων που εφαρμόστηκαν καθώς και η κριτική των αποτελεσμάτων γίνεται στην παράγραφο που ακολουθεί.



Σχ. 1.1. Μέγιστες Αναμενόμενες Εδαφικές Παράμετρα με Πιθανότητα P να μη ξεπερασθή στα επόμενα T χρόνια.



Depth(km)	
○	< 10
◻	10 < and < 30
△	30 <

Σχ.1.2. Χάρτης σεισμικότητας σε ακτί-
να 1.5° από την πόλη της Κα-
λαμάτας.

2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

2.1. Εισαγωγή

Θεωρώντας ότι η εμφάνιση των σεισμών είναι μια διαδικασία Poisson και τα σεισμικά μεγέθη ακολουθούν τους νόμους της εκθετικής κατανομής, υπολογίζεται με καθαρά στατιστικές μεθόδους τόσο η περίοδος επανάληψης των σεισμών όσο και η πιθανότητα υπέρβασης μιάς προκαθορισμένης στάθμης των εδαφικών παραμέτρων που εξετάζονται για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιάς περιοχής.

Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών για το σύνολο των σεισμών που αντιστοιχούν σε ακτίνα 1 μοίρα γύρω από την Καλαμάτα με σκοπό τον υπολογισμό των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών και της αντίστοιχης πιθανότητας για διαφορετικές χρονικές περιόδους. Με την ίδια μέθοδο και με βάση το σύνολο των σεισμών που αντιστοιχεί σε ακτίνα 1.5 μοίρα γύρω από την Καλαμάτα, υπολογίζονται οι αναμενόμενες στάθμες της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης για διαφορετικές χρονικές περιόδους και πιθανότητες υπέρβασης.

2.2. Βασικό Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεθόδου των ακραίων τιμών είναι ότι λαμβάνεται υπόψη μόνο το μέγιστο ετήσιο παρατηρούμενο σεισμικό μέγεθος και υπολογίζεται η πιθανότητα P να είναι ένα μέγεθος m το μέγιστο στο στατιστικό δείγμα που εξετάζεται.

Για τα σεισμικά μεγέθη, η κατανομή των ακραίων τιμών εξετάζεται από τη σχέση (Gumbel, 1966).

$$\Phi^I(m) = \exp\left[-\exp(a(m-u))\right], \quad a > 0 \quad (2.1)$$

και η κατανομή των μέγιστων τιμών των εδαφικών παραμέτρων (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση) από τη σχέση:

$$\Phi^{III}(y) = \exp\left[-\left(\frac{\omega-y}{\omega-u}\right)^{1/\lambda}\right], \quad \lambda > 0, \quad y \leq \omega, \quad u < \omega \quad (2.2)$$

Η πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμός μεγέθους μικρότερου ή ίσου του m είναι:

$$P(m) = 1 - \Phi(m) \quad (2.3)$$

και η περίοδος επανάληψής του θα είναι:

$$T(m) = 1/P(m) \quad (2.4)$$

Η παράμετρος u των σχέσεων (2.1) και (2.2) είναι η χαρακτηριστική μέγιστη τιμή της πρώτης και τρίτης ασύμπτωτης κατανομής με πιθανότητα $1/e$ και ταυτόχρονα το mode των αντίστοιχων συναρτήσεων κατανομής. Για ένα δοσμένο σύνολο σεισμών, η παράμετρος u αντιστοιχεί στο μέγιστο μέγεθος που είναι το πιο πιθανό να εμφανιστεί σε δεδομένη χρονική περίοδο. Στην περίπτωση που η εξεταζόμενη χρονική περίοδος είναι ένας χρόνος, τότε η παράμετρος u εκφράζει το πλέον πιθανό ετήσιο σεισμικό μέγεθος (πιθανότητα εμφάνισης 63%).

Η παράμετρος ω της σχέσης (2.2) είναι το μέγιστο σεισμικό μέγεθος που μπορεί να εμφανιστεί στην εξεταζόμενη περιοχή, και εξαρτάται από τα σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της και κύρια από το ρυθμό συσσώρευσης των τεκτονικών τάσεων. Τέλος, η παράμετρος λ της σχέσης (2.2) χαρακτηρίζει την καμπυλότητα της τρίτης κατανομής. Οι τιμές των ω , u και λ προσδιορίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για ένα δεδομένο σύνολο σεισμών.

2.3. Στατιστική Μεγεθών

Θεωρώντας ότι το μέγεθος των σεισμών είναι τυχαία μεταβλητή και υποθέτοντας μία διαδικασία Poisson, τότε η αθροιστική συνάρτηση κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$F(m) = 1 - \exp(-\beta m) \quad (2.5)$$

όπου $\beta = b \ln 10$ και b η παράμετρος b της σχέσης $\log N(m) = a - bm$. Στην περίπτωση αυτή, η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής του μέγιστου ετήσιου αναμενόμενου σεισμικού μεγέθους δίνεται από τη σχέση:

$$G(m) = \exp \left[-a \exp(-\beta m) \right] \quad (2.6)$$

που είναι ισοδύναμη με την αντίστοιχη εξίσωση (2.1) της πρώτης ασυμπτωτικής.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, υπολογίζονται χρήσιμες παράμετροι για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιάς περιοχής, όπως:

(a) Το πλέον πιθανό ετήσιο σεισμικό μέγεθος,

$$M_1 = u \quad (2.7)$$

(b) Το πλέον πιθανό μέγιστο σεισμικό μέγεθος σε T επόμενα χρόνια,

$$M_T = u + \frac{\ln T}{a} \quad (2.8)$$

(c) Το σεισμικό μέγεθος m_{1P} που με πιθανότητα $1-P$ αναμένεται να είναι το ετήσιο μέγιστο,

$$m_{1P} = u - \frac{\ln \left[-\ln(1-P) \right]}{a} \quad (2.9)$$

(d) Το σεισμικό μέγεθος m_{TP} που με πιθανότητα $1-P$ αναμένεται να είναι το μέγιστο σε T επόμενα χρόνια

$$m_{TP} = m_{1P} + \frac{\ln T}{a} \quad (2.10)$$

(e) Η πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμός μεγέθους μεγαλύτερου ενός προκαθορισμένου m σε T επόμενα χρόνια,

$$P_{mT} = 1 - \exp \left[-T \exp(-a(m-u)) \right] \quad (2.11)$$

Αντίστοιχα, με βάση την τρίτη ασυμπτωτική κατανομή θα έχουμε:

(a) Το πλέον πιθανό ετήσιο μέγεθος,

$$m_1 = \omega - (\omega - u) (1 - \lambda)^\lambda \quad (2.12)$$

(b) Το πλέον πιθανό μέγιστο σεισμικό μέγεθος σε T επόμενα χρόνια,

$$m_T = \omega - (\omega - u) \left[(1 - \lambda) / T \right]^\lambda \quad (2.13)$$

2.4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι μέγιστες αναμενόμενες εδαφικές κινήσεις (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση) σε μια περιοχή υπολογίζονται θεωρώντας ότι κατανέμονται σύμφωνα με την πρώτη ασύμπτωτη

$$\Phi^I(y) = \exp \left[-\exp(a(m-u)) \right] \quad a > 0 \quad (2.14)$$

όπου y είναι η μέγιστη τιμή της εξεταζόμενης εδαφικής παραμέτρου και a, u οι παράμετροι της πρώτης ασύμπτωτης κατανομής όπως ορίστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Η στάθμη Y των εδαφικών κινήσεων με πιθανότητα P να μη γίνει υπέρβασή τους σε T επόμενα χρόνια δίνεται από τη σχέση:

$$Y_{PT} = Y_{1P} + \frac{\ln T}{P} \quad (2.15)$$

όπου :

$$Y_{1P} = u - \frac{\ln[-\ln(P)]}{a} \quad (2.16)$$

Η πιθανότητα P_{YT} να γίνει υπέρβαση μιας προκαθορισμένης στάθμης της εδαφικής παραμέτρου Y σε T επόμενα χρόνια δίνεται από τη σχέση :

$$P_{YT} = 1 - \exp \left[-T \exp \left\{ -y(m-u) \right\} \right] \quad (2.17)$$

2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Η μέθοδος των ακραίων τιμών εφαρμόστηκε στην πόλη της Καλαμάτας για τον προσδιορισμό των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών σε T επόμενα χρόνια και των αντίστοιχων τιμών των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων.

Στη στατιστική ανάλυση των σεισμικών μεγεθών πάρθηκαν σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4.0 που αντιστοιχούν σε ακτίνα 1° ($\approx 111\text{km}$) γύρω από την πόλη της Καλαμάτας για τη χρονική περίοδο 1900 - 1983 (Μακροπούλος et al., 1986), ενώ για τη στατιστική ανάλυση των εδαφικών κινήσεων πάρθηκαν οι αντίστοιχοι σεισμοί σε ακτίνα 1.5 μοίρα από την Καλαμάτα.

Τα χαρακτηριστικά των σεισμών φαίνονται στα παράρτηματα I

2.5.1. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Με βάση τα σεισμολογικά δεδομένα της πόλης της Καλαμάτας και τη θεωρία, όπως συνοπτικά περιγράφηκε προηγούμενα, υπολογίστηκαν οι παράμετροι ω , u και λ της τρίτης ασύμπτωτης κατανομής με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις τους, καθώς επίσης και ο πίνακας συνδιασποράς τους. Στον πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα αποτελέσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

	ω	u	λ	90% να μη ξεπε- ραστεί	πλέον πιθα- νο σε 75 χρόνια	90% να μη ξεπε- ραστεί στα 75 χρόνια	πλέον πιθανό Ετή- σιο	Μέγ. Παρ.
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	8.1 ± 0.5	4.5 ± 0.08	0.2 ± 0.05	6.0	6.95	7.40	4.75	7.0

Στον πίνακα 2.2 φαίνεται η πιθανότητα που υπάρχει να εμφανιστεί σεισμός στην πόλη της Καλαμάτας με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο ενός προκαθορισμένου m σε 1, 25, 50, 100, 150 και 200 επόμενα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΣΕ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Μέγε- θος (M) \ Τ χρό- νια	1	25	50	100	150	200
5.0	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.5	0.23	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
6.0	0.10	0.94	0.99	1.00	1.00	1.00
6.5	0.04	0.61	0.85	0.97	1.00	1.00
7.0	0.00	0.19	0.35	0.57	0.72	0.82

Στον πίνακα 2.3 φαίνονται τα αναμενόμενα σεισμικά μεγέθη με πιθανότητα P να μη γίνει υπέρβασή τους σε Τ επόμενα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ P ΝΑ ΜΗ ΓΙΝΕΙ ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ

Πιθα- νότητα P \ Τ χρό- νια	1	25	50	100	150	200
0.70	5.3	6.8 (Π.Ε.=70) *	7.0 (140)	7.2 (280)	7.3 (421)	7.4 (561)
0.80	5.6	7.0 (112)	7.2 (224)	7.3 (448)	7.4 (672)	7.5 (897)
0.90	6.1	7.2 (224)	7.3 (475)	7.4 (950)	7.5 (1424)	7.6 (1898)

* Π.Ε. = Μέση Περίοδος επανάληψης σε χρόνια

2.5.2. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Στον πίνακα 2.4 φαίνονται οι πλέον πιθανές τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, δηλ. οι τιμές της που με πιθανότητα 63% αναμένεται να ξεπεραστούν στα επόμενα 25, 50, 100, και 200 χρόνια. Στον πίνακα 2.5 φαίνονται οι αντίστοιχες στάθμες της με πιθανότητα 90% να μη ξεπεραστούν στα επόμενα 25, 50, 100, και 200 χρόνια.

Η ανάλυση βασίστηκε στην σχέση απόσβεσης

$$A = \frac{2164 \exp(0.7M)}{(R+20)^{1.8}}$$

που προτάθηκε από τον Μακροπούλο (1978) για τον Ελληνικό χώρο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΜΕ 63% ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΕ Τ ΧΡΟΝΙΑ

Τ χρό- νια Πιθανο- τητα (P)	25	50	100	200
63% να ξεπεραστεί	118	144	169	195

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ 90% ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΕ Τ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανο- τητα (P)	25	50	100	200
90% να μη ξεπεραστεί	201 Π.Ε.*=224	227 (475)	253 (950)	278 (1898)

Στον πίνακα 2.6 φαίνεται η πιθανότητα P να γίνει υπέρβαση μιας προκαθορισμένης στάθμης της εδαφικής επιτάχυνσης A, σε T επόμενα χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΑ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

<div> <div>T χρόνια</div> <div>Επιτά- χυνση A (cm.sec⁻²)</div> </div>	25	50	100	150	200
100	0.80	0.96	0.99	1.00	1.00
150	0.34	0.57	0.82	0.92	0.97
200	0.10	0.20	0.35	0.48	0.59
250	0.03	0.06	0.11	0.16	0.21

Στον πίνακα 2.7 φαίνονται οι αναμενόμενες τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης με πιθανότητα P να μη γίνει υπέρβαση τους σε T επόμενα χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ P ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

<div> <div>T χρόνια</div> <div>Πιθανό- τητα (P)</div> </div>	25	50	100	150	200
0.70	156 (Π.Ε.*=70)	182 (140)	208 (280)	223 (421)	234 (561)
0.80	174 (112)	200 (224)	225 (448)	240 (672)	250 (897)
0.85	185 (154)	212 (308)	237 (616)	251 (923)	263 (1231)
0.90	201 (224)	227 (475)	252 (950)	268 (1424)	278 (1898)

* Π.Ε. = Μέση περίοδος επανάληψης

2.5.3. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Στον πίνακα 2.7 φαίνονται οι τιμές της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας που με πιθανότητα 63% αναμένεται να ξεπεραστούν στα επόμενα 25 , 50 , 100 και 200 χρόνια , και στον πίνακα 2.8 φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές της με πιθανότητα 90% να μη ξεπεραστούν στις ίδιες χρονικές περιόδους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ 63% ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ Τ ΧΡΟΝΙΑ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	200
63 % να ξεπεραστεί	6.70	8.50	10.00	11.75

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ 90% ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΤΑ ΕΠΟΜΕΝΑ Τ ΧΡΟΝΙΑ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	150
90% να μη ξεπεραστεί	12.16 Π.Ε.*=224	13.84 (475)	15.52 (950)	17.20 (1898)

Στον πίνακα 2.9 φαίνεται η πιθανότητα P να γίνει υπέρβαση μιας προκαθορισμένης στάθμης της εδαφικής ταχύτητας V, σε T επόμενα χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας .

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΑ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

T χρό - Ταχύτητα (cm/sec)	25	50	100	150	200
5.0	0.87	0.98	0.99	1.00	1.00
10.0	0.23	0.40	0.64	0.79	0.87
15.0	0.03	0.07	0.12	0.18	0.23

Στον πίνακα 2.10 συνοψίζονται οι τιμές της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας με πιθανότητα P να μη γίνει υπέρβαση τους σε T χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ P ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΕ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

T χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	150	200
0.70	9.2 Π.Ε. =70	10.9 (140)	12.6 (280)	13.5 (421)	14.2 (561)
0.80	10.3 (112)	12.0 (224)	13.7 (448)	14.7 (672)	15.4 (897)
0.85	11.1 (154)	12.7 (308)	14.5 (616)	15.5 (923)	16.1 (1231)
0.90	12.2 (224)	13.8 (475)	15.5 (950)	16.5 (1424)	17.2 (1898)

Οι αναμενόμενες τιμές των εδαφικών ταχυτήτων υπολογίστηκαν με βάση τη σχέση-απόσβεσης των Orphal - Lahoud (1974)

$$V = 0.726 \cdot R^{-1.39} \cdot 10^{0.52M}$$

2.5.4. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Στον πίνακα 2.11 φαίνονται οι τιμές της μέγιστης εδαφικής μετατόπισης, σε cm, που με πιθανότητα 63% αναμένεται να ξεπεραστούν στα επόμενα 25, 50, 100 και 200 χρόνια. Στον πίνακα 2.12 φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές που με πιθανότητα 90% αναμένεται να μη ξεπεραστούν στις ίδιες χρονικές περιόδους. Οι υπολογισμοί έγιναν με χρησιμοποίηση της σχέσης απόσβεσης των Orphal-Lahoud (1974),

$$D_1 = 0.0471 \cdot R^{-1.18} \cdot 10^{0.57M}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ 63% ΝΑ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΤΑ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	200
63% να ξεπεραστεί	2.75	3.40	4.05	4.69

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.12

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ 90% ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΣΤΑ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	200
90% να μη ξεπερα- στεί	4.85 (Π.Ε.=224)	5.60 (475)	6.85 (950)	7.80 (1898)

Στον πίνακα 2.13 φαίνεται η πιθανότητα P να γίνει υπέρβαση μιας προκαθορισμένης στάθμης της εδαφικής μετατόπισης D σε Τ επόμενα χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΣΤΑ Τ ΕΠΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Μετατό- πιση (cm)	25	50	100	150	200
3.0	0.53	0.78	0.95	0.99	1.00
4.0	0.23	0.41	0.65	0.80	0.88
5.0	0.09	0.16	0.30	0.42	0.51
6.0	0.03	0.07	0.12	0.17	0.22

Στον πίνακα 2.14 φαίνονται οι αναμενόμενες τιμές της μέγιστης εδαφικής μετατόπισης με πιθανότητα P να μηγίνει υπέρβασή τους σε T επόμενα χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ P ΝΑ ΜΗ ΞΕΠΕΡΑΣΤΟΥΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	100	150	200
0.70	3.7 (Π.Ε.:70)	4.4 (140)	5.0 (280)	5.4 (421)	5.7 (561)
0.80	4.2 (112)	4.8 (224)	5.5 (448)	5.8 (672)	6.1 (897)
0.85	4.5 (154)	5.1 (398)	5.7 (616)	6.1 (923)	6.4 (1231)
0.90	4.9 (224)	5.5 (475)	6.2 (759)	6.6 (1424)	6.8 (1898)

2.5.5. Αναμενόμενες Μέγιστες Μακροσεισμικές εντάσεις για την πόλη της Καλαμάτας

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τις αναμενόμενες εντάσεις στην πόλη της Καλαμάτας είναι η μέθοδος των ακραίων τιμών (Gumbel) που αναπτύχθηκε προηγούμενα.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο ερευνητικό πρόγραμμα του ΟΑΣΠ η γ' ασύμπτωτη δίνει περισσότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα από την πρώτη αφού έχει φυσικό νόημα και άνω όριο.

Η κατανομή της γ' ασύμπτωτης είναι η ακόλουθη:

$$G^{III}(I) = \exp \left[- \left(\frac{\omega - I}{\omega - u} \right)^{\kappa} \right] \quad \kappa > 0 \quad I \leq \omega \quad u < \omega$$

Για την τρίτη ασύμπτωτη:

$\underline{\omega}$: είναι το άνω όριο έντασης μίας πόλης

\underline{u} : πλέον πιθανή ετήσια μέγιστη ένταση

$\underline{\kappa}$: είναι η παράμετρος καμπυλότητας της κατανομής και δείχνει πόσο γρήγορα η κατανομή πλησιάζει το άνω όριο.

Στον πίνακα 2.15 φαίνονται οι αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις στην Καλαμάτα όπως προέκυψαν από εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών Gumbel (γ' ασύμπτωτη).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.15. Αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις στην Καλαμάτα όπως βρέθηκαν από εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών Gumbel (γ' ασύμπτωτη).

I_{50} Πλέον πιθ.ένταση σε 50 χρόνια	I_{100} Πλέον πιθ.ένταση σε 100 χρόνια	$I_{50}^{0,8}$ 80% πιθ.μή υπέρβα- σης σε 50 χρόνια	$I_{100}^{0,8}$ 80% πιθ.μη υπέρβα- σης σε 100 χρόνια
7,3	7,8	7,9	8,6

Αν συγκρίνουμε τις τιμές του πίνακα 2.15 με τις αντίστοιχες τιμές που προσδιορίστηκαν με την ίδια μεθοδολογία σε πρόγραμμα του ΟΑΣΠ πριν από την πρόσφατη σεισμική έξαρση θα δούμε καλή σύμπτωση και ότι με τη χρησιμοποίηση και της μέγιστης έντασης του σεισμού της 13^{ης} Σεπτ. 1986 τα αποτελέσματα τροποποιούνται ελαφρώς. Συγκριμένα οι τιμές που τώρα προσδιορίστηκαν είναι κατά 0,2 μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που δόθηκαν προηγούμενα στον ΟΑΣΠ (βλ. σελ. 67 τελικής έκθεσης του σχετικού προγράμματος).

2.6. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΙΟ ΠΙΘΑΝΑ ΒΛΑΒΕΡΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

2.6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται ο υπολογισμός του πλέον πιθανού και βλαβερού σεισμικού μεγέθους για την πόλη της Καλαμάτας. Είναι το πλέον αξιόπιστο στατιστικό μέγεθος επειδή για τον καθορισμό του λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα χαρακτηριστικά συχνότητας εμφάνισης των σεισμών αλλά και οι μέγιστες τιμές των εδαφικών κινήσεων που αναμένονται στην εξεταζόμενη περιοχή βάσει του τρόπου απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων.

Το σεισμικό αυτό μέγεθος πρέπει να αποτελέσει τη βάση για το χαρακτηρισμό της σεισμικότητας της πόλης της Καλαμάτας και κύρια για τον υπολογισμό της μελλοντικής σεισμικής φόρτισης της περιοχής.

2.6.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Στις προηγούμενες παραγράφους ο υπολογισμός των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών έγινε θεωρώντας ότι το μέγεθος σεισμού ακολουθεί τους νόμους της τρίτης ασύμπτωτης κατανομής για το σύνολο των σεισμικών μεγεθών που αντιστοιχεί σε 1 μοίρα (111km) γύρω από την πόλη της Καλαμάτας. Στην περίπτωση αυτή τα σεισμικά μεγέθη εξετάστηκαν σαν ένα στατιστικό σύνολο και δεν λήφθηκε υπόψη η στάθμη των εδαφικών παραμέτρων που αναμένεται να εμφανιστούν στην πόλη της Καλαμάτας. Στην πράξη όμως ενδιαφέρει περισσότερο το Μελετητή Μηχανικό εκείνο το σεισμικό μέγεθος που συνδέεται με την εμφάνιση (παρατήρηση) μιας ορισμένης στάθμης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετατόπισης ή μακροσεισμικής έντασης.

Ορίζουμε "αισθητότητα" (perceptibility), την πιθανότητα $P_p(a/m)$, τέτοια ώστε :

$$P_p(a/m) = P_c(a) \cdot \Phi(m)$$

όπου $P_p(a/m)$ η πιθανότητα να εμφανιστεί στην εξεταζόμενη περιοχή εδαφική επιτάχυνση a που αντιστοιχεί σε ένα σει-

σμικό μέγεθος m

$\Phi(m)$ η πιθανότητα εμφάνισης του σεισμικού μεγέθους m .

και $P_c(a)$ είναι το ποσοστό επιφάνειας όπου αναμένεται να εμφανιστεί εδαφική επιτάχυνση a προς τη συνολική επιφάνεια που καλύπτουν τα σεισμολογικά δεδομένα της εξεταζόμενης περιοχής.

Για μικρά σεισμικά μεγέθη ο συντελεστής $P_c(a)$ τείνει στο μηδέν και για σταθερό εστιακό βάθος η πιθανότητα P_p τείνει επίσης στο μηδέν.

