



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



*ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΟΥ 2003 ΤΗΣ
ΛΕΥΚΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέποντες:

Παπαδημητρίου Ελευθερία

Κώστογλου Αναστάσιος

Δαφνιώτη Ελένη

A.E.M 5229

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΕΛΕΝΗ Α.ΔΑΦΝΙΩΤΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5229

*ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΟΥ 2003 ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ*

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής

Επιβλέποντες

Παπαδημητρίου Ελευθερία
Κώστογλου Αναστάσιος

© Ελένη Α. Δαφνιώτη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΟΥ 2003 ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ – *Διπλωματική Εργασία*

© Helen A. Dafnioti, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2020

All rights reserved.

STUDY OF THE FAULTING COMPLEXITY AND ORTHOGONAL STRUCTURES
DURING THE 2003 LEFKADA SEISMIC SEQUENCE – *Bachelor Thesis*



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω,

Την κύρια επιβλέπουσα της εργασίας, Καθηγήτρια Σεισμολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ, του Τομέα Γεωφυσικής, **κα. Ελευθερία Παπαδημητρίου**, για την πολύτιμη βοήθειά της ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία η πτυχιακή διατριβή μου. Για την αμέριστη καθοδήγησή της και την αδιάκοπη στήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης και έρευνας που πραγματοποιήσαμε.

Επιπλέον, τον υποψήφιο Διδάκτορα **Κώστογλου Αναστάσιο**, συνεπιβλέποντα της εργασίας μου, για τις πολύτιμες οδηγίες και το χρόνο που διέθεσε προκειμένου να βοηθήσει στην διεκπεραίωση της πτυχιακής διατριβής.

Τέλος τους **πολύ καλούς μου φίλους** και την **οικογένειά μου** για την στήριξη, υπομονή και πίστη σε έμένα, σε όλη τη διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων χωρίς τους οποίους η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν αδύνατη.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

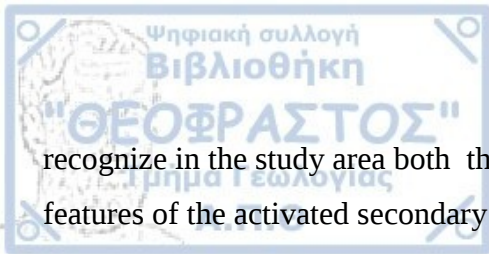
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	<u>σελ.7</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	<u>σελ. 9</u>
1.1 Ενεργό σεισμοτεκτονικό υπόβαθρο του Αιγαίου	σελ.9
1.2 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς της περιοχής της Λευκάδας.....	σελ.11
1.3 Καταγεγραμμένοι ιστορικοί σεισμοί.....	σελ.17
1.4 Σκοπός εργασίας.....	σελ.17
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ</u> <u>ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ</u>	<u>σελ.18</u>
2.1 Εισαγωγή.....	σελ.18
2.2 Περιγραφή της μετασεισμικής ακολουθίας του 2003	σελ.19
2.3 Περιγραφή ενεργών δομών	σελ.25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>σελ.38</u>
<u>Αναφορές</u>	<u>σελ.41</u>
<u>Βιβλιογραφία</u>	<u>σελ.41</u>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις 14 Αυγούστου 2003 πραγματοποιήθηκε σεισμός μεγέθους 6.2 στη βορειοδυτική ακτή του νησιού της Λευκάδας. Το σεισμό ακολούθησε έντονη μετασεισμική δραστηριότητα η οποία προκάλεσε καταστροφές στην πόλη της Λευκάδας αλλά και κατά μήκος των βορειοδυτικών ακτών της. Η έντονη σεισμικότητα που ακολούθησε είχε ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση δευτερευόντων τεκτονικών δομών αλλά και την επέκταση των μετασεισμών από το βόρειο τμήμα της Λευκάδας προς τα νότια, κοντά στις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς. Η σεισμική ακολουθία έδειξε τη δημιουργία μετασεισμών και εκτός του κύριου ρήγματος σχηματίζοντας συγκεντρώσεις μετασεισμών κοντά στην κύρια διάρρηξη αλλά και μακριά από αυτήν. Οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης παρουσιάζουν κυρίως δεξιόστροφες διαρρήξεις οριζόντιας μετατόπισης, ωστόσο παρατηρούνται και διαρρήξεις ανάστροφες και κανονικές, τις οποίες θα μελετήσουμε στην παρούσα εργασία. Θα προσπαθήσουμε να εμβαθύνουμε στα γεωμετρικά και σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά αυτών των δευτερευόντων δομών μέσα από την ανάλυση της επικεντρικής κατανομής, τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης και τις παράλληλες και κάθετες τομές στις χωρικές συγκεντρώσεις των μετασεισμών. Επειδή θεωρούνται πιθανές πηγές οι οποίες συνδέονται με σεισμούς ικανούς να προκαλέσουν βλάβες στην περιοχή κοντά στην κύρια διάρρηξη αλλά και εκτός αυτής.

ABSTRACT

On August 14th 2003 an earthquake with magnitude 6.2 occurred at the northwest coastline of Lefkada Island. The earthquake followed by an intense aftershock activity posing severe seismic hazard and damage in the area of Lefkada especially along the northwest coastlines of the Island. Along with the intense onto fault aftershock activity, the activation of secondary active structures and the expansion of aftershock distribution from the northern part to the southern part of Lefkada, up to the northwest coastlines of Kefalonia. The aftershock distribution evidenced the off- fault activity expressed by clusters near the main shock and also far away from it. The aftershock focal mechanisms mainly exhibit a dextral strike slip faulting, although we can



recognize in the study area both thrust and normal faults that we will attempt to describe. The features of the activated secondary segments will be displayed by relocated aftershock spatial distribution, fault plane solutions and the cross sections parallel and normal to the strike of the clusters. We will empathize in geometric and seismotectonic characteristics of the activated secondary fault segments, because they are capable to produce intense seismicity and consequently the seismic hazard in the near future close to the main rupture but also in the adjacent structures.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΝΕΡΓΟ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Για την μελέτη της ενεργού τεκτονικής μιας περιοχής χρειάζεται έρευνα της χωρικής κατανομής των σεισμικών εστιών, η οποία προσδιορίζει τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, μελέτη των μηχανισμών γένεσης των σεισμών που ορίζουν το πεδίο τάσεων και τη διεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών. Ο συνδυασμός των μηχανισμών γένεσης και της σεισμικότητας καθορίζουν την ταχύτητα παραμόρφωσης του φλοιού.

Η περιοχή έρευνας της εργασίας βρίσκεται στο Βόρειο τμήμα των Ιόνιων νησιών και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Λευκάδας. Οι Papazachos and Comninakis (1971) με βάση τη χωρική κατανομή των εστιών στην περιοχή του νότιου Αιγαίου πρότειναν την ύπαρξη μιας ζώνης Benioff η οποία καθορίζει το όριο ανάμεσα στην Αφρικάνικη και Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα.

Τα όρια των Ιόνιων Νήσων καθορίζονται από τρεις ασυνέχειες οι οποίες δημιουργούνται εξαιτίας της κατάδυσης του ωκεάνιου φλοιού της ανατολικής Μεσογείου κάτω από την Ευρασιατική (Papazachos and Comninakis, 1971). Οι Papazachos and Delibasis (1969) με μελέτη των μηχανισμών γένεσης σεισμών της περιοχής αναγνώρισαν την κατάδυση της λιθόσφαιρας της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από την ηπειρωτική μικροπλάκα του Αιγαίου στο νότιο τμήμα της Ελλάδας και τη δημιουργία του Ελληνικού τόξου. Στη συνέχεια, βρέθηκε ότι επικρατεί εφελκυσμός στην περιοχή του Αιγαίου διεύθυνσης Βορρά- Νότο (McKenzie, 1972, 1978, Rostein, 1985), κίνηση της λιθοσφαιρικής πλάκας της Ανατολίας προς τα δυτικά και αριστερόστροφη περιστροφική κίνηση της Απουλίας (McKenzie, 1972, 1978, LePichon and Angelier, 1979, Τάσος, 1984, Jackson, 1994). Η Απουλία μικροπλάκα θεωρείται προέκταση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας και η αριστερόστροφη κίνηση της προκαλεί σύγκρουση με την Ευρασιατική κατά μήκος των Δυτικών ακτών της Αλβανίας, της κεντρικής Ελλάδας και του Βορείου Ιονίου Πελάγους.

Με σεισμολογικές και γεωδαιτικές έρευνες για την κίνηση των μικροπλακών και την παραμόρφωση του φλοιού στο χώρο της Ελλάδας βρέθηκε ότι η Ανατολία κινείται προς τα δυτικά με αποτέλεσμα τη νοτιοδυτική κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου, η οποία κινείται με μέση ταχύτητα περίπου 3.5cm/yr που είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη μέση ταχύτητα κατάδυσης του ωκεάνιου φλοιού της ανατολικής Μεσογείου (1cm/yr) (Papazachos C., 1999). Το δυτικό μέρος του Ελληνικού τόξου κινείται με δεξιόστροφη περιστροφική κίνηση η οποία συμφωνεί με την νοτιοδυτική κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου που περιγράψαμε παραπάνω. Ανάμεσα σε αυτά τα δύο μεγάλα γεωτεκτονικά καθεστώτα εξελίσσεται ακόμη μία σημαντική ασυνέχεια τεκτονικής προέλευσης. Το βορειοδυτικό όριο της λιθοσφαιρικής πλάκας του Αιγαίου οριοθετείται από το ρήγμα μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (Cephalonia Transform Fault – CTF) (Scordilis et al., 1985), το οποίο έχει δεξιόστροφη κίνηση και βρίσκεται σε συμφωνία με την κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου (Σχήμα 1.1). Η Λευκάδα μαζί με την Κεφαλονιά, την Ιθάκη και τη Ζάκυνθο αποτελούν την πιο ενεργή σεισμοτεκτονικά περιοχή σε ολόκληρη την Ελλάδα.



Σχήμα 1.1 Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών που καθορίζουν την ενεργό τεκτονική στο Αιγαίο και στις γύρω περιοχές (Papazachos et al. , 1998b)

1.2 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

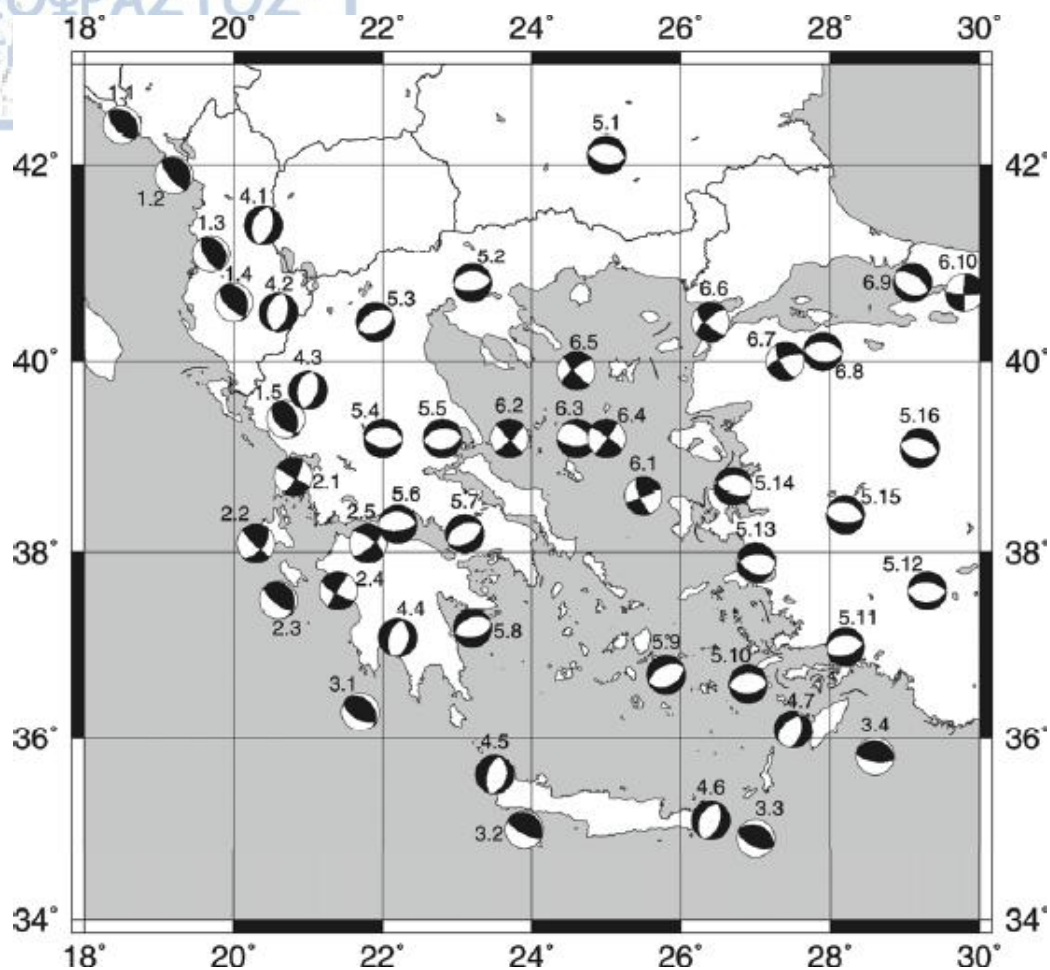
1.2.1 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Με τον όρο σεισμοτεκτονικές ιδιότητες μια περιοχής θεωρούμε τη σεισμικότητα της περιοχής, δηλαδή τη συνάρτηση των μεγεθών του σεισμού σε σχέση με τη συχνότητα επανάληψης τους σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το πεδίο των τάσεων που επικρατεί στην περιοχή, τον τύπο των διαρρήξεων που υπάρχουν και προσδιορίζεται από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών που έγιναν εκεί, τη γεωμετρία των ρηγμάτων που έχουν καταγραφεί στην περιοχή αλλά και την ενεργό παραμόρφωση του φλοιού της Γης.

1.2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ

Οι Papazachos et al. (1998b) δημοσίευσαν στη χρονική περίοδο 1956 - 1995 αξιόπιστες λύσεις μηχανισμών γένεσης για όλο τον Ελληνικό χώρο. Διαπίστωσαν ότι διάφορες λύσεις των μηχανισμών γένεσης ισχυρών επιφανειακών σεισμών με εστίες σε σχετικά μικρές αποστάσεις έχουν παρόμοιες ιδιότητες. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν και από συνθετικές λύσεις μικρών σεισμών με εστίες κοντά στις αντίστοιχες των μεγάλων σεισμών. Διαχώρισαν τις λύσεις σε 47 ομάδες με κριτήριο την ομοιότητα των λύσεων και την κοντινή απόσταση των σεισμικών εστιών (Σχήμα 1.2.1). Μέσα από τη μέθοδο που πρότειναν οι Papazachos C. and Kiratzi (1992) υπολογίστηκε η τυπική λύση, η οποία αντιπροσωπεύει το μέσο μηχανισμό γένεσης των σεισμών της κάθε ομάδας (Πίνακας 1). Με αυτόν τον τρόπο, οι ομάδες διαιρέθηκαν χωρικά σε έξι σεισμικές περιοχές που στην κάθε μια οι μηχανισμοί γένεσης είναι παρόμοιοι.

