

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σεισμοτεκτονική ανάλυση του χώρου  
της Θεσσαλίας

Χατζής Νικόλαος (4724)

Επιβλέπουσα: Παπαδημητρίου Ελευθερία  
Καθ. Σεισμολογίας

Συνεπίβλεψη: Γκαρλαούνη Χαρά, Υποψ. Δρ.

Θεσσαλονίκη 2015



# Πρόλογος

Στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, πραγματοποιείται η πτυχιακή εργασία, με τίτλο “ Σεισμοτεκτονική Ανάλυση του χώρου της Θεσσαλίας “. Πραγματοποιείται αρχικά η ανασκόπηση των κύριων αιτιών που επιδρούν και διαμορφώνουν την ενεργό τεκτονική του χώρου της Θεσσαλίας, με βάση το γενικότερο σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας, καθώς και σε τοπική κλίμακα, με σκοπό την συμβολή στον καθορισμό των σεισμοτεκτονικών ιδιοτήτων της περιοχής. Στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας αυτής, πραγματοποιείται καθορισμός των μηχανισμών γένεσης σεισμών που έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 2007 – 2014, με βάση την μέθοδο των πρώτων αφίξεων των επιμήκων κυμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο “ Εισαγωγή “, γίνεται μία σύντομη γενική περιγραφή του σκοπού της εργασίας, για το γενικότερο ενεργό σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας, με περιγραφή της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών και την επίδρασή της στις σεισμοτεκτονικές ιδιότητες της Θεσσαλίας. Περιγράφονται ομάδες ρηγμάτων, καθώς και η σεισμικότητα της περιοχής, από το 16ο αιώνα και οι μηχανισμοί γένεσης, που αφορούν ιστορικούς σεισμούς μέχρι σήμερα. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η μέθοδος καθορισμού του μηχανισμού γένεσης ενός σεισμού με βάση τις πρώτες αφίξεις των επιμήκων κυμάτων, που χρησιμοποιήθηκε, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα λογισμικά για τον καθορισμό των μηχανισμών γένεσης. Στο τρίτο κεφάλαιο, καθορισμό των μηχανισμών γένεσης, για σεισμούς στον χώρο της Θεσσαλίας, για το χρονικό διάστημα 2007-2014, καθώς και η περιγραφή και αξιολόγησή τους. Τέλος, η βιβλιογραφία και δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από την χρήση λογισμικού προγράμματος σε υπολογιστή.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη καθηγήτρια μου, Ελευθερία Παπαδημητρίου, για την καθοδήγηση και την δυνατότητα να εργαστώ στην παρούσα πτυχιακή, καθώς και για την πρόσβαση στον Σεισμολογικό Σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την απόκτηση των σεισμικών δεδομένων, που χρειαζόμουν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διδακτορική Φοιτήτρια Σεισμολογίας Χαρά Γκαρλαούνη, που η βοήθεια και συμβολή της στην εργασία μου, ήταν πολύτιμη.

Θεσσαλονίκη 2015

Νικόλαος Χατζής



# **Περιεχόμενα**

## **Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή**

- 1.1 Το ενεργό σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας.....σελ.5
- 1.2 Το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Θεσσαλίας.....σελ.6
- 1.3 Σεισμικότητα και παράμετροι ρηγμάτων επιφανειακών σεισμών,  $M \geq 6$ , από τους ιστορικούς χρόνους (480 π.Χ.) μέχρι σήμερα, της περιοχής της Θεσσαλίας. Ενεργές και ανενεργές περίοδοι έντονης σεισμικότητας.....σελ.8

## **Κεφάλαιο 2 Δεδομένα, μεθοδολογία και επεξεργασία**

- 2.1 Εισαγωγή.....σελ.11
- 2.2 Δεδομένα.....σελ.12
- 2.3 Επεξεργασία δεδομένων .....σελ.13

## **Κεφάλαιο 3 Καθορισμός των μηχανισμών γένεσης**

- 3.1 Αναλυτική περιγραφή και παρουσίαση αποτελεσμάτων .....σελ.15

## **Βιβλιογραφία σελ.34**

## **Παραρτήματα σελ.36**



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των σεισμοτεκτονικών ιδιοτήτων της περιοχής της Θεσσαλίας με βάση τον υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης για τους σεισμούς που έγιναν τα τελευταία χρόνια στο χώρο αυτό, με την μέθοδο των πρώτων αφίξεων των επιμήκων κυμάτων και για τους οποίους υπήρχαν επαρκή δεδομένα παρατήρησης.

Για την καλύτερη κατανόηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, περιγράφεται αρχικά το γενικό ενεργό Σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας, το οποίο επηρεάζει με έμμεσο τρόπο την σεισμικότητα της Θεσσαλίας. Περιγράφεται το ενεργό σεισμοτεκτονικό καθεστώς του χώρου της Θεσσαλίας, με βάση τους σεισμούς που έγιναν από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι τις πιο πρόσφατες έρευνες, έτσι ώστε να αξιολογηθούν, να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν οι μηχανισμοί γένεσης με τα σημαντικά ενεργά ρήγματα του χώρου αυτού.

### 1.1. Το ενεργό σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας

Ο ευρύτερος χώρος περιλαμβάνει την μικρό-πλάκα του Αιγαίου, η οποία ανήκει στην Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρασιατικής-Μελανησιακής Ζώνης Διάρρηξης. Η Ευρασιατική, η Αφρικανική και η Αραβική είναι οι μεγαλύτερες λιθοσφαιρικές πλάκες, που επηρεάζουν την ενεργό τεκτονική της Ελλάδας (Σχήμα 1.1.)

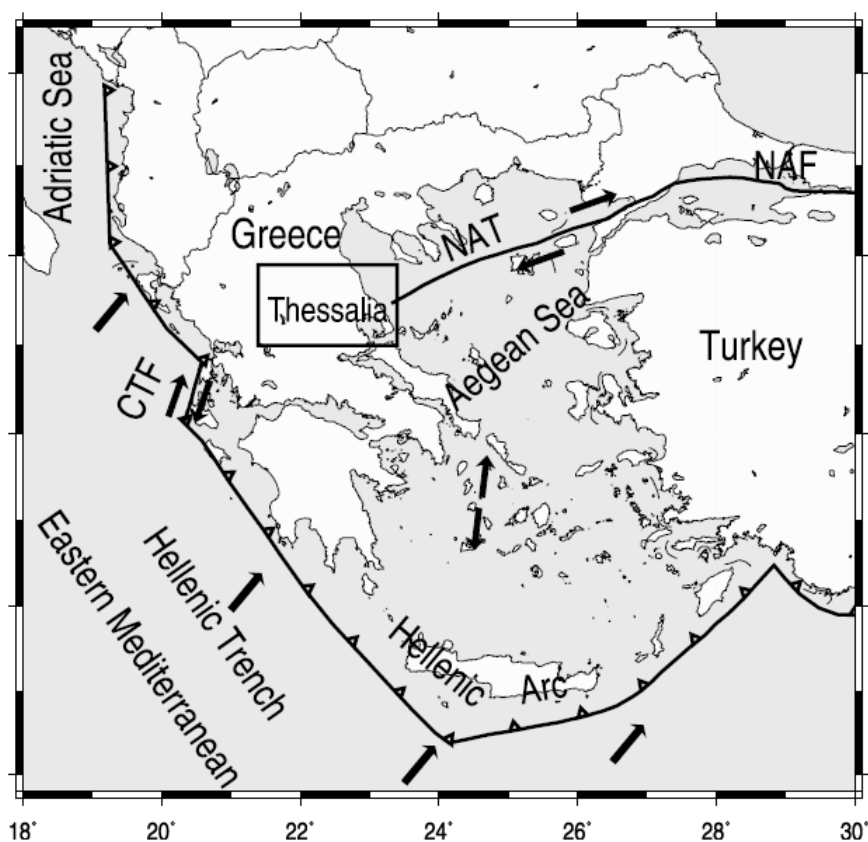


Σχ. 1.1. Το γεωδυναμικό μοντέλο του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου. (Parazachos et al. 1998)

Η λιθόσφαιρα του Αιγαίου κινείται με ΝΔ κατεύθυνση και συγκλίνει στο νότιο όριό της με την ωκεάνια λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου, η οποία αποτελεί το μπροστινό

τμήμα της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Η τελευταία βυθίζεται κάτω από την πλάκα Αιγαίου, κατά την διεύθυνση B-N, με ταχύτητα σύγκλισης 1cm/yr, ενώ η λιθόσφαιρα του Αιγαίου κινείται με 4.5 cm/yr σε σχέση με την Αφρική. Το αποτέλεσμα της σύγκλισης είναι η δημιουργία ανάστροφων ρηγμάτων κατά μήκος της Ελληνικής Τάφρου της Ζώνης Κατάδυσης, που η μέση κατεύθυνση ολίσθησης των ρηγμάτων, βρίσκεται σε συμφωνία με την κατεύθυνση κίνησης της πλάκας του Αιγαίου, (Σχήμα 1.1).

Στο ανατολικό όριο της λιθόσφαιρας του Αιγαίου, βρίσκεται η μικρο-πλάκα της Ανατολίας. Αυτή, επηρεάζεται από την πλάκα της Αραβίας, η οποία, κινείται με B-BA κατεύθυνση, με ταχύτητα κίνησης στα βόρεια όριά της 2.5cm/yr, όπου σπρώχνει την Ανατολία προς τα δυτικά, κατά μήκος του Ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (North Anatolian Fault, NAF), το οποίο είναι ένα δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, με



**Σχ. 1.2.** Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. (Papadimitriou and Karakostas 2003).

αποτέλεσμα να περιστρέφεται η Ανατολία αριστερόστροφα σε σχέση με την Ευρασία με γωνιακή ταχύτητα 1.5°/Myr (Oral et al. 1995, Papazachos 1999). Η συνέχιση του NAF στην Ελλάδα είναι η τάφρος του βορείου Αιγαίου (North Aegean Trough, NAT, Σχ. 1.2), το οποίο αποτελεί το βόρειο όριο της λιθόσφαιρας του Αιγαίου με την Ευρασιατική πλάκα και μπορεί να συνεχίζεται στην κεντρική Ελλάδα με κανονική ολίσθηση και να καταλήγει στον Αμβρακικό κόλπο του Ιονίου πελάγους, όπου αποτελεί τριπλό σημείο των λιθοσφαιρικών πλακών της Ευρασίας, του Αιγαίου και της Απουλίας (King et al. 1993). Η προς δυσμάς κίνηση της πλάκας της Ανατολίας, έχει ως αποτέλεσμα την ώθηση της λιθόσφαιρας του Αιγαίου, η οποία κινείται προς τα ΝΔ, απομακρύνοντας την από την Ανατολία και την Ευρασία. Ως αποτέλεσμα της απομάκρυνσης της πλάκας του Αιγαίου, είναι η επέκταση της



λιθόσφαιράς της, κατά διεύθυνση B-N, δημιουργώντας εφελκυστικό πεδίο τάσεων κατά την διεύθυνση αυτή με κανονικά ρήγματα (Σχ. 1.2).

Το βορειοδυτικό όριο της λιθοσφαιρικής πλάκας του Αιγαίου, είναι το ρήγμα μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (CTF, Σχ. 1.2, Sordilis et al. 1985, Papazachos et al. 1994). Πρόκειται, για ένα δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, με ταχύτητα ολίσθησης 3cm/yr, το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την ΝΔ κίνηση της πλάκας του Αιγαίου. Η Απουλία μικροπλάκα θεωρείται, ως προέκταση της Αφρικανικής λιθόσφαιρας, που βρίσκεται δυτικά της Ελλάδας και περιστρέφεται αριστερόστροφα. Αυτή η περιστροφή, έχει ως συνέπεια, την σύγκλισή της με την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα κατά μήκος των ανατολικών ακτών της Αδριατικής και του βορείου Ιονίου Πελάγους με την γένεση σεισμών πάνω σε ανάστροφα ρήγματα. Η δεξιόστροφη κίνηση του ρήματος της Κεφαλονιάς, βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την αριστερόστροφη περιστροφή της Απουλίας μικροπλάκας.

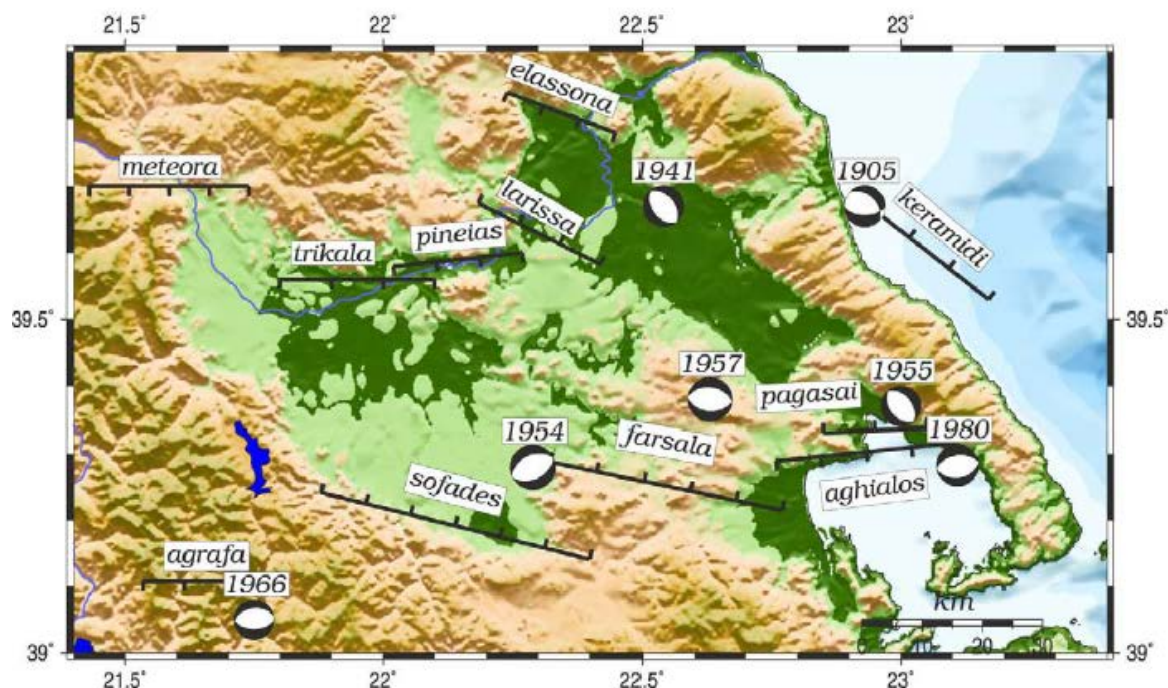
## **1.2. Το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Θεσσαλίας**

Ο ευρύτερος χώρος της Θεσσαλίας αποτελεί τμήμα της λιθόσφαιρας του Αιγαίου, όπου ασκούνται εφελκυστικές τεκτονικές δυνάμεις κατά τη διεύθυνση B-N. Ο μέσος ρυθμός (παραμόρφωσης) επέκτασης κατά τη διεύθυνση B-N είναι περίπου 1 cm/yr. Πρόκειται για περιοχή που αποτελείται από πολλά παράλληλα κανονικά συνθετικά και αντιθετικά ρήγματα, μεγάλης γωνίας κλίσης, που οριοθετούν τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες της. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα ενεργά ρήγματα της περιοχής, που έδωσαν ισχυρούς σεισμούς ( $M \geq 6$ ) και καθορίστηκαν με σεισμολογικές και γεωλογικές παρατηρήσεις (Papazachos et al. 2001).

Στην περιοχή της έρευνας, διακρίνονται δύο συστήματα κανονικών ρηγμάτων παράταξης ΒΔ-ΝΑ (Caputo and Pavlides, 1993) και Α-Δ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ (Papazachos et al. 2001). Η πρώτη ομάδα, είναι στο βόρειο τμήμα της Θεσσαλίας κατά μήκος του Πηνειού και περιλαμβάνει σχετικά, μικρά ρήγματα, που δίνουν σεισμούς μέχρι μεγέθους 6.5. Η δεύτερη, με μεγαλύτερα ρήγματα κατά μήκος των νότιων παρυφών της Θεσσαλικής πεδιάδας, που δίνουν σεισμούς με μεγέθη που φτάνουν  $M=7$ . Το μεγαλύτερο γνωστό ρήγμα της Θεσσαλίας, είναι αυτό των Σοφάδων, με μήκος περίπου 50 χιλιόμετρα, στο οποίο έγινε ο σεισμός της 30<sup>ης</sup> Απριλίου 1954, ο οποίος είχε μέγεθος  $M=7$ .

Ένα παλιό ρήγμα δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης, παρατηρείται κατά μήκος της ζώνης ρηγμάτων. Κατά την διάρκεια της Μειόκαινου, έλαβαν χώρα δύο επαναδραστηριοποιήσεις δεξιόστροφων διαρρήξεων. Η πρώτη, είχε ως αποτέλεσμα ΒΔ-ΝΑ επέκταση, ενώ η δεύτερη, είναι η πρόσφατη επαναδραστηριοποίηση της ζώνης ρηγμάτων λόγω της B-N επέκτασης της εσωτερικής περιοχής του Αιγαίου στο Μέσο-Πλειστόκαινο. Η γεωμετρία και η δεξιόστροφη κίνηση, υποδηλώνουν μια πιθανή αρχική σύνδεση της δυτικής επέκτασης από το ρήγμα της βόρειας Ανατολίας (NAF) με την νότια ζώνη ρηγμάτων στην Θεσσαλία στο Μειόκαινο. Αυτό, ίσως αποτελεί ένα ενεργό περιθώριο και γι' αυτό το λόγο, εμφανίζονται μεγαλύτεροι σεισμοί στο νότιο όριο, παρά στο βόρειο. Από τα δύο τελευταία τεκτονικά γεγονότα, δημιουργήθηκαν εφελκυστικά κανονικά ρήγματα (Mountrakis et. al. 1993). Το πρώτο, δημιούργησε ρήγματα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, που είναι κυρίαρχη στην τοπική κλίμακα αλλά δεν είναι καλά προσδιορισμένη από μεγάλα κανονικά

ρήγματα, παρόλο που η λεκάνη της Θεσσαλίας δημιουργήθηκε από αυτήν την σειρά ρηγμάτων. Το δεύτερο, δημιούργησε το σύστημα ρηγμάτων παράταξης Α-Δ και ΑΝΑ-ΔΒΔ και παρατηρούνται καθαρά με επιφανειακό ίχνος. Πολλά ρήγματα, που ανήκουν στην δεύτερη ομάδα έχουν αναφερθεί σε Άνω Πλειστοκαινικές-Ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις, το οποίο δείχνει εξαιρετικά πρόσφατες κινήσεις οι οποίες παρεμβάλλονται πάνω στις ΒΔ-ΝΑ δομές, που κληρονομούνται από προηγούμενες τεκτονικές φάσεις (Demitrack 1985). Σεισμολογικά στοιχεία, δείχνουν ότι ισχυροί σεισμοί παρουσιάζονται και στα δύο συστήματα ρηγμάτων, αφού σε ένα ενεργό πεδίο τάσεων, είναι πιθανό δομές, με διαφορετικές κατευθύνσεις να επαναδραστηριοποιηθούν.



