

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## 2. ΣΥΓΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 2.1 Εισαγωγικά

Σεισμοί σχετικώς μικρού μεγέθους, αλλά σε κοντινή απόσταση από πυκνοκατοικημένες περιοχές, αποδεικνύονται συχνά ιδιαίτερος καταστροφικοί. Σχετικώς πρόσφατα παραδείγματα στον ελληνικό χώρο αποτελούν οι σεισμοί : Καλαμάτας 1986 ( $M_s = 6$ ), Πύργου 1993 ( $M_s = 5.4$ ), και Αιγίου ( $M_s = 6.2$ ). Ο σεισμός τής Πάρνηθας (με μέγεθος  $M_s = 5.9$ ) αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα τέτοιου σεισμού, ο οποίος προκάλεσε 145 θανάτους, περί τους 1000 σοβαρούς τραυματισμούς, 80 περίπου καταρρεύσεις κτιρίων, και ανυπολόγιστες υλικές ζημιές.

Η σεισμικότητα στην περιοχή τής Αθήνας, εθεωρείτο μέχρι την 7–9–99 χαμηλή, και ο σεισμικός κίνδυνος αρκετά μικρότερος από άλλες περιοχές τής χώρας οι οποίες στην πρόσφατη ιστορία είχαν δοκιμαστεί από ισχυρούς σεισμούς. Η εντύπωση αυτή βασίστηκε στην “ιστορική” σεισμικότητα τής Αττικής, όπως π.χ. αυτή αποτυπώνεται στα Σχήματα 2.1 και 2.2. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας τού ΝΕΑΚ (1995), ακόμη και στην τελευταία έκδοσή του (ΕΑΚ – 2000) αφήνει τον σεισμογόνο χώρο τής Πάρνηθας μόλις εκτός τής ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας III, κάνοντας μάλιστα και μία “εγκοπή” (βλ. Σχήμα 2.3).

Ο σεισμός τής Πάρνηθας έλαβε χώραν σε ένα σεισμολογικώς–άγνωστο ρήγμα, πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές, θέτοντας εκ-νέου το πρόβλημα τού σεισμικού κινδύνου, κατ’ επέκτασιν δε το θέμα τής αντισεισμικής προστασίας τών υπάρχουσών κατασκευών και τού σωστού αντισεισμικού σχεδιασμού τών νέων κατασκευών στην Αθήνα.

### 2.2 Σεισμολογικά Στοιχεία

Το επίκεντρο τού σεισμού προσδιορίσθηκε στους νοτιοανατολικούς πρόποδες τού ορεινού όγκου τής Πάρνηθας (Lat :  $38^{\circ}.13'$ , Long:  $23^{\circ}.55'$  -USGS). Για το βάθος τού εστιακού χώρου όπου υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία και κατά συνέπειαν αβεβαιότητα προσδιορισμού, τα διάφορα

σεισμολογικά Ινστιτούτα δεν συμφωνούν απολύτως μεταξύ τους, καλύπτοντας ένα φάσμα μεταξύ 8-16 km. Με βάση τον μηχανισμό γένεσης, όπως αυτός προσδιορίστηκε από τα Σεισμολογικά Κέντρα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Τομέας Γεωφυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, USGS, και Harvard), η διάρρηξη ήταν “κανονικής” μορφής, με διεύθυνση B123° και κλίση 55° (USGS).

Αμέσως μετά τον σεισμό εγκαταστάθηκαν στην περιοχή πυκνά σεισμολογικά δίκτυα για την παρακολούθηση και μελέτη της μετασεισμικής ακολουθίας. Η συγκέντρωση των μετασεισμών όρισε καλύτερα τον σεισμογόνο χώρο. Στον χάρτη του Σχήματος 2.4 δείχνονται τα επίκεντρα των μετασεισμών για χρονική περίοδο τριών μηνών (από το κυρίως γεγονός), καθώς επίσης και το επίκεντρο του κυρίως σεισμού, όπως αυτό προσδιορίστηκε από το Τμήμα Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Με την θέση αυτή του επικέντρου δεν συμφωνούν οι μελέτες άλλων ερευνητών. Π.χ., κατά την μελέτη του Α.Π.Θ., το επίκεντρο τοποθετείται κοντά στον Ασπρόπυργο.

Επίκεντρα των μετασεισμών κατά την περίοδο 8/9 – 3/10 του 1999 σημειώνονται στη δορυφορική εικόνα του Σχήματος 2.5 (Σταυρακάκης, 1999 : από το σεισμολογικό δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών). Η κατανομή, παρόμοια με αυτήν του Σχήματος 2.4, προσδιορίζει τον σεισμογόνο χώρο, ο οποίος συμφωνεί με τον μηχανισμό γένεσης. Στο Σχήμα 2.5 δίδονται επίσης δύο τομές διευθύνσεως Α-Δ και Β-Ν, στις οποίες τοποθετείται η κατανομή των επικέντρων του κυρίως σεισμού και των μετασεισμών (όπως προσδιορίστηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο), και η οποία επιβεβαιώνει την προς νότο κλίση του σεισμογόνου ρήγματος.

Ο προσδιορισμός των επικέντρων και υποκέντρων των μετασεισμών από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. έδωσε τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.6 (σε οριζοντιογραφία και εγκάρσια τομή). Παρά τις διαφορές μεταξύ των Σχημάτων 2.5 και 2.6, μία σημαντική ομοιότητά τους είναι η πύκνωση των επικέντρων στο ανατολικότερο τμήμα του σεισμογόνου

χώρου, σχεδόν κατά μήκος τής οροσειράς Αιγάλεω. Βλέπε λεπτομέρειες στην εργασία (Κ. Παπαζάχος et al, 2000) που έγινε για λογαριασμό τού παρόντος προγράμματος. Η εργασία επισυνάπτεται ως Παράρτημα.

### 2.3 Σεισμοτεκτονικό Περιβάλλον

Η ευρύτερη περιοχή τής Κεντρικής Ελλάδας βρίσκεται σε περιβάλλον εφελκυσμού. Τα τεκτονικά βυθίσματα τού Κορινθιακού και τού Βορείου Ευβοϊκού Κόλπου διαμορφώθηκαν χάρη στις έντονες μετακινήσεις στα συνοριακά κανονικά ρήγματα (bounding normal faults), τα οποία συνδέονται με την συγκέντρωση εντόνων εφελκυστικών παραμορφώσεων. Ο ρυθμός αυτής τής παραμόρφωσης είναι τής τάξεως τού 1 cm/έτος.