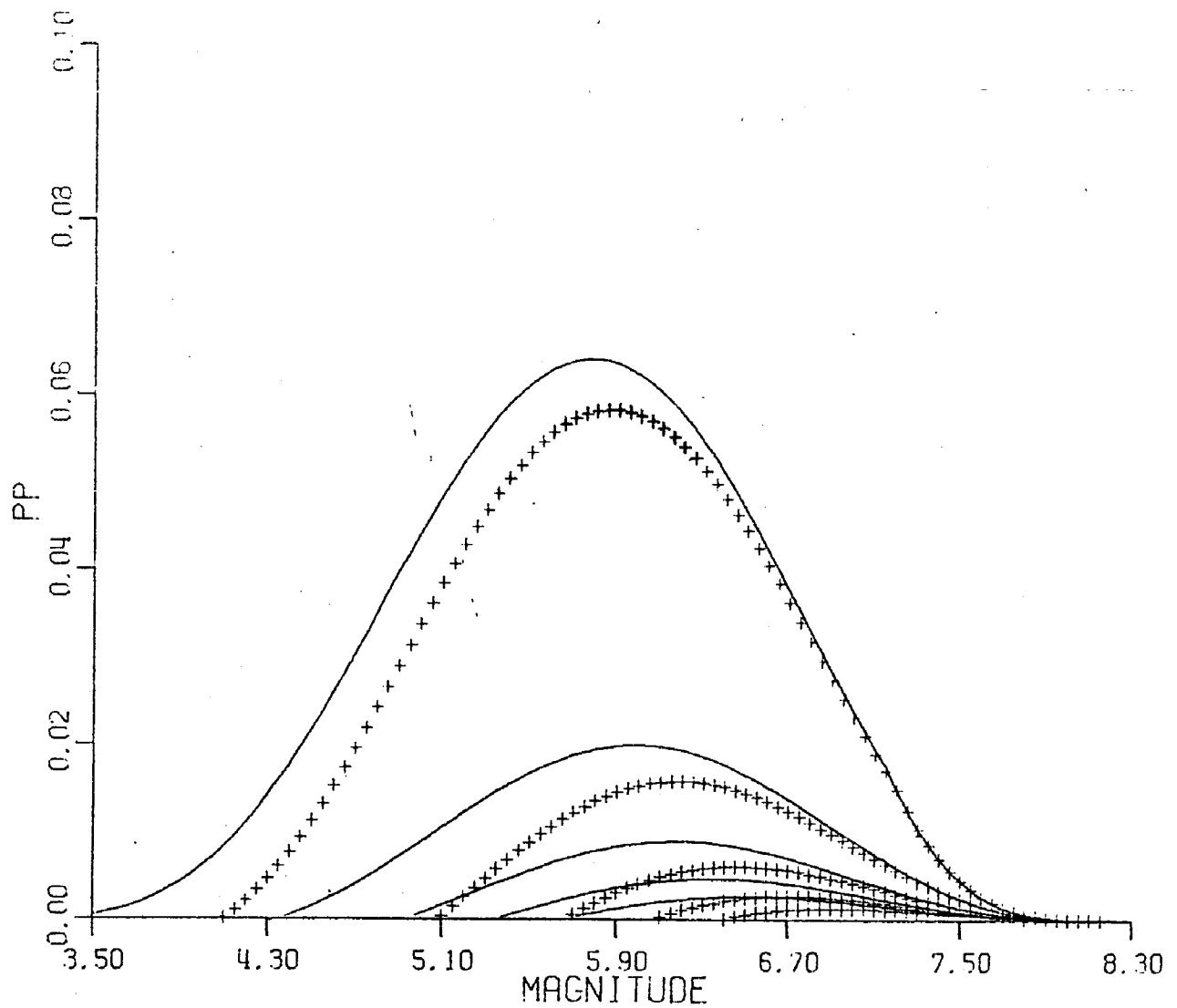
2.6.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τό πλέον πιθανό και αισθητό (βλαβερό) σεισμικό μέγεθος που αναμένεται στην πόλη της Καλαμάτας υπολογίστηκε με βάση το σύνολο των σεισμών που αντιστοιχούν σε ακτίνα 1 μοίρας από την πόλη της Καλαμάτας σε συνδυασμό με την σχέση απόσβεσης.

$$A = 2164 \exp(0.7M) (R+20)^{-1.8} \quad (\text{Makropoulos , 1978})$$

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζεται η κατανομή των αναμενόμενων σεισμικών μεγεθών για την πόλη της Καλαμάτας που αντιστοιχούν σε 4 διαφορετικές στάθμες της εδαφικής επιτάχυνσης (50, 100, 150 και 200 gals) και για δύο διαφορετικά εστιακά βάθη της περιοχής . Από το σχήμα (2.1) φαίνεται ότι όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν μέγιστο στην τιμή $m = 5.9 \pm 0.2$ που θεωρείται το πιο βλαβερό αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος για την πόλη της Καλαμάτας.

PERCEPTIBILITY STUDY FOR KALAMATA CITY



Σχ.2.1. Κατανομή των πλέον βλαβερών σεισμικών μεγεθών για την πόλη της Καλαμάτας.

3. ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ CORNELL ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

3.1. Βασικό Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1.1. Εμφάνιση των Σεισμών

Η εμφάνιση των σεισμών, όπως έχει ήδη τονιστεί, θεωρείται μία διαδικασία Poisson. Αν και η παραδοχή αυτή φαίνεται να μην είναι απόλυτα παραδεκτή σε περίπτωση μικρών σεισμικών μεγεθών, σε προβλήματα σεισμικής επικινδυνότητας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού λαμβάνονται υπόψη σεισμοί με μεγέθη μεγαλύτερα του 4.0.

Θεωρώντας λοιπόν ότι η εμφάνιση των σεισμών είναι μία διαδικασία Poisson, δεχόμαστε ότι:

- α) Οι σεισμοί είναι χωρο-χρονικά ανεξάρτητοι και
- β) Η πιθανότητα να εμφανιστούν δύο σεισμοί στην ίδια θέση και στον ίδιο χρόνο είναι σχεδόν μηδέν.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε:

$$P_N(n, \lambda t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad \lambda, n > 0 \quad (3.1)$$

όπου:

$P_N(n, \lambda t)$: είναι η πιθανότητα να εμφανιστούν n σεισμοί προκαθορισμένου μεγέθους m σε t επόμενα χρόνια, και

λ : ο μέσος ρυθμός εμφάνισης των σεισμών στην εξεταζόμενη περιοχή.

Ο συσσωρευτικός αριθμός των σεισμών με μέγεθος m , μεγαλύτερο ή ίσο ενός προκαθορισμένου μεγέθους M δίνεται από τη γνωστή σχέση των Gutenberg-Richter.

$$\ln N(M) = \alpha + \beta M \quad (3.2)$$

όπου:

α και β σταθερές παλινδρόμησης που προσδιορίζονται με βάση τους σεισμούς που αντιστοιχούν σε κάθε σεισμική πηγή της εξεταζόμενης περιοχής.

Έτσι, με τις σχέσεις (3.1) και (3.2) μελετάται η σεισμικότητα κάθε σεισμικής πηγής και προσδιορίζονται οι σταθερές του επαναληπτικού μοντέλου εμφάνισης των σεισμών. Οι σταθερές α και β της σχέσης (5.2) κανονικοποιούνται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των σεισμικών πηγών.

Η τροποποιημένη μέθοδος Cornell θεωρεί τρία διαφορετικά μοντέλα απεικόνισης του χώρου απ' όπου αναμένεται κάποια μελλοντική σεισμική δραστηριότητα και είναι το σημειακό, το γραμμικό και το επιφανειακό μοντέλο. Για την πόλη της Καλαμάτας χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δύο τελευταία (γραμμικό και επιφανειακό) επειδή το σημειακό μοντέλο εφαρμόζεται συνήθως όταν οι σεισμοί εμφανίζονται σε ένα στενά περιορισμένο χώρο σε απόσταση μεγαλύτερη των 200 km από την εξεταζόμενη περιοχή. Επειδή πιστεύουμε ότι το μοντέλο αυτό δεν είναι σύμφωνο με τις σύγχρονες αντιλήψεις έκλυσης και διάδοσης της σεισμικής ενέργειας δεν χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογισμού επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας.

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γραμμικών και επιφανειακών σεισμικών πηγών σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο του Cornell. Για κάθε σεισμική πηγή η σεισμικότητα θεωρείται ομογενής και ο επαναληπτικός νόμος εμφάνισης των σεισμών γράφεται:

$$\ln N^-(M) = \alpha' + \beta m \quad (3.3)$$

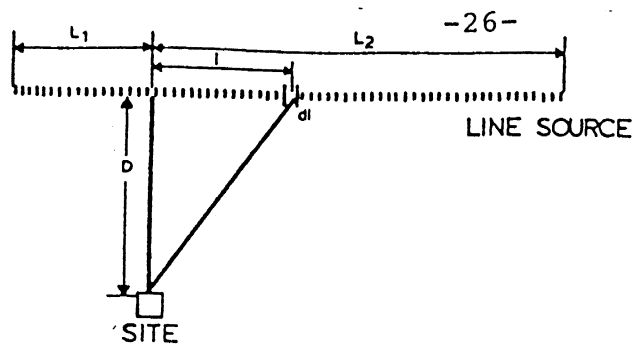
όπου:

$N^-(m)$: ο κανονικοποιημένος συσσωρευτικός αριθμός των σεισμών ως προς την εξεταζόμενη χρονική περίοδο των σεισμολογικών δεδομένων και ως προς το μήκος ή την επιφάνεια της σεισμικής πηγής,

$\alpha' = \alpha - \ln(AT)$ για τις επιφανειακές και

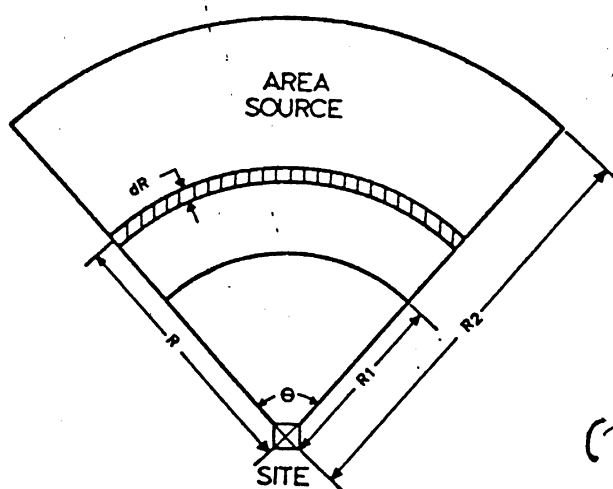
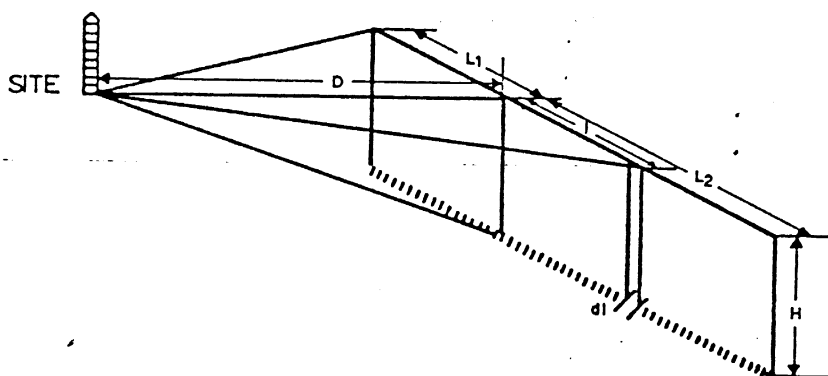
$\alpha' = \alpha - \ln(LT)$ για τις γραμμικές σεισμικές πηγές, όπου A και L η επιφάνεια και το μήκος τους, αντίστοιχα.

Αντικαθιστώντας στη σχέση Poisson (3.1) το μέσο ποσοστό εμφάνισης των σεισμών λ με τον κανονικοποιημένο αριθμό των σεισμών, $N^-(m)$ παίρνουμε:



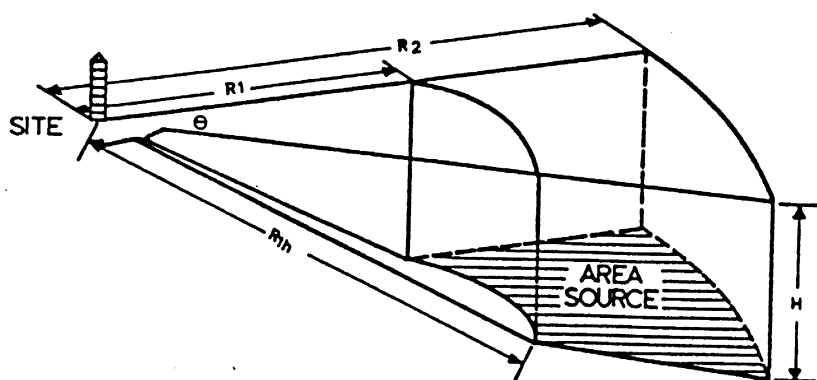
TOP VIEW

(A)



TOP VIEW

(B)



Σχ.3.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σεισμικών πηγών σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο Cornell: (Α) Μοντέλο γραμμικής σεισμικής πηγής. (Β) Μοντέλο επιφανειακής σεισμικής πηγής.

$$P_N(n, \lambda t) = \frac{\exp[-\exp(\alpha' + \beta M) t] [\exp(\alpha' + \beta M) t]^n}{n!} \quad (3.4)$$

Στην περίπτωση του γραμμικού σεισμικού μοντέλου (βλ. σχήμα 3.1) θα έχουμε:

$$N'_L(m) = \frac{N(M)}{LT} \quad (3.5)$$

όπου:

L το μήκος (σε km ή μίλρες) της γραμμικής σεισμικής πηγής και

T η χρονική διάρκεια των σεισμών που αντιστοιχούν σ' αυτή.

Τότε, η σχέση Poisson γράφεται:

$$P_N(M > m, t) = \frac{\exp[-N'_L(m) t] [N'_L(m) t]^n}{n!} \quad (3.6)$$

όπου $P_N(M > m, t)$ είναι η πιθανότητα να εμφανιστούν n σεισμοί στην εξεταζόμενη γραμμική πηγή με μεγέθη μεγαλύτερα ενός προκαθορισμένου μεγέθους m σε t επόμενα χρόνια.

Επειδή όμως ο μελετητής Μηχανικός ενδιαφέρεται πρακτικά για την πιθανότητα που υπάρχει να εμφανιστεί ένας τουλάχιστο σεισμός προκαθορισμένου μεγέθους m, παίρνουμε:

$$P \left[\begin{array}{l} \text{να εμφανιστεί ένας τουλάχιστο} \\ \text{σεισμός με } M > m \text{ σε } t \text{ χρόνια} \end{array} \right] = 1 - \exp -N'_L(m) t \quad (3.7)$$

Για την περίπτωση του επιφανειακού μοντέλου, ο κανονικοποιημένος ως προς την επιφάνεια A της σεισμικής πηγής και τη χρονική διάρκεια των σεισμών που αντιστοιχούν σ' αυτή, θα είναι:

$$N'_A(m) = \frac{N(M)}{AT} \quad (3.8)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (3.8) στη σχέση Poisson (3.1) παίρνουμε:

$$P_N(M > m, t) = \frac{\exp -N'_A(m) t [N'_A(m) t]^n}{n!} \quad (3.9)$$

και η πιθανότητα εμφάνισης ενός τουλάχιστο σεισμού εντός της επιφανειακής πηγής, προκαθορισμένου μεγέθους M θα δίνεται από τη σχέση:

$$P \left[\begin{array}{l} \text{να εμφανιστεί ένας τουλάχιστο} \\ \text{σεισμός με } M > m \text{ σε } t \text{ χρόνια} \end{array} \right] = 1 - \exp -N_A^-(m) t \quad (3.10)$$

3.1.2. Μέγιστες Εδαφικές Παράμετροι

Η πρόβλεψη των μέγιστων τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης σε μιά περιοχή είναι ένα αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα. Οι τιμές τους, εξαρτώνται κύρια από το μηχανισμό γένεσης του σεισμού, τον τρόπο διάρρηξης στο επίπεδο του ρήγματος, από το δρόμο διαδρομής των σεισμικών κυμάτων και κύρια από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην εξεταζόμενη περιοχή.

Εξ αιτίας του μικρού αριθμού επιταχυνσιογραφημάτων όχι μόνο στον Ελληνικό χώρο αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν προταθεί εμπειρικές σχέσεις της μορφής:

$$A = \frac{b_1 \exp(b_2 M)}{(R_h + b_4)^{b_3}} \quad (3.11)$$

όπου:

A η μέγιστη μέση τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης.

M το σεισμικό μέγεθος.

R_h ή υποκεντρική ή επικεντρική απόσταση σε km και b_1, b_2, b_3, b_4 σταθερές παλινδρόμησης που προσδιορίζονται με στατιστική ανάλυση των παρατηρηθέντων δεδομένων.

Η παραπάνω σχέση ενσωματώνεται στις σχέσεις σεισμικότητας κάθε σεισμικής πηγής για να προσδιοριστούν οι τιμές των αναμενόμενων εδαφικών παραμέτρων στην εξεταζόμενη περιοχή. Συγκεκριμένα για το γραμμικό μοντέλο σεισμικών πηγών (βλ. σχήμα 3.1Α), η κατανομή πιθανότητας της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$P[A > a, t] = 1 - \exp \left[-\gamma \left(\frac{a}{b_1} \right)^\delta \cdot t \cdot \int_{1_1}^{1_2} \left[(d^2 + l^2 + h^2)^{1/2} + b_4 \right]^\rho dl \right] \quad (3.12)$$

και για το επιφανειακό μοντέλο (βλ. σχήμα 3.1B) από την αντίστοιχη σχέση:

$$P[A > a, t] = 1 - \exp \left[-\gamma \left(\frac{a}{b_1} \right)^\delta \cdot t \cdot \theta \cdot \int_{R_1}^{R_2} (R_{h_1} + b_4)^\rho R \cdot dr \right] \quad (3.13)$$

όπου:

$$\begin{aligned} \gamma &= e^{a^-} \\ \delta &= \beta / b_2 \\ \rho &= \beta \frac{b_3}{b_2} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Στην πράξη, η εξεταζόμενη περιοχή περιβάλλεται από j γραμμικές και από k επιφανειακές σεισμικές πηγές. Στην περίπτωση αυτή, η πιθανότητα $P(A > a, t)$ να εμφανιστεί εδαφική επιτάχυνση A μεγαλύτερη μίας προκαθορισμένης στάθμης a σε t επόμενα χρόνια, θα είναι:

$$\begin{aligned} P[A > a, t] = 1 - \exp \left\{ \sum_{j=1}^{NL} \gamma_j \left(\frac{a}{b_1} \right) \cdot t \cdot \int_{l_{1j}}^{l_{2j}} \left[(d^2 + l^2 + h_j^2)^{1/2} + b_4 \right]^{\rho_j} dl \right. \\ \left. - \sum_{k=1}^{NA} \gamma_k \left(\frac{a}{b_1} \right)^{\delta_k} \cdot t \cdot \theta_k \int_{R_{1k}}^{R_{2k}} (R_{h_k} + b_4)^{\rho_k} \cdot R \cdot dR \right\} \end{aligned} \quad (3.15)$$

όπου:

NL, NA ο συνολικός αριθμός των γραμμικών και επιφανειακών σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την εξεταζόμενη περιοχή, αντίστοιχα.

3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

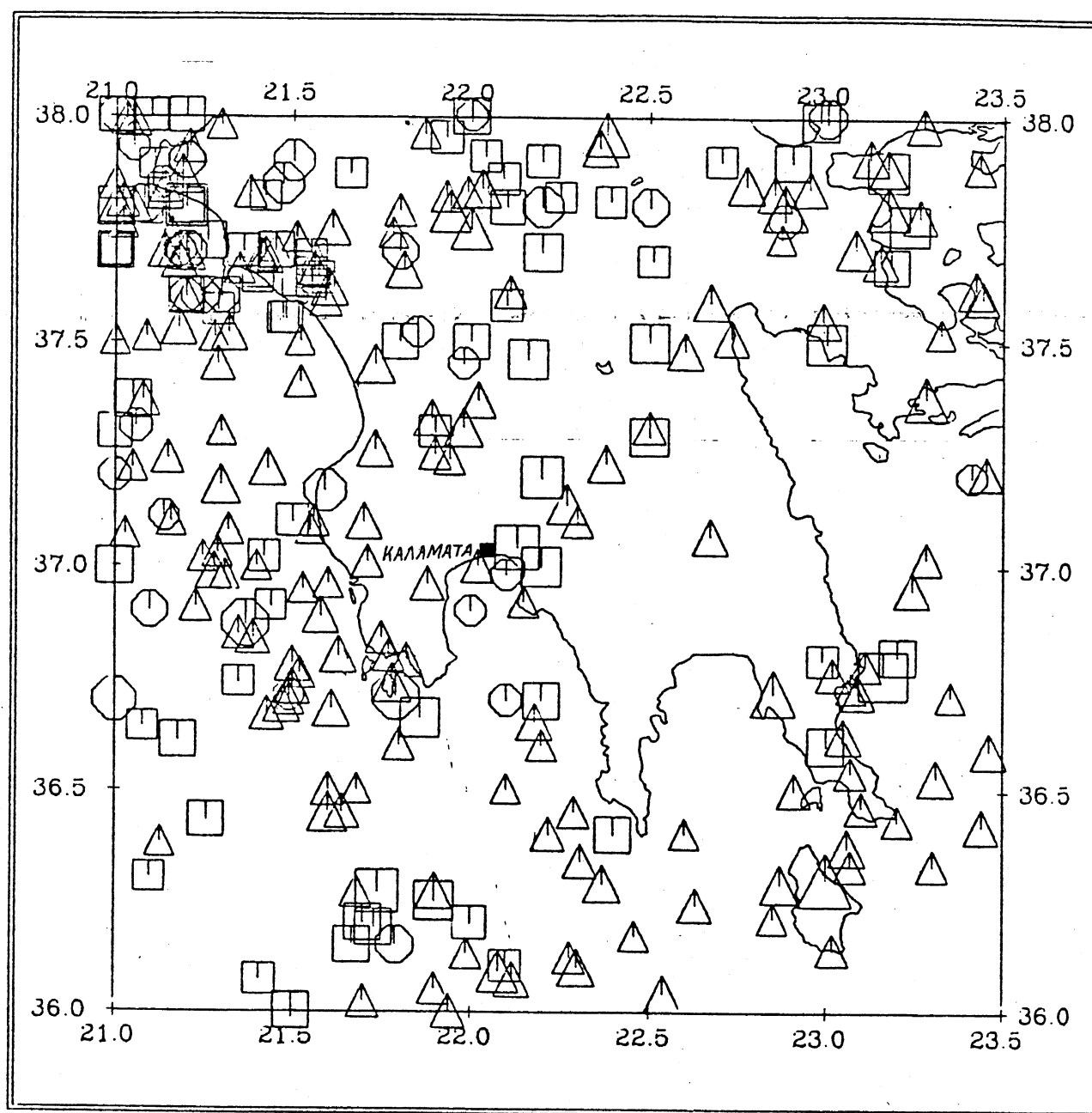
Η παραπάνω μέθοδος όπως περιγράφηκε εφαρμόστηκε για την πόλη της Καλαμάτας με σκοπό τον υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης προκαθορισμένης στάθμης των εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετακινήσεων για διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η γεωγραφική κατανομή των σεισμικών επικέντρων σε απόσταση 1.5° από την πόλη της Καλαμάτας, με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4.0 για τη χρονική περίοδο 1900-1983 (Makropoulos et al. 1986).

Με βάση τη παραπάνω γεωγραφική κατανομή των σεισμών και λαμβάνοντας υπόψη τα γενικά σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής, προτείνονται δύο διαφορετικά μοντέλα σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την πόλη της Καλαμάτας, σύμφωνα με τις δυνατότητες που μας παρέχει η τροποποιημένη μέθοδος Cornell.

Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται το πρώτο μοντέλο στο οποίο έχουν χρησιμοποιηθεί 2 γραμμικές πηγές (L_1 και L_2) και 6 επιφανειακές σεισμικές πηγές (A_1 έως A_6). Τονίζεται ιδιαίτερα ότι η χρήση του γραμμικού μοντέλου δεν προϋποθέτει τη ταύτιση του με το αντίστοιχο γεωλογικό ρήγμα, αλλά δείχνει τη τάση κατανομής των επικέντρων σχεδόν σ'ευθεία γραμμή, που μπορεί και να ταυτίζεται με γνωστό ρήγμα. Για κάθε σεισμική πηγή υπολογίστηκαν οι σταθερές α και β του επαναληπτικού μοντέλου εμφάνισης των σεισμών καθώς και η κανονικοποιημένη σταθερά α ως προς την επιφάνεια, ή μήκος της σεισμικής πηγής και ως προς τη χρονική διάρκεια των σεισμών που αντιστοιχούν σ'αυτή. Στον πίνακα 3.1 συνοψίζονται τα αποτελέσματα και στο σχήμα 3.4 φαίνονται γραφικά οι νόμοι επανάληψης των σεισμών για κάθε σεισμική πηγή ξεχωριστά.