**Σχ. 1.3.** Τα κύρια ρήγματα στην περιοχή της Θεσσαλίας που έδωσαν σημαντικούς σεισμούς ( $M \geq 6$ ). Πάνω στους μηχανισμούς γένεσης αναγράφεται η αντίστοιχη χρονολογία εμφάνισης του σεισμού. Στο σχήμα διακρίνονται οι δυο ομάδες κανονικών ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ και Δ-Α μέχρι ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξης. (Paradimitriou and Karakostas 2003)

### **1.3. Σεισμικότητα και παράμετροι ρηγμάτων επιφανειακών σεισμών, $M \geq 6$ , από τους ιστορικούς χρόνους (480 π.Χ.) μέχρι σήμερα, της περιοχής της Θεσσαλίας. Ενεργές και ανενεργές περιόδους έντονης σεισμικότητας.**

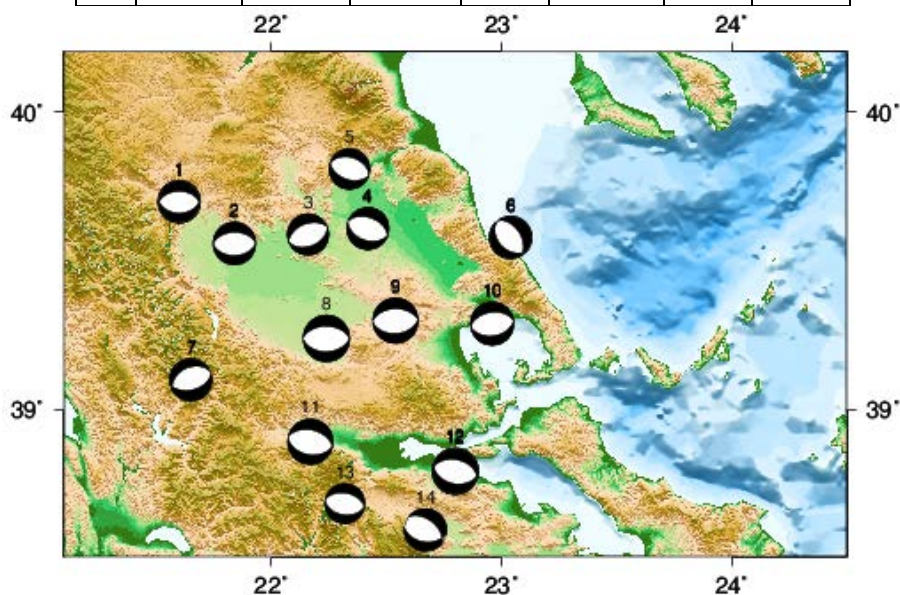
Για την πλήρη μελέτη και κατανόηση των σεισμοτεκτονικών ιδιοτήτων της Θεσσαλίας, δίνεται η σεισμικότητα της, από επιφανειακούς σεισμούς, από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα μαζί με τα στοιχεία. Στον πίνακα 1.1 δίνονται οι παράμετροι των ρηγμάτων τα οποία συνδέονται με ισχυρούς σεισμούς ( $M \geq 6.0$ ), από το 480 π.Χ. μέχρι σήμερα και τα έτη γένεσής τους, καθώς και τα μεγέθη των ισχυρών σεισμών, που έγιναν σε κάθε ρήγμα (Parazachos et al. 2001). Όπου  $\phi$  και  $\lambda$  οι γεωγραφικές συντεταγμένες,  $\zeta$ ,  $\theta$  και  $\lambda$  το αζιμούθιο, η κλίση και η γωνία ολίσθησης αντίστοιχα,  $M$  το μέγεθος του σεισμού και  $N$  η αντίστοιχη αρίθμηση στο πάνω μέρος των μηχανισμών γένεσης στο σχήμα 1.5. Οι

μηχανισμοί γένεσης, που προκύπτουν από τα στοιχεία του πίνακα 1.1 παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4.

**Πίνακας 1.1.** Σεισμοί για  $M \geq 6$  με τις αντίστοιχες παραμέτρους του σεισμικού ρήγματος, από το 426 π.Χ. μέχρι σήμερα (2001), για την περιοχή της Θεσσαλίας. (Parazachos et al. 2001)

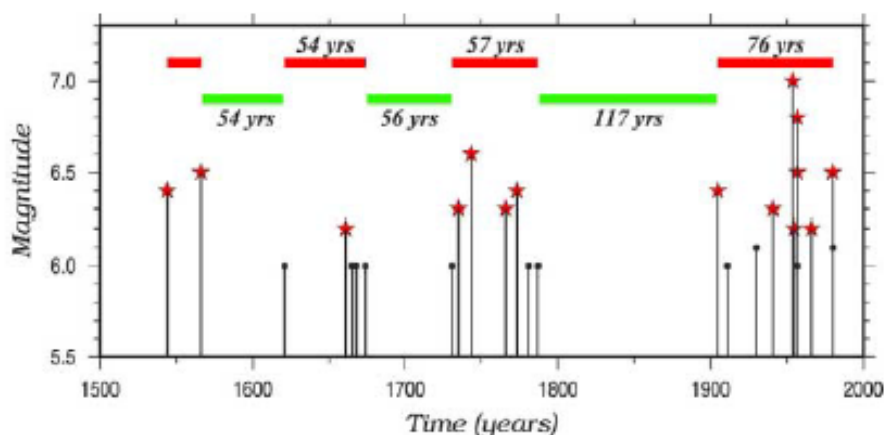
| N  | Έτος     | $\phi$ | $\lambda$ | M   | $\zeta$ | $\theta$ | $\lambda$ |
|----|----------|--------|-----------|-----|---------|----------|-----------|
| 12 | 426 π.Χ. | 38.79  | 22.80     | 7.0 | 282     | 47       | -90       |
| 14 | 226 π.Χ. | 38.59  | 22.67     | 6.4 | 308     | 50       | -70       |
| 12 | 105      | 38.79  | 22.80     | 6.4 | 282     | 47       | -90       |
| 12 | 551      | 38.79  | 22.80     | 6.8 | 282     | 47       | -90       |
| 7  | 1514     | 39.10  | 21.65     | 6.0 | 76      | 50       | -82       |
| 1  | 1544     | 39.70  | 21.60     | 6.4 | 90      | 43       | -90       |
| 11 | 1545     | 38.89  | 22.17     | 6.8 | 283     | 47       | -88       |
| 7  | 1566     | 39.10  | 21.65     | 6.4 | 76      | 50       | -82       |
| 2  | 1621     | 39.56  | 21.84     | 6.0 | 89      | 43       | -90       |
| 1  | 1665     | 39.70  | 21.60     | 6.0 | 90      | 43       | -90       |
| 3  | 1661     | 39.59  | 22.16     | 6.2 | 69      | 43       | -90       |
| 4  | 1668     | 39.61  | 22.42     | 6.0 | 291     | 47       | -88       |
| 2  | 1674     | 39.56  | 21.84     | 6.0 | 89      | 43       | -90       |
| 4  | 1731     | 39.61  | 22.42     | 6.0 | 291     | 47       | -88       |
| 2  | 1735     | 39.56  | 21.84     | 6.4 | 89      | 43       | -90       |
| 12 | 1740     | 38.79  | 22.80     | 6.6 | 282     | 47       | -90       |
| 9  | 1743     | 39.30  | 22.54     | 6.6 | 269     | 47       | -88       |
| 5  | 1766     | 39.81  | 22.34     | 6.1 | 109     | 47       | -88       |
| 9  | 1773     | 39.30  | 22.54     | 6.4 | 269     | 47       | -88       |
| 4  | 1781     | 39.61  | 22.42     | 6.2 | 291     | 47       | -88       |
| 1  | 1787     | 39.70  | 21.60     | 6.0 | 90      | 43       | -90       |
| 13 | 1852     | 38.68  | 22.32     | 6.0 | 281     | 47       | -88       |
| 10 | 1864     | 39.29  | 22.96     | 6.0 | 82      | 43       | -90       |
| 6  | 1905     | 39.58  | 23.04     | 6.4 | 327     | 50       | -82       |
| 6  | 1911     | 39.58  | 23.04     | 6.0 | 327     | 50       | -82       |
| 6  | 1930     | 39.58  | 23.04     | 6.0 | 327     | 50       | -82       |
| 6  | 1930     | 39.58  | 23.04     | 6.1 | 327     | 50       | -82       |
| 4  | 1941     | 39.61  | 22.42     | 6.3 | 291     | 47       | -88       |
| 8  | 1954     | 39.24  | 22.24     | 7.0 | 271     | 47       | -88       |
| 10 | 1955     | 39.29  | 22.96     | 6.2 | 82      | 43       | -90       |
| 9  | 1957     | 39.30  | 22.54     | 6.8 | 269     | 47       | -88       |

|    |      |       |       |     |    |    |     |
|----|------|-------|-------|-----|----|----|-----|
| 7  | 1966 | 39.10 | 21.65 | 6.2 | 76 | 50 | -82 |
| 10 | 1980 | 39.29 | 22.96 | 6.5 | 82 | 43 | -90 |



**Σχ. 1.4** Μηχανισμοί γένεσης σεισμών για  $M \geq 6$  από το 426 π.Χ. μέχρι σήμερα.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι από την σεισμικότητα της Θεσσαλίας, όπως προκύπτει από ισχυρούς σεισμούς  $M \geq 6.0$  από το 1500 μ. Χ. έως σήμερα, με βάση σεισμολογικές και γεωλογικές μελέτες, παρατηρούνται 4 ενεργές σεισμικές περιόδους. Συγκριμένα, οι ισχυροί σεισμοί, εναλλάσσονται με τρεις περιόδους σχετικής σεισμικής ηρεμίας μεγάλης διάρκειας. Η περίοδος της πρώτης ενεργούς περιόδου, δεν μπορεί να προσδιοριστεί, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, πριν τον 16<sup>ο</sup> αιώνα. Η πρώτη περίοδος ηρεμίας διήρκεσε 54 χρόνια (1567-1620), ακολουθήθηκε από ενεργή περίοδο 54 χρόνων (1621-1674). Συνεχίστηκε, από περίοδο ηρεμίας 56 χρόνων (1675-1730) και ενεργή περίοδο 57 χρόνων (1731-1787). Τέλος, από περίοδο ηρεμίας 177 χρόνων (1788-1904) πριν την τελευταία ενεργή περίοδο 76 χρόνων (1905-1980) (Paradimitriou and Karakostas 2003) όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.5.



**Σχ. 1.5.** Μεγέθη σεισμών σε συνάρτηση με τον χρόνο. Με μπάρες παριστάνονται οι ενεργές και ανενεργές περιόδους και δίνονται τα χρονικά διαστήματα μεταξύ αυτών. (Paradimitriou and Karakostas 2003)

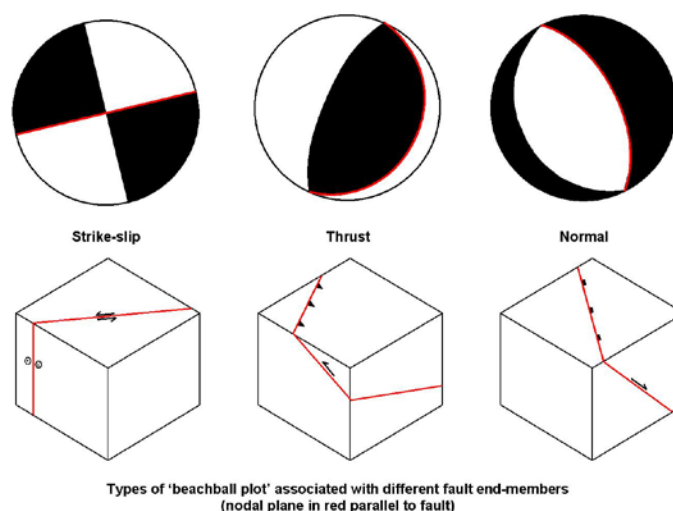
## Κεφάλαιο 2

### Δεδομένα, μεθοδολογία και επεξεργασία

#### 2.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται η μέθοδος που εφαρμόστηκε, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και ο τρόπος επεξεργασίας τους.

Η μέθοδος, που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των μηχανισμών γένεσης είναι η μέθοδος των πρώτων αποκλίσεων (αφίξεων) των επιμήκων κυμάτων. Όταν πραγματοποιείται ένας σεισμός, οι Σεισμολογικοί Σταθμοί καταγράφουν την πρώτη άφιξη του επιμήκους P κύματος, ως αραιώση ή συμπίεση. Η γεωγραφική κατανομή των αραιώσεων ή συμπίεσεων, σε μία στερεογραφική προβολή από τις γεωγραφικές συντεταγμένες των Σταθμών, μπορεί να δώσει στοιχεία για τις παραμέτρους παράταξης, κλίσης και γωνίας ολίσθησης, για το ρήγμα που έδρασε και από αυτά, τους άξονες συμπίεσης και εφελκυσμού. Στο σχήμα 2.1, φαίνονται οι ακραίες περιπτώσεις μηχανισμών γένεσης, που προκύπτουν από την κατανομή των αραιώσεων και συμπίεσεων σε μια σφαίρα ισεμβαδικής προβολής και οι αντίστοιχες διαρρήξεις. Με μαύρο χρώμα παριστάνονται τα τεταρτημόρια της συμπίεσης, ενώ με άσπρο χρώμα τα τεταρτημόρια της αραιώσης. Όταν η περιοχή της αραιώσης είναι στο κέντρο της σφαίρας, το ρήγμα είναι κανονικό, ενώ όταν είναι η συμπίεση, το ρήγμα είναι ανάστροφο. Η τελευταία περίπτωση είναι, όταν στο κέντρο δεν είναι ούτε η περιοχή της συμπίεσης ούτε του εφελκυσμού. Τότε, η λύση χαρακτηρίζεται ως ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης (δεξιόστροφης και αριστερόστροφης κίνησης). Φυσικά, στην φύση ισχύουν όλες οι ενδιάμεσες καταστάσεις. Στο σχήμα 2.1, η πρώτη περίπτωση παριστά ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης (strike-slip), η δεύτερη ρήγμα ανάστροφο (thrust) και η τρίτη ρήγμα κανονικό (normal).



**Σχ. 2.1** Τρεις ακραίες περιπτώσεις μηχανισμών γένεσης με αντίστοιχα ρήγματα. Στην πρώτη περίπτωση όταν το ρήγμα είναι οριζόντιας μετατόπισης, στην δεύτερη όταν το ρήγμα είναι ανάστροφο και η τρίτη όταν το ρήγμα είναι κανονικό.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Focal\\_mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Focal_mechanism).



## 2.1. Δεδομένα

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι οι πρώτες αφίξεις σεισμών, οι εστιακές συντεταγμένες των οποίων λήφθηκαν από τον κατάλογο του Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα για σεισμούς μεγέθους από 4 και πάνω από το 2007 μέχρι το 2014, στον χώρο της Θεσσαλίας (<http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>) . Στον επόμενο πίνακα 2.1, παρουσιάζεται ο κατάλογος με τους σεισμούς που χρησιμοποιήθηκαν.

**Πίνακας 2.1.** Κατάλογος σεισμών για τους οποίους καθορίστηκαν οι μηχανισμοί γένεσης.

| Number | Date         | Time     | lat     | lon     | M   | Event          |
|--------|--------------|----------|---------|---------|-----|----------------|
| 1      | 2007 Feb. 19 | 6:23:13  | 39,9840 | 22,5425 | 4.0 | 20070219062313 |
| 2      | 2007 May 01  | 11:07:13 | 39,3060 | 21,7580 | 4.0 | 20070501110713 |
| 3      | 2007 May 11  | 28:29.2  | 39,8180 | 21,9210 | 4.0 | 20070511092829 |
| 4      | 2011 Jan 20  | 11:39:37 | 39,5500 | 23,4870 | 4.0 | 20110120113937 |
| 5      | 2012 Jun 28  | 13:11:30 | 39,0040 | 23,1350 | 4.3 | 20120628131130 |
| 6      | 2012 Oct 26  | 23:16:45 | 38,9570 | 22,8930 | 4.4 | 20121026231645 |
| 7      | 2012 Dec 03  | 21:40:16 | 39,5400 | 23,5030 | 4.0 | 20121203214016 |
| 8      | 2013 Nov 12  | 18:09:28 | 38,9210 | 23,0990 | 4.8 | 20131112180928 |
| 9      | 2013 Nov 22  | 15:12:04 | 39,0250 | 22,4000 | 4.2 | 20131122151203 |
| 10     | 2013 Dec 11  | 13:00:54 | 38,9860 | 22,2990 | 4.2 | 20131211130053 |
| 11     | 2014 May 06  | 2:00:01  | 39,3450 | 23,8780 | 4.3 | 20140506020001 |
| 12     | 2014 Jun 06  | 12:21:05 | 39,1470 | 23,6940 | 4.4 | 20140606122103 |

Στον παρακάτω σχήμα 2.2, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σεισμικού δελτίου (Seismic Bulletins), για την περίπτωση του σεισμού στις 6 Ιουνίου 2014 μεγέθους 4.4. Στις πρώτες γραμμές δίνονται πληροφορίες για το σεισμό (event) όπως, η ημερομηνία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού (π.χ. EVENT 201406061221 5 είναι ο αριθμός του σεισμού που έγινε το 2014 στις 06 Ιουνίου στις 12:21:05). Στη συνέχεια δίνονται οι πληροφορίες ημερομηνίας, ώρας, γεωγραφικών συντεταγμένων, βάθους, μεγέθους, σφάλματος κ.α. για τον σεισμό όπως υπολογίστηκαν από τις καταγραφές σε κάθε Σταθμό ενώ στην έκτη γραμμή, αναγράφεται η περιοχή όπου έγινε ο σεισμός. Ακολουθούν οι στήλες με τις πληροφορίες για τους σεισμολογικούς Σταθμούς που κατέγραψαν τον σεισμό με πληροφορίες για τις P και S φάσεις. Στην πρώτη στήλη αναφέρεται το όνομα του σταθμού, στην δεύτερη, Τρίτη, τέταρτη, πέμπτη και έκτη στήλη, η απόσταση που έγινε ο σεισμός σε σχέση με τον Σταθμό (2<sup>η</sup> στήλη) και το κέντρο της γης σε μοίρες (3<sup>η</sup> στήλη), το αζιμούθιο του

σταθμού, η σεισμική φάση P ή S (4<sup>η</sup> στήλη) που καταγράφηκαν, η ημερομηνία (5<sup>η</sup> στήλη), η ώρα (6<sup>η</sup> στήλη) και το σφάλμα (7<sup>η</sup> στήλη) αντίστοιχα. Στις τελευταίες στήλες, δίνονται οι πληροφορίες για το πλάτος (9<sup>η</sup> στήλη) από την κυματομορφή του S κύματος, την περίοδο (10<sup>η</sup> στήλη) και το μέγεθος (11<sup>η</sup> στήλη), σε όποιες καταγραφές ήταν δυνατό να υπολογιστούν.

