



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ COULOMB ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Ελευθερία Παπαδημητρίου, Καθηγήτρια Σεισμολογίας Τμήματος Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Βασίλειος Καρακώστας, Καθηγητής Σεισμολογίας Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ
Παρθένα Παραδεισοπούλου, Ε.ΔΙ.Π. Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΩΝ
ΤΑΣΕΩΝ COULOMB ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,

Επίβλεψη:

Ελευθερία Παπαδημητρίου, Καθηγήτρια Σεισμολογίας Τμήματος Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Βασίλειος Καρακώστας, Καθηγητής Σεισμολογίας Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ
Παρθένα Παραδεισοπούλου, Ε.ΔΙ.Π. τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

© Βασίλειος Αναγνώστου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ
ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ COULOMB ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ– *Διπλωματική Εργασία*

© Vasileios Anagnostou, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2023
All rights reserved.

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 και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.



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



Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	6
1 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή	7
1.1 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας	7
1.2 Σεισμοτεκτονικές ιδιότητες των κεντρικών Ιονίων Νήσων	8
1.3 Σεισμικότητα στην περιοχή του κεντρικού Ιονίου	9
1.3.1 Ιστορική σεισμικότητα	9
1.3.2 Σεισμικότητα ενόργανης περιόδου	12
2 ^ο Κεφάλαιο: Μεθοδολογία	13
2.1 Αντιστροφή πεδίου τάσεων.....	13
2.1.1 Εισαγωγή	13
2.1.2 Αντιστροφή τάσεων με παράγοντα απόσβεσης (Regional damped stress inversion).....	14
2.1.3 Το λογισμικό πακέτο MSATSI	17
2.2 Μεταβολές τάσεων Coulomb	18
2.2.1 Εισαγωγή	18
2.2.2 Κριτήριο θραύσης Coulomb	21
3 ^ο Κεφάλαιο: Επεξεργασία και αποτελέσματα	27
3.1 Δεδομένα παρατήρησης.....	27
3.1.1 Μηχανισμοί γένεσης και χωρισμός τμημάτων και υποπεριοχών	27
3.1.2 Δεδομένα για τον υπολογισμό των πεδίων τάσεων Coulomb	30
3.2 Αποτελέσματα Αντιστροφών	32
3.2.1 Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας» (Op)	32
3.2.2 Τμήμα «Λευκάδα» (Lf)	34
3.2.3 Τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr)	37
3.2.4 Τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (Pl)	39
3.2.5 Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς» (Ok)	41
3.3 Υπολογισμοί των μεταβολών του πεδίου των τάσεων.....	43
3.3.1 Εισαγωγή	43
3.3.2 Σεισμός Λευκάδας 14/08/2003 ($M_w = 6.2$)	43
3.3.3 Σεισμοί Κεφαλονιάς 26/01/2014 ($M_w = 6.1$) και 03/02/2014 ($M_w = 6.0$)....	53
3.3.4 Σεισμός Λευκάδας 17-11-2015 ($M_w = 6.5$)	70
4 ^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα	80
Βιβλιογραφία.....	82



Παράρτημα: Δεδομένα μηχανισμών γένεσης.....88



Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και έχει ως θέμα τη διερεύνηση της ευαισθησίας στην πρόκληση σεισμικότητας λόγω της σεισμικής ολίσθησης ισχυρών σεισμών από τις ιδιότητες του πεδίου των τάσεων σε στοχευμένες περιοχές.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια περιγραφή των σειμοτεκτονικών ιδιοτήτων της περιοχής μελέτης και δίνονται πληροφορίες για την ιστορική και ενόργανη σεισμικότητα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αντιστροφή του πεδίου των τάσεων και για τον υπολογισμό των μεταβολών τάσεων Coulomb.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αντιστροφών καθώς και τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς των μεταβολών τάσεων Coulomb με ταυτόχρονη διερεύνηση για την πρόκληση σεισμικότητας σε κάθε μια από τις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας για τις αντιστροφές του πεδίου των τάσεων της περιοχής καθώς και οι ενδείξεις για πρόκληση σεισμικότητας εξαιτίας των μεταβολών των τάσεων Coulomb.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας Σεισμολογίας του τομέα Γεωφυσικής, κυρίας Ελευθερίας Παπαδημητρίου, την οποία και ευχαριστώ θερμά για την αδιάκοπη επιστημονική καθοδήγηση αλλά και ηθική υποστήριξη της. Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες οφείλω στη Δρ. Σεισμολογίας και μέλος ΕΔΙΠ κυρία Παρθένας Παραδεισοπούλου για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας και ιδιαίτερα στην εκμάθηση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν και στον Καθηγητή Σεισμολογίας του τομέα Γεωφυσικής κυρίου Βασίλειου Καρακώστα για την πολύτιμη βοήθεια του ιδιαίτερα σε θέματα λογισμικού και παροχής δεδομένων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω επίσης στους φίλους και συναδέλφους μεταπτυχιακούς φοιτητές με τους οποίους μοιράστηκα τα τελευταία δυο χρόνια της ακαδημαϊκής μου ζωής, σε όλες τις ευχάριστες, δημιουργικές αλλά και απαιτητικές στιγμές αυτής. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή Πυρηνικής Φυσικής κύριο Torbjörn Bäck και την Καθηγήτρια Πυρηνικής Φυσικής, κυρία Ayse Nyberg οι οποίοι με υποδέχτηκαν κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στον τομέα Πυρηνικής Φυσικής του πανεπιστημίου ΚΤΗ της Στοκχόλμης και μου παρείχαν πλήθος πολύτιμων για την ακαδημαϊκή μου πορεία, εφοδίων.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου για την αδιάκοπη ηθική και υλική στήριξη τους και την απύθμενη αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και όλους τους φίλους μου για την άνευ όρων αγάπη και υποστήριξη που μου παρέχουν και για τα οποία είμαι ευγνώμων.

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδας

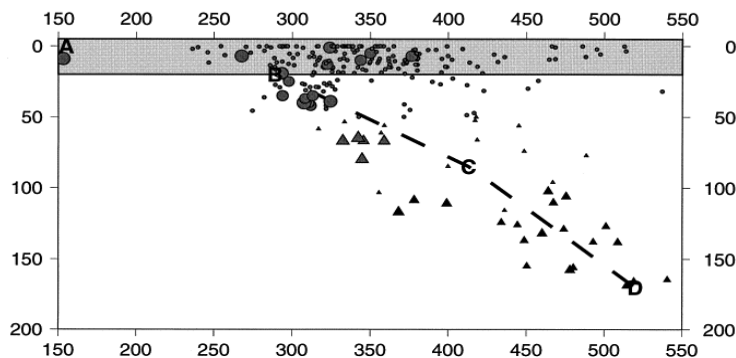
Η ενεργός τεκτονική της Ελλάδας είναι μέρος ενός πολύπλοκου ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης και συνοδεύεται από υψηλή σεισμικότητα. Η Ελλάδα ανήκει στο ορογενετικό σύστημα των Άλπεων, στη ζώνη διάρρηξης Ευρασίας-Μελανησίας και βρίσκεται συγκεκριμένα στην περιοχή σύγκλισης της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική, επηρεαζόμενη ταυτόχρονα από τις κινήσεις της Αραβικής πλάκας. Στην περιοχή του Αιγαίου δραστηριοποιούνται επίσης τρεις μικρότερες δευτερεύουσες πλάκες, οι κινήσεις των οποίων διαμορφώνουν το σεισμοτεκτονικό καθεστώς του ευρύτερου Ελληνικού χώρου. Πιο αναλυτικά, ωθούμενη από το νότο και την Αραβική κύρια λιθοσφαιρική πλάκα, η μικροπλάκα της Ανατολίας αναγκάζεται σε κίνηση προς τα δυτικά, κατά μήκος της ζώνης δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης της Βόρειας Ανατολίας. Η κίνηση αυτή γίνεται με ρυθμό περίπου 2.5 cm/y και ωθεί την μικροπλάκα του Αιγαίου σε μια προς τα Νοτιοδυτικά κίνηση, με αποτέλεσμα την επώθηση της πάνω στον ωκεάνιο φλοιό της ανατολικής Μεσογείου (McKenzie, 1970). Ένα σεισμοτεκτονικό και κινηματικό μοντέλο της περιοχής, προτάθηκε από τους Parazachos et al. (1998) στο οποίο φαίνονται τόσο οι κύριες λιθοσφαιρικές πλάκες, όσο και οι δευτερεύουσες (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Γεωδυναμικό μοντέλο και σχετικές κινήσεις των κύριων και δευτερευουσών λιθοσφαιρικών πλακών στον Ελληνικό χώρο (τροποποιημένο από Parazachos et al., 1998).

Η Αφρικανική πλάκα κινείται προς βορρά με διεύθυνση Β-Ν και ταχύτητα 1 cm/y ενώ αντίστοιχα η πλάκα του Αιγαίου κινείται προς τα νοτιοδυτικά με ρυθμό 3.5 cm/y. Η καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας προς Βορρά, διαπιστώθηκε για πρώτη φορά από τους

Parazachos & Comninakis, 1971 έπειτα από τον καθορισμό των εστιών και των μηχανισμών γένεσης των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στο Νότιο Αιγαίο και την κατανομή αυτών σε ζώνη Benioff (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Η ζώνη Benioff στο κεντρικό Νότιο Αιγαίο, όπως υπολογίστηκε με βάση την κατανομή των εστιών των σεισμών ενδιάμεσου βάθους (Parazachos et al., 2000).

Μια ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων παράλληλη με τη ζώνη κατάδυσης του ωκεάνιου φλοιού με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ παρατηρείται στο Νότιο Αιγαίο (Parazachos et al., 1984). Η ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων επεκτείνεται προς τα ΒΔ, παράλληλα με τις ακτές της Δυτικής Ελλάδας μέχρι και την Αλβανία και διακόπτεται από τη ζώνη δεξιόστροφων ρηγμάτων μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (ΚΤΦΖ), η οποία προτάθηκε κατά τη μελέτη του ισχυρού σεισμού του 1983 ($M_w=7.0$) από τους (Scordilis et al., 1985).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι τάσεις που επικρατούν σήμερα στον Ελληνικό χώρο είναι συμπίεστικές στο εξωτερικό μέρος του Ελληνικού τόξου, δημιουργώντας μια ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων. Η γενική διεύθυνση της κύριας συμπίεστικής τάσης (άξονας P) είναι ΒΑ-ΝΔ, με αποτέλεσμα τα ανάστροφα ρήγματα να έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Στην περιοχή της οπισθότοξης λεκάνης του Αιγαίου, οι τάσεις που επικρατούν είναι εφελκυστικές, με διεύθυνση Β-Ν (D. P. McKenzie, 1970) δημιουργώντας σημαντικά κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ. Εφελκυστικές τάσεις επικρατούν και κατά μήκος των Ελληνίδων οροσειρών με διεύθυνση Α-Δ, διακόπτεται στην κεντρική Ελλάδα και συνεχίζεται στη δυτική Πελοπόννησο, Κρήτη έως τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου, περιοχές όπου επικρατούν κανονικά ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν (Parazachos et al., 1984).

1.2 Σεισμοτεκτονικές ιδιότητες των κεντρικών Ιονίων Νήσων

Ένας από τους στόχους της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του πεδίου των τάσεων στην περιοχή των κεντρικών Ιονίων Νήσων. Η σημαντικότερη σεισμοτεκτονική δομή στην περιοχή είναι η ζώνη δεξιόστροφων ρηγμάτων μετασχηματισμού οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς (Kefalonia Transform Fault Zone ή ΚΤΦΖ). Η γεωμετρία και η κινηματική των ρηγμάτων της ζώνης αυτής έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές, χρησιμοποιώντας σεισμολογικά και γεωδαιτικά δεδομένα. Οι Scordilis et al. (1985), με βάση τους μηχανισμούς γένεσης του σεισμού της 17^{ης} Ιανουαρίου 1983 ($M_w=7.0$), του μεγαλύτερου μετασεισμού του στις 24 Μαρτίου 1983 ($M_w = 6.3$) και της κατανομής των μετασεισμών καθώς και γεωμορφο-

λογικών δεδομένων, υποστήριξαν την ύπαρξη του ρήγματος μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς. Οι ερευνητές θεώρησαν το ρήγμα ως ένα δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με ανάστροφη συνιστώσα, διεύθυνση BA-ND και κλίση NA. Η ζώνη μετασχηματισμού συνδέει την ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων του Ελληνικού τόξου στα νότια με τη ζώνη ηπειρωτικής σύγκρουσης της πλάκας της Αδριατικής με την Ευρασιατική στο βορρά. Η KTFZ χωρίζεται σε δύο κλάδους, το βόρειο τμήμα (κλάδος Λευκάδας) με παράταξη 15° και μήκος περίπου 35km και το νότιο τμήμα (κλάδος Κεφαλονιάς) με παράταξη 35° και μήκος περίπου 95km (Parazachos et al., 1998; Louvari et al., 1999). Σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα σεισμικότητας, ο ισχυρότερος σεισμός που έχει παρατηρηθεί στον κλάδο Λευκάδας έχει μέγεθος $M_w = 6.7$, ενώ στον μεγαλύτερου μήκους κλάδο Κεφαλονιάς, ο ισχυρότερος σεισμός που έχει καταγραφεί είχε μέγεθος $M_w = 7.4$ (Parazachos & Parazachou, 2003). Η ζώνη μετάβασης μεταξύ των δύο τμημάτων χαρακτηρίζεται από μικρά παράλληλα τμήματα ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης, με διεύθυνση ΔΝΔ – ΑΒΑ, σχεδόν παράλληλη με τη διεύθυνση του άξονα Ρ και σχεδόν κάθετη στη διεύθυνση του άξονα Τ για την περιοχή μελέτης, οδηγώντας την εφελκυστική παραμόρφωση στην περιοχή (Karakostas et al., 2015). Ιστορικά δεδομένα σεισμικότητας για την περιοχή δείχνουν ότι οι διαρρήξεις στον Νότιο κλάδο της KTFZ φαίνεται να τερματίζουν στην μεταβατική αυτή περιοχή, υποδεικνύοντας ότι ισχυροί σεισμοί στο κεντρικό Ιόνιο συνδέονται είτε με το σύστημα ρηγμάτων της Λευκάδας (βορράς), είτε με αυτό της Κεφαλονιάς (νότος) (Parazachos & Parazachou, 2003). Οι δύο κύριοι κλάδοι της KTFZ έχουν ενεργοποιηθεί αρκετές φορές στο παρελθόν, ως αποτέλεσμα μεταφοράς τάσης από τον έναν κλάδο στον άλλον (Paradimitriou, 2002).

Οι Kahle et al. (1995) χρησιμοποιώντας δεδομένα GPS υπολόγισαν την κίνηση της ΝΑ Ελλάδας σε σχέση με τη Νότια Ιταλία, καταλήγοντας σε μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης για το τμήμα της Λευκάδας ίση με 10mm/y ενώ αντίστοιχα το τμήμα της Κεφαλονιάς κινείται στην ίδια διεύθυνση με ρυθμό 25mm/y. Συνδυάζοντας δεδομένα SLR (Satellite Laser Ranging) και GPS, οι Le Pichon et al. (1995) κατά την μελέτη τους για την σχετική κίνηση μεταξύ των μικροπλάκων της Ανατολίας και του Αιγαίου, υπολόγισαν την δεξιόστροφη κίνηση της KTFZ σε περίπου 25mm/y. Μεταγενέστερες μελέτες από τους Briole et al. (2021) που πραγματοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του πεδίου ταχυτήτων του Αιγαίου χρησιμοποιώντας δεδομένα από επίγειους μόνιμους σταθμούς GPS, υπολόγισαν την κίνηση της περιοχής του κεντρικού Ιονίου προς τα ΝΑ με ρυθμό 15.2mm/y.

1.3 Σεισμικότητα στην περιοχή του κεντρικού Ιονίου

1.3.1 Ιστορική σεισμικότητα

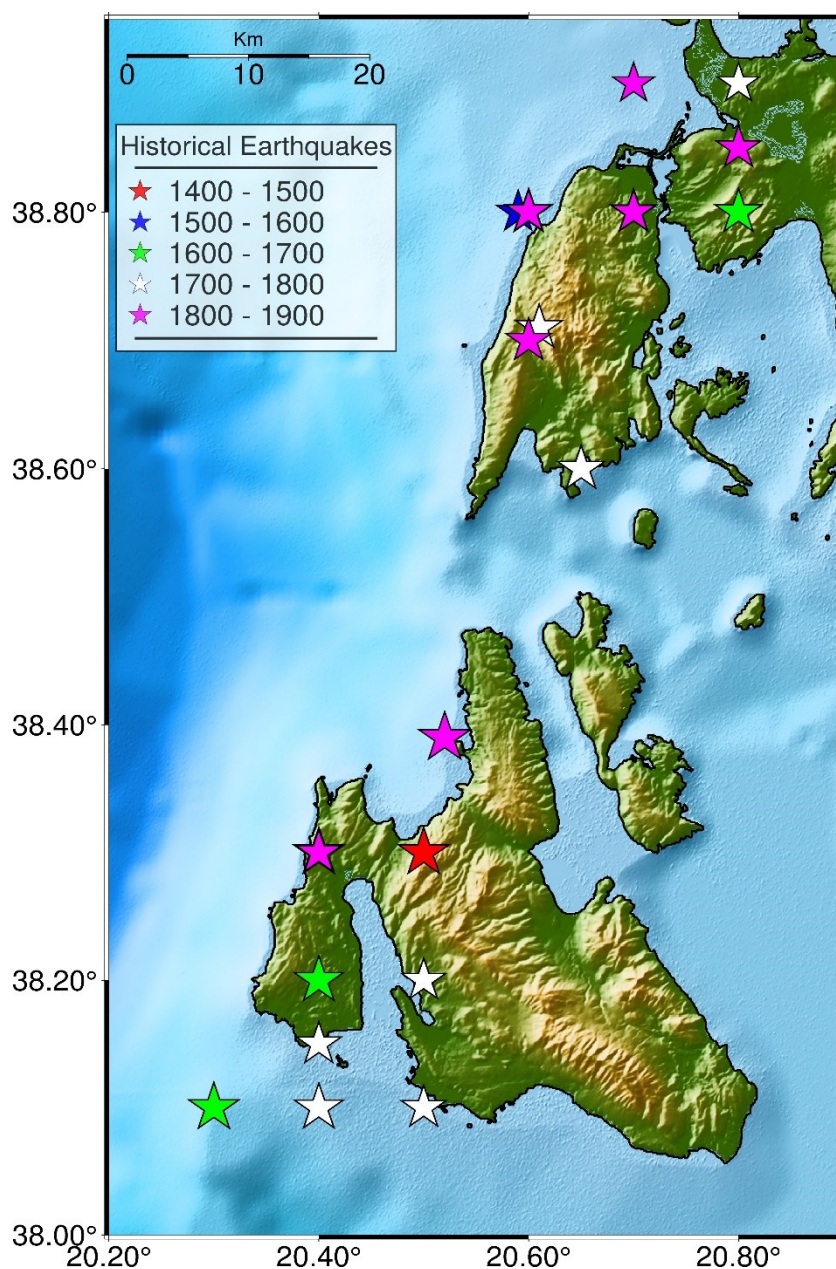
Για τους τελευταίους 7 αιώνες, υπάρχει σημαντικός αριθμός γραπτών ιστορικών πηγών και μαρτυριών για σεισμούς που έχουν γίνει στην περιοχή. Ένας από τους πρώτους καταλόγους ιστορικής σεισμικότητας για το κεντρικό Ιόνιο δημοσιεύτηκε από τον Galanopoulos (1950). Ο κατάλογος αυτός εμπλουτίστηκε με παραμέτρους των ιστορικών σεισμών όπως χρόνος γένεσης, επικεντρικές συντεταγμένες, μέγεθος και βάθος εστίας μεταγενέστερα (Galanopoulos, 1953; Galanopoulos, 1963). Οι Parazachos & Parazachou (2003) συνέταξαν έναν εκτενή κατάλογο με τους σημαντικότερους σεισμούς στον Ελληνικό χώρο από το 550 BC έως και το 2001. Επιπλέον, μια σημαντική πηγή δεδομένων ιστορικής σεισμικότητας αποτελεί

η πανευρωπαϊκή πλατφόρμα AHEAD (Archive of Historical Earthquake Data, Locati et al., 2014), στην οποία συλλέγονται δεδομένα σεισμικότητας από αναφορές, καταλόγους και εργασίες. Στο σχήμα 1.3 απεικονίζονται οι ισχυρότεροι ιστορικοί σεισμοί με $M > 6.0$ για την περιοχή μελέτης, ενώ στο πίνακα 1-1 παρουσιάζονται οι ισχυρότεροι σεισμοί ($M \geq 6.0$) που έγιναν στην περιοχή μελέτης κατά την ιστορική περίοδο.

Πίνακας 1-1: Ιστορική σεισμικότητα στο κεντρικό Ιόνιο. Δεδομένα από Parazachos and Parazachou, (2003).

Έτος	Lat°	Lon°	Μέγεθος (Parazachos and Parazachou, 2003)
1444	39.1	20	7.1
1469	38.3	20.5	7.2
1577	38.8	20.59	6.2
1612	38.8	20.8	6.5
1613	38.8	20.8	6.4
1625	38.8	20.7	6.6
1630	38.8	20.8	6.7
1636	38.1	20.3	7.2
1638	38.2	20.4	6.4
1658	38.2	20.4	7.0
1704	38.8	20.7	6.3
1709	38.9	20.8	6.0
1714	38.1	20.5	6.4
1722	38.7	20.6	6.4
1723	38.6	20.65	6.7
1741	38.15	20.4	6.4
1759	38.2	20.5	6.3
1766	38.1	20.4	7.0
1767	38.3	20.4	7.2
1769	38.8	20.6	6.7
1783	38.71	20.61	6.7
1815	38.8	20.7	6.3
1820	38.8	20.6	6.4
1825	38.7	20.6	6.5
1826	39	20.6	6.2
1862	38.3	20.4	6.5
1867	38.39	20.52	7.4
1869	38.85	20.8	6.4
1891	38.9	20.7	6.0
1912	38.11	20.67	6.8
1914	38.72	20.62	6.3
1915	38.36	20.6	6.6
1915	38.5	20.62	6.7
1915	38.5	20.7	6.1
1915	38.5	20.7	6.4
1917	39.1	20.5	6.1
1948	38.71	20.57	6.5

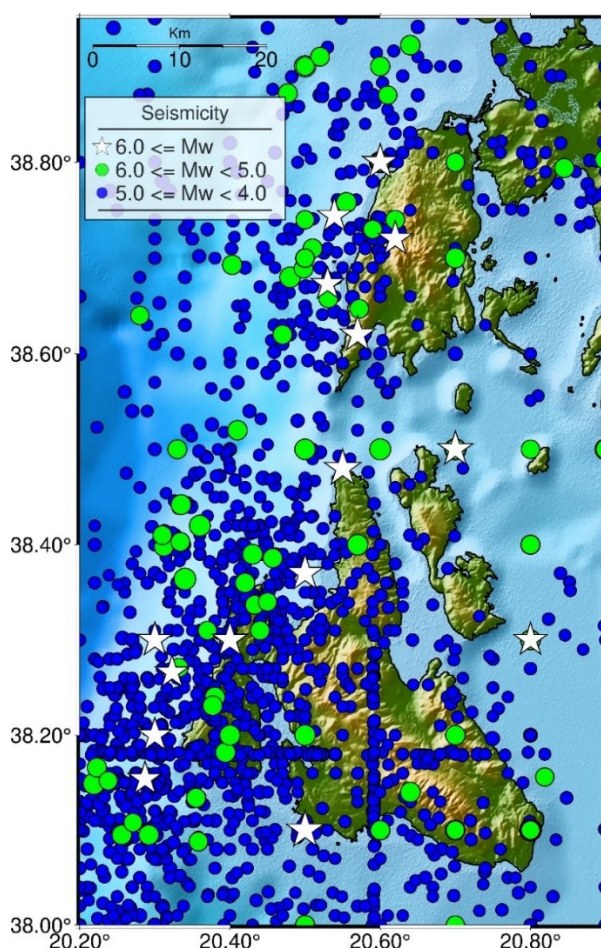
Έτος	Lat°	Lon°	Μέγεθος (Parazachos and Parazachou, 2003)
1948	38.8	20.6	6.4
1953	38.43	20.5	6.4
1953	38.3	20.8	7.2
1953	38.3	20.8	6.0
1962	37.9	20.1	6.3
1972	38.21	20.31	6.3
1983	38.07	20.24	7.0
1983	38.2	20.3	6.4
1990	39.1	20.7	6.0



Σχήμα 1.3: Ιστορικοί σεισμοί ($M \geq 6.0$) για την περιοχή μελέτης, (1400-1900). Τα δεδομένα για τα επίκεντρα και τα μεγέθη των σεισμών λήφθηκαν από Parazachos and Parazachou, (2003).

1.3.2 Σεισμικότητα ενόργανης περιόδου

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, και με την εγκατάσταση του πρώτου σεισμομέτρου στον ελληνικό χώρο και την μετέπειτα επέκταση του δικτύου, άρχισε η ενόργανη καταγραφή σεισμών και η συλλογή δεδομένων σεισμικότητας. Κατά το διάστημα 1928-1964, η χρήση σειсмоγραμμάτων για τον ακριβέστερο προσδιορισμό βασικών σεισμικών παραμέτρων (μεγέθη σεισμών, εστιακές συντεταγμένες) βελτιώνονταν διαρκώς. Ο σταθμός του Αστεροσκοπείου Αθηνών εντάχθηκε στο Διεθνές Σεισμολογικό Δίκτυο, μετά την εγκατάσταση των πρώτων ηλεκτρομαγνητικών σεισμογράφων το 1962. Από το 1981 και έπειτα, το δίκτυο σεισμολογικών σταθμών στον Ελληνικό χώρο επεκτάθηκε σημαντικά, οδηγώντας το 2008 στην ίδρυση του Ενιαίου Ελληνικού Σεισμολογικού Δικτύου (Hellenic Unified Seismic Network) το οποίο σήμερα περιλαμβάνει του σταθμούς των δικτύων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Αθηνών, του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ, του Εργαστηρίου Σεισμολογίας του Ε.Κ.Π.Α, του αστεροσκοπείου Αθηνών (γεωδυναμικό ινστιτούτο) και του Εργαστηρίου Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών. Για την περιοχή μελέτης, σεισμοί μεγέθους $M_w > 4.0$ που καταγράφηκαν την περίοδο 1900 – 2020 παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4: Επίκεντρα σεισμών με $M_w > 4.0$ για την περιοχή μελέτης κατά την ενόργανη περίοδο σεισμικότητας. Τα δεδομένα για τα επίκεντρα και τα μεγέθη των σεισμών ελήφθησαν από τους καταλόγους του Σεισμολογικού Σταθμού του Α.Π.Θ (Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University of Thessaloniki 1981a ; Papazachos et al., 2010).

2^ο Κεφάλαιο: Μεθοδολογία

2.1 Αντιστροφή πεδίου τάσεων

2.1.1 Εισαγωγή

Οι ενεργές τάσεις στο Γήινο φλοιό επηρεάζονται σημαντικά από τις τεκτονικές διεργασίες αλλά και από τις μεταβολές στο υπάρχον πεδίο τάσεων που προκαλούνται από ισχυρούς σεισμούς, ενώ ταυτόχρονα οι ίδιες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως άμεσα αίτια πρόκλησης σεισμών. Η μελέτη των χρονικών και χωρικών μεταβολών των τάσεων του φλοιού σε τοπική (regional) κλίμακα, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τους μηχανισμούς που οδηγούν στην πρόκληση σεισμών και τις αλληλεπιδράσεις ρηγμάτων μέσω του πεδίου των τάσεών τους. Για τον σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι και τεχνικές μέσω της αντιστροφής δεδομένων των μηχανισμών γένεσης σεισμών ώστε να υπολογισθούν οι συνιστώσες του τανυστή της τάσης για διάφορες περιοχές μελέτης και ο προσανατολισμός των κύριων αξόνων τάσης. Ο Angelier (1979) πραγματοποίησε αντιστροφή δεδομένων μετρήσεων γεωμετρίας ρηγμάτων του Νεογενούς στην κεντρική Κρήτη για να υπολογίσει τους μέσους άξονες τάσης για την συγκεκριμένη ομάδα ρηγμάτων. Ο Michael (1984) χρησιμοποίησε μια νέα απλοποιημένη τεχνική αντιστροφής στην οποία υπέθεσε ότι τα μεγέθη της διατμητικής τάσης σε διάφορα επίπεδα ρηγμάτων σε μια περιοχή την στιγμή της διάρρηξης, είναι παρόμοια. Τα αποτελέσματα της απλοποιημένης αυτής μεθόδου αντιστροφής ήταν σε συμφωνία με αποτελέσματα παλαιότερων αντιστροφών για τις ίδιες περιοχές μελέτης, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής μελέτης του Angelier (1979).

Οι παράμετροι μηχανισμών γένεσης (παράταξη επιπέδου ρήγματος, γωνία κλίσης και γωνία ολίσθησης) συχνά παρουσιάζουν σημαντικές αβεβαιότητες, φθάνοντας πολλές φορές σε τιμές σφάλματος άνω των 25°. Για την ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων αυτών, συνήθως οι αντιστροφές πραγματοποιούνται για μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων μηχανισμών γένεσης, συχνά για περισσότερους από 30 μηχανισμούς σε κάθε δείγμα δεδομένων. Σε περιπτώσεις όμως που τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αντιστροφή περιλαμβάνουν σημαντικά σφάλματα, το αποτέλεσμα της αντιστροφής και ως εκ τούτου ο τανυστής τάσης για την περιοχή μελέτης πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν με προσοχή. Για το λόγο αυτό, η μελέτη περιοχών με πιθανές ετερογένειες τάσης πραγματοποιείται συνήθως με χωρισμό της περιοχής σε μικρότερες υποπεριοχές και έπειτα εφαρμόζεται η μέθοδος της αντιστροφής των μηχανισμών γένεσης για κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά, κατασκευάζοντας έτσι έναν τανυστή τάσης για κάθε μια από αυτές. Οι Townend & Zoback (2001) μελετώντας την επίδραση των μηχανισμών γένεσης στην αντοχή τριβής (frictional strength) του Ρήγματος του Αγίου Ανδρέα στη νότια Καλιφόρνια, χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο κατασκευής πλέγματος (quadtree gridding algorithm) για το χωρισμό του σε υποπεριοχές, με την κάθε μια από αυτές να περιέχει μηχανισμούς γένεσης με γεωλογική συνάφεια και με πλήθος μεγαλύτερο από μια ελάχιστη τιμή που έθεσαν οι ερευνητές. Η χωρική μεταβλητότητα σε παρόμοια μοντέλα είναι συχνά δύσκολο να ερμηνευθεί καθώς οι διαφορές στον προσανατολισμό των κυρίων αξόνων τάσης μεταξύ παρακείμενων υποπεριοχών είναι πιθανόν να προέρχονται από σφάλματα των μηχανισμών γένεσης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανό πολλαπλοί τανυστές τάσεων να ταιριάζουν στο ίδιο σύνολο δεδομένων μηχανισμών γένεσης και ως εκ τούτου να παράγονται

πολλαπλά μοντέλα τάσης για μια μελετώμενη περιοχή. Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου τάσης σε τέτοιες περιπτώσεις, πραγματοποιούνται αντιστροφές με παράγοντα απόσβεσης (damped inversion), με σκοπό την ελαχιστοποίηση του σταθμισμένου αθροίσματος των τιμών της ασυμφωνίας (misfit) των δεδομένων και του μεγέθους του μοντέλου (model length). Το μέγεθος του μοντέλου είναι ενδεικτικό του βαθμού ετερογένειας της μελετώμενης περιοχής. Σε περιοχές που τα δεδομένα υποδεικνύουν ετερογένεια, το σφάλμα λόγω ασυμφωνίας δεδομένων κατά την εφαρμογή ομαλού μοντέλου είναι μεγαλύτερο από το σφάλμα λόγω του μήκους του μοντέλου κατά την εφαρμογή ετερογενούς μοντέλου και κατά συνέπεια προτιμάται το δεύτερο. Τα μοντέλα αυτά χαρακτηρίζονται ως τοπικά ετερογενή. Κατ' αναλογία, σε περιοχές όπου τα δεδομένα υποδεικνύουν ομαλό μοντέλο, το σφάλμα λόγω μεγέθους μοντέλου κατά την εφαρμογή ετερογενούς μοντέλου είναι μεγαλύτερο από το σφάλμα λόγω ασυμφωνίας δεδομένων κατά την εφαρμογή ομαλού μοντέλου. Τα μοντέλα αυτά χαρακτηρίζονται ως τοπικά ομαλά (smooth). Οι αντιστροφές με παράγοντα απόσβεσης λειτουργούν ως προσαρμοστικές μέθοδοι εξομάλυνσης καθώς διακρίνουν μεταβολές που απαιτούνται από τα δεδομένα και πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του μοντέλου και μεταβολές που δε βελτιώνουν το μοντέλο σε σημαντικό βαθμό και μπορούν να αγνοηθούν. Στην παρούσα εργασία, οι αντιστροφές των μηχανισμών γένεσης πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού πακέτου MSATSI (Martínez-Garzón et al., 2014) το οποίο είναι βασισμένο στον αλγόριθμο αντιστροφής με παράγοντα απόσβεσης (damped inversion) SATSI των Hardebeck and Michael (2006) ο οποίος περιγράφεται παρακάτω.