Η μία από τις έξι αυτές ζώνες ανήκει στο κεντρικό μέρος του Ιόνιου πελάγους δηλαδή στη ζώνη των δεξιόστροφων ρηγμάτων τα οποία οφείλονται στην προς τα νοτιοδυτικά κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου σε σχέση με την Ευρασιατική και την Απουλία. Η σεισμική αυτή περιοχή διαιρείται σε δύο υποζώνες, η πρώτη περιέχει την Κεφαλονιά και την Λευκάδα και η δεύτερη την απέναντι ηπειρωτική Ελλάδα. Το κεντρικό τμήμα των Ιόνιων νησιών έχει έντονη σεισμικότητα η οποία οφείλεται στη δράση των δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης κατά μήκος του Ρήγματος Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (CTF).



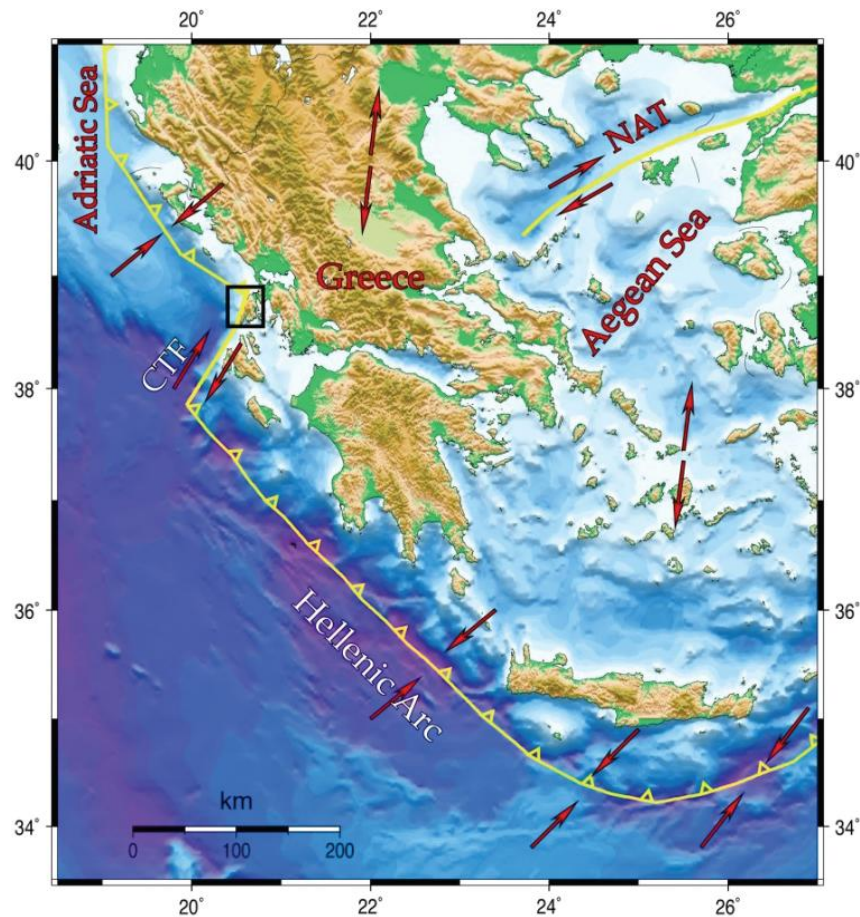
Σχήμα 1.2.1 Τυπικές λύσεις μηχανισμών γένεσης σεισμών για 47 ομάδες επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (Papazachos and Papazachos , 1998b)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Παράταξη ζ, Διεύθυνση Κλίσης δ, Γωνία Ολίσθησης λ και γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων Ρ και Τ (παράταξη ξ και διεύθυνση κλίσης θ) για την περιοχή μελέτης (Papazachos and Papazachos , 2003)

	ζ / ξ	δ / θ	λ
ΤΥΠΙΚΟ ΡΗΓΜΑ	38°	61°	174°
ΑΞΟΝΑΣ Ρ	261°	16°	
ΑΞΟΝΑΣ Τ	358°	24°	

Το ρήγμα αυτό είναι το σημαντικότερο ρήγμα της ζώνης γιατί συνδέει ηπειρωτική σύγκρουση στα βόρεια με ωκεάνια κατάδυση στα νότια και εντοπίστηκε από τον Scordilis et al. (1985).

Παρατηρείται ότι στη ζώνη της Κεφαλονιάς και Λευκάδας υπάρχει μία ανάστροφη συνιστώσα η οποία προέρχεται από την αριστερόστροφη περιστροφή της Απουλίας μικροπλάκας (Ritsema 1974, McKenzie, 1972) και προκαλεί γένεση σεισμών πάνω σε ανάστροφα ρήγματα. Τα ανάστροφα αυτά ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κατανέμονται σε όλη τη δυτική ακτή Ελλάδας, Αλβανίας φθάνοντας μέχρι το βόρειο τμήμα της Λευκάδας. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η δεξιόστροφη κίνηση του Ρήγματος Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς είναι σε πλήρη συμφωνία με την αριστερόστροφη περιστροφή της Απουλίας (Σχήμα.1.2.2).



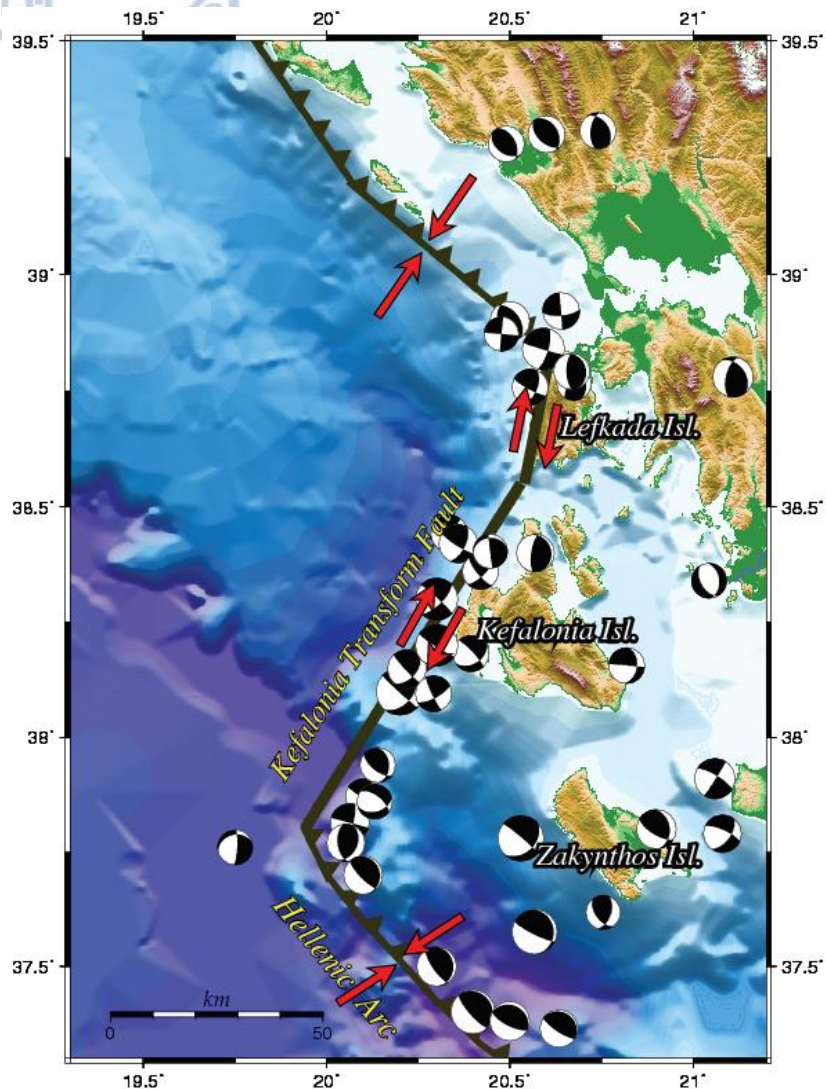
Σχήμα 1.2.2 Χάρτης που εμφανίζονται τα κύρια γεωδυναμικά χαρακτηριστικά της περιοχής του Αιγαίου. Τα ενεργά όρια εμφανίζονται ως πλήρεις γραμμές. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν την διεύθυνση της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών. Μέσα στο τετραγωνάκι βρίσκεται η περιοχή μελέτης. (Karakostas and Papadimitriou, 2010)

1.2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Στις 14 Αυγούστου 2003 έγινε σεισμός μεγέθους 6.2 και εστιακού βάθους περίπου 10km στην περιοχή των βορειοδυτικών ακτών της Λευκάδας και προκάλεσε σοβαρές καταστροφές σε οικισμούς της γύρω περιοχής, σε όλα τα λιμάνια της Λευκάδας, στο οδικό δίκτυο της και εμφάνισε επιφανειακές παραμορφώσεις όπως πτώση βράχων, ρευστοποίηση εδάφους και διαρρήξεις στην επιφάνεια (Papazachos and Papazachou, 2003). Η κύρια διεύθυνση του ρήγματος στο οποίο βρισκόταν η εστία του σεισμού είναι βορειοδυτικά και κινούνταν BBA-NNΔ σε συμφωνία με τη μορφολογία της περιοχής.

Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν για αρκετό χρονικό διάστημα πολλοί μετασεισμοί, κυρίως σε απόσταση 40km προς το δυτικό άκρο του ρήγματος, δηλαδή προς τα νότια. Η μετασεισμική ζώνη καλύπτει ένα εύρος μήκους περίπου 60 km από τα βόρεια της Λευκάδας μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς που είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου ενός σεισμού με μέγεθος $M=6.2$ (Wells and Coppersmith, 1994, Papazachos et al., 2004). Στο δυτικό άκρο του κύριου ρήγματος συναντάμε μια μεγάλη μετασεισμική κατανομή η οποία ερμηνεύθηκε από τους Καρακώστας και συνεργάτες (2004) ως αποτέλεσμα της κατανομής της σεισμικότητας στην ευρύτερη περιοχή.

Η έντονη σεισμικότητα οφείλεται στη γέννηση του κύριου σεισμού και κατ' επέκταση στις στατικές τάσεις Coulomb που δημιουργούνται εξαιτίας της ολίσθησης του κύριου ρήγματος. Εναλλακτική ερμηνεία έχει δοθεί από τους Benetatos et al. (2005, 2007), Zahradník et al. (2005), Saltogianni and Stiros (2015), Sokos et al. (2016), οι οποίοι πιστεύουν ότι η κύρια διάρρηξη επεκτάθηκε σε ολόκληρη τη μετασεισμική ζώνη με τη διαδοχική γένεση τριών επί μέρους σεισμών από το βόρειο προς το νότιο τμήμα. Η μετασεισμική κατανομή προκάλεσε έντονη σεισμικότητα στο γειτονικό ρήγμα της Κεφαλονιάς παρουσιάζοντας έτσι πιθανή σεισμική ολίσθηση από το ρήγμα. Οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης σχετίζονται με δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης κατά μήκος του ρήγματος της Κεφαλονιάς (Σχήμα 1.2.3).



Σχήμα 1.2.3 Χάρτης όπου εμφανίζονται τα κύρια σεισμοτεκτονικά όρια στην περιοχή των Ιόνιων Νήσων. Διακρίνονται τα τμήματα της Κεφαλονιάς και Λευκάδας με δεξιόστροφη διάρρηξη οριζόντιας μετατόπισης, όπου ανήκουν στο Ρήγμα Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς. Στο βόρειο μέρος διακρίνεται η ηπειρωτική σύγκρουση και στο νότιο η ωκεάνια κατάδυση. Φαίνονται οι διαθέσιμοι μηχανισμοί γένεσης των ισχυρότερων σεισμών των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών. (Karakostas and Papadimitriou, 2010)

Τα ρήγματα δεν εμφανίζουν σε ολόκληρο το μήκος τους τα ίδια γεωμετρικά, μορφολογικά χαρακτηριστικά και την ίδια σεισμική συμπεριφορά. Συνήθως διαχωρίζονται σε επιμέρους

μικρότερα τμήματα με το καθένα να έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και τη δική του σεισμική ιστορία. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι γενικά αποδεκτό ότι ενεργοποιούνται ορισμένα τμήματα του ρήγματος ή και ένα μόνο αλλά πολύ σπάνια ολόκληρο το ρήγμα

Το δεξιόστροφο Ρήγμα Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς έχει μήκος περίπου 130km και αποτελείται από δύο κλάδους (Louvari et al., 1999), της Κεφαλονιάς και της Λευκάδας. Ο κλάδος της Κεφαλονιάς έχει μήκος 95km με παράταξη περίπου 35° και σε αυτό γίνονται οι ισχυρότεροι σεισμοί. Ο κλάδος της Λευκάδας έχει μήκος 35km, παράταξη 15° και οριοθετεί τις δυτικές ακτές της Λευκάδας. Στον κλάδο αυτό η σεισμικότητα είναι αρκετά έντονη αλλά τα μεγέθη των σεισμών δεν ξεπερνούν το $M=6.7$ (Papazachos and Papazachou, 2003). Ο κύριος σεισμός του 2003 έγινε στο βόρειο τμήμα του κλάδου της Λευκάδας και αμέσως μετά τη γέννηση του εγκαταστάθηκε και λειτούργησε δίκτυο πέντε σεισμολογικών σταθμών (Karakostas et al., 2004).

Η μετασεισμική ακολουθία μέχρι και τις 21 Αυγούστου 2003 με βάση την κατανομή των epicέντρων των μετασεισμών παρουσιάζει μια ζώνη BBA - NNΔ. Η διεύθυνση της ζώνης βρίσκεται σε συμφωνία με τη διεύθυνση του ενός από τα δύο επίπεδα του μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού, ο οποίος αναγνωρίστηκε από το Harvard ($\phi=18^\circ, \theta=60^\circ, \lambda=-175^\circ$, CMT solutions) (Karakostas, 2008). Το επίκεντρο του σεισμού ανήκει σε αυτό και θεωρείται το επίπεδο του ρήγματος. Η έντονη μετασεισμική δραστηριότητα που ακολούθησε ενεργοποίησε δευτερεύοντα ρήγματα κοντά στην εστία του κύριου σεισμού.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι με τον όρο σεισμική ακολουθία θεωρούμε την μετασεισμική ακολουθία καθώς αυτή είναι συνηθέστερα παρατηρούμενη. Η διάσπαρτη κατανομή των epicέντρων των μετασεισμών παρουσιάζει συγκεντρώσεις αυτών μέσα στο κύριο ρήγμα και εκτός αυτού. Τα συμπλέγματα μετασεισμών που διαμορφώνονται πιθανών οφείλονται στην ενεργοποίηση των δευτερευόντων δομών.