| EVENT 201406061221 5  |        | Date   |          | Time   | Latitude |         | Longitude  | Depth      | Ndef  | Nsta  | Gap   | Mag1    | N    | Mag2 | N   | Mag3     | N    | Author    | ID   |
|-----------------------|--------|--------|----------|--------|----------|---------|------------|------------|-------|-------|-------|---------|------|------|-----|----------|------|-----------|------|
|                       |        | rms    | OT_Error |        | Smajor   | Sminor  | Az         | Err        | mdist | Mdist |       | Err     |      | Err  |     | Err      |      | Quality   |      |
| 2014/06/06 12:21: 5.0 |        | 0.34   | + - 0.00 |        | 39.1468  | 23.6942 |            | 9.8        | 48    | 39    | 46    | ML 4.4  | 7    |      |     |          |      | HT m i ke |      |
|                       |        |        |          |        | 0.7      | 0.4     | 51         | + - 0.7    | 0.14  |       |       | + - 0.2 |      |      |     |          |      |           |      |
| North                 | AEGEAN | Trough | -N.      | GREECE |          |         | Date       | Time       | TRes  | Azim  | AzRes | Slow    | Sres | Def  | SNR | Amp      | Per  | Mag1      | Mag2 |
| Sta                   | Dist   | EvAz   |          | Phase  |          |         |            |            |       |       |       |         |      |      |     |          |      |           |      |
| AOS                   | 0.13   | 81.0   | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21: 8.3 | 0.2   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| AOS                   | 0.13   | 81.0   | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:10.8 | 0.3   |       |       |         |      | T    |     | 300867.5 | 0.44 | ML 4.5    |      |
| SKIA                  | 0.18   | 277.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21: 9.1 | 0.3   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| SKIA                  | 0.18   | 277.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:12.0 | 0.2   |       |       |         |      | T    |     | 283967.5 | 0.19 | ML 4.6    |      |
| NEO                   | 0.40   | 294.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:12.6 | -0.2  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| NEO                   | 0.40   | 294.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:18.6 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     | 60547.5  | 0.27 | ML 4.3    |      |
| XOR                   | 0.45   | 300.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:13.5 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| XOR                   | 0.45   | 300.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:20.1 | -0.2  |       |       |         |      | T    |     | 63370.0  | 0.35 | ML 4.4    |      |
| MRKA                  | 0.45   | 191.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:13.5 | -0.2  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| MRKA                  | 0.45   | 191.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:20.4 | 0.1   |       |       |         |      | T    |     | 27400.0  | 0.37 | ML 4.0    |      |
| KYMI                  | 0.60   | 148.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:16.6 | 0.1   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| KYMI                  | 0.60   | 148.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:25.0 | -0.4  |       |       |         |      | T    |     | 55455.0  | 0.65 | ML 4.5    |      |
| SKY                   | 0.72   | 111.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:18.8 | 0.3   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| SKY                   | 0.72   | 111.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:29.3 | 0.2   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| LKR                   | 0.74   | 228.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:18.8 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| LKR                   | 0.74   | 228.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:29.4 | -0.3  |       |       |         |      | T    |     | 25770.0  | 0.72 | ML 4.3    |      |
| PAIG                  | 0.79   | 0.0    | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:20.3 | 0.4   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| VILL                  | 1.03   | 198.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:23.6 | -0.7  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| AGG                   | 1.06   | 264.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:24.9 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| AGG                   | 1.06   | 264.0  | m        | S      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:40.5 | 0.0   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| PROD                  | 1.08   | 216.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:24.6 | -0.6  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| DION                  | 1.08   | 169.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:25.4 | 0.1   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| PTL                   | 1.11   | 173.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:25.5 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| LRSO                  | 1.14   | 298.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:26.5 | 0.4   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| ATH                   | 1.17   | 179.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:26.8 | 0.2   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| ATHU                  | 1.18   | 176.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:26.6 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| OUR                   | 1.21   | 10.0   | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:26.6 | -0.4  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| PLG                   | 1.24   | 352.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:27.0 | -0.5  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| KARY                  | 1.26   | 152.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:27.9 | 0.1   |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |
| VLY                   | 1.30   | 176.0  | m        | P      |          |         | 2014/06/06 | 12:21:28.2 | -0.1  |       |       |         |      | T    |     |          |      |           |      |

**Σχ. 2.2.** *Seismic Bulletin για τον σεισμό στις 6 Ιουνίου του 2014 μεγέθους 4.4 που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του μηχανισμού γένεσης. (Seismological Center of Aristotle University of Thessaloniki).*

## 2.2. Επεξεργασία δεδομένων

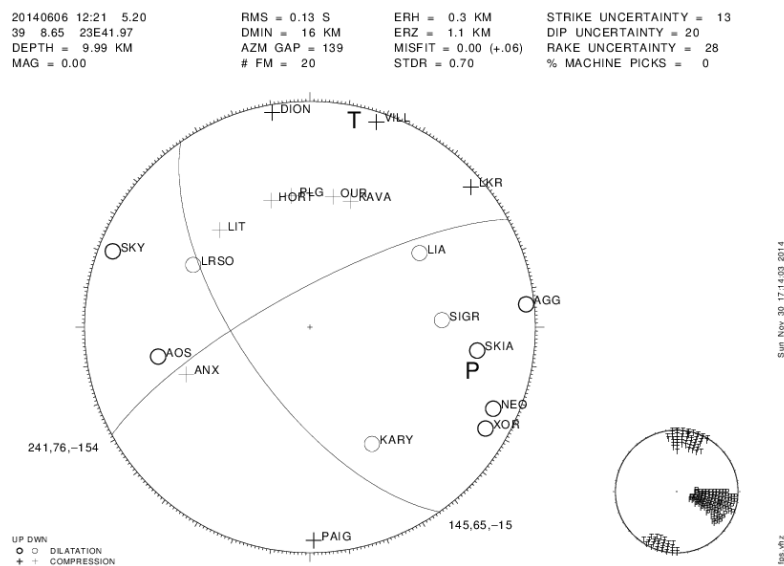
Η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ATLAS204 για την εύρεση των πρώτων αφίξεων και με τα προγράμματα FPFIT και FPLOT και τον υπολογισμό και την σχεδίαση των μηχανισμών γένεσης (Park 1985) καθώς η σχεδίαση των χαρτών για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων με το πρόγραμμα Generic Mapping Tools (GMT, Wessel and Smith 2013).

Το πρόγραμμα FPFIT υπολογίζει ένα διπλό – ζεύγος λύσης μηχανισμού γένεσης (fault – plane solution), για την πιο ταιριαστή λύση από ένα σύνολο δεδομένων, από τις παρατηρήσεις της πρώτης κίνησης των P κυμάτων ενός σεισμού. Η FPFIT εκτιμά την αβεβαιότητα στο μοντέλο παραμέτρων της παράταξης, της γωνίας του ρήγματος και της γωνίας ολίσθησης (strike, dip, rake), για κάθε διπλό – ζεύγος μοντέλου πηγής. Επιπρόσθετα, η FPFIT υπολογίζει λύσεις μηχανισμών γένεσης (fault plane solutions), για ένα πακέτο σεισμών και συγκεντρώνει στατιστικά στοιχεία για όλη την γκάμα. Μη διπλά – ζεύγη λύσεων δεν υπολογίζονται από την FPFIT. Επιπλέον, λανθασμένα δεδομένα, μη μοντελοποιημένες διαθλάσεις, υπεραπλουστευμένα όρια στρωμάτων στις υποκεντρικές λύσεις, πρέπει να αξιολογούνται αυστηρά από τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης (fault plane solutions).

Το λογισμικό FPLOT είναι ένα διαδραστικό πρόγραμμα σχεδίασης για την εμφάνιση των μηχανισμών γένεσης (fault plane solutions) υπολογιζόμενο από την FPFIT. Το

FPFLOT παράγει ένα πλαίσιο γραφικών εξόδου (output) για κάθε λύση, που βρέθηκε από την FPFIT. Στο σχήμα 2.3, παρουσιάζεται ένας μηχανισμός γένεσης, όπως προέκυψε από τον υπολογισμό από την FPFIT και την σχεδίαση από την FPPLOT.

Το GMT (Generic Mapping Tools) είναι ένα λογισμικό πακέτο, για να δημιουργεί χάρτες πολύ υψηλής ανάλυσης και γραφήματα σε διάφορες προβολές. Το GMT περιέχει ένα σύνολο από περισσότερα από 50 προγράμματα και εργαλεία καθένα από τα οποία, εκτελεί μία συγκεκριμένη ενέργεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μόνο 5-6 χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση χαρτών.



**Σχ. 2.3.** Μηχανισμός γένεσης από τον σεισμό στις 6 Ιουλίου 2014 όπως προέκυψε από την FPFIT και FPPLOT.



## Κεφάλαιο 3

### Καθορισμός των μηχανισμών γένεσης

#### 3.1. Αναλυτική περιγραφή και παρουσίαση αποτελεσμάτων

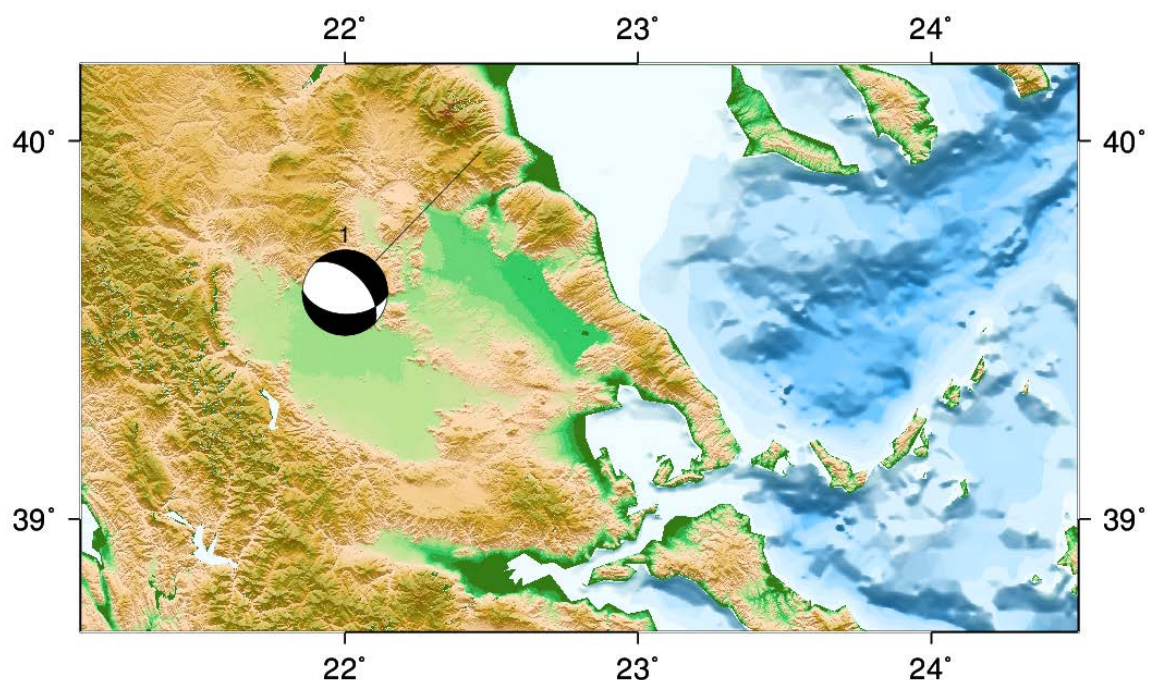
Τα αποτελέσματα των μηχανισμών γένεσης που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων με εφαρμογή του λογισμικού FPFIT και την σχεδίαση με το λογισμικό FPLOT, παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, με χρονική σειρά.

Στο πίνακα 3.1, δίνονται τα στοιχεία του πρώτου σεισμού καθώς και οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσης του. Στην πρώτη στήλη δίνεται ο αύξων αριθμός του σεισμού, στην δεύτερη στήλη η ημερομηνία του, στην τρίτη ο χρόνος γένεσής του, στην τέταρτη το γεωγραφικό πλάτος, στην πέμπτη το γεωγραφικό μήκος, στην έκτη το μέγεθος του σεισμού. Στην έβδομη, όγδοη και ένατη δίνονται οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσης παράταξης (αζιμούθιο), κλίσης και γωνίας ολίσθησης αντίστοιχα ( $\zeta$ ,  $\theta$ ,  $\lambda$ ) του επιπέδου 1 του μηχανισμού γένεσης. Στην δέκατη, ενδέκατη και δωδέκατη οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσης του επιπέδου 2. Η ίδια περιγραφή ισχύει και τους επόμενους πίνακες με τα στοιχεία και τις παραμέτρους των μηχανισμών γένεσης των υπόλοιπων σεισμών.

**Πίνακας 3.1.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 19 Φεβρουάριου του 2007, με  $M=4.0$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date         | Time    | Lat    | Lon    | M | Επίπεδο 1 |          |           | Επίπεδο 2 |          |           |
|---|--------------|---------|--------|--------|---|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|   |              |         |        |        |   | $\zeta$   | $\theta$ | $\lambda$ | $\zeta$   | $\theta$ | $\lambda$ |
| 1 | 2007 Feb. 19 | 6:23:13 | 39.984 | 22.542 | 4 | 93        | 48       | -121      | 315       | 50       | -60       |

Στο σχήμα 3.1. παρουσιάζεται ο χάρτης για τον χώρο της Θεσσαλίας με τον μηχανισμό γένεσης για τον σεισμό του πίνακα 3.1. Με βάση το επίπεδο 1 πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό σχεδόν Α-Δ παράταξης. Με βάση το επίπεδο 2 πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης ΒΔ-ΝΑ παράταξης. Το επίπεδο 2 φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο με την πρώτη ομάδα κανονικών ρηγμάτων της Θεσσαλίας με ΒΔ-ΝΑ παράταξη και να κλίνει προς τα ΒΑ.



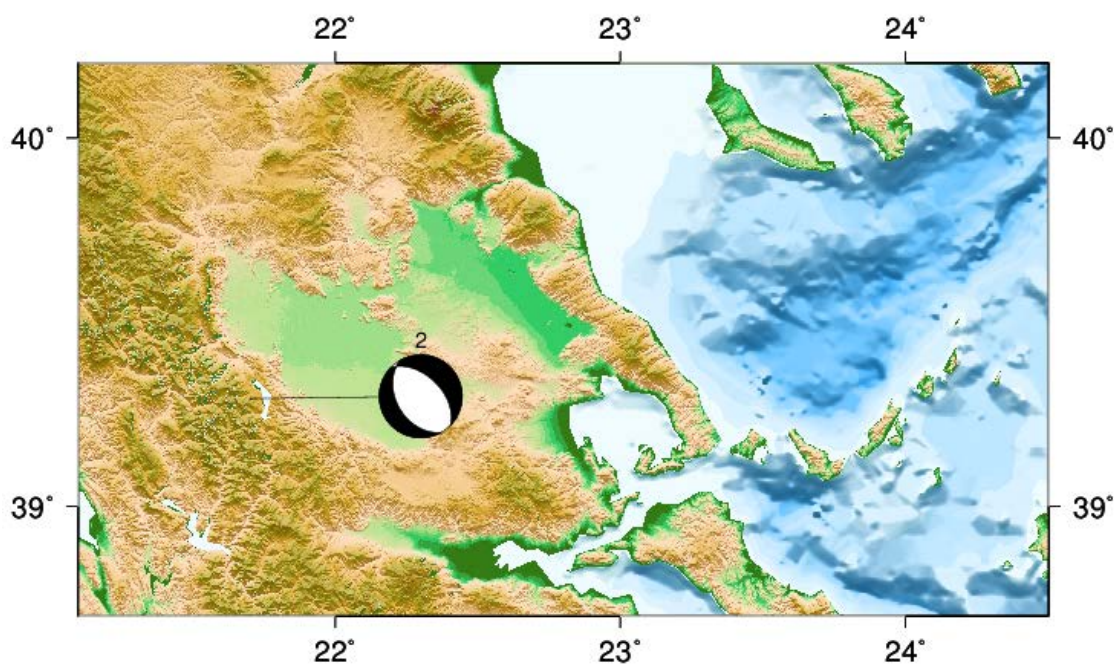
**Σχ. 3.1.** Χάρτης για το χώρο της Θεσσαλίας για τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού στις 19 Φεβρουαρίου 2007 μεγέθους 4.

Στον πίνακα 3.2. δίνονται τα στοιχεία του σεισμού της 1 Μαΐου 2007 καθώς και οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσης του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.2.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε την 1 Μαΐου του 2007, με  $M=4.0$  και με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M | Επίπεδο 1 |    |     | Επίπεδο 2 |    |      |
|---|-------------|----------|--------|--------|---|-----------|----|-----|-----------|----|------|
|   |             |          |        |        |   | ζ         | θ  | λ   | ζ         | θ  | λ    |
| 2 | 2007 May 01 | 11:07:13 | 39.306 | 21.758 | 4 | 150       | 41 | -78 | 315       | 50 | -100 |

Στο σχήμα 3.2. παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.2. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης με BBD–NNA παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης, με BD–NA παράταξη. Μία πιθανή λύση μπορεί να είναι το επίπεδο 2 και το ρήγμα να είναι κανονικό με BD–NA παράταξη και να ανήκει στην πρώτη ομάδα κανονικών ρηγμάτων BD–NA παράταξης της Θεσσαλίας και να κλίνει προς τα ΒΑ.



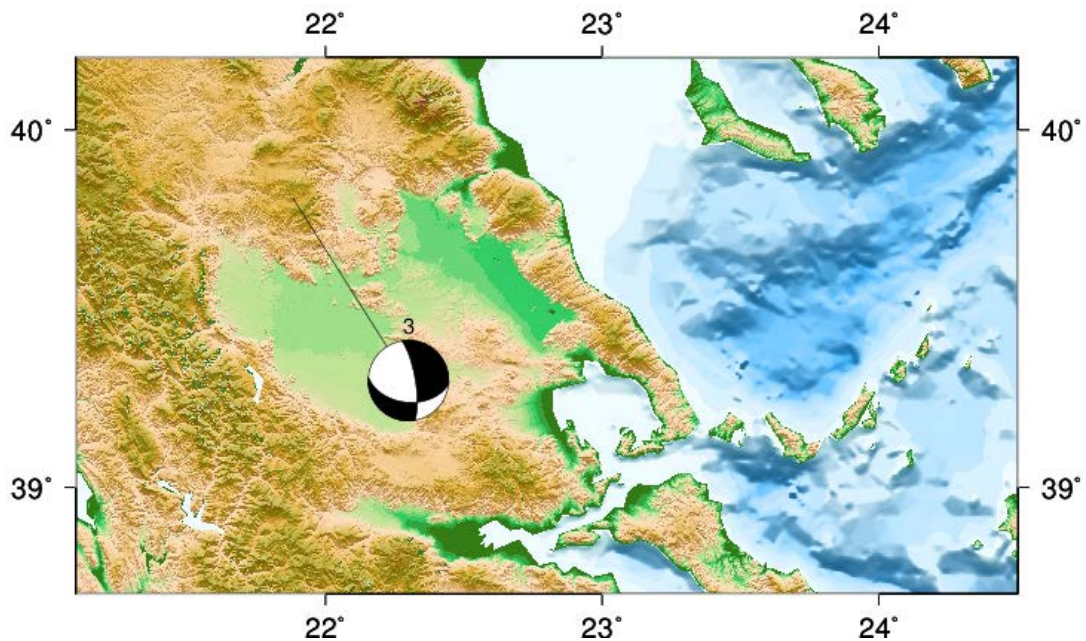
**Σχ. 3.2.** Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού στις 1 Μαΐου 2007 στον χώρο της Θεσσαλίας.