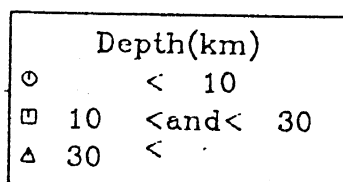
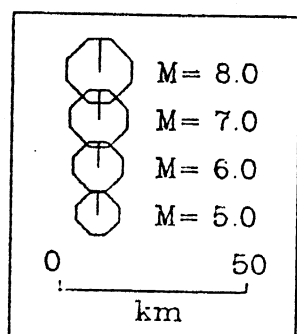
Θεωρώντας ότι το προτεινόμενο σεισμοτεκτονικό μοντέλο δεν καθορίζεται μονοσήμαντα και θέλοντας να εξετάσουμε τις συνδεόμενες με αυτό αβεβαιότητες στις αναμενομενες τιμές των εδαφικών παραμέτρων για την πόλη της Καλαμάτας, σχεδιάστηκε και μελετήθηκε ένα δεύτερο μοντέλο σεισμικών πηγών στην ευρύτερη περιοχή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθη-



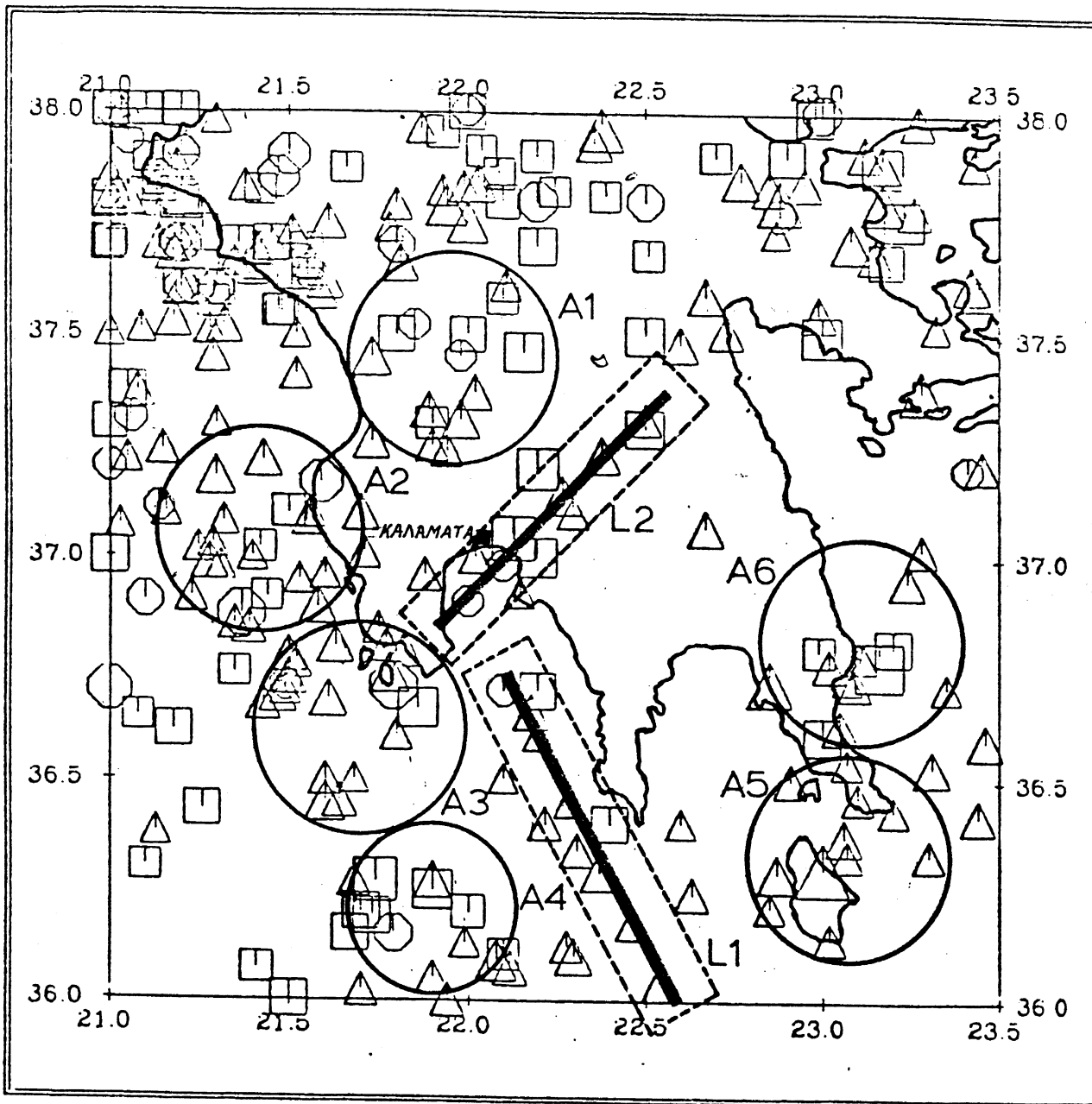
SEISMIC HAZARD IN KALAMATA CITY*1986*

296 Events

Scale 1: 2000000

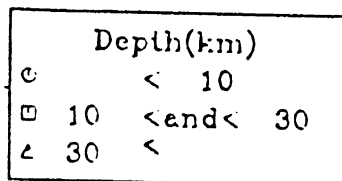
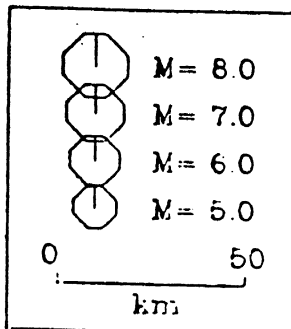


Σχ.3.2. Χάρτης σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής της Καλαμάτας.

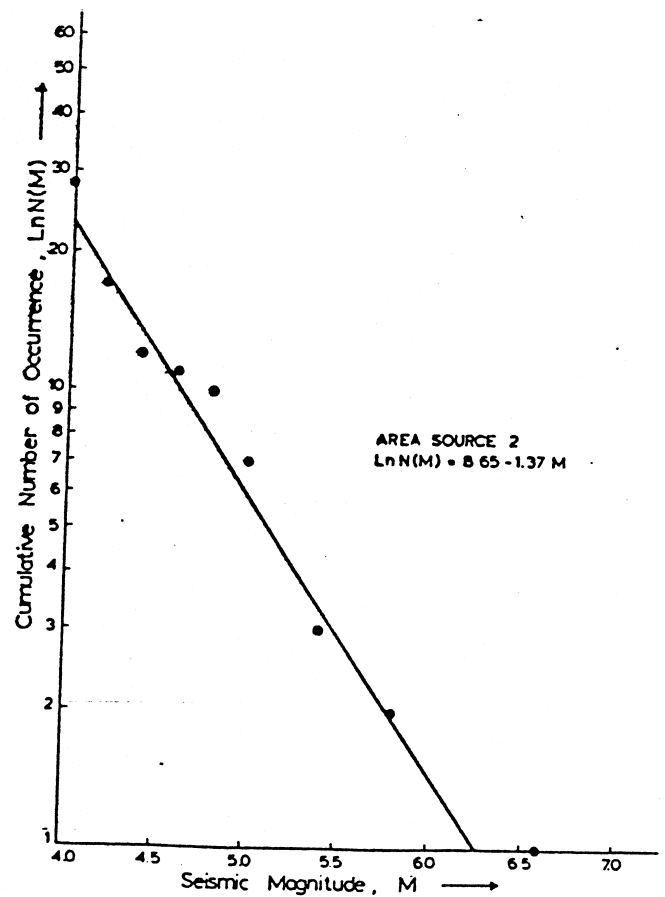
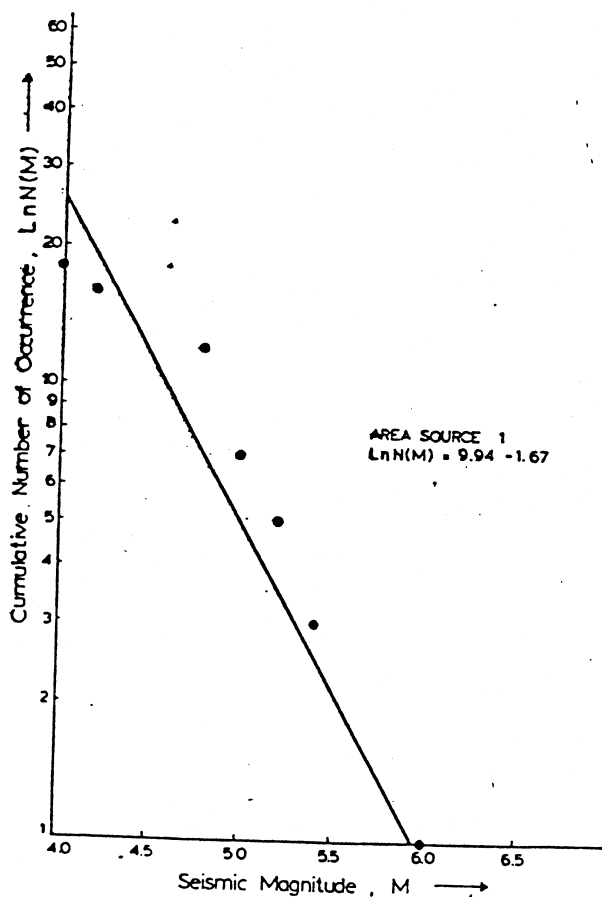
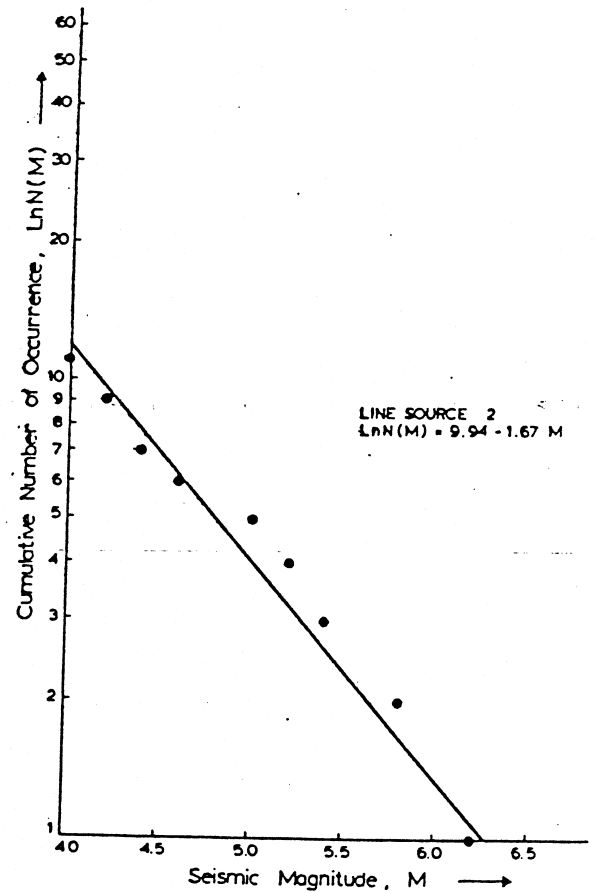
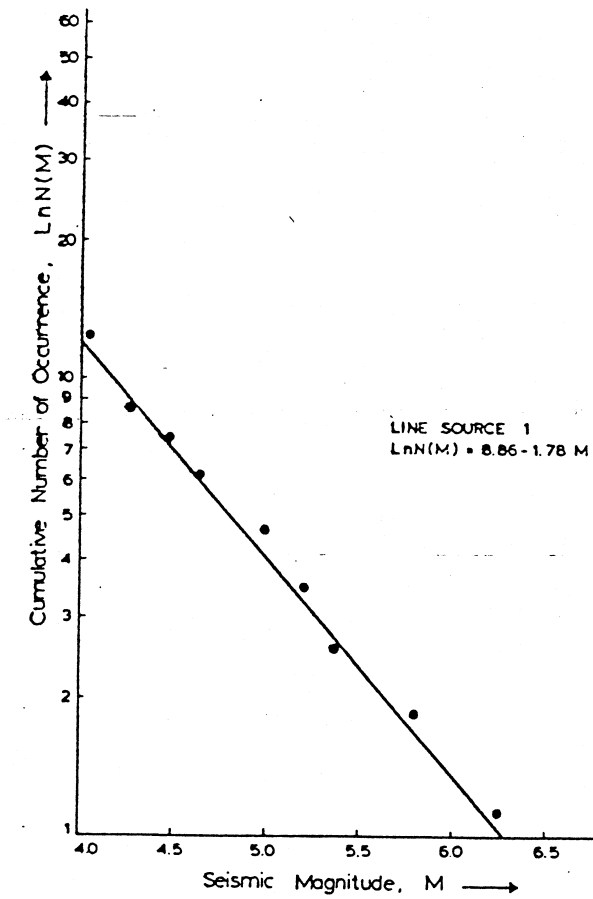


SEISMIC HAZARD IN KALAMATA CITY*1996*

296 Events
Scale 1: 2000000

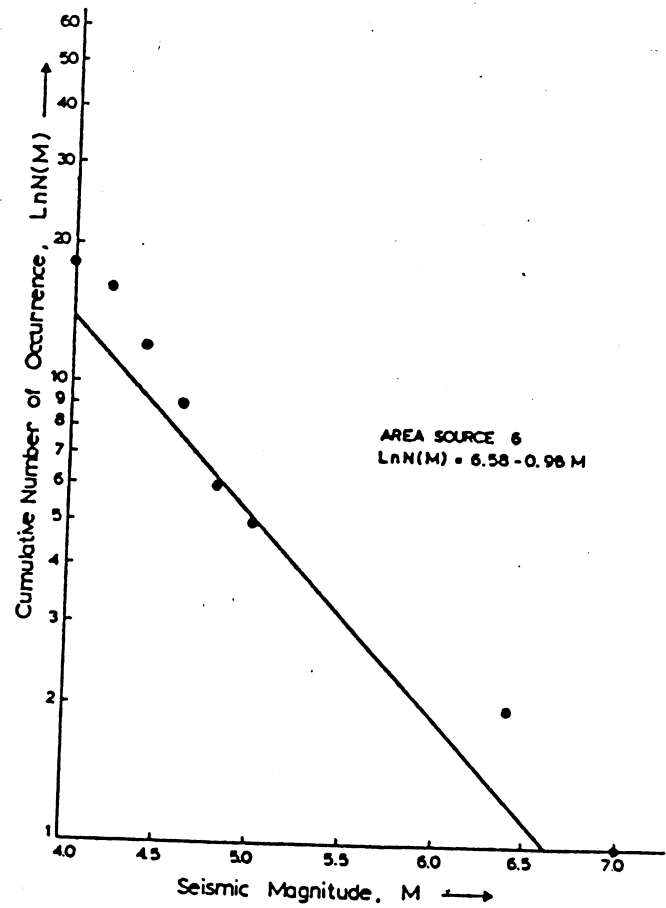
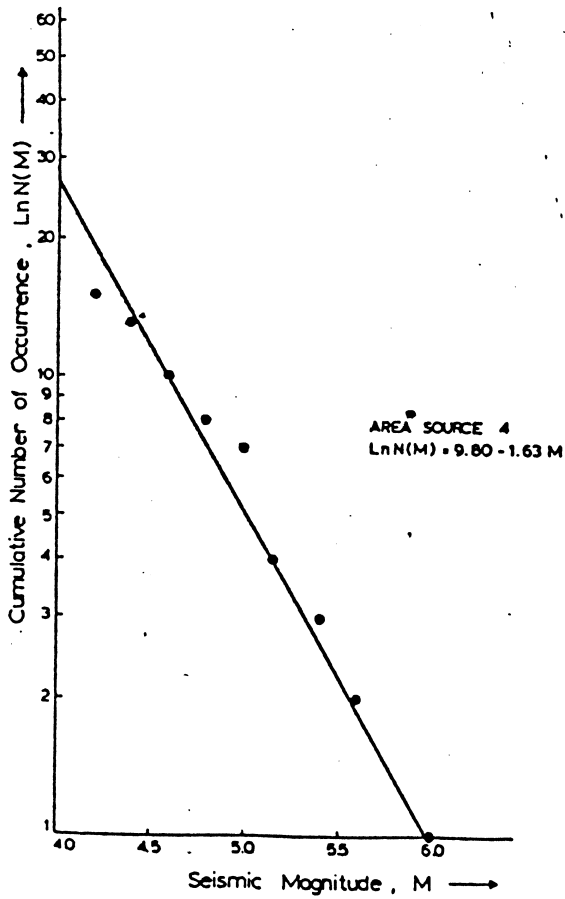
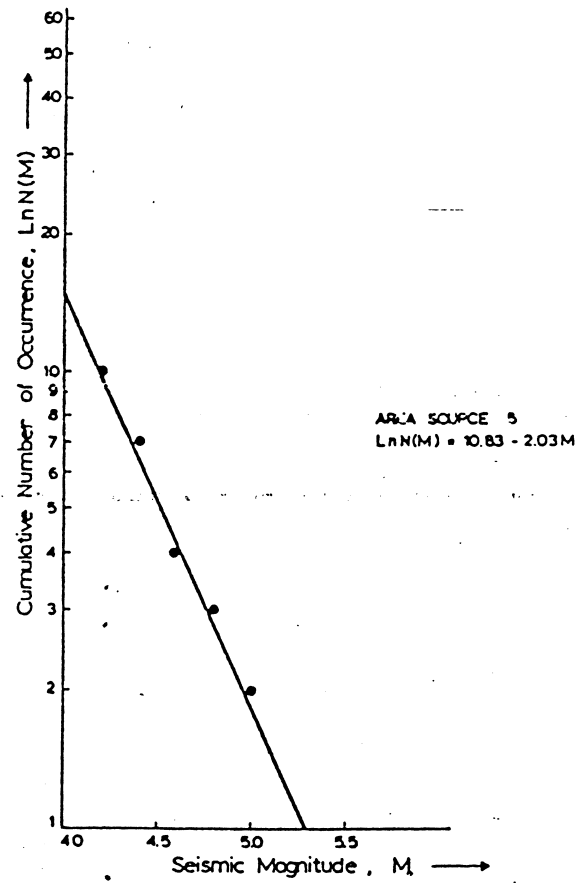
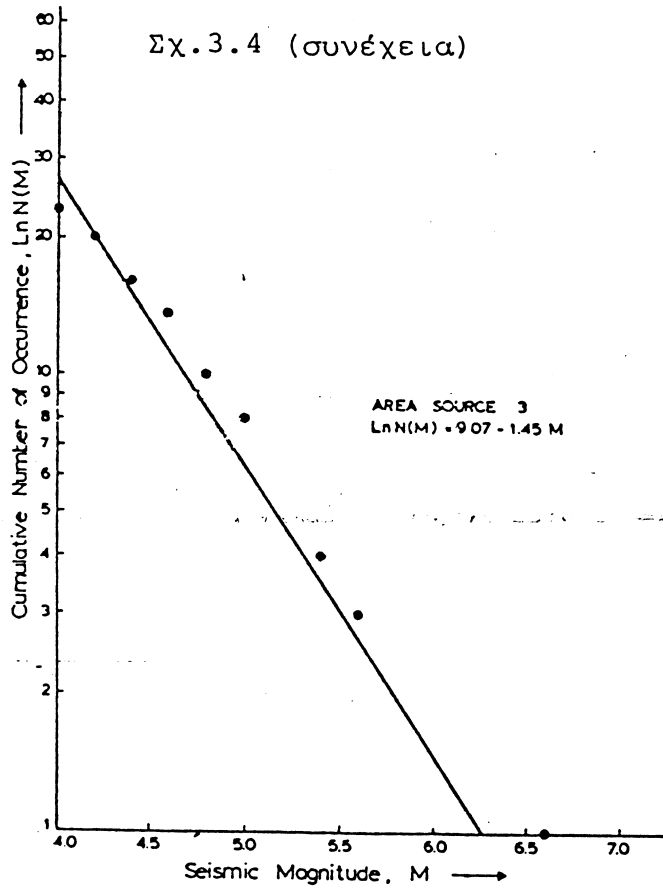


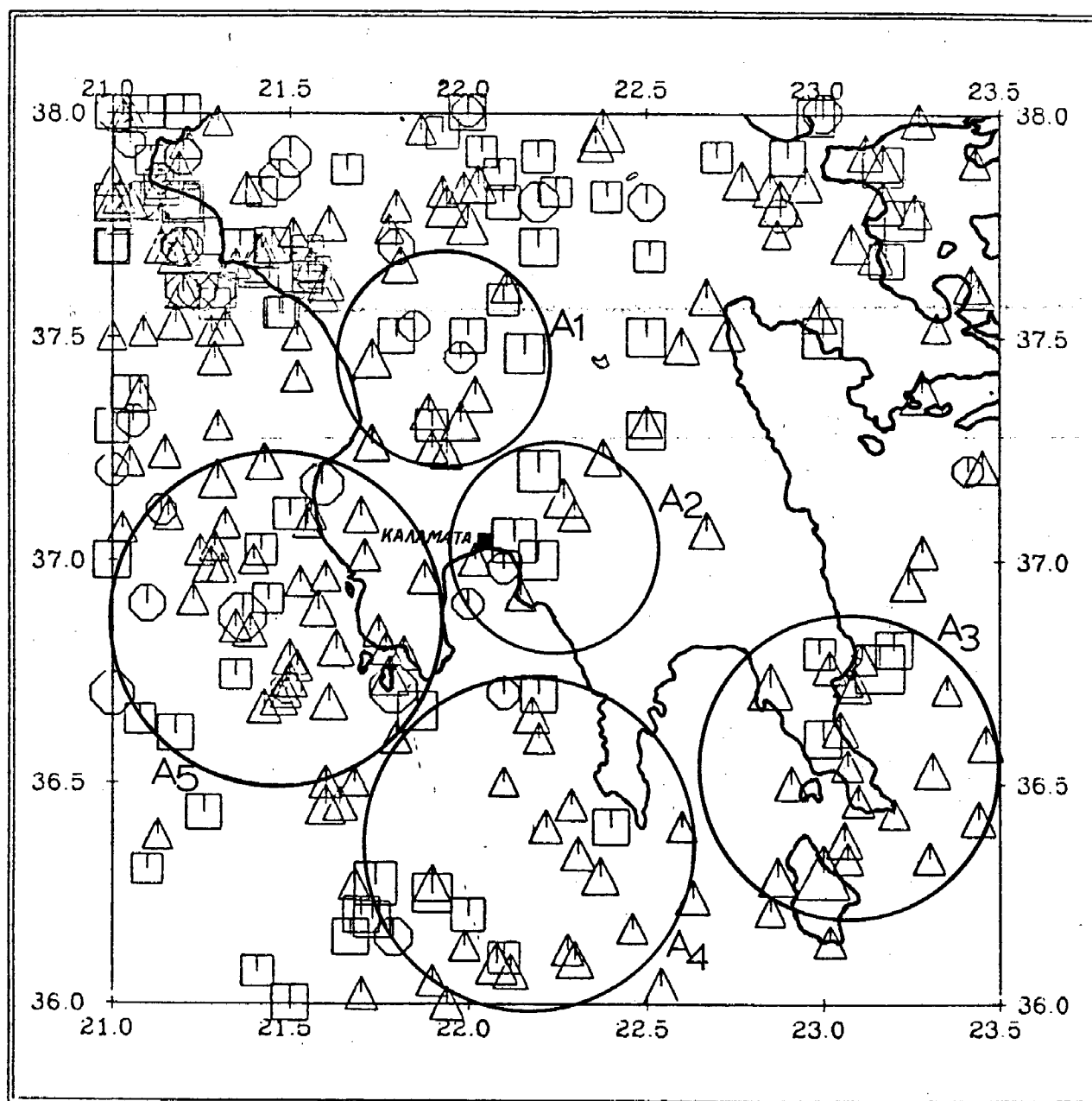
Σχ.3.3. Μοντέλο Α σεισμικών πηγών σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο Cornell.



Σχ.3.4. Μοντέλο επανάληψης σεισμών για κάθε σεισμική πηγή του μοντέλου A (βλ. σχ.3.3).

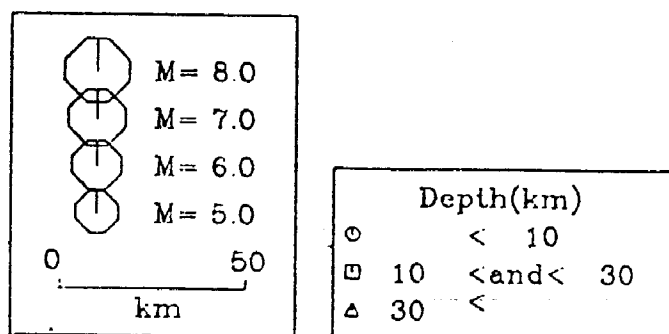
ΣΧ.3.4 (συνέχεια)





SEISMIC HAZARD IN KALAMATA CITY*1986*

296 Events
Scale 1: 2000000



Σχ.3.5. Μοντέλο Β σεισμικών πηγών σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο Cornell.

καν 5 επιφανειακές σεισμικές πηγές (A_1 έως A_5) για τον προσδιορισμό του χώρου απ'όπου αναμένεται μελλοντική σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας. Στον πίνακα 3.2 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των σεισμικών πηγών καθώς και οι παράμετροι του επαναληπτικού μοντέλου εμφάνισης των σεισμών.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων και με τη χρήση ειδικού προγράμματος H/Y υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες μέγιστες τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης με πιθανότητα 63% να ξεπεραστούν στα επόμενα 25, 50, 75, 100, 150 και 200 χρόνια για την πόλη της Καλαμάτας.

Για την απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης εφαρμόστηκε η σχέση

$$A = \frac{2164 \exp(0.7M)}{(R_h + 20)^{1.8}}$$

που προτάθηκε από τον Μακρόπουλο (1978) ως μέση τιμή για ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο.

Η απόσβεση της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας εξετάσθηκε με την εφαρμογή διαφόρων σχέσεων λόγω έλλειψης αντίστοιχης

σχέσης για τον Ελληνικό Χώρο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η σχέση που προτάθηκε από τους Esteva-Villaverde (1974,

$$V_g = 32e^M (R+25)^{-1.7} \quad \text{με} \quad \sigma_{\ln V} = 0.74$$

η σχέση που προτάθηκε από τον McGuire (1974)

$$V_g = 5.64 \times 10^{0.4M} (R+25)^{-1.2} \quad \text{με} \quad \sigma_{\log V_g} = 0.273$$

και τέλος, η σχέση που προτάθηκε από τους Orphal and Lahoud (1974)

$$V_g = 0.726 \times 10^{0.52M_R - 1.34}$$

Στις παραπάνω σχέσεις, R είναι η υποκεντρική απόσταση σε km και η ταχύτητα υπολογίζεται σε Kine (cm/sec).

Η μέγιστη εδαφική μετατόπιση σε cm μελετήθηκε με τη χρησιμοποίηση της σχέσης:

$$D_g = 0.39 \times 10^{0.43M} (R+25)^{-0.88} \quad \text{με} \quad \sigma_{\log D_g} = 0.330$$

που προτάθηκε από τον McGuire (1974) και με βάση τη σχέση των Orphal and Lahoud (1974).

$$D_g = 0.0471 \times 10^{0.57M_R - 1.18}$$

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την εφαρμογή κάθε σχέσης χωριστά συγκρίθηκαν και υιοθετήθηκαν τα πλέον αξιόπιστα με βάση τις παρατηρήσεις στην πόλη της Καλαμάτας.