2.1.2 Αντιστροφή τάσεων με παράγοντα απόσβεσης (Regional damped stress inversion)

Η μέθοδος αντιστροφής των Hardebeck & Michael (2006) βασίζεται στη μέθοδο γραμμικής αντιστροφής του Michael (1984). Το ευθύ πρόβλημα δίνεται από την σχέση:

$$Gm = d \quad (2.1)$$

Το διάνυσμα m ονομάζεται διάνυσμα του μοντέλου και περιέχει τις 5 συνιστώσες του τανυστή τάσης:

$$m = \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{23} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Οι παράμετροι του μοντέλου είναι πέντε, ενώ η συνιστώσα σ_{33} λαμβάνεται ως $\sigma_{33} = -(\sigma_{11} + \sigma_{22})$ καθώς οι διευθύνσεις ολίσθησης των ρηγμάτων δεν μπορούν να ορίσουν το ισότροπο τμήμα του τανυστή τάσης. Μόνο 4 παράμετροι του τανυστή τάσης αρκούν για να περιγράψουν πλήρως τον προσανατολισμό και το σχήμα του τανυστή, με την πέμπτη παράμετρο να χρησιμοποιείται ως προσωρινή παράμετρος ώστε να κρατά το μέγεθος της αποκλίνοιας τάσης κοντά στην μονάδα, απαραίτητο για να έχουν τα διανύσματα διατμητικής τάσης προσεγγιστικά ίδιο μήκος με τα μοναδιαία διανύσματα ολίσθησης.

Το διάνυσμα δεδομένων $\mathbf{d}$ αποτελείται από $3 * K$ συνιστώσες μοναδιαίων διανυσμάτων ολίσθησης, όπου K το πλήθος των μηχανισμών γένεσης:

$$\mathbf{d} = \begin{pmatrix} s_{11} \\ s_{12} \\ s_{13} \\ \dots \\ s_{K1} \\ s_{K2} \\ s_{K3} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

όπου s_{Ki} η i -οστή συνιστώσα του μοναδιαίου διανύσματος ολίσθησης για τον K -οστό μηχανισμό γένεσης.

Ο πίνακας $\mathbf{G}$ αποτελεί τον πίνακα συντελεστών και κατασκευάζεται από το κάθετο στο ρήγμα διάνυσμα για κάθε έναν από τους μηχανισμούς γένεσης:

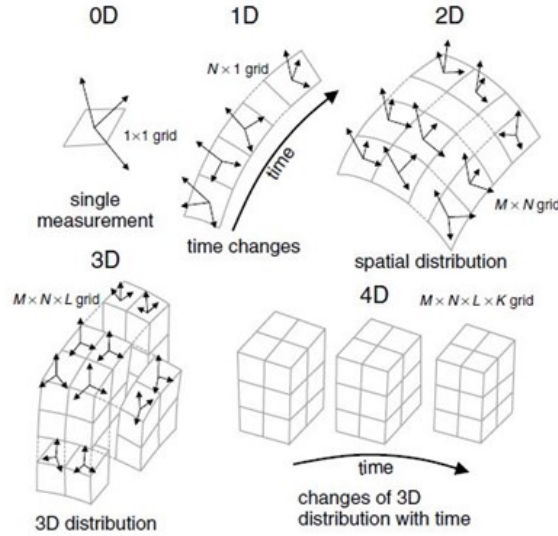
$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} n_{11} - n_{11}^3 + n_{11}n_{13}^2 & n_{12} - 2n_{11}n_{12} & n_{13} - 2n_{11}n_{13} & n_{11}n_{13}^2 - n_{11}n_{12}^2 & -2n_{11}n_{12}n_{13} \\ n_{12}n_{13}^2 - n_{12}n_{11}^2 & n_{11} - 2n_{12}n_{11} & -2n_{11}n_{12}n_{13} & n_{12} - n_{12}^3 + n_{12}n_{13}^2 & n_{13} - 2n_{12}n_{13} \\ n_{13}^3 - n_{13}n_{11}^2 - n_{13} & -2n_{11}n_{12}n_{13} & n_{11} - 2n_{13}n_{11} & n_{13}^3 - n_{13}n_{12}^2 - n_{13} & n_{12} - 2n_{13}n_{12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{K1} - n_{K1}^3 + n_{K1}n_{K3}^2 & n_{K2} - 2n_{K1}n_{K2} & n_{K1} - 2n_{K1}n_{K3} & n_{K1}n_{K3}^2 - n_{K1}n_{K2}^2 & -2n_{K1}n_{K2}n_{K3} \\ n_{K2}n_{K3}^2 - n_{K2}n_{K1}^2 & n_{K1} - 2n_{K2}n_{K1} & -2n_{K1}n_{K2}n_{K3} & n_{K2} - n_{K2}^3 + n_{K2}n_{K3}^2 & n_{K3} - 2n_{K2}n_{K3} \\ n_{K3}^3 - n_{K3}n_{K1}^2 - n_{K3} & -2n_{K1}n_{K2}n_{K3} & n_{K1} - 2n_{K3}n_{K1} & n_{K3}^3 - n_{K3}n_{K2}^2 - n_{K3} & n_{K2} - 2n_{K3}n_{K2} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

όπου n_{Ki} η i -οστή συνιστώσα του κάθετου στο επίπεδο του ρήγματος διανύσματος για τον μηχανισμό γένεσης K . Η επίλυση του γραμμικού συστήματος γίνεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων :

$$\mathbf{G}^T \mathbf{G} \mathbf{m} = \mathbf{G}^T \mathbf{d} \quad (2.5)$$

ενώ για τον υπολογισμό των σφαλμάτων και του διαστήματος εμπιστοσύνης χρησιμοποιείται η μέθοδος επαναδειγματοληψίας Bootstrap. Οι Hardebeck & Michael (2006) επέκτειναν την παραπάνω μέθοδο του Michael (1984) για να πραγματοποιήσουν αντιστροφή μηχανισμών γένεσης για πεδίο τάσεων περιορισμένης περιοχής και με πιθανή ποικιλομορφία στους μηχανισμούς γένεσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για την αντιστροφή μηχανισμών γένεσης για πλήθος διαστάσεων (Σχήμα 2.1), όπως:

- Αντιστροφή μηδενικών διαστάσεων (0D) σε ένα σημείο πλέγματος, με τελικό αποτέλεσμα ένα μοναδικό πεδίο στατικών τάσεων.
- Αντιστροφή μιας διάστασης (1D) με τελικό αποτέλεσμα ένα σύνολο τανυστών τάσης με κατανομή ως προς μια παράμετρο (π.χ. χρόνος).
- Αντιστροφή δύο διαστάσεων (2D) με τελικό αποτέλεσμα ένα σύνολο τανυστών τάσης καταμετρημένων σε 2 χωρικές διαστάσεις (π.χ. κατανομή τάσεων σε επιφάνεια).
- Αντιστροφή τριών διαστάσεων (3D) όπου οι τανυστές τάσης μπορούν να καταμετρηθούν σε 3 διαστάσεις (π.χ. χωρική κατανομή πεδίου τάσεων).
- Αντιστροφή τεσσάρων διαστάσεων (4D) όπου οι τανυστές τάσης κατανέμονται στον τρισδιάστατο χώρο και τον χρόνο.



Σχήμα 2.1: Διαστάσεις για τις οποίες μπορεί να εκτελεστεί αντιστροφή πεδίου τάσεων από τον αλγόριθμο SATSI των Hardebeck and Michael (2006) και το λογισμικό MSATSI (Martínez-Garzón et al., 2014).

Σε ένα πλέγμα διαστάσεων $I \times J$, ο τανυστής τάσης του σημείου a_{ij} αντιπροσωπεύεται από το διάνυσμα m_{ij} , τα δεδομένα για το ίδιο σημείο από το διάνυσμα d_{ij} ενώ ο πίνακας συντελεστών θα είναι ο G_{ij} . Συνεπώς, το νέο διάνυσμα του μοντέλου, μήκους $M = 5 * I * J$ θα είναι:

$$m_{Total} = \begin{pmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \dots \\ m_{21} \\ \dots \\ m_{IJ} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

ενώ το νέο διάνυσμα δεδομένων:

$$d_{Total} = \begin{pmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \dots \\ d_{21} \\ \dots \\ d_{IJ} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Το διάνυσμα δεδομένων d_{Total} έχει μήκος $N = 3 * K_{Total} = 3 * \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J K_{ij}$ όπου K_{ij} το πλήθος των μηχανισμών γένεσης στο σημείο του πλέγματος στην γραμμή i και στήλη j . Ο πίνακας συντελεστών θα έχει διαστάσεις $N \times M$ και την μορφή:

$$G_{Total} = \begin{pmatrix} G_{11} & & & & 0 \\ & G_{12} & & & \\ & & \dots & & \\ & & & G_{21} & \\ & & & & G_{22} \\ & & & & & \dots \\ 0 & & & & & & G_{IJ} \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Η επίλυση του γραμμικού συστήματος

$$\mathbf{G}_{Total}^T \mathbf{G}_{Total} \mathbf{m}_{Total} = \mathbf{G}_{Total}^T \mathbf{d}_{Total} \quad (2.9)$$

με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων παράγει τα ίδια αποτελέσματα με τα αποτελέσματα από την επίλυση του γραμμικού συστήματος για τις επί μέρους αντιστροφές κάθε σημείου του πλέγματος.

Οι Hardebeck & Michael (2006) προσθέτουν στην μέθοδο αντιστροφής έναν παράγοντα απόσβεσης με τη μορφή του πίνακα $\mathbf{D}$:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} I & -I & \dots & 0 & 0 & \dots \\ I & 0 & \dots & -I & 0 & \dots \\ 0 & I & \dots & 0 & -I & \dots \\ & & \dots & & & \dots \\ 0 & 0 & \dots & I & -I & \dots \\ & & \dots & & & \dots \end{pmatrix}$$

όπου I μοναδιαίος 5X5 πίνακας. Ο πίνακας $\mathbf{D}$ ελαχιστοποιεί τις διαφορές μεταξύ των συνιστωσών των ταχυστών τάσης σε γειτονικά σημεία του πλέγματος και έχει $\mathbf{M} = 5 * I * J$ στήλες και πέντε γραμμές για κάθε ζεύγος γειτονικών σημείων του πλέγματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αντιστροφή με παράγοντα απόσβεσης ελαχιστοποιεί το σταθμισμένο άθροισμα των τιμών της ασυμφωνίας των δεδομένων και του μεγέθους του μοντέλου. Το μέγεθος του μοντέλου δίνεται από το μήκος του διανύσματος που περιέχει τις διαφορές μεταξύ κάθε συνιστώσας ταχυστή τάσης για κάθε ζεύγος γειτονικών σημείων του πλέγματος. Είναι δηλαδή:

$$\|\mathbf{Dm}_{Total}\|_2$$

ενώ για τον υπολογισμό της ασυμφωνίας των δεδομένων σε σύγκριση με τις τιμές που προβλέπονται από το μοντέλο χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\|\mathbf{G}_{Total} \mathbf{m}_{Total} - \mathbf{d}_{Total}\|_2$$

Η λύση στο πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων με απόσβεση η οποία παρέχει την ελάχιστη τιμή για το μέγεθος του μοντέλου και την ασυμφωνία δεδομένων δίνεται από την σχέση:

$$(\mathbf{G}_{Total}^T \mathbf{G}_{Total} + e^2 \mathbf{D}^T \mathbf{D}) \mathbf{m}_{Total} = \mathbf{G}_{Total}^T \mathbf{d}_{Total} \quad (2.10)$$

όπου e η παράμετρος απόσβεσης (βαθμωτό μέγεθος) η οποία ελέγχει την στάθμιση του μεγέθους του μοντέλου και της ασυμφωνίας δεδομένων, κατά την ελαχιστοποίηση τους. Κατά την αντιστροφή, είναι σημαντικό να επιλέγεται η κατάλληλη παράμετρος απόσβεσης με σκοπό την όσο το δυνατόν ορθότερη ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του μεγέθους του μοντέλου και της ασυμφωνίας των δεδομένων.

2.1.3 Το λογισμικό πακέτο MSATSI

Το λογισμικό πακέτο MSATSI (Martínez-Garzón et al., 2014) αποτελείται από δύο υπορουτίνες, γραμμένες στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB, τις *msatsi.m* και *msatsi_plot.m*. Η πρώτη υπορουτίνα πραγματοποιεί την αντιστροφή των δεδομένων μηχανισμών γένεσης

σύμφωνα με την μέθοδο των Hardebeck & Michael (2006) και παρουσιάζει αναλυτικά τα αποτελέσματα, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται για τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Τα κύρια αποτελέσματα της αντιστροφής περιλαμβάνουν τα αζιμούθια και τις κλίσεις των κύριων αξόνων τάσης σ_1 , σ_2 και σ_3 καθώς και μία ενδεικτική ποσότητα φ που αντιπροσωπεύει το σχετικό μέγεθος τάσης (Relative stress magnitude) R :

$$\varphi = 1 - R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (2.11)$$

Μεγαλύτερες τιμές του R δείχνουν ότι το μέγεθος της σ_2 πλησιάζει σε αυτό της σ_3 , ενώ μικρότερες τιμές του R δείχνουν πώς η σ_2 βρίσκεται περισσότερο κοντά στην σ_1 . Όταν η τιμή R για μια περιοχή μελέτης πλησιάζει το 1 ($0.6 < R < 1$), η περιοχή παρουσιάζει κανονική συνιστώσα, ενώ όταν οι τιμές του R πλησιάζουν το 0 ($0 < R < 0.6$), αυτό αποτελεί ένδειξη ύπαρξης ανάστροφης συνιστώσας. Τιμές του R κοντά στο 0.5 υποδεικνύουν καθεστώς τάσης ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης χωρίς έντονη συνιστώσα κλίσης. Οι τιμές των μεγεθών των κυρίων συνιστωσών τάσης σ_1 , σ_2 και σ_3 υπολογίζονται από τον αποκλίνοντα τανυστή τάσης. Η διαδικασία που ακολουθείται για την αντιστροφή και την παραγωγή των αποτελεσμάτων περιγράφεται παρακάτω.

Σε πρώτο στάδιο, εισάγονται ως αρχικά δεδομένα στο MSATSI οι μηχανισμοί γένεσης για τους οποίους θα πραγματοποιηθεί η αντιστροφή. Τα αρχικά δεδομένα έχουν την μορφή πίνακα διαστάσεων $m \times 5$ όπου m το πλήθος των σεισμών. Οι πρώτες δύο στήλες του πίνακα αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες των σημείων του πλέγματος που έχει κατασκευαστεί για την αντιστροφή, με την πρώτη στήλη να περιέχει τις τετμημένες του πλέγματος ενώ η δεύτερη στήλη τις τεταγμένες. Για αντιστροφές μεγαλύτερων διαστάσεων (>2), η στήλη των τεταγμένων ακολουθείται από επιπλέον στήλες για το βάθος (αντιστροφή τριών διαστάσεων, 3D) και το χρόνο (αντιστροφή τεσσάρων διαστάσεων, 4D). Οι τρεις τελευταίες στήλες του πίνακα περιέχουν τα χαρακτηριστικά των μηχανισμών γένεσης με την παρακάτω σειρά: διεύθυνση κλίσης ρήγματος, γωνία κλίσης ρήγματος και γωνία ολίσθησης ρήγματος. Μετά την εισαγωγή των αρχικών δεδομένων στο λογισμικό, πραγματοποιείται η αντιστροφή. Αρχικά το MSATSI υπολογίζει τη σχέση μεταξύ μεγέθους μοντέλου και ασυμφωνίας δεδομένων, με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης παραμέτρου απόσβεσης που ελαχιστοποιεί τις δύο τιμές. Έπειτα, πραγματοποιείται η αντιστροφή των μηχανισμών γένεσης ταυτόχρονα για όλα τα σημεία του πλέγματος και επιλέγεται για κάθε σημείο ο βέλτιστος προσανατολισμός του τανυστή τάσης καθώς και η βέλτιστη τιμή φ . Η επιλογή των βέλτιστων αποτελεσμάτων εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης που έχει ορίσει ο χρήστης, πραγματοποιείται με την μέθοδο επαναδειγματοληψίας bootstrap για κάθε σημείο του πλέγματος. Μετά την ολοκλήρωση των αντιστροφών, χρησιμοποιώντας την υπορουτίνα *msatsi_plot.m* δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων της αντιστροφής.

2.2 Μεταβολές τάσεων Coulomb

2.2.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συσχέτιση των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας ισχυρών σεισμών στο κεντρικό Ιόνιο με την πρόκληση σεισμικότητας. Η μεθοδολογία

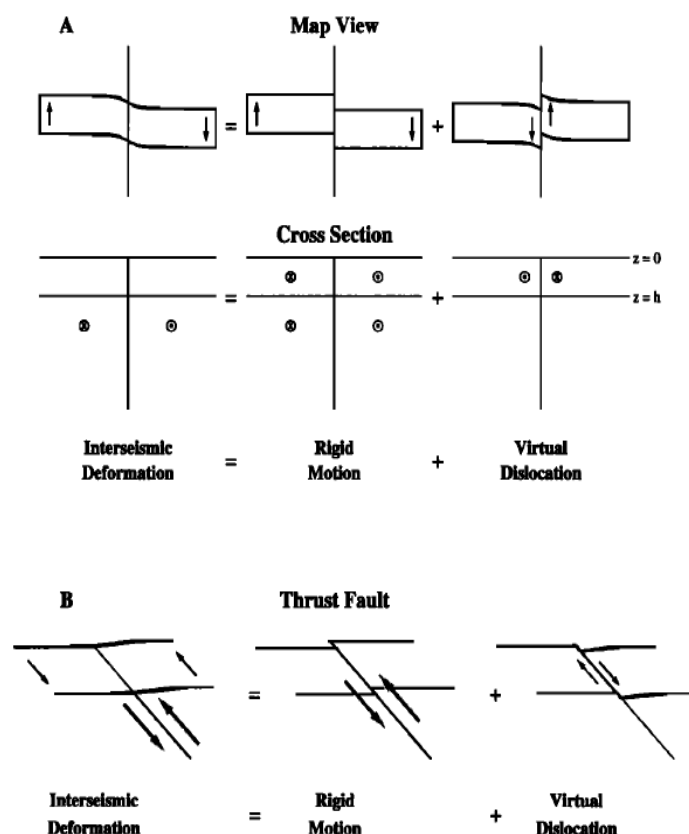
αρχικά προτάθηκε από τους Deng & Sykes (1997) οι οποίοι μελέτησαν τις μεταβολές που προκάλεσαν στο πεδίο των τάσεων ισχυροί σεισμοί ($M \geq 6.0$) στη Νότια Καλιφόρνια. Μεταβολές που προκαλούνται στο υπάρχον πεδίο τάσεων σε ορισμένη περιοχή, από ισχυρούς ($M \geq 6.0$) σεισμούς μπορούν να επιταχύνουν ή να αναστείλουν τη γένεση επερχόμενων σεισμών. Οι μεταβολές του πεδίου τάσεων εξαρτώνται από την συνεχόμενη τεκτονική φόρτιση τους λόγω των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών και την σεισμική ολίσθηση (coseismic slip) που λαμβάνει χώρα κατά τη γένεση ενός σεισμού. Σε ζώνες διάρρηξης στις οποίες οι ιδιότητες της ολίσθησης και η γεωμετρία του ρήγματος είναι γνωστά, ο υπολογισμός των μεταβολών τάσεων πραγματοποιείται με ευκολία. Αντίθετα, οι απόλυτες τιμές των τάσεων είναι άγνωστες και συχνά δύσκολο να υπολογισθούν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι μεταβολές των τάσεων κατά την εφαρμογή της παρούσας μεθοδολογίας.

Τα ρήγματα που συναντώνται στη φύση εμφανίζονται συνήθως σε τμήματα και όχι με συνέχεια σε όλο το μήκος τους. Τα τμήματα αυτά αλληλοεπιδρούν έντονα ή ασθενώς με ενεργές γειτονικές τεκτονικές δομές, με έμμεσο ή και άμεσο τρόπο. Κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της σεισμικότητας και η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας ενεργής και πολύπλοκης τεκτονικά περιοχής απαιτεί γνώση των μεταβολών των τάσεων της ευρύτερης περιοχής. Η γνώση των μεταβολών των τάσεων μιας περιοχής συνεισφέρει σημαντικά και στην μελέτη των σεισμικών κύκλων ρηξιγενών δομών της περιοχής, καθώς θεωρείται ότι κατά τη γένεση ισχυρών σεισμών, η ευρύτερη περιοχή του σεισμογόνου ρήγματος αποφορτίζεται πλήρως, με τον σεισμικό κύκλο να αρχίζει εκ νέου από το στάδιο συσσώρευσης παραμόρφωσης, ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο ανάκτησης των τάσεων.

Ο υπολογισμός των μεταβολών των τάσεων Coulomb βασίζεται στη μεταβολή του τανυστή της τάσης στο χώρο και το χρόνο. Η τάση διαδίδεται με ελαστικό τρόπο στο σεισμογόνο στρώματα και οι μεταβολές της στατικής τάσης υπολογίζονται εντός του θραυσιγενούς στρώματος του φλοιού της Γης, το οποίο μελετάται ως ένας ομογενής ημιχώρος, με ανώτερο όριο την υπερκείμενη ατμόσφαιρα και κατώτερο όριο το υποκείμενο πλάστιμο στρώμα. Οι τιμές των τάσεων που συσσωρεύονται επάνω σε ενεργές ρηξιγενείς επιφάνειες στο μεσοδιάστημα μεταξύ ισχυρών σεισμών, προσεγγίζονται λαμβάνοντας υπόψιν τους ρυθμούς ολίσθησης των μελετώμενων ρηγμάτων σε μακροχρόνια κλίμακα. Συμπεράσματα για τους μακράς διάρκειας ρυθμούς ολίσθησης των ρηγμάτων εξάγονται κατά κύριο λόγο από γεωδαιτικά, γεωλογικά και παλαιοσεισμικά δεδομένα.

Μεταξύ δύο ισχυρών σεισμών, ο υπολογισμός των συσσωρευτικών μεταβολών τάσεων γίνεται με τη χρήση του μοντέλου «Εικονικής Αρνητικής Ολίσθησης» (Negative Virtual Displacement). Στο σχήμα 2.1 απεικονίζονται δυο μοντέλα φόρτισης, για σεισμούς που οφείλονται σε ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Strike-slip) και για σεισμούς που οφείλονται σε ανάστροφα ρήγματα (Thrust). Οι μεταβολές τάσεων που υπολογίζονται, οφείλονται στην σεισμική ολίσθηση του ρήγματος εντός του σεισμογόνου στρώματος. Στην παρούσα εργασία, το ανώτερο και κατώτερο όριο του σεισμογόνου στρώματος για κάθε ισχυρό σεισμό, ορίσθηκε με βάση παλαιότερες μελέτες στην περιοχή (3km-12km για τον σεισμό της Λευκάδας στις 14-08-2003, 4.5km-16km για τον σεισμό της Κεφαλονιάς στις 26-01-2014, 7km-13.5km για το σεισμό της Κεφαλονιάς στις 03-02-2014 και 3km-17km για το σεισμό της Λευκάδας στις 17-11-2015). Πέρα από το μέγιστο βάθος, το υλικό παύει να συμπεριφέρεται ελαστικά και επομένως δε δύναται να προκληθεί σεισμική ολίσθηση. Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται στο επίπεδο

(map view) και σε κατακόρυφη τομή το μοντέλο συσσώρευσης ελαστικής ανηγμένης παραμόρφωσης σε ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Α) και σε ανάστροφα ρήγματα (Β). Στα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, η συσσωρευμένη ελαστική ανηγμένη παραμόρφωση είναι ίση με το αθροιστικό αποτέλεσμα που προκύπτει από το συνδυασμό της διαρκούς σχετικής κίνησης μεταξύ των δυο τεμαχίων σε βάθη μεγαλύτερα από το κατώτερο βάθος σεισμογόνου στρώματος (h), με την συσσώρευση τάσεων που πραγματοποιείται σε ενδιάμεσα βάθη z ($0 \leq z \leq h$). Η διαδικασία αυτή διακρίνεται σε μια άκαμπτη μετάθεση των υλικών του ελαστικού ημιχώρου στην επιφάνεια του ρήγματος και σε μια κίνηση αντίθετης φοράς από την πραγματική, η οποία οριοθετείται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας ($z = 0 \text{ km}$) και του κατώτατου βάθους του σεισμογόνου στρώματος ($z = h$) και ονομάζεται "αρνητική εικονική μετάθεση". Η διαδικασία συσσώρευσης είναι παρόμοια και στην περίπτωση των ανάστροφων ρηγμάτων. Το στρώμα που βρίσκεται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας και του κατώτατου ορίου του σεισμογόνου στρώματος παραμένει σχετικά ακίνητο, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη πραγματοποιείται διαρκής ασεισμική ολίσθηση. Η παραμόρφωση συσσωρεύεται εξαιτίας μιας ανοδικής άκαμπτης κίνησης του ανώτερου τεμαχίου πάνω από το υποκείμενο τέμαχος και μιας εικονικής κανονικής μετατόπισης που περιορίζεται εντός του σεισμογόνου στρώματος. Η τελική κίνηση ισοδυναμεί με την κίνηση ενός κανονικού ρήγματος. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι τάσεις που απελευθερώνονται ολικά ή εν μέρει κατά τη διάρκεια ενός σεισμού λαμβάνονται ως θετικές.



Σχήμα 2.2: (Α) Παραμόρφωση στο μεσοδιάστημα μεταξύ δυο ισχυρών σεισμών στην επιφάνεια της Γης και σε κατακόρυφη τομή (Interseismic Deformation), σε περιοχή γύρω από δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης (αριστερά). Η παραμόρφωση αυτού του τύπου μπορεί να προσομοιωθεί «κλειδώνοντας» το ανώτερο σεισμογόνο στρώμα ($0 \leq z \leq h$) και επιτρέποντας συνεχή ασεισμική κίνηση μόνο στο κατώτερο στρώμα. (Β) Παραμόρφωση σε περιοχή γύρω από ανάστροφο ρήγμα. Και σε αυτήν την περίπτωση, η

παραμόρφωση προσομοιώνεται με «κλείδωμα» του σεισμογόνου στρώματος και ασεισμική ολίσθηση στα υποκείμενα στρώματα. Και στις δύο περιπτώσεις, η κίνηση διαιρείται σε δύο επιμέρους κινήσεις, μια άκαμπτη κίνηση και μια εικονική μετατόπιση (σύμφωνα με Deng and Sykes, 1997).

Τόσο η συσσώρευση ελαστικής ανηγμένης παραμόρφωσης όσο και η απελευθέρωσή της κατά τη γένεση σεισμών, ως διαδοχικά φαινόμενα που εναλλάσσονται κατά τη διάρκεια του σεισμικού κύκλου, συνεισφέρουν στην μεταβολή της τάσης. Κατά τη γένεση του σεισμού, η μεταβολή των τάσεων ανακτάται πλήρως με τη διαδοχική συσσώρευση τάσεων, με αποτέλεσμα η συνολική μεταβολή στο τέλος του σεισμικού κύκλου να είναι ίση με μηδέν. Οι μεταβολές στην τάση που προκαλούνται από ισχυρούς σεισμούς, αφορούν τόσο εικονικές αρνητικές μεταθέσεις όσο και πραγματικές μεταθέσεις και υπολογίζονται εισάγοντας ένα μοντέλο μετάθεσης, σύμφωνα με το οποίο η επιφάνεια του ρήγματος (έστω Σ) βρίσκεται εντός ελαστικού ομογενούς ημιχώρου. Το πεδίο μετάθεσης u_k (όπου k η $k^{\text{η}}$ συνιστώσα της μετάθεσης u) σε ελαστικό ημιχώρο για μια αυθαίρετη ομοιόμορφη μετάθεση U , κατά μήκος της επιφάνειας Σ ενός ρήγματος ορίζεται από τη σχέση (Steketee, 1958):

$$u_k = \frac{U_i}{8\pi\mu} \int \int_{\Sigma} w_{ij}^k u_j d\Sigma \quad (2.12)$$

όπου μ ο συντελεστής διάτμησης, U_i η i -οστή συνιστώσα της U , u_j τα κατευθύνοντα συνημίτονα της κάθετης στην επιφάνεια τάσης και w_{ij}^k τα έξι σύνολα της συνάρτησης του Green. Με την παραγωγή της σχέσης 2.12, προκύπτουν οι μεταθέσεις και το πεδίο παραμόρφωσης που οφείλεται σε πεπερασμένες τετραγωνικές πηγές (Okada, 1992). Η ελαστική ανηγμένη παραμόρφωση s_{ij} υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον νόμο του Hooke για ισότροπο μέσο:

$$s_{ij} = \frac{2\nu}{1-2\nu} \delta_{ij} e_{kk} + 2\mu e_{ij} \quad (2.13)$$

όπου ν ο λόγος Poisson, δ_{ij} το δέλτα του Kronecker και e_{ij} η ελαστική ανηγμένη παραμόρφωση.