Ο άξονας τών τεκτονικών αυτών βυθισμάτων (τάφρων), καθώς και τα ρήγματα που τα περιορίζουν έχουν γενική διεύθυνση Α-Δ έως ΑΒΔ-ΑΝΑ. Η ίδια διεύθυνση αποτυπώνεται επίσης στο τοπογραφικό ανάγλυφο τής περιοχής τού λεκανοπεδίου τής Αττικής. Η λεκάνη τού Ασπροπύργου περιορίζεται πρὸς τα βόρεια από ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση περίπου Α-Δ και κλίση νότιο-νοτιοδυτική. Το μήκος τού ρήγματος αυτού, ορατού σε αεροφωτογραφίες και δορυφορικές φωτογραφίες, εκτιμάται περί τα 15 km (Papadimitriou et al, 1999). Στα ανατολικά η λεκάνη περιορίζεται από το ὄρος Αιγάλεω, το οποίο έχει διεύθυνση περίπου Β-Ν.

Από τον πρόσφατο σεισμό δεν παρατηρήθηκε επιφανειακή εκδήλωση τής διάρρηξης, παρά μόνον περιορισμένες μικρές ρωγμές με διεύθυνση B110° στο Μοναστήρι τού Αγ. Κυπριανού και στο Κάστρο τής Φυλής (Papadimitriou et al, 1999). Οι ρωγμές αυτές είναι σε συμφωνία με τον σεισμολογικῶς-προσδιορισμένον μηχανισμό γενέσεως : κανονική διάρρηξη με διεύθυνση B123°. Από το μέγεθος τής σεισμικής δόνησης εκτιμάται ὅτι το σεισμογόνο ρήγμα είχε διαστάσεις περίπου 15 km (μήκος) x 10 km (πλάτος) [Papadimitriou et al, 1999]. Το ρήγμα αυτό αναφέρεται συχνά ως το “ρήγμα τής Φυλής”.

## 2.4 Συγκεφαλαίωση : Σεισμολογικά Συμπεράσματα

Τα κυριότερα σεισμολογικά συμπεράσματα που ενδιαφέρουν τον μηχανικό και την συγκεκριμένη έρευνα είναι τα εξής:

- (α) Ο μεγέθους  $M_s$  5.9 σεισμός ενεργοποίησε (ή ενεργοποιήθηκε από) ένα μή-χαρτογραφημένο “τυφλό” κανονικό ρήγμα. Μολονότι η ακριβής θέση τού επικέντρου και η έκταση και θέση τής ρηξιγενούς ζώνης αποτελούν θέματα στα οποία δεν υπάρχει ακόμη απόλυτη ομοφωνία μεταξύ τών σεισμολόγων, το Σχήμα 1.1 απεικονίζει τρεις πιθανές εκδοχές για την επιφανειακή προβολή τού επιπέδου διάρρηξης. Λεπτομερή σεισμολογικά στοιχεία μπορούν να βρεθούν σε διάφορα άρθρα (Papadopoulos et al 2000, Ganas et al 2000, Stavrakakis 1999, Delibasis et al 2000, Voulgaris et al 2000, Papadimitriou et al 2000, Rondogianni et al 2000). Ειδική μελέτη τής *σεισμικής ακολουθίας* έγινε για το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα από το Εργαστήριο Γεωτεχνικής τού Α.Π.Θ. (Κ. Παπαζάχος et al, 2000). Η αντίστοιχη έκθεση δίδεται στο Παράρτημα Α.
- (β) Οι μηχανισμοί γενέσεως τού κυρίως σεισμού, η χωρική κατανομή τών μετασεισμών, και η χρονική τους εξέλιξη υποδεικνύουν ότι:
- το επίπεδο τού ρήγματος παρουσιάζει κλίση περί τις  $55^\circ$  με διεύθυνση N-NA, αλλά εμφανίζεται περισσότερο κατακόρυφο στο ανατολικό του άκρο.
  - η διάρρηξη εκκίνησε σε βάθος 8-15 km και διαθόθηκε προς τα πάνω, με μεγαλύτερο πλήθος μετασεισμών στο ανατολικό τμήμα τού ρήγματος, δηλαδή στο τμήμα προς την Αθήνα. Θα ανέμενε κανείς την παρουσία φαινομένων *κατευθυντικότητας* στις σεισμικές δονήσεις που έλαβαν χώραν στις περιοχές ανατολικά τής ζώνης διαρρήξεως, και σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων μόνον από αυτήν.

(γ) Φαίνεται ότι μάλλον η διαδικασία διάρρηξης σταμάτησε απότομα κάτω από το Αιγάλεω όρος, τού οποίου ο άξονας είναι σχεδόν κάθετος προς την διεύθυνση τού σεισμογόνου ρήγματος· το βουνό πιθανότατα λειτούργησε ως φραγμός, επιβάλλοντας στην διάρρηξη να "στραφεί" προς τα βόρεια, ενεργοποιώντας και άλλα ρήγματα. Δεν αποκλείεται η απότομη διακοπή τής διάρρηξης να λειτούργησε ως φρενάρισμα, προκαλώντας την δημιουργία υψίσυχνων σεισμικών κυμάτων μεγάλης επιτάχυνσης.

## **2.5 Εκταση και Κατανομή τών Βλαβών**

Οι δομητικές βλάβες ήταν εκτεταμένες στα βόρεια και βορειοδυτικά προάστια τής Αθήνας : περίπου 80 κατοικίες και κτίρια βιομηχανικής χρήσεως κατέρρευσαν, και περισσότερα από 1.500 κτίρια έπαθαν μή-επισκευάσιμες βλάβες. Οι επισκευάσιμες βλάβες επεκτάθηκαν σε μία εκτεταμένη περιοχή, με πληθυσμό περίπου 500.000 κατοίκων. Σημαντικότερο βεβαίως είναι το γεγονός ότι 145 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους στα ερείπια 33 κτιρίων εξ αυτών που κατέρρευσαν (Πίνακας 2.1). Η θέση τους αποτυπώνεται στα Σχήματα 1.1 και 2.7. Ο σεισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως ένας από τούς χειρότερους τού τελευταίου αιώνα για την Ελλάδα (όσον αφορά τις απώλειες σε ανθρώπινα θύματα και τις βλάβες κτιρίων).

