

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



**ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΦΑΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΣΤΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟ ΤΗΣ ΣΙΘΩΝΙΑΣ**

ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ ΑΕΜ: 4700

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΓΚΑΡΛΑΟΥΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι προπτυχιακού επιπέδου, του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013. Η ανάθεση και η επίβλεψη της διπλωματικής πραγματοποιήθηκε από την κ. Παπαδημητρίου Ελευθερία, Καθηγήτρια Σεισμολογίας. Το αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η μελέτη της πρόσφατης σεισμικότητας στη χερσόνησο της Σιθωνίας με στόχο την εύρεση και μελέτη των χαρακτηριστικών μιας πρόσφατης σεισμικής ακολουθίας και την συσχέτιση της με τα ρήγματα της περιοχής.

Η εργασία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της και αναφέρεται στην γενικότερη τεκτονική και κινηματική κατάσταση του Αιγαίου και τα μοντέλα που επικρατούν, τα οποία συνδέονται με την σεισμικότητα που μελετάται. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται και οι ιστορικοί σεισμοί της ευρύτερης περιοχής της μελέτης. Το δεύτερο κεφάλαιο διαπραγματεύεται τον τρόπο που κατασκευάστηκε ο κατάλογος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία και μελετώνται κάποια χαρακτηριστικά αυτού. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται κατανομή της σεισμικότητας της περιοχής στον χώρο και τον χρόνο και επίσης γίνεται και μια προσπάθεια συσχέτισης της ακολουθίας με κάποιο ρήγμα. Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της εργασίας και περιέχει τα συμπεράσματα και την σύνοψή της.

Πριν την εισαγωγή στην μελέτη θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Σεισμολογίας του τομέα Γεωφυσικής του τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ, Ελευθερία Παπαδημητρίου για την επίβλεψη και την βοήθεια που προσέφερε, όπως και την υποψήφια διδάκτορα Χαρά Γκαρλαούνη, για την πολύτιμη βοήθεια και τεχνική υποστήριξη.

Ο φοιτητής

Παραδείσης Δημοσθένης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

1.1 Η τεκτονική κατάσταση του Αιγαίου.....	5
1.1.1 Γεωδυναμικά μοντέλα σχετικά με την επέκταση του Αιγαίου.....	5
1.1.2 Εμφανίσεις και χρονικά όρια του εφελκυστικού πεδίου.....	6
1.1.3 Εξάπλωση του Αιγαίου και τα χαρακτηριστικά του	7
1.1.4 Πείραμα βαρυτικής κατάρρευσης.....	8
1.2 Γεωλογία της περιοχής της μελέτης	12
1.3 Ιστορικοί σεισμοί	13

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

2 Περιγραφή και επεξεργασία των δεδομένων	18
---	----

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

3.1 Χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας.....	23
3.1.1 Χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας στην επιφάνεια.	23
3.1.2 Χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας με το βάθος.	24
3.2 Χρονική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας	27
3.3 Σύνδεση της σεισμικής δραστηριότητας με ενεργά ρήγματα της περιοχής	28

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

Σύνοψη και συμπεράσματα	30
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν οι γεωτεκτονικές συνθήκες που επικρατούν στο Αιγαίο και στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου όπου και εντάσσεται και η περιοχή μελέτης. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη αναφορά και περιγραφή των ιστορικών σεισμών της ευρύτερης περιοχής ώστε να γίνει αντιληπτή η σεισμική δραστηριότητα και τα μεγέθη των σεισμών που έχουν συμβεί στα ιστορικά χρόνια.



Σχ.1. Χάρτης με τις λιθοσφαιρικές πλάκες που καθορίζουν την ενεργό τεκτονική του Ελληνικού χώρου και τη σχετική κίνηση της κάθε μιας από αυτές. Διακρίνονται η κατάδυση της υπολειμματικής ωκεάνιας πλάκας της Μεσογείου κάτω από την Ευρασιατική στο χώρο του Αιγαίου και η σύγκλιση της Ευρασιατικής και Αφρικανικής πλάκας κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου, η προς τα νοτιοδυτικά κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου, η προς τα δυτικά κίνηση της πλάκας της Ανατολίας και η σύγκλιση της Απουλίας μικροπλάκας με την Ευρασιατική κατά μήκος των ανατολικών ακτών της Αδριατικής και του βορείου Ιονίου πελάγους (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2002).

1.1 Η τεκτονική κατάσταση του Αιγαίου

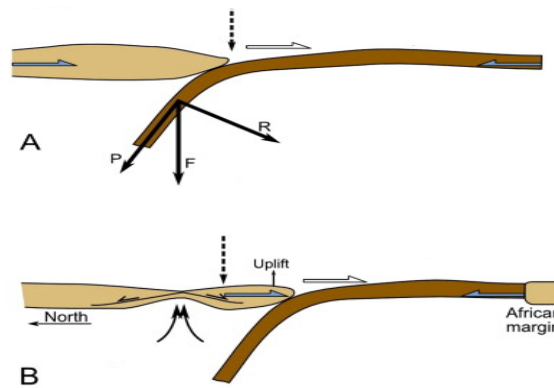
Η περιοχή μελέτης είναι η χερσόνησος της Σιθωνίας, στην Χαλκιδική (Β. Ελλάδα). Ο χώρος της Σιθωνίας βρίσκεται στην ανατολική Μεσόγειο όπου κύριο σεισμοτεκτονικό χαρακτηριστικό αποτελεί η κατάδυση της υπολειμματικής ωκεάνιας πλάκας της Μεσόγειου κάτω από την Ευρασιατική (Parazachos and Comninakis, 1970) με την παράλληλη κίνηση προς τα βόρεια της Αφρικανικής πλάκας στον χώρο του Αιγαίου όπως φαίνεται στο Σχ.1.

1.1.1 Γεωδυναμικά μοντέλα σχετικά με την επέκταση του Αιγαίου

Οι απόψεις για την επέκταση Αιγαίου και συνεπώς την δημιουργία της οπισθοτόξιας λεκάνης χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες απόψεων οι οποίες δεν είναι αλληλοσυγκρουόμενες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τις απόψεις που υποστηρίζουν ότι η κίνηση οφείλεται στην οπισθολίσθηση της καταδυόμενης πλάκας. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τις απόψεις που θεωρούν ότι το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα της κίνησης προς τα Δυτικά της πλάκας της Ανατολίας.

Οι απόψεις, οι σχετικές με την οπισθοκύλιση της καταδυόμενης πλάκας βασίζονται στην δράση δύο κύριων βαρυτικών δυνάμεων. Η μία απορρέει από την άσκηση της λιθοστατικής πίεσης ανάμεσα στον ωκεάνιο φλοιό και στον ηπειρωτική λιθόσφαιρα της μικροπλάκας του Αιγαίου, δηλαδή η συμπιεστική δύναμη περιθωρίου (*margin push forces*). Η δεύτερη δύναμη είναι η δύναμη που «εφελκύει» την πλάκα προς τα πίσω όταν ένα τμήμα της καταδυόμενης αποκόβεται από την υπόλοιπη και βυθίζεται απότομα στην ασθενόσφαιρα, δηλαδή είναι η δύναμη που οφείλεται στο βάρος της καταδυόμενης πλάκας (*slab pull force*). Εναλλακτική θεωρία πρότεινε ο McKenzie (1978) σύμφωνα με την οποία ο B-N εφελκυσμός οφείλεται σε κίνηση του ιζώδους μανδύα που υπάρχει πάνω από την καταδυόμενη πλάκα προς το νότο.

Οι απόψεις της δεύτερης ομάδας θεωρούν την κίνηση της πλάκας της Ανατολίας προς τα δυτικά ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης της Αραβικής με την Ευρασιατική πλάκα. Η κίνηση πραγματοποιείται κατά μήκος του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Αυτή οριοθετείται στα δυτικά από την πλάκα της Απουλίας, η οποία συγκλίνει με την Ευρασία στις ανατολικές ακτές της Αδριατικής, με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται ελεύθερα η κίνηση προς τα δυτικά, για το λόγο αυτό δημιουργούνται εσωτερικές παραμορφώσεις στον χώρο του Αιγαίου.



Σχ.2. Σχηματικά, οι δυνάμεις στις οποίες οφείλεται η εξάπλωση του Αιγαίου. Με λευκό βέλος συμβολίζεται η αντίδραση στις συμπιεστικές δυνάμεις που υπάρχουν κατά την σύγκρουση της υπολειμματικής μεσογειακής πλάκας με την πλάκα του Αιγαίου. Με μαύρα βέλη (P,F,R) συμβολίζεται η δύναμη και η ανάλυσή της που προκαλείται από το «βάρος» της καταδυόμενης πλάκας (Schattner, 2010).

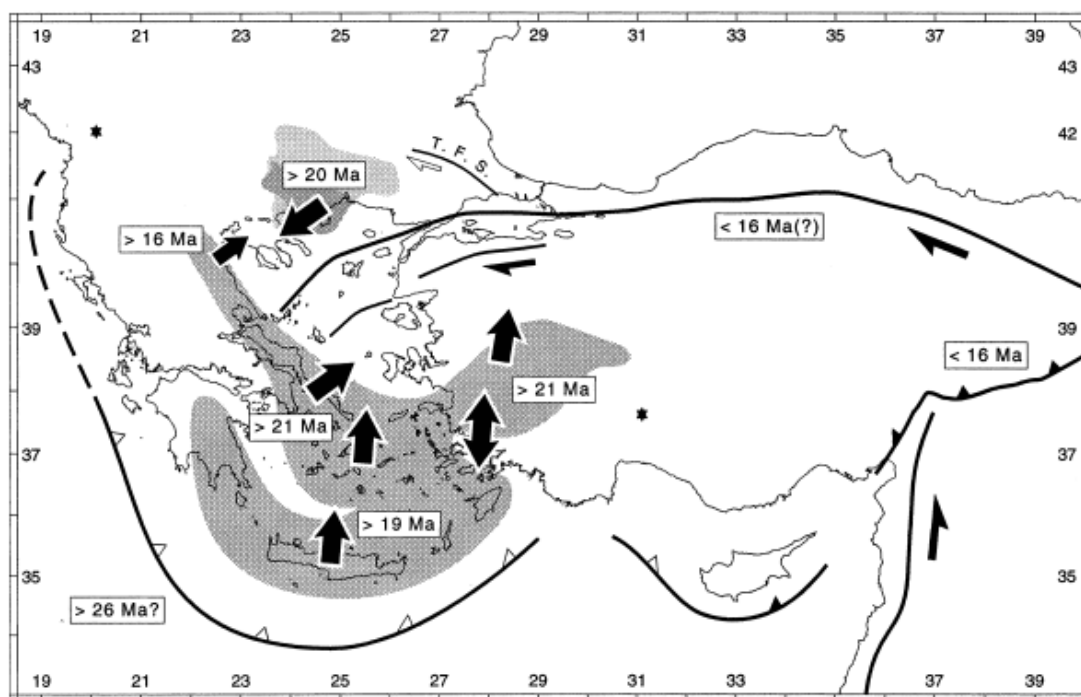
Και οι δυο απόψεις θεωρούν ότι η διάρρηξη της Ανατολίας είναι ένα δημιουργικό γεγονός για την ανάπτυξη του εφελκυστικού πεδίου στο Αιγαίο. Θεωρούν επίσης ότι η κίνηση της Ανατολίας είναι αποτέλεσμα της σύγκρουσης της Αραβικής με την Ευρασιατική πλάκα που θα πρέπει να προηγείται ή να είναι σύγχρονη με την δημιουργία του εφελκυστικού πεδίου στο Αιγαίο.

1.1.2 Εμφανίσεις και χρονικά όρια του εφελκυστικού πεδίου

Από στρωματογραφικά δεδομένα και ραδιοχρονολογήσεις προσδιορίστηκε η παλαιότερη ηλικία ψύξης πριν από 21 My στην ανατολική Μεσόγειο. Στη ζώνη της Ροδόπης επικρατεί η διατμητική παραμόρφωση (εφελκυστική) με φορά προς ΝΔ, η οποία είναι συμμεταμορφική. Από τα αποτελέσματα ραδιοχρονολογήσεων υπολογίστηκε ηλικία περίπου ίση με 20 My. Στην δυτική Ανατολία υπολογίστηκε ηλικία 21 My. Στην Κρήτη από διάφορες μετρήσεις υπολογίστηκε ηλικία περίπου 19 My (Σχ.3.α) (Gautier et al. 1999).

Όπως φαίνεται και στον χάρτη (Σχ.3.α.) το ρήγμα της Ανατολίας έχει υπολογιστεί στα 16 My περίπου. Παράλληλα, παρατηρούμε ότι η εφελκυστική διάρρηξη στο Αιγαίο (μεταορογενετική διαδικασία) ξεκίνησε νωρίτερα (Κ. Μειόκαινο) από την διάρρηξη της Ανατολίας. Τα χαρακτηριστικά του εφελκυστικού πεδίου είναι περίπου παρόμοια με τα σημερινά. Έτσι, καταρρίπτεται η δεύτερη κατηγορία απόψεων που

έχουν αναφερθεί. Η κίνηση της Ανατολίας επηρεάζει το εφελκυστικό πεδίο του Αιγαίου τα τελευταία 3 My χρόνια όπως αναφέρεται και παρακάτω.