1.3 ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΟΙ ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

Η Λευκάδα και γενικότερα όλη η περιοχή των Ιόνιων Νησιών αποτελούν την πιο ενεργή σεισμοτεκτονική περιοχή της Ελλάδας. Τα δεδομένα πέντε ισχυρών σεισμών που έγιναν στην περιοχή αυτή τους τελευταίους δύο αιώνες αποδεικνύουν την ενεργό τεκτονική της. Έχουν καταγραφεί πέντε σεισμοί μεγαλύτεροι από 6.0, το 1914 ($M_w=6.3$), δύο το 1948($M_w=6.5$), το 2003 ($M_w=6.2$) και το 2015($M_w=6.5$).

Η σεισμικότητα μιας περιοχής ορίζεται ως η ποσότητα της οποίας η τιμή αυξάνεται ανάλογα με τα μεγέθη των σεισμών αλλά και με τη συχνότητα γένεσής τους. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερα είναι τα μεγέθη των σεισμών που γίνονται στη περιοχή και όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα γένεσής των σεισμών αυτών τόσο ισχυρότερη χαρακτηρίζεται η σεισμικότητα της.

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να εμβαθύνει την έρευνα στη σύνθετη ζώνη ρηγμάτων που εμφανίζονται από τις δευτερεύουσες δομές που ενεργοποιήθηκαν ταυτόχρονα με τον κύριο σεισμό στις 14 Αυγούστου 2003. Η μελέτη της σεισμικότητας και των σεισμικών ακολουθιών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Λευκάδας είναι ιδιαίτερα σημαντική και θα μας δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τη γεωμετρία και τη διάρρηξη των δευτερευόντων ρηγμάτων. Με την εγκατάσταση των ψηφιακών σειсмоγράφων από τους Καρακώστας και συνεργάτες (2004) την ακριβώς επόμενη ημέρα από τον κύριο σεισμό προκύπτουν αρκετά δεδομένα καταγεγραμμένων μετασεισμών με τους μηχανισμούς γένεσής τους, οι οποίοι είναι καθοριστικοί για το σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης. Με βάση αυτούς μπορούμε να προσδιορίσουμε το πεδίο των τάσεων και να εξακριβώσουμε τις γεωμετρικές και κινηματικές ιδιότητες των δευτερευόντων δομών μέσα από τομές παράλληλες και κάθετες στην παράταξη του κύριου ρήγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η ανάλυση της σεισμικής ακολουθίας και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διάκριση των συγκεντρώσεων μετασεισμών (cluster) με παρόμοιο μηχανισμό γένεσης. Προσδιορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι σεισμοτεκτονικές ιδιότητες των δευτερευόντων ρηγμάτων που ενεργοποιήθηκαν μετά την γέννηση του κύριου σεισμού.

Συνήθως, ο κύριος σεισμός λαμβάνει χώρα στο ένα άκρο του σεισμογόνου ρήγματος και οι εστίες των μετασεισμών βρίσκονται πάνω ή κοντά στα άκρα του ενεργού τμήματος του αλλά και κοντά στη εστία της κύριας διάρρηξης. Οι διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου, δηλαδή η περιοχή στην οποία βρίσκονται οι μετασεισμοί, καθορίζονται από το μέγεθος του κύριου σεισμού. Ο αριθμός των μετασεισμών θεωρείται ότι δεν προσδιορίζεται αποκλειστικά από το μέγεθος της κύριας διάρρηξης αλλά και από την ενεργό τεκτονική της περιοχής. Μια τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ετερογένεια του φλοιού στο χώρο όπου βρίσκεται η εστία του κύριου σεισμού.

Η περιοχή των Ιόνιων Νήσων έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει μια ανομοιογένεια κατά την οποία οι μετασεισμοί που δημιουργούνται είναι πολλοί περισσότεροι από αυτούς που θα λάμβαναν χώρα σε μια άλλη περιοχή του ελληνικού χώρου (Kouroukidis et al., 2004). Η συλλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε έγινε από τους Καρακώστα και συνεργάτες (2004), ο οποίος εξέτασε την εξέλιξη της σεισμικής ακολουθίας στην περιοχή της Λευκάδας και πρώτος πρότεινε τη θέση του ρήγματος κοντά στη δυτική ακτογραμμή της έτσι όπως υποστηρίζεται και από την μορφολογία της περιοχής. Η άποψη αυτή έρχεται σε αντίθεση με τα παλαιότερα συμπεράσματα, ότι το ρήγμα που προκάλεσε τον κύριο σεισμό βρισκόταν μέσα στη θαλάσσια περιοχή πολύ κοντά με τις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΟΥ 2003

2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

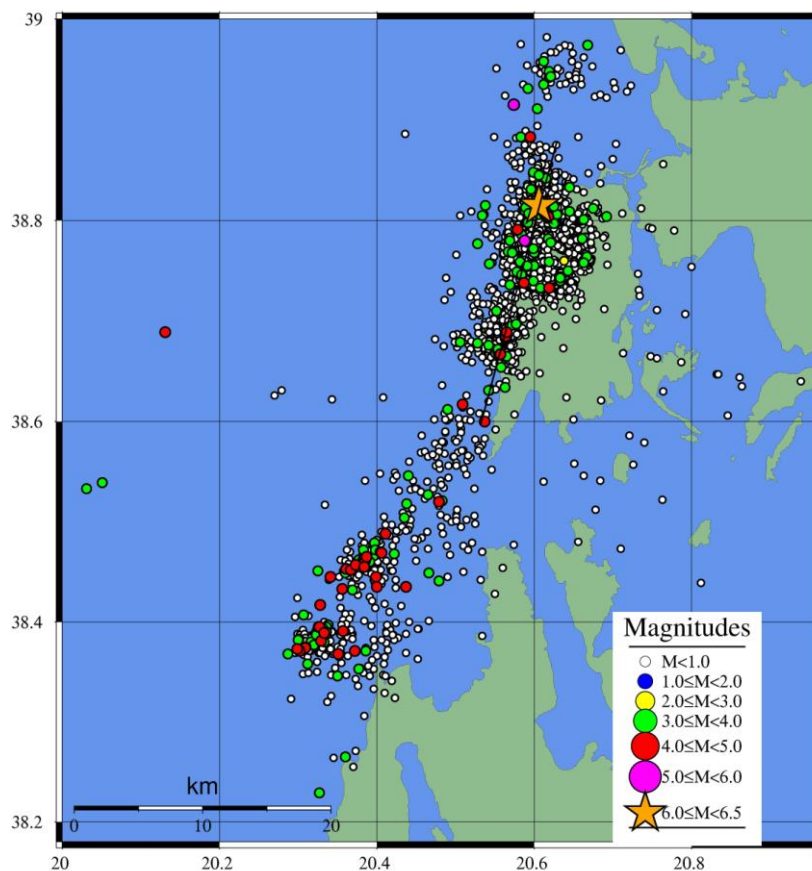
Από τη συγκέντρωση όλων των διαθέσιμων φάσεων από το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (International Seismological Centre, *On-line Bulletin*), για τη χρονική περίοδο από τη γένεση του κύριου σεισμού μέχρι και τις 31 Δεκεμβρίου 2003, καταγράφηκαν 460 σεισμοί, από τους οποίους οι 132 υπολογίστηκαν από το τοπικό δίκτυο σειсмоγράφων της περιοχής και οι εστίες αυτών επαναπροσδιορίστηκαν από τον Καρακώστα (2008). Σε αυτήν την περιοχή πέντε σεισμολογικοί σταθμοί κατέγραψαν τους δύο μεγαλύτερους μετασεισμούς, ο ένας εκ των οποίων είχε μέγεθος 5.1 νότια του κύριου σεισμού και ο άλλος 5.2 σε κοντινή απόσταση με αυτόν. Στη συνέχεια η σεισμικότητα συνεχίζεται προς τα νοτιοδυτικά σε απόσταση μεγαλύτερη των 60km, χωρίς όμως τη μετέπειτα δημιουργία σεισμού μεγέθους μεγαλύτερου των 6.2.

Μετά την έναρξη της σεισμικής ακολουθίας και με το πέρασμα 25 ημερών από αυτή, περιορίστηκε η γένεση μετασεισμών στο βορειοδυτικό μέρος της Λευκάδας. Στο χρονικό διάστημα από τις 15 Αυγούστου μέχρι και τις 21 Αυγούστου, το εύρος της μετασεισμικής ζώνης ήταν μεγαλύτερο από το αναμενόμενο που απαιτεί ένα ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση βορρά - νότο και μεγάλη γωνία κλίσης. Μεταξύ των ημερομηνιών 15 Αυγούστου με 15 Σεπτεμβρίου 2003, έπειτα από ανάλυση της χωρικής κατανομής η ακολουθία παρέμεινε πανομοιότυπη με την πρώτη εβδομάδα. Συνεπώς, θεωρείται ότι δεν υπάρχει εκ νέου δραστηριοποίηση νέων ρηγμάτων με το πέρασμα της πρώτης εβδομάδας (Karakostas et al., 2004). Ωστόσο, τρεις μήνες μετά τη γένεση του κύριου σεισμού στο νοτιότερο τμήμα της μετασεισμικής περιοχής καταγράφηκε ένας σεισμός μεγέθους 5.3 με δική του μετασεισμική ακολουθία (Karakostas et al., 2008).

2.2.2 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ

Το επίκεντρο του κύριου σεισμού εντοπίζεται στις συντεταγμένες $\varphi=38.815^\circ$ και $\lambda=20.606^\circ$, όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος και λ το γεωγραφικό μήκος (Σχήμα 2.2.1, κίτρινο αστεράκι) και τα εστιακά βάθη της σεισμικής ακολουθίας κυμαίνονται από 2-12km. Κατά μήκος της

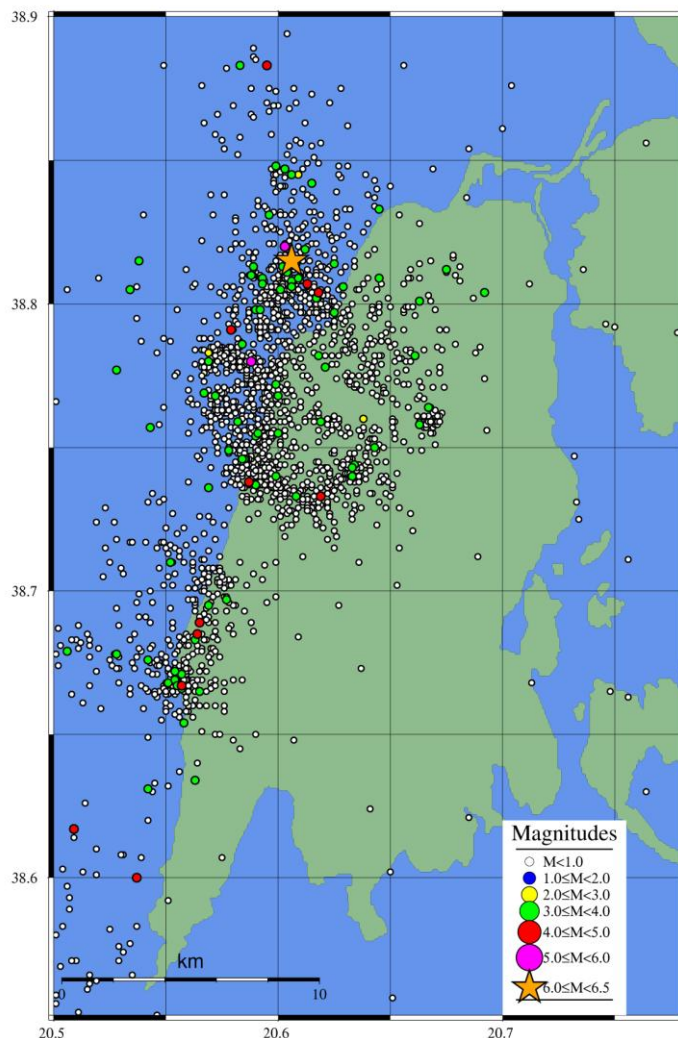
διάρρηξης του κύριου ρήγματος διακρίνονται επίκεντρα μετασεισμών με διαφορετική παράταξη εξαιτίας της δραστηριοποίησης των δευτερευόντων ρηγμάτων. Μέσα από τη χωρική κατανομή των μετασεισμών παρατηρούμε τη δημιουργία δύο συμπλεγμάτων μετασεισμών. Στο βορειότερο σημείο της σεισμικής ακολουθίας τοποθετείται η μια συγκέντρωση μετασεισμών και στο νοτιότερο κομμάτι της η άλλη. Μεταξύ αυτών των δύο συγκεντρώσεων υπάρχει μια περιοχή σχετικά ασεισμική (Σχήμα 2.2.1).



Σχήμα 2.2.1 Κατανομή των επικέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας κατά το χρονικό διάστημα 14 Αυγούστου με 15 Σεπτεμβρίου 2003. Τα χρώματα των επικέντρων παρουσιάζουν τα μεγέθη των σεισμών που έλαβαν χώρα. Με κίτρινο αστεράκι έχει χαρτογραφηθεί ο κύριος σεισμός ($M=6.2$).

Στο χάρτη του σχήματος 2.2.1 παρατηρούμε ότι στη βόρεια συγκέντρωση των επικέντρων έχουμε συσσώρευση μετασεισμών μεγέθους 3.0 - 4.0, οι οποίοι αναπαριστώνται με πράσινο χρώμα. Το επίκεντρο της εστίας του κύριου σεισμού ανήκει στη συγκεκριμένη συγκέντρωση και συμβολίζεται με ένα κίτρινο αστεράκι. Από την άλλη πλευρά, στο νότιο τμήμα της σεισμικής

ακολουθίας κυριαρχούν μεγέθη που κυμαίνονται από 4.0 - 5.0 και περιγράφονται με κύκλους κόκκινου χρώματος. Η κατανομή των μετασεισμών από τις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς έχει μήκος 22km και πλάτος 15km (Karakostas and Papadimitriou, 2010). Γενικά διαπιστώνουμε ότι η μετασεισμική ακολουθία είναι πιο σποραδική νότια της Λευκάδας και πολύ κοντά στον κύριο σεισμό σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή.



Σχήμα 2.2.2 Χωρική κατανομή των επικέντρων στις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας κατά το διάστημα 14 Αυγούστου με 15 Σεπτεμβρίου 2003.