2.2.2 Κριτήριο θραύσης Coulomb

Οι τεκτονικοί σεισμοί γίνονται με απότομη ολίσθηση στις επιφάνειες των ενεργών σεισμικών ρηγμάτων, όταν η τάση υπερβεί την αντοχή του πετρώματος σε συγκεκριμένο σημείο του φλοιού της Γης. Ως αποτέλεσμα αυτής της υπέρβασης, το ρήγμα ολισθαίνει και εξ αιτίας της συσσωρευμένης παραμόρφωσης, απελευθερώνεται σεισμική ενέργεια με τη μορφή σεισμικών κυμάτων. Για την περιγραφή της αντοχής των υλικών στη διάρρηξη καθώς και των συνθηκών κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η διάρρηξη, έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα (εμπειρικά ή ημιεμπειρικά). Ένα από αυτά τα μοντέλα είναι το Κριτήριο Θραύσης Coulomb, το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

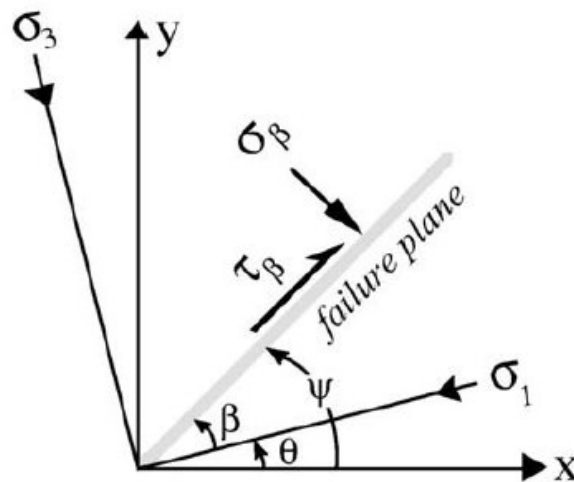
Σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα ελάχιστης κύριας τάσης, όταν η ασκούμενη τάση σ_3 είναι εφελκυστική και υπερβαίνει την τιμή αντοχής του μέσου σε εφελκυσμό T_0 , πραγματοποιείται εφελκυστική διάρρηξη (Scholz, 2002). Δηλαδή, οριακά ικανοποιείται η σχέση:

$$\sigma_3 = -T_0 \quad (2.14)$$

Όταν στο μέσο επιδρά συμπίεστική ή εφελκυστική τάση, η διάρρηξη που θα προκληθεί περιγράφεται από το Κριτήριο Θραύσης Coulomb για μη συνεκτικά υλικά. Το κριτήριο περιγράφεται από τη σχέση:

$$\tau = \mu \sigma_n \quad (2.15)$$

όπου τ η διατμητική και σ_n η κάθετη τάση. Η παράμετρος μ ονομάζεται παράμετρος εσωτερικής τριβής και μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της γωνίας εσωτερικής τριβής, ψ με τη σχέση $\mu = \tan \psi$. Η γεωμετρική συσχέτιση των κάθετων και διατμητικών τάσεων με την γωνία εσωτερικής τριβής, παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2



Σχήμα 2.3: Διαξονικό σύστημα τάσεων σ_1 και σ_3 , ασκούμενες στο επίπεδο διάρρηξης. Με σ_n συμβολίζεται η κάθετη τάση ενώ με τ_n η διατμητική. Η γωνία ψ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής ενώ οι γωνίες β και θ είναι οι οξείες γωνίες των επιπέδων στα οποία πραγματοποιήθηκε η διάρρηξη (King et al., 1994).

Όταν το κριτήριο εφαρμόζεται για συνεκτικά πετρώματα, τότε στη σχέση 2.15 προστίθεται ο παράγοντας συνοχής τ_0 , οπότε η νέα σχέση που προκύπτει, έχει την μορφή:

$$\tau = \tau_0 + \mu \sigma_n \quad (2.16)$$

Η διάρρηξη λαμβάνει χώρα όταν η συνδυασμένη δράση των δύο τάσεων υπερβαίνει το όριο αντοχής του μέσου. Ως συντελεστής τριβής μ , ορίζεται ο λόγος της δύναμης τριβής F προς το κάθετο φορτίο N ή ως ο λόγος του μέτρου διατμητικής αντοχής του υλικού s προς το συντελεστή σκληρότητας διεύθυνσης του υλικού, p (Byerlee, 1978; Scholz, 2002).

Από τον νόμο ενεργού τάσης προκύπτει η σχέση που περιγράφει το Κριτήριο Θραύσης Coulomb:

$$\tau = \tau_0 + \mu(\sigma_n - p) \quad (2.17)$$

όπου p η πίεση πόρων. Το Κριτήριο Coulomb εφαρμόστηκε από τον Byerlee (1967) για την περίπτωση του γρανίτη του Westerly, υπολογίζοντας την τάση για διαφορετικές τιμές πίεσης, καταλήγοντας σε μια γραμμική σχέση της μορφής $\tau = 10 + 0.6(\sigma_n - p)$. Το δεύτερο μέλος αυτής της σχέσης αποδεικνύει την εγγενή μείωση της τριβής λόγω της ύπαρξης και της

δράσης ρευστών. Αργότερα, οι Dieterich & Conrad (1984), μελετώντας την επίδραση της υγρασίας στην τριβή, συμπέραναν ότι ο συντελεστής μ αυξάνεται από 0.55 σε 0.65 σε υγρό περιβάλλον, ενώ σε ξηρό περιβάλλον το μ αυξάνεται από 0.85 σε 1.0. Οι ερευνητές επιπλέον υποστήριξαν ότι η παρουσία ρευστών επηρεάζει την ταχύτητα αλλά και το χρόνο δράσης της τριβής.

Για να προσεγγίσουν με το κριτήριο Coulomb ποιοτικά τη θραύση, οι Harris (1998a) και Scholz (2002) τροποποίησαν το μοντέλο, ώστε τελικά να προκύψει η συνάρτηση κατάρρευσης ή αστοχίας Coulomb. Σε περίπτωση που το μέσο που μελετάται είναι πορώδες, η σχέση 2.16 τροποποιείται καθώς η πίεση των ρευστών που πληρούν τους πόρους επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του μέσου, οπότε παίρνει τη μορφή:

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu(\Delta\sigma + \Delta p) \quad (2.18)$$

Όπου ΔCFF η μεταβολή της συνάρτησης κατάρρευσης Coulomb (Coulomb Failure Function), $\Delta\tau$ η μεταβολή της διατμητικής τάσης, $\Delta\sigma$ η μεταβολή της κάθετης τάσης. Οι μεταβολές της διατμητικής τάσης λαμβάνονται θετικές όταν συμπίπτουν με τη διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος και οι μεταβολές της κάθετης τάσης λαμβάνονται θετικές για αυξανόμενες εφελκυστικές τάσεις κάθετα στο ρήγμα. Ο όρος Δp στη σχέση 2.18 αντιπροσωπεύει την μεταβολή της πίεσης των ρευστών των πόρων του πετρώματος στη ζώνη. Για ισότροπο ελαστικό πορώδες μέσο, το Δp δίνεται από την σχέση των Rice & Cleary (1976):

$$\Delta p = -B \frac{\Delta\sigma_{kk}}{3} \quad (2.19)$$

όπου B ο συντελεστής Skempton και σ_{kk} το άθροισμα των διαγώνιων στοιχείων του τανυστή της τάσης. Οι τιμές του B κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 και λαμβάνουν υπόψιν την επίδραση των ρευστών των πόρων. Για μερικά από τα πιο κοινά πετρώματα όπως μάρμαρο, γρανίτης και ψαμμίτης, πειραματικές δοκιμές προσδιορίζουν την τιμή του B μεταξύ 0.5 και 0.9.

Στην περίπτωση που υπάρχει παρουσία ρευστών, εισάγεται στη σχέση 2.18 ο φαινόμενος συντελεστής τριβής μ' και η 2.18 λαμβάνει την τελική της μορφή:

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma \quad (2.20)$$

Το μ' αποτελεί μια σταθερά του υλικού της ζώνης διάρρηξης που είναι ανεξάρτητη από την τεκτονική της περιοχής, τις μεταβολές των τάσεων και του χρόνου και συνδυάζει το αποτέλεσμα της τριβής και των ρευστών των πόρων (Byerlee, 1967; Beeler et al., 2000). Το μ' εκφράζει τις ιδιότητες του υλικού, λαμβάνει τιμές από 0.0 έως 1.0 και συνδέεται με το συντελεστή τριβής μ μέσω της σχέσης:

$$\mu' = \mu(1 - B) \quad (2.21)$$

Η σημασία του μ' στους υπολογισμούς των τάσεων Coulomb προσεγγίζεται με δυο διαφορετικές μεθόδους. Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιείται το ισότροπικό ποροελαστικό μοντέλο, σύμφωνα με το οποίο το μ' παρουσιάζει διακυμάνσεις που εξαρτώνται από την μέση εφαρμοζόμενη τάση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται το μοντέλο σταθερής τιμής του φαινόμενου συντελεστή τριβής, όπου το μ' συμπεριφέρεται ως εγγενής στα-

θερά χαρακτηριστική του μελετώμενου πετρώματος (Beeler et al., 2000). Τα παραπάνω μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για να μελετήσουν τη χωρική κατανομή μετασεισμών (Nostro, 2005) καθώς ο παράγοντας μεταβολής της πίεσης των πόρων του υλικού είναι σημαντικός για τη μελέτη αυτή σε περιοχές γύρω από το ρήγμα. Σε περιπτώσεις που μελετώνται οι μεταβολές του πεδίου τάσεων σε μεγάλες χρονικές κλίμακες (π.χ. κλίμακες δεκαετιών) και σε μεγάλες αποστάσεις από το ρήγμα, η χρήση μιας σταθερής τιμής μ' είναι ικανοποιητική για τους υπολογισμούς. Έχουν προταθεί διάφορες τιμές για την τιμή του συντελεστή μ' . Χαμηλές τιμές του μ' υποδεικνύουν μη συνεκτικά υλικά ή υψηλή πίεση πόρων. Ο Stein (1999) πρότεινε μικρότερη τιμή του μ' για μεγάλα ρήγματα και μεγαλύτερη για μικρά ρήγματα, καθώς σε μεγάλα ρήγματα σχηματίζονται κατακλαστίτες μεγάλου πάχους που εγκλωβίζουν τα ρευστά και ελατώνουν το μ' . Η τιμή του μ' προσεγγίζει το 0.75 για ξηρά πετρώματα ενώ σε περιπτώσεις όπου η περιβάλλουσα πίεση είναι σημαντική, ο μ' προσεγγίζει το 0. Οι Parsons et al. (1999) έδειξαν επίσης πώς για μικρά ρήγματα, η τιμή του μ' είναι υψηλή ($\mu' > 0.8$) ενώ για μεγάλα ρήγματα, η τιμή του μ' είναι σχετικά μικρή ($\mu' < 0.2$).

Οι Reasenberg & Simpson (1992) υπολόγισαν τις τάσεις στην περίπτωση του σεισμού της Loma Prieta χρησιμοποιώντας την τιμή $\mu' = 0.2$. Οι King et al. (1994) προτείνουν ότι σε περιοχές γειτονικές του ρήγματος, ακόμη και για σημαντικές μεταβολές του μ' , η κατανομή των απόλυτων τιμών της τάσης δε διαφοροποιείται και θεώρησαν την τιμή του μ' ίση με 0.4., ενώ οι Deng & Sykes (1997) δοκίμασαν διαφορετικές τιμές μ' μεταξύ 0.0 και 0.6 για διαφορετικές χρονικές περιόδους και διάφορες τεκτονικές συνθήκες και υπέθεσαν ότι η μετανάστευση των ρευστών σε βάθος χρόνου, επηρεάζει τις τιμές του μ' . Δεχόμενοι ότι σε μια ρηξιγενή ζώνη δεν ισχύει πάντοτε μόνο ένας τύπος ρηγμάτων, οι Nalbant et al. (1998) και Toda et al. (1998) επέλεξαν ως ενδιάμεση τιμή την $\mu' = 0.4$. Μελετώντας την μετασεισμική ακολουθία του σεισμού της Σκύρου (26 Ιουλίου 2001, $M_w = 6.4$) οι Karakostas et al. (2003) υπολόγισαν την τιμή ΔCFF για διάφορες τιμές του συντελεστή μ' (μεταξύ 0.2 και 0.9) και κατέληξαν ότι το εκτιμώμενο πεδίο τάσεων δεν επηρεάζεται σημαντικά από αλλαγές στο μ' . Οι Lin & Stein (2004) προτείνουν για τη μελέτη ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης με μεγάλους ρυθμούς ολίσθησης, την τιμή $\mu' = 0.4$ ενώ για ανάστροφα ρήγματα σε ηπειρωτικές περιοχές, προτείνουν την τιμή $\mu' = 0.6$. Ο Parsons (2005) πραγματοποίησε επίσης υπολογισμούς με διαφορετικές τιμές μ' καταλήγοντας στο ίδιο συμπέρασμα, ότι δηλαδή τα αποτελέσματα είναι ευαίσθητα σε μεταβολές των παραμέτρων, αλλά όχι σε βαθμό τέτοιο ώστε να επηρεάζουν σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα το πρόσημο των τάσεων ή τη χωρική κατανομή των μεταβολών. Για την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, η Papadimitriou (2002) πραγματοποίησε υπολογισμούς τάσεων χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές του μ' και όπως αναμενόταν, οι διαφορετικές τιμές δεν επηρέασαν σημαντικά τη χωρική κατανομή των μεταβολών ή το τελικό πρόσημο των τάσεων στους υπολογισμούς. Συνεπώς πρότεινε για την περιοχή των κεντρικών Ιονίων Νήσων μια σταθερή τιμή φαινόμενου συντελεστή τριβής μ' , ίση με 0.4. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε για όλους τους υπολογισμούς μεταβολών τάσης στην παρούσα εργασία.

Σε περιπτώσεις όπου η διατμητική και η κάθετη τάση αυξάνονται στη σχέση 2.20, οι τιμές των μεταβολών της στατικής τάσης παίρνουν θετικές τιμές ($\Delta CFF > 0$). Από διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί (King et al., 1994; Stein, 1999) έχει δειχθεί ότι αυξήσεις

στις μεταβολές τάσης ακόμα και κατά 0.1 bar, μπορούν να προκαλέσουν την επιτάχυνση διάρρηξης του ρήγματος και κατά συνέπεια τη συντομότερη πρόκληση ενός επερχόμενου σεισμού. Επιπλέον, φαίνεται ότι οι μετασεισμοί καθώς και οι μεταγενέστεροι ισχυροί σεισμοί, κατανέμονται στις ζώνες με θετικές μεταβολές τάσεων, ενώ αντιθέτως στις περιοχές με αρνητικές τιμές μεταβολών τάσεων ($\Delta CFF < 0$) παρατείνεται ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι τη γένεση του επόμενου μεγάλου σεισμού. Η συγκεντρωμένη παραμόρφωση στις περιοχές αυτές έχει εκτονωθεί από τη γένεση του ισχυρού σεισμού έως ότου οι τιμές τάσης φθάσουν ξανά σε οριακές τιμές που απαιτούνται για την εκδήλωση νέου σεισμού, εξαιτίας της συνεχούς τεκτονικής φόρτισης (Harris, 1998b). Οι θετικές τιμές των μεταβολών των τάσεων ορίζουν τις περιοχές στις οποίες το επίπεδο των τάσεων φθάνει σε επίπεδο ικανό να προκαλέσει τη γένεση σεισμού, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι ορίζει και τις θέσεις στις οποίες θα γίνουν οι σεισμοί (Harris and Simpson, 1996).



3^ο Κεφάλαιο: Επεξεργασία και αποτελέσματα

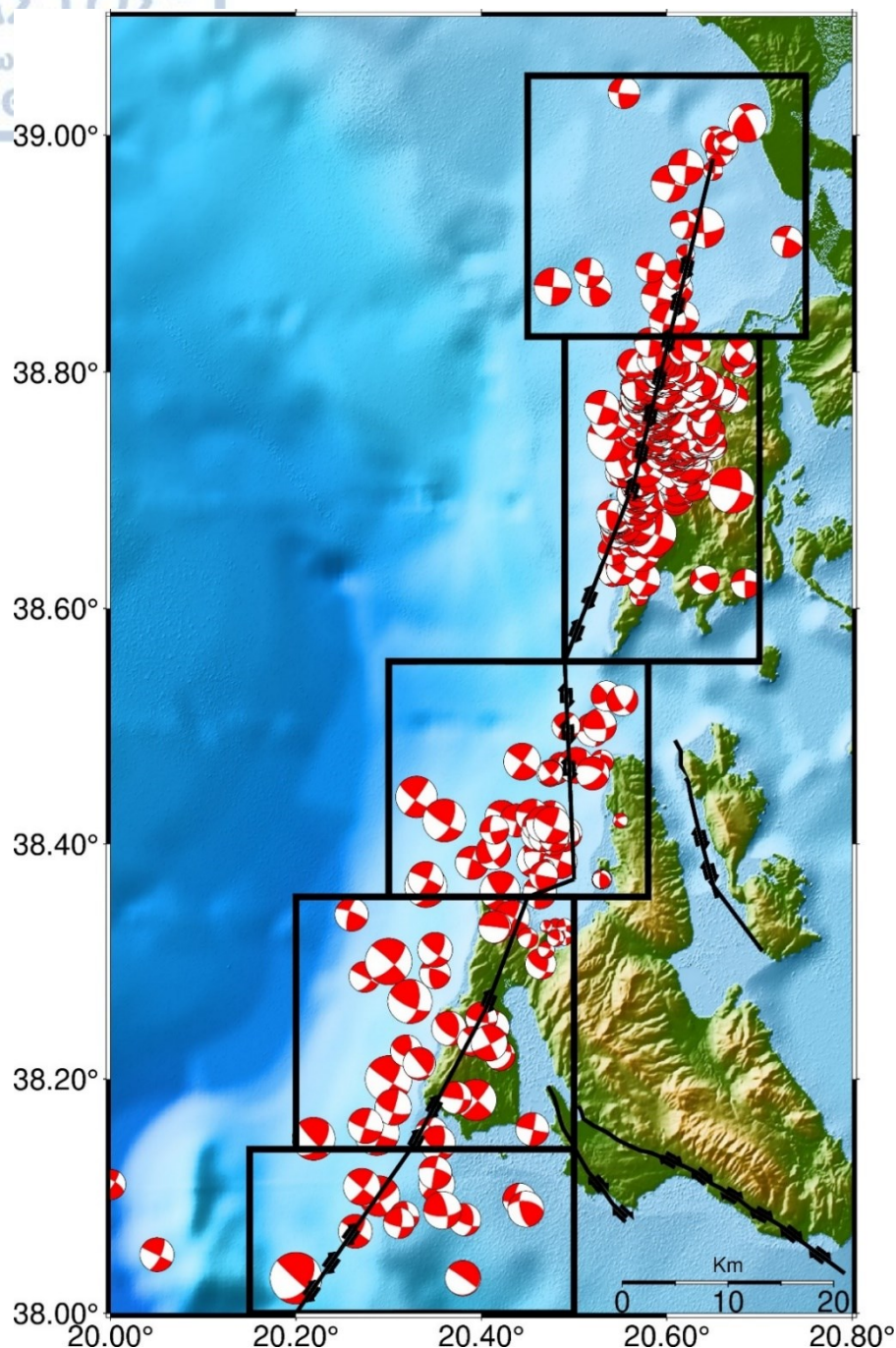
3.1 Δεδομένα παρατήρησης

3.1.1 Μηχανισμοί γένεσης και χωρισμός τμημάτων και υποπεριοχών

Στην παρούσα εργασία, ο καθορισμός του προσανατολισμού των κυρίων συνιστωσών τάσης για την περιοχή του κεντρικού Ιονίου πραγματοποιήθηκε με αντιστροφή δεδομένων μηχανισμών γένεσης των σημαντικότερων σεισμών της περιοχής. Το σύνολο των δεδομένων καλύπτει μια περίοδο 63 ετών (1959 – 2022) και αποτελείται από 455 μηχανισμούς γένεσης σεισμών, μεγέθους $M_w \geq 2.0$. Τα δεδομένα μηχανισμών γένεσης ελήφθησαν χρησιμοποιώντας το εργαλείο αναζήτησης δεδομένων του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου (ISC) το οποίο έχει άμεση πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων πλήθους Παρατηρητηρίων και Ινστιτούτων παγκοσμίως. Για την παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μηχανισμών γένεσης από βάσεις δεδομένων των παρακάτω οργανισμών:

- The global CMT project (GCMT), Harvard University and Columbia University, USA (Dziewonski et al., 1981; Ekström et al., 2012)
- European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy (Pondrelli, 2002)
- NEIC - National Earthquake Information Center (USGS), USA (Masse and Needham, 1989)
- Geophysics Department (THE) (Aristotle University of Thessaloniki, 1981)
- National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics (ATH) (National Observatory of Athens, 1975)
- Helmholtz Centre Potsdam (GFZ) German research centre for Geosciences, Germany (Quinteros et al., 2021)
- Uppsala Seismologiska Institute (UPSL), Sweden (Lund et al., 2021)

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μηχανισμών γένεσης από προηγούμενες ερευνητικές εργασίες στην περιοχή μελέτης (Baker et al., 1997; Benetatos et al., 2004, 2005; Hatzfeld et al., 1995; Karakostas et al., 2015; Karakostas & Papadimitriou, 2010; Kostoglou et al., 2020; Louvari et al., 1999; Papadimitriou et al., 2017; Pondrelli et al., 2004, 2007, 2011). Οι μηχανισμοί γένεσης και τα κύρια σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στο σχήμα 3.1. Επίσης, παρουσιάζονται τα τμήματα στα οποία χωρίσθηκε η περιοχή μελέτης για την εκτέλεση των αντιστροφών πεδίου τάσεων και τη διερεύνηση πρόκλησης σεισμικότητας εξαιτίας των μεταβολών τάσεων Coulomb. Το κάθε τμήμα περιλαμβάνει ορισμένο αριθμό μηχανισμών γένεσης και ο χωρισμός έγινε με βάση τα γνωστά σημαντικά ρήγματα της Ζώνης Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς και τη χωρική κατανομή των μηχανισμών γένεσης. Ο κατάλογος των μηχανισμών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.



Σχήμα 3.1: Χάρτης της περιοχής μελέτης με τις κυριότερες ρηξιγενείς δομές και τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν για τις αντιστροφές. Τα μαύρα ορθογώνια οριοθετούν τα τμήματα στα οποία χωρίστηκε η περιοχή μελέτης.

Για τη λεπτομερέστερη απεικόνιση των χαρακτηριστικών τάσης του κάθε τμήματος και τον καθορισμό πιθανών μεταβολών στα αζιμούθια και κλίσεις των κυρίων συνιστωσών τάσης, πραγματοποιείται επιπλέον διαχωρισμός κάθε τμήματος σε υποπεριοχές και εκτελείται αντιστροφή για κάθε υποπεριοχή. Ο διαχωρισμός σε υποπεριοχές γίνεται με βάση τη χωρική εγγύτητα των μηχανισμών γένεσης κάθε τμήματος και την μεταξύ τους συνάφεια ως προς τα κινηματικά χαρακτηριστικά τους, με σκοπό να εντοπισθούν πιθανές σεισμοτεκτονικές δομές μικρότερης κλίμακας που παρουσιάζουν διαφορές από τις κύριες δομές της περιοχής. Για το διαχωρισμό, υποθέτουμε ομογενή κατάσταση τάσης στην περιοχή μελέτης. Στον πίνακα 3-1

παρουσιάζονται τα τμήματα στα οποία χωρίσθηκε η περιοχή μελέτης με τις επιμέρους υποπεριοχές τους και το πλήθος μηχανισμών γένεσης που περιλαμβάνονται σε κάθε υποπεριοχή.

Πίνακας 3-1: Ο χωρισμός της περιοχής μελέτης σε τμήματα και υποπεριοχές και το πλήθος μηχανισμών γένεσης ανά υποπεριοχή.

Τμήμα	Υποπεριοχή	Αριθμός μηχανισμών γένεσης ανά υποπεριοχή	Συνολικός αριθμός μηχανισμών γένεσης
Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας (Op)	0,0 (x,y)	4	22
	1,0 (x,y)	13	
	1,1 (x,y)	5	
Λευκάδα (Lf)	0,0 (x,y)	66	342
	0,1 (x,y)	166	
	1,0 (x,y)	24	
	1,1 (x,y)	86	
Κόλπος Μύρτου (Mr)	0,0 (x,y)	8	43
	1,0 (x,y)	22	
	1,1 (x,y)	9	
	1,2 (x,y)	4	
Παλική (Pl)	Βόρεια Παλική	16	35
	Νότια Παλική	19	
Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς (Ok)	Offshore Κεφαλονιάς	13	13
Σύνολο			455

Μετά τον χωρισμό της περιοχής μελέτης, πραγματοποιείται η αντιστροφή τάσεων για τον καθορισμό των αζιμουθίων των κυρίων συνιστωσών τάσης. Η αντιστροφή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν μια υποπεριοχή περιέχει μόνο έναν μηχανισμό γένεσης ή πανομοιότυπους μηχανισμούς γένεσης. Για κάθε τμήμα, υπάρχει επαρκής διαφοροποίηση στους μηχανισμούς γένεσης, όχι όμως σε κρίσιμο βαθμό που θα απαιτούσε την συμπερίληψη μηχανισμών γένεσης διαφορετικών καθεστώτων τάσης. Για την στατιστική ομογένεια των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική επαναδειγματοληψίας bootstrap, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% και 2000 επαναδειγματοληψίες ανά αντίστροφη. Τα αζιμούθια των κυρίων συνιστωσών τάσης και οι γωνίες κλίσης αυτών, απεικονίζονται σε στερεογραφική προβολή, μαζί με το εύρος αβεβαιότητας που προκύπτει από την επαναδειγματοληψία. Για κάθε υποπεριοχή, παρουσιάζεται το αζιμούθιο και το καθεστώς της μέγιστης οριζόντιας τάσης, σύμφωνα με την μεθοδολογία των Zoback (1992) και Heidbach et al. (2018) και οι τιμές του R (Relative stress magnitude) οι οποίες δείχνουν το βαθμό στον οποίο η ενδιάμεση συνιστώσα σ_2 πλησιάζει σε μέγεθος την συνιστώσα (σ_1) ή την (σ_3).

Για κάθε υποπεριοχή, το MSATSI προτείνει μια βέλτιστη λύση για κάθε συνιστώσα τάσης, αποθηκεύοντας τα αποτελέσματα σε πίνακες. Στο τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας, υπολογίσθηκε ένας αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης για κάθε υποπεριοχή, με βάση

τη βέλτιστη λύση των συνιστωσών σ_1 , σ_2 και σ_3 και με σκοπό τη χρήση αυτών ως ρήγματα – δέκτες (receiver faults) στο στάδιο υπολογισμού των μεταβολών τάσεων Coulomb. Τα χαρακτηριστικά των αντιπροσωπευτικών μηχανισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-2: Αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί γένεσης που προέκυψαν από την αντιστροφή τάσεων για κάθε μια από τις υποπεριοχές.

Τμήμα	Υποπε- ριοχή	ζ°	θ°	λ°
Θαλάσ- σια πε- ριοχή Δ της Πρέ- βεζας (Op)	0,0 (x,y)	201.04	79.60	178.03
	1,0 (x,y)	203.01	82.64	-174.50
	1,1 (x,y)	211.83	87.3	-165.95
Λευ- κάδα (Lf)	0,0 (x,y)	21.67	87.34	-175.16
	0,1 (x,y)	196.97	90	166.17
	1,0 (x,y)	198.89	87.26	173.85
	1,1 (x,y)	206.57	80	145.59
Κόλπος Μύρτου (Mr)	0,0 (x,y)	15.96	86.51	168.43
	1,0 (x,y)	19.51	70.77	178.72
	1,1 (x,y)	18.26	73.05	-178.65
	1,2 (x,y)	186.11	85.4	-165.25
Παλική (Pl)	Βόρεια Παλική	12.89	61.9	171.27
	Νότια Πα- λική	30.87	66.56	173.32
Θαλάσ- σια πε- ριοχή NΔ της Κεφαλο- νιάς (Ok)	Offshore Κεφαλο- νιάς	30.04	63.41	174.22

3.1.2 Δεδομένα για τον υπολογισμό των πεδίων τάσεων Coulomb

Η διερεύνηση για την πρόκληση σεισμικότητας στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται σε συνδυασμό με τη μελέτη των μεταβολών των τάσεων Coulomb που προκλήθηκαν από την σεισμική ολίσθηση τεσσάρων ισχυρών σεισμών μεγέθους $M \geq 6.0$ που έγιναν στην περιοχή των κεντρικών Ιονίων Νήσων από το 2003 έως και το 2015. Οι δύο εξ αυτών σχετίζονται με το βόρειο κλάδο της KTFZ (σεισμοί Λευκάδας στις 14-08-2003, $M_w = 6.2$ και 17-11-2015, $M_w = 6.5$) ενώ το ζεύγος σεισμών της Κεφαλονιάς σχετίζεται με το νότιο κλάδο της KTFZ (Νότια Παλική, 26-01-2014, $M_w = 6.1$ και βόρεια Παλική, 03-02-2014, $M_w = 6.0$). Δεδομένα για τους μηχανισμούς γένεσης καθώς και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων των σεισμών ελήφθησαν από δημοσιευμένες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την μελέτη των σεισμικών ακολουθιών (Πίνακας 3-3).

Πίνακας 3-3: Βασικά χαρακτηριστικά (συντεταγμένες επικέντρου, βάθος εστίας, μέγεθος σεισμού, μήκος ρήγματος, μηχανισμός γένεσης και μέγεθος σεισμικής ροπής) των ισχυρών σεισμών ($M_w \geq 6.0$) που έγιναν στην περιοχή μελέτης των κεντρικών Ιονίων Νήσων από το 2003 μέχρι και τον Νοέμβριο του 2015 (Papadimitriou et al., 2017).

Ημερομηνία	Ώρα	ϕ°	λ°	Βάθος (km)	M_w	L (km)	ζ°	θ°	λ°	M_0 (dyn*cm)
14/08/2003	05:14:55	38.815	20.606	11	6.2	16	18	60	-175	$2.9 * 10^{25}$
26/01/2014	13:55:41	38.2	20.434	18	6.1	20	20	65	176	$1.89 * 10^{25}$
03/02/2014	03:08:44	38.27	20.44	7	6.0	16	12	45	154	$1.33 * 10^{25}$
17/11/2015	07:10:07	38.67	20.56	13.9	6.5	17	16	64	179	$7.15 * 10^{18}$

- Σεισμός Λευκάδας 14/08/2003 ($M_w = 6.2$)

Το ρήγμα με το οποίο συνδέεται ο σεισμός της Λευκάδας που έγινε στις 14/08/2003 ($M_w = 6.2$) είναι το βορειότερο τμήμα της ζώνης ρηγμάτων μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (Kefalonia Transform Fault Zone, KTFZ). Για την παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ο μηχανισμός γένεσης με παράταξη $\zeta = 18^\circ$, κλίση $\delta = 60^\circ$ και γωνία ολίσθησης $\lambda = -175^\circ$ ενώ η μέση ολίσθηση είναι ίση με 0.60m (Karakostas et al., 2004). Το μήκος του ρήγματος που προέκυψε από την κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας είναι $L = 16\text{km}$ και εκτείνεται σε βάθος από 3 έως 12 km. Κατά την μελέτη του σεισμού, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των μεταβολών τάσης Coulomb για αντιπροσωπευτικό ρήγμα της περιοχής μελέτης με μηχανισμό γένεσης με παράταξη $\zeta = 28^\circ$, κλίση $\delta = 82^\circ$ και γωνία ολίσθησης $\lambda = 172^\circ$ (Karakostas et al., 2004).

- Ζεύγος σεισμών Κεφαλονιάς 26/01/2014 ($M_w = 6.1$) και 03/02/2014 ($M_w = 6.0$)

Το ρήγμα με το οποίο συνδέεται ο πρώτος σεισμός (26/01/2014, $M_w = 6.1$) του ζεύγους (doublet) σεισμών της Κεφαλονιάς, βρίσκεται στο νότιο τμήμα της χερσονήσου της Παλικής ενώ ο δεύτερος σεισμός (03/02/2014, $M_w = 6.0$) βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της χερσονήσου. Τα δύο ρήγματα αποτελούν μέρος της ζώνης δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς. Για την παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ο μηχανισμός γένεσης με παράταξη $\zeta = 20^\circ$, κλίση $\delta = 65^\circ$ και γωνία ολίσθησης $\lambda = 176^\circ$ για τον πρώτο σεισμό, ενώ για το δεύτερο αντίστοιχα $\zeta = 12^\circ$, $\delta = 45^\circ$ και $\lambda = 154^\circ$. Η μέση ολίσθηση είναι ίση με 0.38m για τον πρώτο σεισμό και 0.52m για το δεύτερο, ενώ τα μήκη των ρηγμάτων που προέκυψαν από την κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας είναι $L = 13\text{km}$ και $L = 11\text{km}$ για τον πρώτο και τον δεύτερο σεισμό, αντίστοιχα (Karakostas et al., 2015; Papadimitriou et al., 2017).