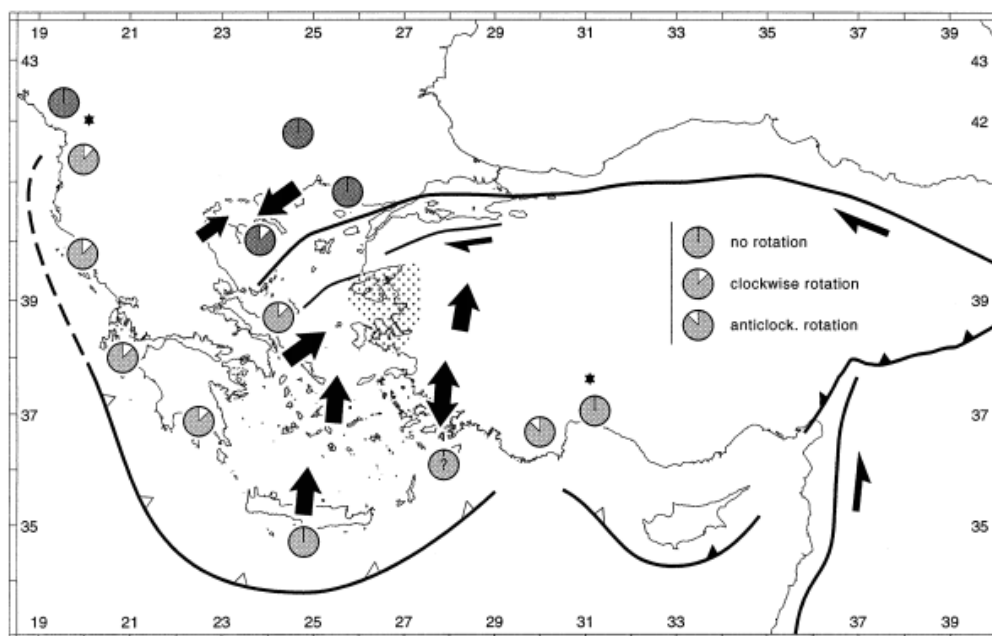
Σχ.3.α. Σχετικές ηλικίες της επέκτασης του Αιγαίου, της σύγκρουσης της Αραβικής πλάκας με την Ευρασιατική και την μετακίνηση της πλάκας της Ανατολίας. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τον προσανατολισμό εφελκυστικών αξόνων για τις ηλικίες που δείχνονται στον χάρτη (Gautier et al. 1999).

1.1.3 Εφελκυσμός του Αιγαίου και τα χαρακτηριστικά του

Η εξάπλωση του Αιγαίου, που οφείλεται σε βαρυτική κατάρρευση, έχει μεταορογενετικό χαρακτήρα και ακολούθησε την πάχυνση που υπέστη ο φλοιός από την Αλπική σύγκλιση. Η διεύθυνση της εξάπλωσης είναι προς το νότιο όριο του Αιγαίου το οποίο λειτουργεί ως ελεύθερο όριο. Η κίνηση του Αιγαίου ξεκίνησε πριν από 21 My. Στα 16 My χρόνια άρχισε η σύγκρουση της Αραβικής πλάκας με την Ευρασιατική με αποτέλεσμα την εξώθηση της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα δυτικά. Αυτή η κίνηση της Ανατολίας άρχισε να επηρεάζει την κατάσταση στο Αιγαίο πριν από 3 My χρόνια.

Σε όλο το Αιγαίο παρατηρούμε ότι υπάρχει αποκλίνουσα εξάπλωση του Αιγαίου κυρίως στο νότιο τμήμα. Αυτό φαίνεται από τις περιστροφικές κινήσεις που επικρατούν. Σε ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση εφελκυστικών τάσεων επικρατεί περιστροφή

παρόμοια με αυτήν των δεικτών του ρολογιού. Σε B-N κατευθύνσεις τάσεων εφελκυσμού επικρατούν περιστροφές αντίθετες με την φορά του ρολογιού, όπως φαίνεται και στον Σχ.3.β.



Σχ.3.β. Περιστροφές που εντοπίζονται στον χώρο του Αιγαίου. Τα μαύρα βέλη παριστάνουν τον προσανατολισμό των εφελκυστικών αξόνων (Gautier et al. 1999).

Στην δυτική Ελλάδα όπως βλέπουμε και στο Σχ.4. επικρατεί περιστροφή σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού. Η περιστροφή δεν εντοπίζεται βορειότερα όπου οι τάσεις μετατρέπονται από B-N σε BA-NA. Στην μάζα της Ροδόπης δεν καταγράφεται κάποια περιστροφή. Στο NA τμήμα του Αιγαίου παρατηρείται περιστροφή αντίθετα με τους δείκτες του ρολογιού ή και καθόλου.

1.1.4 Πείραμα βαρυτικής κατάρρευσης

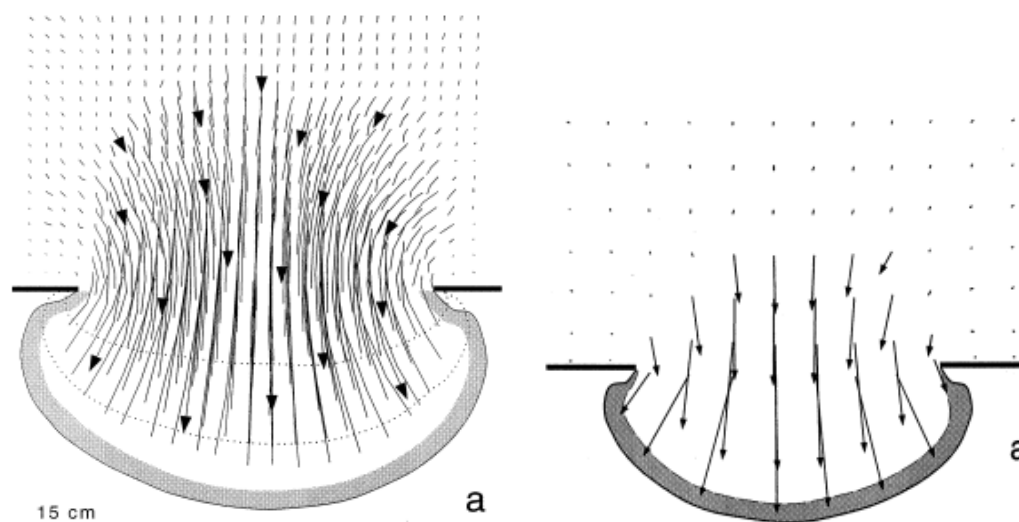
Για να ελεγχθεί περαιτέρω η άποψη για τη βαρυτική κατάπτωση και να παρατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της, πραγματοποιήθηκαν πειράματα από τον Gautier και την επιστημονική του ομάδα (Gautier et al. 1999) με σκοπό την προσομοίωσή της. Η προσομοίωση αυτή είχε ως στόχο την καλύτερη κατανόηση της κινηματικής, της παραμόρφωσης και την γεωμετρία μέσα σε μια εξάπλωση διάτμησης που περιλαμβάνει ρήγματα. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε στο ανώτερο τμήμα άμμος, που παρουσιάζει θραυσσιγενή συμπεριφορά, με σκοπό να προσδιοριστεί

η βαρυτική κατάπτωση, λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Για αυτό το λόγο, δεν χρησιμοποιήθηκε άκαμπτο υλικό έτσι όπως έγινε σε πρόσφατες έρευνες για τα Καρπάθια και το Τυρρηνικό τόξο.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε μέσα σε ένα κλειστό χώρο ο οποίος χωρίζεται με διαχωριστική επιφάνεια η οποία στο κέντρο της μπορεί να ανοιγοκλείνει, μήκους L , τοποθετείται μέλι με πυκνότητα 1.4 gr/cm^3 , όσο υπολογίζεται ότι είναι στην ασθενόσφαιρα. Στο ένα τμήμα, από αυτά που χωρίσαμε, τοποθετούμε σιλικόνη, με πυκνότητα $1.18\text{-}1.26 \text{ gr/cm}^3$, που προσομοιάζει το μανδουακό κομμάτι της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας του Αιγαίου. Πάνω από την σιλικόνη τοποθετήθηκε ξερή άμμος, με πυκνότητα $1.28\text{-}1.45 \text{ gr/cm}^3$, προσομοιώνοντας τον ηπειρωτικό φλοιό με ομογενές πάχος. Η σιλικόνη έχει πλάστιμο χαρακτήρα ενώ η ξερή άμμος σύμφωνα με το κριτήριο Mohr-Coulomb, μπορεί να εμφανίσει ρήγματα.

Το πείραμα ξεκινά ανοίγοντας το κινητό όριο και τότε αρχίζει η διάδοση. Η μόνη δύναμη που συμμετέχει στην διάδοση είναι η συμπιεστική δύναμη του περιθωρίου (*margin push force*) ανάμεσα στο μοντέλο και στη στήλη με το μέλι από την άλλη πλευρά. Η δύναμη που προέρχεται στο βάρος της καταδυόμενης πλάκας δεν λαμβάνεται υπόψη. Κατά την διάρκεια του πειράματος η ταχύτητα διάδοσης μειώνεται σταδιακά καθώς ο φλοιός λεπταίνει και υποχωρεί και οι δυνάμεις που ασκούνται στο περιθώριο (*margin push force*) μειώνονται. Το μοντέλο φωτογραφίζεται και με την βοήθεια των κόμβων που δημιουργούνται από το πλέγμα και ψηφιοποιείται στα διάφορα στάδια του πειράματος. Θεωρούμε ότι ο βορράς βρίσκεται στο πάνω μέρος των φωτογραφιών (Gautier et al. 1999).

Από την επεξεργασία των δεδομένων και από την παρατήρηση των φωτογραφιών εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με τις μετατοπίσεις, τους τύπους, τη γεωμετρία των ρηγμάτων, και τις περιστροφικές κινήσεις. Οι μετατοπίσεις έχουν κατεύθυνση κάθετη ως προς την παράταξη του ελεύθερου ορίου. Παρατηρείται μια προς τα νότια αύξηση της μετατόπισης. Αυτό οφείλεται επειδή η κίνηση προκαλείται προς το ελεύθερο όριο. Αντίθετα, βόρεια, ο βαθμός μετατόπισης είναι μικρότερος. Επίσης στην κατεύθυνση Α-Δ διακρίνονται διάφορα συμπλέγματα διάρρηξης τα οποία προς τα βόρεια και κυρίως κοντά στο ελεύθερο όριο επικρατεί μία Α-Δ βράχυνση στους άξονες που παρατηρούνται μετατοπίσεις ενώ προς τα νότια επικρατεί «άπλωμα» (επιεδοποίηση). Αυτά φαίνονται στα παρακάτω σχήματα (Σχ.4., Σχ.5.).



Σχ.4. Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε τα προαναφερόμενα, σχετικά με τον βαθμό της μετατόπισης και τις μεταβολές στον άξονα Α-Δ (Gautier et al. 1999). Οι γραμμές δείχνουν την μετατόπιση (την εξάπλωση).

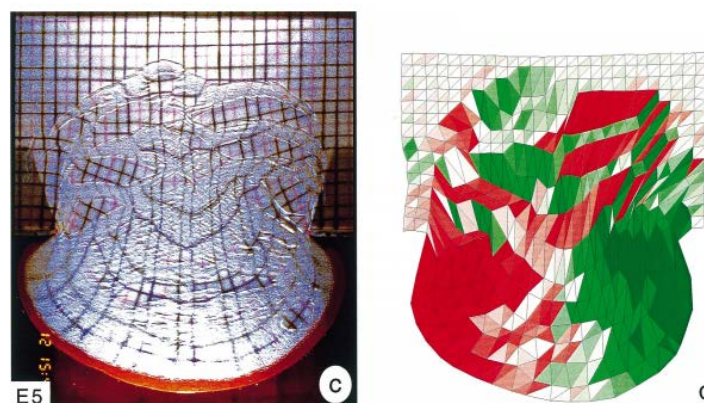
Αν εξετάσουμε τα δείγματα θα παρατηρήσουμε δύο περιοχές την βόρεια και την νότια. Στο βόρειο τμήμα εμφανίζονται λίγες τεκτονικές τάφροι που ανάμεσά του υπάρχουν τεκτονικά κέρατα. Στο νότιο τμήμα τα ρήγματα είναι πιο διάχυτα. Το όριο εντοπίζεται στο σημείο που συγκλίνουν οι μετατοπίσεις στον άξονα Α-Δ.

Η παραμόρφωση της εξάπλωσης είναι πιο έντονη στο αρχικό στάδιο και μετά σιγά-σιγά μειώνεται ο ρυθμός. Ρήγματα στα στρώματα άμμου παρατηρήθηκαν μετά από το 18-35% της έκτασης (Gautier et al. 1999).

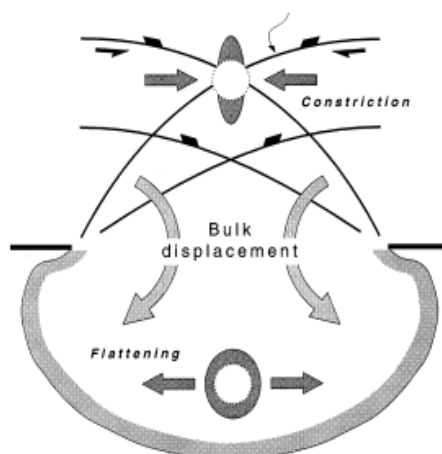
Στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του μοντέλου τα ρήγματα που κατανέμονται λόγω του εκτατικού γεγονότος έχουν αρκετά σταθερή γεωμετρία και κινηματική. Τα ρήγματα τα χωρίζουμε σε δυο ομάδες τα οποία φαίνονται καμπυλωτά ή λιγότερο. Για την πρώτη ομάδα ρηγμάτων η παράταξη τους αλλάζει σταδιακά από Α-Δ προς ΒΑ ή ΒΒΑ-ΝΝΔ και η άλλη ομάδα που η παράταξή τους σταδιακά αλλάζει από Α-Δ προς ΒΔ ή ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα ρήγματα είναι πιο καμπυλωτά στο βόρειο τμήμα ενώ όσο πιο νότια τα παρατηρούμε αυτά γίνονται και πιο ευθύγραμμα. Η γωνία των ρηγμάτων είναι 45-70° (Gautier et al. 1999). Όλα αυτά μπορούμε να τα δούμε στα σχήματα (Σχ.4., Σχ.5., Σχ.6.).

Στο υποβαλλόμενο δοκίμιο παρατηρήθηκαν επίσης περιστροφικές κινήσεις. Στο δυτικό κομμάτι σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού ενώ αντίθετη κίνηση γίνεται στο Ανατολικό κομμάτι. Επίσης όπως βλέπουμε στο σχήμα 5d ότι στο βόρειο

ανατολικό τμήμα στις τάφρους εντοπίζεται κίνηση με την φορά του ρολογιού ενώ στα τεκτονικά κέρατα κίνηση αντίθετη με την φορά του ρολογιού. Στο βόρειο δυτικό κομμάτι στις τάφρους παρατηρείται κίνηση αντίθετη με την φορά του ρολογιού ενώ στα τεκτονικά κέρατα σύμφωνα με την φορά του ρολογιού (Gautier et al. 1999).