Στον πίνακα 3.3. δίνονται τα στοιχεία του σεισμού στις 11 Μαΐου 2007, καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσης του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.3.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 11 Μαΐου του 2007, με  $M=4.0$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσης του.

| N | Date        | Time    | Lat    | Lon    | M | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|---|-------------|---------|--------|--------|---|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|   |             |         |        |        |   | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 3 | 2007 May 11 | 9:28:29 | 39.818 | 21.921 | 4 | 95        | 45 | -160 | 351       | 76 | -47 |

Στο σχήμα 3.3. παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.3. Με βάση το επίπεδο 1 πρόκειται για ένα ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης με κανονική συνιστώσα κίνησης με Α-Δ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό – αριστερόστροφο ( $\zeta=47^\circ$ ) ρήγμα, με Β-Ν παράταξη. Το επίπεδο 1 φαίνεται να συμφωνεί με τα ρήγματα του βόρειου περιθωρίου της λεκάνης και κλίνει προς τον νότο.



**Σχ. 3.3.** Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού στις 11 Μαΐου 2007 στον χώρο της Θεσσαλίας.

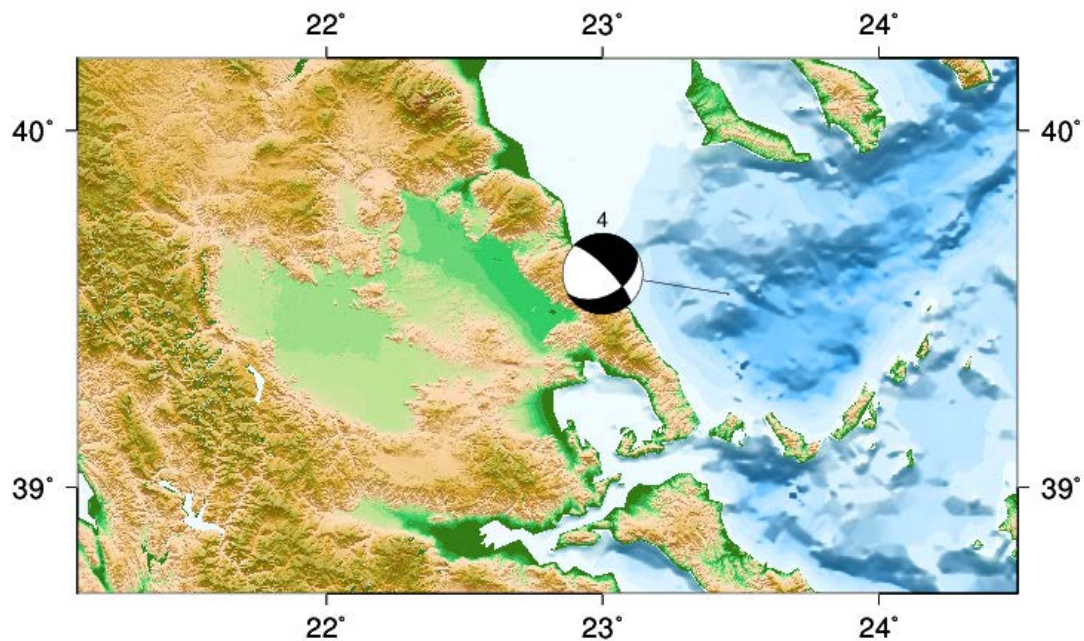
Στον πίνακα 3.4. δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 20 Ιανουαρίου 2011 καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1. .

**Πίνακας 3.4.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 20 Ιανουαρίου του 2011, με  $M=4.0$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|---|-------------|----------|--------|--------|---|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|   |             |          |        |        |   | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 4 | 2011 Jan 20 | 11:39:37 | 39.550 | 23.487 | 4 | 60        | 45 | -160 | 316       | 76 | -47 |

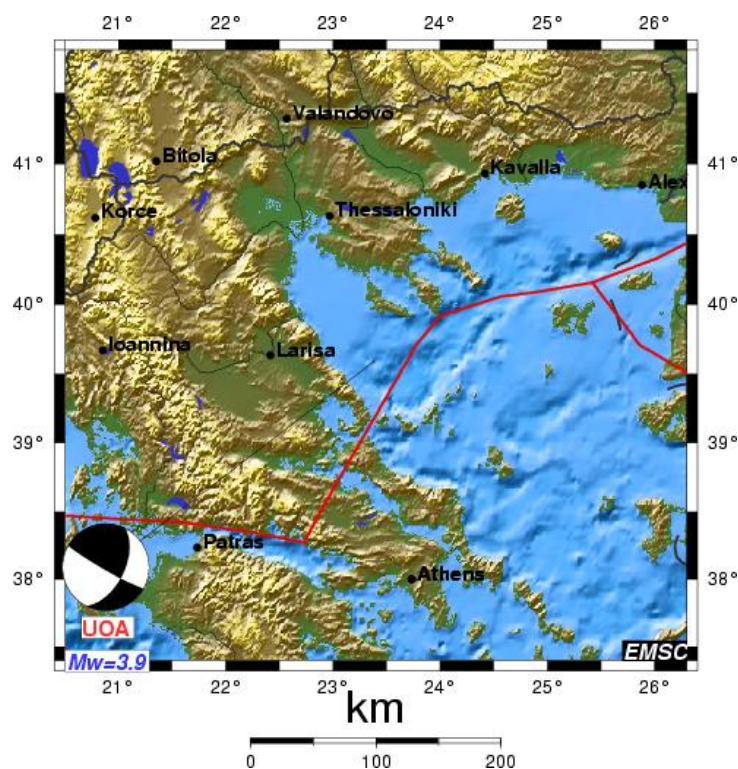
Στο σχήμα 3.4. παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.4. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης με κανονική συνιστώσα κίνησης με ABA–ΔΝΔ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό – αριστερόστροφο ( $\zeta=47^\circ$ ) ρήγμα με ΒΔ–ΝΑ παράταξη. Αφού ο μηχανισμός βρίσκεται πάνω στο NAT (North Aegean Trough) το οποίο είναι ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, το επίπεδο 1 φαίνεται να συμφωνεί με τα γνωστά ρήγματα της περιοχής (Papazachos et al. 1998b).





**Σχ. 3.4.** Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού στις 20 Ιανουαρίου 2011 στον χώρο του Βορείου Αιγαίου.

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η λύση για τον σεισμό του πίνακα 3.4 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΥΟΑ). Όπως φαίνεται οι δύο λύσεις των σχημάτων 3.4 και 3.5 είναι παρόμοιες.



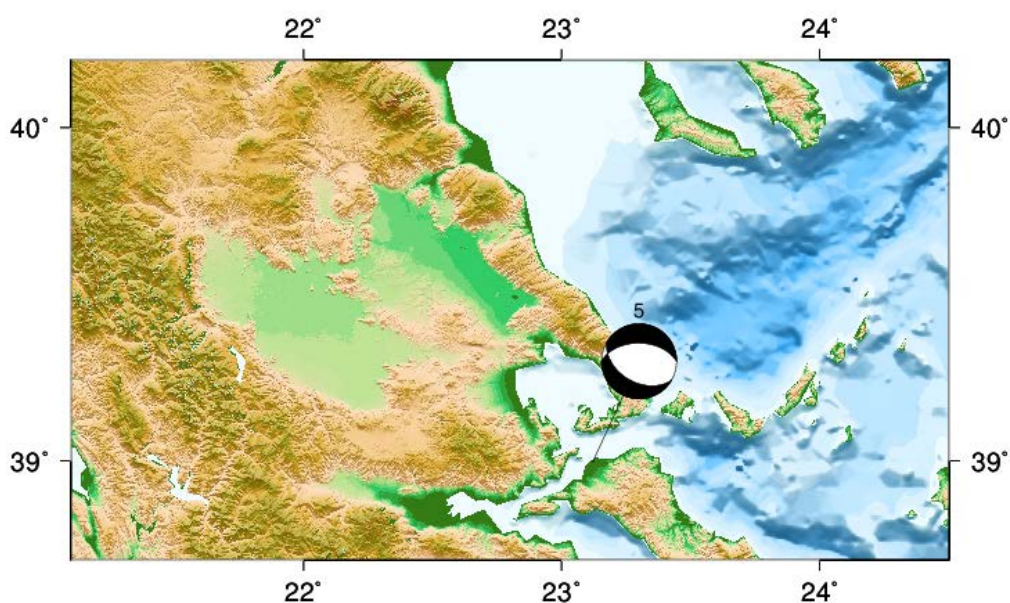
**Σχ. 3.5.** Η λύση του ΥΟΑ για τον σεισμό στις 20 Ιανουαρίου του 2011 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>.

Στον πίνακα 3.5, δίνονται τα στοιχεία του σεισμού στις 28 Ιανουαρίου 2012 καθώς και οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.5.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 28 Ιουνίου του 2012, με  $M=4.3$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |     | Επίπεδο 2 |    |      |
|---|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|-----|-----------|----|------|
|   |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ   | ζ         | θ  | λ    |
| 5 | 2012 Jun 28 | 13:11:30 | 39.004 | 23.135 | 4.3 | 120       | 44 | -68 | 270       | 50 | -110 |

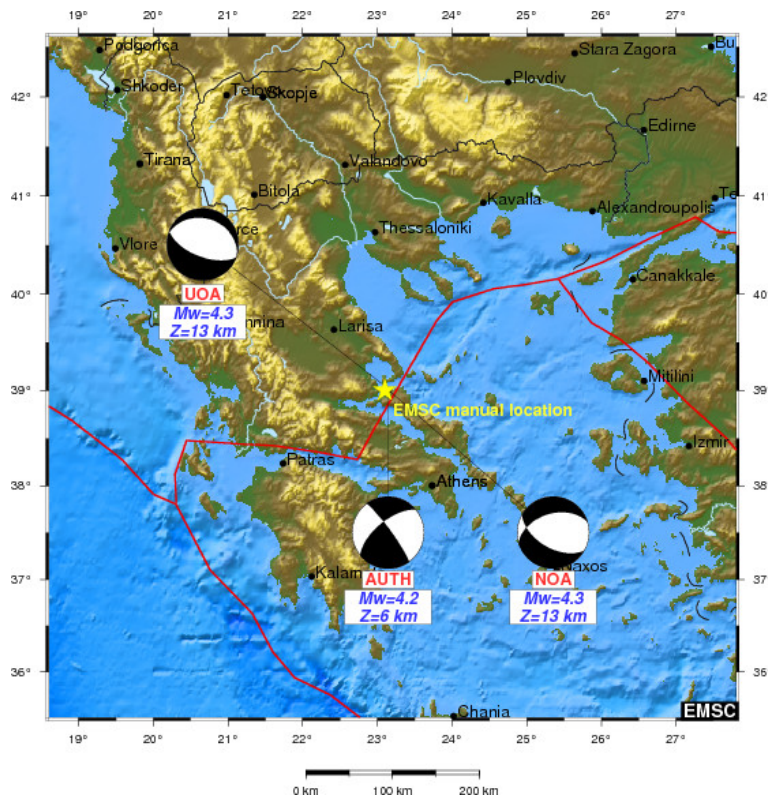
Στο σχήμα 3.6, παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.5. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης, με σχεδόν ΒΔ–ΝΑ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης ρήγμα, με Α-Δ παράταξη. Το επίπεδο 1 μάλλον συμφωνεί περισσότερο και το ρήγμα να είναι κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης ΒΔ-ΝΑ παράταξης και να κλίνει προς τα ΝΔ επειδή θα μπορούσε με την δράση αυτού του ρήγματος να έχει σχηματιστεί η βόρεια ακτή από το Στενό Αρτεμισίου.



**Σχ. 3.6.** Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού στις 28 Ιουνίου 2012 στον χώρο της ΝΑ Θεσσαλίας.

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.5, που δημοσιεύτηκαν στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΥΟΑ), από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης (ΑΥΤΗ) και από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΝΟΑ). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.6 με την λύση του ΝΟΑ είναι αρκετά σύμφωνη.





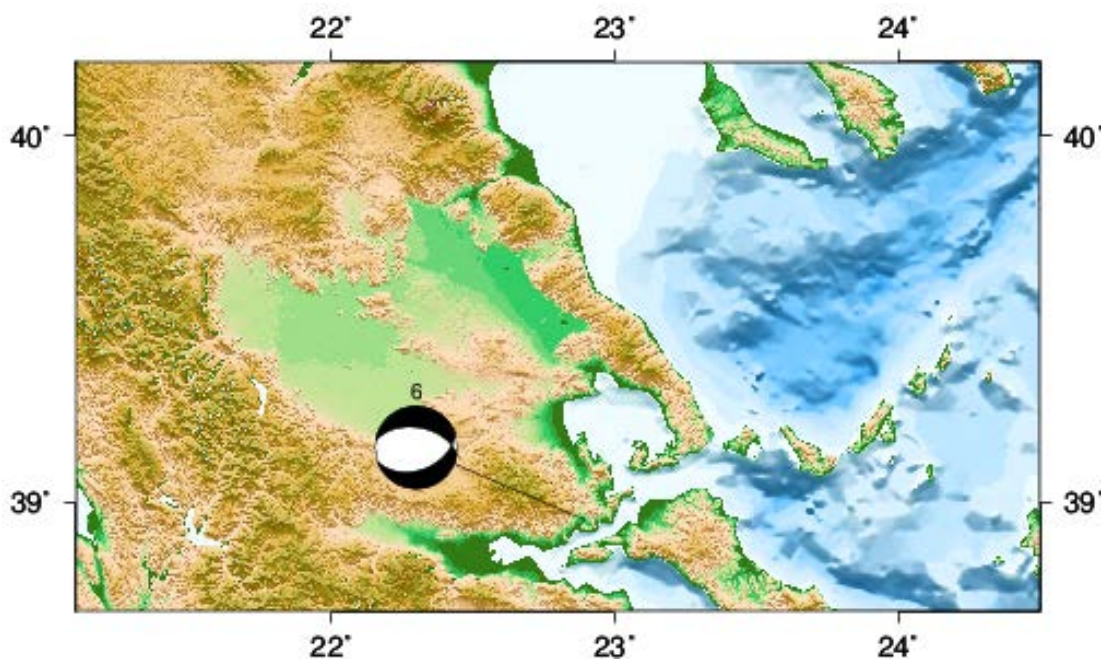
**Σχ. 3.7.** Η λύση του UOA, AUTH και NOA για τον σεισμό στις 28 Ιουνίου του 2012 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>.

Στον πίνακα 3.6 δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 26 Οκτωβρίου 2012 καθώς και οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

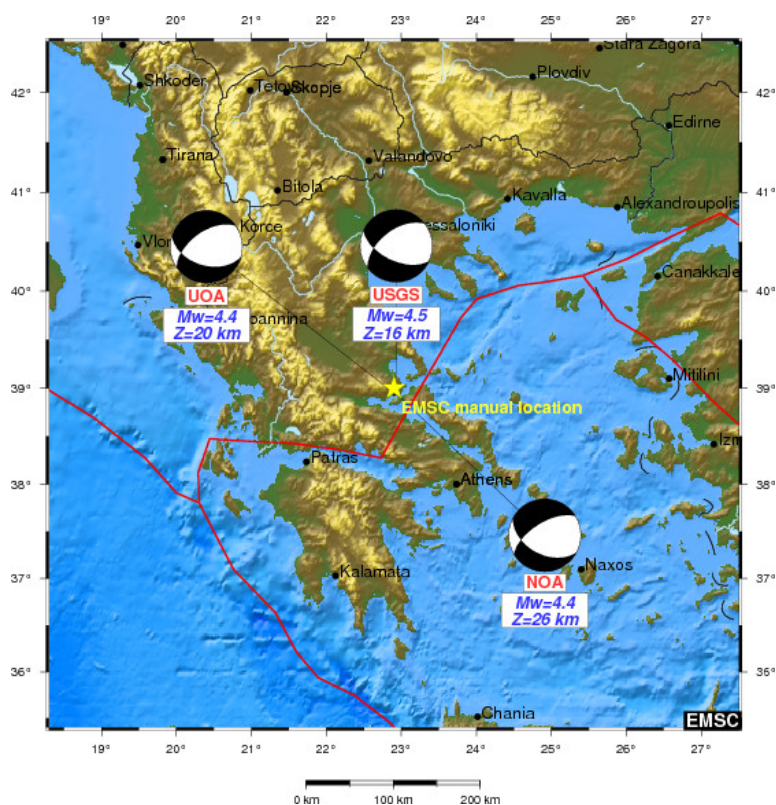
**Πίνακας 3.6.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 26 Οκτωβρίου του 2012, με  $M=4.4$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|---|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|   |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 6 | 2012 Oct 26 | 23:16:45 | 38.957 | 22.893 | 4.4 | 70        | 44 | -112 | 280       | 50 | -70 |

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.6 Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό, με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης, με σχεδόν ΑΒΑ-ΔΝΔ. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης ρήγμα, με σχεδόν Α-Δ παράταξη. Το επίπεδο 1 φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο και το ρήγμα να είναι κανονικό με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης με ΑΒΑ-ΔΝΔ παράταξης και να κλίνει προς τον νότο, όπου με βάση την δράση αυτού του ρήγματος να σχηματίστηκε η ακτή της Β. Εύβοιας.



Σχ. 3.8. Ο μηχανισμός του σεισμού στις 26 Οκτωβρίου 2012 στον χώρο της ΝΑ Θεσσαλίας.



Σχ. 3.9. Η λύση του UOA, USGS και NOA για τον σεισμό στις 26 Οκτωβρίου 2012 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>.

Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.6 που δημοσιεύτηκαν στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre



(EMSC) από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (UOA), από το U.S. Geological Survey (USGS) και από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.8 με όλες τις λύσεις του EMSC είναι σχεδόν παρόμοιες.