- Σεισμός Λευκάδας 17/11/2015 ($M_w = 6.5$)

Το ρήγμα με το οποίο συνδέεται ο σεισμός της Λευκάδας που έγινε στις 17/11/2015 ($M_w = 6.5$) σχετίζεται με το νότιο τμήμα του κλάδου της Λευκάδας και ανήκει στη ζώνη ρηγμάτων μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς. Αποτελεί το γειτονικό ρήγμα με το οποίο συνδέεται ο σεισμός του 2003 και είναι ο ισχυρότερος σεισμός που έχει γίνει στη Λευκάδα κατά την ενόρ-

γανη περίοδο (από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα). Για την παρούσα εργασία, υιοθετήθηκε ο μηχανισμός γένεσης με παράταξη $\zeta = 64^\circ$, κλίση $\delta = 16^\circ$ και γωνία ολίσθησης $\lambda = 179^\circ$ ενώ η μέση ολίσθηση είναι ίση με 1.43m (Paradimitriou et al., 2017). Το μήκος του ρήγματος καθορίστηκε από την κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας είναι $L = 17\text{km}$ και εκτείνεται σε βάθος από 4 έως 16 km.

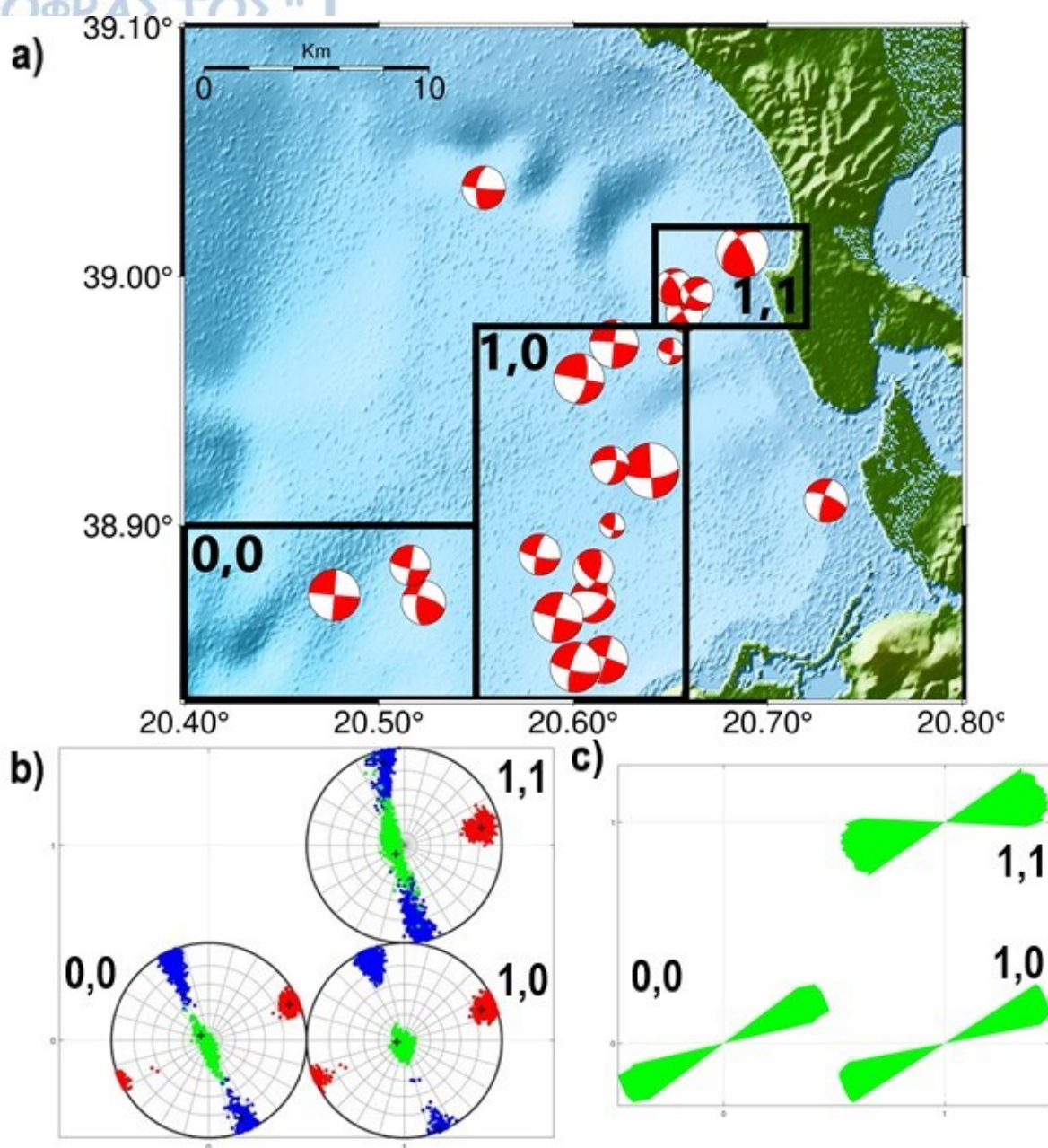
3.2 Αποτελέσματα Αντιστροφών

3.2.1 Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας» (Op)

Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει συνολικά 22 μηχανισμούς γένεσης και καλύπτει τη θαλάσσια περιοχή βόρεια της Λευκάδας, στο όριο μεταξύ της ζώνης Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (KTFZ) και της ζώνης ηπειρωτικής σύγκρουσης Αδριατικής – Ευρασιατικής πλάκας στο βορρά. Ο μηχανισμός με τον οποίον πραγματοποιείται η μετάβαση από το καθεστώς της KTFZ στο καθεστώς ηπειρωτικής σύγκρουσης μελετήθηκε από τους Kostoglou et al. (2020), με την ανάλυση των σμηνοσεισμών που έγιναν στην περιοχή μεταξύ Φεβρουαρίου και Μαρτίου του 2019. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το τμήμα «Op» (Offshore Preveza) με τις υποπεριοχές του και τους μηχανισμούς γένεσης (3.2a), τα αποτελέσματα των αντιστροφών για κάθε μια από τις 3 υποπεριοχές (3.2b) και ο προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης που αντιστοιχεί στη μέγιστη οριζόντια συνιστώσα τάσης (SH_{max}) στην περιοχή (3.2c) ενώ στον πίνακα 3-4 παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις για τις κύριες τάσεις. Παρατηρείται ότι για όλες τις υποπεριοχές του τμήματος, η σ_1 έχει μικρή γωνία κλίσης, με αζιμούθιο που υποδεικνύει συμπίεση με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Μικρή γωνία κλίσης παρουσιάζει και η συνιστώσα σ_3 η οποία εμφανίζεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Παρατηρείται επίσης ότι το αζιμούθιο της συνιστώσας σ_1 για την υποπεριοχή (1,1) παρουσιάζει απόκλιση από τις υπόλοιπες υποπεριοχές, πλησιάζοντας περισσότερο στις 90° και την Α-Δ διεύθυνση συμπίεσης, σε συμφωνία με τους Kostoglou et al. (2020). Η συνιστώσα σ_2 (πράσινο χρώμα) βρίσκεται και στα 3 στερεοδιαγράμματα κοντά στο κέντρο, με μεγάλες γωνίες κλίσης. Τα αποτελέσματα του καθορισμού των συνιστωσών τάσης είναι τα αναμενόμενα για περιοχή που χαρακτηρίζεται από καθεστώς τάσης οριζόντιας μετατόπισης. Για τις υποπεριοχές (0,0) και (1,1) παρατηρείται μεγαλύτερη αβεβαιότητα στα αποτελέσματα για τις συνιστώσες σ_2 και σ_3 , γεγονός που πιθανώς σχετίζεται με τον μικρότερο αριθμό δεδομένων σε αυτές.

Πίνακας 3-4: Βέλτιστες τιμές αζιμούθιων και γωνιών κλίσης των κυρίων συνιστωσών τάσης για τις 3 υποπεριοχές του τμήματος «Op».

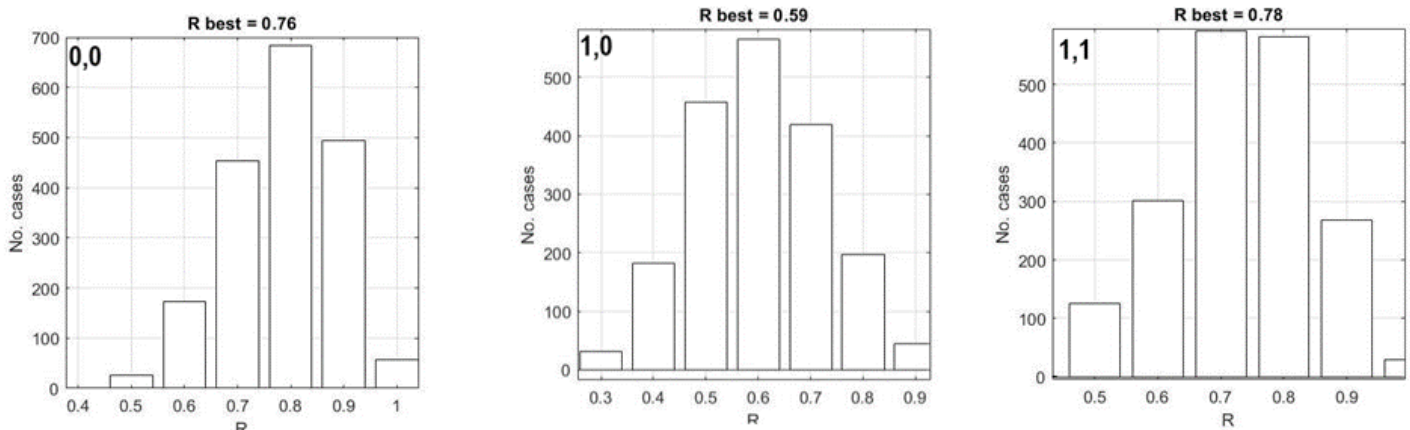
Τμήμα	Υποπεριοχή	Αζιμούθιο (Trend) σ_1	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_1	Αζιμούθιο (Trend) σ_2	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_2	Αζιμούθιο (Trend) σ_3	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_3
Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας (Op)	0,0 (x,y)	65.78°	5.96°	301.82 °	79.41°	156.69°	8.72°
	1,0 (x,y)	67.56°	9.07°	256.12 °	80.82°	157.77°	1.34°
	1,1 (x,y)	77.33°	11.82°	222.55 °	75.69°	345.67 °	7.93°



Σχήμα 3.2: **α)** Υποπεριοχές και μηχανισμοί γένεσης του Τμήματος «Ορ». **β)** Αποτελέσματα αντιστροφής για το τμήμα. Οι κύριες συνιστώσες τάσης χαρτογραφούνται σε στερεοδιάγραμμα, με κάθε στερεοδιάγραμμα να αντιπροσωπεύει την αντίστοιχα αριθμημένη υποπεριοχή στο χάρτη (σ1: κόκκινο χρώμα, σ2: πράσινο χρώμα, σ3: μπλε χρώμα). Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο στερεοδιάγραμμα αντιπροσωπεύει μια επανάληψη της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (Bootstrap), συνεπώς η διασπορά των σημείων αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας της αντιστροφής. Με μαύρο σταυρό απεικονίζονται οι βέλτιστες λύσεις για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. **γ)** Προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (σ1) για κάθε μια από τις 3 υποπεριοχές.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται ιστογράμματα των τιμών του R (σχετικό μέγεθος τάσης) για τις 3 υποπεριοχές του τμήματος «Ορ». Παρατηρείται ότι για τις υποπεριοχές 1,1 και 0,0, το R λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με την υποπεριοχή 1,0, γεγονός που υποδεικνύει την ύπαρξη μικρής κανονικής συνιστώσας στις δύο περιοχές, καθώς το μέγεθος της σ_2 πλησιάζει αυτό της σ_3 . Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αλλαγή του προσανατολισμού του

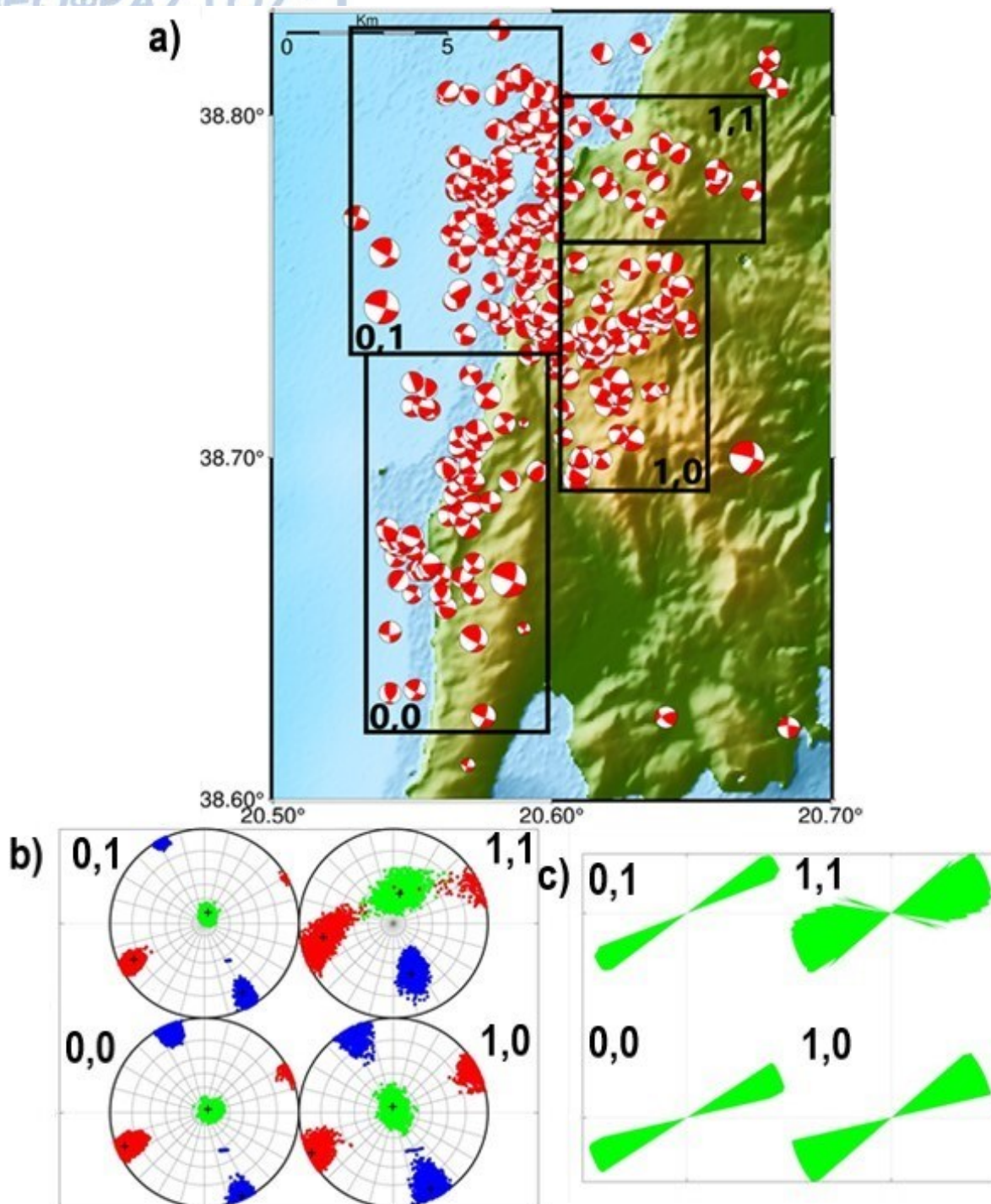
σ_1 για την υποπεριοχή 1.1, συμφωνεί με πρόσφατα αποτελέσματα των Kostoglou et al. (2020) για το βορειότερο άκρο της ΚΤΦΖ και τις μεταβατικές δομές στην περιοχή που παρουσιάζουν διαφορές από τις ρηξιγενείς δομές της ΚΤΦΖ αλλά και την ύπαρξη κανονικής συνιστώσας σε κάποιους μηχανισμούς της περιοχής.



Σχήμα 3.3 Ιστογράμματα τιμών του σχετικού μεγέθους τάσης (Relative Stress Magnitude, R) για κάθε μια από τις τρεις υποπεριοχές του τμήματος O_p . Οι βέλτιστες τιμές του R για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται πάνω από κάθε ιστόγραμμα.

3.2.2 Τμήμα «Λευκάδα» (L_f)

Το τμήμα « L_f » περιλαμβάνει συνολικά 342 μηχανισμούς γένεσης και αποτελεί την περιοχή με το μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων μηχανισμών γένεσης της παρούσας εργασίας. Η παρουσία μεγάλου αριθμού δεδομένων προσδίδει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα της αντιστροφής και παρέχει περισσότερες και ποιοτικότερες πληροφορίες για τυχόν ανομοιογένειες και ιδιαιτερότητες στο πεδίο τάσεων της περιοχής. Η περιοχή έχει μελετηθεί διεξοδικά στο παρελθόν (Karakostas et al., 2004; Benetatos et al., 2005; Karakostas & Papadimitriou, 2010), ιδιαίτερα μετά τον σεισμό της 14^{ης} Αυγούστου 2003 ($M_w = 6.3$) που αποτελεί τον πρώτο σημαντικό σεισμό της περιοχής στη σύγχρονη σεισμολογικά ενόργανη εποχή. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται το τμήμα « L_f » με τις υποπεριοχές του και τους μηχανισμούς γένεσης (3.4a), τα αποτελέσματα των αντιστροφών για κάθε μια από τις 4 υποπεριοχές (3.4b) και ο προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (3.4c), ενώ στον πίνακα 3-5 παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις για τις κύριες τάσεις. Οι υποπεριοχές (0,0) και (0,1) εμφανίζουν ομοιότητα μεταξύ τους, γεγονός που εξηγείται από τη γεωγραφική τους τοποθέτηση στις δυτικές ακτές της Λευκάδας από όπου διέρχεται ο βόρειος κλάδος του ρήγματος μετασχηματισμού. Σε συνδυασμό με τις τιμές αζιμούθιων και γωνιών κλίσης των σ_2 και σ_3 για τις υποπεριοχές (0,0) και (0,1), τα αποτελέσματα είναι χαρακτηριστικά για περιοχή όπου κυριαρχούν ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, με τις συνιστώσες σ_1 και σ_3 να βρίσκονται στα άκρα του στερεοδιαγράμματος με μικρές γωνίες κλίσης, και διεύθυνση BA-ΝΔ για την σ_1 και NA-ΒΔ για τη σ_3 .



Σχήμα 3.4: **a)** Υποπεριοχές και μηχανισμοί γένεσης του τμήματος «Lf». **b)** Αποτελέσματα αντιστροφής για το τμήμα «Lf». Οι κύριες συνιστώσες τάσης χαρτογραφούνται σε στερεοδιάγραμμα, με κάθε στερεοδιάγραμμα να αντιπροσωπεύει την αντίστοιχα αριθμημένη υποπεριοχή στο χάρτη (σ1: κόκκινο χρώμα, σ2: πράσινο χρώμα, σ3: μπλε χρώμα). Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο στερεοδιάγραμμα αντιπροσωπεύει μια επανάληψη της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (Bootstrap), συνεπώς η διασπορά των σημείων αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας της αντιστροφής. Με μαύρο σταυρό απεικονίζονται οι βέλτιστες λύσεις για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. **c)** Προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (σ1) για κάθε μια από τις 4 υποπεριοχές.

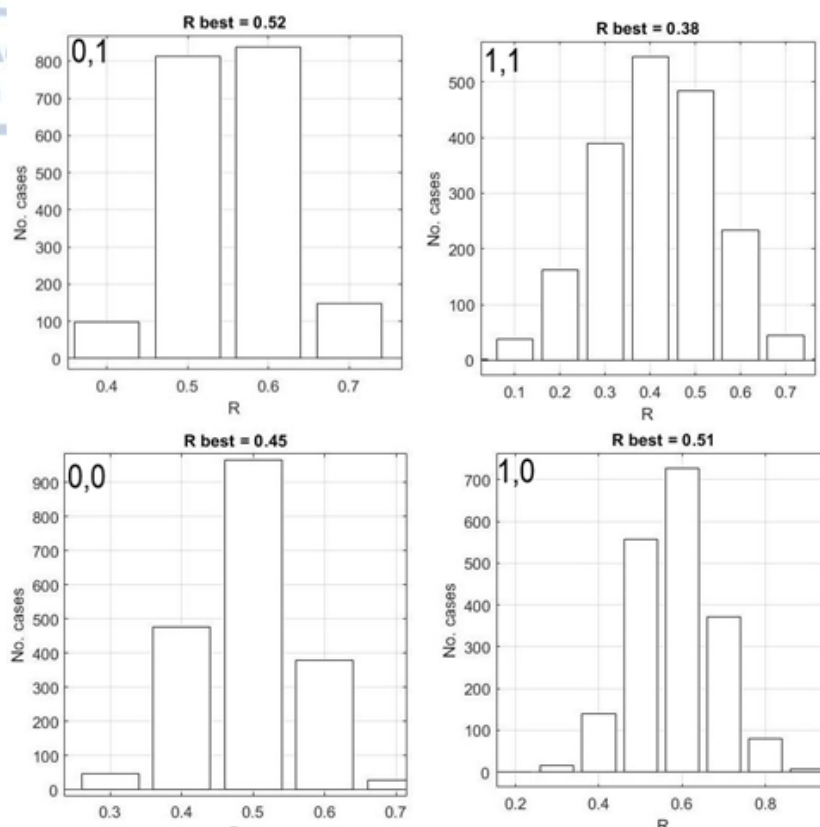
Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με παλαιότερες εργασίες (Λουvari et al., 1999; Benetatos et al., 2005) οι οποίες υπολογίζουν το μέσο αξιμούθιο του άξονα Ρ ίσο με 240° . Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υποπεριοχές (1,0) και (1,1). Συγκεκριμένα, για την υποπεριοχή (1,0) παρατηρείται διασπορά στα αποτελέσματα των επαναδειγματοληψιών για τον υπολογισμό των βέλτιστων προσανατολισμών, υποδεικνύοντας μια τάση αλλαγής στις γωνίες κλίσης των συνιστωσών, με τις γωνίες κλίσης των σ_3 και σ_1 να γίνονται μεγαλύτερες και την σ_2 να απομακρύνεται από τη σχεδόν κατακόρυφη θέση της. Οι μεταβολές αυτές εμφανίζονται ακόμα πιο έντονες στην υποπεριοχή (1,1) όπου συνοδεύονται από ταυτόχρονη δεξιόστροφη περιστροφή των σ_1 και σ_2 . Η διασπορά των αποτελεσμάτων στην υποπεριοχή (1,1) και συγκεκριμένα η σημαντική αύξηση της γωνίας κλίσης της σ_3 υποδεικνύει μεταβολή από το καθεστώς οριζόντιας μετατόπισης που επικρατεί στην περιοχή, σε ένα καθεστώς με σημαντική ανάστροφη συνιστώσα τάσης. Η μεταβολή αυτή πιθανόν να σχετίζεται με την ύπαρξη μικρότερων δευτερευόντων δομών στο ΒΑ τμήμα του νησιού που αντιπροσωπεύουν την παραμόρφωση του ανώτερου τεμάχους εξαιτίας της κίνησης των κύριων δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης της περιοχής.

Ο άξονας μέγιστης συμπίεσης (Ρ) για τις υποπεριοχές (0,0) και (0,1) έχει καθαρή ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, ενώ στην υποπεριοχή (1,0) το εύρος αβεβαιότητας είναι λίγο μεγαλύτερο και υποδεικνύει μια δεξιόστροφη περιστροφή. Το εύρος αβεβαιότητας διευρύνεται περαιτέρω στην υποπεριοχή (1,1), δείχνοντας μια εντονότερη περιστροφή του Ρ προς μια σχεδόν Α-Δ διεύθυνση.

Πίνακας 3-5: Βέλτιστες τιμές αξιμουθίων και γωνιών κλίσης των κύριων συνιστωσών τάσης για τις 4 υποπεριοχές του τμήματος «Lf».

Τμήμα	Υποπεριοχή	Αξιμούθιο (Trend) σ_1	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_1	Αξιμούθιο (Trend) σ_2	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_2	Αξιμούθιο (Trend) σ_3	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_3
Λευκάδα (Lf)	0,0 (x,y)	246.64	5.29	50.48	84.48	156.49	1.52
	0,1 (x,y)	242.81	9.66	16.58	76.16	151.11	9.79
	1,0 (x,y)	244.18	2.39	355.00	83.28	153.91	6.27
	1,1 (x,y)	259.27	15.71	12.36	54.35	159.51	31.06

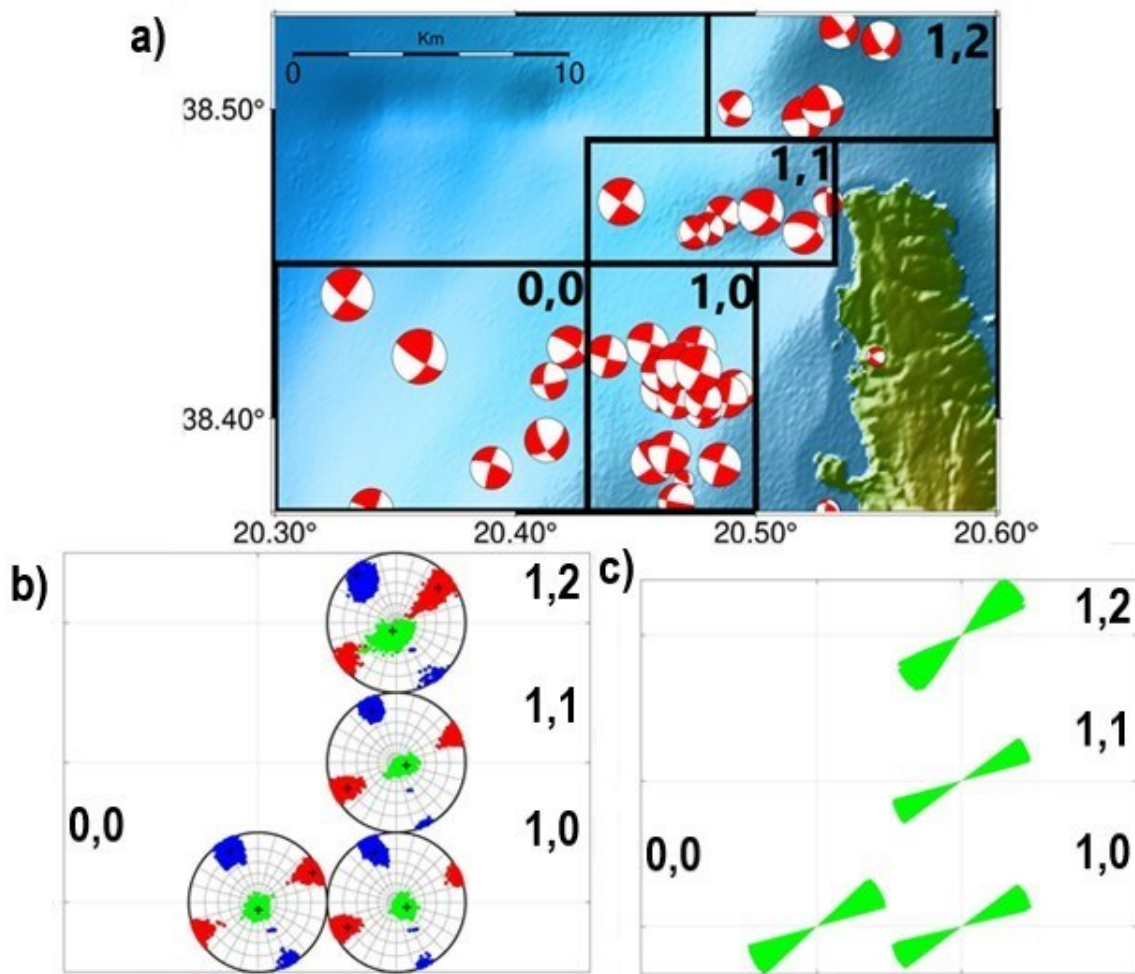
Τα ιστογράμματα των τιμών του R (σχετικό μέγεθος τάσης) παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5 για τις 4 υποπεριοχές του τμήματος. Οι τιμές του R για τις υποπεριοχές (0,0) , (0,1) και (1,0) βρίσκονται κοντά στο 0.5 και κατά συνέπεια υποδεικνύουν καθεστώς τάσης οριζόντιας μετατόπισης. Για την υποπεριοχή (1,1), η τιμή του R ελαττώνεται σε 0.38, γεγονός που σχετίζεται με την ύπαρξη ανάστροφης συνιστώσας που επηρεάζει το καθεστώς τάσης της περιοχής, με το μέγεθος τάσης της σ_2 να πλησιάζει το μέγεθος της σ_1 .



Σχήμα 3.5: Ιστογράμματα τιμών του σχετικού μεγέθους τάσης (Relative Stress Magnitude, R) για κάθε μια από τις τέσσερις υποπεριοχές του τμήματος «Lf». Οι βέλτιστες τιμές του R για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται πάνω από κάθε ιστόγραμμα.

3.2.3 Τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr)

Το τμήμα «Mr» περιλαμβάνει συνολικά 44 μηχανισμούς γένεσης και έχει χωρισθεί σε 4 υποπεριοχές. Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται το τμήμα με τις υποπεριοχές του και τους μηχανισμούς γένεσης (3.6a), τα αποτελέσματα των αντιστροφών για τις 4 υποπεριοχές (3.6b) και ο προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (3.6c). Στον πίνακα 3-6 παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές των αζιμούθιων και των γωνιών κλίσης για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης κάθε υποπεριοχής. Οι υποπεριοχές (0,0), (1,0) και (1,1) εμφανίζουν σημαντική ομοιότητα μεταξύ τους στα αζιμούθια και τις γωνίες κλίσης των κυρίων συνιστωσών τάσης, με χαρακτηριστικά καθεστώτος τάσης οριζόντιας μετατόπισης. Ο άξονας μέγιστης συμπίεσης P έχει ΝΔ – ΒΑ διεύθυνση και τιμές αζιμούθιου περίπου 240° . Η υποπεριοχή (1,2) που βρίσκεται στο ανατολικότερο τμήμα του τμήματος, εμφανίζει σημαντικές διαφορές από τις υπόλοιπες 3 υποπεριοχές, με την σ_1 να περιστρέφεται αριστερόστροφα κατά περίπου 10° . Η περιστροφή αυτή συνοδεύεται από τη διασπορά των αποτελεσμάτων της αντιστροφής. Οι υποπεριοχές (0,0), (1,0) και (1,1) χαρακτηρίζονται από ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ και αποτελούν μια μεταβατική ζώνη επικάλυψης (Sterover) μεταξύ του βόρειου (Λευκάδα) και του νότιου κλάδου (Κεφαλονιά) της ΚΤΦΖ. Η διεύθυνση της κύριας συνιστώσας τάσης σ_1 για την υποπεριοχή (1,2) αποκτά μια ΝΔ διεύθυνση, ακολουθώντας την περιστροφή των ρηγμάτων της ρηξιγενούς ζώνης (Karakostas et al., 2015).