Σχ.5. Οι περιστροφές που υπολογίστηκαν από την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων (d). Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι περιστροφές με την φορά του ρολογιού. Με πράσινο χρώμα φαίνονται οι περιστροφές με φορά αντίθετη με αυτή της φοράς του ρολογιού. Οι λευκές περιοχές είναι αυτές που δεν παρουσιάζουν περιστροφή (Gautier et al. 1999).



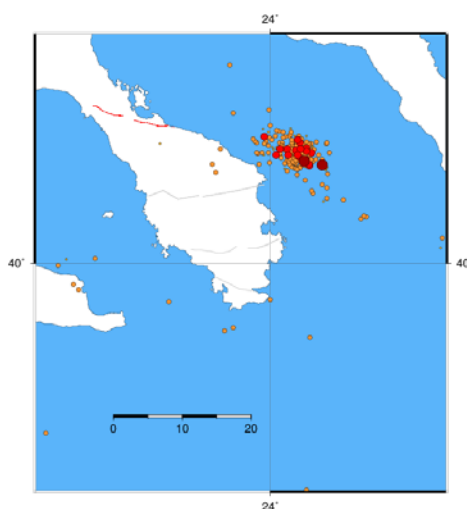
Σχ.6. Αποτελέσματα των πειραμάτων συνολικά, όπου η εξάπλωση στο κάθετο επίπεδο και η περιστροφικές κινήσεις στο ελεύθερο όριο (γκρίζα βέλη) οριζόντια εξάπλωση στο κατώτερο τμήμα (flattening). στο πάνω τμήμα του σχήματος φαίνεται η διάταξη των ρηγμάτων σε εκείνο το τμήμα (Gautier et al. 1999).

Για να κάνουμε σύγκριση του χώρου του Αιγαίου και του μοντέλου θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι το ελεύθερο όριο του πειράματος στην πραγματικότητα έχει τα όρια του στην Αλβανία και στην Ανταλία. Δηλαδή, η παράταξη του ελεύθερου ορίου είναι ΒΔ-ΝΑ. Δεν θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παραμορφώσεις που οφείλονται στην κίνηση της Ανατολίας προς την δύση (<3 My). Όπως φάνηκε και σε παραπάνω χάρτη (σχήμα 4) ο προσανατολισμός των εφελκυστικών τάσεων είναι παρόμοιοι με αυτούς

του πειράματος. Στον χάρτη παρατηρούμε ότι στο ανατολικό Αιγαίο όπως προαναφέραμε ότι παρατηρούνται περιστροφές σύμφωνες με την φορά του ρολογιού ενώ στο δυτικό κομμάτι αντίστροφες ή και καθόλου. Σχετικά με τις περιστροφές παρατηρούμε ότι πέρα από τα όρια του ελεύθερου ορίου δεν παρατηρούνται καθόλου περιστροφικές κινήσεις (Gautier et al. 1999).

1.2 Σεισμοτεκτονικές ιδιότητες της περιοχής της μελέτης

Όσον αφορά τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα στην Περιοδοπική ζώνη.



Σχ.7. Σεισμοτεκτονικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Το ρήγμα της Βουρβουρούς παριστάνεται με κόκκινη γραμμή, ενώ με γκρί τα άλλα ρήγματα της περιοχής. Φαίνεται και η σεισμικότητα της περιοχής με την χρήση των δεδομένων του σεισμολογικού σταθμού της Θεσσαλονίκης για την χρονική περίοδο από τις 1/9/2011 ως τις 10/7/2012. Με πορτοκαλί χρώμα κύκλοι φαίνονται οι σεισμοί με $M=2-3$, με κόκκινο οι σεισμοί με μέγεθος $M=3-4$ και οι σκούροι κόκκινοι $M>4$.

Στην περιοχή υπάρχουν κανονικά ρήγματα. Από μελέτες νεοτεκτονικά ρήγματα θεωρούνται το ρήγμα της Βουρβουρούς και ρήγματα που οριοθετούν την τάφρο του Αιγαίου από τα βόρεια, τα οποία είναι υποθαλάσσια. Το ρήγμα της Βουρβουρούς εντοπίζεται στον παρακάτω χάρτη με κόκκινο χρώμα. Τα άλλα ρήγματα τα οποία εμφανίζονται δεν γνωρίζουμε αν είναι νεοτεκτονικά λόγω το ότι τέμνουν μόνο παλαιοζωικά και μεσοζωικά πετρώματα. Το ρήγμα της Βουρβουρούς, (σχήμα 7) υπολογίστηκε ότι έχει μήκος 15 km με παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ και διεύθυνση κλίσης ΑΒΑ (Tranos, 1998).

1.3 Ιστορικοί σεισμοί

Τις τελευταίες δεκαετίες διεξάγεται έντονη έρευνα πάνω στις ιδιότητες των σεισμών με σκοπό την κατανόηση του φαινομένου, την δυνατότητα πρόγνωσής τους και την εύρεση της σεισμικής επικινδυνότητας στις διάφορες περιοχές. Στην προσπάθεια αυτή συμβάλλει η συλλογή στοιχείων, δηλαδή η καταγραφή σεισμών με σύγχρονα ενόργανα μέσα. Για την διεύρυνση του καταλόγου των σεισμών με ισχυρούς σεισμούς οι οποίοι συνέβησαν πριν από την χρήση των οργάνων και τα αποτελέσματα τους είναι εμφανή χρησιμοποιήθηκαν για προσδιορισμό αυτών και κάποιων παραμέτρων τους μέθοδοι αρχαιοσεισμολογίας και παλαιοσεισμολογίας. Κατάλογος με του ιστορικούς σεισμούς που συνέβησαν στην ευρύτερη περιοχή με μέγεθος ίσο ή πάνω από 5 παρουσιάζονται παρακάτω (πίνακας 1) και ο χάρτης με αυτούς (Σχ.8.).

1829, 5 Μαΐου, M=7.3, Δράμα: Πρόκειται για σεισμική ακολουθία με δύο πιθανώς πολύ ισχυρούς προσεισμούς οι οποίοι έγιναν στις 11 Απριλίου και στις 13 Απριλίου ενώ ο κύριος σεισμός έγινε στις 5 Μαΐου. Από τις περιγραφές των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οι ισχυροί προσεισμοί προκάλεσαν βλάβες στο ανατολικό μέρος (Ξάνθη, κλπ) της πλειόσειστης περιοχής και ο κύριος σεισμός στο δυτικό μέρος (Δράμα, κλπ). Δηλαδή πραγματοποιήθηκε μια προς τα δυτικά μετανάστευση πάνω σε σεισμογόνο ρήγμα διεύθυνσης Α-Δ.

Πίνακας 1: Πληροφορίες για τους ιστορικούς σεισμούς που έχουν γίνει στην περιοχή μελέτης

ΕΤΟΣ	φ	λ	M
479 π.Χ.	39,7	23,3	7
597 μ.Χ.	40,7	24,1	6,7
620 μ.Χ.	40,7	23,9	6,8
677 μ.Χ.	40,7	23,5	6,4
700 μ.Χ.	40,7	23,1	6,5
1456 μ.Χ.	39,9	24,4	6,2
1585 μ.Χ.	39,9	24,4	7
1677 μ.Χ.	40,5	23	6,2
1902 μ.Χ.	40,82	23,4	6,5
1932 μ.Χ.	40,45	23,86	7
1978 μ.Χ.	40,61	23,27	6,5

ΕΤΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	φ	λ	M
1366	1 Ιουνίου	40.20	24.60	6,6
1430	26 Μαρτίου	40.7	23.2	6,0
1456	12 Νοεμβρίου	39.9	24.4	6,2
1471		40.1	24.9	7,0
1511	26 Μαΐου	40.2	25.2	6,6
1564	12 Αυγούστου	39.9	24.7	6,4
1572	12 Απριλίου	39.9	24.6	6,4
1585	28 Ιουνίου	39.8	24.7	7,0
1668	Αύγουστος	39.7	22.4	6,0
1669	26 Οκτωβρίου	40.2	25.3	6,8
1677		40.5	23	6,2
1713	Φεβρουάριος	41.1	24.4	6,4
1731		39.7	22.5	6,0
1759	22 Ιουνίου	40.6	22.8	6,5
1765	15 Νοεμβρίου	40.2	25.2	6,9
1776	5 Δεκεμβρίου	39.8	24.6	6,7
1779	3 Φεβρουαρίου	40.1	24.7	6,3
1797	Μάρτιος	40.3	24.9	6,6
1829	13 Απριλίου	41.1	24.5	6,9
1829	5 Μαΐου	41.1	24.2	7,3
1864	14 Ιουνίου	40.3	25	7,3
1867	14 Ιουνίου	41.1	24.2	6,0

1887	14 Μαΐου	40.1	25.2	7,0
1902	5 Ιουνίου	40.82	23.04	6,5
1905	20 Ιανουαρίου	39.67	22.93	6,4
1905	8 Νοεμβρίου	40	24.5	7,5
1911	22 Οκτωβρίου	39.6	23.2	6,0
1923	5 Δεκεμβρίου	39.9	23.5	6,4
1930	23 Φεβρουαρίου	39.6	23.1	6,0
1930	31 Μαρτίου	39.47	23.13	6,1
1931	7 Μαρτίου	41.3	22.4	6,0
1931	8 Μαρτίου	41.38	22.49	6,7
1932	26 Σεπτεμβρίου	40.45	23.86	7,0
1932	26 Σεπτεμβρίου	40.5	23.8	6,0
1932	29 Σεπτεμβρίου	40.97	23.23	6,2
1941	1 Μαρτίου	39.67	22.54	6,3
1947	4 Ιουνίου	40	24	6,1
1968	19 Φεβρουαρίου	39.5	25	7,1
1978	20 Ιουνίου	40.61	23.27	6,5
1982	18 Ιανουαρίου	39.78	24.5	7,0
1983	6 Αυγούστου	40	24.7	6,8
1990	21 Δεκεμβρίου	40.92	22.36	6,0

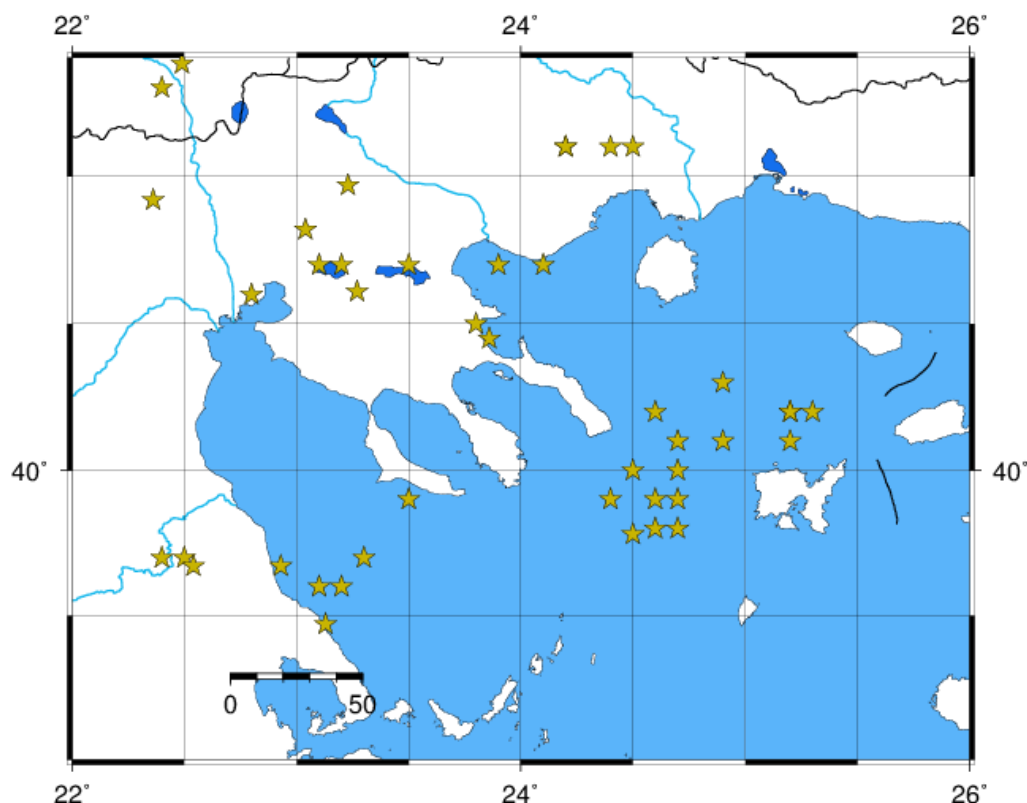
1859, 21 Αυγούστου, M=6.9, ΝΔ. Τουρκία (Ιμβρος): Οι σεισμικές δονήσεις είχαν ήδη αρχίσει πριν από τα μεσάνυχτα της 20 προς την 21 Αυγούστου, αλλά στις 21 το πρωί στις 4 το πρωί έφτασαν στο μέγιστο και ξανά επαναλήφθηκαν το απόγευμα. Από τις αναφορές φαίνεται ότι δεν υπήρξαν ανθρώπινα θύματα αλλά όλα τα νησιά

του χωριού έπαθαν μεγάλες καταστροφές. Οι μετασεισμοί της ακολουθίας συνεχίστηκαν και ως και τον Ιανουάριο του 1960.

1893, 9 Φεβρουαρίου, M=6.8, Σαμοθράκη: Ο σεισμός αυτός προκάλεσε καταστροφές στην πόλη της Σαμοθράκης, όπου από τα 600 σπίτια στην πόλη της Σαμοθράκης 52 κατέρρευσαν και 300 ως 500 έπαθαν πολλές ρωγμές και μόνο 80-100 έμειναν άθικτα. Από άποψη ανθρώπινων θυμάτων τραυματίστηκαν ελαφρά 10-20 άτομα και 1 σκοτώθηκε στο χωριό Θερμά. Επίσης παρατηρήθηκαν μεταβολές στον υδροφόρο, κατολισθήσεις, καθιζήσεις, και δημιουργία μεγάλου θαλάσσιου κύματος που έπληξε το νησί Άγκιστρο με ύψος 1m, την Αλεξανδρούπολη με ύψος κύματος 1m, και τα χωριά Κήπων και Θερμών με ύψος 5m.