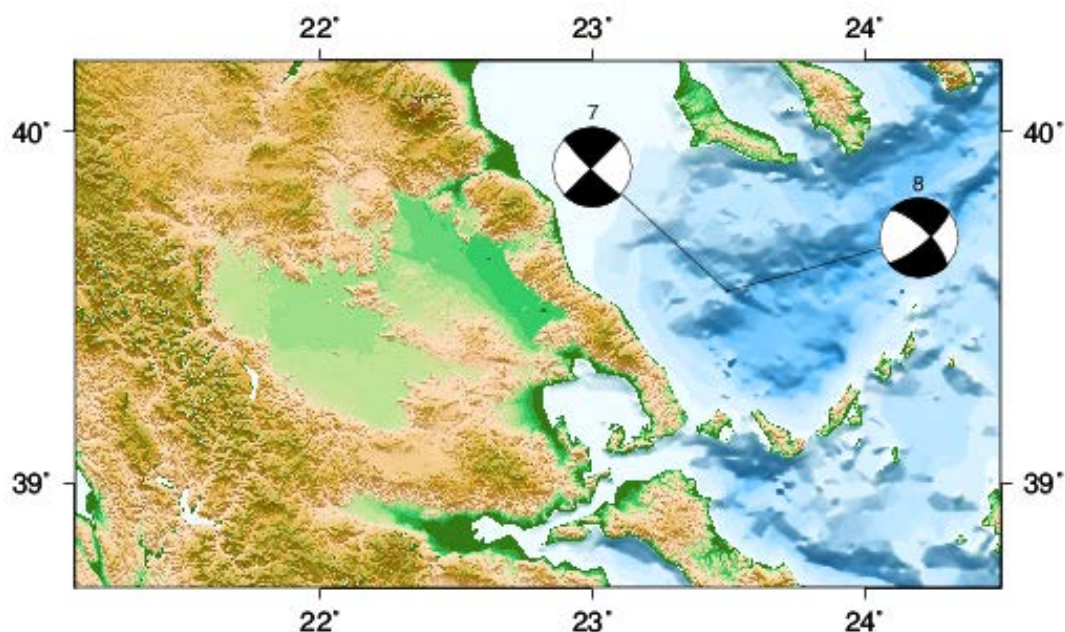
Στον πίνακα 3.7 δίνονται τα στοιχεία της διπλής λύσης του σεισμού που έγινε στις 3 Δεκεμβρίου 2012, καθώς και οι παράμετροι των μηχανισμών γένεσής τους. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.7** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 3 Δεκεμβρίου 2012, με  $M=4.0$  με τις παραμέτρους των μηχανισμών γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|---|-------------|----------|--------|--------|---|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|   |             |          |        |        |   | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 7 | 2012 Dec 03 | 21:40:16 | 39.540 | 23.503 | 4 | 45        | 90 | 175  | 138       | 85 | 0   |
| 8 | 2012 Dec 03 | 21:40:16 | 39.540 | 23.503 | 4 | 50        | 75 | -160 | 315       | 71 | -16 |

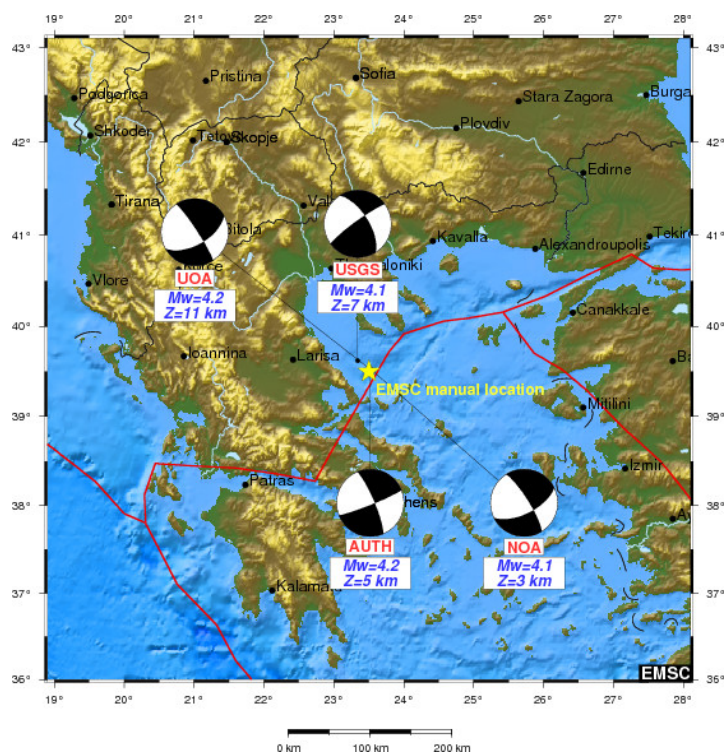
Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με τους μηχανισμούς γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.7. Με βάση το επίπεδο 1 της πρώτης (7) λύσης, πρόκειται για ένα ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης με μικρή ανάστροφη συνιστώσα κίνησης, με BA-NA παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα ρήγμα αριστερόστροφης οριζόντιας μετατόπισης, με ΒΔ-NA παράταξη.

Με βάση την δεύτερη (8) λύση του επιπέδου 1, πρόκειται για ένα δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης με κανονική συνιστώσα κίνησης ρήγμα, με BA-NA παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2 πρόκειται για ένα αριστερόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα, με μικρή κανονική συνιστώσα κίνησης, με ΒΔ-NA παράταξη. Και οι δύο λύσεις έχουν μικρές διαφορές, αλλά και για τις δύο το επίπεδο 1 φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο και οι μηχανισμοί να αποκτήσουν χαρακτήρα δεξιόστροφου οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα. Αυτή η παραδοχή μάλλον είναι ορθή, αφού η τοποθεσία των μηχανισμών είναι πάνω στο NAT (North Aegean Trough, Papazachos et al. 1998b)



**Σχ. 3.10.** Οι μηχανισμοί γένεσης του σεισμού στις 3 Δεκεμβρίου 2012 στον χώρο της Βορείου Αιγαίου.

Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.7 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (UOA), από το U.S. Geological Survey (USGS), από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA) και από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (AUTH). Όπως φαίνεται, όλες λύσεις του EMSC με τις δύο λύσεις του σχήματος 3.10 είναι σε καλή συμφωνία.



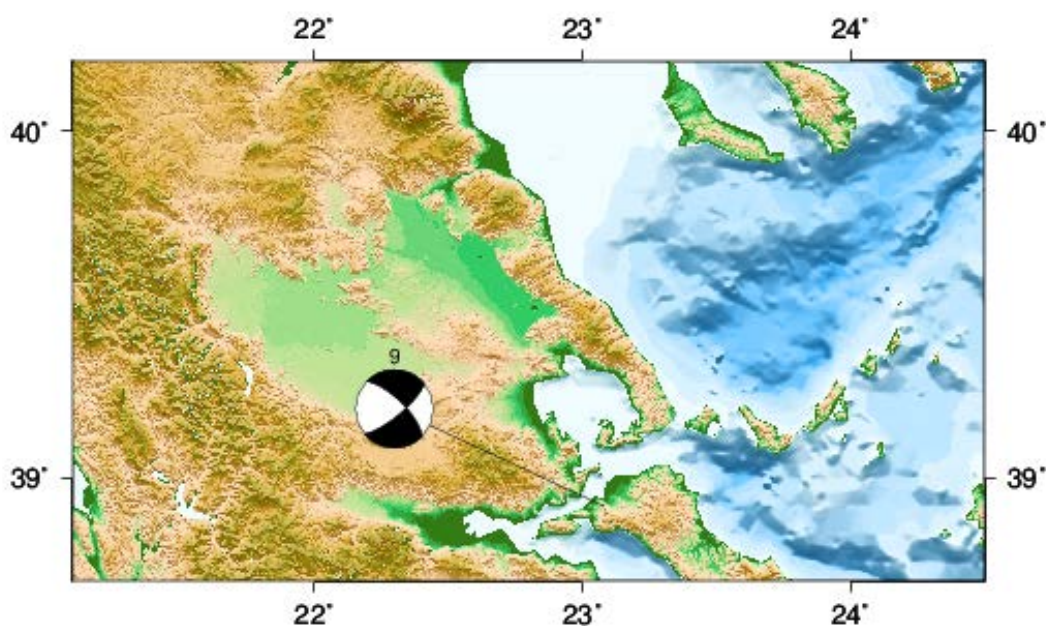
**Σχ. 3.11.** Η λύση του UOA, USGS, NOA και AUTH για τον σεισμό στις 3 Δεκεμβρίου 2012 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>.

Στον πίνακα 3.8 δίνονται τα στοιχεία της λύσης του σεισμού που έγινε στις 12 Νοεμβρίου 2013, καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.8.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 12 Νοεμβρίου 2013, με  $M = 4.8$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|---|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|   |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 9 | 2013 Nov 12 | 18:09:28 | 38.921 | 23.099 | 4.8 | 50        | 75 | -160 | 315       | 71 | -16 |

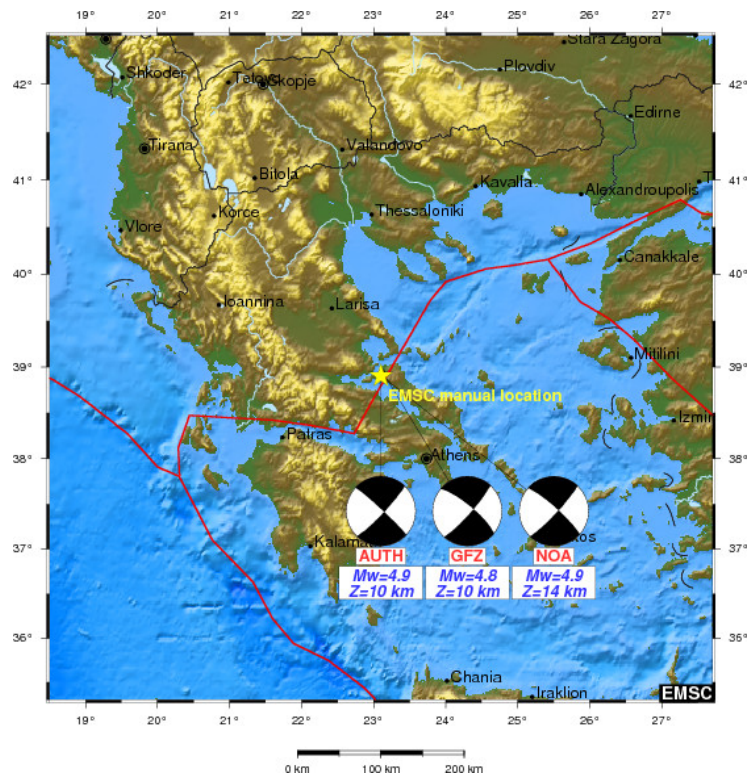
Στο σχήμα 3.12 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.8. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με κανονική συνιστώσα κίνησης, με ΒΑ-ΝΔ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα αριστερόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με κανονική συνιστώσα κίνησης ρήγμα, με ΒΔ-ΝΑ παράταξη. Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι ότι αποτελεί συνέχεια του NAT (North Aegean Trough) (Karakostas et al. 2006, Παράζαχος et al. 1998). Οπότε, το επίπεδο 1 φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο και το ρήγμα να είναι δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με ΒΑ-ΝΔ παράταξη.



**Σχ. 3.12.** Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού στις 12 Νοεμβρίου του 2013 στον χώρο της Β. Εύβοιας

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.8 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA), από το German Research Centre for Geosciences (GFZ) και από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (AUTH). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.12 με όλες τις λύσεις του EMSC είναι παρόμοιες.





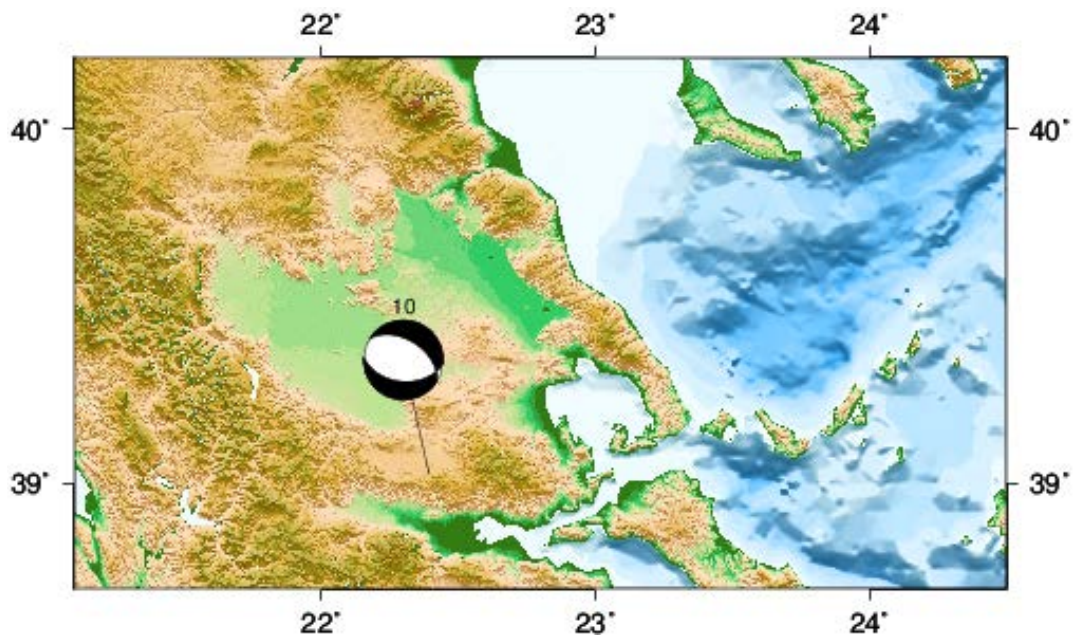
**Σχ. 3.13.** Η λύση του AUTH, GFZ και NOA για τον σεισμό στις 12 Νοεμβρίου του 2013 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>.

Στον πίνακα 3.9 δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 22 Νοεμβρίου 2013 καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

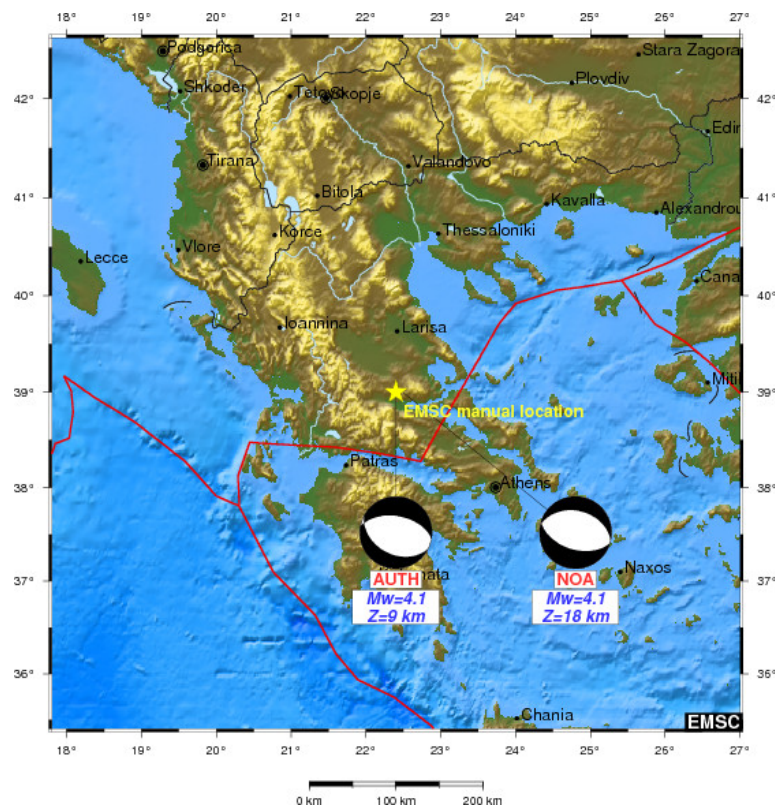
**Πίνακας 3.9.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 22 Νοεμβρίου 2013, με  $M=4.2$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N  | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |     |
|----|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|------|-----------|----|-----|
|    |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ   |
| 10 | 2013 Nov 22 | 15:12:04 | 39.025 | 22.400 | 4.2 | 95        | 45 | -110 | 302       | 48 | -71 |

Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.9. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης, με σχεδόν Α-Δ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης ρήγμα, με σχεδόν ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη. Αυτό το ρήγμα φαίνεται να ανήκει στην δεύτερη ομάδα ρηγμάτων, Α-Δ μέχρι ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξης της Θεσσαλίας, όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο (Σχ 1.2). Οπότε, το επίπεδο 2 φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο με την δεύτερη ομάδα κανονικών ρηγμάτων της Θεσσαλίας και το ρήγμα να είναι κανονικό με ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη και να κλίνει προς τα Β.



**Σχ. 3.14.** Οι μηχανισμοί γένεσης του σεισμού στις 22 Νοεμβρίου του 2013 στον χώρο της Ν. Θεσσαλίας



**Σχ. 3.15.** Η λύση του AUTH, και NOA για τον σεισμό στις 12 Νοεμβρίου του 2013 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>

Στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.9 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA) και από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (AUTH). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.14 με τις λύσεις που δημοσιεύτηκαν στο EMSC είναι σε πολύ καλή συμφωνία

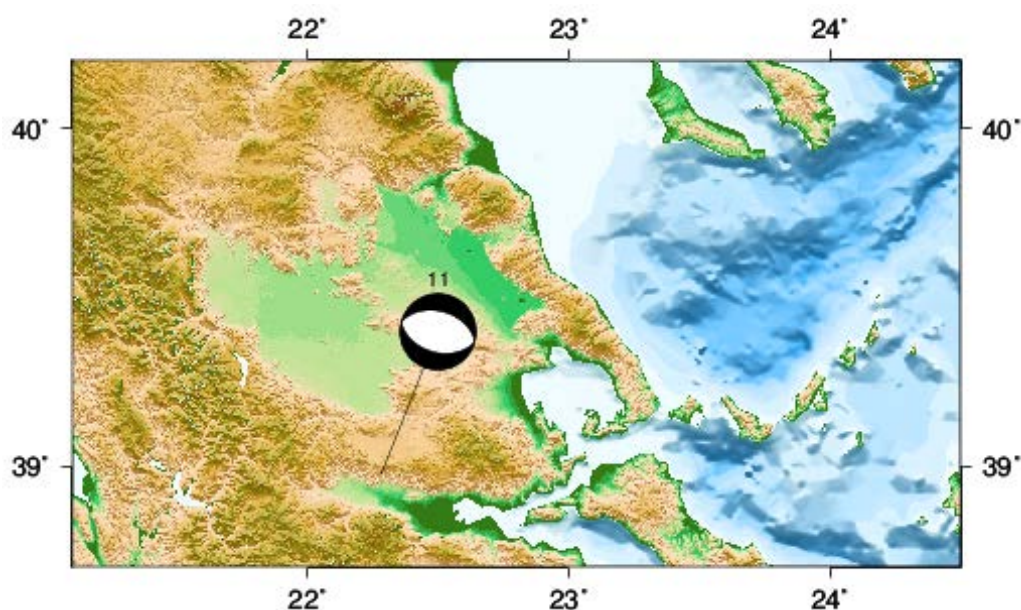


Στον πίνακα 3.10 δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 11 Δεκεμβρίου 2013 καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

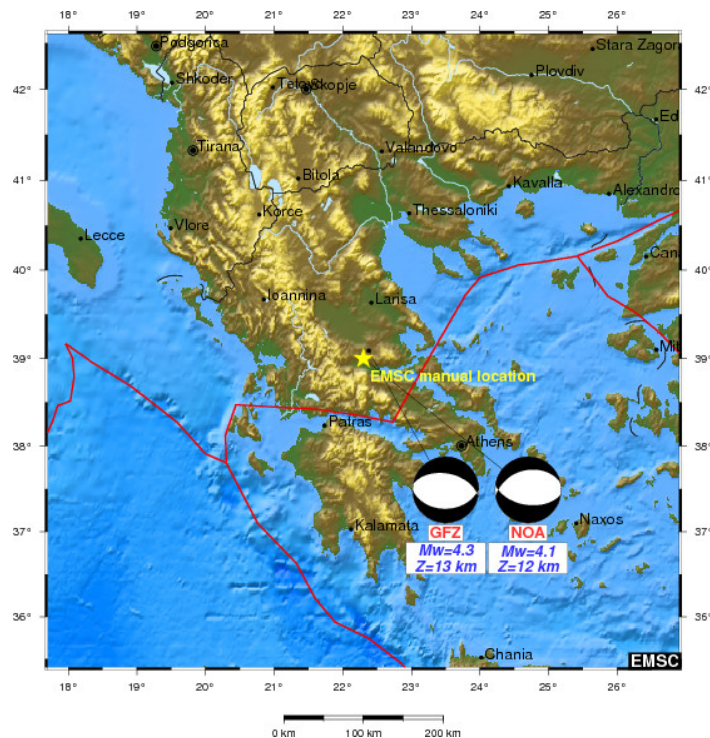
**Πίνακας 3.10.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 11 Δεκεμβρίου 2013, με  $M=4.2$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N  | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |     | Επίπεδο 2 |    |     |
|----|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|-----|-----------|----|-----|
|    |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ   | ζ         | θ  | λ   |
| 11 | 2013 Dec 11 | 13:00:54 | 38.986 | 22.299 | 4.2 | 105       | 45 | -90 | 285       | 45 | -90 |

Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.10 Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα κανονικό, με σχεδόν ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα, με σχεδόν ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη. Αυτός ο μηχανισμός γένεσης φαίνεται να έχει σχέση με τον προηγούμενο μηχανισμό, N=10. Μπορεί επίσης να είναι η συνέχεια του ίδιου ρήγματος που συσσωρεύσε τάσεις και ενεργοποιήθηκε 19 μέρες μετά, εξαιτίας του σεισμού του πίνακα 3.9. Και τα δύο επίπεδα έχουν παρόμοιες λύσεις οπότε η επιλογή του επιπέδου θα γίνει με βάση το προς τα πού θα κλίνει. Η λύση που θα προτείναμε θα είναι ένα ρήγμα κανονικό με ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη και κλίνει προς τα ΒΒΑ.