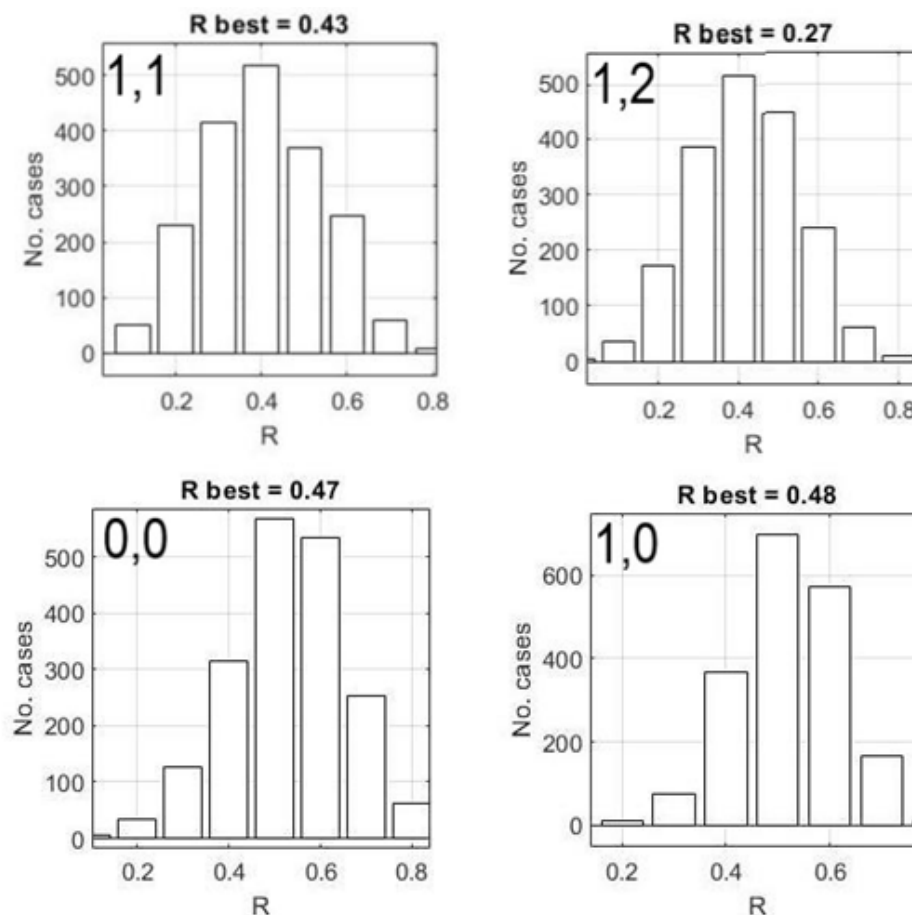


Σχήμα 3.6: **a)**: Υποπεριοχές και μηχανισμοί γένεσης του τμήματος «Mr». **b)**: Αποτελέσματα αντιστροφής για το τμήμα «Mr». Οι κύριες συνιστώσες τάσης χαρτογραφούνται σε στερεοδιάγραμμα, με κάθε στερεοδιάγραμμα να αντιπροσωπεύει την αντίστοιχα αριθμημένη υποπεριοχή στο χάρτη (σ1: κόκκινο χρώμα, σ2: πράσινο χρώμα, σ3: μπλε χρώμα). Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο στερεοδιάγραμμα αντιπροσωπεύει μια επανάληψη της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (Bootstrap), συνεπώς η διασπορά των σημείων αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας της αντιστροφής. Με μαύρο σταυρό απεικονίζονται οι βέλτιστες λύσεις για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. **c)**: Προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (P) για κάθε μια από τις 4 υποπεριοχές.

Πίνακας 3-6: Βέλτιστες τιμές αξιμούθιων και γωνιών κλίσης των κυρίων συνιστωσών τάσης για τις 4 υποπεριοχές του τμήματος «Mr».

Τμήμα	Υποπεριοχή	Αξιμούθιο (Trend) σ_1	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_1	Αξιμούθιο (Trend) σ_2	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_2	Αξιμούθιο (Trend) σ_3	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_3
Κόλπος Μύρτου (Mr)	0,0 (x,y)	241.85	5.65	179.41	77.92	330.79	10.63
	1,0 (x,y)	243.10	12.59	113.37	70.73	336.38	14.34
Κόλπος Μύρτου (Mr)	1,1 (x,y)	241.8	12.82	103.64	72.99	334.33	10.96
	1,2 (x,y)	231.4	13.65	203.06	74.56	319.68	7.05

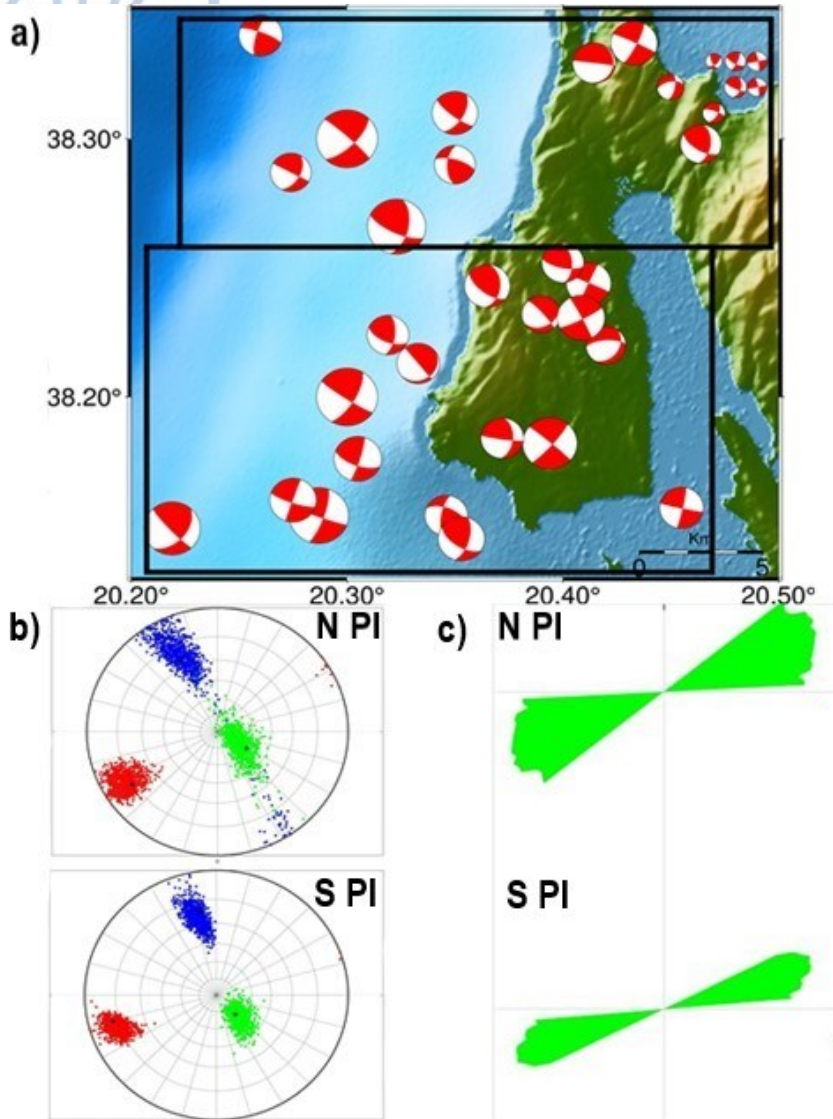
Τα ιστογράμματα των τιμών του R (σχετικό μέγεθος τάσης) παρουσιάζονται στο σχήμα 3.7 για τις 4 υποπεριοχές του «Μr». Παρατηρείται ελάττωση των τιμών του R στις υποπεριοχές (1,1) και (1,2) γεγονός που σε συνδυασμό με τη διασπορά στα αποτελέσματα της αντιστροφής για αυτές τις υποπεριοχές, υποδεικνύει μια μετάβαση σε ένα καθεστώς τάσης οριζόντιας μετατόπισης με ανάστροφη συνιστώσα, πιθανόν λόγω δράσης μικρότερων δομών στην περιοχή.



Σχήμα 3.7: Ιστογράμματα τιμών του σχετικού μεγέθους τάσης (Relative Stress Magnitude, R) για κάθε μια από τις τέσσερις υποπεριοχές του «Mr». Οι βέλτιστες τιμές του R για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται πάνω από κάθε ιστόγραμμα.

3.2.4 Τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (PI)

Το τμήμα «PI» περιλαμβάνει συνολικά 35 μηχανισμούς γένεσης και έχει χωρισθεί σε δύο υποπεριοχές (βόρεια Παλική και νότια Παλική). Η περιοχή έχει μελετηθεί στο παρελθόν, ιδιαίτερα μετά τον σεισμό της 17^{ης} Σεπτεμβρίου 1972 ($M_w = 5.6$) (McKenzie, 1978; Paradimitriou, 1993). Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται το τμήμα με τις 2 υποπεριοχές του και τους μηχανισμούς γένεσης (3.8a), τα αποτελέσματα των αντιστροφών (3.8b) και ο προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (3.8c). Στον πίνακα 3-7 παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές των αζιμούθιων και των γωνιών κλίσης για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης και εμφανίζουν σημαντική ομοιότητα μεταξύ των δύο υποπεριοχών με χαρακτηριστικά καθεστώτος τάσης οριζόντιας μετατόπισης. Παρατηρείται ότι η σ_1 στη νότια Παλική περιστρέφεται δεξιόστροφα κατά περίπου 19° σε σχέση με τη βόρεια, διατηρώντας ΝΔ – ΒΑ διεύθυνση και στις δύο υποπεριοχές.

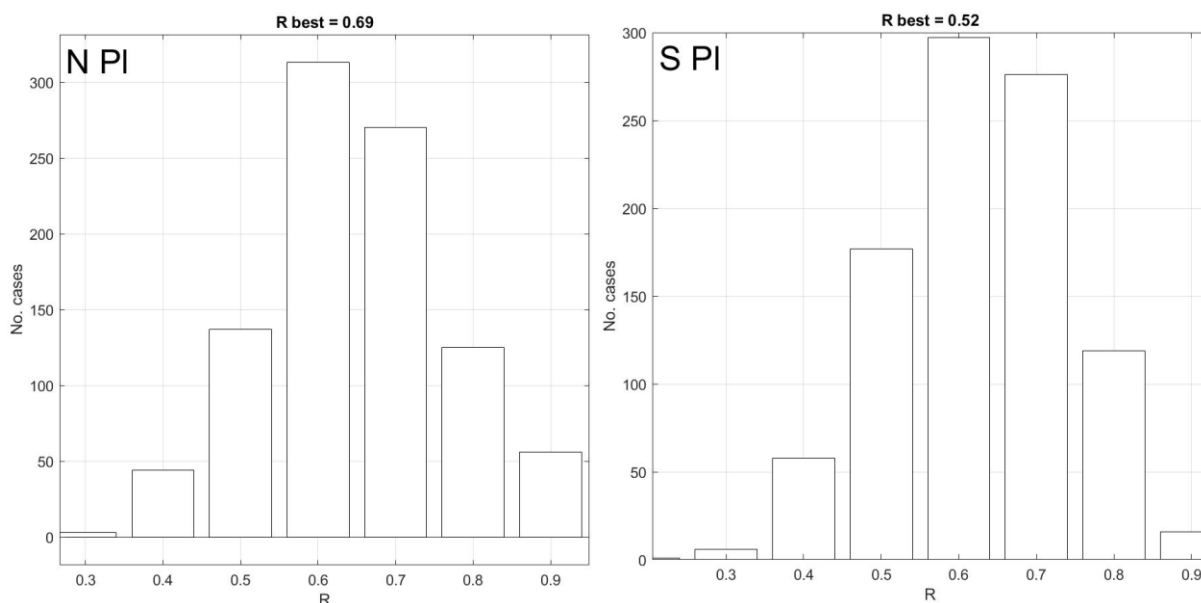


Σχήμα 3.8: **a)** Υποπεριοχές και μηχανισμοί γένεσης του τμήματος «PI». **b)** Αποτελέσματα αντιστροφής για το τμήμα «PI». Οι κύριες συνιστώσες τάσης χαρτογραφούνται σε στερεοδιάγραμμα, με κάθε στερεοδιάγραμμα να αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη αριθμημένη υποπεριοχή στο χάρτη (σ1: κόκκινο χρώμα, σ2: πράσινο χρώμα, σ3: μπλε χρώμα). Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο στερεοδιάγραμμα αντιπροσωπεύει μια επανάληψη της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (Bootstrap), συνεπώς η διασπορά των σημείων αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας της αντιστροφής. Με μαύρο σταυρό απεικονίζονται οι βέλτιστες λύσεις για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. **c)** Προσανατολισμός του άξονα μέγιστης συμπίεσης (σ_1) για κάθε μια από τις 2 υποπεριοχές.

Πίνακας 3-7: Βέλτιστες τιμές αξιμούθιων και γωνιών κλίσης των κυρίων συνιστωσών τάσης για τις 2 υποπεριοχές του «PI».

Τμήμα	Υποπεριοχή	Αξιμούθιο (Trend) σ_1	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_1	Αξιμούθιο (Trend) σ_2	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_2	Αξιμούθιο (Trend) σ_3	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_3
Χερσόνησος Παλικής (PI)	Βόρεια Παλική	236.87°	13.79°	120.94°	60.68°	333.54°	25.32°
	Νότια Παλική	255.02°	11.88°	137.26°	65.68°	349.62°	20.89°

Τα ιστογράμματα των τιμών του R (σχετικό μέγεθος τάσης) παρουσιάζονται στο σχήμα 3.9. Παρατηρείται ότι η τιμή του R για το βόρειο τμήμα της χερσονήσου είναι μεγαλύτερη από την τιμή του στο νότιο, υποδεικνύοντας την ύπαρξη κανονικής συνιστώσας στα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης της βόρειας Παλικής. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Karakostas et al. (2015) οι οποίοι μελετώντας το ζεύγος σεισμών της Κεφαλονιάς του 2014, πρότειναν την ύπαρξη μιας ζώνης δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης με κανονική συνιστώσα που αποτελεί μέρος της ευρύτερης ζώνη μετάβασης από το νότιο τμήμα της ΚΤΦΖ (Κεφαλονιά) στο βόρειο (Λευκάδα), η οποία συνεχίζεται προς το βορά με τη στροφή των ρηγμάτων της περιοχής βόρεια της Κεφαλονιάς και την μετάβαση στη ζώνη ρηγμάτων της Λευκάδας.

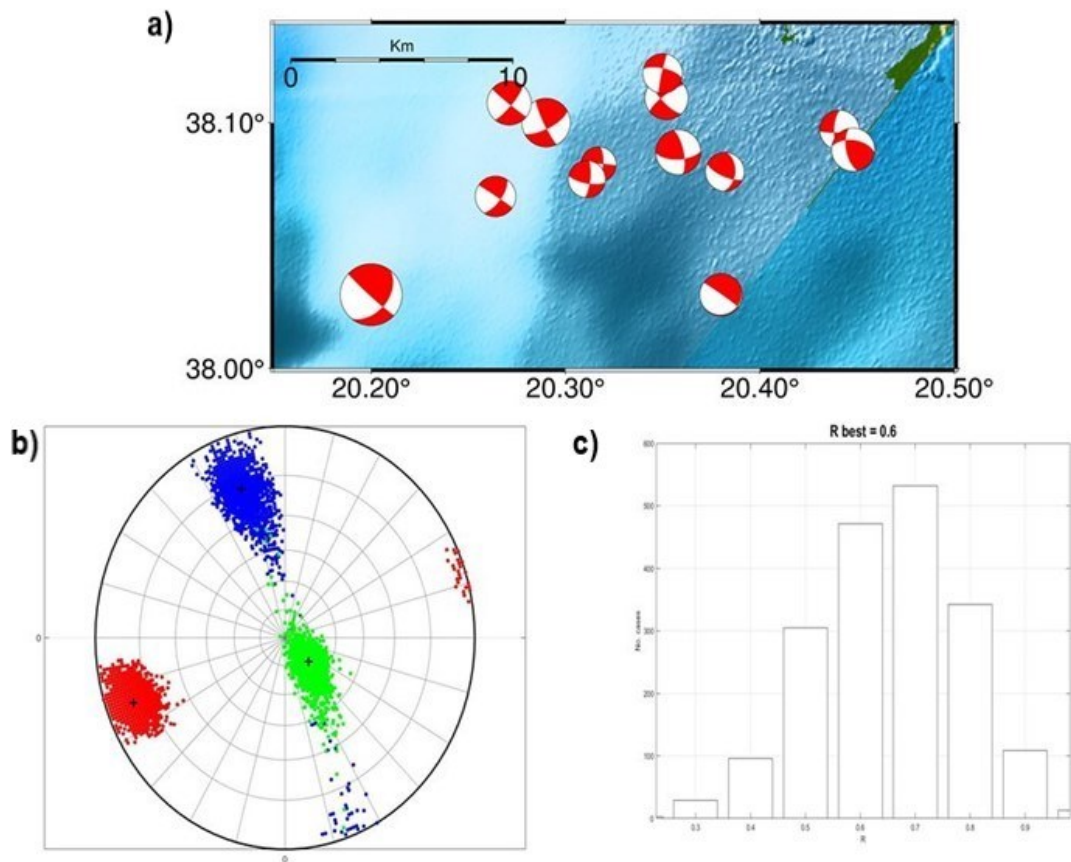


Σχήμα 3.9 Ιστογράμματα τιμών του σχετικού μεγέθους τάσης (Relative Stress Magnitude, R) για τις δυο υποπεριοχές του τμήματος «ΠΙ». Οι βέλτιστες τιμές του R για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται πάνω από κάθε ιστόγραμμα.

3.2.5 Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς» (Ok)

Το τμήμα «Ok» (Offshore Κεφαλονιάς) περιλαμβάνει 13 μηχανισμούς γένεσης και καλύπτει τη θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς, έως τον τερματισμό της ΚΤΦΖ και την μετάβαση στο καθεστώς συμπίεστικών τάσεων της Ελληνικής τάφρου. Η περιοχή έχει μελετηθεί διεξοδικά στο παρελθόν, ιδιαίτερα μετά τον σεισμό της 17ης Ιανουαρίου 1983 ($M_W=7.0$) (Scordilis et al., 1985; Papazachos et al., 1998; Louvari et al., 1999). Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται το τμήμα με τους μηχανισμούς γένεσης (3.10a), τα αποτελέσματα των αντιστροφών (3.10b) και η το ιστόγραμμα των τιμών R (3.10c). Στον πίνακα 3-8 παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις για τις τιμές των αζιμούθιων και των γωνιών κλίσης για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. Η κύρια συνιστώσα σ_1 έχει βέλτιστη τιμή αζιμούθιου 253° , τιμή παρόμοια με αυτή στη νότια Παλική, ακριβώς βόρεια του «Ok». Παρατηρείται διασπορά στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των συνιστωσών σ_2 και σ_3 , η οποία πιθανώς να οφείλεται στον μικρό αριθμό δεδομένων για την περιοχή. Το τμήμα «Ok» περιλαμβάνει μικρό αριθμό μηχανισμών γένεσης, κάτω από το προτεινόμενο όριο των 20 (Martínez-Garzón et al., 2014) και συνεπώς περαιτέρω διερεύνηση

της περιοχής, με χωροχρονική ανάλυση σεισμών μικρότερου μεγέθους, υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης αυτών και μετέπειτα επανάληψη των αντιστροφών, θα οδηγούσαν σε περισσότερο σαφή αποτελέσματα.



Σχήμα 3.10: **a)**: Μηχανισμοί γένεσης του τμήματος «Ok». **b)**: Αποτελέσματα αντιστροφής για το τμήμα «Ok». Οι κύριες συνιστώσες τάσης χαρτογραφούνται σε στερεοδιάγραμμα (σ1: κόκκινο χρώμα, σ2: πράσινο χρώμα, σ3: μπλε χρώμα). Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο στερεοδιάγραμμα αντιπροσωπεύει μια επανάληψη της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (Bootstrap), συνεπώς η διασπορά των σημείων αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας της αντιστροφής. Με μαύρο σταυρό απεικονίζονται οι βέλτιστες λύσεις για κάθε κύρια συνιστώσα τάσης. **c)**: Ιστόγραμμα τιμών του σχετικού μεγέθους τάσης (Relative Stress Magnitude, R) για τις το τμήμα «Ok». Η βέλτιστη τιμή του R παρουσιάζεται πάνω από το ιστόγραμμα.

Πίνακας 3-8: Βέλτιστες τιμές αζιμούθιων και γωνιών κλίσης των κυρίων συνιστωσών τάσης για το τμήμα «Ok».

Τμήμα	Αζιμούθιο (Trend) σ_1	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_1	Αζιμούθιο (Trend) σ_2	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_2	Αζιμούθιο (Trend) σ_3	Γωνία κλίσης (Plunge) σ_3
Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς (Ok)	253.32°	14.48°	132.89°	62.98°	349.39°	22.29°

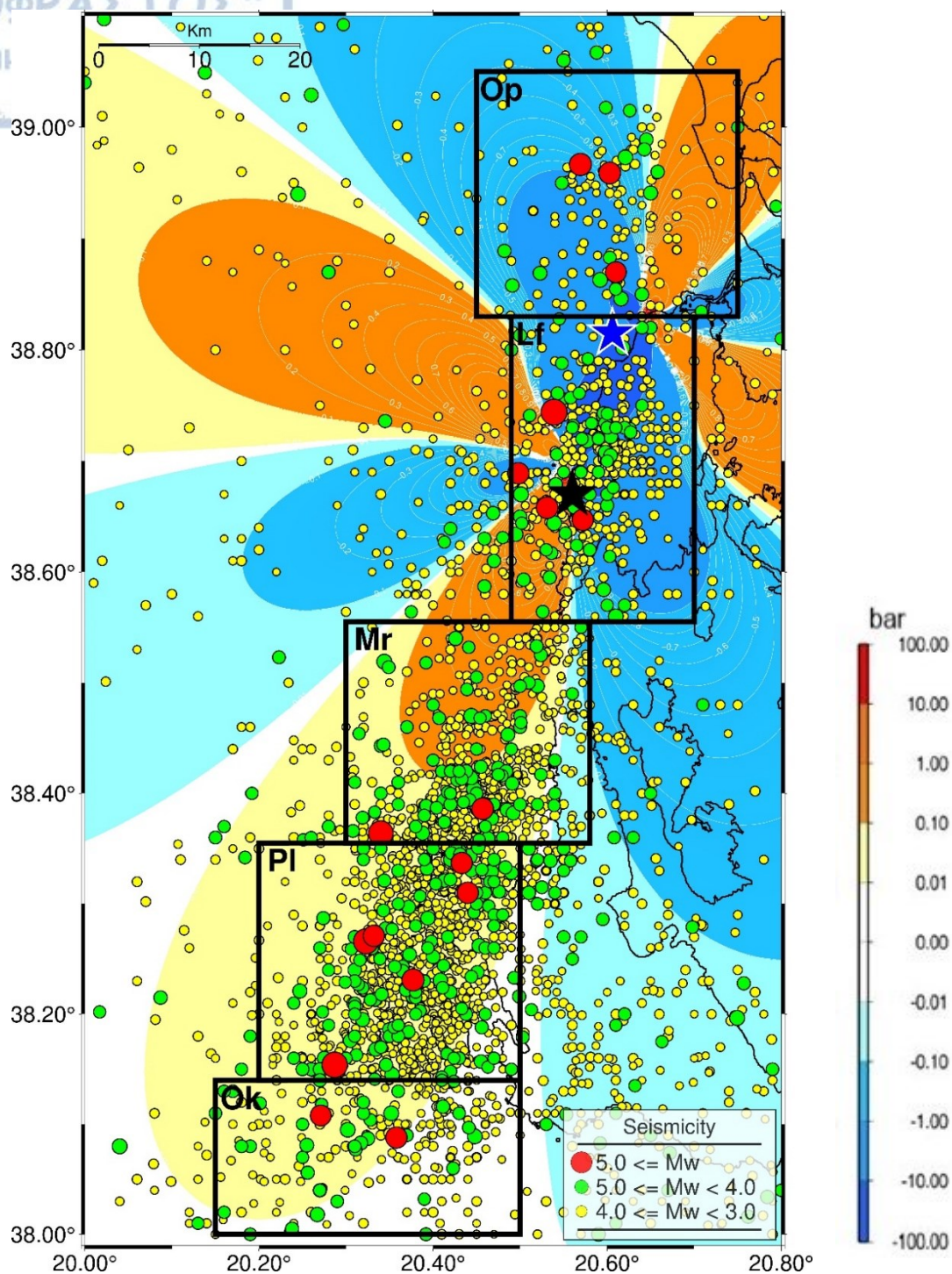
3.3 Υπολογισμοί των μεταβολών του πεδίου των τάσεων

3.3.1 Εισαγωγή

Οι μεταβολές τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης των 4 ισχυρών σεισμών που μελετώνται στην παρούσα εργασία, υπολογίσθηκαν κάθε φορά για τον τύπο διάρρηξης του μέσου μηχανισμού που προέκυψε από τις αντιστροφές τάσεων που πραγματοποιήθηκαν για κάθε υποπεριοχή της περιοχής μελέτης. Με βάση τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των μεταβολών των τάσεων Coulomb, οι περιοχές γύρω από το ρήγμα που ολισθαίνει διακρίνονται σε ζώνες με θετικές ΔCFF και σε ζώνες με αρνητικές ΔCFF. Σε περιοχές με θετικές τιμές μεταβολών τάσεων Coulomb υπάρχουν ενδείξεις διέγερσης σεισμικότητας ενώ σε περιοχές με αρνητικές ΔCFF, υπάρχουν ενδείξεις αναστολής σεισμικότητας. Τα μοντέλα διάρρηξης που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των ΔCFF, θεωρούνται προσεγγιστικά ως ορθογώνιες επιφάνειες στο θραυσιγενές στρώμα του φλοιού. Οι επιφάνειες των ρηγμάτων καθορίζονται από τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (μήκος ρήγματος, πλάτος ρήγματος) και τα χαρακτηριστικά των μηχανισμών γένεσής τους. Δεδομένα για τα γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων στην παρούσα εργασία, ελήφθησαν από παλαιότερες μελέτες στην περιοχή (Karakostas et al., 2004; Karakostas et al., 2015; Papadimitriou et al., 2017). Η τιμή του συντελεστή διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς της ανηγμένης παραμόρφωσης και της μέσης μετάθεσης λήφθηκε ίση με 33GPa, τιμή αντιπροσωπευτική για το φλοιό και η τιμή του λόγου Poisson ίση με 0.25. Οι υπολογισμοί των ΔCFF έγιναν με χρήση του προγράμματος DIS3D (Erickson, 1986). Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει ένα πλέγμα σημείων για την περιοχή μελέτης και να υπολογίσει τον τανυστή τάσης σε κάθε σημείο του πλέγματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι υπολογισμοί των ΔCFF εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης των 4 ισχυρών σεισμών που μελετώνται στην παρούσα εργασία, υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τον τύπο διάρρηξης των αντιπροσωπευτικών μηχανισμών γένεσης που προέκυψαν για κάθε υποπεριοχή, με χρήση της εντολής FTRN του λογισμικού. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να συσχετισθεί η σεισμικότητα σε κάθε υποπεριοχή με την κατανομή ΔCFF που υπολογίσθηκε για τον αντιπροσωπευτικό τύπο διάρρηξης της ίδιας υποπεριοχής και εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης ενός εκ των 4 ισχυρών σεισμών κάθε φορά. Όταν τα επίκεντρα των σεισμών που έγιναν σε μια υποπεριοχή βρίσκονται σε θέσεις με θετικές τιμές ΔCFF, αυτό αποτελεί ένδειξη για πρόκληση σεισμικότητας στην υποπεριοχή εξαιτίας της ολίσθησης του ισχυρού σεισμού που μελετάται σε κάθε περίπτωση.

3.3.2 Σεισμός Λευκάδας 14/08/2003 ($M_w = 6.2$)

Στο σχήμα 3.11 απεικονίζονται οι τιμές των μεταβολών της στατικής τάσης που οφείλονται στη σεισμική ολίσθηση του σεισμού της Λευκάδας καθώς και τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα όλων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ μετά από τη σεισμική ακολουθία της Λευκάδας, κατά τα επόμενα 19 έτη. Οι υπολογισμοί των ΔCFF έγιναν για βάθος 8km και συντελεστή φαινόμενης τριβής ίσο με 0.4 (Papadimitriou, 2002). Το ανώτερο όριο του σεισμογόνου στρώματος ορίστηκε στα 3km ενώ το κατώτερο στα 12km, με βάση την εργασία των Karakostas et al. (2004).



Σχήμα 3.11: Χωρική κατανομή των μεταβολών των τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 14-08-2003. Με μπλε αστερίσκο απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού ενώ με μαύρο το επίκεντρο του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015. Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα των σεισμών μεγέθους $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022 καθώς και τα 5 τμήματα στα οποία χωρίσθηκε η περιοχή μελέτης.

- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή δυτικά της Πρέβεζας» (Op)

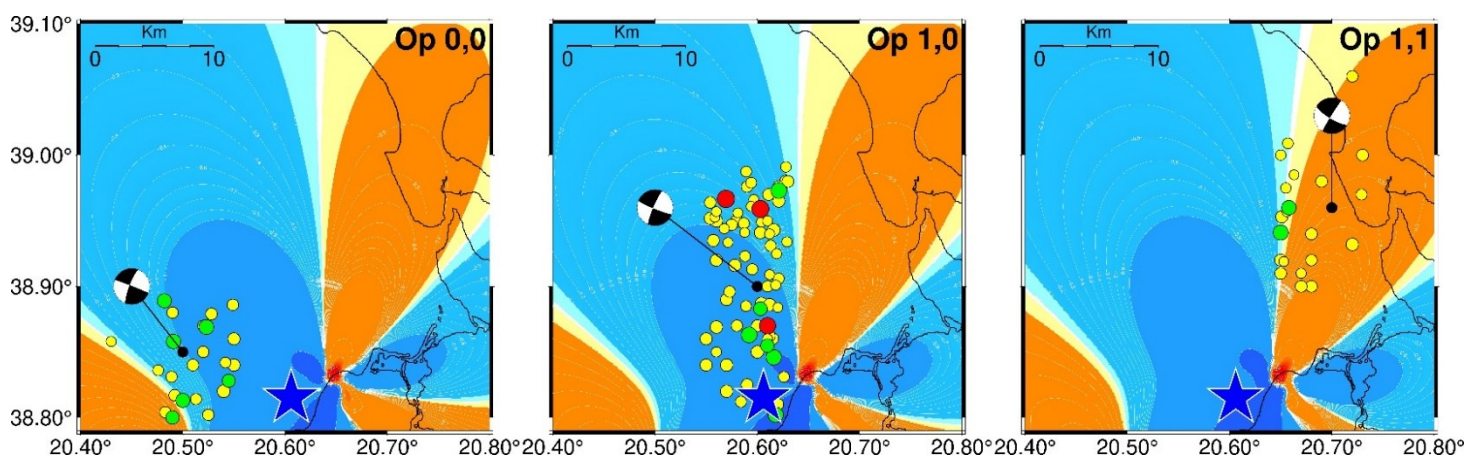
Το τμήμα «Op» της περιοχής μελέτης, έχει χωρισθεί σε τρεις υποπεριοχές με βάση την κινηματική των κυρίων αξόνων τάσης που προκύπτει από τα αρχικά δεδομένα. Για κάθε μια από τις υποπεριοχές, υπολογίσθηκε ένας αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης με βάση τα

χαρακτηριστικά των κυρίων συνιστωσών τάσης που προέκυψαν από τις αντιστροφές των δεδομένων μηχανισμών γένεσης (πίνακας 3-9).

Πίνακας 3-9: Χαρακτηριστικοί μηχανισμοί γένεσης για τις υποπεριοχές του τμήματος «Ορ».