1904, 4 Απριλίου, M=7.3, Βουλγαρία (Κρέσνα): Του κύριου σεισμού προηγήθηκαν ισχυροί προσεισμοί, ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε 23 λεπτά προ του κύριου σεισμού και προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στο ανατολικό μέρος της σημερινής FYROM. Ο προσεισμός κατάστρεψε σχεδόν ολοκληρωτικά την πόλη Pehcevo όπου σκοτώθηκαν 50 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 100. Μετά ακολούθησε και ο κύριος σεισμός ο οποίος κατάστρεψε τους οικισμούς που βρίσκονταν ανάμεσα στην περιοχή Kocani-Ruzlog στην διεύθυνση Α-Δ και στην περιοχή Dzumaja-Novo Selo στην διεύθυνση Β-Ν. Στην επαρχία Kocani σκοτώθηκαν από τον κύριο σεισμό 14 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 11. Ο σεισμός αυτός προκάλεσε στην Θεσσαλονίκη βλάβες σε εξασθενημένες τεχνικές κατασκευές.

1923, 5 Δεκεμβρίου, M=6.4, Χαλκιδική (Βάλτα): Ο σεισμός αυτός μετέτρεψε σε ερείπια πολλά χωριά της περιοχής. Έγινε βίαια αισθητός και στον Βόλο, στην Θεσσαλονίκη, στην Λάρισα, στην Κατερίνη και λιγότερο δυνατά στη Σκιάθο, Σκόπελο, Τσαρίτσανη, Ιστιαία και ελαφρά στο Μοναστήρι και στην Αθήνα καθώς και στη Βουλγαρία μέχρι τη Σόφια. Επίσης αναφέρθηκε και θαλάσσιο κύμα που πιθανώς προκλήθηκε από τον σεισμό στις ακτές της Κασσάνδρας. Ακολουθήθηκε από αισθητούς μετασεισμούς ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε στις 6 Δεκεμβρίου με M=4.8.



Σχ.8. Θέσεις των ισχυρότερων ιστορικών σεισμών που συνέβησαν στην ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου

1932, 26 Σεπτεμβρίου, $M=7.0$, Χαλκιδική (Ιερισσός): Ο πρώτος από τους μεγαλύτερους μετασεισμούς έγινε την ίδια ημέρα με τον κύριο σεισμό($21:26$, $M=6.0$) και ο δεύτερος στις 11 Μαΐου 1933, δηλαδή περίπου οκτώ μήνες αργότερα. Ένας άλλος ισχυρός σεισμός έγινε στις 29 Σεπτεμβρίου ($03:57$, 40.97° N, 23.23° E, $M=6.2$) αλλά είχε το επίκεντρό του στην περιοχή του Σοχού, σαφώς έξω από την περιοχή διάρρηξης του κύριου σεισμού. Καταστράφηκαν η Ιερισσός και το Στρατώνι και συγχρόνως με την κύρια δόνηση παρατηρήθηκε μια στιγμιαία λάμψη. Συνολικά και από τις γύρω περιοχές καταστράφηκαν 4106 σπίτια και 3218 έπαθαν σοβαρές βλάβες, 161 άτομα σκοτώθηκαν και 669 τραυματίστηκαν. Στα δυτικά του Στρατωνίου και για μήκος 7 km παρουσιάστηκε μια ανοικτή ρωγμή με μέσο πλάτος 2m και ένα βάθος 10m περίπου.

1978, 20 Ιουνίου, $M=6.5$, Θεσσαλονίκη (Στίβος): Το επίκεντρο του σεισμού βρίσκεται στην περιοχή ανάμεσα στην περιοχή των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά. Είναι ο πρώτος μεγάλος σεισμός, ο οποίος προσέβαλε μια μοντέρνα πόλη (τη Θεσσαλονίκη) με εξαιρετικές οικονομικές και άλλες κοινωνικές συνέπειες. Στη

Θεσσαλονίκη κατάρρευσε μια πολυκατοικία οκταόροφη, έπαθαν μη επισκευάσιμες ζημιές 3170 οικοδομές εκ των οποίων 35 σχολεία. Σοβαρές βλάβες υπέστησαν 13918 οικοδομές και 49071 έπαθαν ελαφρότερες βλάβες. Συνολικά και στην ευρύτερη περιοχή έπαθαν μη επισκευάσιμες 9480 οικοδομές, σοβαρές βλάβες 23589 και ελαφρότερες 67541 (στους νομούς Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Σερρών και Χαλκιδικής). Σκοτώθηκαν 48 άτομα και 220 τραυματίστηκαν.

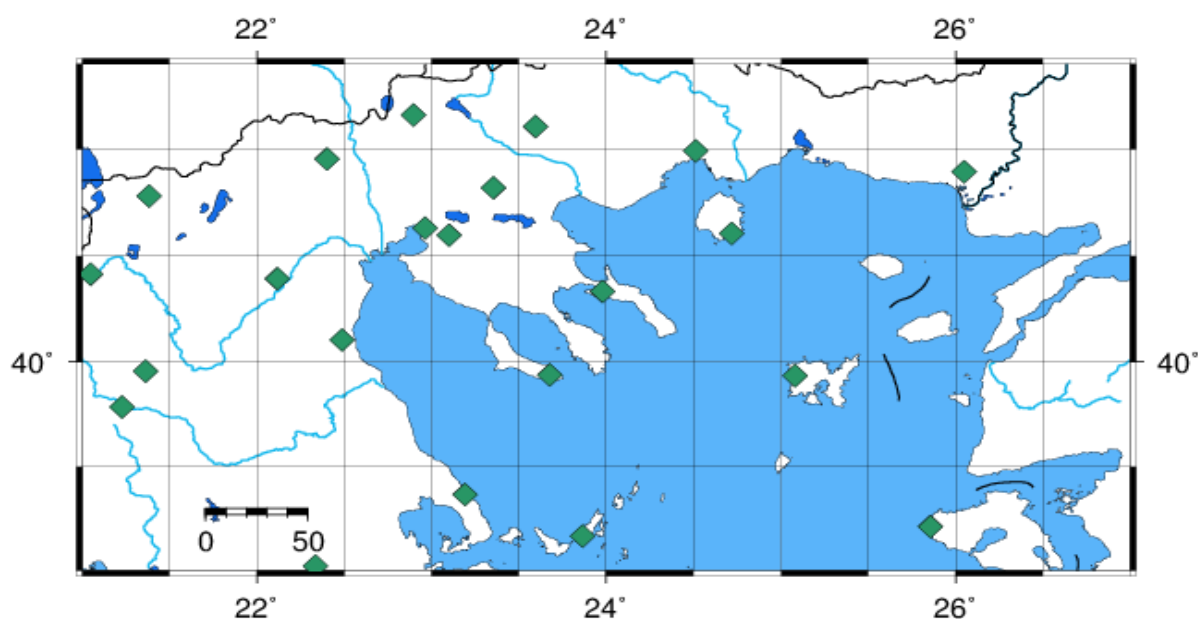
1982, 18 Ιανουαρίου, M=7.0, Β. Αιγαίο (Θάσος): Πρόκειται για ισχυρό σεισμό του Βορείου Αιγαίου ο οποίος έγινε έντονα αισθητός στη Θάσο, Λέσβο και Λήμνο. Ακολουθήθηκε από μεγάλο αριθμό μετασεισμών ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε αμέσως μετά τον κύριο σεισμό (19:31, M=5.6).

1983, 6 Αυγούστου, M=6.8, Λήμνος (Άγιος Δημήτριος): Πρόκειται για ισχυρό σεισμό του Βορείου Αιγαίου, ο οποίος έγινε πολύ έντονα αισθητός στη Λήμνο, Θάσο και Λέσβο. Προκάλεσε ελαφρό θαλάσσιο κύμα στη Μύρινα και Λέσβο. Ακολούθησαν αρκετοί μετασεισμοί, ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε στις 10 Οκτωβρίου (10:17, M=5.7).

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και η επεξεργασία που υπέστησαν για τον επαναπροσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων κύριου σεισμού και των προσεισμών και μετασεισμών, για την σεισμική ακολουθία που μελετάται. Αυτή η διαδικασία του επαναπροσδιορισμού των παραμέτρων με ακριβέστερο μοντέλο ταχυτήτων και χρονικών υπολοίπων των σεισμικών κυμάτων στους σταθμούς καταγραφής έχει αποδειχθεί πολύ σημαντική (Karakostas et al., 2003; Καρακώστας, 2008; Karakostas and Papadimitriou, 2010) με πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται σημαντικά η ακρίβεια ιδιαίτερα στα εστιακά βάθη των σεισμών.



Σχ.9. Σεισμολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής, των οποίων αναγραφές χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα στα δεδομένα του σεισμολογικού σταθμού του ΑΠΘ από την αντίστοιχη ιστοσελίδα και συγκεκριμένα στα μηνιαία δελτία σεισμών από τις 1/1/2008 ως τις 31/5/2012, για την περιοχή της μελέτης. Ο χώρος μελέτης ορίζεται από τους μεσημβρινούς 23.94°E–24.1°E και τους παραλλήλους 40.08°N–40.3°N. Η έρευνα αυτή είχε ως σκοπό την συλλογή των φάσεων των σεισμικών

κυμάτων των σεισμών. Για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήσαμε σεισμούς που υπήρχαν δεδομένα άνω των 15 φάσεων. Με αυτά τα κριτήρια συλλέχτηκαν δεδομένα για 150 σεισμούς στους οποίους εφαρμόστηκε η μέθοδος Wadati. Οι σεισμολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.

Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν μετασχηματίστηκαν έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από το πρόγραμμα hypoinverse (Klein, 2002), με σκοπό την εύρεση των επικέντρων των σεισμών. Για την λειτουργία του προγράμματος χρησιμοποιήσαμε τα επεξεργασμένα αρχεία των φάσεων, μια λίστα με τους σεισμολογικούς σταθμούς και τα γεωγραφικά τους στοιχεία (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, υψόμετρο) καθώς και τα ονόματά τους. Επίσης χρησιμοποιήσαμε ένα μοντέλο ταχυτήτων που παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα (Panagiotopoulos et al.1985).

Πίνακας 2: Ο πίνακας αυτός δείχνει το μοντέλο ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα hypoinverse (Panagiotopoulos and Papazachos, 1985).

local model	
velocity (km/sec)	depth
5,73	0,00
6,11	4,07
6,76	12,90
6,89	21,17
7,85	32,00

Το μοντέλο ταχυτήτων το οποίο χρησιμοποιείται, δίνει πληροφορίες μόνο για τη μεταβολή των ταχυτήτων σε συνάρτηση με το βάθος. Είναι όμως γνωστό, ότι υπάρχουν και οριζόντιες μεταβολές, οι οποίες παρά το ότι δεν είναι τόσο σημαντικές όσο οι μεταβολές με το βάθος, παίζουν σημαντικό ρόλο στον ακριβή προσδιορισμό των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών. Για να ληφθούν υπόψη οι οριζόντιες μεταβολές της ταχύτητας, χωρίς να χρησιμοποιηθεί τρισδιάστατο μοντέλο της δομής, μπορούν να υπολογιστούν χρονικές διορθώσεις οι οποίες προστίθενται αλγεβρικά στους χρόνους άφιξης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε σεισμολογικό σταθμό. Αυτή

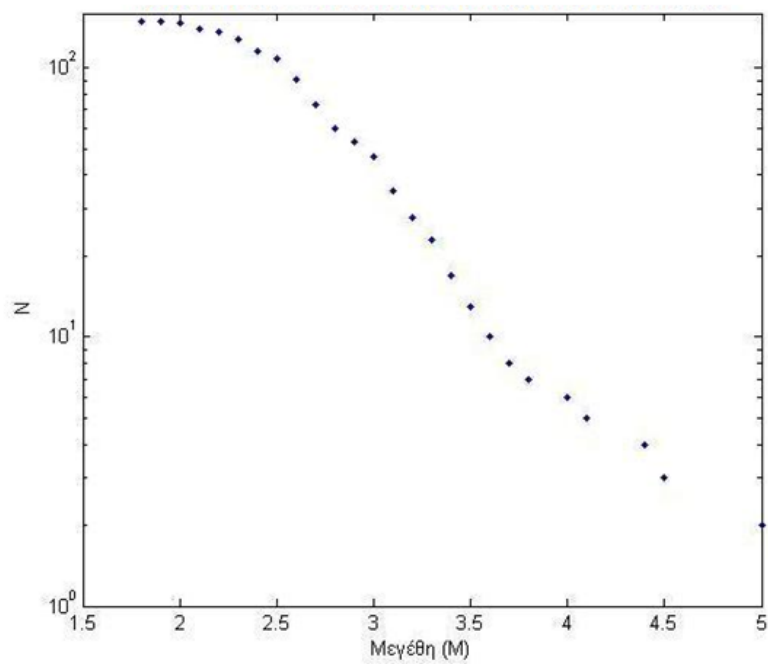
η διαδικασία επιτεύχθηκε με την χρήση του προγράμματος delayrn. Έτσι έγινε μια κυκλική διαδικασία, με διαδοχικές διορθώσεις από 10 sec ως 1 sec (10, 8, 6, 4, 2, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2 sec). Δηλαδή η κάθε διαδικασία των χρονικών διορθώσεων γίνεται πάνω στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προηγούμενη διόρθωση. Θεωρητικά αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται ώσπου να μην υπάρχει σημαντική μεταβολή στις διορθώσεις. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε ώστε οι διορθώσεις αυτές να προστεθούν αλγεβρικά στους χρόνους άφιξης των σεισμικών κυμάτων στους σεισμολογικούς σταθμούς. Έτσι θα επιτευχθεί ο καλύτερος προσδιορισμός των επικέντρων.