Στη βόρεια συγκέντρωση μετασεισμών αν και η σεισμικότητα είναι πιο διάχυτη μπορούμε να διακρίνουμε 4 μικρές υποζώνες (Σχήμα 2.2.2). Η κύρια υποζώνη μετασεισμών τοποθετείται

κοντά στην κύρια διάρρηξη στις δυτικές ακτές της Λευκάδας με διεύθυνση BBA- NND .Τα επίκεντρα της βρίσκονται σε συμφωνία με τον κύριο μηχανισμό γένεσης όπως προτάθηκε από (CMT solution, Benetatos et al., 2005, 2007, Zahradnik et al., 2005, Papadimitriou et al., 2006). Προσδιορίζουμε άλλες δύο υποζώνες, μία που εμφανίζεται στο βορειοανατολικό και μία στο νοτιοανατολικό τμήμα της κύριας υποζώνης. Ενώ τέλος, διακρίνουμε και μία τέταρτη συγκέντρωση η οποία τοποθετείται NND της πρώτης και είναι παράλληλη με αυτήν έχοντας την ίδια διεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο γίνεται φανερό ότι η τάση που απελευθερώθηκε από το κύριο ρήγμα πιθανόν ενεργοποίησε και τα γειτονικά ρήγματα της περιοχής δημιουργώντας αυτό το σύνθετο σύμπλεγμα μετασεισμικής δραστηριότητας.

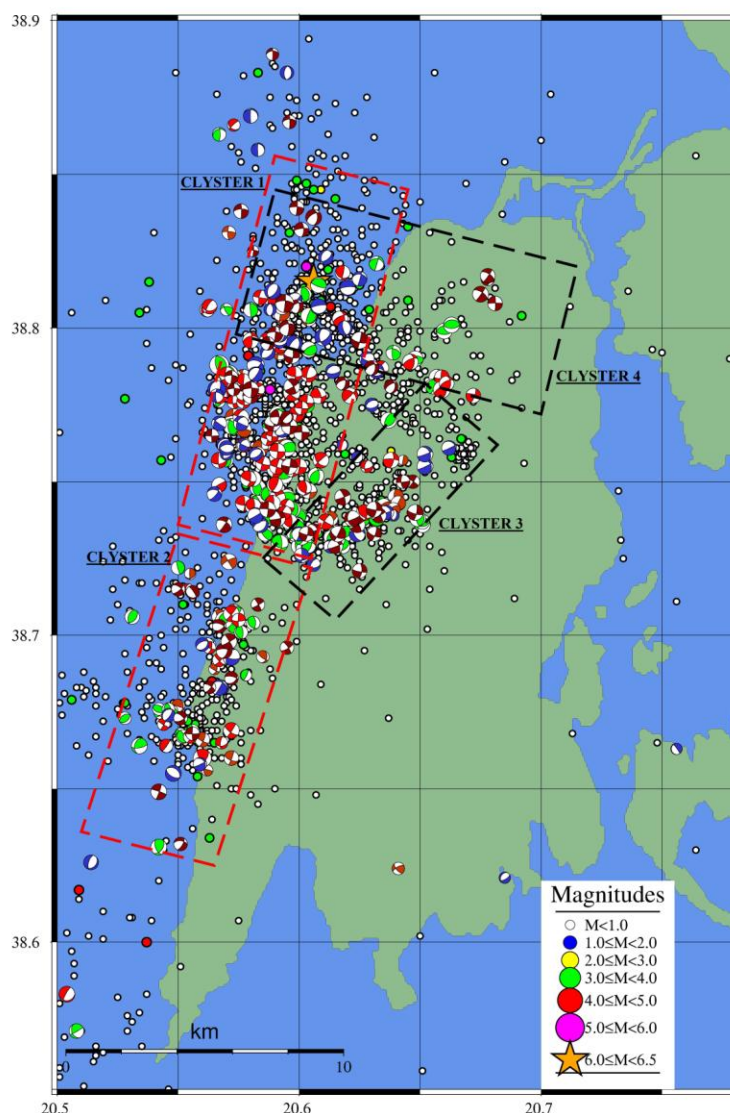
2.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Στη μελέτη της σεισμικής ακολουθίας σημαντικός παράγοντας είναι η εύρεση του είδους της διάρρηξης που δημιουργείται στην εστία του σεισμού. Η διάρρηξη συνδέεται με τον τύπο του ρήγματος που ενεργοποιήθηκε και δημιουργήσε τη σεισμική ακολουθία. Ο τύπος του ρήγματος μας δίνει πληροφορίες για τον καθορισμό του ενεργού πεδίου των τάσεων που δραστηριοποιείται στην περιοχή μελέτης. Το είδος της διάρρηξης στην εστία ενός σεισμού καθορίζεται από τη γωνία ολίσθησης λ η οποία υπολογίζεται για το επίπεδο του ρήγματος μέσα από τη λύση του μηχανισμού γένεσης ενός σεισμού.

Οι τιμές των γωνιών ολίσθησης που έχουν υπολογιστεί από τους Karakostas and Papadimitriou (2010) έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Κατά την εξέλιξη της ακολουθίας παρατηρείται μια δεξιόστροφη διάρρηξη οριζόντιας μετατόπισης. Οι επικρατέστερες τιμές των γωνιών ολίσθησης κυμαίνονται από -180 με $+180$ και ταυτίζονται με την κύρια διάρρηξη. Ορισμένες τιμές είναι δυνατόν να μην συμφωνούν με την τιμή της δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης με αποτέλεσμα το πιθανόν ρήγμα που έχει ενεργοποιηθεί να παρουσιάζει και κανονική ή ανάστροφη διάρρηξη.

Οι διαρρήξεις οριζόντιας μετατόπισης παρουσιάζονται με μια ακολουθία κόκκινων χρωμάτων που αλλάζει ανάλογα με τη γωνία ολίσθησης, λ . Η πλειονότητα των λύσεων των μηχανισμών γένεσης είναι οι δεξιόστροφες διαρρήξεις οριζόντιας μετατόπισης οι οποίες εμφανίζονται στο

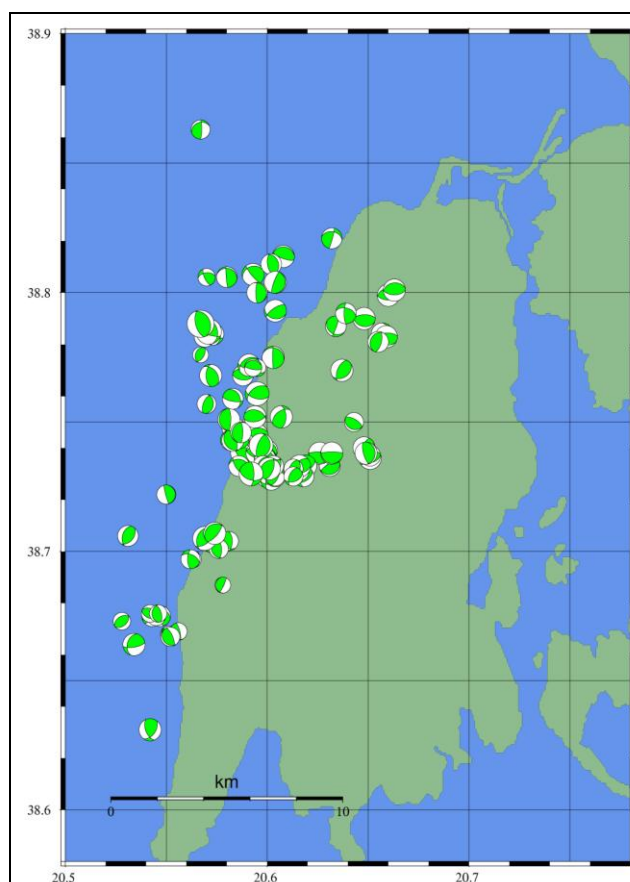
χάρτη του Σχήματος 2.2.3 με μπορντό χρώμα ($+135 < \lambda < +180$) και καφετί κόκκινο χρώμα ($-180 < \lambda < -135$) και είναι συμβατές με το κινηματικό και δυναμικό μοντέλο που προτάθηκε για τον κύριο σεισμό. Για αριστερόστροφες διαρρήξεις η τιμή της γωνίας ολίσθησης κυμαίνεται από -45 μέχρι $+45$ και συμβολίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα. Ακόμη υπάρχει μία μικρή διακύμανση στην κατανομή των τάσεων καθώς διαπιστώνεται μεταβολή αυτής από τους μηχανισμούς γένεσης. Πολλοί λίγοι από αυτούς ανήκουν σε ανάστροφες και κανονικές διαρρήξεις που συσχετίζονται με δευτερογενείς τεκτονικές δομές.



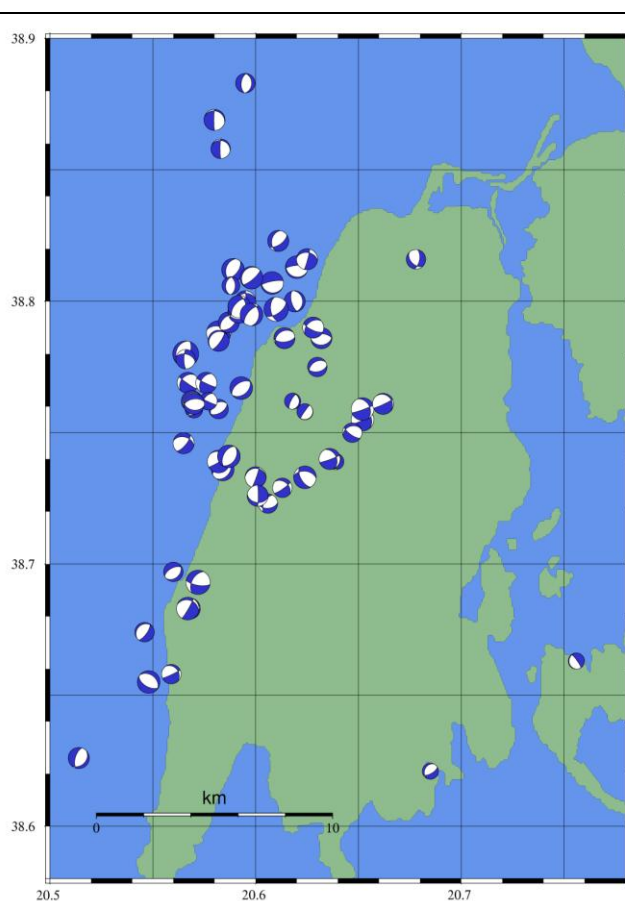
Σχήμα 2.2.3 Κατανομή των επικέντρων και των μηχανισμών γένεσης όπως υπολογίστηκαν από τους Karakostas and Papadimitriou, (2010) και εμφάνιση των συγκεντρώσεων μετασεισμών (cluster). Οι

πράσινοι μηχανισμοί γένεσης αντιπροσωπεύουν τις ανάστροφες διαρρήξεις, οι μπλε τις κανονικές διαρρήξεις και οι κόκκινοι τις διαρρήξεις οριζόντιας μετατόπισης. Οι κόκκινοι διαχωρίζονται ανάλογα με το λ σε δεξιόστροφους (με μπορντώ και καφετί χρώμα) και σε αριστερόστροφους (με έντονο κόκκινο χρώμα).

Στο χάρτη του Σχήματος 2.2.3 παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα οι ανάστροφες διαρρήξεις και με μπλε χρώμα οι κανονικές διαρρήξεις. Μέσα από το χάρτη του Σχήματος 2.2.4 διακρίνονται μόνο οι μηχανισμοί γένεσης με ανάστροφη διάρρηξη, εμφανίζοντας μια συγκέντρωση αυτών στο μέσο των βορειοδυτικών ακτών της Λευκάδας. Σε αντίθεση με την εικόνα που παρατηρείται στο χάρτη του Σχήματος 2.2.5 που η κατανομή των μηχανισμών γένεσης με κανονική διάρρηξη βρίσκεται κυρίως στην ευθεία της κύριας διάρρηξης και προς τα νοτιοανατολικά αυτής.



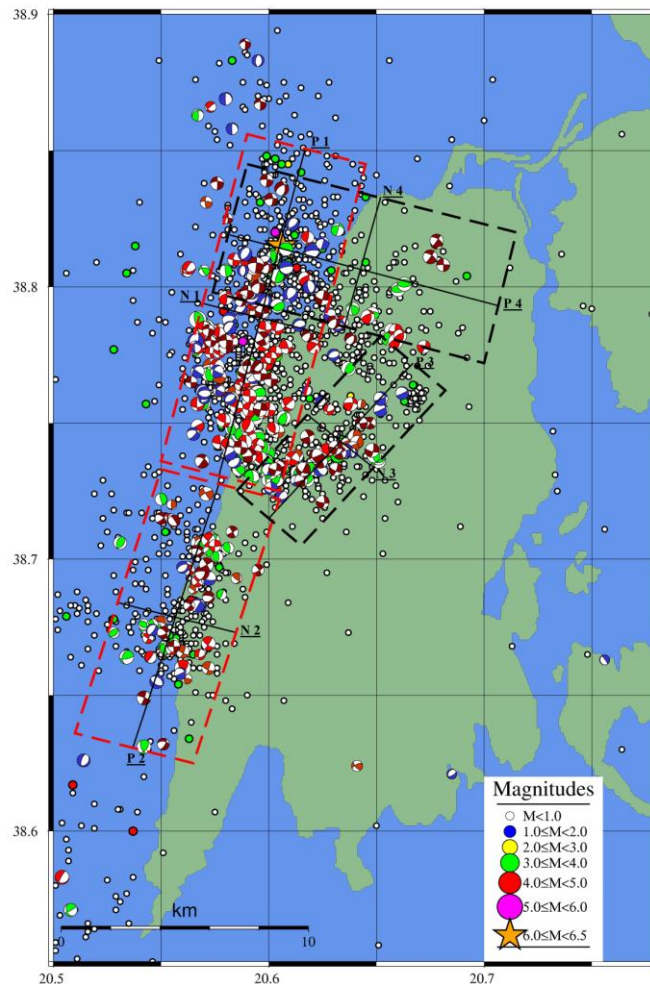
Σχήμα 2.2.4 Χωρική κατανομή των διαθέσιμων ανάστροφων μηχανισμών γένεσης



Σχήμα 2.2.5 Χωρική κατανομή των διαθέσιμων κανονικών μηχανισμών γένεσης

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΔΟΜΩΝ

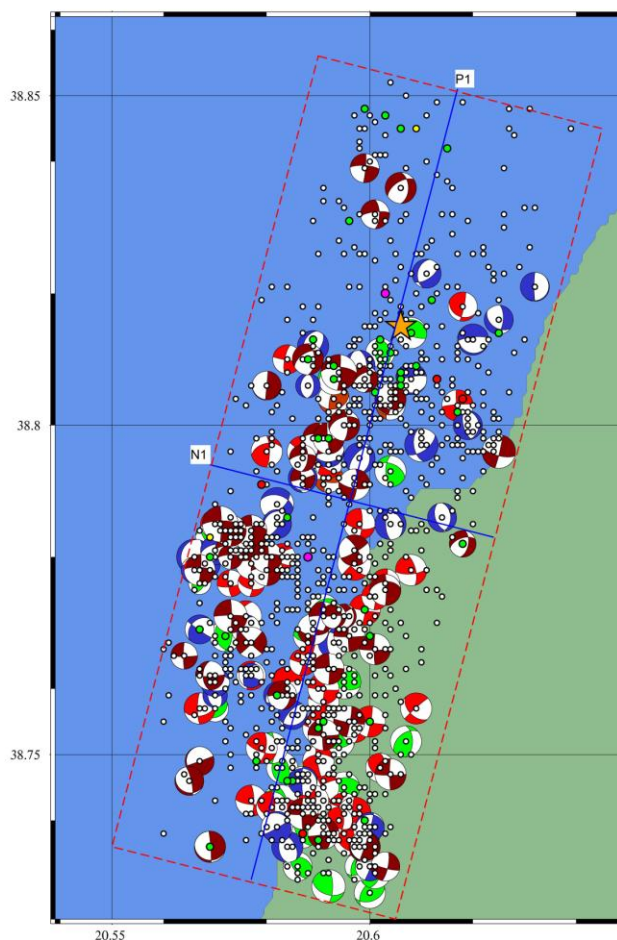
Για την περιγραφή των δομών που ενεργοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας της Λευκάδας δημιουργήθηκαν αρκετές τομές παράλληλες και κάθετες στις διευθύνσεις των συγκεντρώσεων των μετασεισμών (Σχήμα 2.3). Η κατεύθυνση της σεισμικής ακολουθίας εμφανίζεται μονοκατευθυντική κατά μήκος του ρήγματος, επειδή ξεκινάει από το βόρειο τμήμα και κατευθύνεται μόνο προς τα νότια. Στη διάρκεια της κύριας διάρρηξης παρατηρείται μια αυξημένη πυκνότητα των μετασεισμών σε κοντινή απόσταση από την εστία του κύριου σεισμού. Οι Karakostas and Papadimitriou (2010) θεώρησαν την αύξηση αυτή στοιχείο των λιγότερων επηρεασμένων σημείων μέσα στη σεισμική ακολουθία.