Η γεωγραφική κατανομή τών κτιρίων που κατέρρευσαν προκαλώντας ανθρώπινα θύματα είναι ενδεικτική τής έντασης τών βλαβών στις διάφορες περιοχές. Στο Σχήμα 2.7 διακρίνονται πέντε περιοχές. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους καταγράφονται στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.1 : Κατάλογος των Καταρρεύσεων με  
Ανθρώπινα Θύματα**

Περιοχή	Καταρρεύσαν Κτίριο	α/α ΕΔΑΚΑΘ	Αριθμός Θυμάτων
Ανω Λιόσια	Γ.Βιζυνού 7	25	1
Ανω Λιόσια	Στρατηγού Σύρμα 16 & Παναγούλη	26	1
Ανω Λιόσια	Σαρωνικού 23	31	1
Ανω Λιόσια	Θίσβης 18	34	1
Μενίδι (Αχαρναί)	Ναρκίσσου 40 & Δεκελείας	2	1
Μενίδι (Αχαρναί)	Πάροδος Δεκελείας 100 (ΒΙΟΚΥΤ)	17	6
Μενίδι (Αχαρναί)	Αριστοτέλους 140 (Νηπιαγωγείο)	9	1
Μενίδι (Αχαρναί)	Αγ. Τριάδος 78 & Μεγ. Αλεξάνδρου	10	3
Μενίδι (Αχαρναί)	Δημ.Δέδε 36 & Δαμασκού	11	2
Μενίδι (Αχαρναί)	Γ.Κατσανδρή 62 & Γ.Σουρλατζή	12	2
Μενίδι (Αχαρναί)	Σουλίου 113	13	4
Μενίδι (Αχαρναί)	Παπαφλέσσα & Ηρώων Πολυτεχνείου	19	3
Μενίδι (Αχαρναί)	Σουλίου & Μητρομαρά	30	1
Μενίδι (Αχαρναί)	Μητρομαρά 39	33	2
Μενίδι (Αχαρναί)	Σχοίνων 9	35	1
Αδάμες	Πύλου 17 & Αχαΐας (ΠΡΟΚΟΣ)	3	1
Αδάμες	Μεγαλουπόλεως 26	4	2
Αδάμες	17 <sup>ο</sup> χλμ. Ε.Ο. Αθ-Λαμίας (FURLIS)	5	8
Αδάμες	Εργοστάσιο FARAN	6	8
Αδάμες	Αργολίδος 20	8	(2)
Χελιδονού	Τατοΐου 368 <sup>Β</sup> (ΦΙΑΛΟΠΛΑΣΤ)	15	3
Χελιδονού	Τατοΐου 1 (RICOMEX)	18	42
Χελιδονού	Φλαμουριάς, πάροδος Τατοΐου 372	27	1
Χελιδονού	Ξενοδοχείο Δεκέλεια	29	(1)
Μεταμόρφωση	Γκιώνας 4	1	1
Μεταμόρφωση	Τατοΐου 131-133 & Κώ	14	3
Μεταμόρφωση	Τατοΐου & Αρτέμιδος (Ξενοδ. ΙΒΙΣΚΟΣ)	20	1
Μεταμόρφωση	Χρυσολωρά & Ψυχάρη 21	16	17
Ν. Φιλαδέλφεια	Πίνδου 41 & Παπανδρέου	23	9
Λυκόβρυση	Μενεξέδων (ΠΑΠΟΥΤΣΑΝΗΣ)	7	1
Πετρούπολη	Σπάρτης 29 & Καραολή-Δημητρίου	24	2
Θρακομακεδόνες	Θρακομακεδόνων	28	(1)
Ν. Ερυθραία	Αγ.Σαράντα & Ρόδων	21	1

Πίνακας 2.2

Ενταση Βλαβών κατά την Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli στις περιοχές Καταρρεύσεων με Θύματα, συγκρινόμενη με τις βλάβες σε τέσσερις γειτονικές περιοχές σχετικώς ελαχίστων βλαβών

Περιοχή Σύμβολο	Όνομα	Παρατηρηθείσα Μεγίστη**	MMI Ελάχιστη	Απόσταση από το ρήγμα* (km)
α	Άνω Λιόσια	IX <sup>-</sup>	VII	0 – 3
β	Αχαρνές	IX <sup>-</sup>	VII	2 – 5
γ	Χελιδονού	IX <sup>-</sup>	VII	5 – 7
δ	Μεταμόρφωση	VIII	VII <sup>-</sup>	6 – 7
ε	Αδάμες	IX <sup>-</sup>	VII <sup>+</sup>	8 – 9
ζ	Καματερό	VII	VI	4 – 5
	Πετρούπολη	VII <sup>+</sup>	VI <sup>+</sup>	6 – 7
	Νέα Λιόσια	VIII	VII	7 – 8
	Περιστέρι	VII <sup>+</sup>	VII	8 – 9

\*Το εύρος στην απόσταση οφείλεται όχι μόνον στην έκταση (εμβαδόν) τής κάθε περιοχής, αλλά και στις διαφορετικές σεισμολογικές απόψεις για την ρηξιγενή ζώνη και την προβολή της στην επιφάνεια

\*\* Η μέγιστη ένταση θεωρείται εδώ ως IX<sup>-</sup>, αν και πολλοί άλλοι μελετητές την θεωρούν ίση με IX. Η απόφασή μας επηρεάστηκε από τις αναλύσεις της Επιτροπής Διερεύνησης των Αιτίων των Καταρρεύσεων με Ανθρώπινα Θύματα