Μετά τον υπολογισμό των χρονικών διορθώσεων, έγινε επαναπροσδιορισμός των επικέντρων. Με βάση τα τελικά αποτελέσματα συντάχθηκε κατάλογος των σεισμών της περιοχής μελέτης σε χρονολογική σειρά. Στον κατάλογο αυτό, ο οποίος περιλαμβάνει 150 σεισμούς, προστέθηκαν τα μεγέθη των σεισμών όπως αυτά έχουν υπολογισθεί και δημοσιευθεί στα σεισμολογικά δελτία του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ.

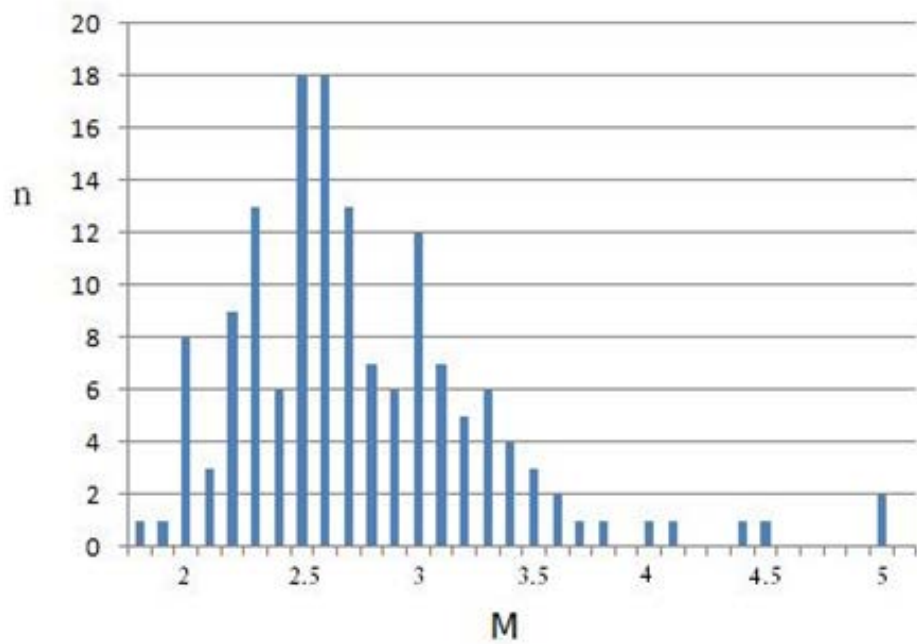
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της αθροιστικής κατανομής των σεισμών (σχήμα 10) ανάλογα με το μέγεθος βλέπουμε ότι υπάρχουν δύο σεισμοί με μέγεθος 5.0 που είναι το ανώτερο σεισμικό μέγεθος, που σημαίνει ότι έχουμε διπλή ακολουθία. Από την κατανομή των σεισμών παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν πλήρη δεδομένα από το μέγεθος 2.5, το οποίο είναι το κατώτερο όριο πληρότητας. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα της κατανομής των σεισμών. Ο τύπος που προκύπτει από το αθροιστικό διάγραμμα για την τάση με την χρήση ελαχίστων τετραγώνων είναι ο εξής:

$$\log N = -0.69791 + 3.64224$$

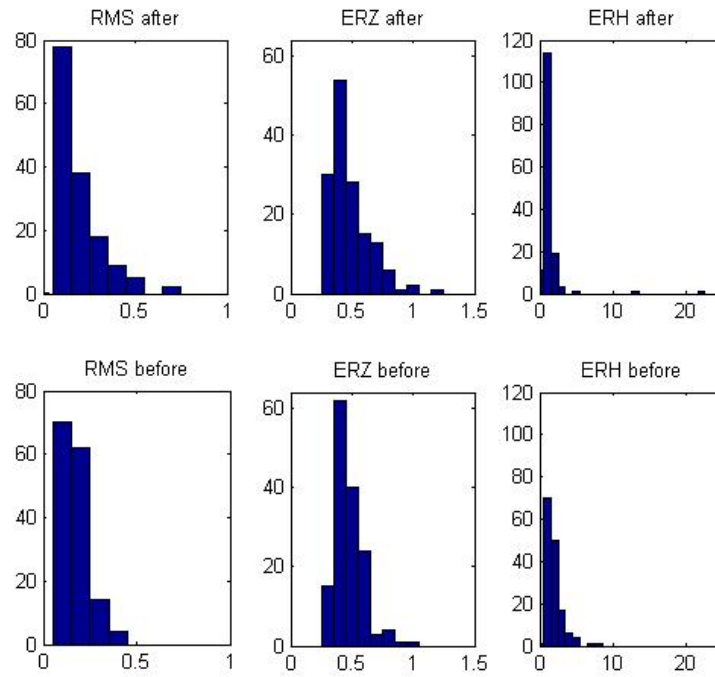
Επίσης προσδιορίστηκαν και κάποια σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα το σφάλμα στο χρόνο γένεσης RMS(sec), το σφάλμα προσδιορισμό του επικέντρου ERH(km) και το σφάλμα προσδιορισμού του βάθους του σεισμού. Αυτό έγινε ώστε να χρησιμοποιηθούν μόνο τα ακριβέστερα δεδομένα, αλλά δεν εντοπίστηκαν σφάλματα που να είναι αποτρεπτικά. Η κατανομή των σφαλμάτων για το καθένα χαρτογραφήθηκε και με τον κατάλογο πριν τις χρονικές διορθώσεις και μετά από αυτές (σχήμα 11).



Σχ.10'α. Αθροιστική κατανομή των μεγεθών των σεισμών που προέκυψαν από την επεξεργασία.



Σχ.10.β. Κατανομή των μεγεθών.



Σχ.11. Σφάλματα RMS, ERZ, ERH για τα δεδομένα πριν (κάτω σειρά σχημάτων) και μετά (πάνω σειρά σχημάτων) τον επαναπροσδιορισμό των χρόνων άφιξης στους σεισμούς οι οποίοι βρέθηκαν με την επεξεργασία των φάσεων.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

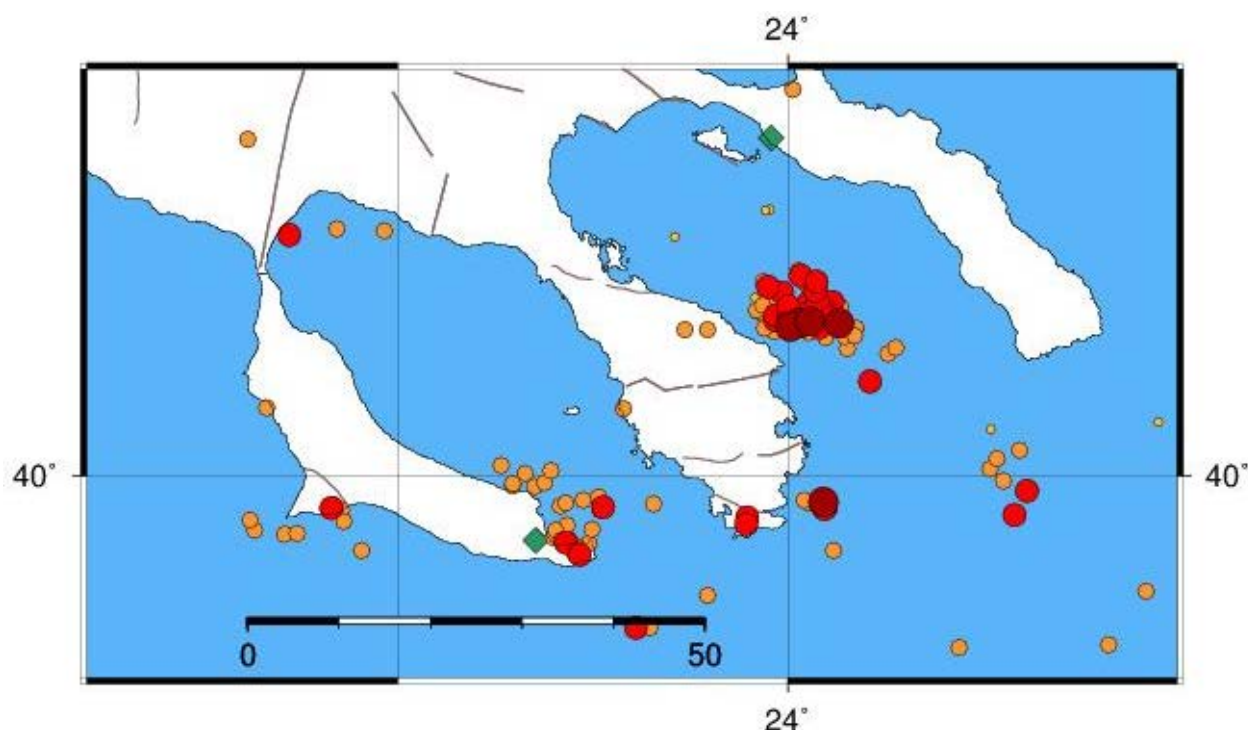
ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα διαπραγματευτούμε την χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας που θα μελετήσουμε στην επιφάνεια αλλά και στο βάθος. Θα αναφερθεί η κατανομή της ως προς τον χρόνο και θα γίνει συσχέτιση με κάποιο ενεργό ρήμα της περιοχής.

3.1 Χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας

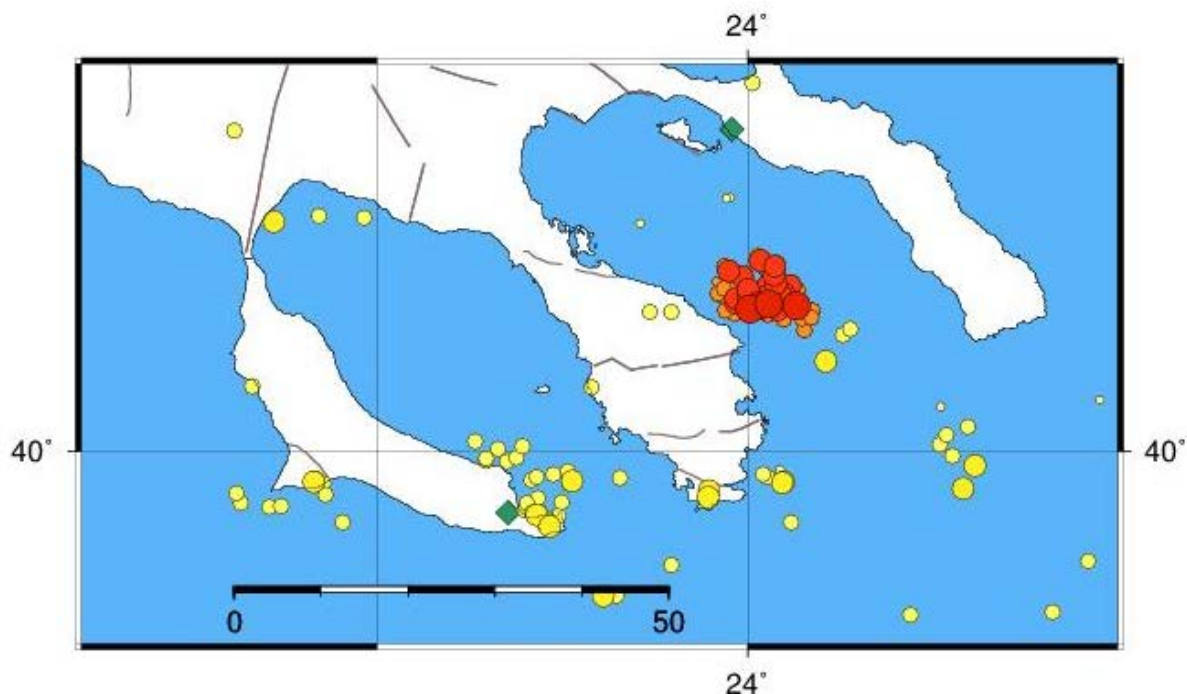
3.1.1 Επιφανειακή κατανομή των σεισμών

Η κατανομή των epicέντρων των σεισμών φαίνεται στον παρακάτω χάρτη. Για τη κατασκευή του χάρτη αυτού χρησιμοποιήθηκαν (σχήμα 12) τα στοιχεία των σεισμών από τον κατάλογο που προέκυψε από τον επαναπροσδιορισμό των epicέντρων και περιέχει δηλαδή τους σεισμούς που ανήκουν στην χρονική περίοδο από το 1/1/2008 ως το 31/5/2012.



Σχ.12. Σεισμοί της ευρύτερης περιοχής από το 2008. Οι σεισμοί φαίνονται με χρωματιστούς κύκλους. Με κίτρινο δηλώνονται οι σεισμοί με μέγεθος κάτω από 2. Με πορτοκαλί οι σεισμοί με μέγεθος μεταξύ 2 και 3. Με κόκκινο ανοικτό δηλώνονται οι σεισμοί με μέγεθος μεταξύ 3 και 4. Τέλος με κόκκινο σκούρο φαίνονται οι σεισμοί με μέγεθος πάνω από 4. Με πράσινο ρόμβο συμβολίζονται οι σεισμολογικοί σταθμοί της περιοχής. Ενώ με γκρι γραμμές συμβολίζονται τα ρήγματα.