Σχήμα 2.3 Συγκεντρώσεις των μηχανισμών γένεσης και των επικέντρων. Σε κάθε μία έχουν χαρτογραφηθεί παράλληλες και κάθετες ευθείες που κατά μήκος τους έγιναν τομές για τη μελέτη των εστιακών βαθών.

2.3.1 ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ

Η κύρια διάρρηξη του σεισμού ανήκει στην πρώτη συγκέντρωση των μετασεισμών με διεύθυνση NND- BBA που ακολουθεί τις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας και περιλαμβάνει τα περισσότερα επίκεντρα αυτών (Σχήμα 2.3.1). Η τομή P1 διαθέτει παράταξη παράλληλη με αυτήν του κύριου σεισμού, τα εστιακά βάθη της κυμαίνονται από 4 μέχρι 12km (Σχήμα 2.3.2) και το μήκος της υπολογίστηκε περίπου 15km. Το επίκεντρο του κύριου σεισμού βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της συγκέντρωσης υποδεικνύοντας πως η ακολουθία κινήθηκε από το βόρειο σημείο της και συνεχίστηκε προς τα NND της Λευκάδας



Σχήμα 2.3.1 ΒΑ συγκέντρωση μετασεισμών. Με κίτρινο αστεράκι παρουσιάζεται το επίκεντρο του κύριου σεισμού της σεισμικής ακολουθίας. Διακρίνονται δύο ευθείες (P1 και N1) κατά μήκος των οποίων έγιναν τομές παράλληλες και κάθετες για τη μελέτη των εστιακών βαθών.

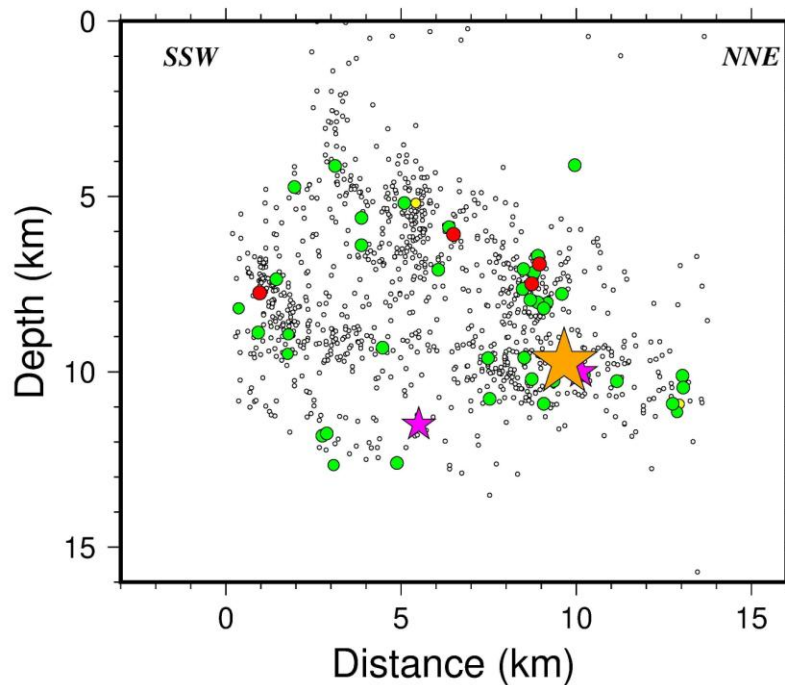
20.577

20.617

38.731

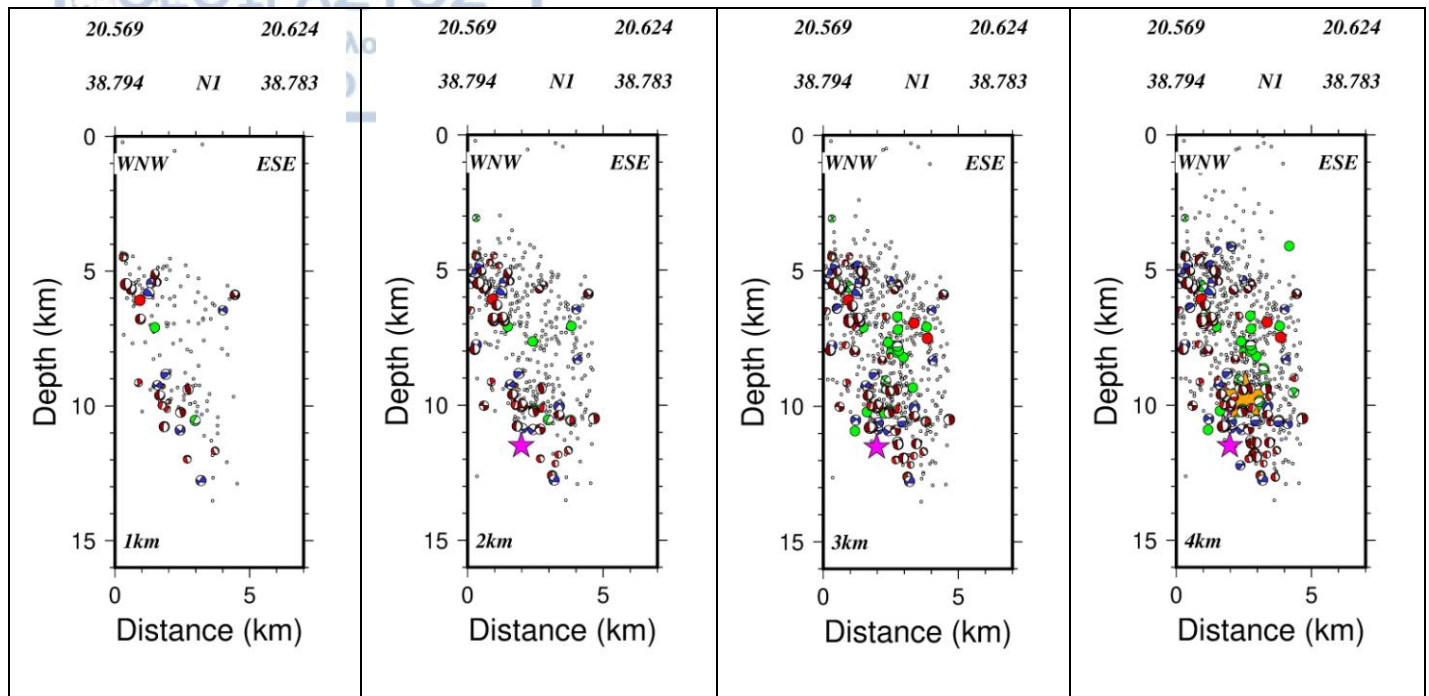
P1

38.851



Σχήμα 2.3.2 Τομή P1 παράλληλη στην κύρια διεύθυνση της σεισμικής ακολουθίας με κατεύθυνση NNE-BBA. Το κίτρινο αστεράκι συμβολίζει τον κύριο σεισμό, ενώ τα δύο μωβ τους δυο μεγαλύτερους μετασεισμούς στο χρονικό διάστημα του ενός μήνα.

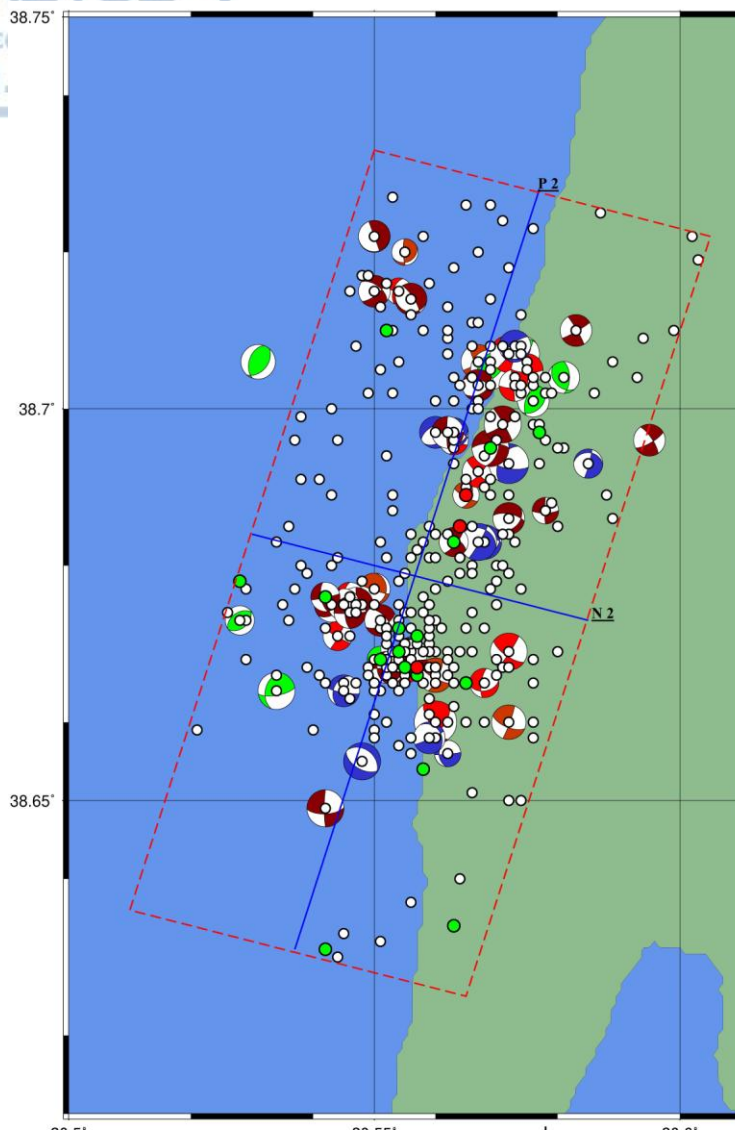
Η τομή N1 είναι κάθετη στην διεύθυνση κατανομής των επικέντρων της πρώτης συγκέντρωσης των μετασεισμών. Η πλειονότητα των λύσεων των μηχανισμών γένεσης δείχνει ότι η διάρρηξη του ρήγματος είναι οριζόντιας μετατόπισης (Σχήμα 2.3.3) καθώς παρουσιάζονται συγκεντρωμένες οι λύσεις τους οι οποίες έχουν κόκκινο χρώμα. Χωρίζοντας την κάθετη τομή σε 4 μέρη συλλέξαμε δεδομένα για την κατανομή των εστιακών βαθών σε απόσταση 1km, 2km, 3km και 4km. Ο κύριος σεισμός παρουσιάζεται με κίτρινο αστερί, ενώ οι δύο μεγάλοι μετασεισμοί ($M > 5.0$) που έγιναν στο χρονικό διάστημα που μελετάμε εμφανίζονται με μωβ αστεράκια.



Σχήμα 2.3.3 Τομές N1 κάθετες στη διεύθυνση κατανομής των epicέντρων της σεισμικής ακολουθίας με πάχος 1km, 2km, 3km και 4km.

2.3.2 ΝΟΤΙΟ-ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ

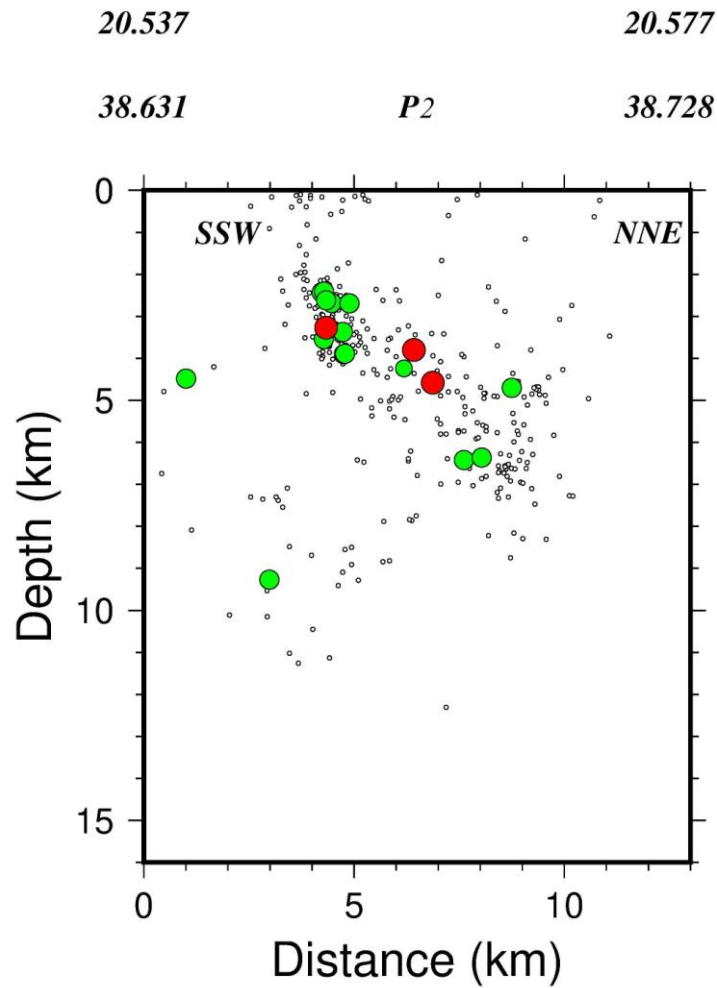
Παράλληλα με την πρώτη συγκέντρωση των μετασεισμών τοποθετείται το δεύτερο σύμπλεγμα κατανομής των epicέντρων με διεύθυνση NNΔ- BBA σε συνέχεια της πρώτης. Η νότια συγκέντρωση μετασεισμών είναι ευδιάκριτη στο χάρτη (Σχήμα 2.3.4) και σε αυτήν ανήκουν τα περισσότερα epicέντρα με τα μικρότερα εστιακά βάθη που κυμαίνονται από 2 μέχρι και περίπου 8km. Η αύξηση των εστιακών βαθών γίνεται από τη νότια πλευρά της συγκέντρωσης προς τα βόρεια όπως παρουσιάζεται μέσα από την ανάλυση της παράλληλης τομής P2 στο Σχήμα 2.3.5.