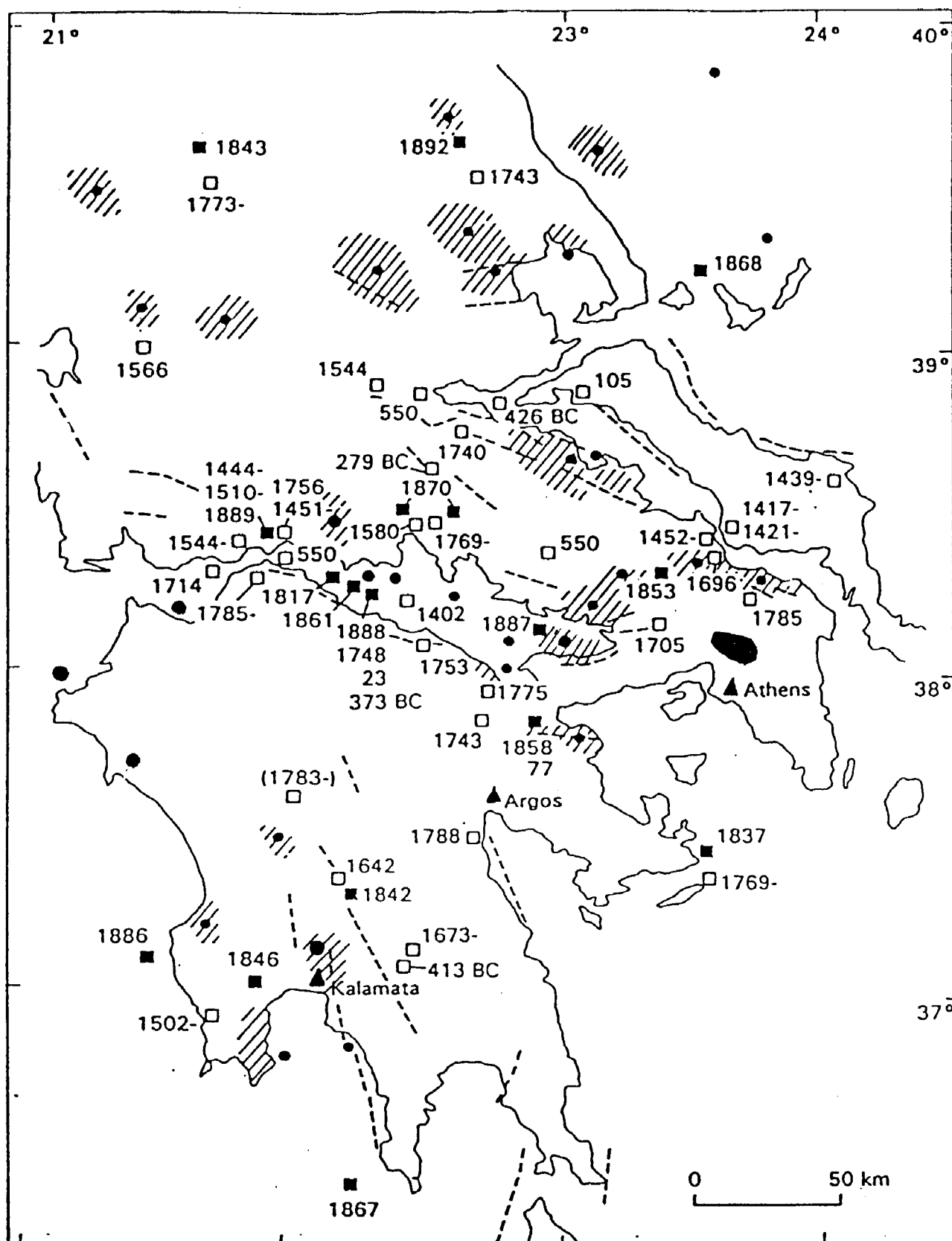


Σημειώνεται ότι οι βλάβες παρουσίασαν ανομοιόμορφη γεωγραφική κατανομή, κυρίως στις περιοχές που επλήγησαν εντόνως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Μενίδι, όπου οι βλάβες (στην *Τροποποιημένη Κλίμακα Μερκάλι–Modified Mercalli Intensity*) κυμαίνονται: από το καταστροφικό MMI = IX<sup>-</sup> στο βόρειο τμήμα της πόλης μέχρι το μέτριο MMI = VII νοτίως τού κέντρου της πόλης, σε μιάν απόσταση μικρότερη τού ενός χιλιομέτρου. Διάφοροι σεισμολογικοί, γεωτεχνικοί, και δομοστατικοί παράγοντες έχουν συμβάλει (σε μεγαλύτερον ή μικρότερον βαθμό) σε μία τέτοιου είδους ανομοιομορφία. Η παρούσα μελέτη εστιάζεται σε δύο από τούς παράγοντες αυτούς:

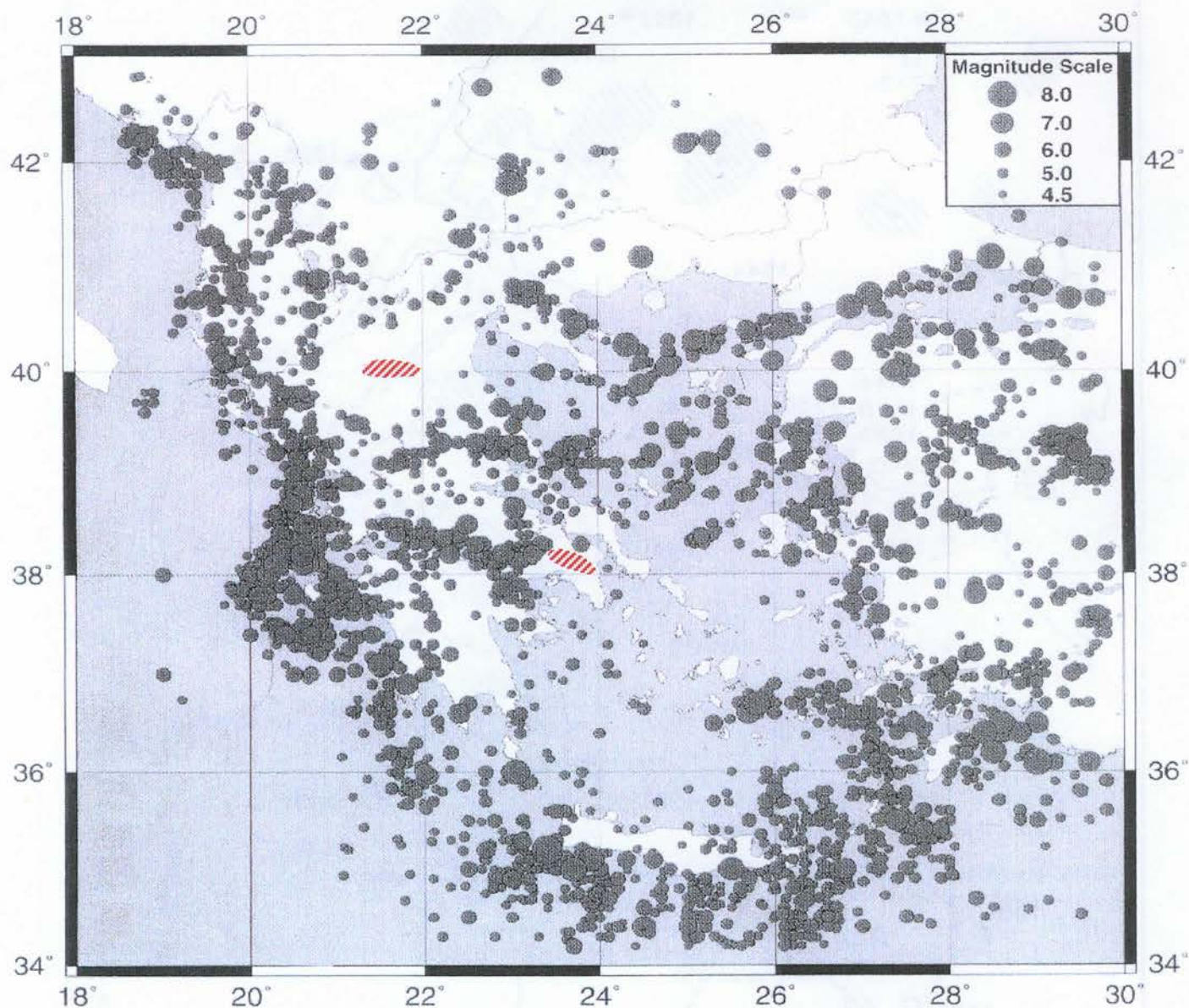
- στην μονοδιάστατη ενίσχυση τών σεισμικών κυμάτων λόγω τών τοπικών εδαφικών κατατομών (προφίλ)
- στην διδιάστατη ενίσχυση εξαιτίας ανωμαλιών στο τοπογραφικό ανάγλυφο ορισμένων περιοχών (π.χ. η παρουσία πρηνούς),