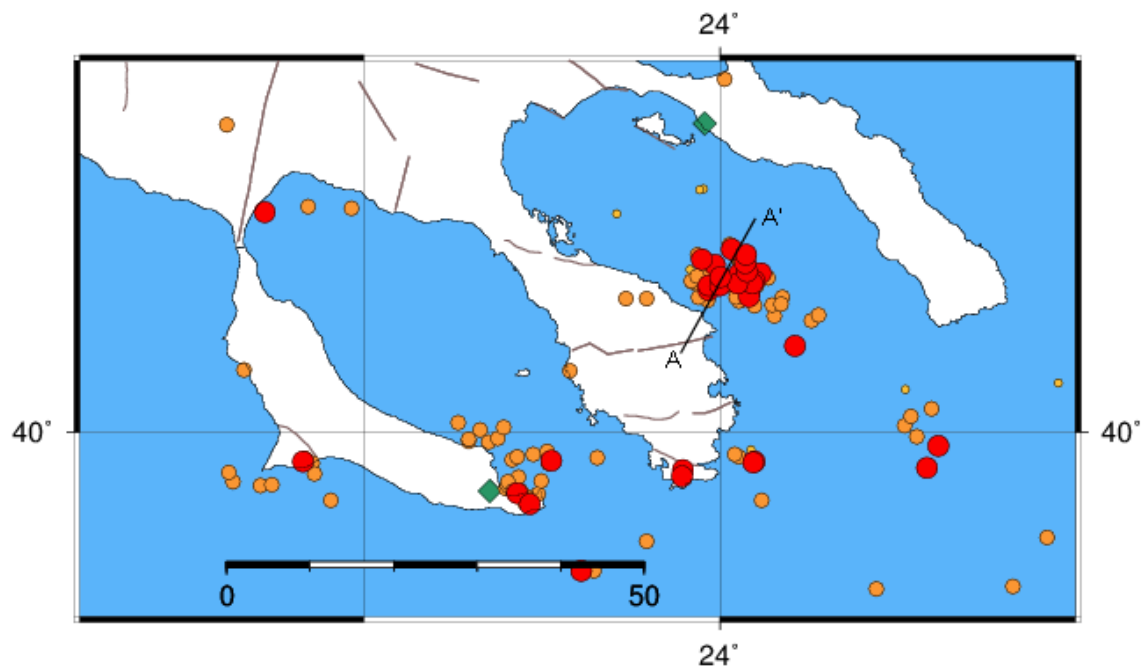
Όπως φαίνεται και στον χάρτη, στη Χερσόνησο της Σιθωνίας αναπτύσσεται μια σεισμική ακολουθία που έχει παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ. Η σεισμική ακολουθία τονίζεται καλύτερα στον παρακάτω χάρτη (Σχ.13.).



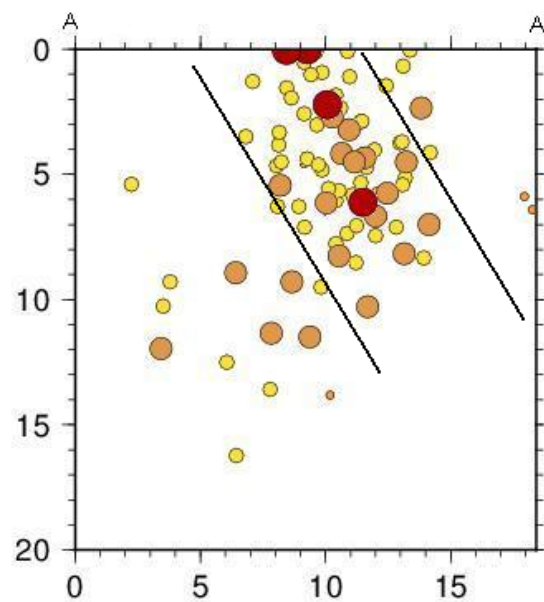
Σχ.13. Σεισμοί της ευρύτερης περιοχής από το 2008. Με κοκκινωπούς κύκλους τους σεισμούς της ακολουθίας που θα μελετήσουμε ενώ με κίτρινους τους υπόλοιπους σεισμούς. Με πράσινους ρόμβους συμβολίζονται οι σεισμολογικοί σταθμοί της περιοχής. Τέλος με γκρι γραμμές συμβολίζονται τα ρήγματα.

3.1.2 Χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας με το βάθος

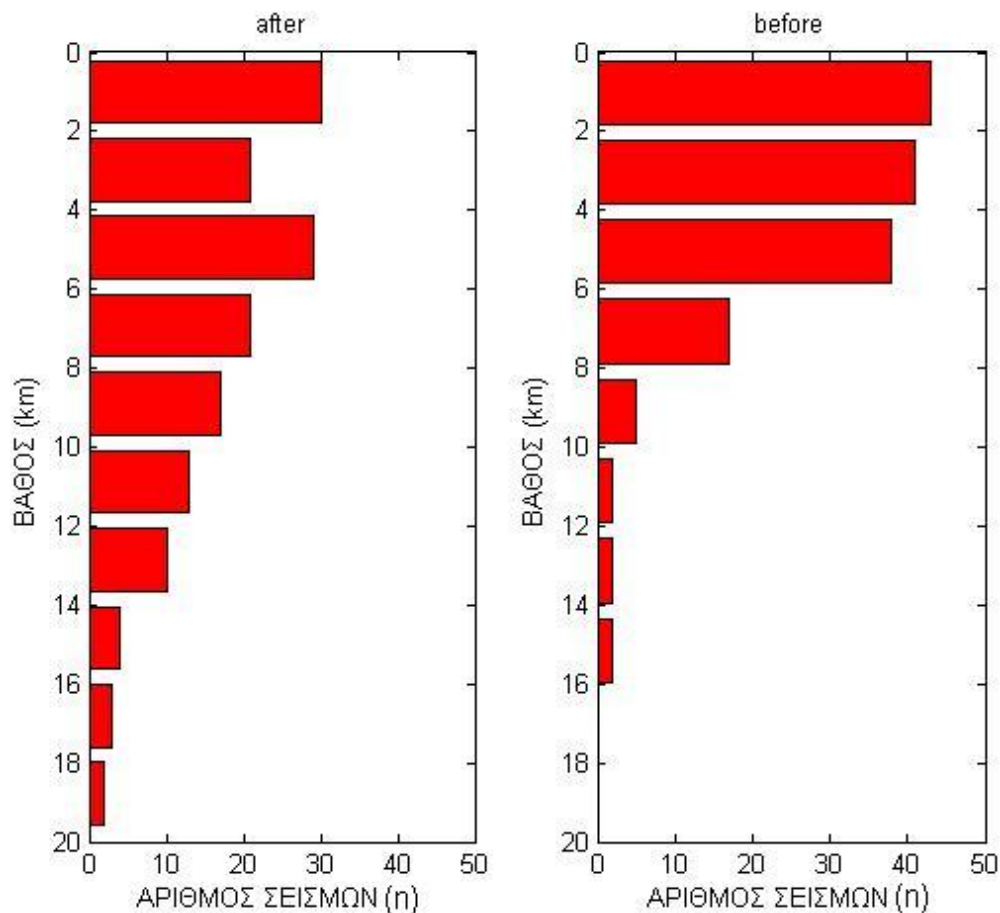
Στη συνέχεια μελετήθηκε η κατανομή των σεισμών με το βάθος. Η κατανομή αυτή διακρίνεται με την κατασκευή μιας κατακόρυφης τομής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι σεισμοί από το 2008 ως το 2012. Η τομή πραγματοποιήθηκε κάθετα στην πιθανή διεύθυνση του ρήγματος στο οποίο οφείλεται η ακολουθία. Η χάραξη της τομής φαίνεται στον παρακάτω χάρτη (Σχ.14.).



Σχ.14. Σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής, όπως και το σχήμα 13 αλλά επίσης δείχνει την τομή που πραγματοποιήθηκε Α-Α'.



Σχ.15. Τομή που πραγματοποιήθηκε στο Α-Α'. Με κίτρινο δηλώνονται οι σεισμοί με μέγεθος κάτω από 2. Με πορτοκαλί οι σεισμοί με μέγεθος μεταξύ 2 και 3. Με κόκκινο ανοικτό δηλώνονται οι σεισμοί με μέγεθος μεταξύ 3 και 4. Με κόκκινο σκούρο φαίνονται οι σεισμοί με μέγεθος πάνω από 4. Με μαύρες γραμμές συμβολίζονται τα πιθανά ρήγματα.



Σχ.16. Διαγράμματα με την κατανομή των σεισμών με το βάθος πριν και μετά τον επαναπροσδιορισμό των χρόνων άφιξης (δεξιό και αριστερό σχήμα αντίστοιχα).

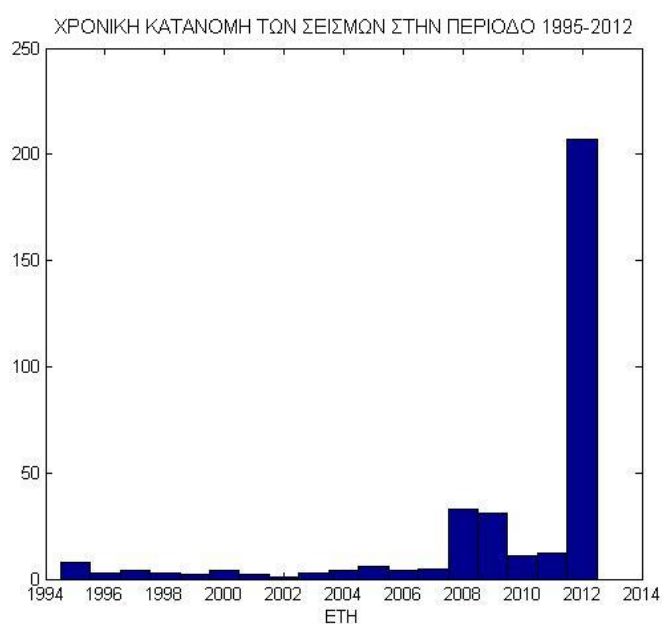
Στην τομή αυτήν (Σχ.15.) βλέπουμε ότι οι σεισμοί κατανέμονται στα βάθη μεταξύ 0-18 km. Αυτό είναι λογικό αφού δεν περιμένουμε εστίες σεισμών με μεγάλα βάθη όπως σε ζώνες κατάδυσης, δηλαδή σεισμούς στην βυθιζόμενη πλάκα. Επειδή είναι ασαφής από τους σεισμούς η κλίση του ρήγματος στο οποίο οφείλεται θα θεωρήσουμε ότι είναι 45 περίπου μοίρες γωνία κλίσης σύμφωνα με το Mohr-Coulomb και διεύθυνση κλίσης BA, για αυτό τοποθετήθηκαν τα συγκεκριμένα ρήγματα.

Η κατανομή των σεισμών με το βάθος (Σχ.16.), αλλά χωρίς να δίνονται πληροφορίες για την κατανομή των μεγεθών με αυτό και την ύπαρξη κάποιας κλίσης, φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται να υπάρχουν και σεισμοί, των οποίων η εστία φτάνει και στα 17 με 18 km βάθος. Ο αριθμός των σεισμών φαίνεται να είναι μεγαλύτερος όσο πιο κοντά στην επιφάνεια πλησιάζουμε. Στο διάγραμμα που έγινε με την χρήση του καταλόγου που δημιουργήθηκε μετά από τον επαναπροσδιορισμό των χρόνων διαδρομής, βλέπουμε ότι αυτή η αύξηση της

σεισμικότητας με το όσο πλησιάζουμε προς την επιφάνεια είναι ομαλότερη από ότι στο διάγραμμα πριν τον επαναπροσδιορισμό. Στο διάγραμμα με τους προσδιορισμένους χρόνους μπορούμε να πούμε ότι είναι σχετικά πιο έντονη η σεισμικότητα που επικρατεί στα βάθη από 0 έως 2 km και στα βάθη από 4 έως 6 km.

3.2 Χρονική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας

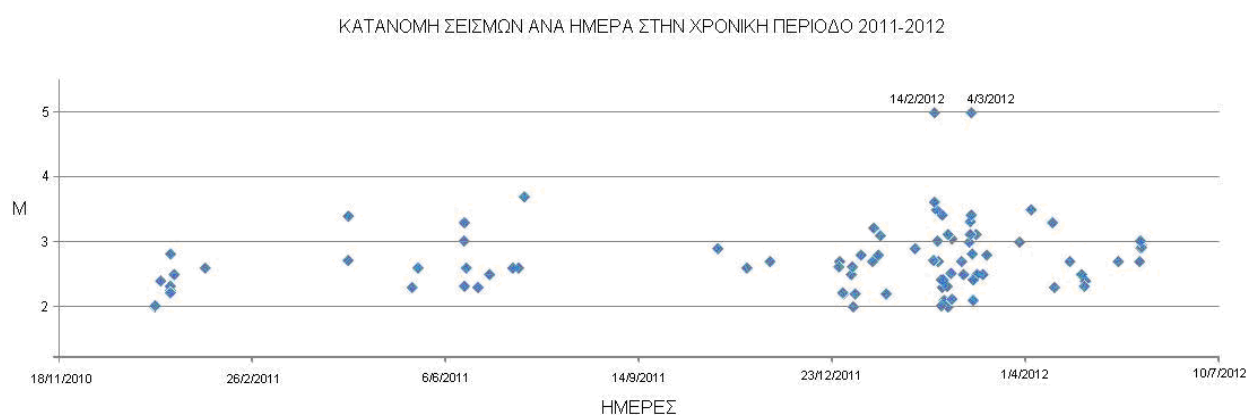
Τέλος, μελετήθηκε η κατανομή των σεισμών μέσα στον χρόνο. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για αυτή την επεξεργασία ένας κατάλογος σεισμών από το 1995. Ο κατάλογος αυτός βρέθηκε στα αρχεία του σεισμολογικού σταθμού του ΑΠΘ. Με αυτόν τον κατάλογο δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 17) που δείχνει την κατανομή των σεισμών ανά τα έτη, για την περιοχή στην οποία μελετάμε και την ακολουθία μας. Παρατηρούμε ότι επικρατεί έντονη σεισμικότητα κατά την διάρκεια του 2012.



Σχ.17. Χρονική κατανομή της σεισμικότητας από το 1995.

Επίσης, χρησιμοποιώντας τον κατάλογο που έγινε μετά τον επαναπροσδιορισμό των epicέντρων κατασκευάστηκε και το παρακάτω διάγραμμα (Σχ.18.). Και σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται το ότι στο 2012 επικρατεί στην περιοχή έντονη σεισμικότητα. Επίσης επειδή σε αυτό το διάγραμμα διακρίνονται καθαρά οι χρονικές λεπτομέρειες βάσει των οποίων μπορούμε να χωρίσουμε την σεισμική ακολουθία σε τρεις ομάδες

σύμφωνα με τον χρόνο που έγιναν οι διάφοροι σεισμοί. Η πρώτη ομάδα είναι οι σεισμοί από 27/12/2011 έως τις 20/1/2012. Η δεύτερη ομάδα σεισμών είναι από 4/2/2012 έως 12/3/2012, στην οποία περιέχονται και οι δύο μεγάλοι σεισμοί ($M=5$) της διπλής ακολουθίας. Η τρίτη περιέχει τους υπόλοιπους σεισμούς στο 2012, δηλαδή από το 29/3/2012 έως τις 31/5/2012. Αυτή θα μπορούσε να χωριστεί και σε μικρότερες υποομάδες επειδή οι σεισμοί δεν είναι τόσο συχνοί. Πιο συγκεκριμένα, να χωριστεί σε μια ομάδα που περιέχει τους σεισμούς από τις 29/3/2012 έως 2/5/2012 και μια άλλη από τις 19/5/2012 έως 31/5/2012. Αυτοί οι διαχωρισμοί έγιναν με βάση τα χρονικά κενά της σεισμικότητας μεταξύ των ομάδων αυτών.