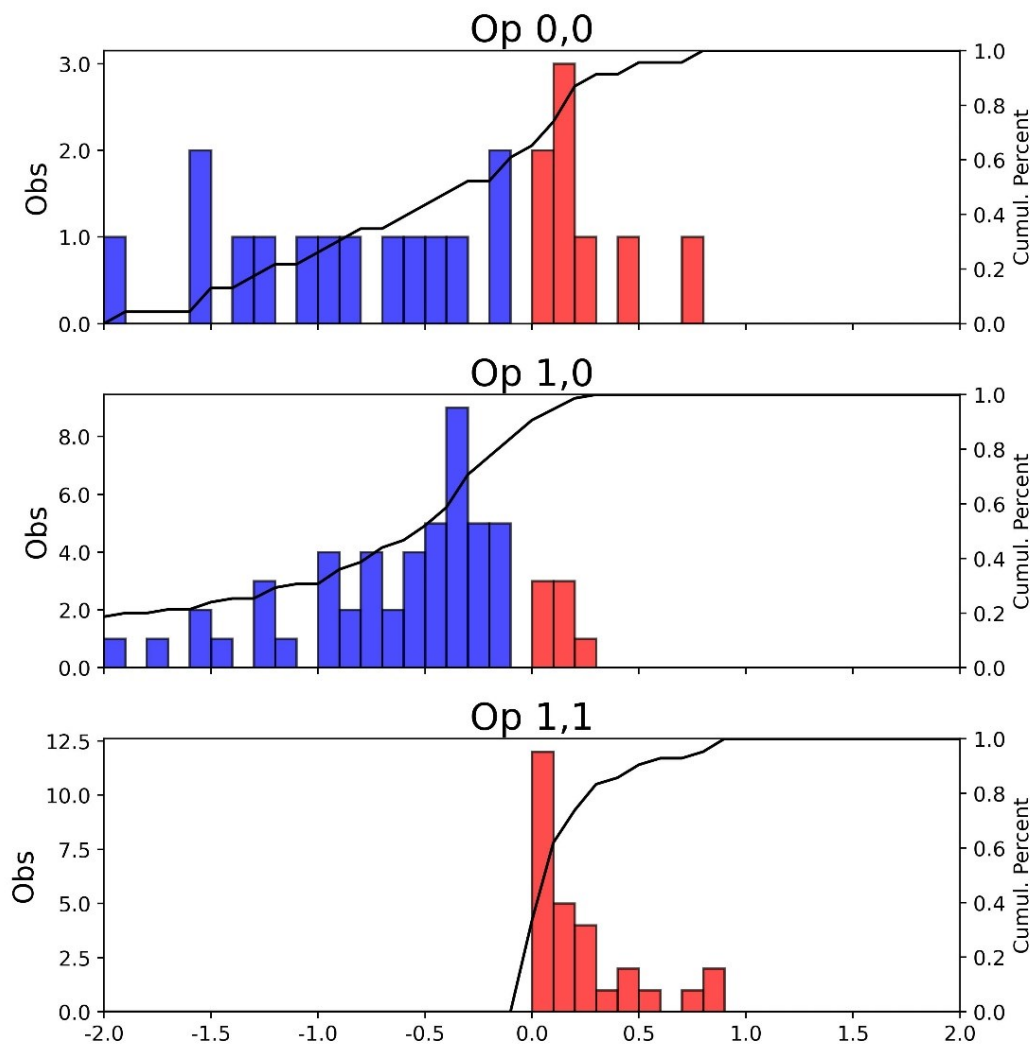
Τμήμα	Υποπεριοχή	ζ°	θ°	λ°
«Ορ»	0,0 (x,y)	201.04	79.60	178.03
	1,0 (x,y)	203.01	82.64	-174.50
	1,1 (x,y)	211.83	87.3	-165.95

Κάθε αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης χρησιμοποιήθηκε ως ρήγμα – δέκτης για τον μετασχηματισμό του πεδίου μεταβολών τάσεων εξαιτίας της ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 14-08-2003. Στο σχήμα 3.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για κάθε μια από τις 3 υποπεριοχές. Παρατηρείται σημαντική ομοιότητα στην κατανομή των μεταβολών τάσεων για όλες τις υποπεριοχές, με μικρή δεξιόστροφη περιστροφή του πεδίου για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό της υποπεριοχής (1,1). Από το σχήμα 3.12 παρατηρείται πώς στις υποπεριοχές (0,0) και (1,0) τα περισσότερα επίκεντρα βρίσκονται σε περιοχές με αρνητικές τιμές ΔCFF , ενώ στην υποπεριοχή (1,1), όλα τα επίκεντρα βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF .



Σχήμα 3.12: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2003, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης για κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Ορ». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.11.

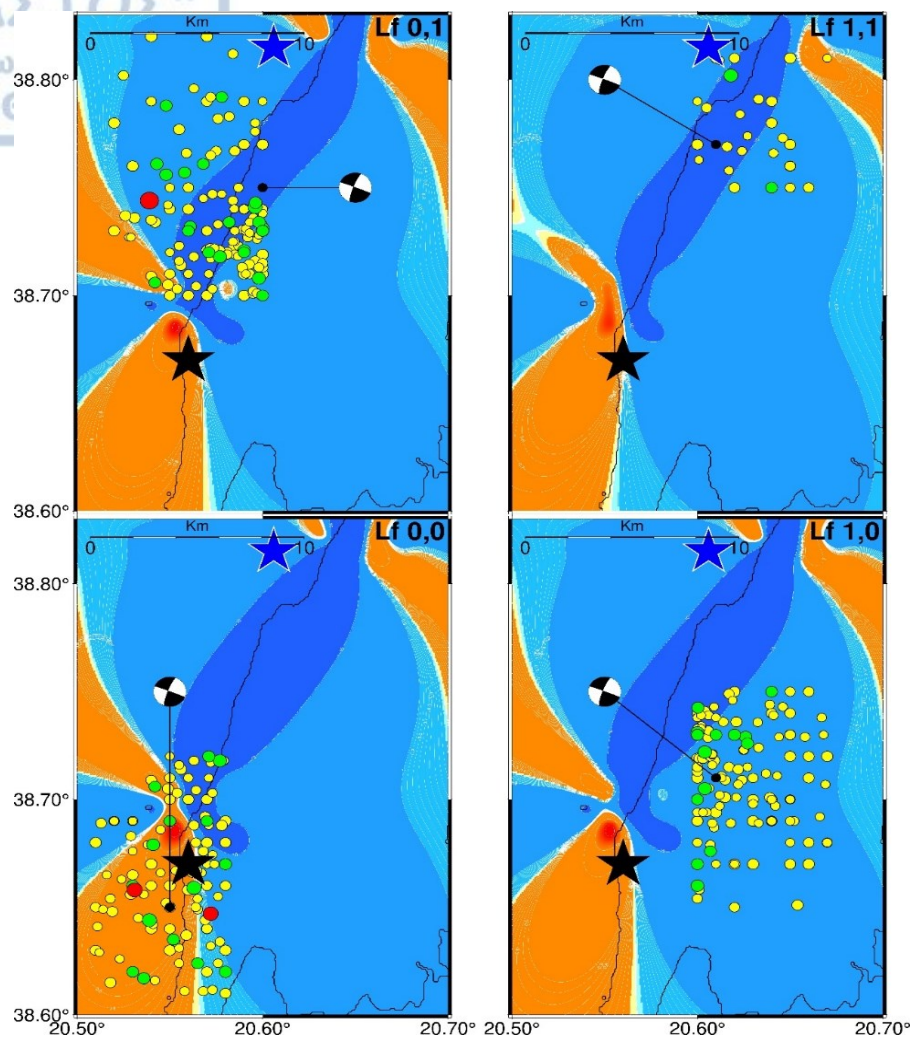
Για λεπτομερέστερη ποσοτική ανάλυση του μηχανισμού πρόκλησης σεισμών λόγω θετικών μεταβολών τάσης, υπολογίσθηκαν οι τιμές ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγινε στην περιοχή από το 2003 έως και το 2022. Στο Σχήμα 3.13 απεικονίζονται τα ιστογράμματα των τιμών αυτών για κάθε αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης των υποπεριοχών. Για την υποπεριοχή (0,0), το 60% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με αρνητική τιμή ΔCFF , με το ποσοστό αυτό να φθάνει το 80% για την υποπεριοχή (1,0). Αντίθετα, οι εστίες των σεισμών στην υποπεριοχή (1,1) βρίσκονται όλες σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF έως και 0.9 bar, γεγονός που αποτελεί ένδειξη για την πρόκληση τους από τις μεταβολές CFF που προκλήθηκαν από τη σεισμική ολίσθηση του κύριου σεισμού του 2003.



Σχήμα 3.13: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Op» μετά τον κύριο σεισμό του 2003 έως και τον Ιανουάριο του 2022, μεγέθους $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

- Τμήμα «Λευκάδα» (Lf)

Το τμήμα «Λευκάδα» (Lf), χωρίσθηκε σε τέσσερις υποπεριοχές βάσει της χωρικής κατανομή των μηχανισμών γένεσης και παλαιότερων μελετών στην περιοχή (Karakostas & Paradimitriou, 2010). Κάθε αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης που υπολογίσθηκε από τις αντιστροφές πεδίου τάσεων (πίνακας 3-14) χρησιμοποιήθηκε ως ρήγμα – δέκτης για τον υπολογισμό του πεδίου τάσεων λόγω της σεισμικής ολίσθησης του κύριου σεισμού της Λευκάδας στις 14-08-2003. Παρατηρείται ότι για τις υποπεριοχές (0,1), (1,0) και (1,1), η πλειονότητα των επικέντρων βρίσκονται σε περιοχές με αρνητική ΔCFF, ενώ σημαντικός αριθμός των επικέντρων στην υποπεριοχή (0,0) βρίσκεται σε περιοχές με υψηλές θετικές ΔCFF (σχήμα 3.14). Και για τους 4 αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς των υποπεριοχών, η χωρική κατανομή των τιμών της ΔCFF που προκύπτει τοποθετεί το επίκεντρο του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015 σε περιοχή με υψηλές θετικές τιμές μεταβολών τάσης, υποδεικνύοντας πιθανή πρόκληση του από τις μεταβολές CFF που προκλήθηκαν από τη σεισμική ολίσθηση του κύριου σεισμού του 2003.

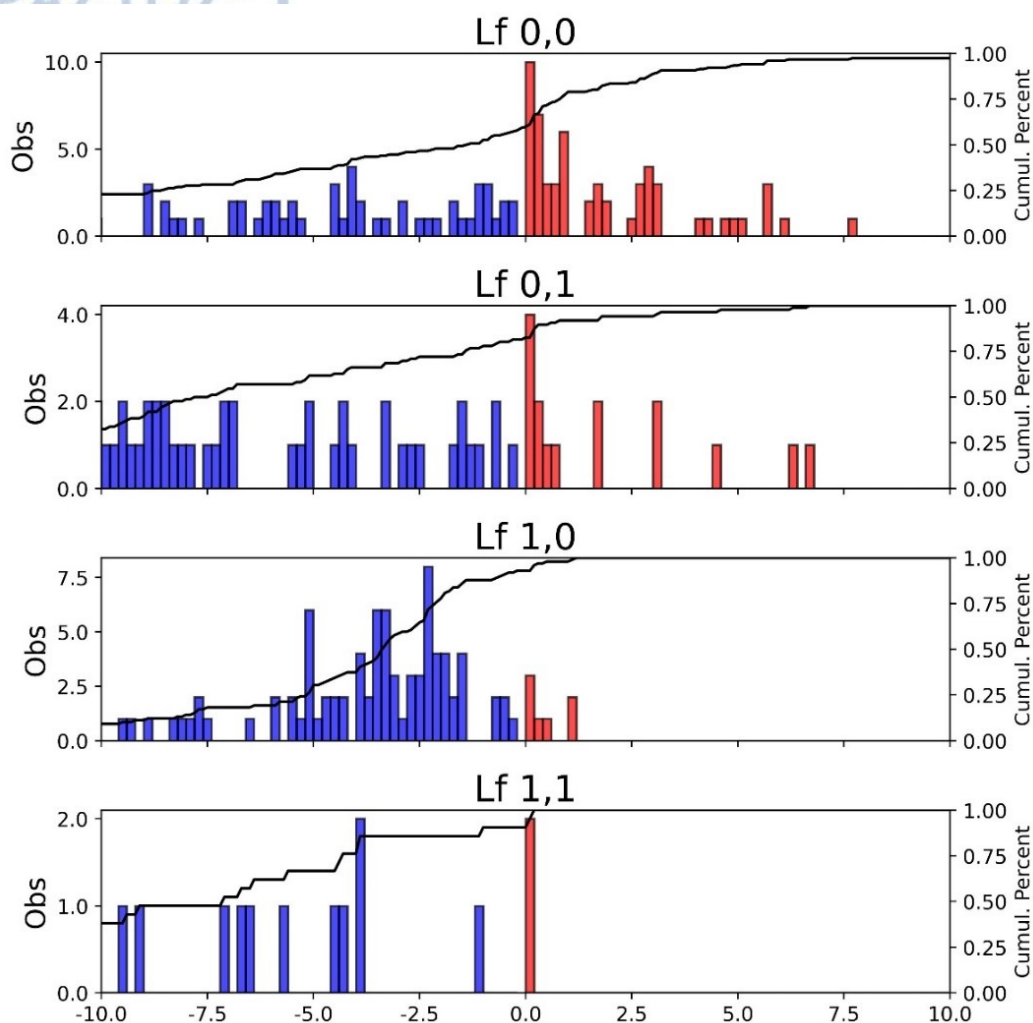


Σχήμα 3.14: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2003, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Lf». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.11.

Πίνακας 3-10: Αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί γένεσης για τις υποπεριοχές του τμήματος «Lf».

Τμήμα	Υποπεριοχή	ζ°	θ°	λ°
«Lf»	0,0 (x,y)	21.67	87.34	-175.16
	0,1 (x,y)	196.97	90	166.17
	1,0 (x,y)	198.89	87.26	173.85
	1,1 (x,y)	206.57	80	145.59

Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή από το 2003 έως και το 2022 (σχήμα 3.15), φαίνεται ότι για τις υποπεριοχές (0,1), (1,0) και (1,1) περισσότερες από το 75% των εστιών βρίσκονται σε θέσεις με αρνητική τιμή ΔCFF. Στην υποπεριοχή (0,0) το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο, περίπου 60%. Συνεπώς, φαίνεται ότι η πλειονότητα των σεισμών που έγιναν στην περιοχή δεν προκλήθηκαν από τον κύριο σεισμό του 2003.



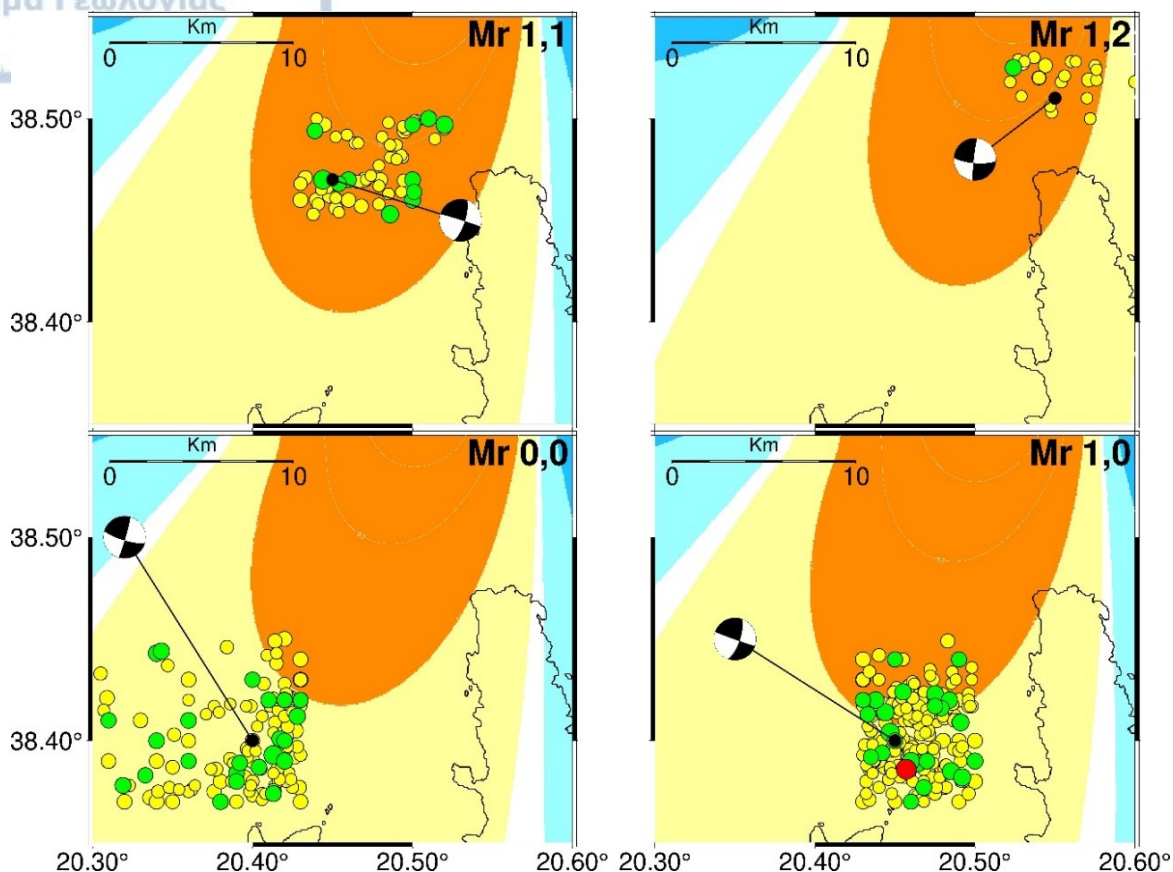
Σχήμα 3.15: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Lf» μετά τον σεισμό του 2003 έως και τον Ιανουάριο του 2022, μεγέθους $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής. Μέρος των παρατηρήσεων για τις υποπεριοχές (0,1) και (1,1) βρίσκεται εκτός κλίμακας λόγω ακραίων τιμών αρνητικής ΔCFF .

- Τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr)

Το τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr), έχει χωρισθεί σε τέσσερις επιμέρους υποπεριοχές βάσει της χωρικής κατανομής των μηχανισμών γένεσης. Οι αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί που προέκυψαν για κάθε υποπεριοχή (πίνακας 3-11) χρησιμοποιήθηκαν ως ρήγματα - δέκτες για τον υπολογισμό του πεδίου τάσεων λόγω της σεισμικής ολίσθησης του κύριου σεισμού της Λευκάδας στις 14-08-03. Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για τις 4 υποπεριοχές. Παρατηρείται ότι και στις 4, τα επίκεντρα των σεισμών βρίσκονται σε θέσεις με θετικές ΔCFF .

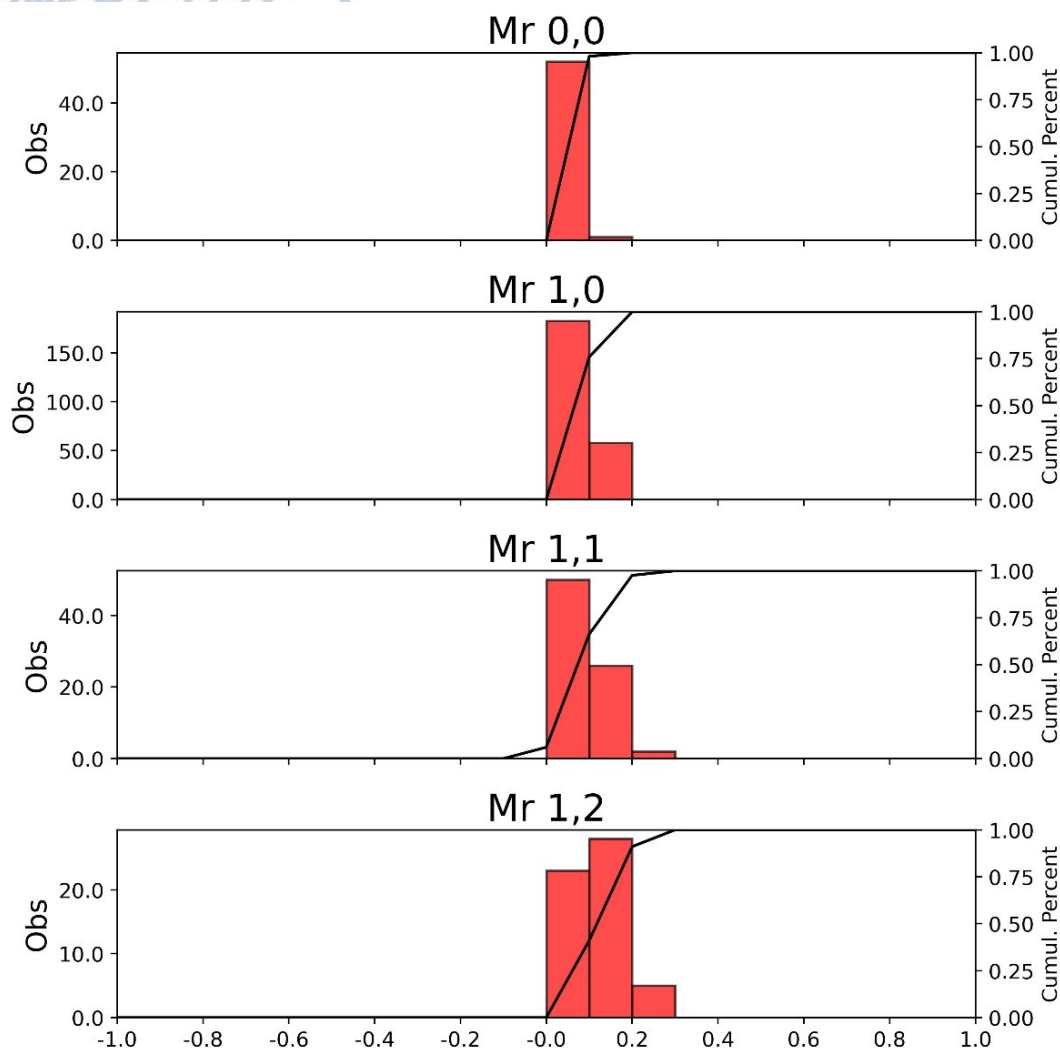
Πίνακας 3-11: Αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί γένεσης για τις υποπεριοχές του τμήματος «Mr».

Τμήμα	Υποπεριοχή	ζ°	θ°	λ°
«Mr»	0,0 (x,y)	15.96	86.51	168.43
	1,0 (x,y)	19.51	70.77	178.72
	1,1 (x,y)	18.26	73.05	-178.65
	1,2 (x,y)	186.11	85.4	-165.25



Σχήμα 3.16: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2003, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Mr». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επίκεντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.11.

Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού (σχήμα 3.17), φαίνεται ότι στην υποπεριοχή (0,0) το σύνολο των εστιών βρίσκεται σε περιοχές με μικρές θετικές τιμές ΔCFF , μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar. Στην υποπεριοχή (1,0), το 75% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με μικρές θετικές τιμές ΔCFF , μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar, ενώ το υπόλοιπο 25% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ 0.1 bar και 0.2 bar. Στην υποπεριοχή (1,1), το 60% των εστιών βρίσκεται σε περιοχές με τιμές ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar και το υπόλοιπο 40% σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ 0.1 bar και 0.3 bar. Στην υποπεριοχή (1,2), περίπου το 40% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλές θετικές μεταβολές CFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar, ενώ οι υπόλοιπες εστίες βρίσκονται σε περιοχές με υψηλότερες θετικές τιμές ΔCFF , μεταξύ 0.1 bar και 0.3 bar. Θετικές μεταβολές τάσεων Coulomb μικρότερες του 0.1 bar θεωρούνται επίσης ικανές για την πρόκληση σεισμικότητας.



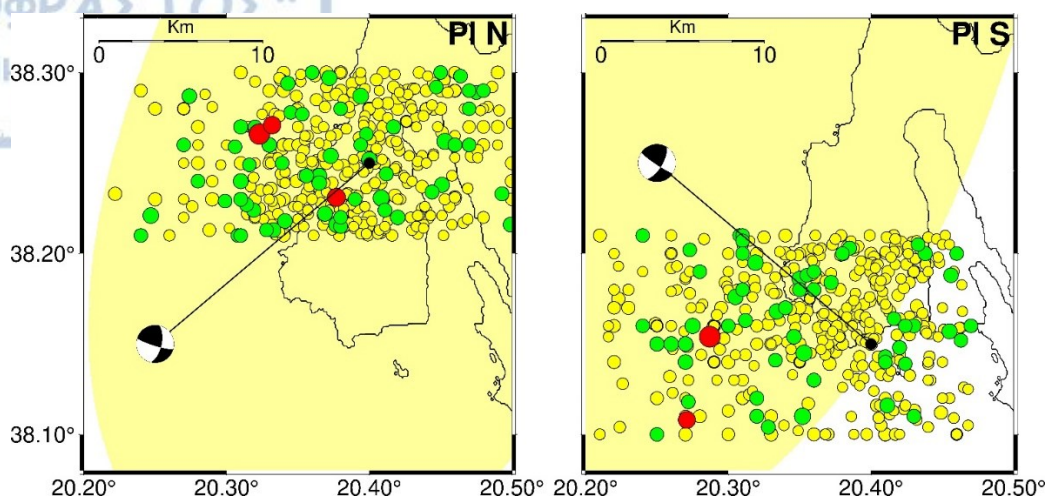
Σχήμα 3.17: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Mr» μετά τον σεισμό του 2003 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

- Τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (PI)

Το τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (PI) της περιοχής μελέτης, έχει χωρισθεί σε δύο επιμέρους υποπεριοχές, τη Βόρεια και τη Νότια Παλική. Για κάθε μια από τις υποπεριοχές, υπολογίστηκε ένας αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης με βάση τα χαρακτηριστικά των κυρίων συνιστωσών τάσης που προέκυψαν από τις αντιστροφές των δεδομένων μηχανισμών γένεσης (πίνακας 3-12). Στο σχήμα 3.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για τις 2 υποπεριοχές, λόγω της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας του 2003. Παρατηρείται ότι και στις 2, τα περισσότερα επίκεντρα βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF .

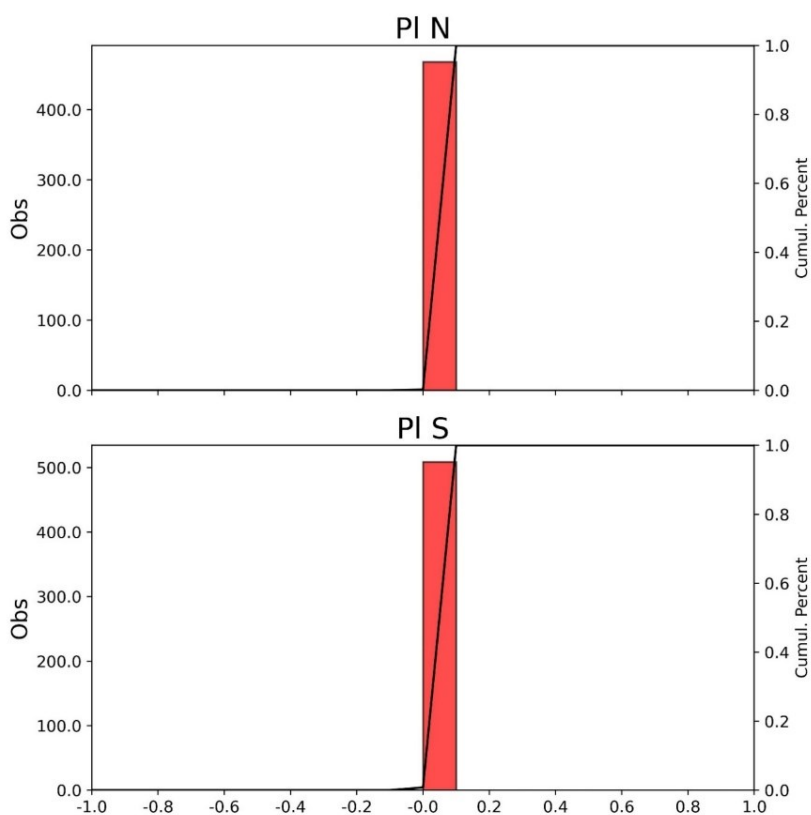
Πίνακας 3-12: Αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί γένεσης για τις υποπεριοχές του τμήματος «PI».

Τμήμα	Υποπεριοχή	ζ°	θ°	λ°
«PI»	Βόρεια Παλική	12.89	61.9	171.27
	Νότια Παλική	30.87	66.56	173.32



Σχήμα 3.18: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων *Coulomb* εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας του 2003, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης των 2 υποπεριοχών του τμήματος «PI». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή, μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.11.

Το σύνολο των επικέντρων των σεισμών βρίσκεται σε θέσεις με θετικές τιμές ΔCFF , παρά την μεγάλη απόσταση του τμήματος «PI» από το ρήγμα που προκάλεσε τις μεταβολές. Στα ιστογράμματα του σχήματος 3.19, παρατηρείται ότι όλες οι εστίες των σεισμών έγιναν σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , μεταξύ 0.01 και 0.1 bar.



Σχήμα 3.19: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «PI» μετά τον σεισμό του 2003 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

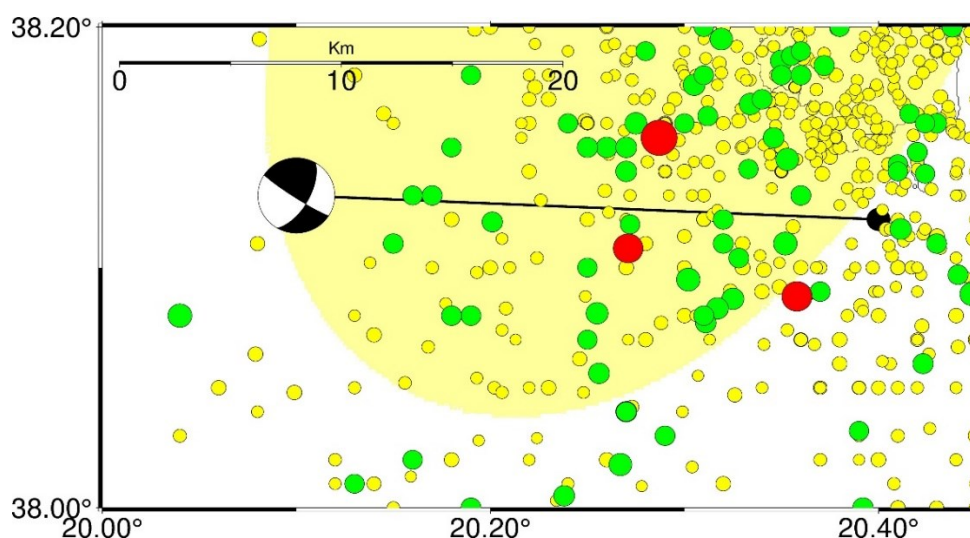
- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς» (Ok)

Το τμήμα «Ok» αποτελεί τη θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς και δεν έχει χωρισθεί σε υποπεριοχές. Ένας αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης έχει υπολογισθεί με βάση τα χαρακτηριστικά των κυρίων συνιστωσών τάσης που προέκυψαν από τις αντιστροφές των δεδομένων μηχανισμών γένεσης (πίνακας 3-13).

Πίνακας 3-13: Αντιπροσωπευτικός μηχανισμός γένεσης για το τμήμα «Ok».

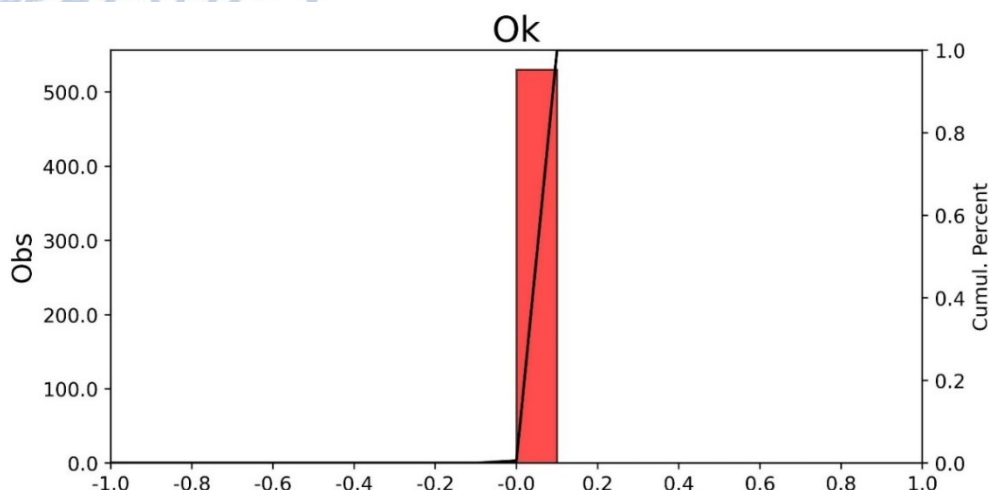
Περιοχή	Υποπεριοχή	ζ°	θ°	λ°
Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς (Ok)	Offshore Κεφαλονιάς	30.04	63.41	174.22

Στο σχήμα 3.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για το τμήμα «Ok» λόγω της σεισμικής ολίσθησης του κύριου σεισμού της Λευκάδας (2003). Παρατηρείται ότι τα περισσότερα επίκεντρα του τμήματος βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF ενώ ορισμένα βρίσκονται σε περιοχές με μηδενικές τιμές ΔCFF. Οι τιμές των θετικών μεταβολών τάσεων στο τμήμα «Ok» είναι πολύ μικρές καθώς το τμήμα βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το ρήγμα που προκάλεσε τον σεισμό της Λευκάδας.