**Σχ. 3.16.** Οι μηχανισμοί γένεσης του σεισμού στις 11 Δεκεμβρίου του 2013 στον χώρο της Ν Θεσσαλίας.



**Σχ. 3.17.** Η λύση του GFZ και NOA για τον σεισμό στις 11 Δεκεμβρίου του 2013 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>

Στο Σχήμα 3.17 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.10 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA) και από το German Research Centre for Geosciences (GFZ). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.16 με τις λύσεις που δημοσιεύτηκαν στο EMSC, είναι σε σχεδόν καλή συμφωνία με μια μικρή διαφορά στην παράταξη.

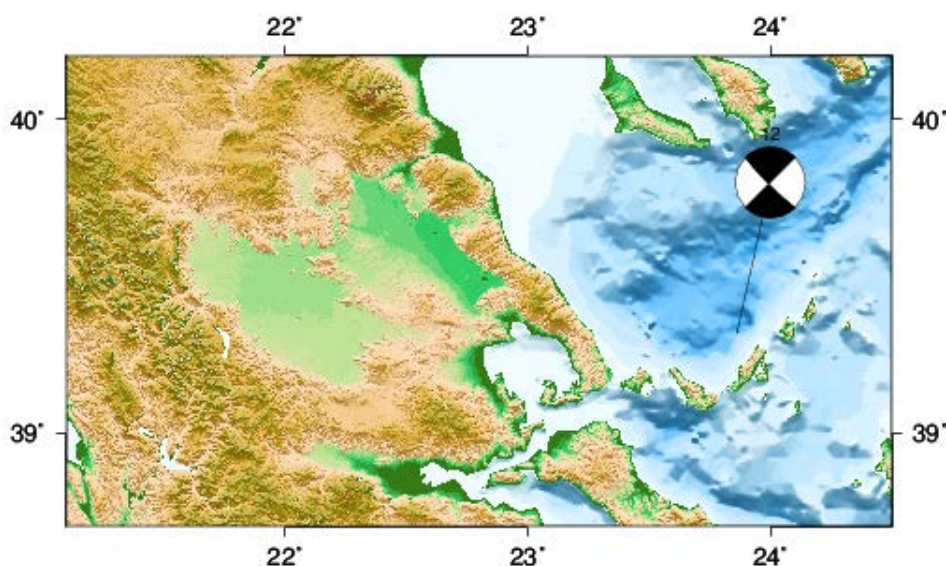
Στον πίνακα 3.11. δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 6 Μαΐου 2014 καθώς και οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.11.** Τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 6 Μαΐου 2014, με  $M=4.3$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

|    |             |          |        |        |     | Επίπεδο 1 |    |     | Επίπεδο 2 |    |   |
|----|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|-----|-----------|----|---|
| N  | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | ζ         | θ  | λ   | ζ         | θ  | λ |
| 12 | 2014 May 06 | 14:00:01 | 39.345 | 23.878 | 4.3 | 45        | 90 | 175 | 135       | 85 | 0 |

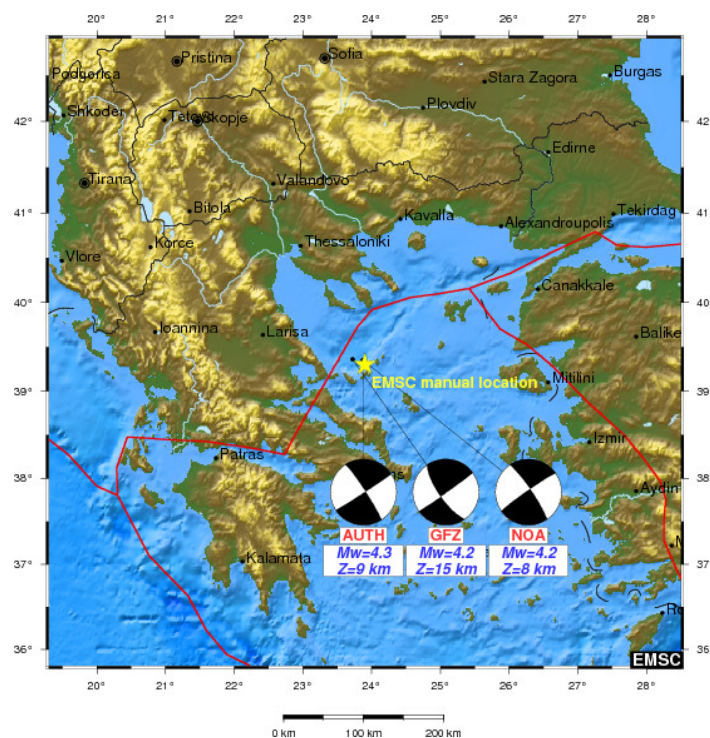
Στο σχήμα 3.18 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.11. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με μικρή ανάστροφη συνιστώσα, με ΒΑ-ΝΔ παράταξη. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με ΒΔ-ΝΑ παράταξη. Αυτός ο σεισμός βρίσκεται στην τάφρο του βορείου Αιγαίου (North

Again Trough) που είναι ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα (Parazachos et. al. 1998b) και επομένως το επίπεδο 1 συμφωνεί με τα γνωστά ρήγματα της περιοχής.



**Σχ. 3.18.** Οι μηχανισμοί γένεσης του σεισμού στις 6 Μαΐου του 2014 στον χώρο της Β. Αιγαίου.

Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 6.11 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA), από το German Research Centre for Geosciences (GFZ) και το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης AUTH. Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.18 με τις λύσεις που δημοσιεύτηκαν στο EMSC είναι σε πολύ καλή συμφωνία.



**Σχ. 3.19.** Η λύση του GFZ, NOA και AUTH για τον σεισμό στις 6 Μαΐου του 2014 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>

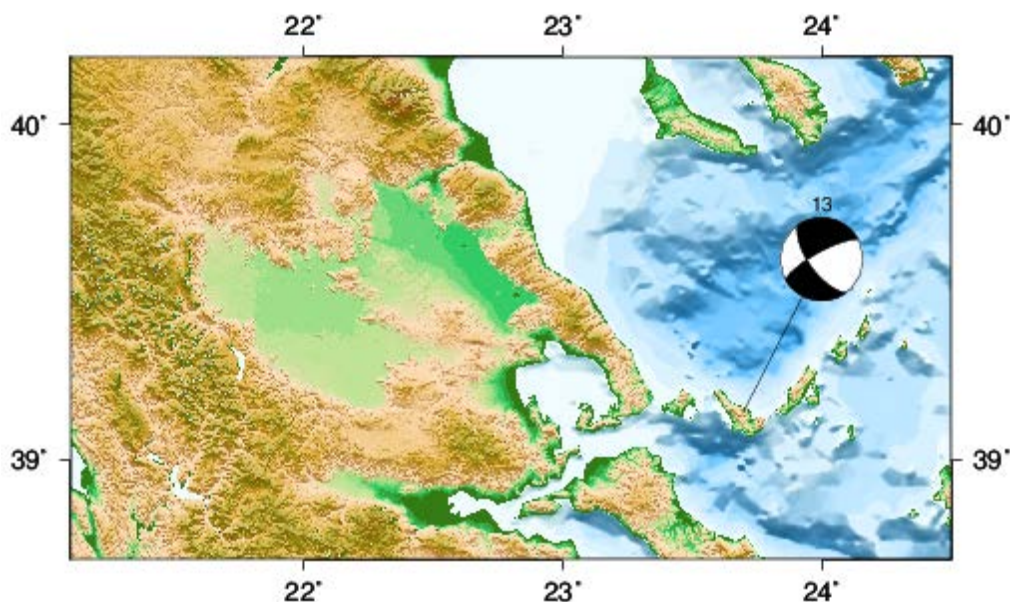


Στον πίνακα 3.11 δίνονται τα στοιχεία του σεισμού που έγινε στις 6 Ιουνίου 2014 καθώς και η οι παράμετροι του μηχανισμού γένεσής του. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.11.** Τα στοιχεία του σεισμού έγινε στις 6 Ιουνίου 2014, με  $M=4.4$  με τις παραμέτρους του μηχανισμού γένεσής του.

| N  | Date        | Time     | Lat    | Lon    | M   | Επίπεδο 1 |    |     | Επίπεδο 2 |    |      |
|----|-------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|-----|-----------|----|------|
|    |             |          |        |        |     | ζ         | θ  | λ   | ζ         | θ  | λ    |
| 13 | 2014 06 Jun | 12:21:05 | 39.147 | 23.694 | 4.4 | 145       | 65 | -15 | 241       | 76 | -154 |

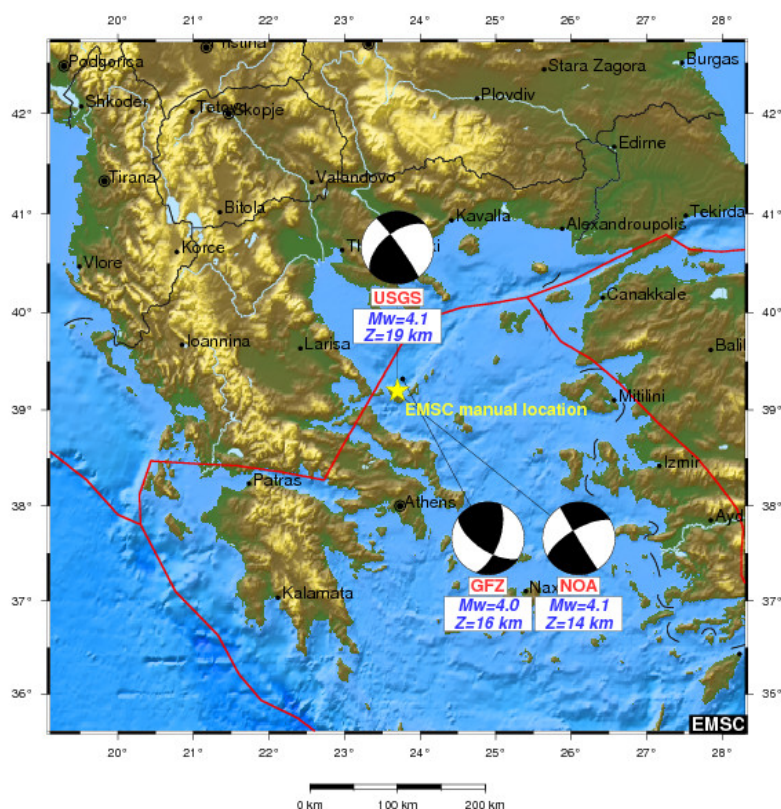
Στο σχήμα 3.20 παρουσιάζεται ο χάρτης του χώρου της Θεσσαλίας με το μηχανισμό γένεσης για το σεισμό του πίνακα 3.11. Με βάση το επίπεδο 1, πρόκειται για ένα ρήγμα αριστερόστροφης οριζόντιας μετατόπισης, με κανονική συνιστώσα, με σχεδόν ΒΔ-ΝΑ παράταξη και μεγάλη γωνία κλίσης. Με βάση το επίπεδο 2, πρόκειται για ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης, με κανονική συνιστώσα κίνησης, με ΑΒΑ-ΔΝΔ παράταξη και μεγάλη γωνία κλίσης. Αυτός ο μηχανισμός φαίνεται να ανήκει στο NAT (North Aegean Trough, Papazachos et al. 1998b). Οπότε το επίπεδο 2 φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο με τα γνωστά ρήγματα της περιοχής και το ρήγμα να είναι δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης.



**Σχ. 3.20.** Οι μηχανισμοί γένεσης του σεισμού στις 6 Ιουνίου του 2014 στον χώρο της Β Αιγαίου.

Στο Σχήμα 3.21 παρουσιάζονται οι λύσεις για τον σεισμό του πίνακα 3.11 που δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα του European – Mediterranean Seismological Centre EMSC από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (NOA), το German Research Centre for Geosciences (GFZ) και U.S. Geological Survey (USGS). Όπως φαίνεται η λύση του σχήματος 3.20 με τις

λύσεις που δημοσιεύτηκαν στο EMSC είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τις λύσεις του USGS και NOA.



**Σχ. 3.21.** Η λύση του GFZ, NOA και USGS για τον σεισμό στις 6 Μαΐου του 2014 σε δημοσίευση στο EMSC. Από <http://www.emsc-csem.org/#2>

Στον πίνακα 3.12 παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας για τους 13 μηχανισμούς γένεσης που υπολογίστηκαν για τον χώρο της Θεσσαλίας για σεισμούς μεγέθους από 4 και πάνω για το χρονικό διάστημα 2007-2014. Ισχύει η ίδια επεξήγηση των στηλών με τον πίνακα 3.1.

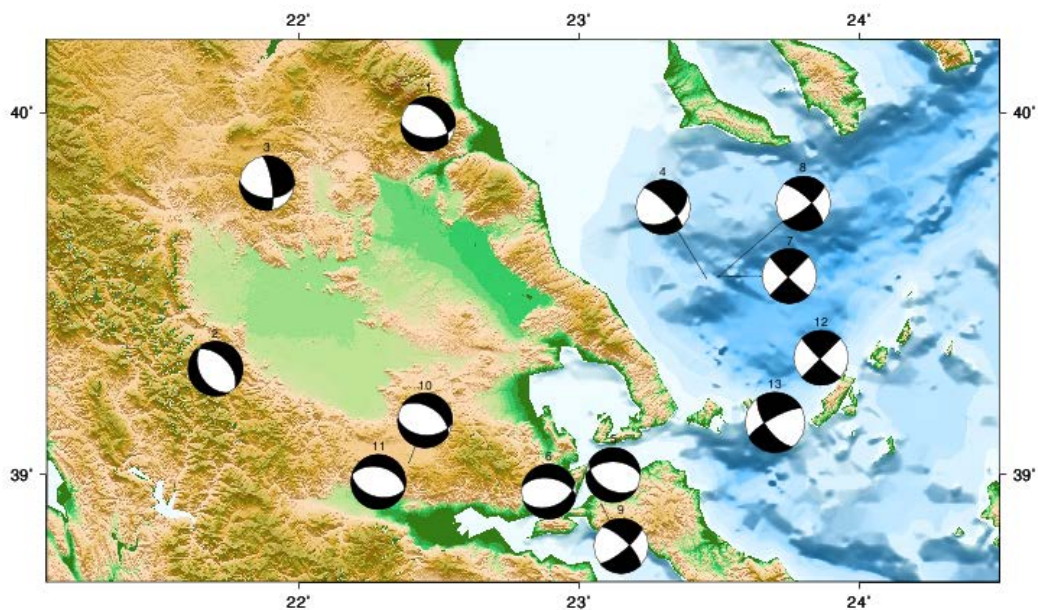
**Πίνακας 3.12.** Συγκεντρωτικός πίνακας με τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης που υπολογίστηκαν για τους σεισμούς μεγέθους από 4 και πάνω για τον χώρο της Θεσσαλίας στο χρονικό διάστημα 2007-2014.

|   |              |          |        |        |     | Επίπεδο 1 |    |      | Επίπεδο 2 |    |      |
|---|--------------|----------|--------|--------|-----|-----------|----|------|-----------|----|------|
| N | Date         | Time     | Lat    | Lon    | M   | ζ         | θ  | λ    | ζ         | θ  | λ    |
| 1 | 2007 Feb. 19 | 6:23:13  | 39.984 | 22.542 | 4   | 93        | 48 | -121 | 315       | 50 | -60  |
| 2 | 2007 May 01  | 11:07:13 | 39.306 | 21.758 | 4   | 150       | 41 | -78  | 315       | 50 | -100 |
| 3 | 2007 May 11  | 9:28:29  | 39.818 | 21.921 | 4   | 95        | 45 | -160 | 351       | 76 | -47  |
| 4 | 2011 Jan 20  | 11:39:37 | 39.550 | 23.487 | 4   | 60        | 45 | -160 | 316       | 76 | -47  |
| 5 | 2012 Jun 28  | 13:11:30 | 39.004 | 23.135 | 4.3 | 120       | 44 | -68  | 270       | 50 | -110 |



|    |             |          |        |        |     |     |    |      |     |    |      |
|----|-------------|----------|--------|--------|-----|-----|----|------|-----|----|------|
| 6  | 2012 Oct 26 | 23:16:45 | 38.957 | 22.893 | 4.4 | 70  | 44 | -112 | 280 | 50 | -70  |
| 7  | 2012 Dec 03 | 21:40:16 | 39.540 | 23.503 | 4   | 45  | 90 | 175  | 138 | 85 | 0    |
| 8  | 2012 Dec 03 | 21:40:16 | 39.540 | 23.503 | 4   | 50  | 75 | -160 | 315 | 71 | -16  |
| 9  | 2013 Nov 12 | 18:09:28 | 38.921 | 23.099 | 4.8 | 50  | 75 | -160 | 315 | 71 | -16  |
| 10 | 2013 Nov 22 | 15:12:04 | 39.025 | 22.400 | 4.2 | 95  | 45 | -110 | 302 | 48 | -71  |
| 11 | 2013 Dec 11 | 13:00:54 | 38.986 | 22.299 | 4.2 | 105 | 45 | -90  | 285 | 45 | -90  |
| 12 | 2014 May 06 | 14:00:01 | 39.345 | 23.878 | 4.3 | 45  | 90 | 175  | 135 | 85 | 0    |
| 13 | 2014 Jun 06 | 12:21:05 | 39.147 | 23.694 | 4.4 | 145 | 65 | -15  | 241 | 76 | -154 |

Στο σχήμα 3.22 παρουσιάζονται όλες οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης που εκπονήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για τον χώρο της Θεσσαλίας από τα στοιχεία του πίνακα 3.12.