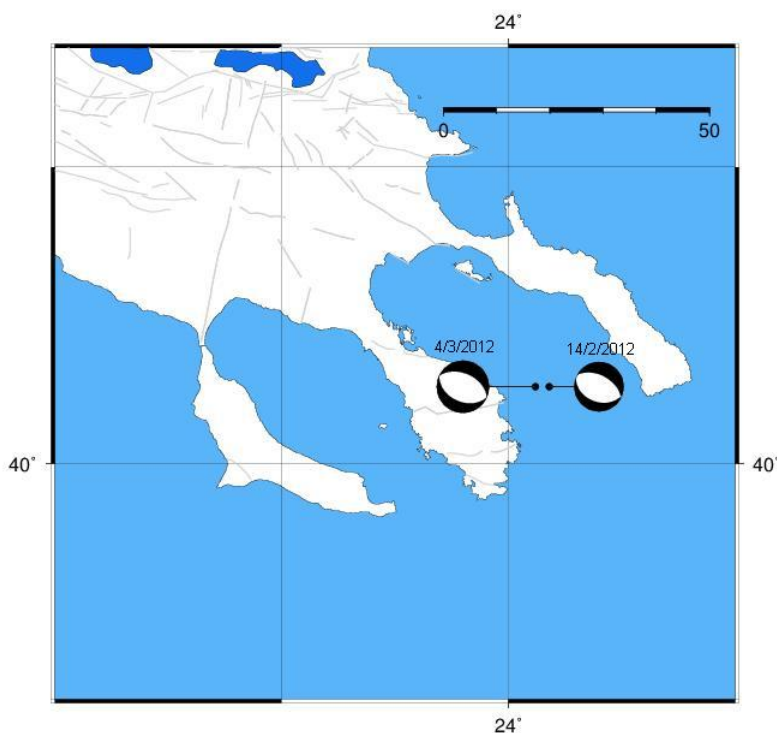
Σχ.18. Χρονική κατανομή των σεισμών των επεξεργασμένων δεδομένων ανά ημέρα από τις 1/1/2011 μέχρι τις 31/5/2012.

3.3 Σύνδεση της σεισμικής δραστηριότητας με ενεργά ρήγματα της περιοχής

Για να είναι δυνατή η συσχέτιση της συγκεκριμένης διπλής ακολουθίας με κάποιο ρήγμα θα πρέπει να ανατρέξουμε στον μηχανισμό γένεσης των σεισμών της ακολουθίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι μηχανισμοί γένεσης των δύο μεγαλύτερων σεισμών με μέγεθος 5, της 14/2/2013 και της 4/3/2013 (πίνακας 3). Τα δεδομένα των μηχανισμών γένεσης συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα του σεισμολογικού σταθμού του ΑΠΘ και φαίνονται παρακάτω όπως και οι ίδιοι οι μηχανισμοί γένεσης πάνω στον χάρτη (Σχ.19.).

Πίνακας 3: Πληροφορίες για τους μηχανισμούς γένεσης των κύριων σεισμών (Σεισμολογικός Σταθμός Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης).

DATE	TIME	Lat	Lon	Mw	Dep	Str1	Dip1	Rake1	Str2	Dip2	Rake2
20120214	13439	40.13	24.09	5.1	5	298	52	-85	109	38	-97
20120304	33108	40.13	24.06	5.1	4	294	48	-90	115	42	-90



Σχ.19. Μηχανισμοί γένεσης των δύο μεγαλύτερων σεισμών της διπλής σεισμικής ακολουθίας και την θέση των σεισμών στον χώρο. Με γκρι γραμμές συμβολίζονται τα ρήγματα της περιοχής.

Επίσης από τον χάρτη με την κατανομή της σεισμικής ακολουθίας όπως προαναφέρθηκε, διαπιστώνεται ότι οι σεισμοί αναπτύσσονται σε μια παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ, όπως προκύπτει και από τους μηχανισμούς γένεσης. Από την κατασκευή της κατακόρυφης τομής (Σχ.14.) δεν είναι δυνατή η παραγωγή σαφών αποτελεσμάτων για την κλίση του ρήγματος. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι οι σεισμοί με μέγεθος πάνω από 4 δείχνουν μια διεύθυνση κλίση προς τα ΒΒΑ. Εντωμεταξύ η παράταξη του ρήγματος της Βουρβουρούς και η διεύθυνση κλίσης συμπίπτουν με τα παραπάνω δεδομένα. Έτσι μπορεί να γίνει συσχέτιση της σεισμικής ακολουθίας με την ενεργοποίηση υποθαλάσσιου ρήγματος με τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτό της Βουρβουρούς.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η πρόσφατη σεισμικότητα στη θαλάσσια περιοχή της Χερσονήσου της Σιθωνίας (1/1/2008-31/5/2012). Για τον λόγο αυτό, συλλέχθηκαν δεδομένα φάσεων και με κατάλληλη επεξεργασία των σεισμών με σημαντικό αριθμό φάσεων, έγινε επαναπροσδιορισμός των επικέντρων. Συνοδά πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των σφαλμάτων των λύσεων και η κατανομή των μεγεθών των σεισμών. Τα δεδομένα που προκύψαν χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιοριστεί η κατανομή της σεισμικής ακολουθίας ως προς τον χώρο και το χρόνο και με απώτερο σκοπό την συσχέτιση με κάποιο ρήγμα.

Το αποτέλεσμα της εργασίας είναι ότι η σεισμική ακολουθία είναι διπλή αφού υπάρχουν δύο σεισμοί με μέγιστο μέγεθος 5.0. Τη σεισμική ακολουθία μπορούμε να την χωρίσουμε σε τρεις ομάδες σύμφωνα με την χρονική κατανομή της όπως έχει αναλυθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο: 1) 27/12/2011 -20/1/2012, 2) 4/2/2012 – 12/3/2012, 3) 29/3/2012 – 31/5/2012. Με την χωρική κατανομή με το βάθος παρατηρήσαμε ότι οι σεισμοί εντοπίζονται σε βάθος λιγότερο από 18 km, όπως περιγράψαμε παραπάνω.

Πραγματοποιήθηκε χωρική κατανομή της ακολουθίας στην επιφάνεια που σε συνδυασμό με τους μηχανισμούς γένεσης των δύο κύριων σεισμών και την τομή που πραγματοποιήθηκε διακρίνεται η ταύτιση των σεισμοτεκτονικών χαρακτηριστικών με εκείνα της ευρύτερης περιοχής. Οι παρατάξεις των μηχανισμών γένεσης και της κατανομής των κύριων σεισμών στην επιφάνεια συμπίπτουν με την παράταξη του ρήγματος της Βουρβουρούς, και πιθανώς είναι παρόμοια και η διεύθυνση κλίσης, για το λόγο αυτό δυνατή και η συσχέτιση της ακολουθίας με το ρήγμα και την προέκτασή του στο θαλάσσιο χώρο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ: Ο πίνακας αυτός είναι ο κατάλογος που προέκυψε μετά από την επεξεργασία των φάσεων, από το 2008, και μετά και τον επαναπροσδιορισμό των χρόνων άφιξης. Η πρώτη στήλη δείχνει το έτος που έγινε ο σεισμός, η δεύτερη στήλη τον χρόνο άφιξης καθώς και τον μήνα και την ημέρα που καταγράφηκε. Η Τρίτη και η τέταρτη δείχνουν τις συντεταγμένες του epicέντρου. Η πέμπτη δείχνει το βάθος που έγινε ο σεισμός. Η έκτη δηλώνει το μέγεθος. Η εντεκάτη, η δωδέκατη και η δέκατη τρίτη δείχνει τα σφάλματα RMS, ERZ, ERH αντίστοιχα.

2008	0317000627.03	39.882	23.897	12.67	3.0	17	94	50.7	0.26	0.6	2.9	C
2008	0324153623.48	39.850	23.805	13.18	3.4	19	89	55.7	0.40	1.0	3.8	D
2008	0605034636.17	40.237	23.360	8.44	3.5	14	81	16.8	0.15	0.5	2.1	B
2008	0807003131.78	40.010	23.632	7.49	2.6	21	73	46.6	0.27	0.6	2.3	C
2008	0906094825.82	39.850	23.823	0.01	3.0	19	109	55.3	0.23	0.6	0.9	C
2008	1016033854.21	39.990	23.647	7.92	3.0	15	74	46.0	0.10	0.4	7.1	C
2008	1030205600.59	40.093	24.106	11.35	3.3	19	89	28.8	0.17	0.5	1.6	C
2008	1215172024.98	39.970	23.708	0.72	2.8	17	110	46.6	0.16	0.5	0.8	C
2008	1215193102.24	39.966	23.759	7.91	2.6	25	80	44.9	0.28	0.6	8.5	C
2008	1227082703.16	40.150	24.015	0.02	4.4	24	82	20.7	0.25	0.5	0.8	C
2008	1227083259.82	40.159	23.977	1.55	2.5	19	80	19.5	0.10	0.4	1.5	B
2008	1227102055.35	40.161	23.965	3.83	2.4	16	84	19.2	0.26	0.8	4.1	C
2008	1227140320.60	40.176	23.985	1.84	2.9	17	81	17.6	0.10	0.4	1.3	B
2008	1227145905.29	40.161	23.977	1.95	2.5	20	80	19.2	0.13	0.4	1.5	B
2008	1227200921.39	40.147	24.003	0.03	4.5	27	82	20.9	0.28	0.4	0.9	C
2008	1228044107.63	40.162	23.961	4.65	2.5	16	79	19.2	0.11	0.4	2.9	C
2008	1229070756.67	40.163	23.987	4.38	2.7	22	80	19.0	0.10	0.3	1.7	B
2008	1230185948.60	40.154	23.981	3.33	2.3	19	84	20.0	0.09	0.3	1.9	B
2009	0101213836.81	40.153	23.984	5.44	3.2	17	80	20.1	0.09	0.3	1.6	B
2009	0203185006.15	40.178	23.993	1.09	2.5	23	81	17.3	0.21	0.4	1.4	C
2009	0215081828.36	40.158	23.974	4.50	3.0	18	80	19.6	0.11	0.4	2.2	C
2009	0311233736.78	40.189	24.024	0.03	2.3	20	83	16.5	0.20	0.4	0.9	C
2009	0513021744.50	40.175	23.958	4.56	2.0	20	79	17.7	0.09	0.3	1.7	B
2009	0523101229.90	40.144	23.868	5.40	2.6	19	150	23.2	0.16	0.6	3.2	C
2009	0701105435.52	39.974	24.046	11.74	4.1	19	96	40.4	0.22	0.5	1.6	C
2009	0703231014.80	39.968	24.049	8.63	3.6	23	96	41.1	0.17	0.4	2.6	C
2009	0703232431.91	39.967	24.047	12.16	4.0	21	96	41.1	0.18	0.5	1.3	C
2009	0707182036.56	39.973	24.027	4.69	2.6	23	95	40.3	0.25	0.5	3.0	C
2009	0801160413.00	40.168	23.985	3.03	2.2	16	80	18.5	0.09	0.4	2.0	C
2009	0804231521.84	39.981	24.044	8.44	1.9	25	94	39.6	0.27	0.5	2.9	C
2009	0809171924.53	39.930	23.726	0.02	2.5	23	80	49.8	0.22	0.5	0.7	C
2009	0809210811.36	39.976	24.021	12.76	2.5	23	94	39.9	0.12	0.3	1.3	B
2009	0811022917.65	39.939	23.699	0.88	2.5	19	139	49.9	0.11	0.4	0.5	B
2009	0811023221.59	39.936	23.720	0.01	2.6	21	141	49.4	0.20	0.5	0.8	C
2009	0811023440.30	39.934	23.715	1.75	3.1	19	79	49.7	0.11	0.4	1.1	B
2009	0811024059.69	39.929	23.728	0.02	3.0	21	80	49.8	0.14	0.4	0.7	B
2009	0811032606.51	39.924	23.726	0.04	2.3	18	108	50.4	0.27	0.6	0.9	C
2009	0811062631.97	39.933	23.745	0.04	2.9	24	81	48.8	0.33	0.6	0.9	C
2009	0811200129.65	39.951	23.717	0.06	2.2	19	106	48.0	0.13	0.5	0.7	B
2009	0812072154.28	39.946	23.702	0.51	2.6	18	106	49.1	0.10	0.4	0.6	B
2009	0812085052.25	39.929	23.726	7.54	2.6	16	108	49.9	0.16	0.6	5.1	C
2009	0816005958.01	39.936	23.709	11.58	2.5	19	105	49.8	0.13	0.5	3.6	C
2009	0824073319.84	40.157	23.987	9.32	2.2	19	80	19.7	0.23	0.5	1.8	C
2009	0824123727.31	40.163	23.960	6.29	2.2	17	82	19.1	0.14	0.5	2.8	C
2009	0831011413.37	40.158	23.984	9.29	3.2	22	80	19.6	0.16	0.4	1.2	C
2009	0831014100.62	40.158	24.000	11.49	3.2	28	81	19.7	0.21	0.4	1.6	B
2009	1001065144.30	39.930	23.728	0.02	2.3	22	80	49.7	0.24	0.6	0.9	C
2009	1001214133.30	39.947	23.749	3.47	2.2	21	80	47.2	0.22	0.5	2.2	C
2009	1007234440.02	39.886	24.460	9.29	2.6	19	125	61.9	0.17	0.4	1.6	C
2009	1106045434.88	40.046	24.261	13.81	2.0	22	115	40.0	0.37	0.8	1.6	C
2009	1126235102.46	39.959	23.948	13.11	3.8	24	91	41.7	0.20	0.5	1.7	C
2010	0113235704.17	40.142	23.983	1.29	2.6	19	160	21.3	0.09	0.4	1.2	B
2010	0116191343.65	40.145	23.970	3.48	2.1	17	160	21.0	0.17	0.6	2.8	C
2010	0609184921.77	40.262	23.977	6.42	2.0	14	175	8.0	0.08	0.5	0.8	B
2010	0609223300.20	40.261	23.972	5.89	1.8	13	176	8.2	0.14	0.7	0.9	B
2010	0612031512.11	40.162	23.986	2.59	2.7	21	80	19.1	0.13	0.3	0.9	B
2010	0621224103.88	39.946	23.316	3.27	2.8	18	98	65.3	0.19	0.6	3.2	C
2010	0625045106.51	39.956	23.310	5.52	2.5	24	97	47.8	0.22	0.6	5.1	C
2010	0625072555.51	40.067	23.331	15.70	2.4	21	93	35.4	0.15	0.5	1.3	B
2010	0709004836.68	40.331	23.307	5.44	2.6	25	95	12.7	0.19	0.4	1.4	C