και διερευνά πώς οι παράγοντες αυτοί είναι πιθανόν να επέδρασαν στον σεισμικό κραδασμό τών διαφόρων θέσεων (α–ε) τής πλειόσειστης περιοχής.

ΣΧΗΜΑΤΑ  
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2



**Σχήμα 2.1**  
 Κατανομή σεισμών μεγέθους  $M_s > 6.0$  στην Κεντρική Ελλάδα από το 426 π.Χ. έως το 1990 (Ambraseys, 1994)



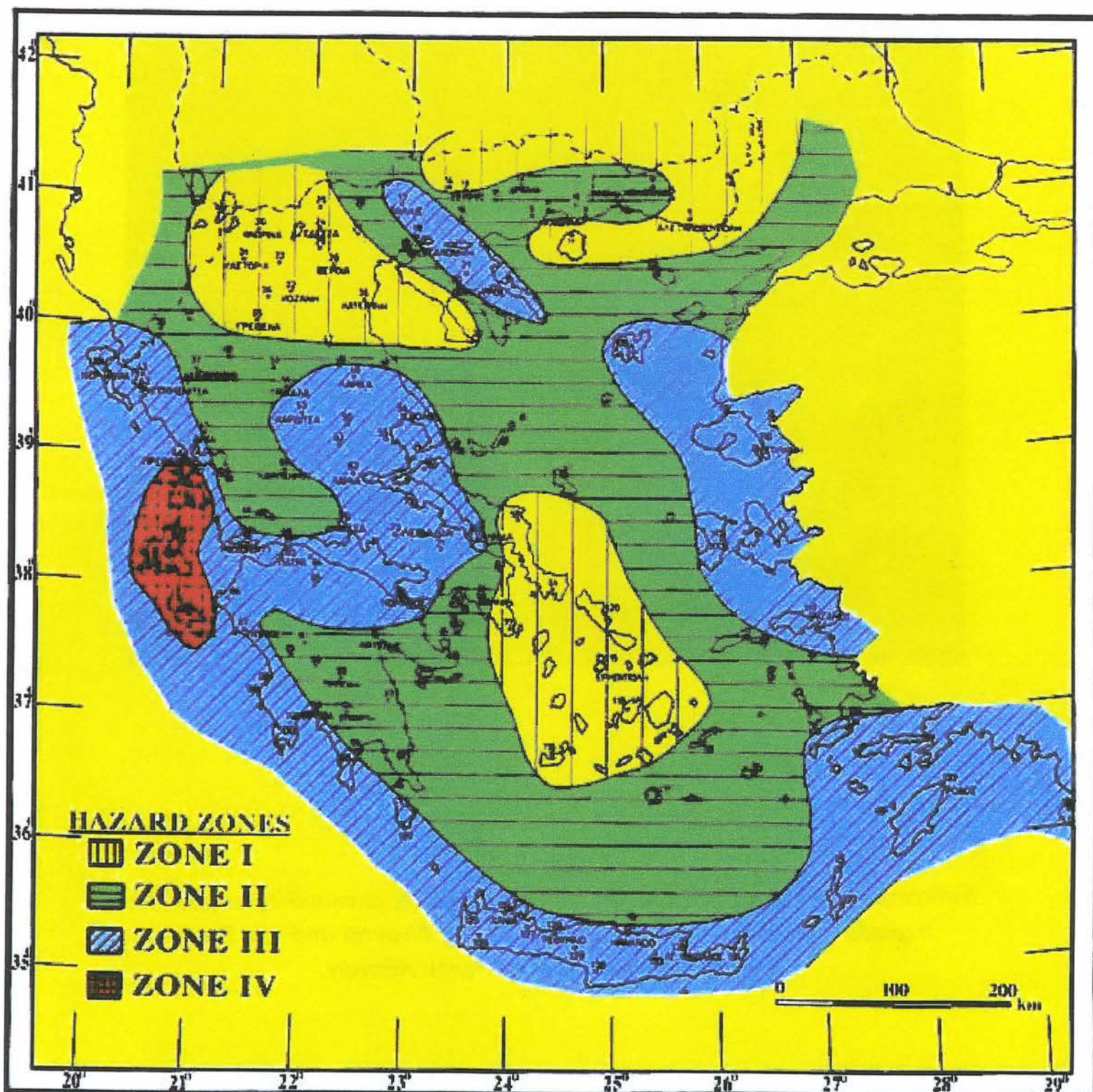
### Σχήμα 2.2

Οι δύο σεισμολογικές εκπλήξεις:

ΓΡΕΒΕΝΑ - ΚΟΖΑΝΗ 1995  $M_s \approx 6.5$

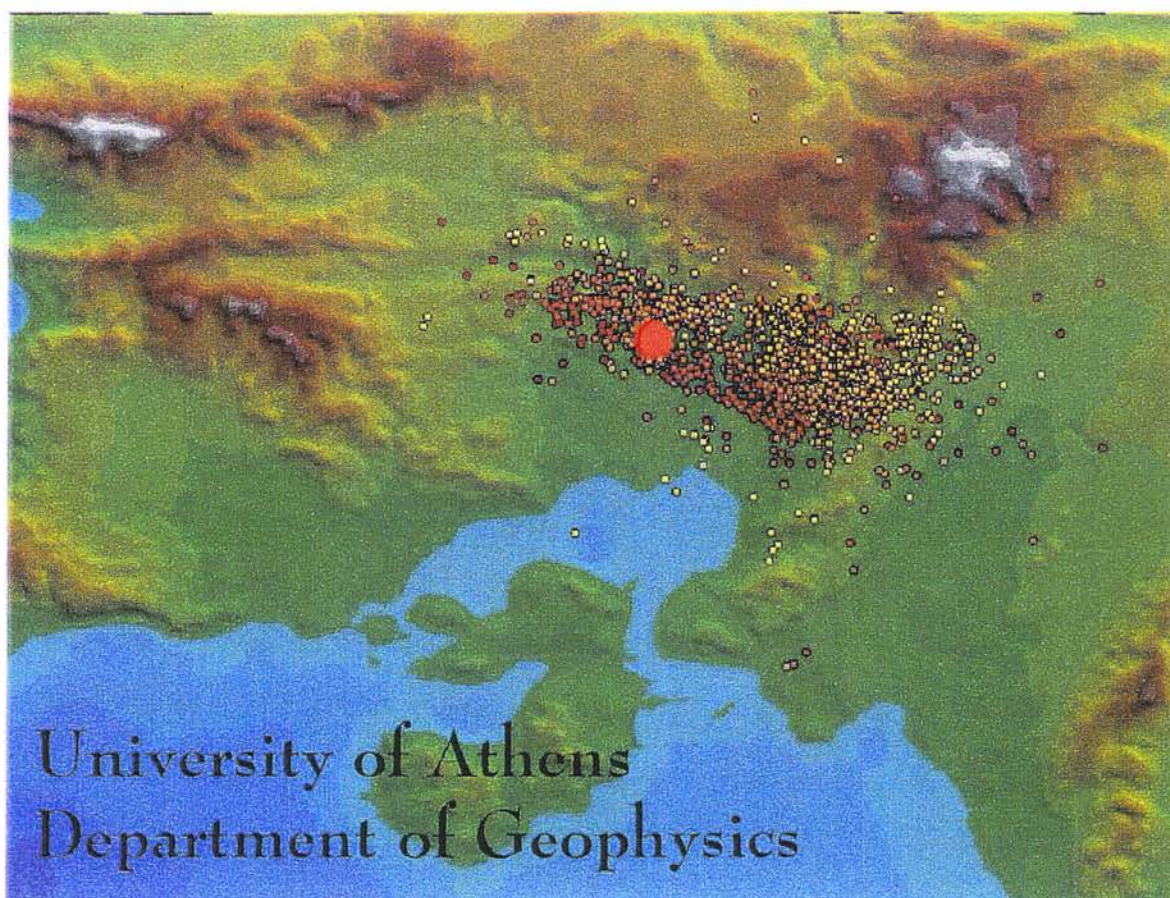
ΑΘΗΝΑ 1999  $M_s \approx 5.9$





Σχήμα 2.3

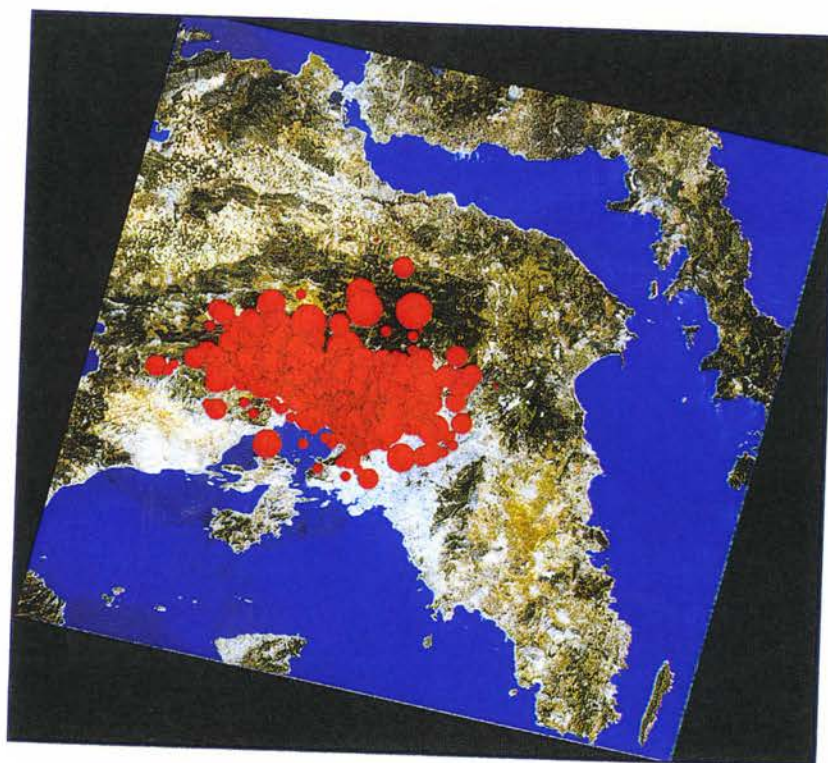




**Σχήμα 2.4**

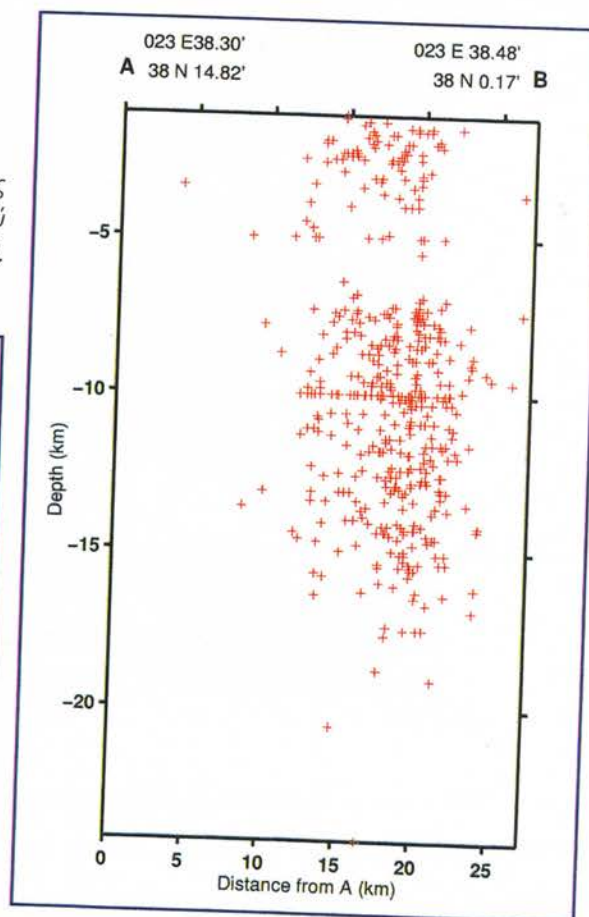
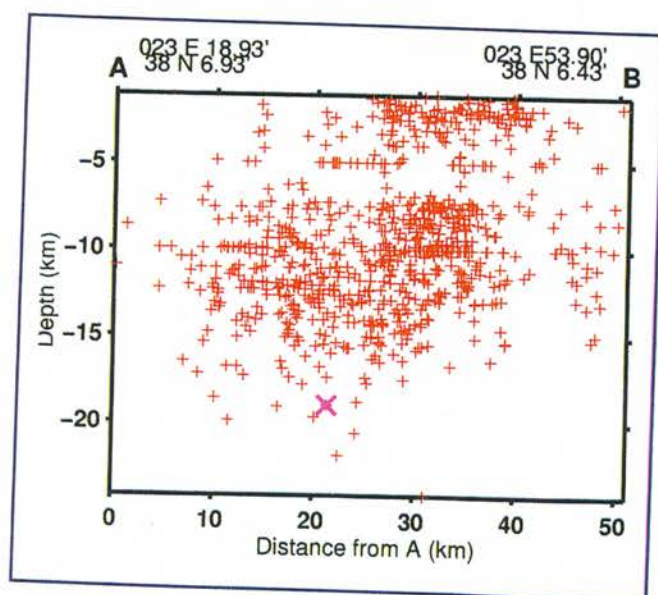
*Επίκεντρο του κυρίως σεισμού και της μετασεισμικής ακολουθίας σε χρονική περίοδο 3 μηνών από τον κύριο σεισμό όπως δίνονται από τον Τομέα Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών*