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις μέγιστες τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης με πιθανότητα 63% να ξεπεραστούν στα επόμενα 25, 50, 75, 100, 150 και 200 χρόνια καθώς επίσης και οι αντίστοιχες τιμές με πιθανότητα 90% να μη ξεπεραστούν στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Χαρακτηριστικά Σεισμικών Πηγών για το Μοντέλο Α της Πόλης της Καλαμάτας

Σεισμική πηγή	Επιφάνεια των A_i σε ($^{\circ}$)	a	β	a'	Συντελεστής Συσχέτισης	Βάθος σε ($^{\circ}$)
A_1	0.35	9.94	-1.67	8.21	0.90	0.12
A_2	0.35	8.65	-1.37	6.38	0.95	0.12
A_3	0.35	9.07	-1.44	6.80	0.94	0.12
A_4	0.28	9.80	-1.63	7.85	0.96	0.12
A_5	0.35	10.83	-2.03	8.56	0.99	0.12
A_6	0.35	6.55	-0.98	4.28	0.88	0.12
L_1	0.65	5.82	-1.73	4.57	0.97	0.12
L_2	0.72	6.74	-1.08	5.01	0.96	0.12

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. Χαρακτηριστικά Σεισμικών Πηγών για το Μοντέλο Β της Πόλης της Καλαμάτας

Σεισμική Πηγή	Επιφάνεια των A_i σε ($^{\circ}$)	a	β	a	Συντελεστής Συσχέτισης	Βάθος σε ($^{\circ}$)
A_1	0.45	9.65	-1.61	6.53	0.91	0.12
A_2	0.45	6.38	-1.01	3.26	0.96	0.12
A_3	0.50	6.67	-0.99	3.45	0.88	0.12
A_4	0.55	12.10	-2.15	8.78	0.90	0.12
A_5	0.54	9.41	-1.38	6.11	0.96	0.12

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. Αναμενόμενες Στάθμες της Εδαφικής Επιτάχυνσης για την Πόλη της Καλαμάτας (Α-Μοντέλο βλ. σχ.3.3)

Πιθανότητα P T χρόνια	25	50	75	100	150	200
Πιο πιθανές τιμές σε T_i χρόνια	120	174	188	200	229	250
90% να μη ξεπεραστούν	204	275	299	298	342	357

Στον πίνακα 3.4⁵ παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα με βάση το δεύτερο σεισμοτεκτονικό μοντέλο που προτείνεται για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5. Αναμενόμενες Στάθμες της Εδαφικής Επιτάχυνσης για την Πόλη της Καλαμάτας (Β-Μοντέλο, βλ. σχ.3.5).

Πιθανότητα P T χρόνια	25	50	75	100	150	200
Πιο πιθανές τιμές σε T_i χρόνια	102	163	177	189	207	221
90% να μη ξεπεραστούν	173	257	281	292	309	327

Από τους πίνακες 3.3³ και 3.5⁵ προκύπτει ότι οι αναμενόμενες τιμές της μέγιστης επιτάχυνσης είναι σχεδόν της ίδιας τάξης μεγέθους και για τα δύο σεισμοτεκτονικά μοντέλα που υιοθετήθηκαν για τον εντοπισμό του χώρου απ' όπου αναμένεται μελλοντική σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καλαμάτας και σύμφωνα με τις δυνατότητες που μας παρέχει η τροποποιημένη μέθοδος Cornell. Στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε μόνο το επιφανειακό μοντέλο, οι μέγιστες τιμές της αναμενόμενης επιτάχυνσης είναι σχετικά μικρότερες λόγω της παραδοχής ότι η σεισμικότητα εντός των σεισμικών πηγών είναι ομογενής.

Στους πίνακες 3.6 και 3.7 φαίνονται οι τιμές των αναμενόμενων εδαφικών ταχυτήτων στις ίδιες χρονικές περιόδους για την πόλη της Καλαμάτας και για τα δύο σεισμοτεκτονικό μοντέλα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6. Αναμενόμενες Στάθμες των Εδαφικών Ταχυτήτων για την Πόλη της Καλαμάτας (Α'-Μοντέλο, βλ. σχ.3.3)

Πιθανότητα P	25	50	75	100	150	200
Πιο πιθανές τιμές σε T_1 χρόνια	7.2 ⁽¹⁾	15.1 ⁽¹⁾	17.2 ⁽¹⁾	22.4 ⁽¹⁾	28.6 ⁽¹⁾	32.5 ⁽¹⁾
	5.7 ⁽²⁾	8.2 ⁽²⁾	10.4 ⁽²⁾	11.9 ⁽²⁾	13.2 ⁽²⁾	15.2 ⁽²⁾
	6.0 ⁽³⁾	9.8 ⁽³⁾	10.7 ⁽³⁾	11.8 ⁽³⁾	13.7 ⁽³⁾	14.5 ⁽³⁾
90% να μη ξεπεραστούν	12.8 ⁽¹⁾	24.5	27.9	34.1	43.5	47.1
	10.1 ⁽²⁾	13.3	16.9	18.1	20.1	22.0
	10.6 ⁽³⁾	15.9	17.0	17.9	20.8	21.0

(1) Esteva-Villaverde (1974)

(2) McGuire (1974)

(3) Orphall-Lahoud (1974)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7. Αναμενόμενες Στάθμες των Εδαφικών Ταχυτήτων για την Πόλη της Καλαμάτας (Β'-Μοντέλο, βλ. σχ.3.5)

Πιθανότητα P	25	50	75	100	150	200
Πιο πιθανές τιμές σε T_1 χρόνια	6.9 ⁽¹⁾	14.7 ⁽¹⁾	16.5 ⁽¹⁾	21.2 ⁽¹⁾	27.0 ⁽¹⁾	30.5 ⁽¹⁾
	5.5 ⁽²⁾	7.7 ⁽²⁾	9.6 ⁽²⁾	10.1 ⁽²⁾	11.3 ⁽²⁾	14.2 ⁽²⁾
	5.8 ⁽³⁾	9.0 ⁽³⁾	9.9 ⁽³⁾	10.2 ⁽³⁾	12.4 ⁽³⁾	13.8 ⁽³⁾
90% να μη ξεπεραστούν	12.2 ⁽¹⁾	23.8	26.8	32.1	41.1	44.2
	9.7 ⁽²⁾	12.5	15.6	15.3	17.2	20.6
	10.3 ⁽³⁾	14.6	16.1	15.5	18.9	20.0

Από τους πίνακες 3.6 και 3.7 παρατηρούμε ότι η σχέση απόσβεσης των Esteva και Villaverde δίνει υπερεκτιμημένες τιμές μέγιστης εδαφικής ταχύτητας. Η αντίστοιχη σχέση του McGuire δίνει σχετικά χαμηλές τιμές για την εδαφική ταχύτητα. Ρεαλιστικότερα αποτελέσματα προέκυψαν από την εφαρμογή της σχέσης Orphall-Lahoud.

Τέλος στους πίνακες 3.8 και 3.9 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη μέγιστη εδαφική μετατόπιση για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8. Αναμενόμενες Στάθμες των Εδαφικών Μετακινήσεων για την Πόλη της Καλαμάτας (Α'-Μοντέλο, βλ. σχ.5.3)

Πιθανότητα P \ T χρόνια	25	50	75	100	150	200
Πιό πιθανές τιμές σε T_i χρόνια	1.5 ⁽¹⁾ 4.1 ⁽²⁾	2.0 ⁽¹⁾ 5.2 ⁽²⁾	2.6 ⁽¹⁾ 6.1 ⁽²⁾	3.2 ⁽¹⁾ 7.0 ⁽¹⁾	3.7 ⁽¹⁾ 7.9 ⁽²⁾	4.0 ⁽¹⁾ 8.3 ⁽²⁾
90% να μη ξεπεραστούν	2.67 ⁽¹⁾ 6.27 ⁽²⁾	3.5 8.2	4.6 9.8	5.7 11.8	6.6 13.4	7.1 14.2

(1) McGuire (1974)

(2) Orphall-Lahoud (1974)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9. Αναμενόμενες Στάθμες των Εδαφικών Μετακινήσεων για την Πόλη της Καλαμάτας

Πιθανότητα P \ T χρόνια	25	50	75	100	150	200
Πιό πιθανές τιμές σε T_i χρόνια	1.2 ⁽¹⁾ 3.9 ⁽²⁾	1.8 ⁽¹⁾ 4.7 ⁽¹⁾	2.5 ⁽¹⁾ 5.9 ⁽²⁾	3.0 ⁽¹⁾ 6.7 ⁽²⁾	3.5 ⁽¹⁾ 7.5 ⁽²⁾	3.9 ⁽¹⁾ 8.0 ⁽²⁾
90% να μη ξεπεραστούν	2.5 ⁽¹⁾ 6.0 ⁽²⁾	3.1 ⁽¹⁾ 7.9	4.1 ⁽¹⁾ 9.6	5.5 ⁽¹⁾ 11.2	6.4 ⁽¹⁾ 13.1	6.7 ⁽¹⁾ 13.6

(1) Orphall-Lahoud (1974)

(2) McGuire (1974)

Από τους πίνακες 5.8 και 5.9 φαίνεται ότι η σχέση McGuire δίνει υπερεκτιμημένες τιμές για τη μέγιστη εδαφική μετακίνηση ενώ η σχέση του Orphall-Lahoud δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ MCGUIRE ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

4.1. Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν διάφορα μοντέλα εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία περιοχή. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στα χαρακτηριστικά της σεισμικότητας, της απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων και διαφέρουν κύρια ως προς τον τρόπο απεικόνισης των σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την εξεταζόμενη περιοχή.

Επειδή το μοντέλο σεισμικών πηγών δεν καθορίζεται μονοσήμαντα, ιδιαίτερα σε περιοχές με πολύπλοκη τεκτονική, προτείνονται συνήθως διάφορα μοντέλα και συγκρίνονται τα αποτελέσματά τους.

Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας, εφαρμόστηκε και το μοντέλο McGuire. Τα κύρια χαρακτηριστικά του περιγράφονται παρακάτω.

4.2. Χαρακτηριστικά του Μοντέλου McGuire

4.2.1. Εμφάνιση των Σεισμών

Ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός σεισμού $P(A)$ γίνεται με βάση το θεώρημα ολικής πιθανότητας,

$$P(A) = \iint_{M R} P[A/m \text{ και } r] f_M(m) f_R(r) ds dr \quad (4.1)$$

όπου:

$P[A/s \text{ και } r]$: η δεσμευμένη πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμός μεγέθους m σε απόσταση r .

$f_M(m)$, $f_R(r)$: οι συναρτήσεις πυκνότητας κατανομής των σεισμικών μεγεθών και των επικεντρικών αποστάσεων.

Ο υπολογισμός της παραπάνω πιθανότητας γίνεται αφού προσδιορισθούν οι συναρτήσεις $f_M(m)$ και $f_R(r)$ όπως συνοπτικά περιγράφεται παρακάτω.

Θεωρώντας τον επαναληπτικό νόμο εμφάνισης των σεισμών,

$$\log N(m) = a - bm \quad (4.2)$$

τότε, η συσσωρευτική κατανομή των μεγεθών θα είναι:

$$F_M(m) = \frac{1 - \exp(-\beta(m - m_0))}{1 - \exp(-\beta(m_u - m_0))}, \quad \text{για } m_0 \leq m \leq m_u \quad (4.3)$$

όπου:

$$\beta = b \ln 10$$

m_0, m_u : το μικρότερο και μεγαλύτερο σεισμικό μέγεθος που θεωρούνται στην ανάλυση.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

$$f_M(m) = \frac{d}{dm} F_M(m) = \beta \frac{1 - \exp(-\beta(m - m_0))}{1 - \exp(-\beta(m_u - m_0))} \quad (4.4)$$

Θεωρώντας ότι η απόσβεση των σεισμικών παραμέτρων περιγράφεται από την εμπειρική σχέση:

$$\ln a = c_1 + c_2 m + c_3 \ln(R + r_0) \quad (4.5)$$

όπου:

a : το μέγιστο πλάτος της εδαφικής παραμέτρου

c_1 : συντελεστές παλινδρόμησης

R : η υποκεντρική ή επικεντρική απόσταση σε km, και

r_0 : σταθερά,

τότε, η πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης a της εδαφικής παραμέτρου υπολογίζεται από το συνδυασμό των σχέσεων (4.1) και (4.4),

$$P(A > a) = \int_{m_0}^{m_u} \int_r \Phi^* \left(\frac{a - c_1 c_2 m - c_3 \ln(r + r_0)}{\sigma_I} \right) \cdot \beta k \exp(-\beta(m - m_0)) f_R(r) dm \cdot dr \quad (4.6)$$

όπου $k = (1 - \exp(-\beta(m_u - m_o)))^{-1}$. Το παραπάνω ολοκλήρωμα υπολογίζεται αναλυτικά (Cornell, 1971; Merz and Cornell, 1974; McGuire, 1974).

4.2.2. Μοντέλο Σεισμικών Πηγών

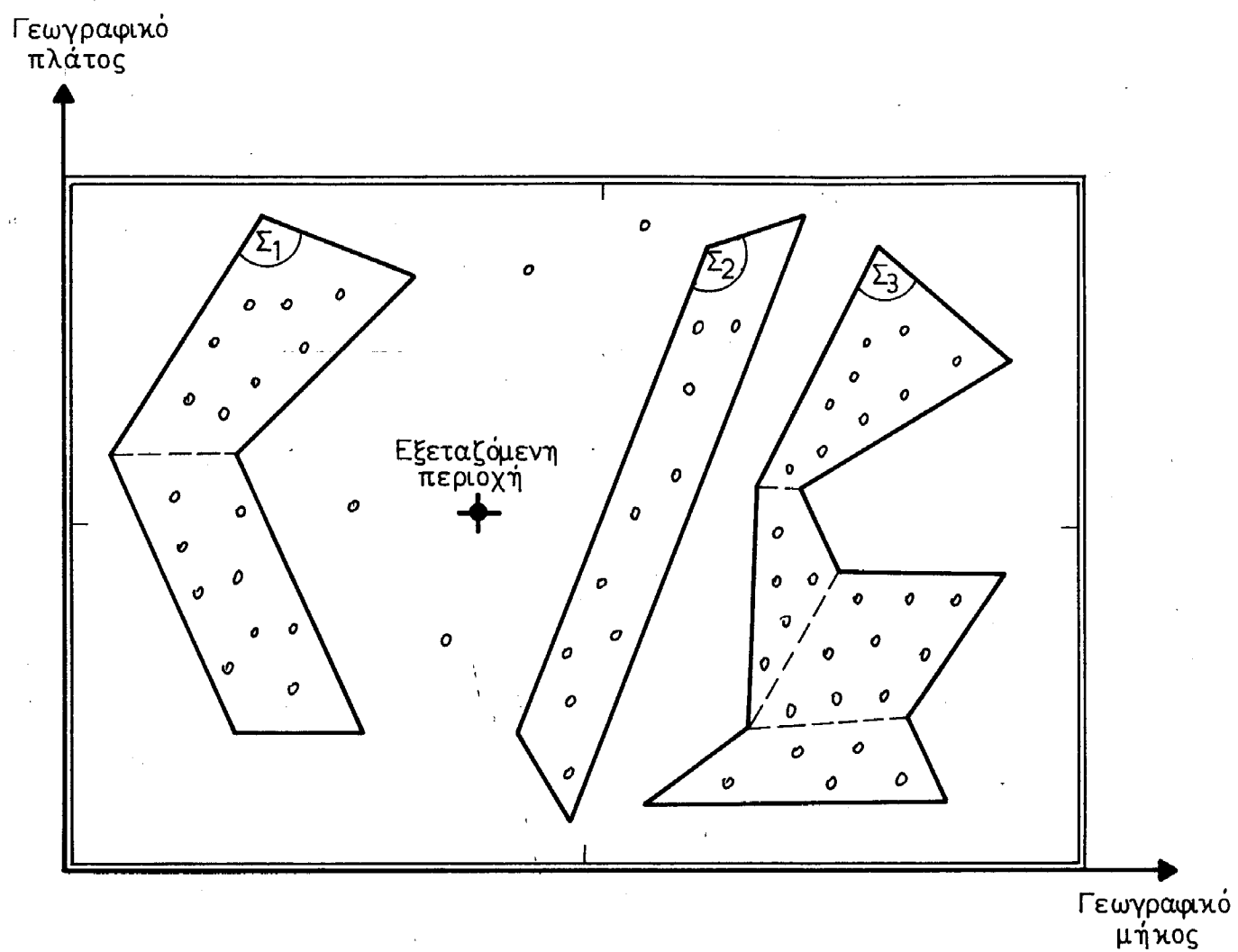
Το Μοντέλο McGuire θεωρεί μόνο το επιφανειακό μοντέλο για την απεικόνιση των πιθανών χώρων που περιβάλουν την εξεταζόμενη περιοχή και απ'όπου αναμένεται σεισμική δραστηριότητα.

Ο παραπάνω τρόπος μοντελοποίησης των σεισμικών πηγών θεωρείται χρήσιμος σε περιοχές με ρήγματα διαφόρων διευθύνσεων ή άγνωστου ακριβούς θέσης και προσανατολισμού, ιδιαίτερα σε υποθαλάσσιες περιοχές. Κάθε σεισμική πηγή θεωρείται τετράπλευρο και μπορεί να χωριστεί σε μικρότερες υπο-πηγές ανάλογα με την κατανομή των σεισμικών επικέντρων που εμφανίζεται σ'αυτή.

Στο σχήμα 4.1 φαίνεται ένα θεωρητικό μοντέλο σεισμικών πηγών που περιβάλλει μιά υποθετική περιοχή, σύμφωνα με τις δυνατότητες που πειβάλλει μιά υποθετική περιοχή, σύμφωνα με τις δυνατότητες που μας παρέχει η μέθοδος McGuire. Η εξεταζόμενη περιοχή περιβάλλεται από τρεις σεισμικές επιφανειακές πηγές ($\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$) σύμφωνα με τη γεωγραφική κατανομή των σεισμικών επικέντρων. Τα επίκεντρα που δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στις προτεινόμενες σεισμικές πηγές θεωρούνται σαν το βασικό επίπεδο σεισμικότητας της περιοχής (seismic background).

4.2.3. Υπολογισμός της Σεισμικής Επικινδυνότητας

Ο υπολογισμός της σεισμικής επικινδυνότητας στην εξεταζόμενη περιοχή γίνεται με βάση τη συνεισφορά κάθε σεισμικής πηγής που την περιβάλλουν. Έτσι, με βάση το θεώρημα της ολικής πιθανότητας υπολογίζεται η πιθανότητα να εμφανιστεί σεισμός τυχαίου μεγέθους και σε τυχαία επικεντρική απόσταση. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ετήσιος αριθμός των αναμενόμενων σεισμών από κάθε σεισμική πηγή ξεχωριστά, που θα προκαλέσουν υπέρβαση της στάθμης της εδαφικής παραμέτρου a που εξετάζεται στην περιοχή. Ο αριθμός υπερβάσεων υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την πιθανότητα εμφάνισης ενός μόνο σεισμού με τον αναμενόμενο αριθμό σεισμών σε ένα χρόνο. Τέλος, ο ολικός αριθμός των σεισμών που θα προκαλέσουν υπέρβαση της στάθμης της εδαφικής επιτάχυνσης $A > a$ στην εξεταζόμενη περιοχή δίνεται από το άθροισμα



Σχ.4.1. Θεωρητικό μοντέλο σεισμικών πηγών σύμφωνα με τη μέθοδο McGuire.

σμα των αναμενόμενων σεισμών όλων των σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την περιοχή.

4.3. Εφαρμογή του Μοντέλου McGuire στην πόλη της Καλαμάτας

Το μοντέλο, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους εφαρμόστηκε για την πόλη της Καλαμάτας. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται το μοντέλο σεισμικών πηγών που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη μελλοντική σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή, όπως έχει προταθεί από τον Χατζηδημητρίου (1984).

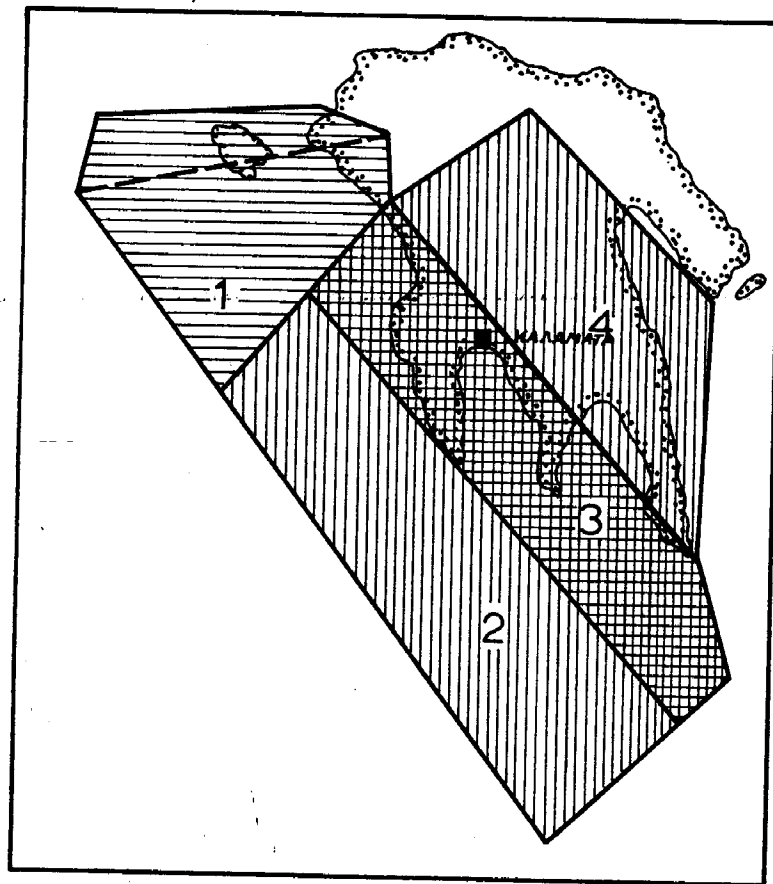
Στον πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά όλων των σεισμικών πηγών όπου:

- a : ο συντελεστής της σχέσης $\log N(M) = a - bM$
- $\beta = b \ln 10$
- m_o, m_u : το ελάχιστο και μέγιστο μέγεθος, αντίστοιχα
- ν : το μέσο ποσοστό εμφάνισης σεισμών
- D : το μέσο εστιακό βάθος σε km.

Για την ανάλυση λήφθηκαν υπόψη σεισμοί με μεγέθη μεγαλύτερα του 4.0 από το 1900-1983 (Makropoulos et al., 1986).

Οι παράμετροι που εξετάσθηκαν ήταν η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση με την αντίστοιχη σχέση απόσβεσης (Makropoulos, 1978), η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Orphall and Lahoud, 1974) και η μέγιστη εδαφική μετατόπιση (Orphall and Lahoud, 1974).

Στους πίνακες 4.2-4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μοντέλου για την πόλη της Καλαμάτας.



Σχ.4.2. Μοντέλο σεισμικών πηγών για την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καλαμάτας, σύμφωνα με τη μέθοδο McGuire.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

ΜΟΝΤΕΛΟ MCGUIRE -ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Σεισμική Πηγή	a	b	Συντελεστής Συσχέτισης	m_o	m_u	\bar{V}	\bar{D}
A ₁	6.16	-2.07	0.98	4.0	7.0	2.12	10
A ₂	5.26	-1.84	0.96	4.0	7.0	0.96	10
A ₃	4.82	-1.75	0.96	4.0	7.5	0.62	10
A ₄	4.64	-1.57	0.98	4.0	6.5	0.81	10

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3

ΜΟΝΤΕΛΟ MCGUIRE - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ.

<div> <div>Τ χρόνια</div> <div>Πιθανότητα (P)</div> </div>	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	113	158	197	219	241	292
90% να μη ξεπεραστούν	192	249	313	326	359	416

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4

ΜΟΝΤΕΛΟ MCGUIRE - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΛΔΑΦΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

<div> <div> <div>T</div> <div>χρόνια</div> </div> <div> <div>Πιθανό-</div> <div>τητα (P)</div> </div> </div>	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	8.5	11.7	14.6	16.9	18.0	22.0
90% να μη ξεπερα- στούν	11.3	16.4	18.2	20.6	23.3	27.0

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5

ΜΟΝΤΕΛΟ MCGUIRE - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΛΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

<div> <div> <div>T</div> <div>χρόνια</div> </div> <div> <div>Πιθανό-</div> <div>τητα (P)</div> </div> </div>	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	4.3	5.7	6.9	7.4	8.2	9.5
90% να μη ξεπερα- στούν	6.4	8.8	10.2	12.4	14.7	16.9

4.4. Εφαρμογή του μοντέλου McGuire στην πόλη της Καλαμάτας με παράμετρο τη μακροσεισμική ένταση

Η μέθοδος McGuire που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων και που αναπτύχθηκε προηγούμενα εφαρμόστηκε και για τον υπολογισμό των αναμενόμενων σεισμικών εντάσεων στην πόλη της Καλαμάτας. Θεωρήσαμε τις ίδιες σεισμοτεκτονικές ενότητες για τον Ελλαδικό χώρο που είχαν προταθεί σε προηγούμενο ερευνητικό πρόγραμμα του ΟΑΣΠ.

Για την περιοχή της Νοτιοδυτικής Ελλάδας όπου ανήκει και η Καλαμάτα, είχε προσδιοριστεί η παρακάτω σχέση εξασθένησης των εντάσεων.

$$I(R) - I_0 = 7,00 + 0,86R - 3,86 \log(R+D)$$

όπου $I(R)$: η μακροσεισμική ένταση σε απόσταση R από τη σεισμική εστία.

D : το μέσο εστιακό βάθος των σεισμών (ελήφθη ίσο με 10 km). Οι αναμενόμενες σεισμικές εντάσεις στην Καλαμάτα υπολογίστηκαν θεωρώντας τις σχέσεις εξασθένησης της μορφής $I(R) = f(M, R)$. Οι σχέσεις εξασθένησης της παραπάνω μορφής μας έδωσαν τη δυνατότητα μετατροπής των σεισμικών μεγεθών σε σεισμικές εντάσεις.