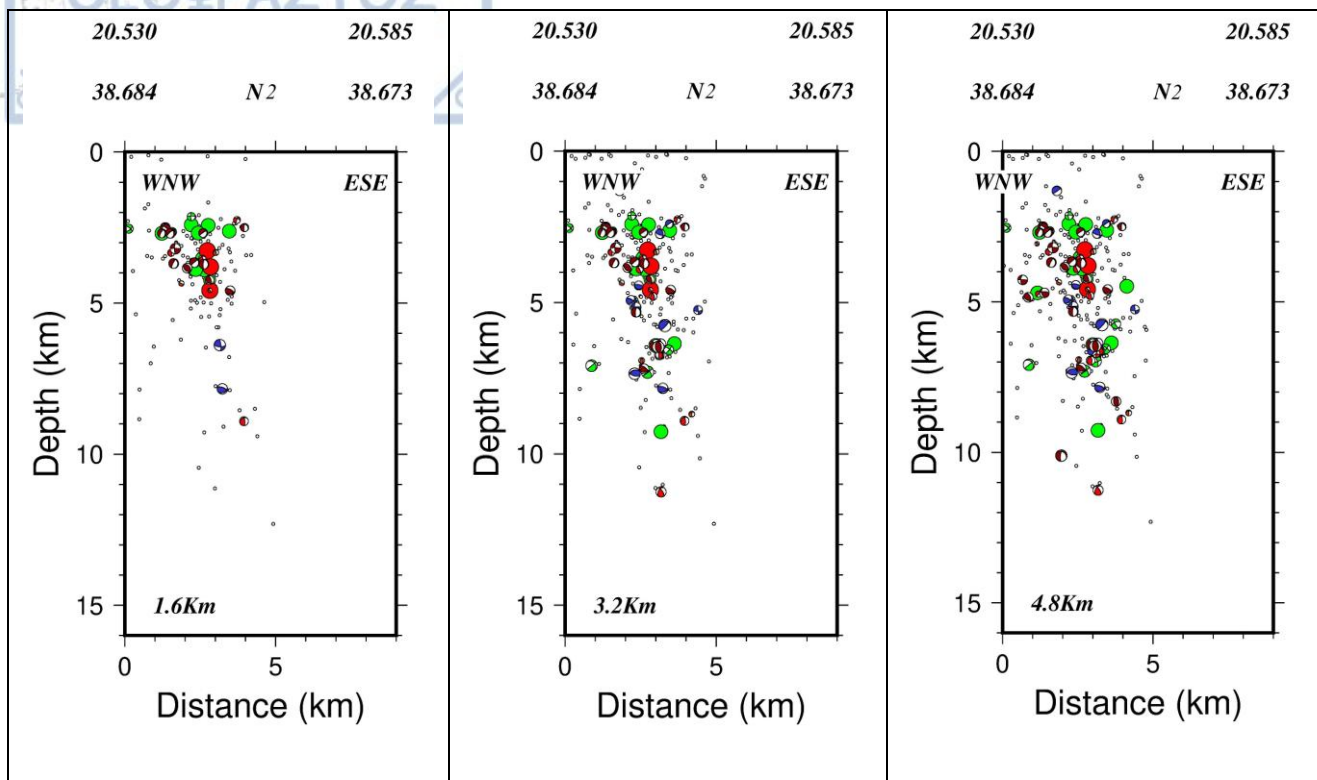
Σχήμα 2.3.4 ΝΑ συγκέντρωση μετασεισμών με τα ευθύγραμμα τμήματα P2 και N2 στα οποία μελετήθηκαν η παράλληλη τομή και οι κάθετες τομές των εστιακών βαθών.

Η τομή N2 έχει διεύθυνση ΔΒΔ- ΑΝΑ και τοποθετείται κάθετα στην παράταξη της σεισμικής ακολουθίας. Οι μετασεισμοί που περιλαμβάνονται σε αυτήν τη συγκέντρωση σχετίζονται με μια πιθανόν απότομη διάρρηξη οριζόντιας μετατόπισης που συμφωνεί με της κύριας (Σχήμα 2.3.6). Συνεπώς, επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα, ότι η διάρρηξη του κύριου σεισμού ενεργοποίησε μέσα από τη μεταφορά της διατμητικής τάσης γειτονικές σεισμοτεκτονικές δομές (Karakostas et al, 2004). Για να καταστήσουμε δυνατή τη λεπτομερή παρατήρηση αυτών, χωρίσαμε την τομή

N2 σε τρία ίσα τμήματα τα οποία έχουν πάχη 1.6km, 3.2km και 4.8km εκατέρωθεν της γραμμής N2.



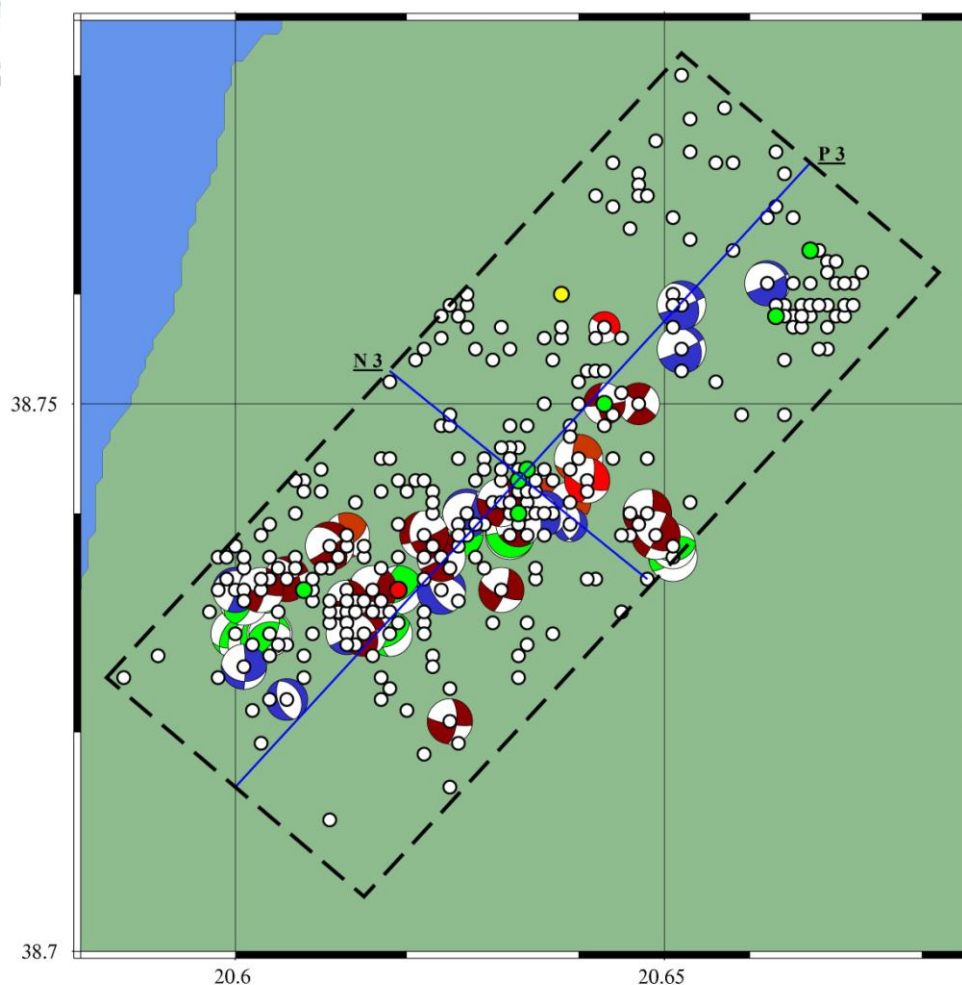
Σχήμα 2.3.5. Τομή P2 παράλληλη στην παράταξη με διεύθυνση NNA- BBA. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν σεισμούς μεγέθους 4.0 - 5.0, ενώ οι πράσινοι κύκλοι με μέγεθος 3.0 - 4.0.



Σχήμα 2.3.6 Τομές N2 κάθετες στη διεύθυνση της μετασεισμικής ζώνης με διεύθυνση ΔΒΔ - ΑΝΑ και πάχη 1.6km, 3.2km και 4.8km.

2.3.3 ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΛΕΥΚΑΔΑ

Ακολουθώντας τη διεύθυνση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του αναγλύφου από το επίκεντρο του κύριου σεισμού και με κατεύθυνση νοτιοανατολικά, παρατηρούμε μία ομάδα συγκέντρωσης μετασεισμών η οποία διαχωρίζεται από την υπόλοιπη σεισμική ακολουθία και φτάνει μέχρι το κεντρικό τμήμα της βόρειας Λευκάδας (Σχήμα 2.3.7).



Σχήμα 2.3.7 Συγκέντρωση μετασεισμών νοτιανατολικά του κύριου σεισμού. Διακρίνουμε και εδώ τις ευθείες P3 και N3 κατά μήκος των οποίων έγιναν τομές μελέτης εστιακών βαθών.

Η περιοχή της συγκέντρωσης των μετασεισμών εμφανίζει μια επιμηκυσμένη δομή που είναι αρκετά ευδιάκριτη από το χάρτη του Σχήματος 2.3 και η οποία πιθανόν οφείλεται στην ενεργοποίηση των δευτερευόντων ρηγμάτων. Το δευτερεύων ρήγμα έχει μήκος γύρω στα 8km και τοποθετείται με μια γωνία 45° από την κύρια διάρρηξη του σεισμού (Karakostas and Papadimitriou, 2010). Η τομή P3 παράλληλη στην παράταξη των μετασεισμών που είναι συγκεντρωμένοι σε αυτήν την περιοχή προβάλλεται στο Σχήμα 2.3.8. Δείχνει τη συγκέντρωση σε εστιακά βάθη από 5-12km και έχει διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ .

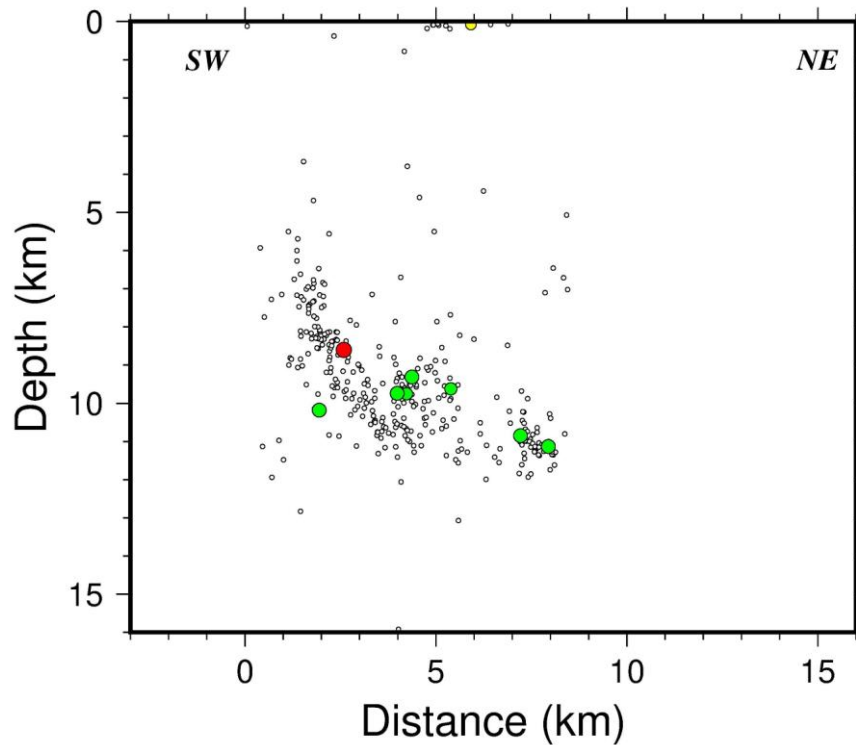
20.600

20.667

38.715

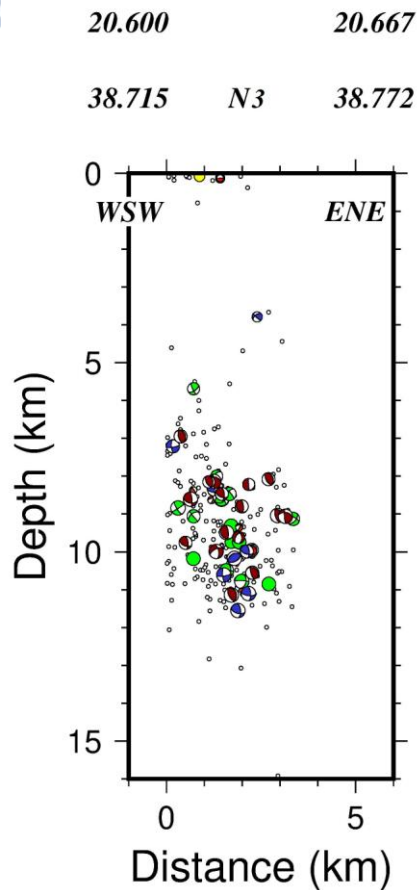
P3

38.772



Σχήμα 2.3.8 Τομή P3 παράλληλη στη διεύθυνση της συγκέντρωσης μετασεισμών με διεύθυνση ΝΑ-ΒΑ.