Σχήμα 1.  
Κατανομή των μετασεισμών  
της χρονικής περιόδου  
Σεπτ. 08 μέχρι Οκτ. 03, 1999.  
Η κατανομή της, με διεύθυνση  
ΔΒΔ-ΑΝΑ, ταυτίζεται  
με τη διεύθυνση που προτείνεται  
από το μηχανισμό γένεσης.

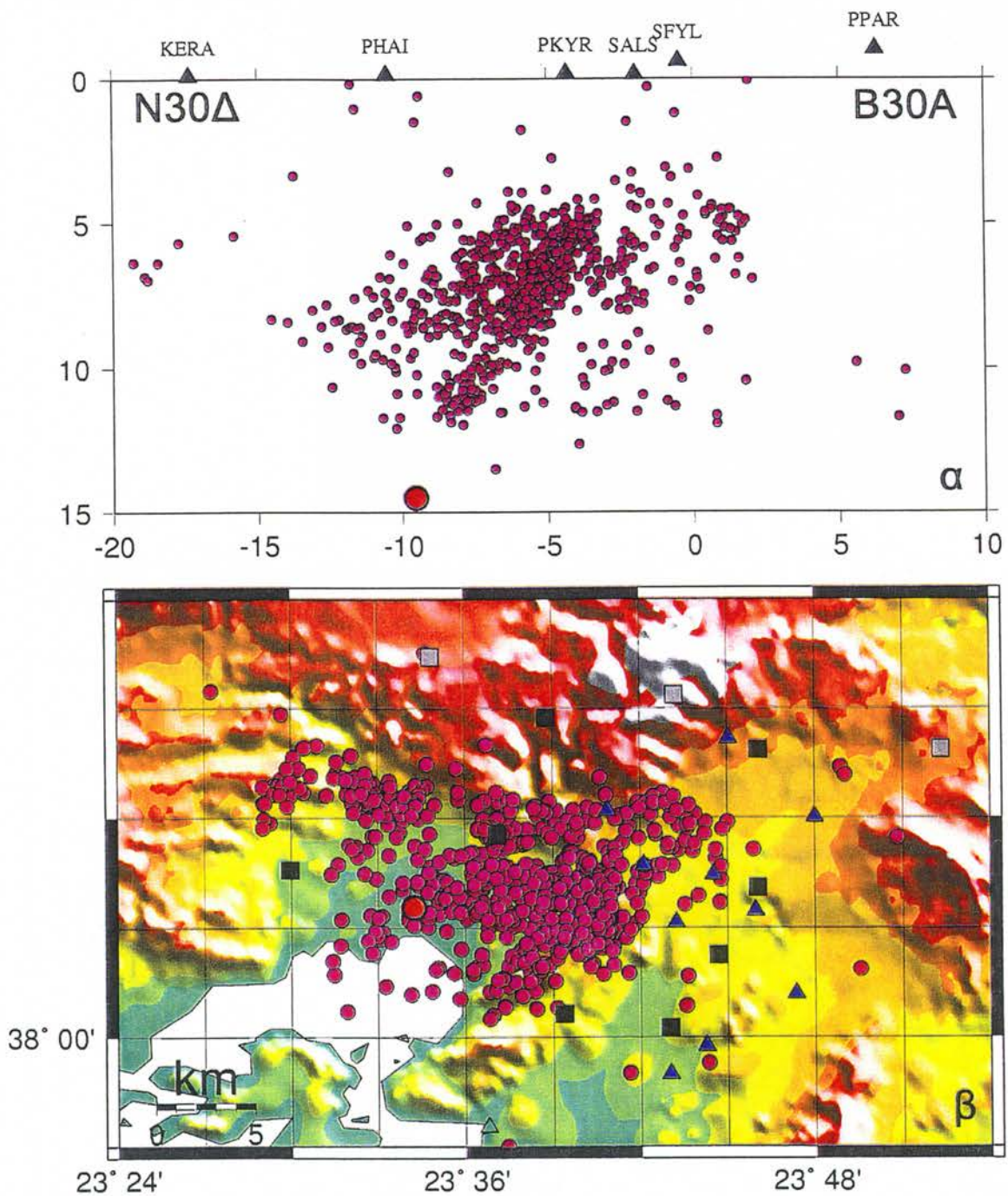
Σχήματα 2 και 3. Κατανομή των μετασεισμών κατά μήκος  
της διεύθυνσης Α-Δ και Β-Ν, συναρτήσει του εστιακού  
βάθους. Με Χ σημειώνεται το βάθος του κύριου σεισμού.