Με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος McGuire σε Η/Υ υπολογίστηκαν για την Καλαμάτα οι αναμενόμενες πλέον πιθανές μακροσεισμικές εντάσεις για τα επόμενα 10, 25, 50, 100 και 200 χρόνια. Για τις συγκεκριμένες πλέον πιθανές τιμές I_{10} , I_{25} , ..., I_{200} του πίνακα 4.6 υπάρχει πιθανότητα $1 - e^{-1} = 0,63$ (δηλ. 63%) να γίνει υπέρβασή τους την αντίστοιχη χρονική περίοδο. Στον ίδιο πίνακα δίνονται και οι τιμές $I_{100}^{0.8}$ και $I_{200}^{0.8}$ που δείχνουν τις εντάσεις που με πιθανότητα $\frac{83\%}{90\%}$ δεν θα γίνει υπέρβασή τους στα επόμενα 100 και 200 χρόνια. Οι τιμές αυτές έχουν περισσότερο ενδιαφέρον από πρακτικής πλευράς για την αντισεισμική δόμηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6. Αποτελέσματα πιθανολογικού υπολογισμού αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων σε διάφορες χρονικές περιόδους για την πόλη της Καλαμάτας. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε είναι η McGuire

Καλαμάτα	I_{10}	I_{25}	I_{50}	I_{100}	I_{200}	$I_{100}^{0.8}$	$I_{200}^{0.8}$
Μακρ. ένταση	4,60	5,10	5,70	6,60	7,20	7,50	8,30

5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΡΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα παραπάνω μοντέλα που αναπτύχθηκαν χαρακτηρίζονται σαν "σημειακά μοντέλα" που σημαίνει ότι έκλυση της σεισμικής ενέργειας γίνεται από το επίκεντρο και δεν λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος και το μήκος διάρρηξης στο επίπεδο του ρήγματος κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Από την ιδιομορφία των εγγραφών των ισχυρών εδαφικών δονήσεων και από την κατανομή των βλαβών, πιστεύεται σήμερα, ότι το μήκος διάρρηξης που αντιστοιχεί σ'ένα συγκεκριμένο σεισμικό μέγεθος είναι η σπουδαιότερη παράμετρος για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής.

Ο McGuire (1975) πρότεινε ένα μοντέλο που ενσωματώνει όχι μόνο το μήκος διάρρηξης αλλά και τις αβεβαιότητες που συνδέονται με τη σχέση απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων. Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε για την πόλη της Καλαμάτας, και παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά του.

5.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΡΡΗΣΗΣ

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης της εδαφικής παραμέτρου που εξετάζεται για ένα δεδομένο σεισμικό μέγεθος, μήκος διάρρηξης και θέσης, δίνεται από τη σχέση:

$$P(A > a) = \iiint_{m \ l_r \ x} P \left[A > a/m, \ l_r(m), \ x \right] f_M(m) f_{L_r}(l_r) f_X(x) dm dl_r dx \quad (5.1)$$

όπου :

M το σεισμικό μέγεθος

$l_r(m)$ το μήκος διάρρηξης που αντιστοιχεί σε M

x η σχετική θέση της διάρρηξης στο επίπεδο του ρήγματος

Η ολοκλήρωση της σχέσης (5.1) ως προς m , l_r και x δίνει την πιθανότητα με την οποία αναμενεται να γίνει υπέρβαση της στάθμης a για ένα και μόνο σεισμό. Ο αναμενόμενος αριθμός υπερβάσεων

υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το μέσο ποσοστό εμφάνισης των σεισμών με την πιθανότητα υπέρβασης ενός σεισμού, και ο ολικός αριθμός υπερβάσεων εξ αιτίας όλων των σεισμικών πηγών που περιβάλλουν την εξεταζόμενη περιοχή σαν άθροισμα των ξεχωριστών υπερβάσεων που αντιστοιχούν σε κάθε σεισμική πηγή ξεχωριστά.

Τέλος, η σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{Σεισμική Επικινδυνότητα} = 1 - \exp(-\text{ολικός αριθμός υπερβάσεων της στάθμης } a) \quad (5.2)$$

Η συσσωρευτική συνάρτηση κατανομής και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των σεισμικών μεγεθών δίνονται από τις ίδιες σχέσεις που παρουσιάστηκαν στο κλασσικό μοντέλο McGuire (σχ.4.3 και 4.4).

Το μήκος διάρρηξης θεωρείται τυχαία μεταβλητή με λογαριθμικανονική κατανομή με παραμέτρους το σεισμικό μέγεθος. Η μέση τιμή δίνεται από τη γενική σχέση :

$$\log L_r = -a + bM \quad (5.3)$$

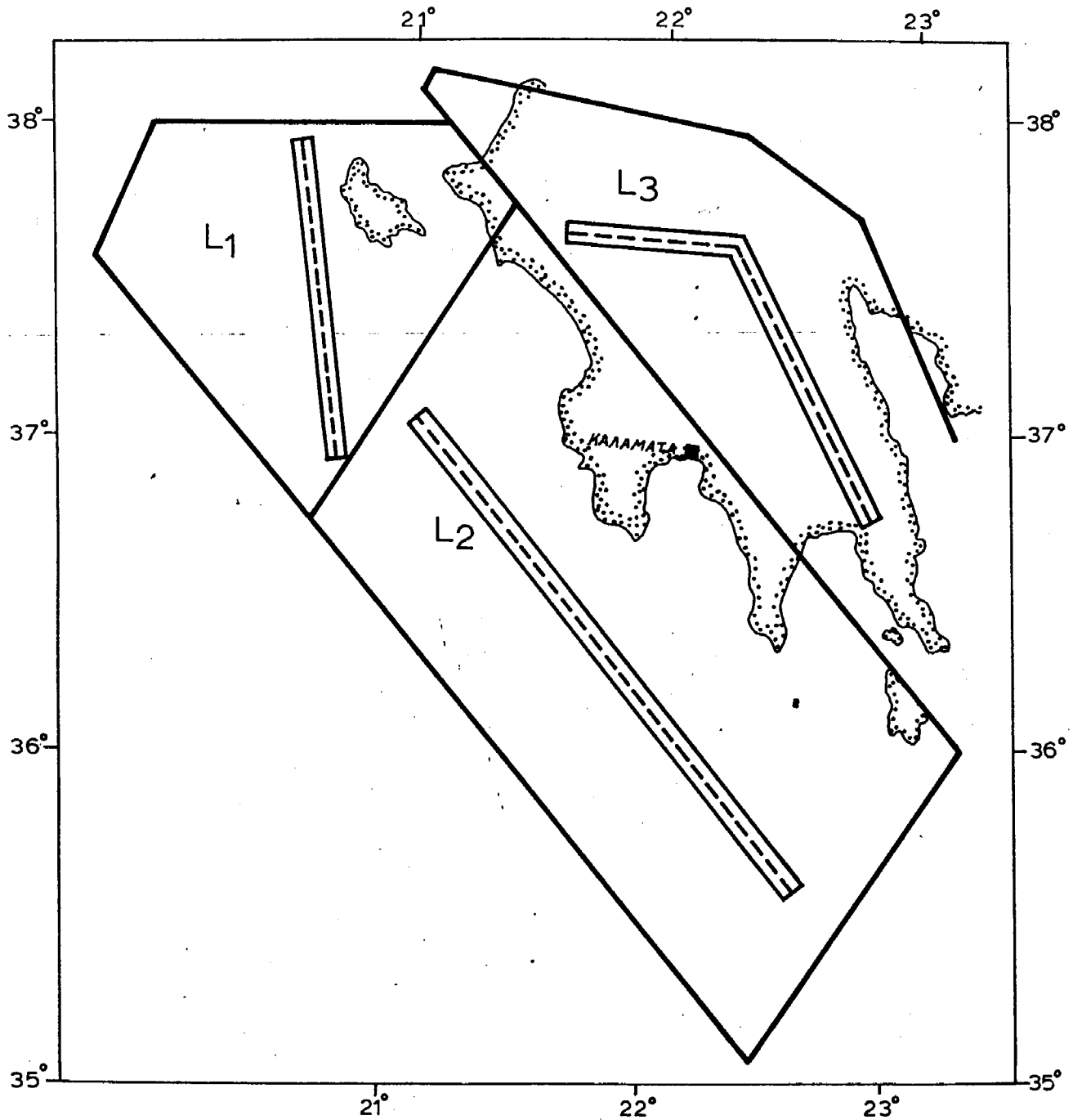
όπου L_r το μήκος διάρρηξης σε km και M το μέγεθος του σεισμού. Το σημείο εκκίνησης της διάρρηξης θεωρείται ισοπιθανό να εμφανιστεί σε οιαδήποτε σημείο του επιπέδου του ρήγματος.

Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο, ο σεισμός θεωρείται σαν άθροισμα διακεκριμένων διαρρήξεων που γίνονται κατά διαφορετικά χρονικά διαστήματα και σε διαφορετικές θέσεις στο επίπεδο του ρήγματος, θεωρία που έχει επιβεβαιωθεί τόσο σε διεθνές επίπεδο όσο και για σεισμούς του Ελληνικού χώρου. (Stavrakakis et. al 1986)

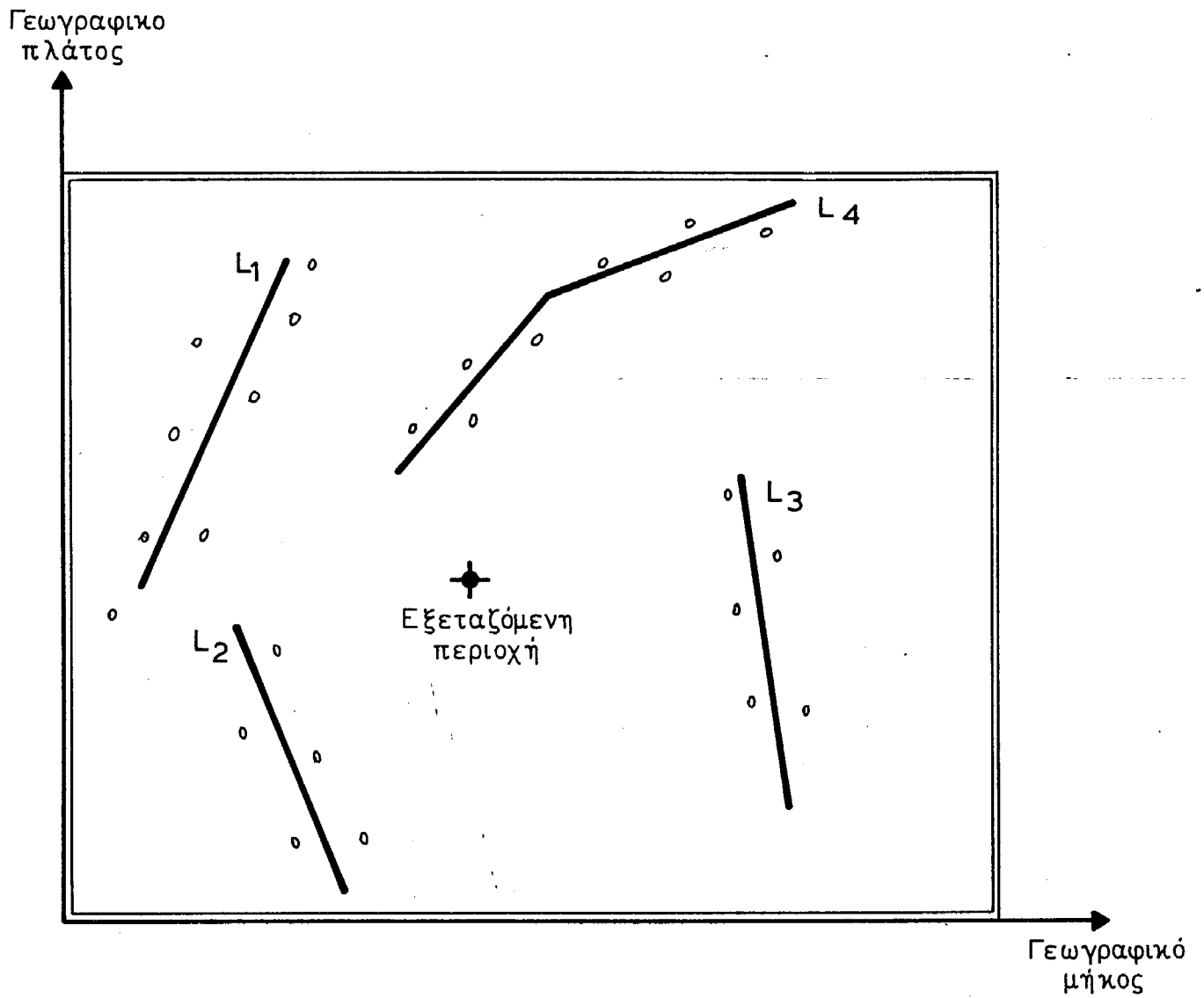
Στο σχήμα 5.1 φαίνεται ο τρόπος μοντελοποίησης των σεισμικών πηγών, που στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μόνο το γραμμικό σεισμικό μοντέλο, και εξετάζονται οι αβεβαιότητες ως προς την θέση και τον προσανατολισμό του.

5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που υιοθετήθηκε για την ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας. Με διακεκομμένες γραμμές φαίνονται οι κύριες ζώνες διάρρηξης που αντιστοιχούν σε



Σχ.5.2. Μοντέλο σεισμικών πηγών για την ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας σύμφωνα με το μοντέλο διάρρηξης McGuire.



Σχ.5.1. Θεωρητικό μοντέλο σεισμικών πηγών σύμφωνα με τη μέθοδο διάρρηξης McGuire.

κάθε σεισμική πηγή.

Το μήκος διάρρηξης εξετάσθηκε απο τη σχέση :

$$\log L_r = 0.61 M_s - 2.55, \quad 5.8 \leq M_s \leq 7.5$$

που προτάθηκε για τον Ελληνικό χώρο (Kiritzi et. al., 1985).

Στον πίνακα 5.1 συνοψίζονται όλες οι παράμετροι εισόδου για κάθε σεισμική πηγή, όπου :

$$\beta = b \ln 10$$

m_0 το ελάχιστο σεισμικό μέγεθος που θεωρείται στην ανάλυση,

m_{1u} το μέγιστο μέγεθος σεισμού με πιθανότητα 67% να ξεπεραστεί και

m_{2u} το μέγιστο μέγεθος σεισμού με πιθανότητα 37% να ξεπεραστεί

\bar{v} το μέσο ποσοστό εμφάνισης των σεισμών

\bar{D} το μέσο βάθος σε km

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Σεισμική Πηγή	β	m_0	m_{1u}	m_{2u}	\bar{v}	\bar{D}
L_1	2.16	5.5	7.20	7.50	0.192	10
L_2	1.60	5.5	7.50	7.80	0.140	10
L_3	2.17	5.5	7.00	7.40	0.089	10

Τέλος στους πίνακες 5.2 - 5.4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου διάρρηξης για την εδαφική επιτάχυνση (Makropoulos, 1978), εδαφική ταχύτητα, και μετατόπιση (Orphall -Lahoud, 1974) για την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	125	169	193	216	245	266
90% να μη ξεπεραστούν	162	219	250	280	318	345

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τ χρόνια Πιθανότητα (P)	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	8.8	12.3	15.7	17.2	19.4	24.2
90% να μη ξεπεραστούν	10.56	14.7	18.8	20.6	23.6	29.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4

ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΡΡΗΣΗΣ - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

<div>Τ χρόνια</div> <div>Πιθανό- τητα (P)</div>	25	50	75	100	150	200
63% να ξεπεραστούν	5.1	5.9	7.3	7.7	8.9	10.8
90% να μη ξεπερα- στούν	6.6	7.7	9.5	10.1	11.6	14.0

6. Υποδείξεις για τα Φάσματα Σχεδιασμού στην Καλαμάτα

Είναι γνωστό ότι τα φάσματα σχεδιασμού βασίζονται σε δύο παραμέτρους και συγκεκριμένα στη μέγιστη ενεργό επιτάχυνση - effective peak acceleration - (EPA) και στη μέγιστη ενεργό ταχύτητα - effective peak velocity - (EPV). Η EPA είναι ανάλογη με τις φασματικές συνιστώσες για το φάσμα δεσποζουσών περιόδων από 0,2 - 0,5 sec ενώ η EPV είναι ανάλογη με τις φασματικές συνιστώσες στις περιόδους που είναι γειτονικές με το 1 sec. Η σταθερά αναλογίας και στις δύο περιπτώσεις για απόσβεση 5% είναι περίπου 2,5.

Οι EPA και EPV σχετίζονται αντίστοιχα με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα αλλά δεν είναι κατ'ευθείαν ανάλογοι. Είναι δε δυνατόν οι EPA και EPV να είναι είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες από τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα αντίστοιχα. Όταν στις εδαφικές κινήσεις εμφανίζονται υψηλές συχνότητες, η EPA μπορεί να είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτάχυνση. Από το άλλο μέρος η EPV γενικά είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ταχύτητα σε περίπτωση σφοδρού σεισμού και σε μεγάλες κυρίως επικεντρικές αποστάσεις. Όπως είναι γνωστό, η διάρκεια των εδαφικών κινήσεων αυξάνει σε συνάρτηση με την απόσταση οι δε εδαφικές κινήσεις γίνονται περισσότερο περιοδικές με την αύξηση της απόστασης. Αυτή η μεγάλη διάρκεια τείνει να αυξήσει αναλογικά το μέρος του φάσματος αποκρίσεως που αντιπροσωπεύεται από την EPV.

Ακόμη υπενθυμίζεται ότι οι μεγάλες τιμές των επιταχύνσεων εξασθενούν από την παρουσία χαλαρών εδαφών ενώ οι μικρές τιμές δυνατόν να ενισχυθούν. Τα φασματικά χαρακτηριστικά στις περιοχές φάσματος που επηρεάζονται από ταχύτητες ή και μετατοπίσεις δεν αλλάζουν πολύ.

Γενικά σε μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας όπου σεισμοί από διάφορες υποκεντρικές αποστάσεις και με διάφορα μεγέθη επηρεάζουν μια συγκεκριμένη θέση θεωρούμε ότι οι EPA και EPV είναι της ίδιας τάξης με τη μέγιστη επιτάχυνση και τη μέγιστη ταχύτητα αντίστοιχα και αυτή η παραδοχή που δικαιο-

λογείται από τις τιμές που βρέθηκαν στην παρούσα μελέτη έγινε για την Καλαμάτα.

Για να βρούμε τα φασματικά χαρακτηριστικά που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στη θέση μελέτης ακολουθήσαμε τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες και συγκεκριμένα :

- α) Μεθοδολογία σύμφωνα με τις απόψεις του Seed και των συνεργατών του.(Seed et al., 1974).
- β) Μεθοδολογία που προτάθηκε από Newmark και τους συνεργάτες του.(Newmark et al., 1969).
- γ) Απλοποιημένη μορφή φάσματος που ισχύει στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ , ATC - 3) .

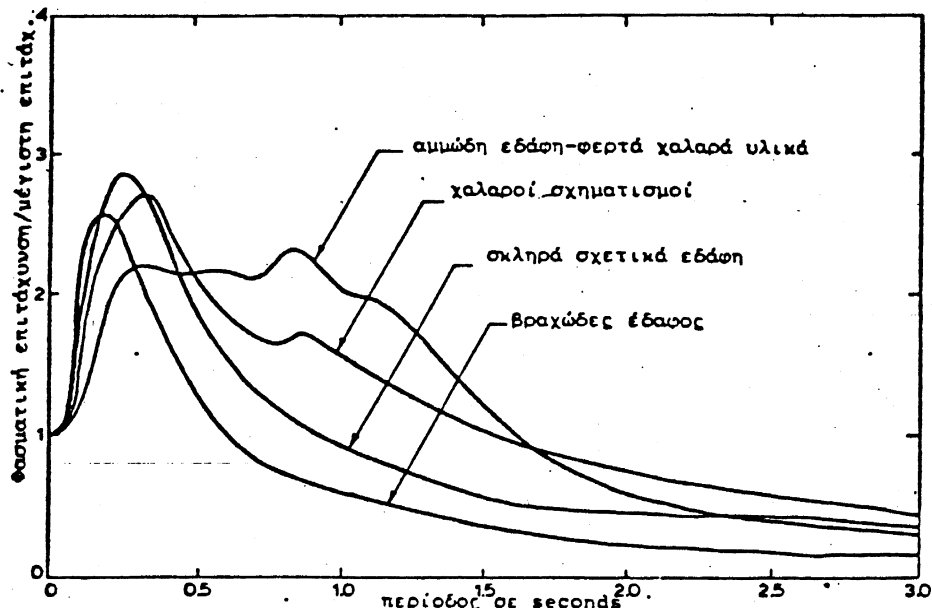
6.1. Φάσμα κατά Seed και τους συνεργάτες του.

Ο Seed και οι συνεργάτες του (1974) βρήκαν από ανάλυση 104 επιταχυνσιογραφημάτων τις μέσες τιμές των φασμάτων επιταχύνσεως για διάφορες εδαφικές συνθήκες , οι οποίες δεικνύονται στο σχ.6.1. Είναι φανερό απο το σχ. αυτό ότι υπάρχουν ουσιώδεις διαφορές στα φασματικά χαρακτηριστικά διαφόρων εδαφικών συνθηκών ιδιαιτέρως για περιόδους μεγαλύτερες απο 0,4 .sec.

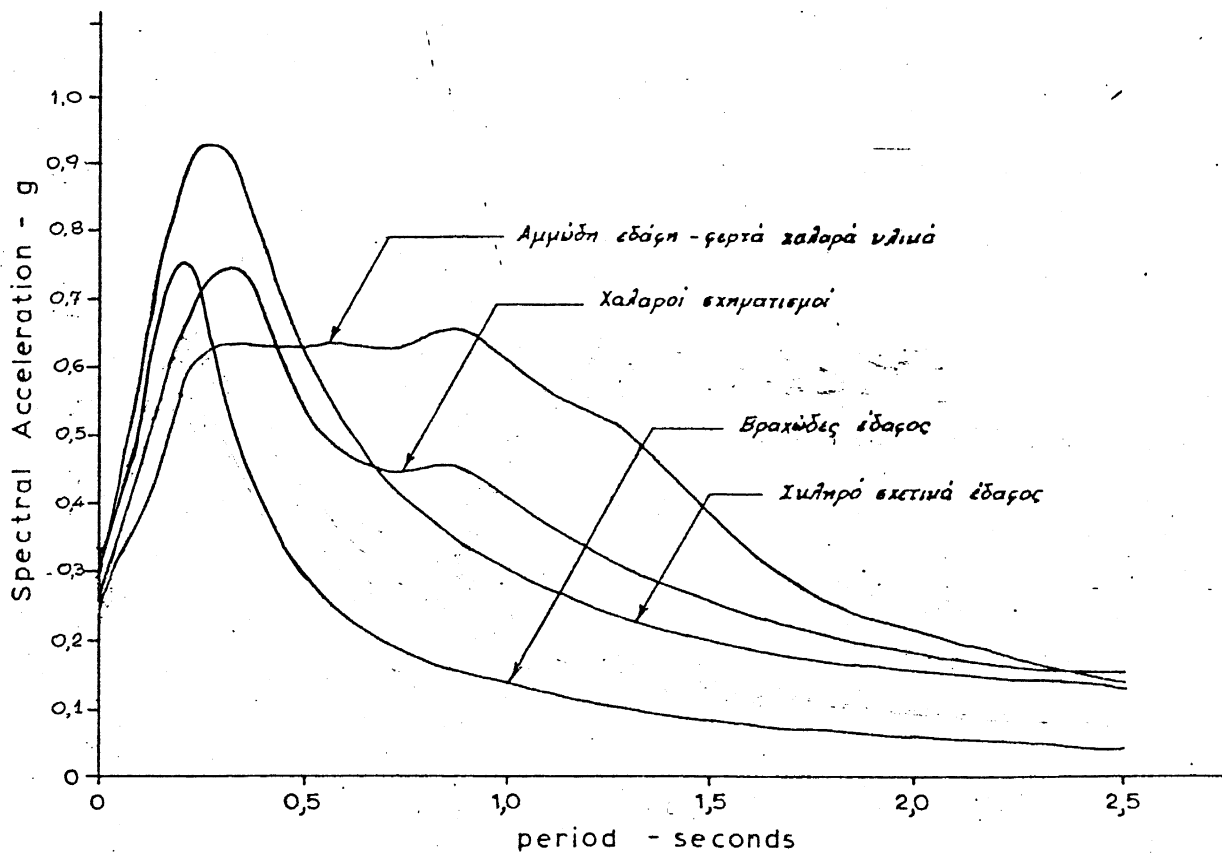
Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να προσδιορίσουμε τα φάσματα απόκρισης για ποικίλες εδαφικές συνθήκες σε μια απόσταση 20 km από σεισμό μεγέθους 6,5. Αυτή η περίπτωση με κάποια πιθανότητα και μεγάλη σχετικά περίοδο επανάληψης αναμένεται για τη θέση μελέτης στην πόλη της Καλαμάτας. Για την παραπάνω περίπτωση η μέγιστη επιτάχυνση θα είναι της τάξεως του 0,26 g.