Σχήμα 3.20: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2003, για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης του τμήματος «Ok». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.11.

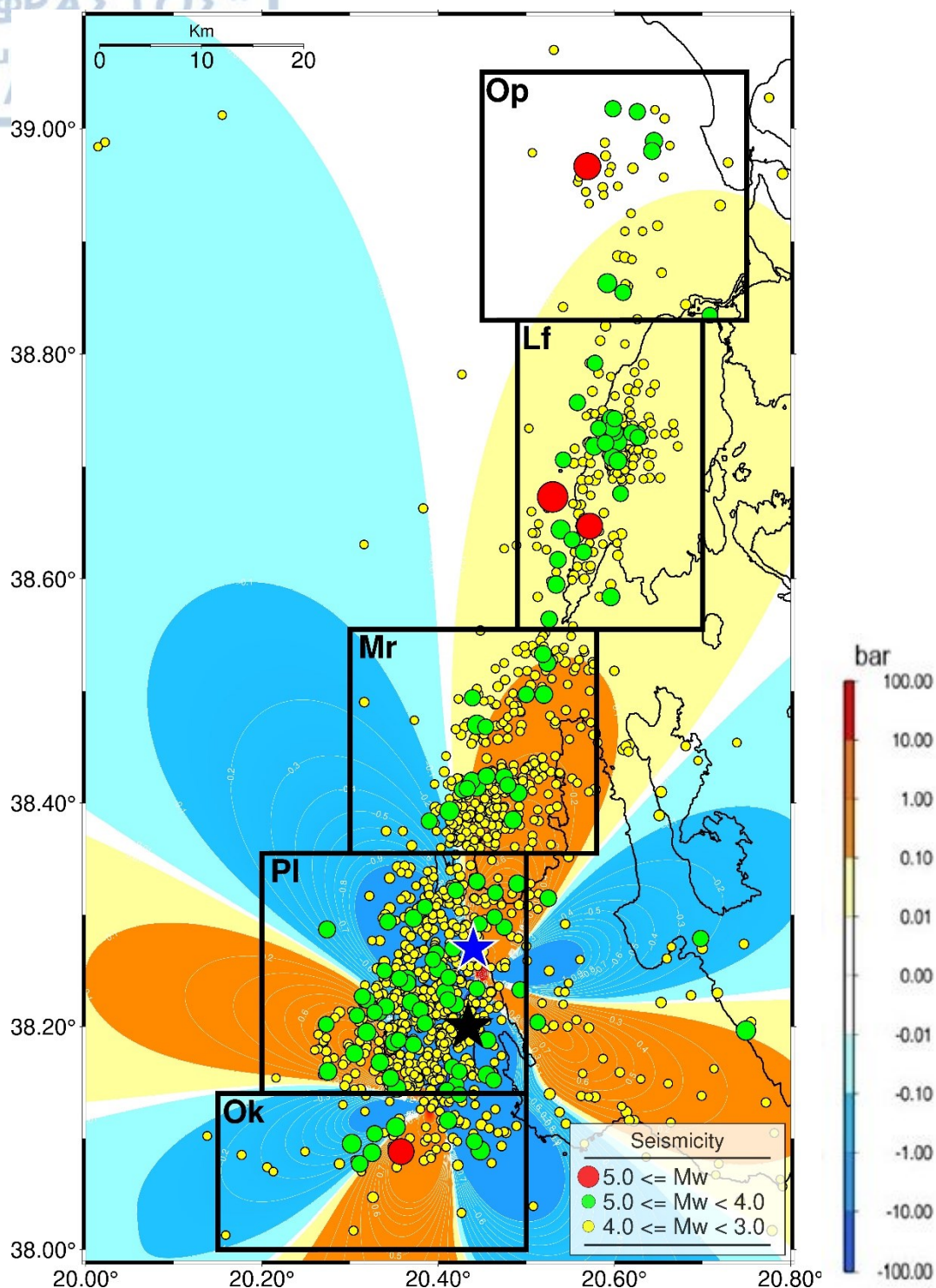
Στο σχήμα 3.21 φαίνονται τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2003, που υπολογίσθηκαν στις εστίες των σεισμών του τμήματος «Ok». Όπως φάνηκε και από το σχήμα 3.20, το σύνολο των εστιών των σεισμών βρίσκεται σε θέσεις με πολύ χαμηλές τιμές ΔCFF, μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar και ως εκ τούτου η σεισμικότητα στη θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς φαίνεται να σχετίζεται με τις μικρές θετικές μεταβολές τάσεων Coulomb που προκάλεσε ο σεισμός της Λευκάδας το 2003.



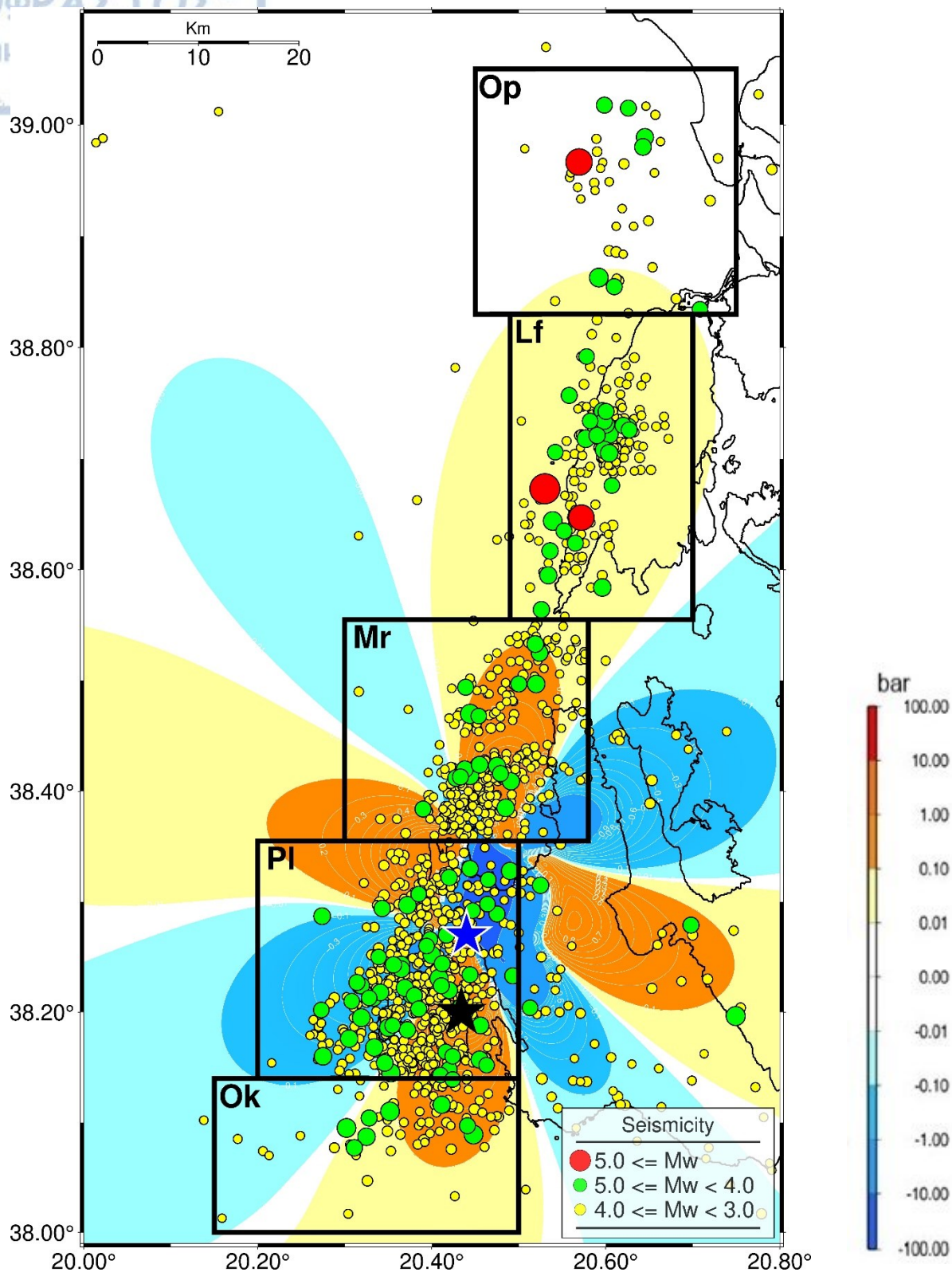
Σχήμα 3.21: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Ok» μετά τον σεισμό του 2003 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης του τμήματος.

3.3.3 Σεισμοί Κεφαλονιάς 26/01/2014 ($M_w = 6.1$) και 03/02/2014 ($M_w = 6.0$)

Στα σχήματα 3.22 και 3.23 απεικονίζονται οι τιμές της μεταβολής της στατικής τάσης που οφείλονται στις ολισθήσεις των δύο σεισμών της Κεφαλονιάς (26/01/2014, $M_w = 6.1$ και 03/02/2014, $M_w = 6.0$ αντίστοιχα). Η διάρρηξη του ρήγματος στη Νότια Παλική προκάλεσε υψηλές θετικές τιμές μεταβολών τάσεων στην περιοχή της Βόρειας Παλικής, προκαλώντας τον δεύτερο σεισμό επτά ημέρες μετά τον πρώτο. Το επίκεντρο του δεύτερου σεισμού βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο του βόρειου ρήγματος, σε περιοχή όπου η μεταβολή των τάσεων είχε υψηλές θετικές τιμές. Στα σχήματα 3.22 και 3.23 απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα όλων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ μετά από το ζεύγος σεισμών της Κεφαλονιάς το 2014, κατά τα επόμενα 8 έτη, καθώς και τα 5 τμήματα στα οποία χωρίστηκε η περιοχή μελέτης. Οι υπολογισμοί των ΔCFF έγιναν σε βάθος 9 km και με συντελεστή φαινόμενης τριβής ίσο με 0.4 και για τους δύο σεισμούς του ζεύγους. Για τον πρώτο σεισμό του 2014 στη νότια Παλική, το ανώτερο όριο του σεισμογόνου στρώματος ορίστηκε στο βάθος των 4.5km και το κατώτερο όριο στα 16km. Για το δεύτερο σεισμό του ζεύγους, το ανώτερο όριο βάθους ορίστηκε στα 7km και το κατώτερο στα 13.5km, σύμφωνα με τους Karakostas et al. (2015).



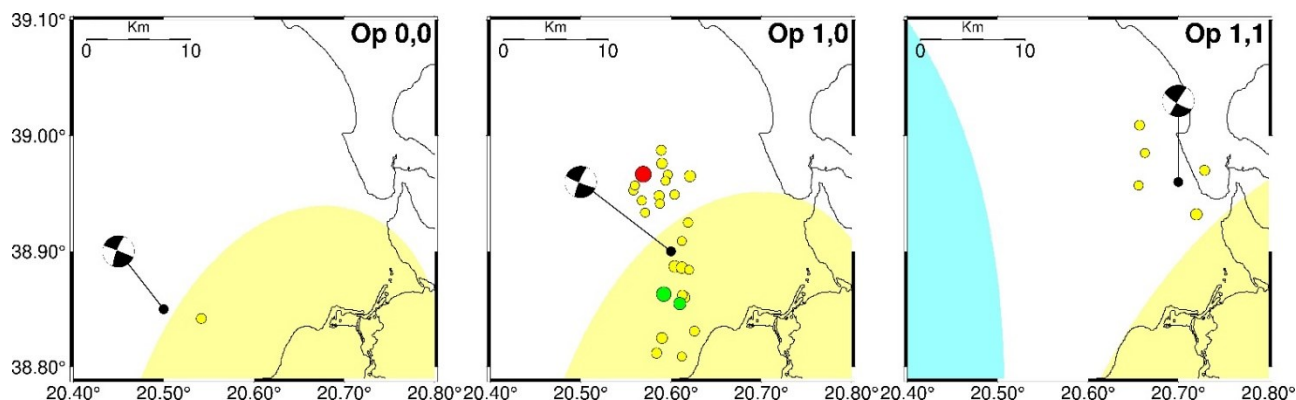
Σχήμα 3.22: Χωρική κατανομή των μεταβολών των τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Κεφαλονιάς στις 26-01-2014. Με μαύρο αστερίσκο απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού ενώ με μπλε το επίκεντρο του δεύτερου σεισμού στις 03-02-2014. Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα των σεισμών μεγέθους $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022 καθώς και τα 5 τμήματα στα οποία χωρίστηκε η περιοχή.



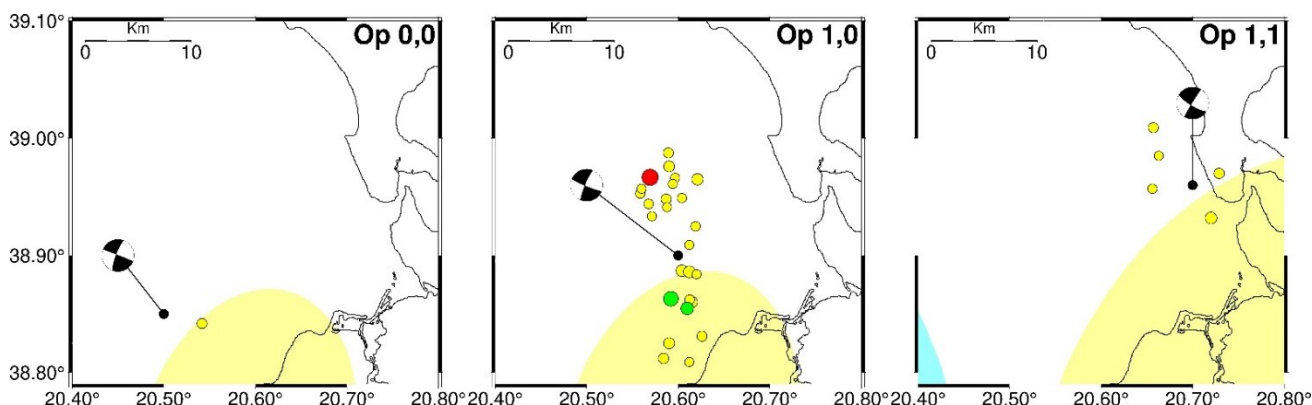
Σχήμα 3.23: Χωρική κατανομή των μεταβολών των τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Κεφαλονιάς στις 03-02-2014. Με μπλε αστερίσκο απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού ενώ με μαύρο το επίκεντρο του πρώτου σεισμού στις 26-01-2014. Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα των σεισμών μεγέθους $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022 καθώς και τα 5 τμήματα στα οποία χωρίσθηκε η περιοχή.

- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας» (Op)

Στο σχήμα 3.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για κάθε μια από τις 3 υποπεριοχές, οι οποίες οφείλονται στον πρώτο σεισμό του 2014 (26-01-2014) και στο σχήμα 3.25 οι μεταβολές των στατικών τάσεων που οφείλονται στο δεύτερο σεισμό του 2014 (03-02-2014).



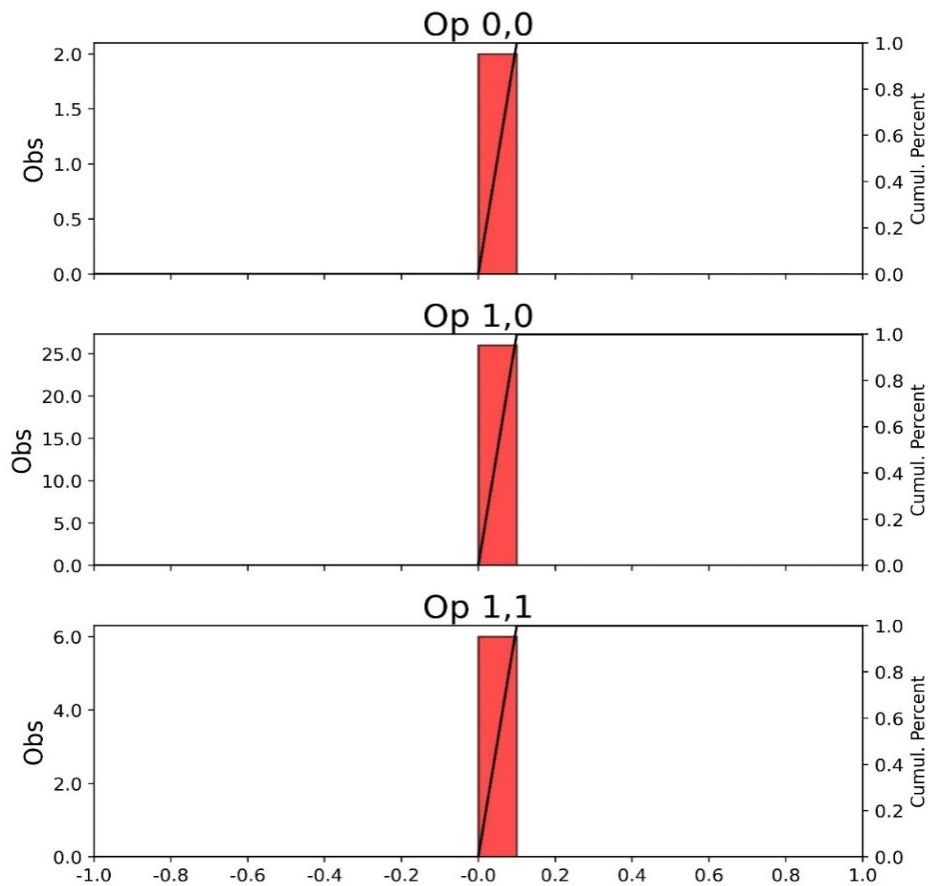
Σχήμα 3.24: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού του 2014, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Op». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.



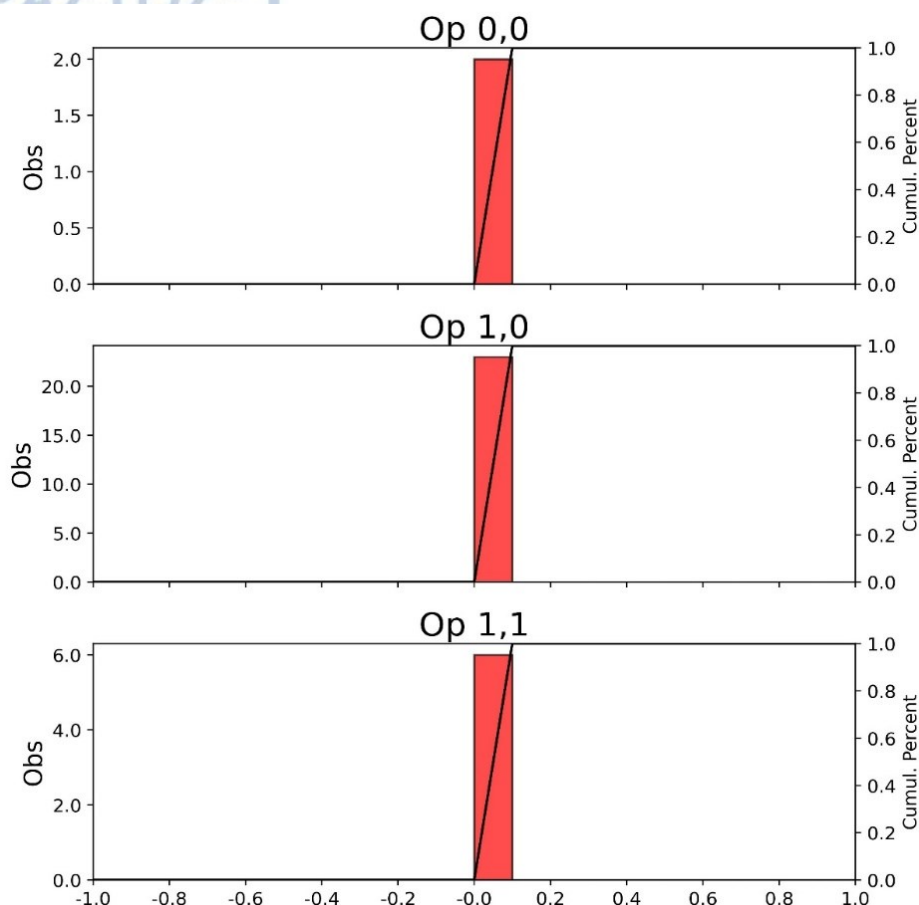
Σχήμα 3.25: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του δεύτερου σεισμού του 2014, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Op». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

Για λεπτομερέστερη ποσοτική ανάλυση του μηχανισμού πρόκλησης σεισμών λόγω θετικών μεταβολών τάσης, υπολογίσθηκαν οι τιμές ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγινε στην περιοχή από το 2014 έως και το 2022. Στο σχήμα 3.26 φαίνονται τα ιστογράμματα των τιμών αυτών για κάθε αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης των υποπεριοχών για τον πρώτο σεισμό του 2014, ενώ στο σχήμα 3.27 για τον δεύτερο. Όπως φαίνεται και από τις κατανομές του πεδίου τάσεων, το τμήμα «Op» δέχθηκε χαμηλές θετικές τιμές ΔCFF μετά τους σεισμούς της Κεφαλονιάς το 2014. Το σύνολο των εστιών της περιοχής βρίσκονται

σε περιοχές με χαμηλές θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απόσταση του τμήματος «Ορ» από τη χερσόνησο της Παλικής όπου έγιναν οι δύο σεισμοί.



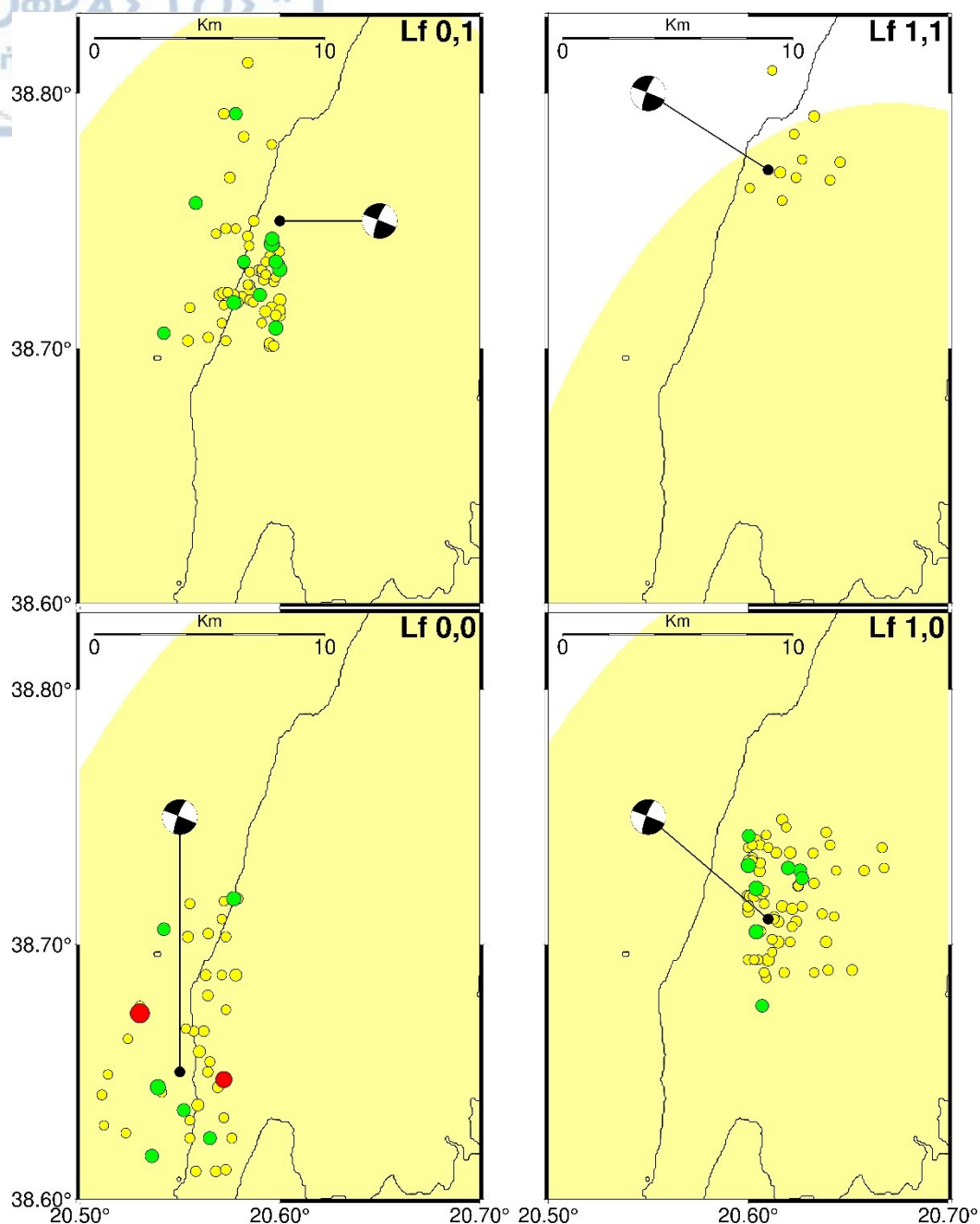
Σχήμα 3.26: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Ορ» μετά τον σεισμό στις 26-01-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.



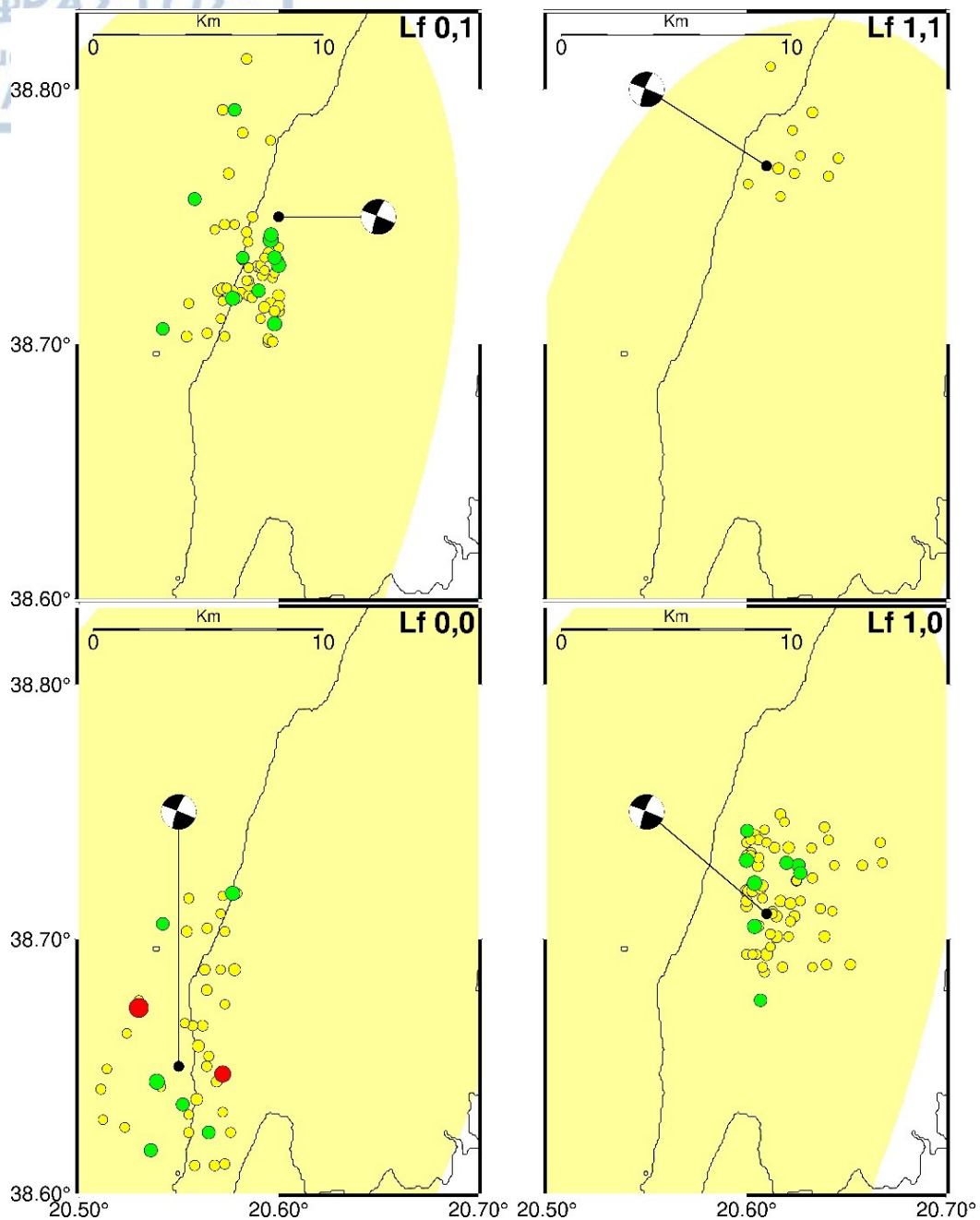
Σχήμα 3.27: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Op» μετά τον σεισμό στις 03-02-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

- Τμήμα «Λευκάδα» (Lf)

Στο σχήμα 3.28 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για κάθε μια από τις 4 υποπεριοχές, εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού του 2014 (26-01-2014) και στο σχήμα 3.29 τα αντίστοιχα αποτελέσματα εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του δεύτερου σεισμού (03-02-2014). Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το σύνολο των επικέντρων του τμήματος «Lf» βρίσκεται σε θέσεις με θετικές αλλά μικρές τιμές ΔCFF.