**Σχ. 3.22.** Χάρτης με τους μηχανισμούς γένεσης για τον χώρο της Θεσσαλίας, με σεισμούς μεγέθους από 4 και πάνω, για το χρονικό διάστημα 2007-2014.

## Βιβλιογραφία

- Caputo, R. and Pavlides, S. (1993), Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central–northern Greece), *Tectonophysics*, 223, 339–362.
- Demitrack, A., (1986), The Late Quaternary geologic history of the Larissa Plain, Thessaly, Greece: tectonic, climatic, and human impact on the landscape, Ph.D. thesis, Stanford University, Stanford, CA, USA, 134 pp.
- Hatzfeld, D., Ziazia, M., Kementzetzidou, D., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., and Deschamps, A., (1999),. Macroseismicity and focal mechanism at the western termination of the North Anatolian Fault and their implication for continental tectonics. *Geophysical Journal International*, 137, 891–908.B.
- Mountrakis, D., Kiliyas, A., Pavlides, S., Zouros, N., Spyropoulos, N., Tranos, M., Soulakelis, N., (1993), Field study of the southern Thessaly highly active fault zone, Proc. *2nd Congr. Hellenic Geophys. Union*, May 5-8, 1993, Florina, Vol. 2, 1993, pp. 603-614.
- Park M., 1985. FPFIT, FPLOT AND FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquakes fault-plane solutions, *Open-File Report*, 85-739.
- Karakostas V.G., Karamanos Ch.K., Papadimitriou E.E., Kassaras I., Markopoulos K., (2006), Macroseismicity and faulting geometry in central Greece. *First European Conference on Earthquakes Engineering and Seismology*, 3-8 September 2006, Geneva, 1062.
- King, G., Sturdy, D. and Whitney, J. (1993). Landscape geometry and active tectonics of northwest Greece. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105, 137-161.
- Oral, M.B., Reilinger, R.E., Toksoz, M.N., King, R.W., Barka, A.A., Kiniki, J. and Lenk, D. (1995) Global Positioning System offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS*, 76, 9-11.
- Papadimitriou, E.E. and Karakostas, V.G. (2003), Episodic occurrence of strong (Mw6.2) earthquakes in Thessalia area (central Greece), *Earth Planetary Science Letters*, 215, 395–409.
- Papazachos, B.C., Karakaisis, G.F. and Hatzidimitriou, P.M. (1994). Further information on the transform fault of the Ionian sea, *Proc. XXIV Gen. As, Europ. Seism. Com., Athens, 19-24, Sept., 1994*, 1, 377-384.
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. and Louvari, E.K. (1998), Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implications. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 39, 199–218.
- Papazachos, B.C., Mountrakis, D.M., Papazachos, C.B., Tranos, M.D., Karakaisis, G.F. and Savvaidis, A.S. (2001), The faults that caused the known strong earthquakes in Greece and surrounding areas during 5<sup>th</sup> century B. C. up to present, *Proceedings of the 2nd Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 28–30 September 2001, Thessaloniki, 1, 17–26.
- Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ., 2003. Οι Σεισμοί της Ελλάδας. *Εκδόσεις Ζήτη*, 49-60, 67-96, 133- 139, 163-305.
- Παπαζάχος, Β.Κ., Καρακαίσης, Γ.Φ., Χατζηδημητρίου, Π., Μ., 2005. Εισαγωγή στη Σεισμολογία. *Εκδόσεις Ζήτη*, 154-157, 165-175.

Papazachos, C.B., (1999). Seismological and GPS evidence for the Aegean –Anatolian interaction. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2653-2656.

Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Panagiotopoulos, D.G., Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. (1985). Evidence for transform faulting in the Ionian Sea. The Cephalonia island earthquake sequence of 1983. *Pure Appl. Geophys.*, 123, 388-397.

Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. Luis and F. Wobbe (2013), Generic Mapping Tools: Improved Version Released, *Eos Trans. AGU*, 94(45), 409.

### **Διαδίκτυο**

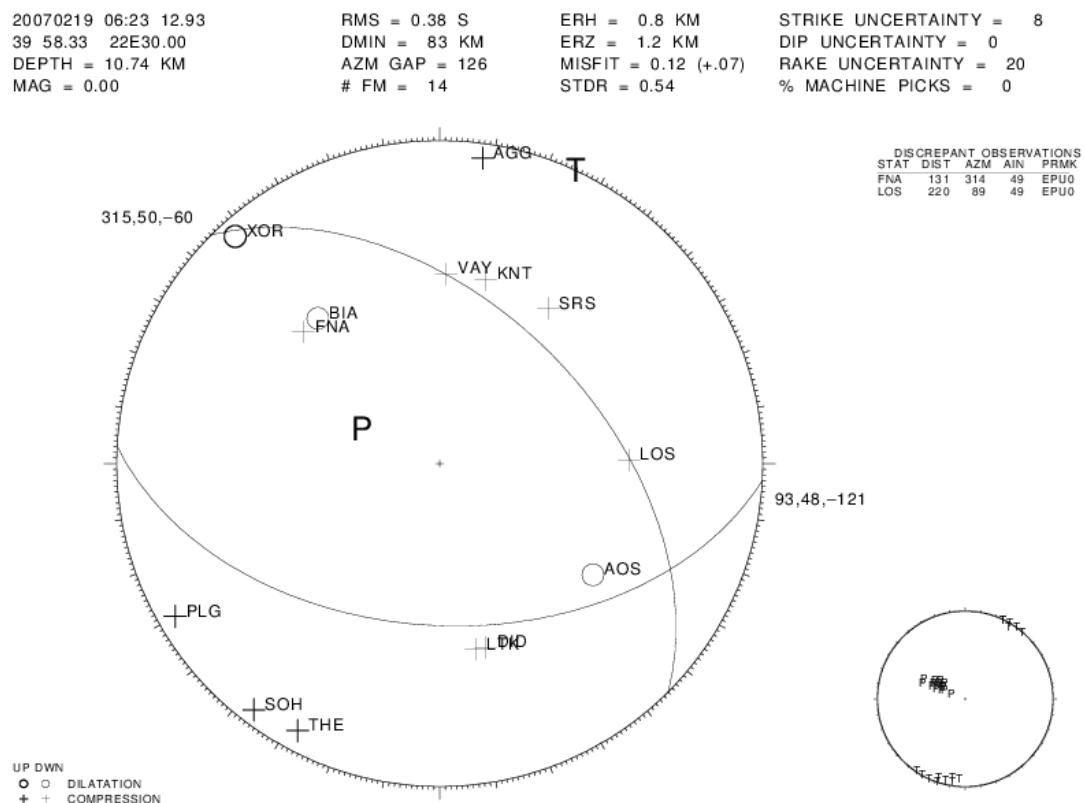
<http://gmt.soest.hawaii.edu/>

<http://www.emsc-csem.org/#2>

<http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>

## Παραρτήματα

Τέλος, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί γένεσης που χρησιμοποιήθηκαν, όπως απαριθμούνται στην πρώτη στήλη του πίνακα 3.12, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την FPFIT και FPPOL.



Σχ. 1. Μηχανισμός Γένεσης N=1 για τον σεισμό στις 19 Φεβρουαρίου 2007.

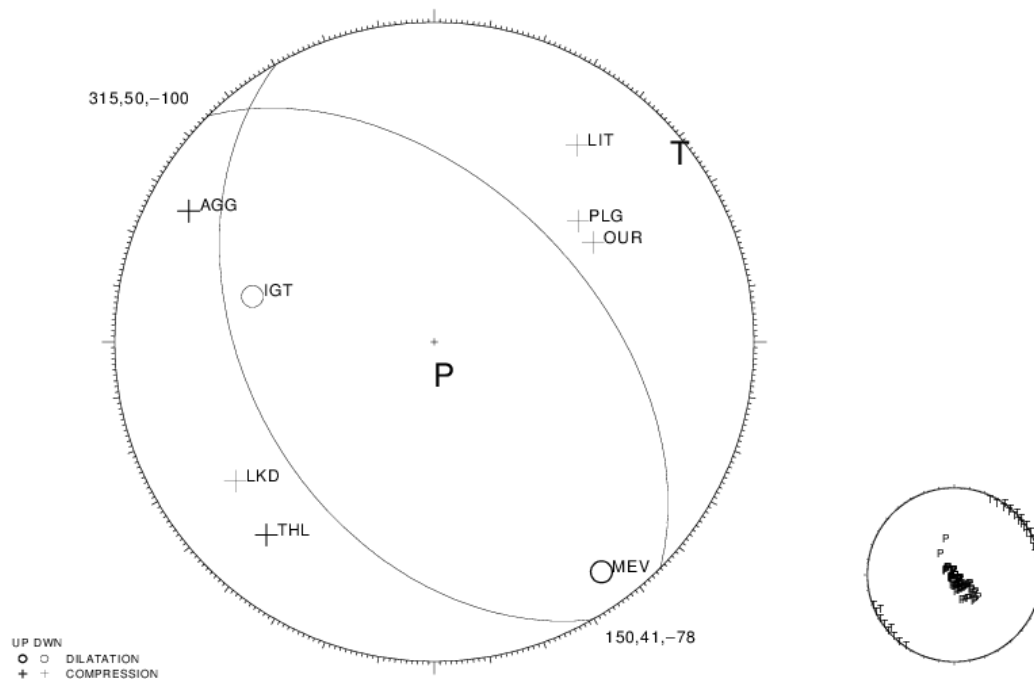


20070501 11:07 12.31  
39 17.56 21E42.21  
DEPTH = 15.61 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.21 S  
DMIN = 40 KM  
AZM GAP = 117  
# FM = 8

ERH = 0.7 KM  
ERZ = 1.2 KM  
MISFIT = 0.00 (+.10)  
STDR = 0.57

STRIKE UNCERTAINTY = 25  
DIP UNCERTAINTY = 3  
RAKE UNCERTAINTY = 15  
% MACHINE PICKS = 0



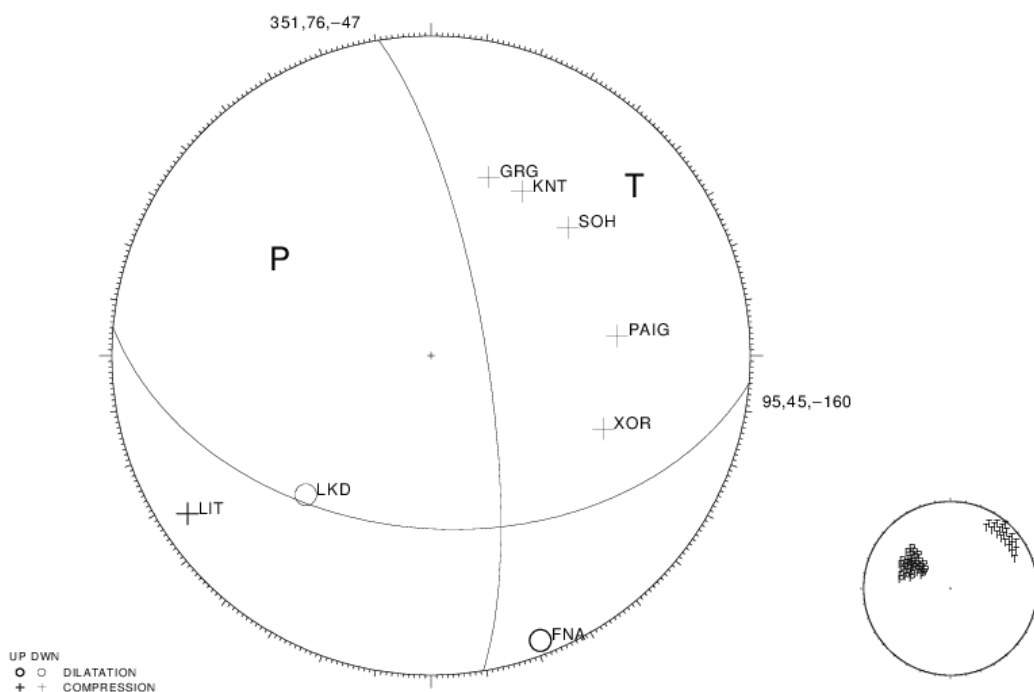
Σχ. 2. Μηχανισμός Γένεσης N=2 για τον σεισμό στις 1 Μαΐου 2007.

20070511 09:28 29.12 (MULTIPLE)  
39 48.38 21E53.15  
DEPTH = 11.13 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.10 S  
DMIN = 56 KM  
AZM GAP = 71  
# FM = 8

ERH = 0.2 KM  
ERZ = 0.5 KM  
MISFIT = 0.00 (+.10)  
STDR = 0.62

STRIKE UNCERTAINTY = 18  
DIP UNCERTAINTY = 5  
RAKE UNCERTAINTY = 10  
% MACHINE PICKS = 0



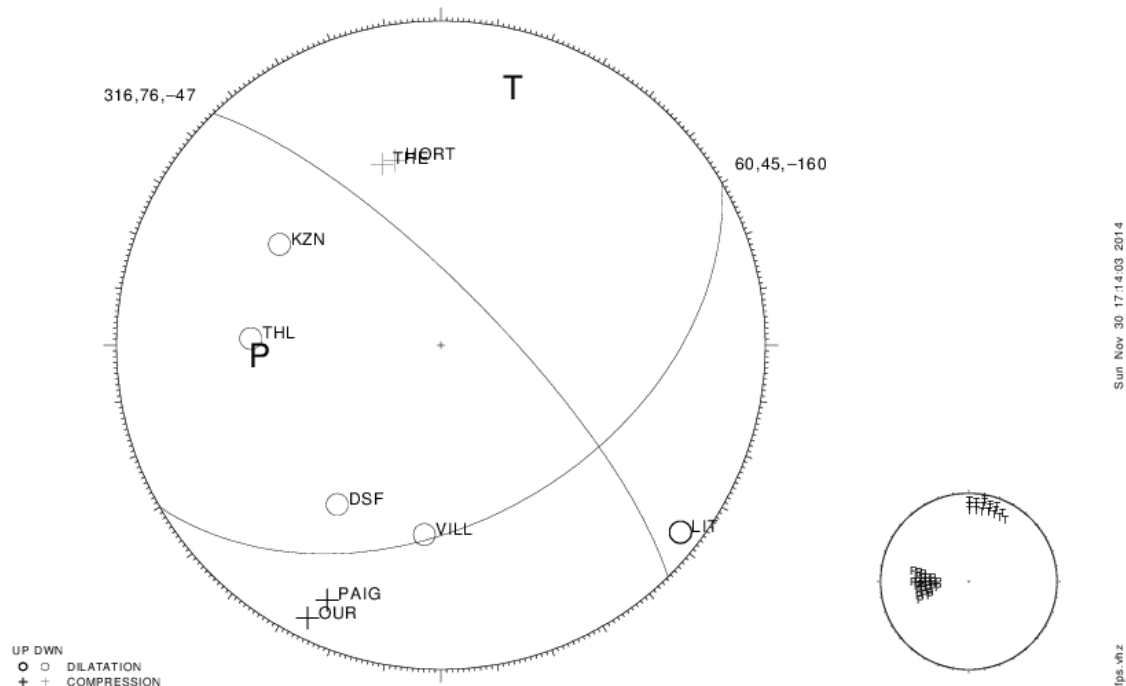
Σχ. 3. Μηχανισμός Γένεσης N=3 για τον σεισμό στις 11 Μαΐου 2007.

20110120 11:39 37.79  
39 32.61 23E27.25  
DEPTH = 12.94 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.18 S  
DMIN = 30 KM  
AZM GAP = 112  
# FM = 9

ERH = 0.3 KM  
ERZ = 1.0 KM  
MISFIT = 0.00 (+.09)  
STDR = 0.62

STRIKE UNCERTAINTY = 15  
DIP UNCERTAINTY = 5  
RAKE UNCERTAINTY = 10  
% MACHINE PICKS = 0



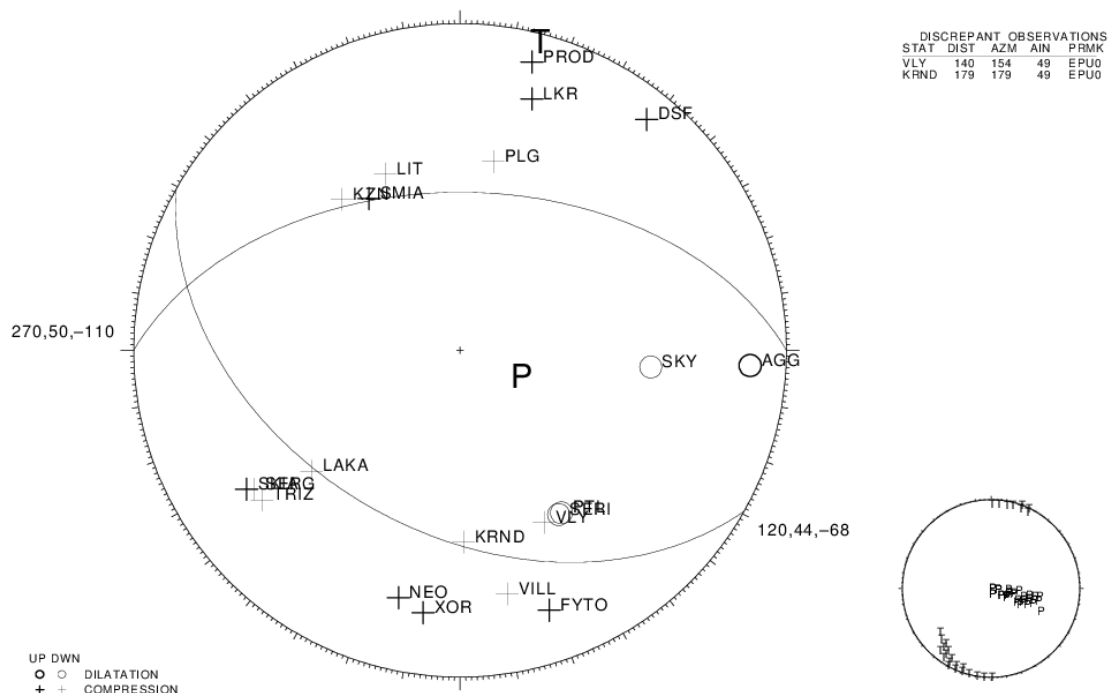
Σχ. 4. Μηχανισμός Γένεσης N=4 για τον σεισμό στις 20 Ιανουαρίου 2011.