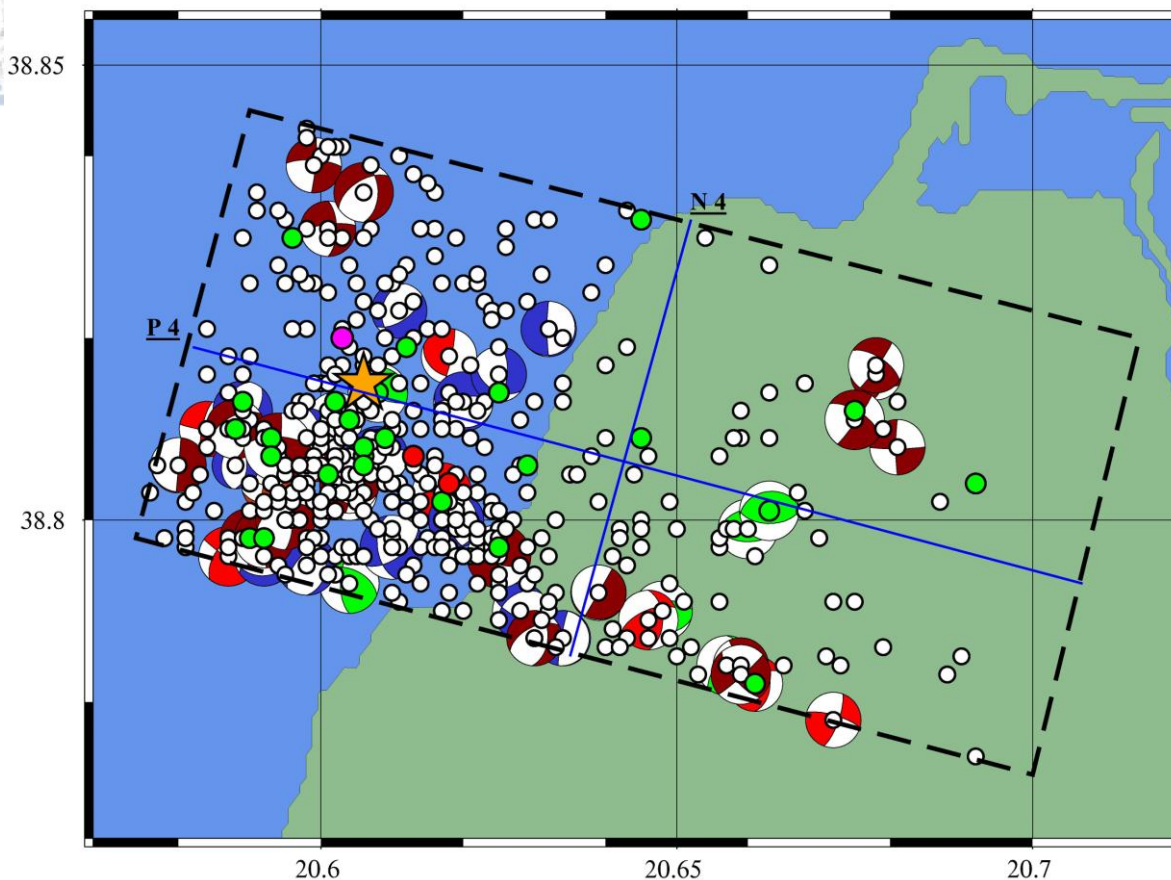
Η κατακόρυφη τομή N3 έχει διεύθυνση ΔΒΔ- ΑΝΑ και συμφωνεί με τους μηχανισμούς γένεσης της περιοχής (Σχήμα 2.3.9). Η παράταξη της βρίσκεται σε συμφωνία με την μορφολογία των βορειοδυτικών ακτών προς τη κεντρική περιοχή της Λευκάδας. Η ανάλυση της τομής N3 μέσα από τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης εμφανίζει ένα σχετικά κατακόρυφο ρήγμα με άξονα μέγιστης συμπίεσης P σε διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά κρατώντας σταθερή την δεξιόστροφη διάρρηξη οριζόντιας μετατόπισης. Ωστόσο, η τομή παρουσιάζει μια μεταβολή στην παράταξη από την κύρια σεισμική ζώνη που έχει κατεύθυνση ΔΝΔ- ΑΒΑ. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανόν σε κάποιο τεκτονικό αίτιο, καθώς μέσα από δημοσιεύσεις των Louvari *et al.* (1999) και Benetatos *et al.* (2005) η επικεντρική κατανομή των μετασεισμών του 1994 ανέδειξε ένα ρήγμα με ίδια παράταξη βορειοανατολική.



Σχήμα 2.3.9 Τομή N3 κάθετη στη διεύθυνση της συγκέντρωσης μετασεισμών με διεύθυνση ΔΝΔ - ΑΒΑ.

2.3.4 ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Στη τελευταία συγκέντρωση μετασεισμών που αναγνωρίσαμε τοποθετούμε το ένα όριο μέσα στο βόρειο τμήμα της πρώτης συγκέντρωσης, ενώ το άλλο στο κεντρικό βόρειο τμήμα της Λευκάδας, σε κοντινή απόσταση με το τρίτο σύμπλεγμα μετασεισμών (Σχήμα 2.3.10).



Σχήμα 2.3.10 Συγκέντρωση μετασεισμών σχεδόν κάθετη στο πρώτο σύμπλεγμα. Έχει διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ και περιέχει το επίκεντρο του κύριου σεισμού. Διακρίνονται οι ευθείες P3 και N3 που κατά μήκος τους έγιναν οι παράλληλες και κάθετες τομές.

Η τομή P4 παράλληλη στη διεύθυνση της συγκέντρωσης παρουσιάζει μια σχετικά πυκνή κατανομή των epicέντρων των μετασεισμών που βρίσκονται εκτός της κύριας ζώνης διάρρηξης και τα εστιακά βάθη τους κατανέμονται από 5 - 13km (Σχήμα 2.3.11). Η κατανομή αυτή πιθανόν να σχετίζεται με μια έντονη μικροσεισμική δραστηριότητα των δευτερευόντων ρηγμάτων που βρίσκονται δίπλα στην κύρια διάρρηξη.

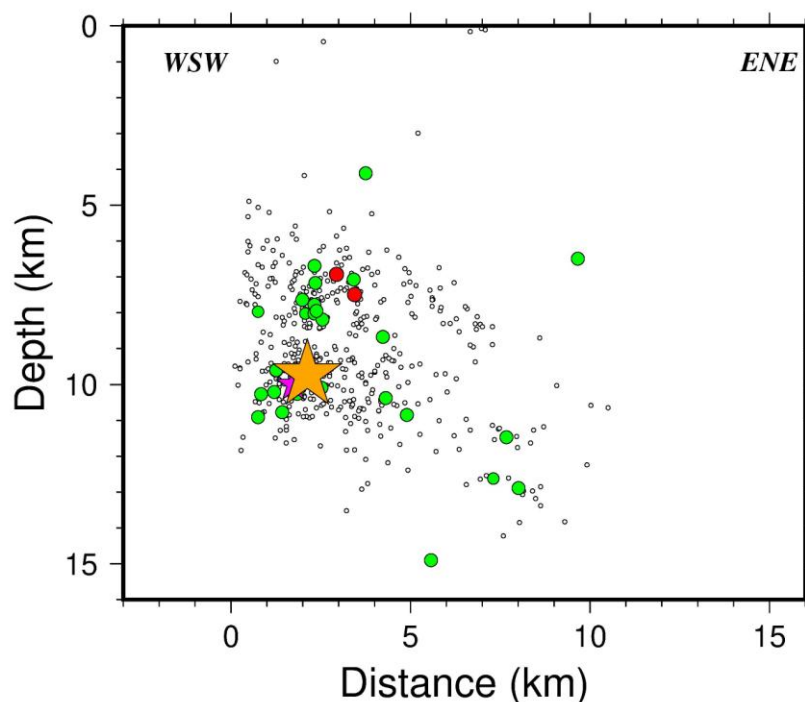
20.582

20.707

38.819

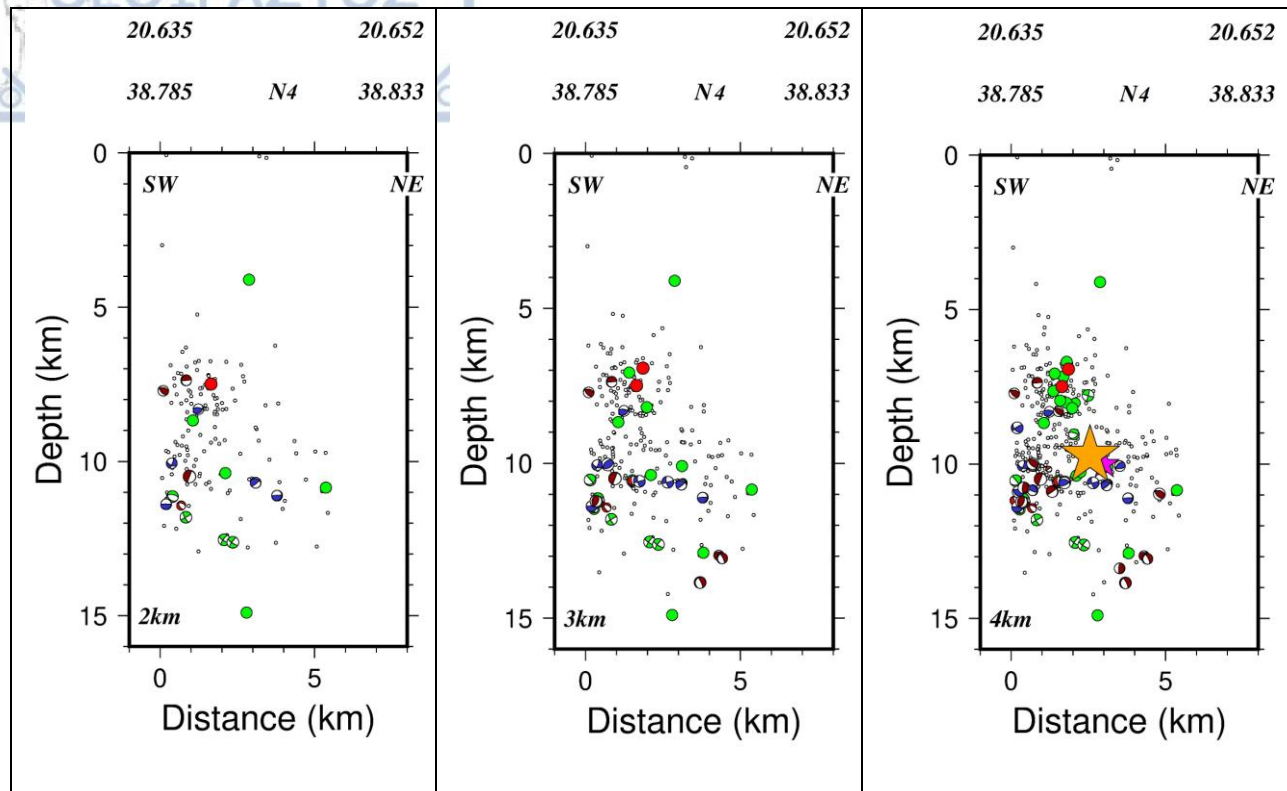
P4

38.793



Σχήμα 2.3.11 Τομή P4 παράλληλη στη συγκέντρωση μετασεισμών με διεύθυνση ΔΝΔ - ΑΒΑ.

Η τομή N4 κάθετη στο σύμπλεγμα των μετασεισμών φανερώνει μια διασπορά των μηχανισμών γένεσης από τα δευτερεύοντα ρήγματα (Σχήμα 2.3.12). Εμφανίζει κατακόρυφη μικρής γωνίας κλίσης δομή η οποία πιθανόν ανήκει σε ρήγματα εκτός της κύριας σεισμικής ακολουθίας. Από την εργασία των Rondoyanni et al. (2007) οι οποίοι χαρτογράφησαν τα ρήγματα ολόκληρης της περιοχής της Λευκάδας, φανερώνεται ότι αυτό το σύμπλεγμα των μετασεισμών έχει αρκετά ρήγματα κανονικής και ανάστροφης διάρρηξης σε κοντινή απόσταση από την εστία του κύριου σεισμού. Η ετερογένεια που εμφανίζουν, εδώ, οι μηχανισμοί γένεσης πιθανώς οφείλεται στην δραστηριοποίηση αυτών των γειτονικών ρηγμάτων.



Σχήμα 2.3.12 Τομές N4 κάθετες στη διεύθυνση του συμπλέγματος των μετασεισμών με διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ και πάχη 2km, 3km και 4km.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σεισμός της Λευκάδας στις 14 Αυγούστου 2003 προκάλεσε την έντονη μετασεισμική δραστηριότητα σε όλο το βόρειο τμήμα του Ρήγματος Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς. Ο σεισμός είχε μέγεθος 6.2 και ήταν ο τρίτος μεγαλύτερος που έχει καταγραφεί στην περιοχή αυτή έπειτα από τους σεισμούς του 1914 και 1948. Ωστόσο, η καταγραφή της μετασεισμικής ακολουθίας ξεκίνησε μετά τη γένεση του κύριου σεισμού. Μέχρι τότε υπήρχε μόνο ένας μόνιμος σεισμολογικός σταθμός στο νησί. Η ανάλυση και ο επαναπροσδιορισμός των συντεταγμένων των epicέντρων αλλά και των λύσεων των μηχανισμών γένεσης πραγματοποιήθηκε από τους Καρακώστα και συνεργάτες (2004). Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν δυο μεγάλοι ισχυροί μετασεισμοί σε κοντινή απόσταση από αυτόν μέσα στις πρώτες 12 ώρες. Στη συνέχεια, η μετασεισμική ακολουθία επεκτάθηκε από τα βόρεια προς τα νοτιοδυτικά της περιοχής παρουσιάζοντας 2644 μετασεισμούς μέσα στο χρονικό διάστημα ενός μήνα.

Με χρήση του προγράμματος της Matlab διαχωρίσαμε τη σεισμική ακολουθία, από τον κατάλογο των epicέντρων και των μηχανισμών γένεσης που πήραμε από την εργασία των Karakostas and Papadimitriou (2010), μελετώντας μόνο το τμήμα της Λευκάδας. Με τον τρόπο αυτό διακρίναμε πιο καθαρά τη κατανομή των μετασεισμών η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα καθ' όλη τη διάρκεια του πρώτου μήνα από τη γέννηση του κύριου σεισμού. Η σεισμική ακολουθία εμφανίζει δύο διαστήματα στα οποία ο αριθμός των μετασεισμών είναι ιδιαίτερα αυξημένος. Ακόμη, υπάρχουν και ορισμένα κατά τα οποία η κατανομή των epicέντρων είναι αρκετά ήπια ειδικά μετά το πέρας της 25ης μέρας. Η έντονη δραστηριότητα των μετασεισμών επεκτάθηκε προς τα νότια χωρίς τη γένεση άλλου ισχυρού σεισμού μεγέθους μεγαλύτερου του 6.0. Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία για το μέγεθος αλλά και τον αριθμό των μετασεισμών που έχουν καταγραφεί στην περιοχή μελέτης, η οποία αποτελεί την πιο ενεργή σεισμικά περιοχή της Ελλάδας. Ωστόσο, στο νότιο μέρος της Λευκάδας και στην πιο νότια πλευρά της μετασεισμικής ζώνης καταγράφηκε σεισμός μεγέθους 5.3 στις 16 Νοεμβρίου 2003, με δικούς του μετασεισμούς (Karakostas ,2008).