Τα πραγματικά φάσματα αποκρίσεως βρίσκονται με πολλαπλό αυτόν των τιμών με τα "κανονικοποιημένα" φάσματα του σχ. (6.1) και έτσι προκύπτει το σχ.(6.2). Κατ'αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να υπολογίσουμε μέσα φάσματα για σεισμούς διαφόρου μεγέθους και υποκεντρικής απόστασης και φυσικά για ποικίλες εδαφικές συνθήκες εδράσεως ενός σημαντικού έργου.

Στο σχ.(6.2) φαίνονται τα φάσματα για διάφορες εδαφικές συνθήκες στην πόλη της Καλαμάτας με $a_g=0,26g$ σύμφωνα με την μεθοδολογία του Seed και συνεργατών του.



6.1. Μέσα φάσματα επιτάχυνσης για διάφορες εδαφικές συνθήκες (Seed και συνεργάτες, 1974).



Σχ.6.2. Προτεινόμενα φάσματα επιτάχυνσης για θέσεις με διαφορετικές εδαφικές συνθήκες στην Καλαμάτα

6.2. Φάσμα κατά τη μεθοδολογία Newmark και των συνεργατών του

Θα επιχειρηθεί παρακάτω να δοθούν τα χαρακτηριστικά του φάσματος απόκρισης για την Καλαμάτα σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτάθηκε από τον Newmark και τους συνεργάτες του.

Για το συγκεκριμένο φάσμα σχεδιασμού υιοθετούμε από τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας τις παρακάτω στάθμες εδαφικών κινήσεων $a=0,26 \text{ g}$, $v=20 \text{ cm/sec}$, $d=8,0 \text{ cm}$.

Όπως είναι γνωστό, ο Newmark υπέδειξε για διάφορες αποσβέσεις τους πολ/κούς παράγοντες που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1 για να προσδιορίσουμε το φάσμα απόκρισης με βάση τις μέγιστες τιμές των εδαφικών κινήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

Απόσβεση	Πολ/κοί Παράγοντες		
	Επιτάχυνση	Ταχύτητα	Μετατόπιση
2	4,3	2,8	1,8
5	2,6	1,9	1,4
7	1,9	1,5	1,2
10	1,5	1,3	1,1

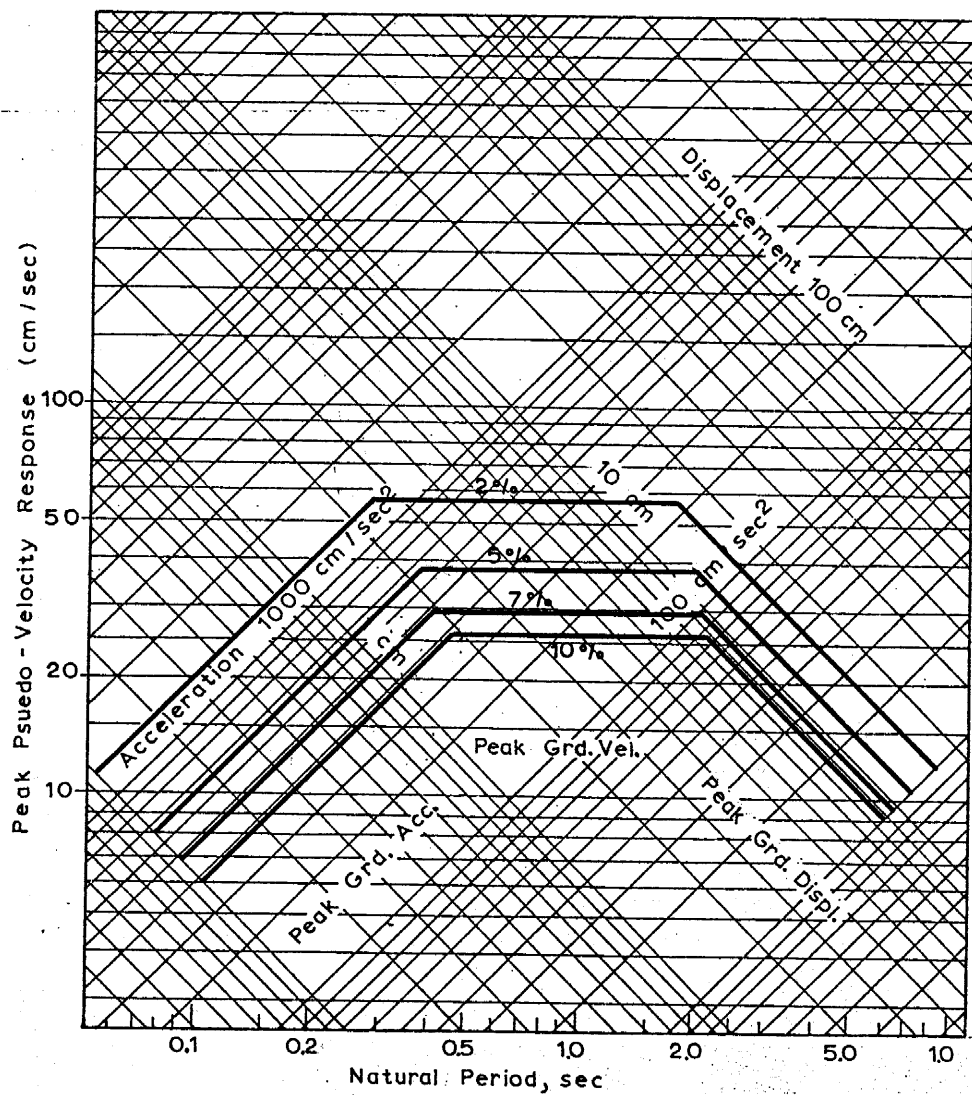
Συνεπώς για απόσβεση 5% θα έχουμε:

$$260 \times 2,6 = 676 \text{ cm/sec}^2$$

$$20 \times 1,9 = 38,0 \text{ cm/sec}$$

$$8 \times 1,4 = 11,2 \text{ cm}$$

Κατ'αυτό τον τρόπο έχουμε για τη θέση μελέτης (Καλαμάτα) το φάσμα που φαίνεται στο σχ.6.3 και που αντιστοιχεί σε 5% απόσβεση. Ανάλογα φάσματα βρίσκουμε ακολουθώντας την προηγούμενη μεθοδολογία και για άλλους βαθμούς απόσβεσης στο ίδιο δε σχήμα φέραμε το φάσμα που αντιστοιχεί σε απόσβεση 2%, 5%, 7% και 10%.



Σχ. 6.3. Φάσματα σχεδιασμού για την Καλαμάτα κατά τη μεθο-
δολογία Newmark και συνεργατών

6.3. Φάσμα κατά τη μεθοδολογία ATC - 3

Απλοποιημένες καμπύλες εδαφικών κινήσεων που αντιστοιχούν σε κανονικοποιημένα φάσματα σχεδιασμού για διάφορες εδαφικές συνθήκες έγιναν απο επιτροπή εμπειρογνομόνων στις ΗΠΑ. Στο σχ.6.4 παρουσιάζονται αυτά τα φάσματα για τρία είδη εδάφους. Πρακτικά στο σχ.6.4 τα οριζόντια τμήματα του φάσματος επηρεάζονται κυρίως απο την τιμή ΕΡΑ (ενεργός επιτάχυνση) ενώ οι καμπύλες εξασθένησης (δεξιά στο σχ.32) απο την τιμή ΕΡV (ενεργός ταχύτητα). Σημειώνεται οτι τα φάσματα για θέσεις μακριά απο σεισμικές εστίες κατασκευάζονται όταν καθυστερήσουμε την έναρξη του τμήματος εξασθένησης.

Ελάττωση κατά 20% για τις εδαφικές συνθήκες S_3 (χαλαρά εδάφη) εφαρμόζονται κυρίως όταν η επιτάχυνση σχεδιασμού υπερβαίνει την τιμή 0,3g πράγμα που δεν συμβαίνει στη περίπτωση που μελετάται (Καλαμάτα).

Ως εξισώσεις του σεισμικού συντελεστού χρησιμοποιήσαμε τις ακόλουθες :

$$C_s(T) = \frac{1,2 SA}{T^{2/3}} \quad (6.1)$$

$$a(T) = \frac{J}{R} C_s(T) \quad (6.2)$$

όπου $C_s(T)$ = σεισμικός συντελεστής

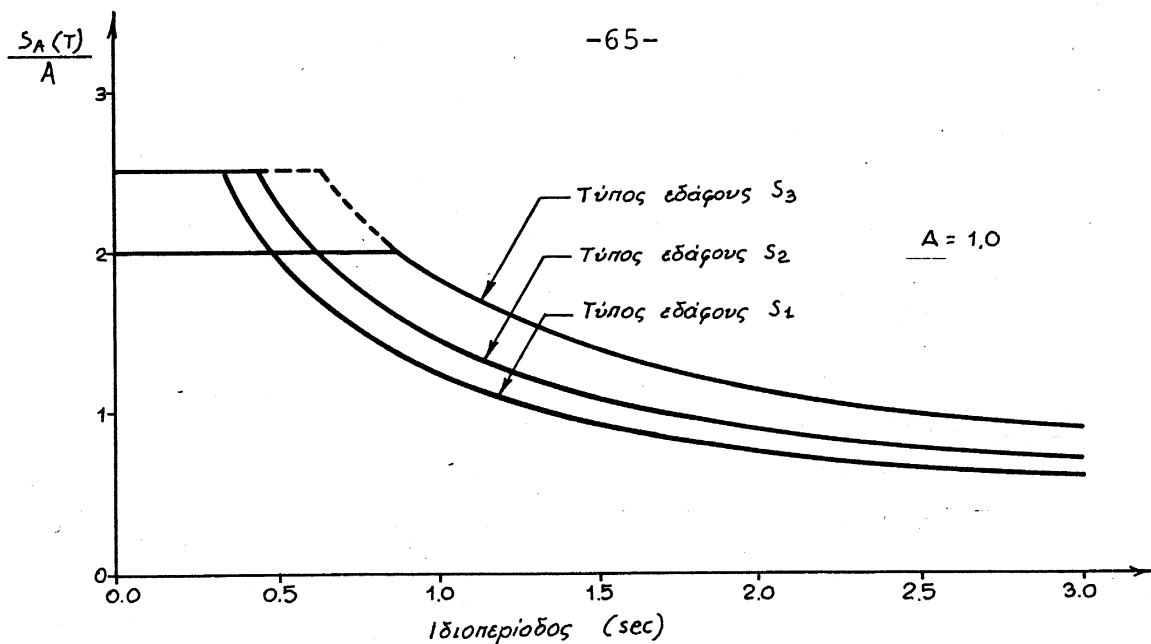
S = παράγων εδάφους (1,0 για έδαφος S_1 δηλ. για βράχο και σκληρά εδάφη, 1,3 για έδαφος S_2 δηλ. για βαθειές αποθέσεις απο αμμοχάλικο και 1,5 για έδαφος S_3 δηλ.για μαλακή άργιλο).

A = μέγιστη ενεργός εδαφική επιτάχυνση

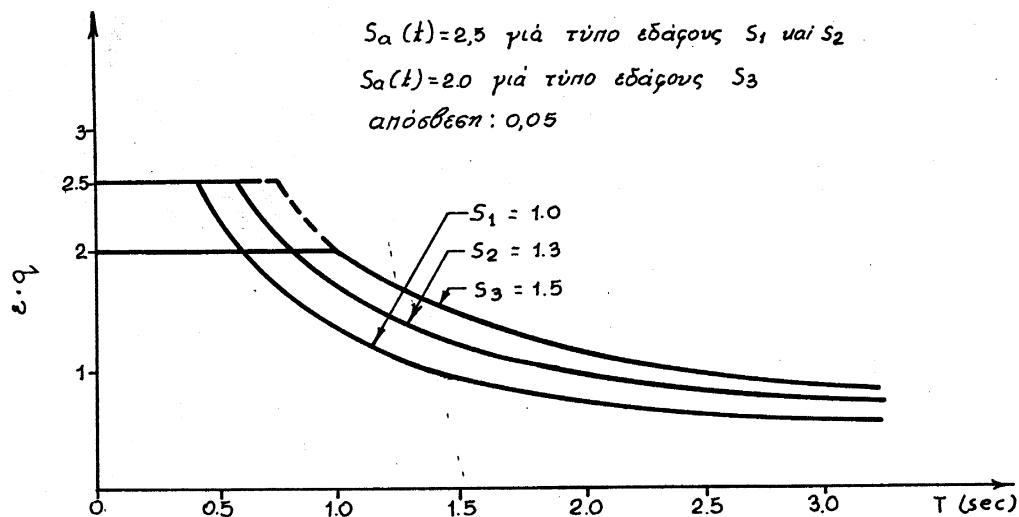
T = δεσπόζουσα περίοδος της κατασκευής

J = παράγοντας σπουδαιότητας έργου απο 1,0 έως 2,0

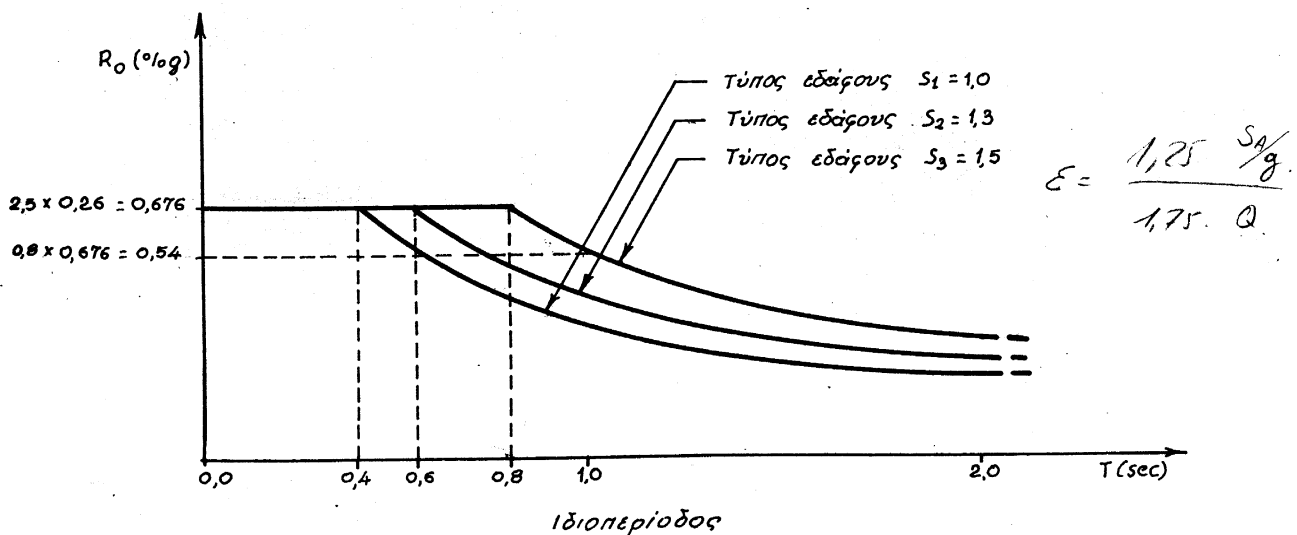
R = παράγοντας πλαστιμότητας σκελετού με τιμές απο 1 έως 6



Σχ.6.4. Φάσματα Σχεδιασμού κατά ATC-3.



Σχ.6.5. Μορφή κανονικοποιημένων σεισμικών συντελεστών για την Καλαμάτα.



Σχ.6.6. Φάσματα σχεδιασμού για την Καλαμάτα και για τρεις κατηγορίες εδαφικών συνθηκών.

Θεωρούμε ακόμη απαραίτητο να τονίσουμε ότι η EPA είναι ανάλογη με τις φασματικές συνιστώσες για το φάσμα δεσποζουσών περιόδων από 0,2 - 0,5 sec ενώ η EPV είναι ανάλογη με τις φασματικές συνιστώσες στις περιόδους που είναι γειτονικές με το 1 sec.

Πρέπει ακόμη να αναφέρουμε ότι στη διεθνή βιβλιογραφία συνιστάται στην περίπτωση που η EPV δεν έχει υπολογιστεί από τοπικές καμπύλες εξασθένησης ότι ισχύει $A_v = 1,30$ EPV (βλ. ATC-3 σελ.301)

Όπως προαναφέρθηκε οι τιμές των εδαφικών κινήσεων που υιοθετήθηκαν στη μελέτη είναι:

$$EPA = a_g = 0,26g \rightsquigarrow A_a = \frac{EPA}{g} = 0,26$$

$$EPV = 0,20 \text{ cm/sec} \rightsquigarrow A_v = 1,30 \text{ EPV} = 0,260$$

Με τη χρησιμοποίηση της εξίσωσης 6.1 και θέτοντες για την Καλαμάτα $A = 0,26g$ έχουμε για τις τρεις κατηγορίες εδάφους

$$\text{Για } S_1(1,0) \rightsquigarrow C_s(T) = \frac{0,312}{T^{2/3}}$$

Επιρροή
ελαστών

$$\text{Για } S_2(1,3) \rightsquigarrow C_s(T) = \frac{0,406}{T^{0,406}}$$

$$\text{Για } S_3(1,5) \rightsquigarrow C_s(T) = \frac{0,468}{T^{2/3}}$$

Στον πίνακα 6.2 έχουν υπολογισθεί για τη θέση μελέτης (Καλαμάτα) οι τιμές $C_s(T)$ για τα τρία είδη εδάφους και για διάφορες τιμές δεσποζουσας περιόδου της κατασκευής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. Τιμές της $C_s(T)$ για διαφορετικές περιόδους και για διαφορετικές εδαφικές συνθήκες

$T_{\text{sec}} \backslash S_{\text{soil}}$	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
1	0,912	0,696	0,495	0,362	0,312	0,276	0,238	0,196
1,3	1,187	0,906	0,644	0,471	0,406	0,359	0,310	0,256
1,5	1,368	1,044	0,743	0,543	0,468	0,414	0,357	0,295

Οι κανονικοποιημένοι σεισμικοί συντελεστές σχεδιασμού παρουσιάζονται για την Καλαμάτα στο σχ. (6.5). Οι τιμές R και J όπως προαναφέρθηκε πρέπει να επιλεγούν από τους μελετητές μηχανικούς κάθε κατασκευής μιά και εξαρτώνται αποκλειστικά από το είδος της κατασκευής.

Συνεπώς μορφή φασμάτων σχεδιασμού για την Καλαμάτα παρουσιάζονται στο σχήμα 6.6 για τα τρία χαρακτηριστικά εδάφη. Εφ'όσον για τη θέση μελέτης βρέθηκε $A < 0,3g$ θα πρέπει τελικά για τις εδαφικές συνθήκες S_3 (βλέπε σχήμα 6.5 να υιοθετηθεί το εστιγμένο τμήμα.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές και τους πολ/κούς παράγοντες που προτάθηκαν από τον Newmark και τους συνεργάτες του (πίνακα 6.1) βρήκαμε τα φάσματα σχεδιασμού που πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα στην πόλη της Καλαμάτας και που παρουσιάζονται στο σχ. (6.6).

Συμπερασματικά τονίζεται ότι τα φάσματα που παρουσιάζονται στα σχ. 6.2, 6.3 και 6.6 αποτελούν μιά από τις κυριώτερες προτάσεις μας για τους μελετητές των υπό κατασκευή έργων στην Καλαμάτα.

Είναι φανερό από την προηγούμενη ανάλυση ότι ο "σεισμικός" συντελεστής βάσης" εξαρτάται από:

- α) μέγιστη ενεργό σεισμική επιτάχυνση. Αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τη σεισμικότητα και ιδίως τη σεισμική επικινδυνότητα της θέσης μελέτης από τη διάρκεια ζωής του έργου και από τη σπουδαιότητα της κατασκευής.
- β) τη συνάρτηση της συμμετοχής του εδάφους που παρεμβάλλεται από το μητρικό πέτρωμα μέχρι την κατασκευή (δυναμικά χαρακτηριστικά εδαφικού αποθέματος, επιρροή των θεμελίων της κατασκευής). Η επίδραση αυτή επιβάλλει την εκπόνηση μικροζωνικής μελέτης όπου θα φανεί η συμβολή του είδους του εδάφους τόσο στη διαμόρφωση του σεισμικού συντελεστή όσο και στη μορφή των φασμάτων σχεδιασμού.
- γ) την επιρροή των χαρακτηριστικών της κατασκευής δηλαδή την πλαστιμότητα της κατασκευής. Αυτό αντιστοιχεί στην ικανότητα της κατασκευής ν' απορροφά ενέργεια (απόσβεση) και στα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής (ιδιοπερίοδος κ.λ.π.).

68

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΚΤΙΝΑ 1 1/2 ΜΟΙΡΑΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

67

EARTHQUAKE CATALOGUE FOR THE AREA 1 1/2 DEGREES
RADIUS AROUND KALAMATA CITY

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1901 OCT 25	16 18 30.0	37.00	22.20	20		5.4
1901 DEC 24	23 18 0.0	37.20	22.20	15		5.8
1902 AUG 2	5 38 0.0	38.50	21.80	20		5.6
1903 MAR 15	19 3 0.0	37.80	21.20	18		5.7
1903 JUL 21	13 3 0.0	38.20	21.80	20		5.6
1903 AUG 11	4 32 54.0	36.30	23.00	120		8.0
1903 SEP 19	18 51 30.0	37.80	20.80	20		5.5
1904 APR 5	9 33 30.0	37.80	22.20	5		5.5
1909 MAR 8	15 55 0.0	37.70	21.20	6		5.5
1909 MAY 30	6 14 0.0	38.25	22.20	20		6.0
1909 JUN 13	9 15 30.0	38.30	22.00	24		5.5
1909 JUL 15	0 34 42.0	37.90	21.50	3		5.7
1910 AUG 2	2 33 9.0	37.00	21.00	20		5.0
1911 MAR 5	19 55 58.0	37.70	22.20	20		5.2
1911 MAR 16	3 12 43.0	38.20	22.00	20		5.4
1911 SEP 20	23 24 28.0	37.50	22.50	20		5.2
1913 JUL 6	7 5 48.0	35.90	23.20	15		5.3
1914 SEP 17	13 6 40.0	37.80	21.00	40		5.5
1916 MAY 20	22 14 0.0	38.20	23.20	28		5.5
1917 JUN 4	1 14 1.0	38.20	21.80	12		4.7
1918 JAN 27	12 56 35.0	38.50	22.00	24		5.1
1918 JUL 11	9 48 17.0	38.40	21.40	10		4.9
1919 FEB 24	1 55 58.8	36.70	21.00	5		6.1
1921 AUG 2	3 17 40.0	37.80	21.20	11		4.8
1922 AUG 15	14 53 26.6	37.89	23.17	97		5.1
1922 NOV 11	22 13 10.5	37.84	22.03	32		5.2
1924 FEB 16	9 1 6.0	37.50	23.00	15		5.5
1925 JUL 6	12 15 54.3	37.79	21.94	70		5.8
1926 FEB 26	15 46 34.8	37.17	21.59	8		5.8
1926 FEB 26	16 8 26.7	37.85	21.47	6		5.6
1926 AUG 18	17 5 2.3	38.08	20.93	56		5.5
1926 AUG 30	11 38 4.5	36.76	23.16	26		7.0
1926 SEP 19	1 4 1.9	36.09	22.08	71		5.9
1927 JUL 1	8 19 1.0	36.72	22.85	45		6.5
1928 APR 22	20 13 55.9	38.08	23.12	8		6.5
1928 APR 25	0 31 18.0	38.00	23.00	6		5.2
1928 APR 29	9 49 20.7	37.71	23.08	84		5.5
1930 APR 17	20 6 49.2	37.80	23.17	66		6.1
1930 SEP 13	20 6 3.2	37.85	22.77	183		5.3
1931 JAN 4	0 0 52.5	38.22	23.27	8		5.7
1931 JUN 30	10 24 1.4	36.29	22.87	103		5.4
1931 NOV 23	23 32 13.0	36.99	21.28	64		5.1
1932 SEP 30	6 12 19.3	35.94	22.60	43		5.5
1936 JAN 14	15 11 25.8	36.10	22.30	74		5.2
1936 OCT 24	14 6 15.0	36.04	22.54	61		5.2
1938 SEP 18	3 50 40.9	38.27	22.47	53		5.9
1938 DEC 26	22 2 30.3	37.53	20.92	105		5.3
1939 MAY 31	0 24 5.0	38.00	22.00	14		5.0
1939 SEP 20	0 19 33.6	38.02	20.86	50		5.6
1942 MAR 11	22 33 54.0	37.80	22.10	15		4.6
1943 JAN 7	22 36 7.6	37.52	21.32	81		5.0
1943 JUL 21	2 6 49.0	38.00	21.00	15		4.7
1944 JUL 30	4 0 45.6	37.14	22.27	85		5.6
1947 JUN 1	11 18 45.3	36.74	21.78	62		5.6
1947 JUL 7	22 35 44.1	37.37	21.05	18		5.2