20120628 13:11 30.78  
38 59.88 23E 7.26  
DEPTH = 15.52 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.20 S  
DMIN = 15 KM  
AZM GAP = 53  
# FM = 21

ERH = 0.3 KM  
ERZ = 0.5 KM  
MISFIT = 0.06 (+.06)  
STDR = 0.57

STRIKE UNCERTAINTY = 5  
DIP UNCERTAINTY = 3  
RAKE UNCERTAINTY = 30  
% MACHINE PICKS = 0



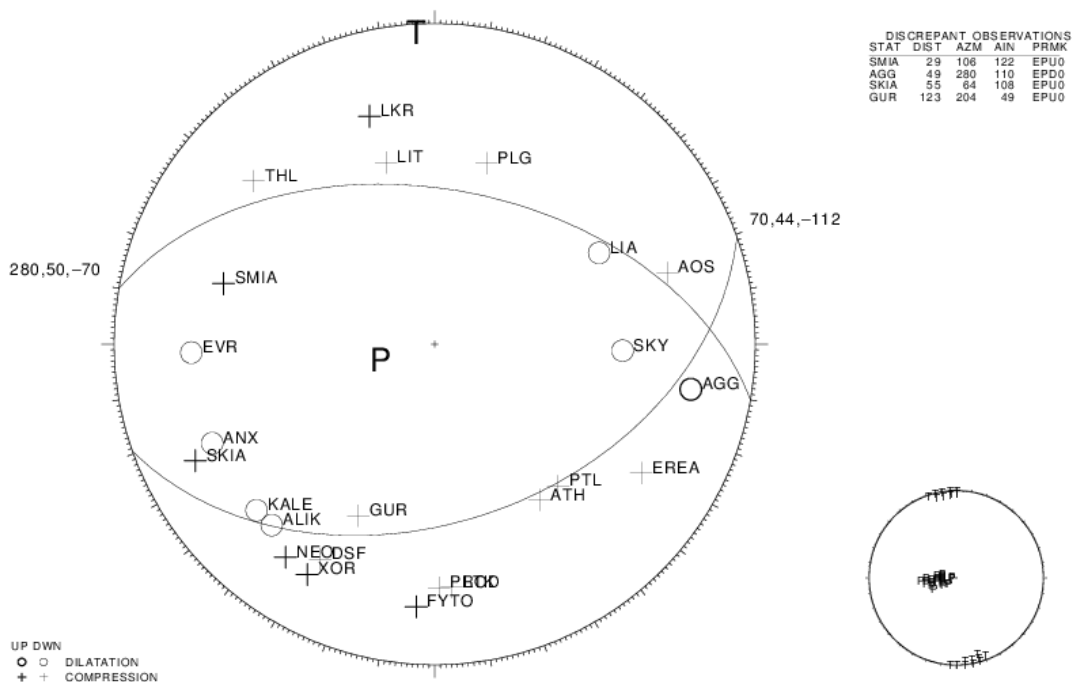
Σχ. 5. Μηχανισμός Γένεσης N=5 για τον σεισμό στις 28 Ιουνίου 2012.

20121026 23:16 45.19  
38 57.12 22E53.50  
DEPTH = 18.28 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.17 S  
DMIN = 29 KM  
AZM GAP = 58  
# FM = 24

ERH = 0.3 KM  
ERZ = 0.5 KM  
MISFIT = 0.15 (+.06)  
STDR = 0.46

STRIKE UNCERTAINTY = 10  
DIP UNCERTAINTY = 3  
RAKE UNCERTAINTY = 15  
% MACHINE PICKS = 0



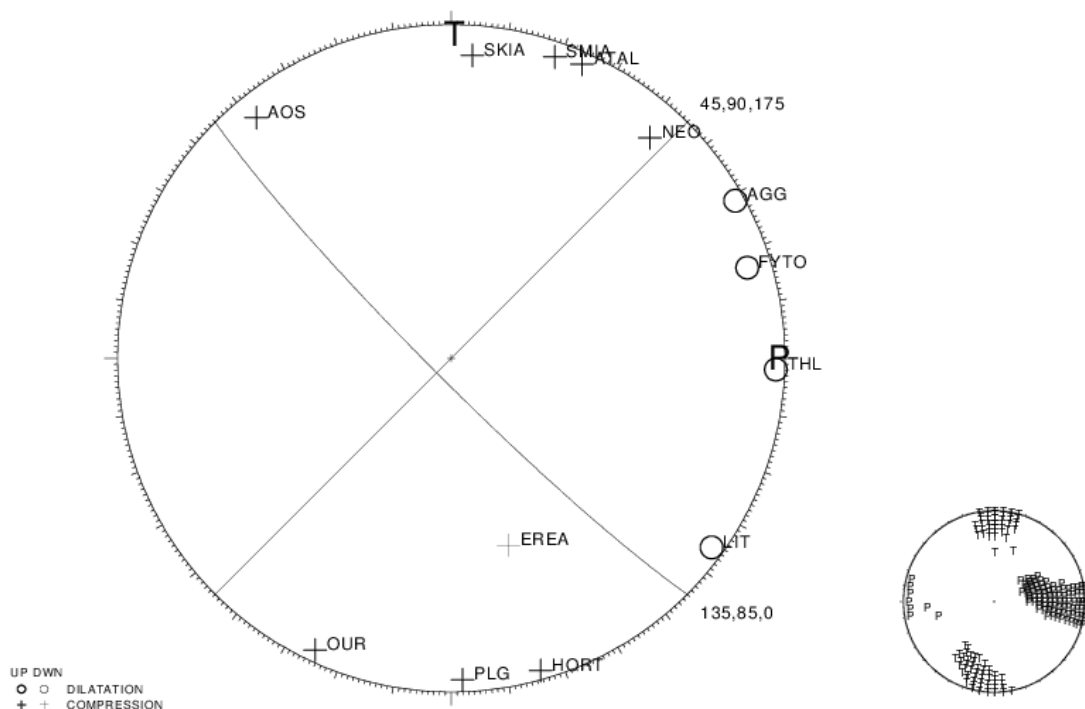
Σχ. 6. Μηχανισμός Γένεσης N=6 για τον σεισμό στις 26 Οκτωβρίου 2012.

20121203 21:40 16.54  
39 32.87 23E29.82  
DEPTH = 7.88 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.14 S  
DMIN = 33 KM  
AZM GAP = 130  
# FM = 13

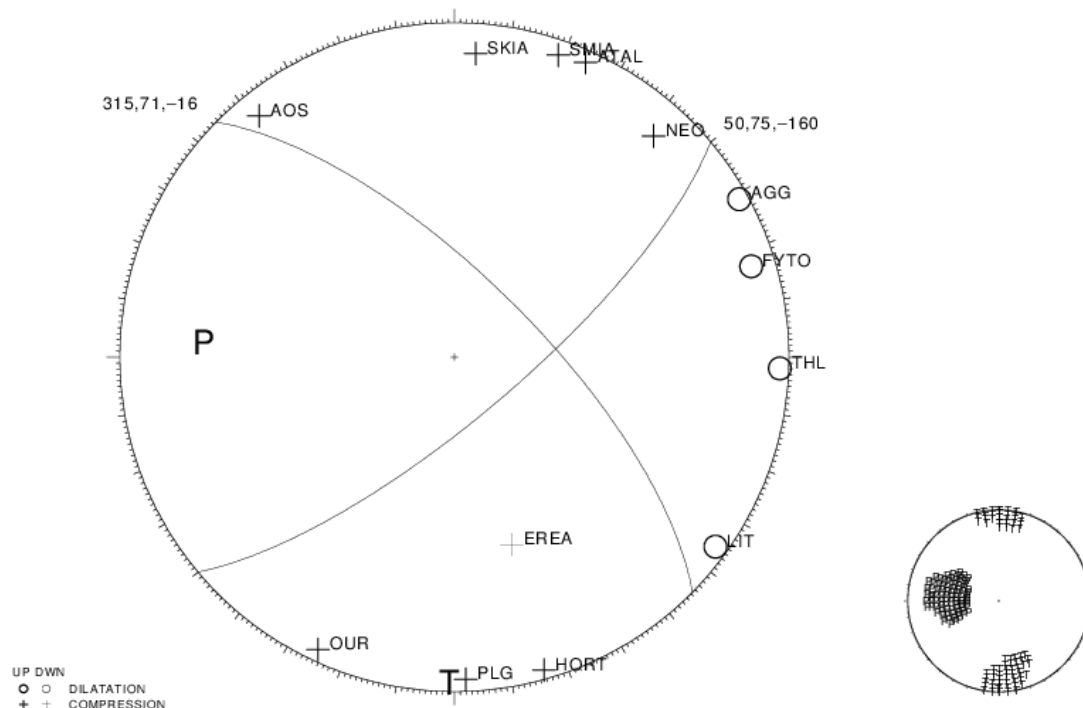
ERH = 0.3 KM  
ERZ = 2.7 KM  
MISFIT = 0.00 (+.08)  
STDR = 0.77

STRIKE UNCERTAINTY = 13  
DIP UNCERTAINTY = 20  
RAKE UNCERTAINTY = 68  
% MACHINE PICKS = 0



Σχ. 7. Μηχανισμός Γένεσης N=7 για τον σεισμό στις 3 Δεκεμβρίου 2012.

20121203 21:40 16.54 (MULTIPLE) RMS = 0.14 S ERH = 0.3 KM STRIKE UNCERTAINTY = 10  
 39 32.87 23E29.82 DMIN = 33 KM ERZ = 2.7 KM DIP UNCERTAINTY = 20  
 DEPTH = 7.88 KM AZM GAP = 130 MISFIT = 0.00 (+.08) RAKE UNCERTAINTY = 20  
 MAG = 0.00 # FM = 13 STDR = 0.75 % MACHINE PICKS = 0

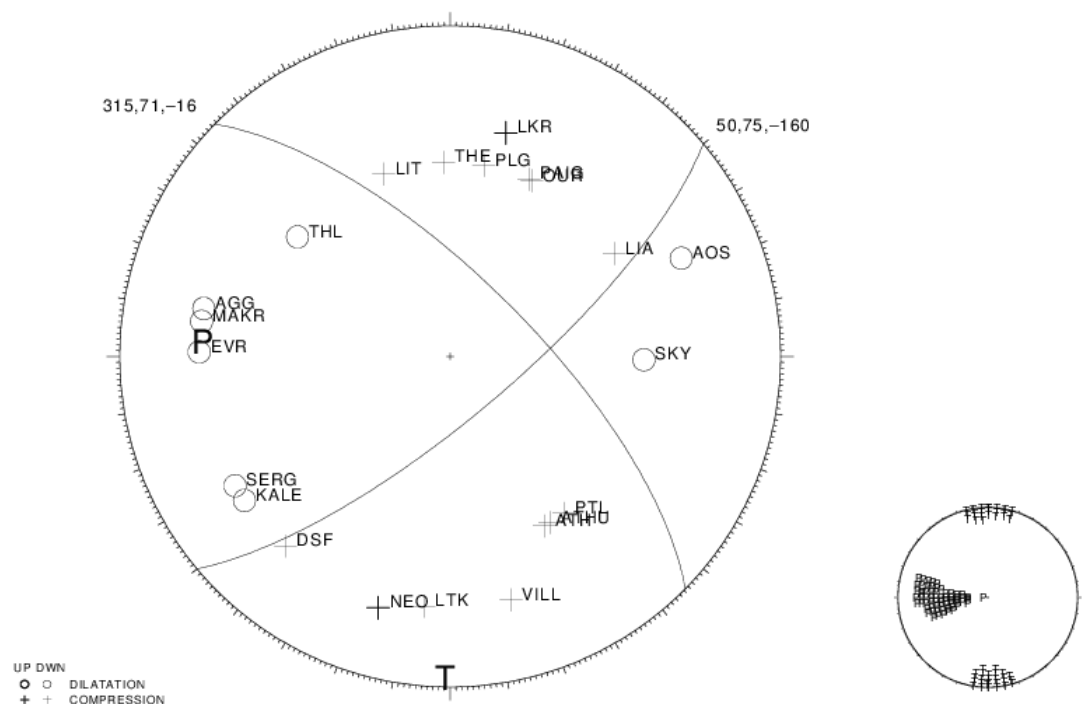


Sun Nov 30 17:14:03 2014

ips.vh.z

Σχ. 8. Μηχανισμός Γένεσης N=8 για τον σεισμό στις 3 Δεκεμβρίου 2012.

20131112 18:09 27.86 (MULTIPLE) RMS = 0.26 S ERH = 0.4 KM STRIKE UNCERTAINTY = 10  
 38 55.07 23E 4.77 DMIN = 30 KM ERZ = 0.6 KM DIP UNCERTAINTY = 15  
 DEPTH = 18.59 KM AZM GAP = 63 MISFIT = 0.00 (+.06) RAKE UNCERTAINTY = 10  
 MAG = 0.00 # FM = 22 STDR = 0.67 % MACHINE PICKS = 0



Sun Nov 30 17:14:03 2014

ips.vh.z

Σχ. 9. Μηχανισμός Γένεσης N=9 για τον σεισμό στις 12 Νοεμβρίου 2013.



STRIKE UNCERTAINTY = 15  
DIP UNCERTAINTY = 5  
RAKE UNCERTAINTY = 25  
% MACHINE PICKS = 0



STRIKE UNCERTAINTY = 15  
DIP UNCERTAINTY = 0  
RAKE UNCERTAINTY = 25  
% MACHINE PICKS = 0



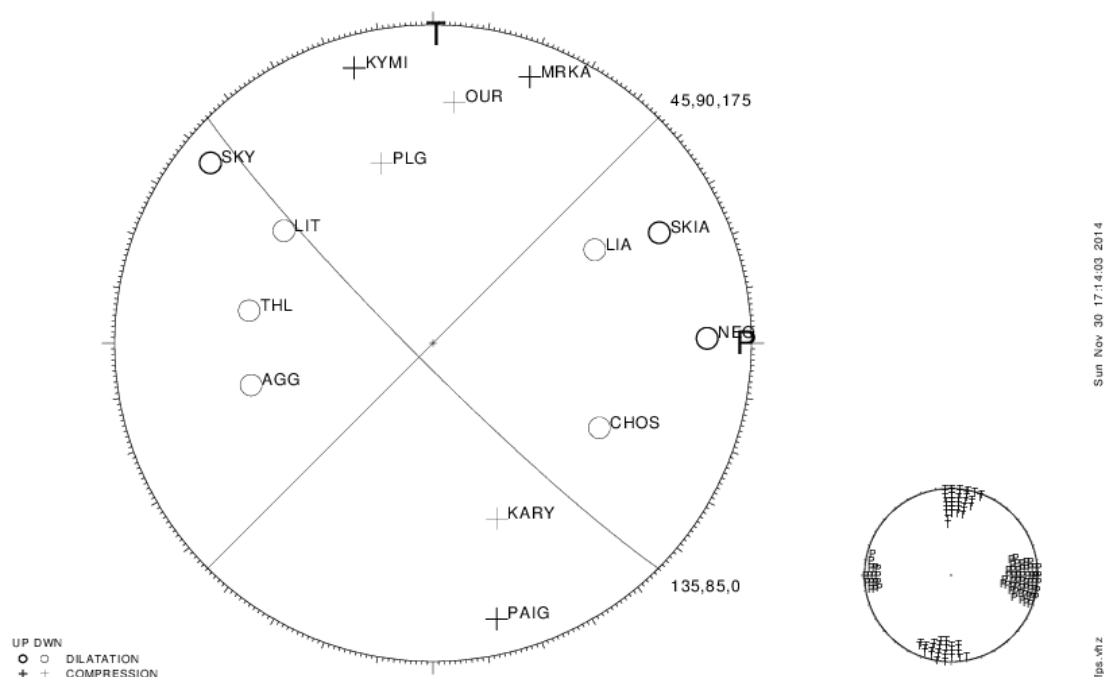
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

20140506 02:00 1.49  
39 19.42 23E51.80  
DEPTH = 15.72 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.12 S  
DMIN = 38 KM  
AZM GAP = 69  
# FM = 14

ERH = 0.3 KM  
ERZ = 0.7 KM  
MISFIT = 0.00 (+.07)  
STDR = 0.71

STRIKE UNCERTAINTY = 13  
DIP UNCERTAINTY = 10  
RAKE UNCERTAINTY = 35  
% MACHINE PICKS = 0



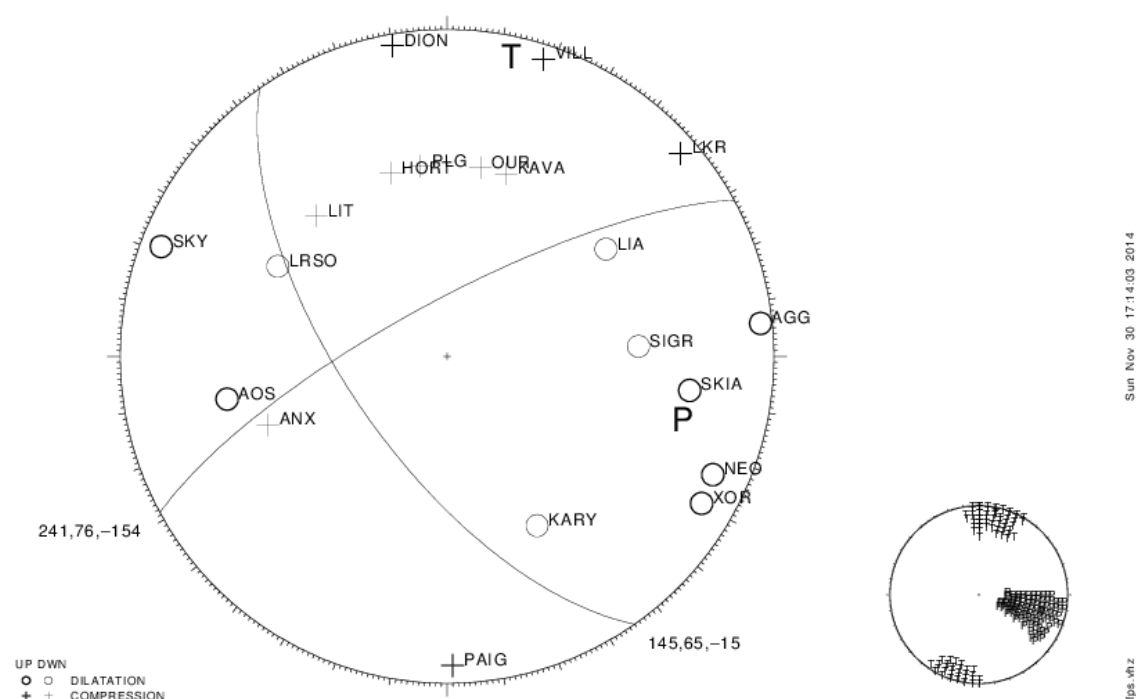
Σχ. 12. Μηχανισμός Γένεσης  $N=12$  για τον σεισμό στις 6 Μάιου 2014.

20140606 12:21 5.20  
39 8.65 23E41.97  
DEPTH = 9.99 KM  
MAG = 0.00

RMS = 0.13 S  
DMIN = 16 KM  
AZM GAP = 139  
# FM = 20

ERH = 0.3 KM  
ERZ = 1.1 KM  
MISFIT = 0.00 (+.06)  
STDR = 0.70

STRIKE UNCERTAINTY = 13  
DIP UNCERTAINTY = 20  
RAKE UNCERTAINTY = 28  
% MACHINE PICKS = 0



Σχ. 13. Μηχανισμός Γένεσης  $N=13$  για τον σεισμό στις 6 Ιουνίου 2014.