Από τον επαναπροσδιορισμό των επικέντρων οι Καρακώστα και συνεργάτες (2004) μπόρεσαν να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο της διάρρηξης που έλαβε χώρα κατά την εξέλιξη της σεισμικής ακολουθίας. Αναγνώρισαν ότι το ρήγμα που είναι υπεύθυνο για την κύρια διάρρηξη είναι δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση BBA- NNΔ και ακολουθεί την μορφολογία της βορειοδυτικής ακτής της Λευκάδας. Το επίκεντρο του κύριου σεισμού βρίσκεται στο βορειότερο σημείο του ρήγματος και η έντονη μετασεισμική δραστηριότητα που ακολούθησε ενεργοποίησε δευτερεύοντα ρήγματα κοντά στο κύριο σεισμό αλλά και μέσα στη κεντρική περιοχή της Λευκάδας.

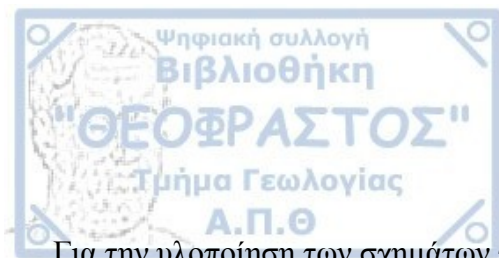
Στην παρούσα εργασία αναγνωρίστηκαν τέσσερις ομάδες συγκεντρώσεων μετασεισμών στην περιοχή. Η πρώτη έχει διεύθυνση BBA- NNΔ και βρίσκεται σε συμφωνία με την παράταξη των μηχανισμών γένεσης των μετασεισμών. Στο βόρειο άκρο της συγκέντρωσης ανήκει και το επίκεντρο του κύριου σεισμού αποδεικνύοντας έτσι τη διάδοση προς τα νότια της μετασεισμικής ακολουθίας. Η δεύτερη συγκέντρωση μετασεισμών ακολουθεί την πρώτη και είναι παράλληλη με αυτήν αν και βρίσκεται νοτιότερα. Διαφέρει όμως ταυτόχρονα λόγω των μικρών της διαστάσεων και των πιο επιφανειακών εστιακών βαθών των μετασεισμών. Η τρίτη συγκέντρωση οριοθετείται από το νότιο άκρο του πρώτου συμπλέγματος μετασεισμών μέχρι και το κεντρικό βόρειο τμήμα του νησιού. Αναγνωρίζεται πολύ εύκολα μέσα από το χάρτη (Σχήμα 2.3) καθώς εμφανίζεται σαν μεμονωμένη συγκέντρωση μετασεισμών και αποδεικνύει την ενεργοποίηση δευτερευόντων τεκτονικών δομών εξαιτίας της κύρια διάρρηξης. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται από τους διαφορετικούς μηχανισμούς γένεσης που δεν περιγράφουν διάρρηξη οριζόντιας μετατόπισης καθώς μεταβάλλεται η διεύθυνση τους. Η τελευταία συγκέντρωση των επικέντρων αρχίζει από το βόρειο τμήμα της πρώτης συμπεριλαμβανόμενου και του κύριου σεισμού και εκτείνεται μέχρι την κεντρική βόρεια Λευκάδα. Ο χώρος αυτός θεωρείται ότι αντικατοπτρίζει τη δραστηριοποίηση γειτονικών ρηγμάτων με ανάστροφη και κανονική διάρρηξη αφού περιέχει μια πυκνή κατανομή μετασεισμών εκτός της κύριας διάρρηξης.

Η χωρική εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας συμφωνεί και με την ερμηνεία που έχει υποστηριχθεί από τους Καρακώστα και συνεργάτες (2004) οι οποίοι εξέτασαν την κατανομή της μεταβολής των τάσεων Coulomb που προξένησε ο κύριος σεισμός σε όλη την περιοχή. Η διάρρηξη του κύριου σεισμού έχει μήκος περίπου 15km και κατά τη διεύθυνση της αλλά και

στις περιοχές με θετική μεταβολή τάσης προκάλεσε διέγερση της σεισμικής δραστηριότητας (Karakostas ,2008).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω δεδομένα και αναλύσεις που διαθέτουμε μέσα από τα συμπεράσματα των Karakostas et al. (2004) και Karakostas and Papadimitriou (2010) οι μηχανισμοί γένεσης στην περιοχή μελέτης μας παρουσιάζουν μια ετερογένεια. Η ετερογένεια μπορεί να προκύπτει από το σύνθετο σύμπλεγμα των επικέντρων των μετασεισμών που εμφανίζει η σεισμική ακολουθία ή να προκαλείται εξαιτίας αυτού. Θεωρούμε τη παρούσα κατανομή των μετασεισμών ως σύνθετη, γιατί σε κοντινή απόσταση από το κύριο ρήγμα δραστηριοποιήθηκαν και γειτονικά του ρήγματα τα οποία παρουσιάζουν ανάστροφες και κανονικές διαρρήξεις. Τα δευτερεύοντα αυτά ρήγματα πιθανόν ανάλογα με τον τρόπο εξέλιξης τους αλλά και μέσω της διεύθυνσης τους μπορούν να ελέγχουν τους μηχανισμούς γένεσης των μετασεισμών και όχι τη διεύθυνση του κύριου πεδίου των τάσεων (Karakostas and Papadimitriou, 2010).

Επομένως, μέσα από το διαχωρισμό της σεισμική ακολουθίας σε συγκεντρώσεις μετασεισμών παρατηρούμε ότι η ζώνη των μετασεισμών επεκτάθηκε μόνο προς τα νότια του κύριου σεισμού. Τα δευτερεύοντα ρήγματα πιθανόν ενεργοποιήθηκαν ταυτόχρονα με την κύρια διάρρηξη και θα μπορούσαν να παράγουν δική τους σεισμική ακολουθία, καθώς ορισμένα συνδέονται με ανάστροφη και κανονική διάρρηξη. Τέλος, είναι σημαντικό να υπάρξουν παραπάνω έρευνες για την γεωμετρία και τις σεισμικές ιδιότητες αυτών των ρηγμάτων ώστε η σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής να ελαττωθεί σε μελλοντικούς σεισμούς.



ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Για την υλοποίηση των σχημάτων χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα GMT (Generic Mapping Tools) version 5.4.4 για Windows 64 (<http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt/wiki/Download> , Wessel and Smith, 1998).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benetatos, C., Kiratzi, A., Roumelioti, Z., Stavrakakis, G., Drakatos, G., Latoussakis, I., 2005. The 14 August 2003 Lefkada island (Greece) earthquake: focal mechanisms of the mainshock and the aftershock sequence. *J. Seismol.* 9, 171–190.
- Benetatos, C., Dreger, D., Kiratzi, A., 2007. Complex and segmented rupture associate with the 14 August 2003 Mw 6.2 Lefkada, Ionian Islands, Earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97 (1B), 35–51.
- Hatzfeld, D., Kassaras, I., Panagiotopoulos, D., Amorese, D., Makropoulos, K., Karakaisis, G., Coutant, O., 1995. Microseismicity and strain pattern in northwestern Greece. *Tectonics* 14 (4), 773–785.
- Ilieva, M., Briole, P., Ganas, A., Dimitrov, D., Elias, P., Mouratidis, A., & Charara, R. (2016). Fault plane modelling of the 2003 August 14 Lefkada Island (Greece) earthquake based on the analysis of ENVISAT SAR interferograms. *Tectonophysics*, 693, 47-65.
- Jackson, J. (1994). Active tectonics of the Aegean region. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 22, 239-271.
- Karakostas, V. G., & Papadimitriou, E. E. (2010). Fault complexity associated with the 14 August 2003 M w 6.2 Lefkada, Greece, aftershock sequence. *Acta geophysica*, 58(5), 838-854.

Karakostas, V. G., Papadimitriou, E. E., & Papazachos, C. B. (2004). Properties of the 2003 Lefkada, Ionian Islands, Greece, earthquake seismic sequence and seismicity triggering. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(5), 1976-1981.

Karakostas, V. (2008, November). Relocation of aftershocks of the 2003 Lefkada Sequence: seismotectonic implications. In *Proc. 3rd Hellenic Conf. Earthq. Engin. & Engin. Seism.*, Athens (Vol. 57, p. 16).

Konstantinou, K.I., Papadopoulos, G.A., Fokaefs, A., Orphanogiannaki, K., 2005. Empirical relationships between aftershock area dimensions and magnitude for earthquake in the Mediterranean Sea region. *Tectonophysics* 403, 95–115.

Kourouzidis, M. C., Karakaisis, G. F., Papazachos, B. C. and Makropoulos, C., 2004. Properties of Foreshocks and Aftershocks in the area of Greece. *Proc. 10th International Congress of the Geological Society of Greece*, 1422-1431.

LePichon, X. and Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.

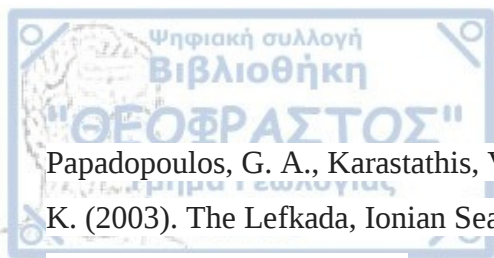
Louvari, E., Kiratzi, A. A. and Papazachos, B. C., (1999), "The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece)", *Tectonophysics*, 308, pp. 223– 236.

McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30, 109-185.

McKenzie, D. P. (1978). Active tectonics of the Alpine- Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 55, 217- 254.

Papadimitriou, E., Karakostas, V., Mesimeri, M., Chouliaras, G., & Kourouklas, C. (2017). The Mw6. 5 17 November 2015 Lefkada (Greece) earthquake: structural interpretation by means of the aftershock analysis. *Pure and Applied Geophysics*, 174(10), 3869-3888.

Papadimitriou, P., G. Kaviris, and K. Makropoulos (2006), The Mw = 6.3 2003 Lefkada earthquake (Greece) and induced stress transfer changes, *Tectonophysics* 423, 1-4, 73-82, DOI: 10.1016/j.tecto.2006.03.003



Papadopoulos, G. A., Karastathis, V. K., Ganas, A., Pavlides, S., Fokaefs, A., & Orfanogiannaki, K. (2003). The Lefkada, Ionian Sea (Greece), shock (Mw 6.2) of 14 August 2003. *Earth, planets and space*, 55(11), 713-718.

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 earthquakes", *10th Congr. Hellenic Geol. Soc., Thessaloniki, Greece, 14–17 April 2004*, pp. 539–540.

Papazachos, B.C., and C.B. Papazachou (2003), *The Earthquakes of Greece*, Ziti Publications, Thessaloniki, 286 pp.

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

Papazachos, B. C., Papadimitriou, E. E., Kiratzi, A. A., Papazachos, C. B. and Louvari, E. K. (1998b). Fault plane solutions in the Aegean sea and the surrounding area and their tectonic implication. *Boll. Geof. Teorica Applicata*, 39, 199- 218.

Papazachos, B.C., Papazachou, C.B., 1997. *The Earthquakes of Greece*. Ziti Publication Co., Thessaloniki (304 pp.).

Papazachos, C.B. and Kiratzi, A. (1992). A formulation for reliable estimation of active crustal deformation and an application to central Greece. *Geophys. J. Int.*, 111, 424- 432.

Papazachos, B. C., and P. E. Comninakis (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean Arc, *J. Geophys. Res.* 76, 8517–8533.

Papazachos, B. C. and Delibasis, N. D. (1969) Tectonic stress field and seismic faulting in the area of Greece. *Tectonophysics*, 7, 231- 255.

Ritsema, A. R. (1974). The earthquake mechanism of the Balkan region. *R. Netherl. Meteorol. Inst. Sci. Rep.*, 74, 1- 36.

Rondoyanni Th, Mettos A, Paschos P, Georgiou Ch (2007) Neotectonic map of Greece, scale 1:100.000, *Lefkada sheet. I.G.M.E., Athens*

Rostein, Y. (1985). Tectonics of the Aegean block: Rotation, side arc collision on crustal extension. *Tectonophysics*, 117, 117- 137.

Saltogianni, V., Stiros, S., 2015. A two-fault model of the 2003 Leucas (Aegean Arc) earthquake based on topological inversion of GPS data. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 105 (5).

Scordilis, E.M., G.F. Karakaisis, B.G. Karakostas, D.G. Panagiotopoulos, P.E. Comninakis, and B.C. Papazachos (1985), Evidence for transform faulting in the Ionian sea: The Cephalonia island earthquake sequence of 1983, *Pure Appl. Geophys.* 123, 3, 388-397, DOI: 10.1007/BF00880738.

Sokos, E., Zahradnik, J., Gallovic, F., Serpetsidaki, A., Plicka, V., Kiratzi, A., 2016. Asperity break after 12 years: the Mw6.4 2015 Lefkada (Greece) earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 43 (12):6137–6145

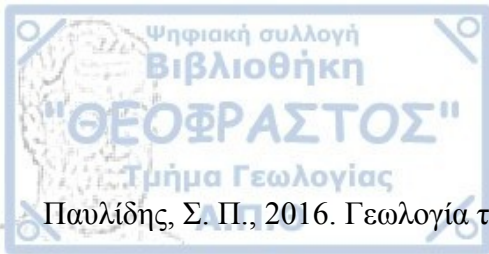
Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., (1994), “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, pp. 974–1002.

Zahradník, J., Serpetsidaki, A., Sokos, E., Tselentis, G.A., 2005. Iterative deconvolution of regional waveforms and a double-event interpretation of the 2003 Lefkada earthquake, Greece. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 95 (1), 159–172.

Κουρούκλας, Χ., 2011, Μελέτη της σεισμικής ακολουθίας του 2007 στη βόρεια Κεφαλονιά(Μάρτιος-Σεπτέμβριος 2007), *Διπλωματική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, Θεσσαλονίκη, 31- 32 σελ.

Παπαζάχος, Β., Καρακαΐσης, Γ. Φ., Χατζηδημητρίου, Π. Μ., 2005. Εισαγωγή στη Σεισμολογία. *Εκδόσεις Ζήτη*, 225-231, 235-240, 272, 350-351.

Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ., 2003. Οι Σεισμοί της Ελλάδας. *Εκδόσεις Ζήτη*, 67- 70, 81- 91.



Παυλίδης, Σ. Π., 2016. Γεωλογία των σεισμών. Εισαγωγή στη Νεοτεκτονική, Μορφοτεκτονική, Παλαιοσεισμολογία και Αρχαιολογία., *Δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS*, 147- 148, 202- 204, 267- 273, 344- 349.

Τάσσος, Σ. Τ.(1984). Στατικές και δυναμικές ιδιότητες του πάνω μανδύα στο νότιο Αιγαίο. *Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, Θεσσαλονίκη, 155 σελ.