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1947 JUL 21	9 36 36.3	37.55	22.99	60		5.0
1947 OCT 6	19 55 36.3	36.71	21.79	2		6.7
1948 MAY 27	7 32 43.9	36.53	23.31	162		5.1
1948 JUN 17	6 52 35.9	37.66	21.81	53		5.1
1948 SEP 11	8 52 44.0	37.38	23.28	88		6.2
1948 SEP 21	17 54 1.1	36.45	21.60	59		5.6
1949 FEB 5	15 24 22.5	38.03	21.69	57		5.0
1949 SEP 17	11 30 15.8	37.07	22.67	42		5.0
1950 JUL 31	18 28 29.0	37.90	20.80	5		4.6
1951 AUG 24	10 27 34.1	37.22	21.43	51		5.1
1951 AUG 31	12 29 45.4	35.89	22.45	30		5.6
1952 MAR 28	21 20 37.0	38.00	21.00	16		4.5
1952 APR 9	13 11 10.0	37.60	21.20	6		4.5
1952 JUN 13	1 7 30.2	37.31	21.98	55		5.3
1952 JUL 8	20 58 44.1	36.00	21.94	50		4.6
1952 OCT 5	10 21 19.1	37.07	20.92	24		5.0
1952 OCT 7	16 8 34.7	37.02	20.72	28		4.7
1952 OCT 12	16 49 5.0	37.50	20.80	15		4.5
1953 FEB 5	22 42 5.0	35.70	22.70	15		4.9
1953 FEB 22	18 26 23.0	37.70	21.20	80		5.3
1953 MAR 4	15 30 32.0	38.50	21.80	5		5.0
1953 MAR 30	13 54 43.0	37.60	21.30	7		4.6
1953 JUN 13	18 38 58.1	38.10	22.60	4		5.1
1953 AUG 11	4 32 25.0	38.10	20.80	10		5.0
1953 AUG 12	10 7 38.0	38.10	20.80	10		5.5
1953 AUG 12	11 33 52.3	38.06	20.81	40		5.4
1953 AUG 12	12 5 25.6	37.88	20.76	18		6.3
1953 AUG 12	13 39 28.1	38.09	20.81	28		5.8
1953 AUG 12	14 8 44.1	38.12	20.84	20		6.0
1953 AUG 12	16 8 38.2	38.06	20.84	36		5.5
1953 AUG 13	10 16 50.0	38.10	20.80	10		5.3
1953 AUG 17	2 12 28.8	38.12	20.99	37		5.0
1953 SEP 5	14 18 46.0	37.88	23.17	18		5.7
1953 OCT 10	21 29 18.2	38.08	20.98	22		5.3
1953 NOV 3	22 29 25.0	37.90	21.20	4		4.9
1953 NOV 18	15 20 0.0	37.80	21.00	17		4.8
1953 NOV 28	20 17 36.1	37.49	20.70	37		5.3
1953 NOV 30	13 21 3.9	38.32	21.60	33		4.8
1953 DEC 5	19 34 15.0	37.30	21.00	14		4.6
1954 JAN 18	14 16 14.8	37.62	21.60	37		5.1
1954 FEB 16	4 2 18.0	38.20	21.00	7		4.5
1954 MAR 3	19 47 50.0	37.70	21.00	16		4.8
1954 MAR 30	4 30 35.0	36.70	22.20	22		4.9
1954 APR 17	20 52 51.5	37.99	22.98	19		5.1
1954 MAY 3	5 24 55.0	36.00	21.50	15		4.8
1954 MAY 3	8 51 17.0	36.00	21.50	15		5.0
1954 MAY 12	2 16 33.0	37.70	21.80	5		4.9
1954 MAY 15	12 24 34.0	36.20	21.70	15		5.0
1954 JUN 14	20 6 23.0	38.20	21.50	32		4.5
1954 JUL 18	13 18 55.0	37.60	21.20	10		4.8
1954 JUL 18	14 42 37.2	37.68	21.18	30		5.1
1954 AUG 6	11 33 51.0	36.80	23.20	20		5.0
1954 OCT 6	12 1 41.0	37.50	21.80	24		4.8
1954 DEC 15	23 35 59.0	38.00	21.00	8		4.7
1954 DEC 23	16 27 25.1	37.87	21.19	38		5.4

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1954 DEC 30	11 5 59.8	36.15	21.79	9		5.2
1955 MAR 28	14 45 52.5	37.60	21.24	9		5.1
1955 APR 13	20 45 51.3	37.29	22.50	19		5.2
1955 AUG 14	21 40 19.0	38.00	21.20	14		4.8
1955 OCT 25	3 8 24.0	38.00	21.10	15		4.5
1955 NOV 1	7 44 30.0	38.00	21.00	15		4.6
1956 MAY 15	18 34 16.6	37.25	20.89	15		5.0
1956 MAY 15	22 56 57.3	37.28	20.95	20		5.2
1956 AUG 16	0 38 39.0	36.25	21.90	15		5.4
1956 SEP 3	18 40 57.0	36.40	22.40	16		4.8
1957 JAN 3	7 36 27.0	38.20	21.30	17		5.2
1957 JAN 23	17 26 58.7	36.89	21.58	34		5.0
1957 FEB 19	7 44 0.1	36.27	21.74	28		6.0
1957 MAY 29	18 39 27.2	37.62	23.42	120		5.3
1957 JUL 10	23 37 26.4	36.33	23.07	50		4.4
1957 JUL 15	19 9 47.4	36.14	23.02	80		4.4
1957 AUG 10	20 30 46.0	36.20	22.00	15		4.5
1957 OCT 18	1 50 53.3	38.34	21.98	24		4.7
1958 JAN 2	2 8 22.4	36.29	22.37	42		5.1
1958 FEB 16	16 30 10.0	38.30	21.80	8		4.9
1958 MAR 6	5 41 10.0	36.60	23.00	10		5.1
1958 MAR 29	3 0 42.0	38.20	22.50	7		4.2
1958 MAY 3	20 18 20.8	36.19	21.73	16		5.0
1958 MAY 15	14 46 11.0	38.20	22.10	10		4.3
1958 JUN 5	13 29 48.6	37.20	20.73	29		4.8
1958 AUG 27	15 16 34.6	37.45	20.67	9		6.5
1958 SEP 2	1 13 25.5	37.44	20.62	13		5.4
1958 SEP 4	3 47 3.0	37.70	21.00	20		4.0
1958 NOV 15	5 42 40.5	37.45	21.73	31		5.5
1958 DEC 1	23 6 35.0	38.10	21.30	8		4.9
1958 DEC 3	0 38 29.0	38.10	21.30	16		4.9
1959 JAN 9	1 55 8.2	36.15	21.67	16		4.9
1959 FEB 7	20 8 25.7	37.56	20.90	50		4.6
1959 APR 19	17 39 4.4	37.37	20.94	87		5.0
1959 JUN 11	21 9 30.0	37.60	21.30	14		4.9
1959 AUG 16	18 42 9.5	37.23	22.38	63		5.1
1959 OCT 1	4 37 47.0	37.30	21.90	10		4.2
1959 DEC 23	21 39 14.0	36.50	21.60	30		4.5
1960 MAY 7	19 40 42.0	38.00	21.00	16		4.6
1980 AUG 14	12 52 48.0	37.50	22.00	17		4.8
1961 JAN 7	15 52 59.9	37.70	21.14	44		4.7
1961 FEB 21	3 2 1.3	36.50	22.91	60		4.7
1961 JUL 14	2 36 59.0	38.00	21.00	15		4.8
1961 OCT 2	7 21 45.1	36.66	21.86	19		5.4
1961 DEC 11	16 53 13.7	36.42	23.44	75		4.9
1962 JAN 7	15 5 54.0	37.90	22.90	23		4.9
1962 JAN 10	12 36 35.7	35.82	22.48	77		5.0
1962 JAN 19	19 38 2.7	38.35	22.25	35		5.3
1962 JAN 19	22 18 28.0	38.38	22.15	40		4.9
1962 MAY 19	20 48 29.0	37.80	22.50	7		4.9
1962 AUG 28	10 59 57.4	37.80	22.88	95		6.6
1962 OCT 4	19 46 12.1	37.93	22.36	53		5.0
1963 JAN 31	15 7 6.3	35.94	22.02	52		4.8
1963 OCT 1	17 21 44.0	35.60	21.70	45		4.6
1963 NOV 10	18 37 23.0	38.00	21.00	14		4.6

- 4 -

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1963 DEC 16	13 47 57.4	36.97	20.96	15		5.8
1964 JAN 31	9 23 15.5	37.68	22.51	13		4.0
1964 APR 24	3 49 52.2	37.98	21.30	44		4.1
1964 NOV 27	20 2 34.0	36.90	22.00	1		4.0
1965 FEB 9	23 32 56.4	37.79	20.85	23		4.9
1965 FEB 20	22 47 8.6	38.40	22.10	6		4.3
1965 MAR 8	23 2 55.9	37.85	21.00	55		4.6
1965 MAR 31	9 47 26.3	38.38	22.26	45		6.6
1965 MAR 31	12 1 11.7	38.47	22.23	78		4.9
1965 APR 5	3 12 54.6	37.75	22.00	34		6.0
1965 APR 7	4 16 39.6	37.10	22.30	36		4.3
1965 JUL 6	3 18 42.1	38.37	22.40	18		6.4
1965 AUG 14	4 47 51.7	38.45	21.60	30		4.3
1965 OCT 28	4 27 12.9	38.41	22.37	29		4.3
1965 DEC 25	15 10 30.0	37.31	21.06	4		4.3
1966 JAN 2	23 12 18.0	37.67	23.18	12		4.7
1966 JAN 15	18 7 46.5	36.72	23.09	37		4.7
1966 JAN 17	20 4 58.6	38.12	22.00	62		4.4
1966 APR 7	3 25 45.0	37.83	21.14	25		4.8
1966 APR 19	12 26 51.1	38.00	22.00	1		4.0
1966 MAY 14	23 0 44.7	37.00	22.02	40		4.5
1966 MAY 24	9 39 26.5	37.33	21.89	34		4.9
1966 MAY 24	11 9 25.4	37.37	22.02	43		4.9
1966 JUN 4	6 16 57.5	36.63	20.97	82		4.9
1966 JUN 5	20 52 2.5	37.24	21.94	35		4.3
1966 JUN 11	12 5 2.7	37.37	21.08	47		4.7
1966 JUL 31	4 22 17.0	35.70	22.30	71		4.6
1966 AUG 6	18 32 32.0	37.90	22.20	25		4.3
1966 AUG 7	14 30 46.0	36.34	22.31	49		4.6
1966 AUG 10	15 22 40.2	36.40	22.22	39		4.6
1966 AUG 11	0 23 40.8	37.65	20.99	48		4.6
1966 SEP 1	14 22 56.9	37.46	22.16	15		5.4
1966 SEP 1	12 35 34.0	38.03	22.81	39		4.6
1966 SEP 5	22 34 13.3	38.40	21.90	15		4.2
1966 SEP 24	20 21 17.5	38.06	22.15	71		4.2
1967 JAN 4	5 58 52.5	38.37	22.04	1		5.5
1967 JAN 4	7 10 14.0	38.29	22.13	24		4.3
1967 FEB 28	14 21 51.3	37.53	21.18	46		5.0
1967 MAR 13	17 43 21.0	37.31	22.50	79		4.4
1967 MAY 14	4 15 59.9	37.70	21.17	48		4.9
1967 JUN 11	5 35 5.0	38.14	22.91	40		4.4
1967 JUN 12	2 51 5.8	38.15	22.77	35		5.0
1967 JUN 12	1 29 9.5	38.08	22.90	47		4.4
1967 JUN 12	11 0 16.0	38.04	22.75	5		4.3
1967 JUL 5	0 53 16.8	36.73	21.50	50		4.9
1967 JUL 5	16 49 35.7	36.85	21.35	46		4.4
1967 JUL 6	8 21 51.3	36.67	21.43	43		4.6
1967 JUL 19	16 18 32.0	38.03	20.95	6		4.3
1967 SEP 3	7 46 21.8	38.23	22.00	45		4.4
1967 SEP 14	14 32 30.0	36.13	21.99	83		4.3
1967 SEP 14	18 58 25.0	36.05	21.90	69		4.4
1967 OCT 5	12 0 53.7	37.74	20.80	37		5.1
1967 OCT 22	5 38 4.7	36.90	21.10	5		4.9
1968 MAR 28	7 39 59.5	37.84	20.89	23		5.9
1968 JUN 20	12 13 34.5	35.66	22.84	50		4.0

- 5 -

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1968 JUN 24	10 17 31.0	38.00	20.80	42		4.3
1968 JUL 4	21 47 53.6	37.76	23.23	20		5.5
1968 JUL 24	20 56 21.1	38.40	21.91	36		4.5
1968 JUL 31	9 21 56.0	37.84	21.14	34		4.3
1968 AUG 4	23 24 22.2	37.81	21.02	62		4.6
1969 JAN 1	21 41 29.7	36.46	23.10	47		4.5
1969 JAN 13	5 46 40.4	38.31	22.52	46		4.9
1969 JUN 14	13 54 35.0	37.20	21.00	1		4.2
1969 JUL 3	9 42 2.0	38.41	22.05	28		4.5
1969 AUG 13	4 6 3.0	38.37	21.75	24		4.5
1969 OCT 2	23 13 40.6	38.47	22.29	45		4.7
1969 DEC 20	17 40 36.3	36.59	23.46	90		5.1
1970 JAN 11	19 1 18.9	37.59	22.67	79		5.0
1970 JAN 24	15 43 54.0	37.21	23.45	105		4.7
1970 FEB 11	19 1 18.9	37.59	22.67	79		5.0
1970 APR 8	13 50 28.3	38.34	22.56	23		6.2
1970 APR 11	1 3 11.3	38.17	22.77	55		4.4
1970 APR 11	4 7 43.3	38.22	22.73	62		4.3
1970 APR 20	15 39 31.6	38.27	22.66	38		5.3
1970 APR 23	4 29 48.2	37.51	22.73	74		4.9
1970 MAY 12	22 49 3.2	38.21	22.55	39		4.9
1970 JUN 17	5 59 58.0	38.38	22.14	3		4.4
1970 AUG 8	12 13 19.8	37.79	21.80	77		4.4
1970 AUG 28	14 58 16.0	38.20	22.00	1		4.5
1970 OCT 1	22 21 56.9	38.04	22.85	35		4.9
1970 OCT 1	22 38 37.2	38.02	22.77	43		5.3
1971 FEB 9	21 20 35.3	38.13	22.77	40		4.4
1971 MAR 3	19 1 1.3	36.45	22.29	67		4.3
1971 MAY 26	7 9 26.0	37.10	21.70	33		4.9
1971 JUN 5	19 55 52.0	38.40	21.86	2		4.3
1971 AUG 8	19 39 28.7	38.44	21.69	36		4.3
1971 SEP 7	2 43 3.0	37.57	21.29	10		4.0
1971 SEP 26	5 44 31.7	37.83	21.99	48		4.3
1971 SEP 29	21 2 34.3	37.02	23.28	60		4.4
1971 OCT 10	18 38 35.0	37.60	21.20	43		4.2
1971 DEC 18	2 33 29.7	36.76	23.02	41		4.6
1972 FEB 20	21 38 38.8	36.84	21.75	63		4.3
1972 MAR 4	1 9 37.3	36.78	23.11	53		4.3
1972 MAR 16	3 35 35.9	37.89	23.43	142		4.3
1972 MAR 31	2 58 8.0	36.43	21.26	19		4.7
1972 APR 26	21 14 11.1	38.24	22.43	81		4.5
1972 JUN 5	10 44 59.6	37.83	21.38	57		4.3
1972 JUN 15	0 33 24.9	38.34	22.20	33		5.1
1972 JUN 15	9 25 26.3	38.33	22.52	76		4.2
1972 JUL 5	18 4 57.9	36.96	21.88	51		4.6
1972 JUL 12	19 41 46.4	37.25	21.90	72		4.4
1972 SEP 13	4 13 19.7	37.96	22.38	75		6.2
1972 OCT 15	22 2 54.3	37.99	21.03	66		4.4
1972 OCT 24	6 52 47.5	37.85	21.13	1		4.0
1972 OCT 31	11 30 54.0	38.30	22.10	64		4.0
1972 NOV 25	15 20 49.7	38.49	22.42	48		4.1
1972 DEC 10	12 13 30.0	37.45	21.29	42		4.5
1973 JAN 5	5 49 17.6	35.80	21.91	34		5.5
1973 JAN 5	19 12 14.0	35.57	21.80	43		4.2
1973 JAN 10	3 24 12.0	37.69	21.42	45		4.9

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MA
1973 JAN 26	7 50 11.0	35.74	22.08	41		4.9
1973 MAR 12	20 30 43.9	35.86	21.81	45		4.7
1973 MAR 27	15 38 21.0	37.90	20.75	33		4.9
1973 MAY 22	15 26 7.0	36.70	22.10	1		4.9
1973 JUL 14	12 38 19.2	37.93	21.21	42		4.8
1973 JUL 29	19 1 3.9	37.75	20.93	42		4.6
1973 SEP 17	15 37 20.8	35.88	21.99	45		4.4
1973 SEP 22	6 29 42.3	36.54	23.59	89		4.6
1973 OCT 19	0 16 6.5	37.01	21.71	53		4.3
1973 NOV 9	7 6 27.0	35.90	22.10	50		4.1
1973 NOV 17	15 37 20.8	35.88	21.99	45		4.4
1974 JAN 29	15 12 44.8	38.29	21.85	34		4.3
1974 FEB 17	5 3 9.0	37.96	21.87	39		4.0
1974 FEB 17	12 15 7.1	37.11	21.14	1		4.0
1974 FEB 26	11 13 21.6	37.24	20.78	33		4.1
1974 FEB 23	1 28 47.0	38.02	22.00	40		4.4
1974 APR 1	0 22 39.3	35.61	22.44	58		4.3
1974 MAY 6	16 18 10.0	35.88	21.70	1		4.0
1974 MAY 26	13 6 50.0	37.22	21.05	35		4.1
1974 JUN 1	16 7 11.3	36.17	22.46	65		4.1
1974 JUL 14	11 21 10.8	37.03	21.29	60		4.1
1974 AUG 24	10 20 23.0	37.73	21.51	43		4.1
1974 SEP 8	8 4 7.6	37.10	21.16	53		4.1
1974 SEP 23	15 57 27.9	37.51	21.28	45		4.1
1974 SEP 30	8 23 0.1	38.31	22.02	1		4.1
1974 DEC 2	23 2 19.0	38.42	22.31	34		4.9
1974 DEC 2	23 9 32.4	38.41	22.33	38		4.1
1975 JAN 1	10 45 44.8	38.22	22.76	51		4.5
1975 JAN 6	20 7 0.0	37.91	22.04	18		4.1
1975 JAN 8	19 28 11.3	38.14	23.00	53		4.3
1975 JAN 8	19 32 34.1	38.24	22.65	26		5.7
1975 JAN 8	19 58 16.0	38.10	22.75	33		4.5
1975 JAN 24	7 38 41.1	38.26	21.89	41		4.0
1975 MAR 20	6 50 57.0	37.30	21.30	65		4.0
1975 MAR 29	15 38 50.0	38.09	22.68	40		4.1
1975 APR 4	5 16 16.5	38.11	21.98	56		5.7
1975 APR 5	3 30 24.0	36.27	21.68	58		4.3
1975 APR 21	20 21 3.6	36.54	23.07	47		4.3
1975 APR 24	22 58 16.6	37.48	22.60	68		4.9
1975 MAY 3	3 16 2.1	37.70	21.18	1		4.3
1975 MAY 13	0 22 53.0	38.19	22.72	45		4.4
1975 MAY 19	3 26 20.4	38.34	22.34	26		4.1
1975 JUN 23	10 41 7.0	38.32	21.67	3		4.1
1975 JUN 29	17 36 57.0	38.47	21.73	39		4.1
1975 JUN 30	18 40 32.0	38.45	21.61	41		4.4
1975 JUL 2	4 48 31.3	38.47	21.79	1		4.1
1975 JUL 4	0 24 49.2	38.40	21.67	33		4.1
1975 JUL 25	19 17 11.9	38.41	21.87	38		4.1
1975 AUG 7	1 0 57.8	38.31	21.64	58		4.1
1975 SEP 12	13 10 19.6	36.27	21.90	43		5.1
1975 SEP 13	14 30 37.6	38.47	22.02	40		4.1
1975 SEP 17	23 4 7.2	36.37	23.06	35		5.1
1975 OCT 12	8 23 12.6	37.91	23.12	35		5.1
1975 OCT 16	17 45 49.3	38.28	21.95	40		4.1
1975 OCT 25	7 25 22.3	37.61	22.11	36		4.1

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1975 NOV 13	23 30 36.0	37.51	21.09	50		4.0
1975 NOV 22	18 35 7.3	38.30	21.54	39		4.2
1975 NOV 30	4 20 46.8	37.02	21.25	52		4.3
1975 DEC 21	16 7 51.1	38.47	21.67	2		5.5
1975 DEC 21	21 5 15.0	38.38	21.85	1		4.2
1975 DEC 24	17 4 51.8	36.80	21.77	65		4.3
1975 DEC 31	6 34 4.0	38.42	21.70	28		4.1
1975 DEC 31	13 51 21.0	38.48	21.65	23		4.6
1975 DEC 31	14 53 42.0	38.45	21.70	26		4.5
1975 DEC 31	15 14 36.2	38.38	21.76	1		4.2
1976 JAN 1	0 4 6.0	38.42	21.72	18		4.7
1976 JAN 1	2 19 19.9	38.42	21.70	40		4.0
1976 JAN 2	22 44 42.0	38.42	21.78	1		4.6
1976 JAN 3	5 54 35.1	38.37	21.54	27		4.2
1976 JAN 3	13 16 27.4	38.41	21.81	14		4.5
1976 JAN 3	13 50 8.0	38.36	21.77	2		4.0
1976 JAN 3	15 3 53.8	38.39	21.79	37		4.5
1976 JAN 3	15 44 11.1	38.39	21.70	37		4.0
1976 JAN 14	10 31 2.3	38.39	21.95	10		4.6
1976 JAN 21	22 18 0.2	37.76	21.02	33		4.2
1976 JAN 27	23 21 32.6	38.22	22.32	10		4.0
1976 FEB 1	14 46 7.0	36.12	22.28	60		4.3
1976 FEB 1	23 33 8.6	36.60	22.20	67		4.2
1976 MAY 13	20 44 52.5	36.84	21.39	51		4.7
1976 MAY 15	3 3 8.3	36.33	23.30	52		4.4
1976 MAY 30	16 26 42.3	37.44	20.63	33		4.0
1976 JUN 4	6 28 16.0	37.50	21.00	57		4.0
1976 JUN 5	14 20 54.0	37.82	21.42	14		4.0
1976 JUN 5	22 21 55.1	37.82	21.93	79		4.3
1976 JUN 12	3 41 42.0	37.40	20.80	1		4.1
1976 JUN 20	4 51 17.0	38.53	22.12	51		4.7
1976 JUL 8	15 20 39.7	37.61	20.71	49		4.4
1976 JUL 18	2 17 11.9	36.71	23.35	66		4.1
1976 JUL 23	20 50 58.0	37.70	21.36	10		4.3
1976 SEP 30	17 9 58.9	38.37	21.61	10		4.1
1976 OCT 2	12 45 27.5	36.91	21.23	61		4.3
1976 OCT 27	0 38 45.0	38.20	22.42	32		4.2
1976 OCT 31	8 59 28.0	37.58	22.10	10		4.2
1976 DEC 30	15 12 38.4	37.83	22.85	35		4.9
1976 DEC 31	0 39 57.1	37.73	22.87	44		4.0
1977 JAN 3	0 44 3.4	37.77	22.88	8		4.4
1977 JAN 16	9 16 48.8	37.84	22.95	45		4.9
1977 FEB 23	20 21 15.0	36.79	21.82	63		4.7
1977 MAR 10	17 21 53.8	36.50	21.68	57		4.0
1977 MAR 26	5 48 45.2	37.78	23.26	47		4.7
1977 JUN 6	4 32 58.9	37.10	21.56	48		4.1
1977 JUN 28	21 3 45.3	37.74	21.16	41		4.0
1977 JUL 30	19 51 37.0	36.80	21.63	49		5.0
1977 AUG 30	14 45 2.7	36.45	21.64	36		4.7
1977 AUG 30	20 51 55.0	36.60	21.80	33		4.4
1977 AUG 31	8 22 12.7	37.68	21.18	49		4.8
1977 DEC 29	16 52 58.8	38.29	22.25	37		5.0
1978 JAN 12	20 8 37.6	35.83	22.27	59		4.8
1978 MAR 5	10 5 49.7	35.77	22.00	10		4.2
1978 MAR 5	23 29 26.8	37.66	21.35	40		4.0