Σχήμα 2.5

Κατανομή των μετασεισμών στην επιφάνεια και σε βάθος (τομές Α-Δ και Β-Ν)  
στην περίοδο 8/9 - 3/10/99. (Εθνικό Αστεροσκοπείο: Stavrakakis 1999)

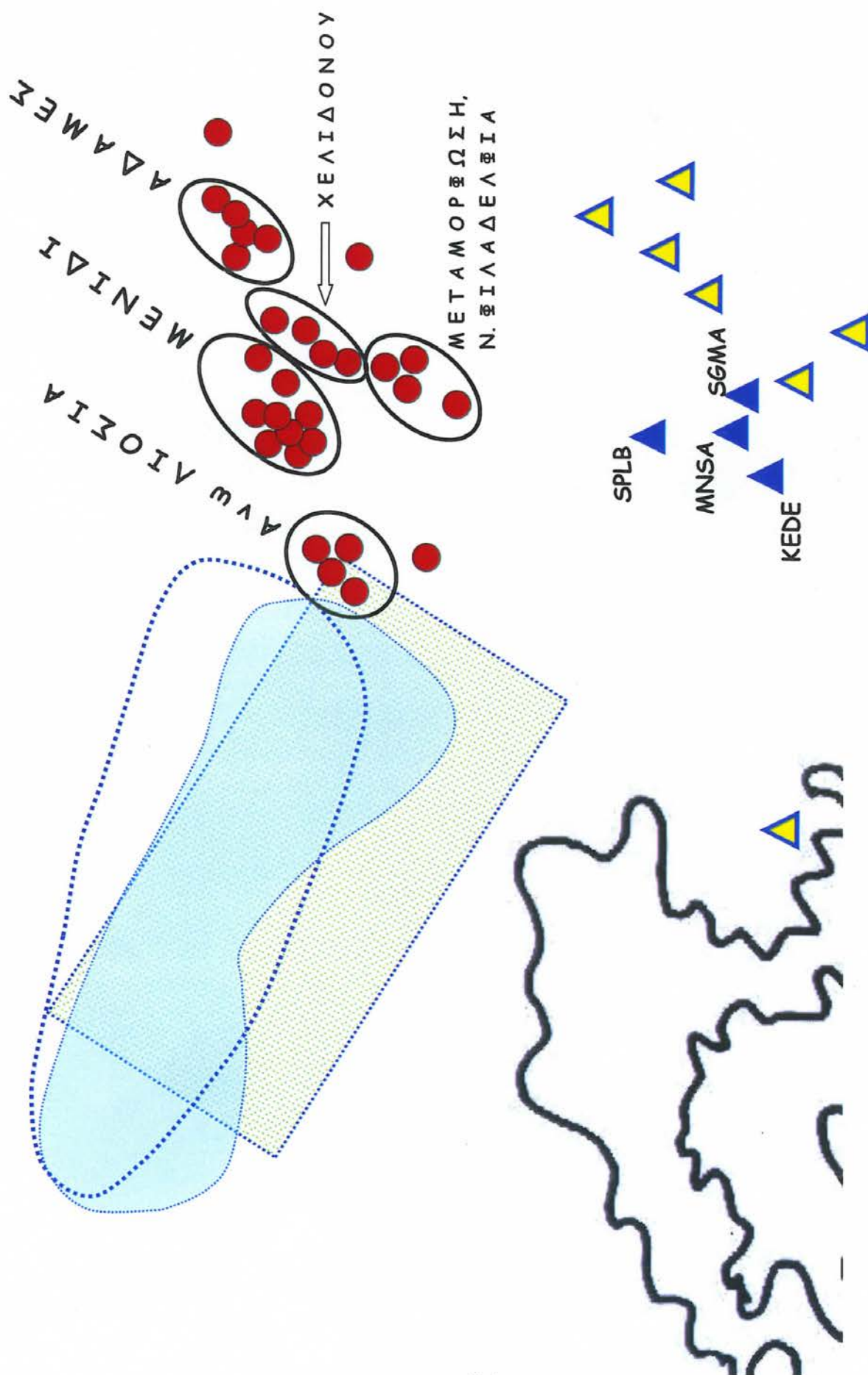
Σχήμα 2.6



(α) Επίκεντρα των μετασεισμών (μωβ κύκλοι) και του κύριου σεισμού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 (κόκκινος κύκλος). Με μαύρα και γκρι τετράγωνα παρουσιάζονται οι σταθμοί του τοπικού δικτύου που λειτούργησαν κατά τη συνολική διάρκεια και τμηματικά, αντίστοιχα, ενώ με μπλε τρίγωνα παρουσιάζονται οι ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι του ΙΤΣΑΚ. (β) Κατανομή των εστιών του προηγούμενου σχήματος σε κατακόρυφο επίπεδο με διεύθυνση B30<sup>0</sup>A θεωρώντας σημείο αναφοράς με συντεταγμένες 38.1°N, 23.7°E. Στην πάνω πλευρά του σχήματος προβάλλονται και οι θέσεις ορισμένων σεισμολογικών σταθμών που βρίσκονται κοντά στην τομή.

(Παπαζάχος κ.α., βλ. Παράρτημα)





Σχήμα 2.7

Χάρτης πλειόσειστης περιοχής με τις θέσεις των θανατηφόρων καταρρεύσεων και τους επιταχυνσιογράφους των κυριότερων καταρραφών.