2010	0724040751.68	40.191	23.969	5.95	2.9	21	80	15.9	0.11	0.4	1.7	B
2010	0816184158.93	40.007	24.260	16.24	2.7	19	102	43.4	0.29	0.6	1.3	C
2010	0910014428.92	39.961	24.291	11.95	3.3	20	109	49.2	0.19	0.5	1.0	C
2010	0926033427.17	39.985	24.307	8.94	3.3	24	106	47.8	0.17	0.4	1.7	C
2010	0926034935.88	39.995	24.277	12.51	2.5	27	104	45.4	0.22	0.4	1.0	C
2010	1026060015.22	39.922	23.733	3.21	3.2	25	90	50.3	0.20	0.5	2.0	C
2010	1115153952.21	40.241	23.482	13.79	3.0	23	108	15.0	0.13	0.4	0.8	B
2010	1119005148.13	40.235	23.855	2.45	2.0	26	74	15.2	0.38	0.7	2.4	C
2011	0107135507.54	39.991	23.648	1.79	2.0	19	131	45.9	0.10	0.4	1.1	B
2011	0110234601.82	39.830	24.220	15.79	2.4	20	118	59.7	0.22	0.5	1.0	C
2011	0115142827.72	40.120	24.129	2.89	2.3	16	88	27.0	0.17	0.6	3.9	C
2011	0115163710.70	39.989	23.675	8.89	2.3	20	135	46.3	0.16	0.5	3.4	C
2011	0115170345.07	40.002	23.663	9.19	2.2	19	97	45.2	0.16	0.4	3.0	C
2011	0115174854.13	39.993	23.688	11.86	2.8	23	75	45.3	0.19	0.5	4.3	C
2011	0117003307.28	40.126	24.139	1.46	2.5	20	87	26.8	0.19	0.5	2.1	C
2011	0202203421.55	40.005	23.696	18.04	2.6	18	137	43.8	0.11	0.5	1.1	B
2011	0417115504.54	39.968	23.414	9.62	3.4	25	67	45.1	0.20	0.6	2.0	C
2011	0417155003.57	39.966	23.427	4.36	2.7	26	108	45.3	0.18	0.5	3.5	C
2011	0520191303.42	39.926	23.453	11.44	2.3	21	112	49.7	0.22	0.6	2.0	C
2011	0523200750.85	40.066	23.789	3.06	2.6	16	181	33.9	0.09	0.4	2.3	C
2011	0616022047.12	39.969	23.763	9.78	3.3	19	104	44.6	0.29	0.8	5.2	C
2011	0616022742.61	39.979	23.757	17.45	3.0	17	103	43.8	0.27	0.9	1.6	C
2011	0616024420.62	39.976	23.738	3.34	2.3	15	102	44.8	0.15	0.6	3.8	C
2011	0617153645.94	39.955	23.430	10.27	2.6	23	107	46.6	0.16	0.5	2.2	C
2011	0623142845.06	39.973	23.715	3.55	2.3	18	101	46.0	0.18	0.5	2.2	C
2011	0629002115.21	40.380	24.007	1.50	2.5	13	89	5.6	0.10	0.8	2.4	B
2011	0711041056.57	39.971	23.417	7.60	2.6	25	106	44.8	0.16	0.4	3.0	C
2011	0714065132.28	39.942	23.354	10.91	2.6	20	102	48.6	0.12	0.4	1.5	B
2011	0717000043.55	39.952	23.947	11.54	3.7	23	92	42.5	0.18	0.5	2.0	C
2011	1025023706.81	39.943	23.370	10.12	2.9	24	83	48.2	0.11	0.4	1.3	B
2011	1109043659.70	39.972	23.828	17.49	2.6	18	107	42.2	0.18	0.6	1.1	C
2011	1121110226.92	40.243	23.421	11.80	2.7	18	115	14.6	0.10	0.4	0.9	B
2011	1227032509.91	40.172	24.052	3.75	2.7	17	98	19.0	0.09	0.3	1.9	B
2011	1227143746.57	40.167	24.043	5.78	2.6	20	99	19.3	0.16	0.3	1.5	C
2011	1229181747.96	39.992	23.647	6.84	2.2	18	96	45.8	0.19	0.6	5.4	C
2012	0102212736.39	40.166	24.068	0.67	2.5	27	100	20.1	0.36	0.6	1.0	C
2012	0103021825.18	40.181	24.037	4.68	2.0	19	109	17.7	0.12	0.3	1.8	B
2012	0103085427.15	40.181	24.029	7.11	2.6	20	97	17.5	0.15	0.4	1.5	B
2012	0104010053.51	40.188	24.039	8.34	2.2	20	109	17.0	0.12	0.3	1.3	B
2012	0107132035.19	39.926	24.059	15.22	2.8	21	121	45.8	0.21	0.5	1.0	C
2012	0113180747.08	40.181	24.037	5.14	2.7	19	112	17.6	0.10	0.4	1.6	B
2012	0116121646.81	40.173	24.052	5.42	2.8	24	98	19.0	0.23	0.5	1.9	C
2012	0117025719.74	40.171	24.058	8.16	3.1	24	98	19.3	0.14	0.4	1.6	B
2012	0120081255.20	40.177	24.043	3.71	2.2	14	98	18.3	0.13	0.6	3.0	C
2012	0204102247.41	39.833	24.412	20.76	2.9	16	146	66.4	0.12	0.4	0.9	C
2012	0214013439.89	40.150	24.066	6.12	5.0	25	100	58.4	0.15	0.4	1.4	C
2012	0214014011.74	40.170	24.027	10.29	3.2	19	110	54.4	0.16	0.4	2.4	C
2012	0214075711.89	40.151	24.039	6.05	2.7	21	100	56.3	0.16	0.4	1.5	C
2012	0214120813.42	40.151	24.042	8.25	3.6	29	100	56.4	0.17	0.4	1.2	C
2012	0215152331.21	40.163	24.049	6.66	3.5	25	99	56.4	0.13	0.3	1.2	C
2012	0216172003.17	40.164	24.029	8.52	2.7	18	114	54.8	0.13	0.4	1.3	C
2012	0216235954.14	40.163	24.016	5.64	3.0	23	98	53.9	0.21	0.5	1.9	C
2012	0218112209.00	40.169	24.035	4.02	2.3	25	98	55.1	0.21	0.5	2.6	C
2012	0218214904.26	40.146	24.041	6.13	3.4	27	100	56.6	0.23	0.5	1.5	C
2012	0218233733.49	40.053	24.476	15.78	2.0	17	117	62.8	0.26	0.7	1.4	C
2012	0219212324.37	40.142	24.030	7.10	2.1	21	100	56.0	0.16	0.5	1.5	C
2012	0219212527.60	40.141	24.027	6.29	2.4	26	101	55.8	0.19	0.4	1.3	C
2012	0221022633.75	40.149	24.034	6.46	2.0	17	100	55.9	0.16	0.5	1.8	C
2012	0221160240.46	40.149	24.031	4.83	2.3	22	100	55.7	0.15	0.4	1.6	C
2012	0221163151.15	40.160	24.046	4.33	3.1	29	99	56.3	0.19	0.4	2.0	C

2012	0223010125.95	40.160	24.025	4.16	3.1	19	98	19.7	0.15	0.5	2.8	C
2012	0223182722.35	40.202	24.014	4.12	2.5	15	110	14.9	0.08	0.4	2.1	C
2012	0223210141.40	40.173	24.038	5.76	3.1	20	98	18.6	0.18	0.4	1.8	C
2012	0228233908.73	40.017	24.269	13.58	2.7	24	118	43.0	0.26	0.5	1.1	C
2012	0229130151.34	40.025	24.298	9.51	2.5	20	118	43.8	0.24	0.6	2.3	C
2012	0303204748.12	40.168	24.025	5.34	3.0	19	98	18.8	0.13	0.4	1.7	B
2012	0304033109.03	40.152	24.029	2.21	5.0	21	100	20.7	0.10	0.3	1.0	B
2012	0304074158.14	40.182	24.036	4.51	3.3	22	109	17.6	0.16	0.4	2.3	C
2012	0304074518.34	40.197	24.017	2.35	3.4	16	110	15.5	0.10	0.4	0.9	B
2012	0304180058.44	40.191	24.037	7.01	3.1	17	108	16.6	0.11	0.4	1.4	B
2012	0305003025.57	40.178	23.996	5.82	2.1	21	97	17.4	0.12	0.4	1.5	B
2012	0305100608.36	40.162	24.015	7.76	2.8	21	111	19.4	0.13	0.4	1.3	B
2012	0305140347.18	40.155	24.041	0.08	2.4	19	100	20.5	0.11	0.4	0.7	B
2012	0307060009.30	40.158	24.008	4.62	2.5	19	111	19.7	0.10	0.4	2.0	C
2012	0307122900.55	40.180	23.993	4.50	3.1	20	97	17.1	0.12	0.4	1.7	B
2012	0310145921.75	40.125	24.077	0.10	2.5	19	119	24.7	0.12	0.4	0.9	B
2012	0312093532.20	40.171	23.983	0.92	2.8	18	190	18.1	0.13	0.5	0.7	C
2012	0329201704.57	40.181	23.984	7.37	3.0	21	96	17.1	0.13	0.4	1.3	B
2012	0404102103.46	40.186	23.975	3.21	3.5	18	96	16.4	0.14	0.4	1.1	B
2012	0415020525.99	40.167	24.001	2.70	3.3	24	97	52.5	0.29	0.6	2.7	C
2012	0416141436.43	40.159	24.015	5.56	2.3	21	99	54.0	0.19	0.5	2.2	C
2012	0420202503.06	40.158	24.052	4.71	2.7	23	112	56.9	0.14	0.4	1.3	C
2012	0430032938.19	40.136	24.049	1.02	2.5	23	102	22.8	0.15	0.4	1.3	B
2012	0502012920.45	40.144	23.897	10.26	2.4	21	96	22.2	0.13	0.4	1.8	B
2012	0502152614.33	40.168	23.968	0.09	2.3	12	97	18.5	0.10	0.6	1.4	B
2012	0519140504.21	40.167	24.028	2.88	2.7	18	112	19.0	0.08	0.3	1.0	B
2012	0530161800.11	40.145	24.023	0.52	2.7	19	110	21.3	0.11	0.3	0.6	B
2012	0531045653.46	40.145	24.088	7.44	3.0	24	113	23.0	0.10	0.3	1.4	B
2012	0531103800.92	40.137	24.074	2.34	2.9	23	112	23.4	0.17	0.4	2.2	C
2012	0531172540.60	40.138	24.086	7.05	3.0	19	114	23.6	0.14	0.4	1.9	B

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gautier P., Brun J.-P., Moriceau R., Sokoutis D., Martinod J., Jolivet L., 1999. Timing, kinematics and cause of Aegean extension: a scenario based on a comparison with simple analogue experiments. *Tectonophysics* 315, 31–72.
- Karakostas, V. G. and Papadimitriou, E. E., 2010. Fault complexity associated with the 14 August 2003 Mw6.2 Lefkada, Greece, aftershock sequence. *Acta Geophysica*, 58, doi: 10.2478/s11600-010-0009-6.
- Karakostas, V. G., Papadimitriou, E. E., Karakaisis, G. F., Papazachos, C. B., Scordilis, E. M., Vargemezis, G. and Aidona, E., 2003. The 2001 Skyros, Northern Aegean, Greece, earthquake sequence: off-fault aftershocks, tectonic implications, and seismicity triggering, *Geophys. Res. Lett.*, 30, doi:10.1029/2002GL15814.
- Klein, F. W., 2002. “User’s Guide to HYPOINVERSE–2000, a Fortran Program to Solve Earthquake Locations and Magnitudes”, *U. S. Geol. Surv. Open File Report 02–171 Version 1.0*.
- McKenzie, 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters*.
- Mountrakis, D., Tranos, M., C. Papazachos, c. Thomaidou, E., Karagianni, E., Vamvakaris, D., 2006. Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress regimes of Northern Greece. *Geological Society Special Publications*.
- Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, B.C., 1985. Travel times of Pn waves in the Aegean and surrounding area. *Geophys J R Astron. Soc.* 80, 165-176.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E., 1970. Geophysical features of the Greek Island Arc and Eastern Mediterranean Ridge. *Com. Ren. Des Seances de la Conference Reunie a Madrid*.
- Papazachos, B. C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C. B. and Karakaisis, G. F., 2004. Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquake. *Proc. 10th International Congress of the Geological Society of Greece*, 1482-1489.
- Schattner U., 2010. What triggered the early-to-mid Pleistocene tectonic transition across the entire eastern Mediterranean? *Earth and Planetary Science Letters*.

- Tranos, M. D. 1998. Contribution to the study of the neotectonic deformation in the region of Central Macedonia and North Aegean. PhD thesis, University of Thessaloniki (in Greek with extended English summary).
- Καρακώστας, Β., 2008. Επαναπροσδιορισμός των εστιακών παραμέτρων των μετασεισμών της Λευκάδας: Σεισμοτεκτονικές προεκτάσεις. *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου 2008*.
- Μουντράκης, Μ.Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio, 5-373.
- Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ., 2002. Οι Σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, 5-286.
- <http://geophysics.geo.auth.gr/ss/> Σεισμολογικός Σταθμός Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.