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1978 MAR 16	5 51 55.8	36.68	21.61	49		5.1
1978 MAR 16	5 58 11.1	36.70	21.49	50		4.2
1978 APR 5	4 50 45.0	37.68	23.15	31		4.8
1978 APR 8	6 22 27.1	36.95	23.24	48		4.9
1978 MAY 18	0 18 49.2	38.30	21.79	26		4.1
1978 JUN 16	4 28 52.3	37.16	20.95	10		4.1
1978 JUL 26	4 40 44.0	35.82	21.65	48		4.0
1978 AUG 23	21 46 51.8	38.06	22.05	58		4.1
1978 AUG 23	23 45 48.8	36.95	21.53	31		4.0
1978 SEP 7	4 53 55.3	37.80	21.05	43		4.8
1978 NOV 3	16 48 28.0	36.98	21.31	36		4.0
1978 NOV 5	2 1 25.6	37.74	21.78	79		4.0
1979 JAN 8	2 11 35.0	37.79	20.96	12		4.6
1979 FEB 11	1 8 34.2	36.43	23.20	58		4.2
1979 MAR 11	5 11 26.2	37.60	23.44	156		4.6
1979 MAR 26	0 51 40.2	37.63	21.55	20		4.1
1979 MAR 26	1 57 1.7	37.66	21.56	35		4.5
1979 MAR 26	8 6 1.9	37.75	21.61	46		4.9
1979 MAR 30	6 45 47.3	37.50	21.52	40		4.0
1979 APR 3	10 30 36.3	37.59	21.59	40		4.5
1979 MAY 27	3 20 51.0	36.69	21.47	58		5.1
1979 JUL 2	15 43 22.5	38.08	22.90	44		4.6
1979 AUG 14	0 7 11.5	37.92	20.90	37		4.3
1979 SEP 2	19 51 32.4	36.76	21.52	47		4.2
1979 SEP 2	21 15 0.0	37.93	21.05	5		4.0
1979 SEP 14	8 33 18.2	37.68	20.85	44		4.5
1979 SEP 14	22 14 13.0	37.89	21.11	20		4.0
1979 SEP 20	19 6 45.0	37.81	22.39	18		4.0
1979 SEP 20	21 45 24.3	37.82	22.25	18		4.0
1979 SEP 21	1 59 47.0	37.90	22.70	10		4.1
1979 OCT 12	19 29 19.8	36.62	23.05	40		4.9
1979 NOV 9	12 6 19.0	37.52	21.85	3		4.0
1979 DEC 1	13 34 30.1	37.26	21.73	43		5.0
1980 FEB 7	19 4 8.8	37.69	21.41	46		4.5
1980 FEB 28	23 45 16.6	38.17	23.23	30		4.8
1980 FEB 29	4 16 52.3	38.19	23.22	11		4.6
1980 MAR 16	10 30 51.7	35.83	22.86	45		4.7
1980 MAR 27	11 13 5.5	37.20	23.41	1		4.0
1980 APR 15	9 30 3.9	36.73	23.07	39		4.2
1980 MAY 9	8 29 5.6	37.87	21.66	29		4.0
1980 MAY 11	16 49 32.3	37.89	20.71	9		4.0
1980 JUN 6	21 54 54.3	37.77	20.98	13		4.0
1980 JUL 2	2 38 0.6	38.33	22.00	39		4.7
1980 JUL 2	17 10 38.3	38.14	22.00	20		5.0
1980 JUL 29	13 13 35.6	38.31	22.36	23		4.0
1980 AUG 14	2 52 19.8	37.24	21.15	56		4.4
1980 AUG 16	12 56 31.0	38.32	21.83	6		4.0
1980 SEP 10	3 54 9.6	37.22	20.81	10		4.0
1980 SEP 27	19 4 15.8	36.07	21.41	10		4.1
1980 SEP 29	12 29 57.0	35.84	21.48	71		4.1
1980 OCT 4	0 58 25.9	38.41	22.22	10		4.0
1980 OCT 11	12 14 8.0	35.73	21.20	40		4.1
1980 OCT 30	16 29 26.0	35.90	21.27	1		4.0
1980 NOV 17	9 53 22.7	37.41	21.52	35		4.2
1980 DEC 25	5 48 56.8	36.87	21.37	1		6.6

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1981 JAN 1	6 4 41.3	36.71	21.49	1		4.0
1981 JAN 29	11 7 40.0	38.25	22.30	25		4.0
1981 FEB 7	15 6 49.0	37.63	20.92	53		4.3
1981 FEB 7	15 24 42.4	37.70	20.90	45		4.7
1981 FEB 15	3 1 53.0	37.00	21.40	68		4.0
1981 FEB 24	11 41 25.6	36.98	22.10	1		4.0
1981 FEB 24	20 53 37.0	38.23	22.97	18		6.6
1981 FEB 24	21 35 6.1	38.14	23.09	12		4.0
1981 FEB 24	22 26 18.3	38.18	23.05	1		4.0
1981 FEB 24	22 29 42.1	38.12	23.01	40		4.5
1981 FEB 24	23 1 53.1	38.18	23.03	7		4.0
1981 FEB 24	23 17 19.2	38.25	23.03	46		4.6
1981 FEB 25	1 0 23.3	38.11	23.21	33		4.0
1981 FEB 25	1 15 33.1	38.11	23.10	18		4.2
1981 FEB 25	1 57 57.2	38.14	23.12	22		5.1
1981 FEB 25	2 30 0.3	38.08	22.91	19		4.7
1981 FEB 25	2 35 53.5	38.17	23.12	30		6.3
1981 FEB 25	3 18 26.8	38.14	23.00	33		4.1
1981 FEB 25	3 38 59.8	38.12	22.90	23		4.6
1981 FEB 25	4 30 19.0	38.20	23.13	47		4.7
1981 FEB 25	5 8 16.4	38.19	23.20	34		5.1
1981 FEB 25	5 9 58.7	38.28	23.15	33		5.0
1981 FEB 25	6 8 43.9	38.18	23.12	40		4.7
1981 FEB 25	6 59 42.2	38.22	23.13	41		4.6
1981 FEB 25	10 7 43.7	38.26	23.10	35		4.5
1981 FEB 25	11 34 26.6	38.20	23.23	1		4.1
1981 FEB 25	13 48 6.5	38.20	22.99	36		4.8
1981 FEB 25	13 53 35.1	38.15	23.21	47		4.2
1981 FEB 25	20 27 59.3	38.14	22.92	43		4.4
1981 FEB 26	2 43 32.6	38.20	23.00	22		4.0
1981 FEB 26	2 58 33.3	38.09	23.05	22		4.0
1981 FEB 26	16 9 21.1	38.24	23.23	44		4.0
1981 FEB 26	19 30 47.0	38.21	23.17	11		4.7
1981 FEB 27	1 1 47.0	38.14	23.27	12		4.2
1981 FEB 27	1 11 14.7	38.25	23.19	21		4.2
1981 FEB 27	6 54 55.8	38.16	23.25	26		4.2
1981 FEB 28	13 0 54.0	38.15	23.27	38		4.7
1981 FEB 28	17 6 24.4	38.17	23.27	16		5.0
1981 MAR 1	5 11 59.7	38.08	23.01	45		4.6
1981 MAR 3	10 27 9.0	38.10	23.22	11		4.2
1981 MAR 4	18 21 38.9	38.19	23.30	37		4.3
1981 MAR 4	19 12 55.1	38.16	23.34	36		4.2
1981 MAR 4	22 31 8.0	38.21	23.24	22		4.6
1981 MAR 4	22 56 46.0	38.21	23.25	25		4.2
1981 MAR 4	23 4 49.8	38.16	23.21	36		4.7
1981 MAR 4	23 17 52.0	38.21	23.25	25		4.0
1981 MAR 4	23 22 11.5	38.23	23.24	21		4.0
1981 MAR 5	0 35 20.8	38.18	23.26	11		4.2
1981 MAR 5	0 50 37.7	38.15	23.25	2		4.4
1981 MAR 5	1 10 16.5	38.14	23.19	43		4.6
1981 MAR 5	6 59 7.9	38.20	23.13	20		5.5
1981 MAR 5	10 29 46.1	38.17	23.29	3		4.6
1981 MAR 5	15 44 6.8	38.20	23.19	20		4.0
1981 MAR 5	19 5 8.3	38.21	23.12	3		4.0
1981 MAR 7	11 34 44.3	38.19	23.27	29		5.6

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1981 MAR 7	11 51 37.0	38.19	23.21	28		4.7
1981 MAR 7	20 12 58.7	38.21	23.26	9		4.0
1981 MAR 8	2 18 19.0	38.16	23.06	13		4.0
1981 MAR 8	11 52 45.6	38.26	21.79	47		4.3
1981 MAR 10	1 49 1.6	38.18	23.16	1		4.0
1981 MAR 10	3 6 15.8	38.05	23.01	13		4.0
1981 MAR 11	3 40 3.6	38.13	23.26	22		4.1
1981 MAR 11	7 34 13.4	38.18	23.33	42		4.1
1981 MAR 16	1 52 13.8	38.13	23.14	22		4.7
1981 MAR 18	12 19 41.0	38.09	22.72	17		5.0
1981 MAR 18	13 38 4.1	38.12	22.74	38		4.4
1981 MAR 18	16 55 30.7	38.15	23.21	12		4.7
1981 MAR 19	15 18 46.8	38.20	23.29	2		4.2
1981 MAR 19	15 28 52.8	38.08	22.77	23		4.0
1981 MAR 20	15 39 8.2	36.24	22.63	109		4.7
1981 MAR 23	21 45 12.2	38.11	22.01	70		4.0
1981 MAR 26	14 40 14.6	38.16	23.11	37		4.1
1981 MAR 26	15 34 23.1	37.60	20.98	40		4.1
1981 MAR 31	23 20 3.4	38.33	23.04	8		4.0
1981 APR 14	14 0 40.5	38.44	22.02	18		4.8
1981 APR 28	7 19 59.7	38.37	22.45	15		4.1
1981 MAY 9	14 1 0.3	38.18	23.30	36		4.2
1981 MAY 10	23 53 35.5	37.36	20.80	20		4.0
1981 MAY 31	4 29 20.5	38.14	23.25	26		4.7
1981 JUN 6	1 18 48.2	36.61	21.18	22		4.9
1981 JUN 16	19 38 29.5	38.05	23.18	35		4.4
1981 JUN 17	12 17 54.9	38.13	23.15	22		4.1
1981 JUN 20	13 18 53.9	37.62	20.92	42		4.2
1981 JUN 21	5 10 7.8	38.15	23.27	21		4.1
1981 JUN 23	10 24 1.0	35.98	21.16	16		4.0
1981 JUL 19	10 55 36.6	38.15	22.02	75		4.0
1981 JUL 19	22 13 42.6	38.23	23.12	25		4.0
1981 JUL 24	1 4 34.0	37.04	20.94	10		4.0
1981 JUL 26	4 16 27.3	38.22	23.18	14		4.0
1981 AUG 25	7 54 5.0	37.50	20.90	50		4.0
1981 AUG 27	4 44 49.4	38.16	23.22	17		4.1
1981 SEP 8	0 10 26.3	37.08	21.55	77		4.0
1981 SEP 14	18 45 17.0	37.99	21.05	52		4.8
1981 SEP 23	20 18 39.3	36.92	22.15	45		4.3
1981 SEP 24	20 51 31.3	37.86	22.09	10		4.2
1981 OCT 3	6 49 1.0	37.70	21.20	10		4.0
1981 OCT 11	13 45 13.4	37.44	20.87	28		4.0
1981 OCT 11	20 1 18.8	38.17	23.01	10		4.0
1981 OCT 29	6 43 46.2	38.31	22.10	10		4.9
1981 OCT 31	10 46 45.4	37.70	21.45	23		4.8
1981 NOV 7	21 54 14.0	36.30	21.10	11		4.0
1981 NOV 10	7 11 38.7	38.26	22.05	1		4.4
1981 NOV 14	15 46 45.2	37.08	21.32	71		4.1
1981 NOV 30	10 29 28.0	36.38	21.13	45		4.1
1981 DEC 4	21 33 0.1	36.07	22.12	62		4.9
1981 DEC 7	16 42 6.0	36.91	21.44	12		4.0
1981 DEC 23	9 22 14.2	36.96	21.60	53		4.1
1981 DEC 28	21 18 10.2	37.52	23.32	119		4.0
1982 JAN 9	7 59 42.3	38.44	21.94	10		4.4
1982 JAN 9	8 16 32.5	38.42	22.02	11		4.6

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1981 JAN 1	6 4 41.3	36.71	21.49	1		4.0
1981 JAN 29	11 7 40.0	38.25	22.30	25		4.0
1981 FEB 7	15 6 49.0	37.63	20.92	53		4.3
1981 FEB 7	15 24 42.4	37.70	20.90	45		4.7
1981 FEB 15	3 1 53.0	37.00	21.40	68		4.0
1981 FEB 24	11 41 25.6	36.98	22.10	1		4.0
1981 FEB 24	20 53 37.0	38.23	22.97	18		6.6
1981 FEB 24	21 35 6.1	38.14	23.09	12		4.0
1981 FEB 24	22 26 18.3	38.18	23.05	1		4.0
1981 FEB 24	22 29 42.1	38.12	23.01	40		4.5
1981 FEB 24	23 1 53.1	38.18	23.03	7		4.0
1981 FEB 24	23 17 19.2	38.25	23.03	46		4.6
1981 FEB 25	1 0 23.3	38.11	23.21	33		4.0
1981 FEB 25	1 15 33.1	38.11	23.10	18		4.2
1981 FEB 25	1 57 57.2	38.14	23.12	22		5.1
1981 FEB 25	2 30 0.3	38.08	22.91	19		4.7
1981 FEB 25	2 35 53.5	38.17	23.12	30		6.3
1981 FEB 25	3 18 26.8	38.14	23.00	33		4.1
1981 FEB 25	3 38 59.8	38.12	22.90	23		4.6
1981 FEB 25	4 30 19.0	38.20	23.13	47		4.7
1981 FEB 25	5 8 16.4	38.19	23.20	34		5.1
1981 FEB 25	5 9 58.7	38.28	23.15	33		5.0
1981 FEB 25	6 8 43.9	38.18	23.12	40		4.7
1981 FEB 25	6 59 42.2	38.22	23.13	41		4.6
1981 FEB 25	10 7 43.7	38.26	23.10	35		4.5
1981 FEB 25	11 34 26.6	38.20	23.23	1		4.1
1981 FEB 25	13 48 6.5	38.20	22.99	36		4.8
1981 FEB 25	13 53 35.1	38.15	23.21	47		4.2
1981 FEB 25	20 27 59.3	38.14	22.92	43		4.4
1981 FEB 26	2 43 32.6	38.20	23.00	22		4.0
1981 FEB 26	2 58 33.3	38.09	23.05	22		4.0
1981 FEB 26	16 9 21.1	38.24	23.23	44		4.0
1981 FEB 26	19 30 47.0	38.21	23.17	11		4.7
1981 FEB 27	1 1 47.0	38.14	23.27	12		4.2
1981 FEB 27	1 11 14.7	38.25	23.19	21		4.2
1981 FEB 27	6 54 55.8	38.16	23.25	26		4.2
1981 FEB 28	13 0 54.0	38.15	23.27	38		4.7
1981 FEB 28	17 6 24.4	38.17	23.27	16		5.0
1981 MAR 1	5 11 59.7	38.08	23.01	45		4.6
1981 MAR 3	10 27 9.0	38.10	23.22	11		4.2
1981 MAR 4	18 21 38.9	38.19	23.30	37		4.3
1981 MAR 4	19 12 55.1	38.16	23.34	36		4.2
1981 MAR 4	22 31 8.0	38.21	23.24	22		4.6
1981 MAR 4	22 56 46.0	38.21	23.25	25		4.2
1981 MAR 4	23 4 49.8	38.16	23.21	36		4.7
1981 MAR 4	23 17 52.0	38.21	23.25	25		4.0
1981 MAR 4	23 22 11.5	38.23	23.24	21		4.0
1981 MAR 5	0 35 20.8	38.18	23.26	11		4.2
1981 MAR 5	0 50 37.7	38.15	23.25	2		4.4
1981 MAR 5	1 10 16.5	38.14	23.19	43		4.6
1981 MAR 5	6 59 7.9	38.20	23.13	20		5.5
1981 MAR 5	10 29 46.1	38.17	23.29	3		4.6
1981 MAR 5	15 44 6.8	38.20	23.19	20		4.0
1981 MAR 5	19 5 8.3	38.21	23.12	3		4.0
1981 MAR 7	11 34 44.3	38.19	23.27	29		5.6

-10-

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1981 MAR 7	11 51 37.0	38.19	23.21	28		4.7
1981 MAR 7	20 12 58.7	38.21	23.26	9		4.0
1981 MAR 8	2 18 19.0	38.16	23.06	13		4.0
1981 MAR 8	11 52 45.6	38.26	21.79	47		4.3
1981 MAR 10	1 49 1.6	38.18	23.16	1		4.0
1981 MAR 10	3 6 15.8	38.05	23.01	13		4.0
1981 MAR 11	3 40 3.6	38.13	23.26	22		4.1
1981 MAR 11	7 34 13.4	38.18	23.33	42		4.1
1981 MAR 16	1 52 13.8	38.13	23.14	22		4.7
1981 MAR 18	12 19 41.0	38.09	22.72	17		5.0
1981 MAR 18	13 38 4.1	38.12	22.74	38		4.4
1981 MAR 18	16 55 30.7	38.15	23.21	12		4.7
1981 MAR 19	15 18 46.8	38.20	23.29	2		4.2
1981 MAR 19	15 28 52.8	38.08	22.77	23		4.0
1981 MAR 20	15 39 8.2	36.24	22.63	109		4.7
1981 MAR 23	21 45 12.2	38.11	22.01	70		4.0
1981 MAR 26	14 40 14.6	38.16	23.11	37		4.1
1981 MAR 26	15 34 23.1	37.60	20.98	40		4.1
1981 MAR 31	23 20 3.4	38.33	23.04	8		4.0
1981 APR 14	14 0 40.5	38.44	22.02	18		4.8
1981 APR 28	7 19 59.7	38.37	22.45	15		4.1
1981 MAY 9	14 1 0.3	38.18	23.30	36		4.2
1981 MAY 10	23 53 35.5	37.36	20.80	20		4.0
1981 MAY 31	4 29 20.5	38.14	23.25	26		4.7
1981 JUN 6	1 18 48.2	36.61	21.18	22		4.9
1981 JUN 16	19 38 29.5	38.05	23.18	35		4.4
1981 JUN 17	12 17 54.9	38.13	23.15	22		4.1
1981 JUN 20	13 18 53.9	37.62	20.92	42		4.2
1981 JUN 21	5 10 7.8	38.15	23.27	21		4.1
1981 JUN 23	10 24 1.0	35.98	21.16	16		4.0
1981 JUL 19	10 55 36.6	38.15	22.02	75		4.0
1981 JUL 19	22 13 42.6	38.23	23.12	25		4.0
1981 JUL 24	1 4 34.0	37.04	20.94	10		4.0
1981 JUL 26	4 16 27.3	38.22	23.18	14		4.0
1981 AUG 25	7 54 5.0	37.50	20.90	50		4.0
1981 AUG 27	4 44 49.4	38.16	23.22	17		4.1
1981 SEP 8	0 10 26.3	37.08	21.55	77		4.0
1981 SEP 14	18 45 17.0	37.99	21.05	52		4.8
1981 SEP 23	20 18 39.3	36.92	22.15	45		4.3
1981 SEP 24	20 51 31.3	37.86	22.09	10		4.2
1981 OCT 3	6 49 1.0	37.70	21.20	10		4.0
1981 OCT 11	13 45 13.4	37.44	20.87	28		4.0
1981 OCT 11	20 1 18.8	38.17	23.01	10		4.0
1981 OCT 29	6 43 46.2	38.31	22.10	10		4.9
1981 OCT 31	10 46 45.4	37.70	21.45	23		4.8
1981 NOV 7	21 54 14.0	36.30	21.10	11		4.0
1981 NOV 10	7 11 38.7	38.26	22.05	1		4.4
1981 NOV 14	15 46 45.2	37.08	21.32	71		4.1
1981 NOV 30	10 29 28.0	36.38	21.13	45		4.1
1981 DEC 4	21 33 0.1	36.07	22.12	62		4.9
1981 DEC 7	16 42 6.0	36.91	21.44	12		4.0
1981 DEC 23	9 22 14.2	36.96	21.60	53		4.1
1981 DEC 28	21 18 10.2	37.52	23.32	119		4.0
1982 JAN 9	7 59 42.3	38.44	21.94	10		4.4
1982 JAN 9	8 16 32.5	38.42	22.02	11		4.6

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1982 JAN 25	12 22 0.0	36.50	22.10	83		4.0
1982 JAN 31	12 49 11.3	38.05	22.01	10		4.1
1982 FEB 7	19 54 30.2	38.21	21.81	12		4.2
1982 FEB 7	20 48 33.0	38.21	21.73	10		4.0
1982 MAR 24	23 54 10.8	38.16	22.70	41		4.1
1982 MAR 25	17 50 47.5	38.19	22.66	43		4.5
1982 MAR 27	22 45 32.0	38.15	22.68	9		4.1
1982 APR 1	8 35 36.0	36.74	21.35	10		4.0
1982 APR 1	14 39 49.3	37.02	21.42	10		4.1
1982 APR 8	4 45 30.8	37.90	20.81	9		4.3
1982 APR 23	8 34 33.5	37.65	21.55	13		4.0
1982 APR 26	6 24 32.0	37.70	21.45	35		4.7
1982 APR 26	9 32 32.0	37.64	21.57	11		4.2
1982 APR 26	19 22 54.4	37.63	21.51	24		4.0
1982 APR 27	10 2 10.4	37.69	21.55	18		4.0
1982 APR 28	16 55 37.3	37.55	21.47	15		4.0
1982 APR 30	19 20 42.7	37.55	21.48	26		4.2
1982 APR 30	19 24 1.9	37.64	21.40	19		4.1
1982 MAY 4	14 7 49.9	37.65	21.40	10		4.0
1982 MAY 5	22 53 24.1	37.68	21.56	43		4.5
1982 JUN 9	19 37 57.3	38.36	21.92	41		4.4
1982 JUN 22	3 4 29.7	37.18	21.30	39		5.4
1982 JUN 22	9 44 41.0	36.64	21.08	10		4.0
1982 JUL 12	17 43 33.0	35.96	23.06	41		4.0
1982 JUL 26	8 28 6.2	38.27	23.17	14		4.3
1982 JUL 26	9 32 34.9	38.17	23.14	10		4.0
1982 JUL 29	22 8 47.6	38.08	23.23	8		4.2
1982 AUG 27	1 41 8.9	36.84	23.61	110		4.0
1982 SEP 10	4 48 32.4	38.13	22.78	8		4.2
1982 SEP 10	6 26 50.4	38.08	22.76	22		4.7
1982 SEP 10	6 29 47.5	38.11	22.79	38		4.9
1982 SEP 16	23 49 22.0	37.45	21.98	9		4.1
1982 SEP 30	15 36 54.8	36.79	22.99	10		4.2
1982 OCT 8	17 9 51.9	38.18	22.65	13		4.0
1982 OCT 9	20 22 12.5	35.74	22.79	80		4.0
1982 OCT 30	21 23 2.0	36.10	22.10	10		4.2
1982 NOV 1	23 19 33.5	35.69	21.88	10		4.3
1982 NOV 8	18 29 33.9	38.16	22.27	24		4.2
1982 NOV 20	7 36 42.8	36.78	21.50	37		4.9
1982 DEC 13	13 12 34.0	35.77	22.17	52		4.2
1982 DEC 16	17 27 50.5	36.21	22.85	48		4.2
1982 DEC 30	12 11 38.0	36.40	22.60	62		4.0
1983 JAN 2	6 20 4.1	37.39	20.62	44		4.7
1983 JAN 17	13 29 37.0	38.00	20.80	33		4.0
1983 JAN 30	17 6 37.3	38.16	21.91	21		4.5
1983 FEB 4	5 51 34.0	38.16	22.25	7		4.6
1983 FEB 6	23 35 33.7	35.81	23.16	35		4.6
1983 FEB 8	19 59 22.1	35.76	22.45	92		4.5
1983 FEB 19	15 55 11.0	37.10	21.50	20		4.2
1983 FEB 20	5 45 12.1	37.72	21.26	27		5.0
1983 FEB 20	12 42 29.6	37.80	21.08	9		5.3
1983 FEB 24	17 58 11.9	36.65	22.18	55		5.0
1983 MAR 15	21 20 17.7	37.79	21.09	17		4.0
1983 APR 11	17 23 7.0	37.95	21.93	16		4.3
1983 MAY 8	22 44 50.0	38.17	22.25	22		4.5

DATE	ORIG.TIME GMT	LAT N	LON E	DEPTH KM	OBS	MAG MS
1983 MAY 14	3 41 58.0	38.13	22.19	4		4.0
1983 MAY 24	19 3 12.0	37.97	20.81	11		4.3
1983 MAY 31	23 11 4.8	35.97	21.65	53		4.3
1983 JUN 18	12 32 35.0	33.00	21.03	45		4.15
1983 JUL 14	2 54 14.0	35.74	21.93	17		5.5
1983 AUG 12	17 17 26.2	38.11	22.23	18		4.8
1983 SEP 8	22 4 55.5	37.63	20.94	37		5.4
1983 SEP 8	22 18 11.0	37.57	20.86	11		4.0
1983 SEP 9	4 9 20.4	37.63	20.90	46		4.4
1983 OCT 7	4 14 4.2	37.98	23.27	136		4.8
1983 OCT 31	14 4 13.0	38.15	22.94	120		4.0
1983 DEC 15	12 15 32.5	35.89	23.18	64		4.4
1983 DEC 27	13 36 5.8	37.20	20.91	10		4.3
1983 DEC 27	17 48 58.1	37.21	20.87	10		4.2

NUMBER OF EVENTS= 620

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

EARTHQUAKE CATALOGUE OF HISTORICAL EARTHQUAKES AROUND
KALAMATA CITY

DATE	LAT N	LON E	DEPTH KM	MAGN MS	MAX.OBS.INT.
464BC	36.90	22.50	N	7.0	XI AT SPARTI
1750 JUN 07	36.30	22.80	N	7.0	X AT KYTHERA
1798 JUN	36.00	23.00	N	6.7	IX AT KYTHERA
1842 APR 18	36.70	22.30	N	6.7	IX AT MANI
1846 JUN 11	37.00	22.00	N	7.0	XI AT MESSINI
1866 FEB 06	36.00	23.00	N		VIII AT KYTHERA
1867 SEP 20	36.40	22.20	N	7.1	X AT MANI
1885 MAR 28	37.20	22.20	N		IX AT MESSINI
1886 AUG 27	37.10	21.40	N	7.5	XI AT FILIATRA
1896 DEC 28	37.00	22.25	N		VI AT YIANNITSA
1897 MAY 28	37.50	22.50	N	7.5	VI AT TRIPOLIS
1897 NOV 09	37.20	21.70	N		VIII AT KYPARISSIA
1899 JAN 22	37.20	21.60	N	6.6	IX AT KYPARISSIA