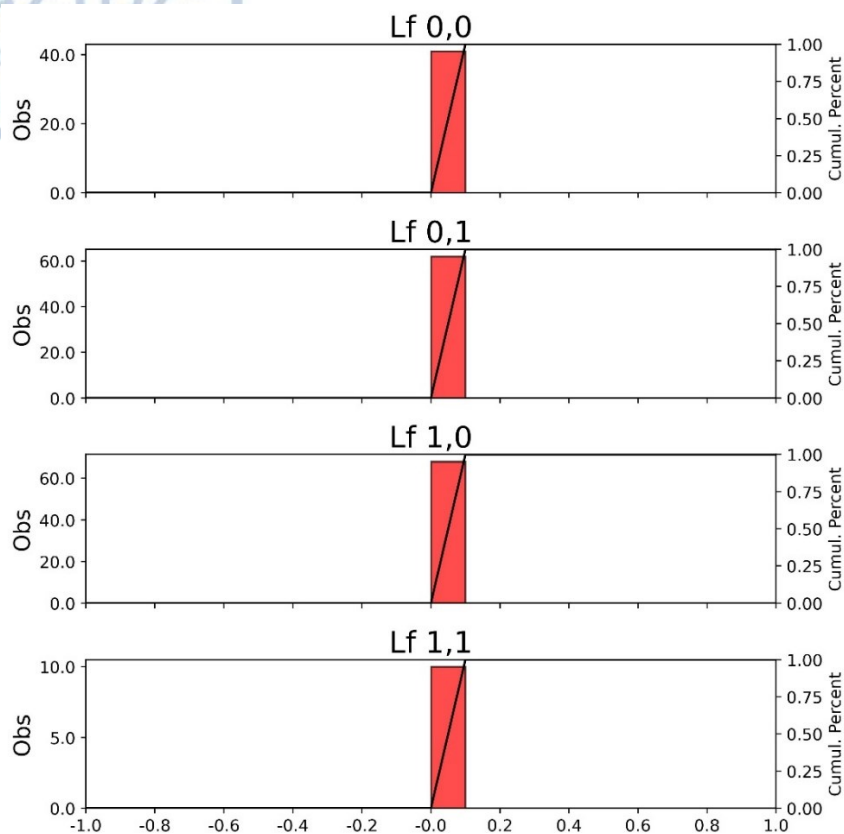


Σχήμα 3.28: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής που προκύπτουν για κάθε υποπεριοχή του τμήματος «Lf» εξαιτίας του πρώτου σεισμού της Κεφαλονιάς (26-01-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επίκεντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

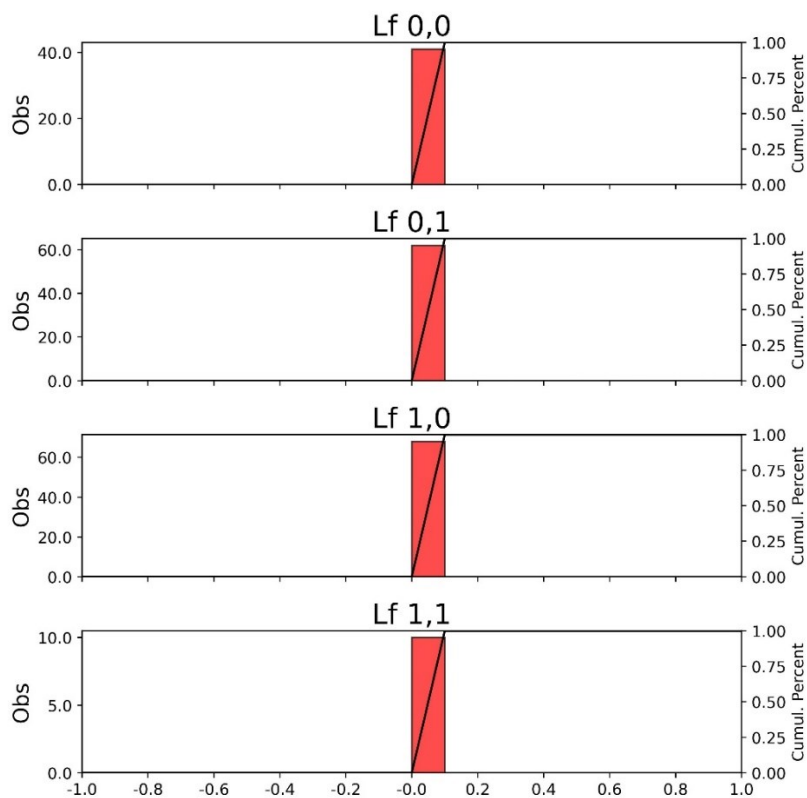


Σχήμα 3.29: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων *Coulomb* για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής που προκύπτουν για κάθε υποπεριοχή του τμήματος «Lf» εξαιτίας του δεύτερου σεισμού της Κεφαλονιάς (03-02-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επίκεντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

Στο σχήμα 3.30 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στον πρώτο σεισμό του 2014 στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή από το 2014 έως και το 2022 ενώ στο σχήμα 3.31, αντίστοιχα, τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στο δεύτερο σεισμό του 2014. Παρατηρείται ότι το σύνολο των εστιών των σεισμών βρίσκονται σε περιοχές θετικών τιμών ΔCFF , μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar. Θετικές μεταβολές στην τάση *Coulomb* μικρότερες του 0.1 bar θεωρούνται επίσης ικανές για την πρόκληση σεισμικότητας.



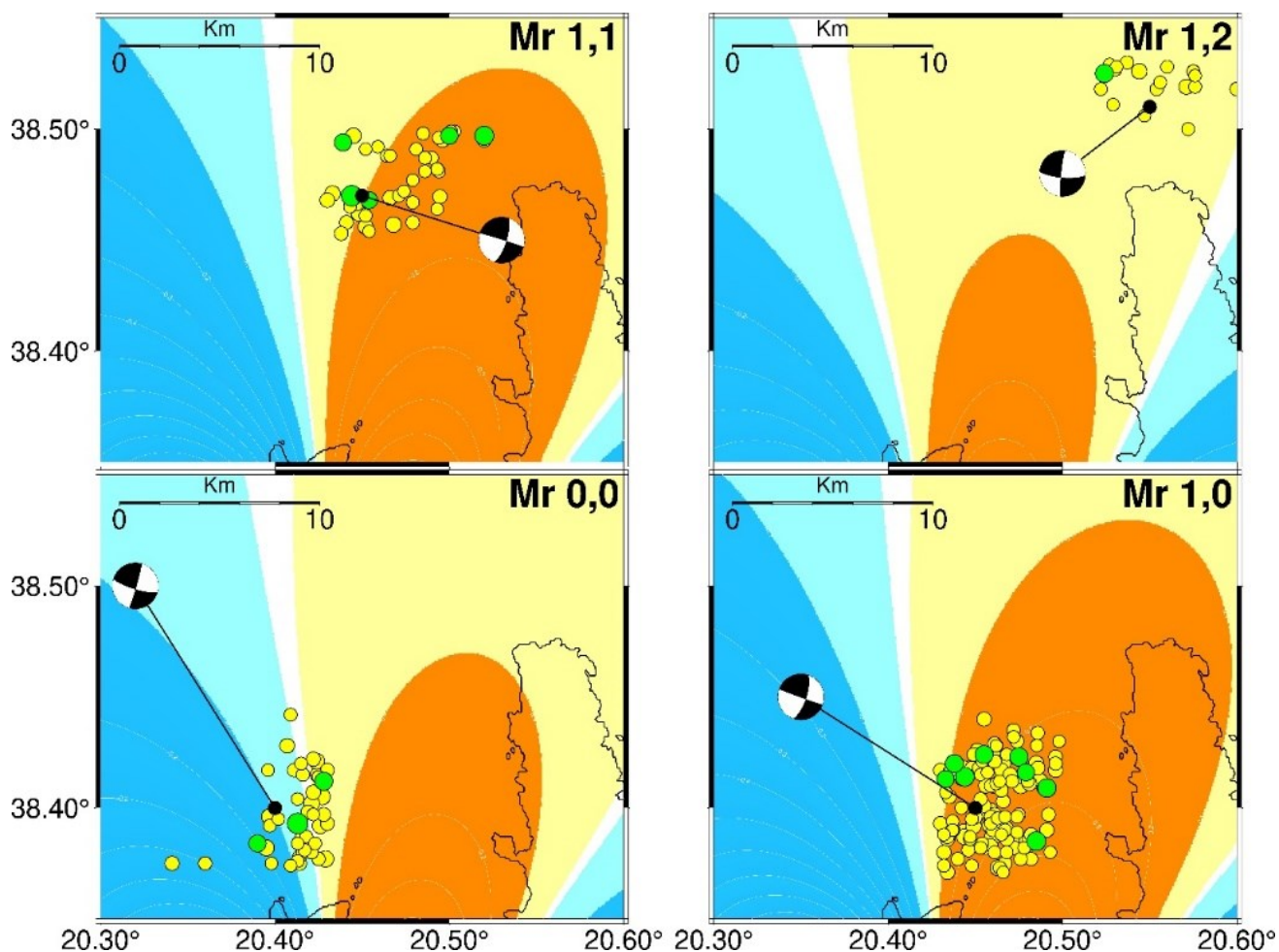
Σχήμα 3.30: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Lf» μετά τον σεισμό στις 26-01-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022.



Σχήμα 3.31: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Lf» μετά τον σεισμό στις 03-02-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022.

- Τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr)

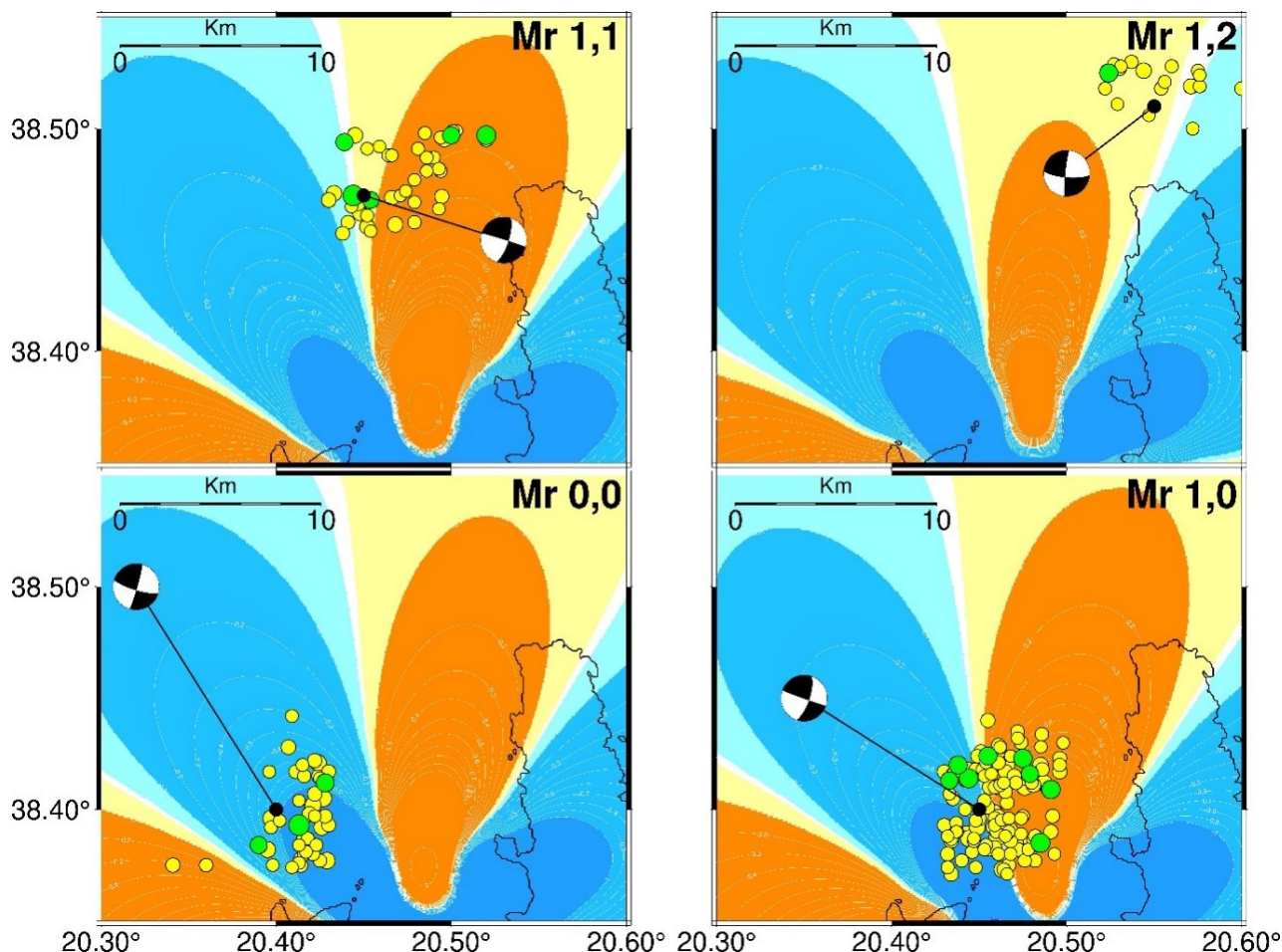
Τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για κάθε μια από τις 4 υποπεριοχές του τμήματος «Mr» που οφείλονται στη σεισμική ολίσθηση του πρώτου σεισμού του 2014 παρουσιάζονται στο σχήμα 3.32 και για το δεύτερο σεισμό του 2014 στο σχήμα 3.33 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι τα επίκεντρα των σεισμών των υποπεριοχών (1,0), (1,1) και (1,2) βρίσκονται κατά κύριο λόγο σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF, ενώ στην υποπεριοχή (0,0), ένα μέρος των επικέντρων βρίσκεται σε περιοχές με αρνητικές τιμές μεταβολών τάσεων.



Σχήμα 3.32: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Mr» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού της Κεφαλονιάς (26-01-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

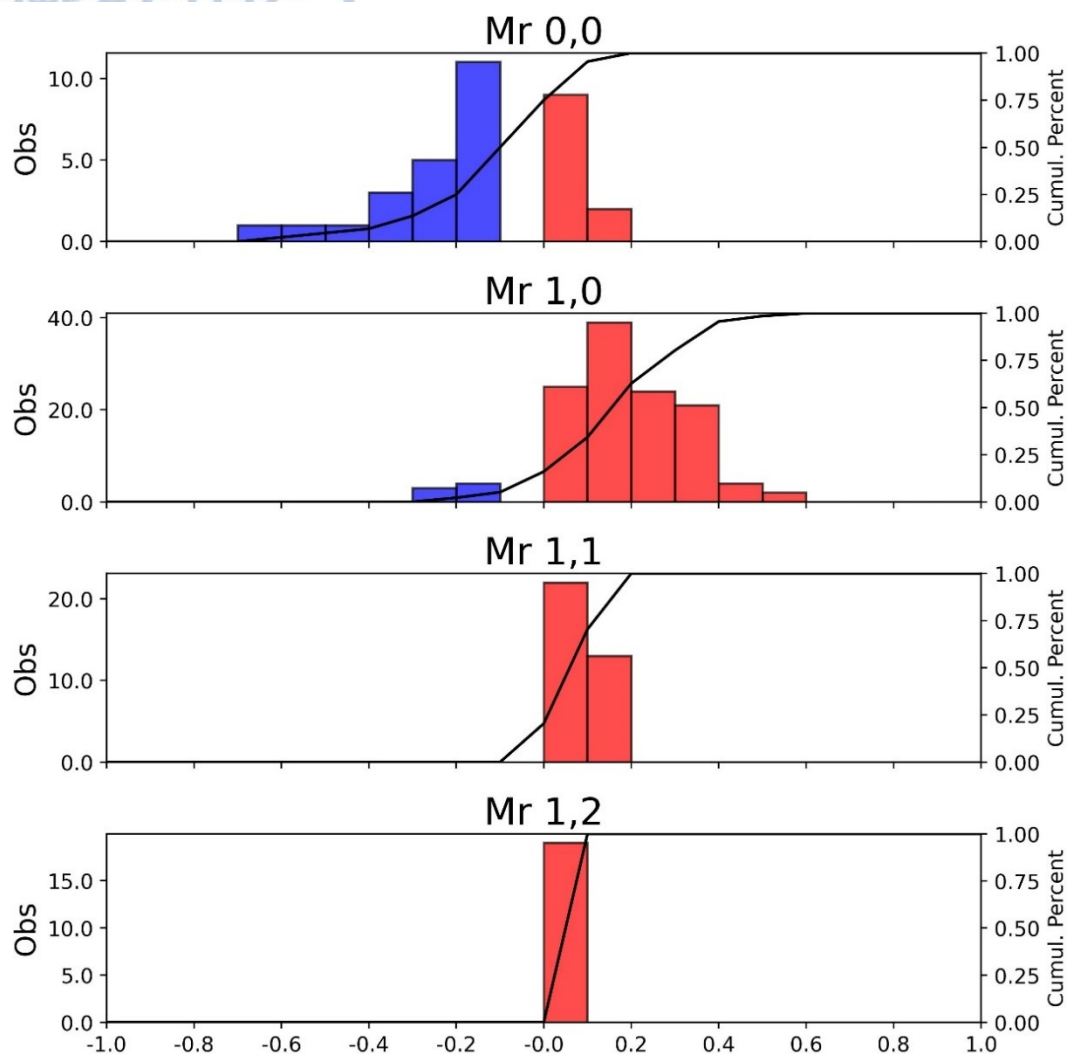
Τα επίκεντρα των σεισμών στις υποπεριοχές (1,0), (1,1) και (1,2) δε βρίσκονται πλέον εξολοκλήρου σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF οι οποίες οφείλονται στη σεισμική ολίσθηση του δεύτερου σεισμού του 2014 (σχήμα 3.33), με μεγάλο μέρος αυτών να βρίσκονται σε περιοχές αρνητικών τιμών μεταβολών τάσεων. Τα επίκεντρα των σεισμών της υποπεριοχής (0,0) βρίσκονται σχεδόν όλα σε θέσεις με αρνητικές τιμές ΔCFF. Για λεπτομερέστερη ποσοτική ανάλυση, υπολογίσθηκαν οι τιμές ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού. Στο σχήμα 3.34 παρουσιάζο-

νται τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στον πρώτο σεισμό του 2014, στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή από το 2014 έως και το 2022 ενώ στο σχήμα 3.35, αντίστοιχα, τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στο δεύτερο σεισμό του 2014.



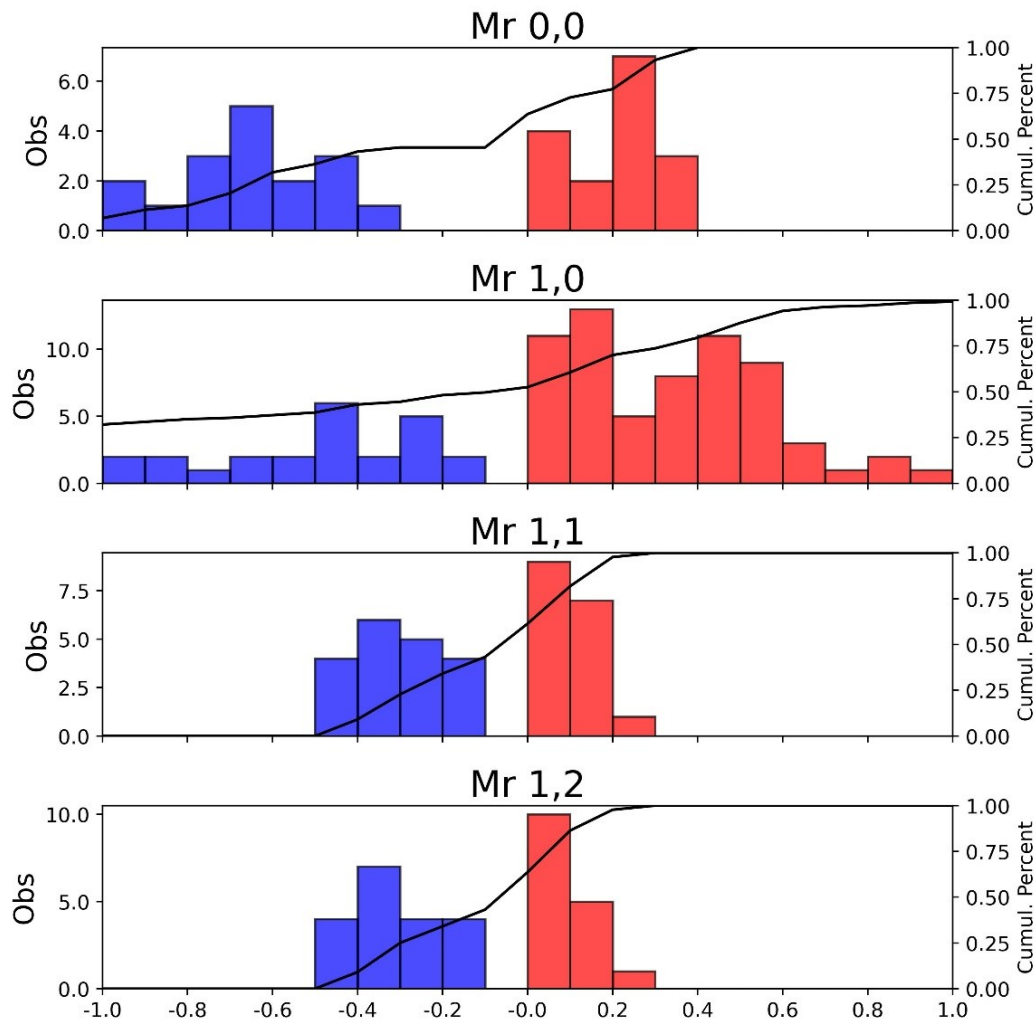
Σχήμα 3.33: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσης Coulomb για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Mr» εξαιτίας του δεύτερου σεισμού της Κεφαλονιάς (03-02-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μετά τον σεισμό μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Η συμβολολογία των επίκεντρων είναι ίδια με αυτή του σχήματος 3.22.

Από το σχήμα 3.34 φαίνεται ότι στην υποπεριοχή (1,1), οι εστίες των σεισμών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (περίπου 75%) σε περιοχές με τιμή ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar. Για την υποπεριοχή (1,2) το σύνολο των εστιών έχουν τιμή ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar. Στην υποπεριοχή (0,0) το 75% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με αρνητικές τιμές ΔCFF . Αντίθετα, η συντριπτική πλειονότητα των εστιών της υποπεριοχής (1,0) (περίπου 90%) βρίσκεται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , με το 70% αυτών να έχουν τιμές μεγαλύτερες από 0.1 bar.



Σχήμα 3.34: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Mr» μετά τον σεισμό στις 26-01-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

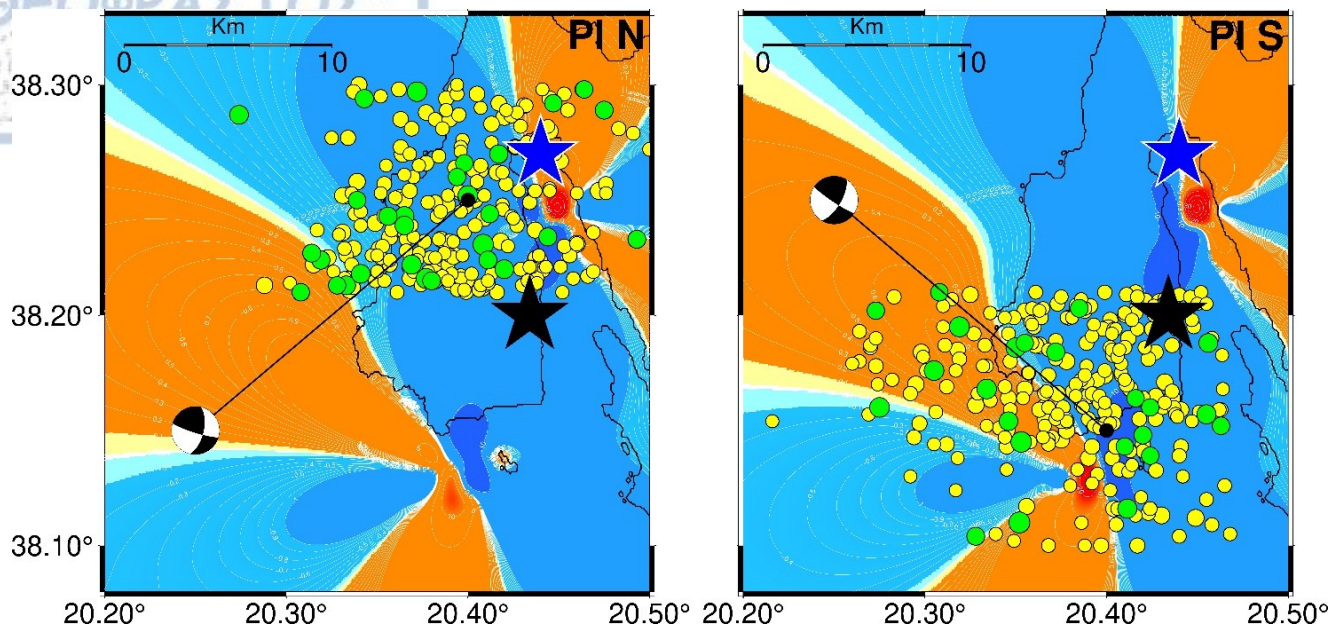
Στη δεύτερη περίπτωση (σχήμα 3.35), το 20% των εστιών των σεισμών στις υποπεριοχές (1,1) και (1,2) βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές μεγαλύτερες του 0.1 bar, ενώ και στις δύο υποπεριοχές ένα ποσοστό 60% των εστιών βρίσκεται σε περιοχές με αρνητικές τιμές ΔCFF. Κατά συνέπεια, η σεισμικότητα σε αυτές τις δύο υποπεριοχές φαίνεται και πάλι να επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεταβολές στο πεδίο τάσεων που προκάλεσε ο δεύτερος σεισμός του 2014, όμως σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι ο πρώτος σεισμός. Το 70% των εστιών της υποπεριοχής (0,0) βρίσκεται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar, με το 50% αυτών να βρίσκεται σε περιοχές με αρνητικές τιμές. Η σεισμικότητα στην υποπεριοχή (1,0) παρουσιάζει μικρότερη συσχέτιση με την κατανομή των ΔCFF εξαιτίας του δεύτερου σεισμού, καθώς περίπου το 40% των εστιών στην υποπεριοχή εμφανίζονται σε θέσεις με τιμή μεγαλύτερη του 0.1 bar, και μεγαλύτερη με την κατανομή των ΔCFF εξαιτίας της ολίσθησης του πρώτου σεισμού, όπου το ποσοστό των εστιών σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF ήταν μεγαλύτερο από 70%.



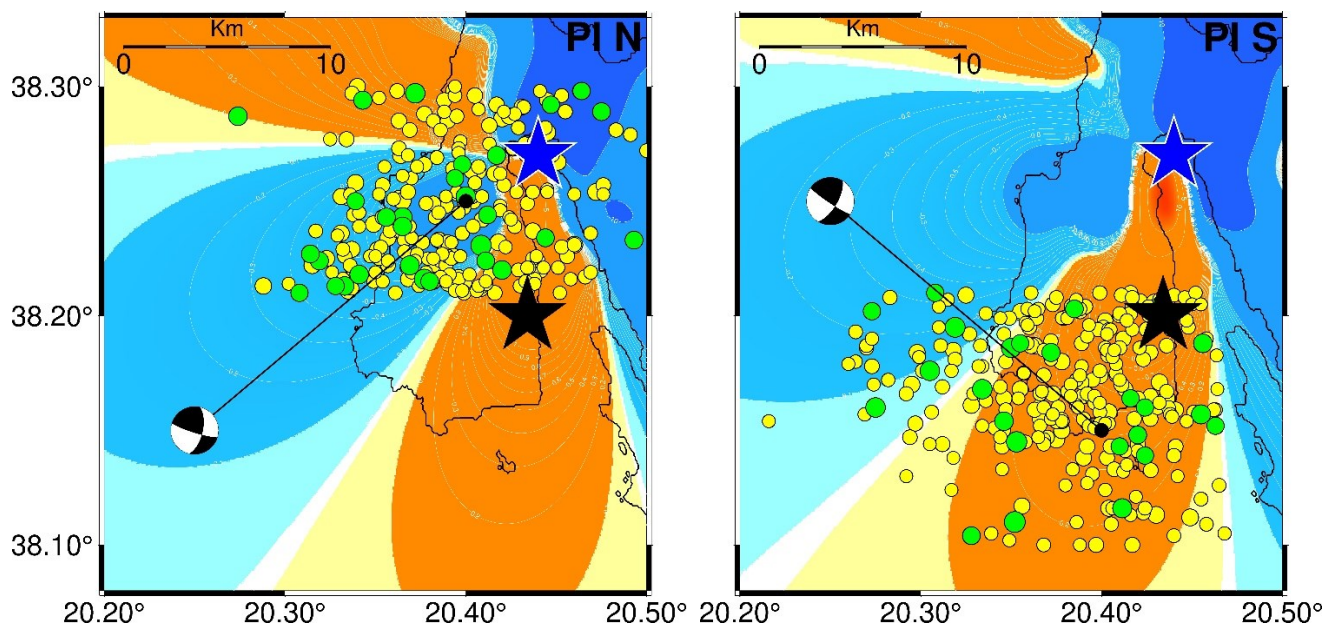
Σχήμα 3.35: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Mr» μετά τον σεισμό στις 03-02-2014 έως και τον Ιανουάριο του 2022. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

- Τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (PI)

Τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για τις 2 υποπεριοχές του τμήματος «PI» λόγω της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού του 2014 παρουσιάζονται στο σχήμα 3.36 και για το δεύτερο σεισμό του 2014 στο σχήμα 3.37 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι στην πρώτη περίπτωση, η πλειονότητα των επικέντρων των σεισμών στην περιοχή της βόρειας Παλικής βρίσκεται σε περιοχές με αρνητικές μεταβολές τάσεων Coulomb, ενώ για τη νότια Παλική φαίνεται ότι τα επίκεντρα των σεισμών βρίσκονται στην πλειονότητα τους σε περιοχές με θετικές μεταβολές τάσεων Coulomb.



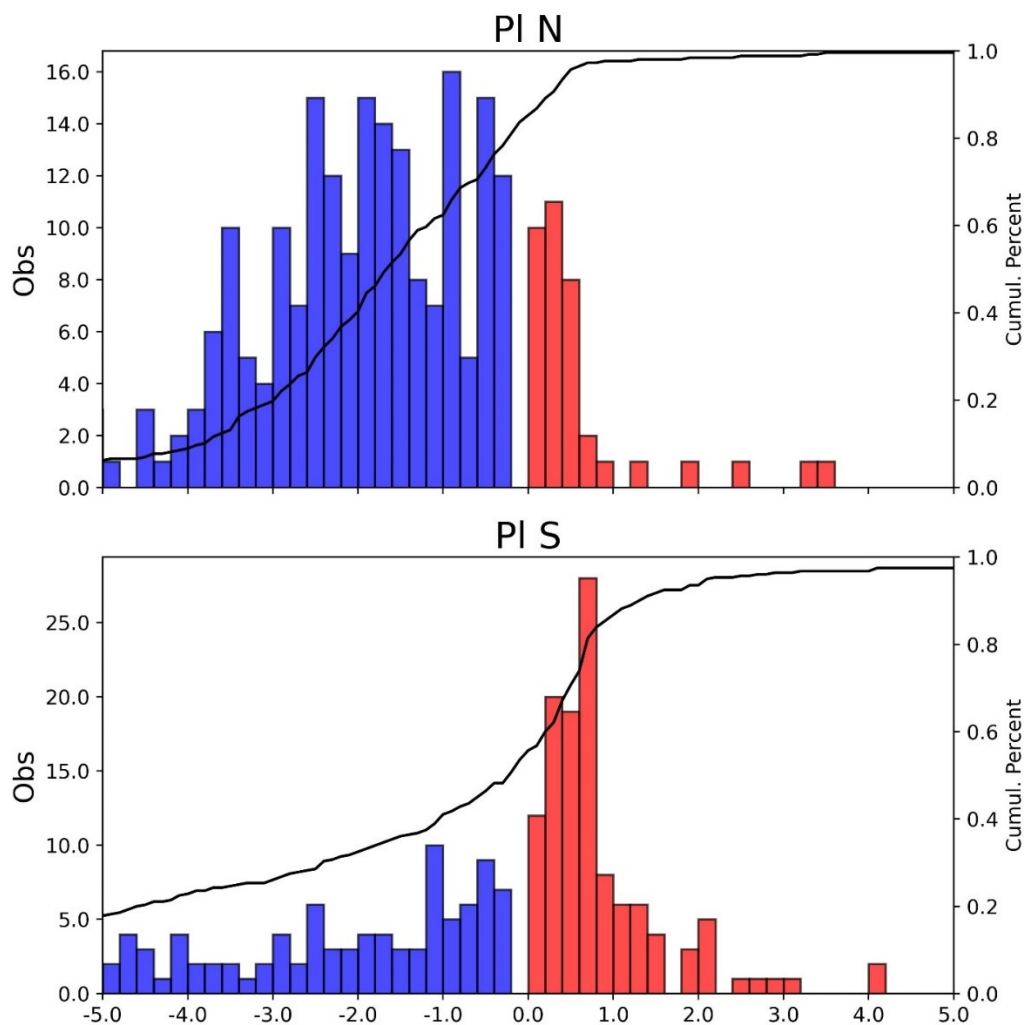
Σχήμα 3.36: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής των 2 υποπεριοχών του τμήματος «PI» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού της Κεφαλονιάς (26-01-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Με μαύρο αστέρι απεικονίζεται το επίκεντρο του πρώτου σεισμού (26-01-2014), ενώ το μπλε αστέρι είναι το επίκεντρο του δεύτερου σεισμού (03-02-2014). Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.



Σχήμα 3.37: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής των 2 υποπεριοχών του τμήματος «PI» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του δεύτερου σεισμού της Κεφαλονιάς (03-02-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Με μαύρο αστέρι απεικονίζεται το επίκεντρο του πρώτου σεισμού (26-01-2014), ενώ το μπλε αστέρι είναι το επίκεντρο του δεύτερου σεισμού (03-02-2014). Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

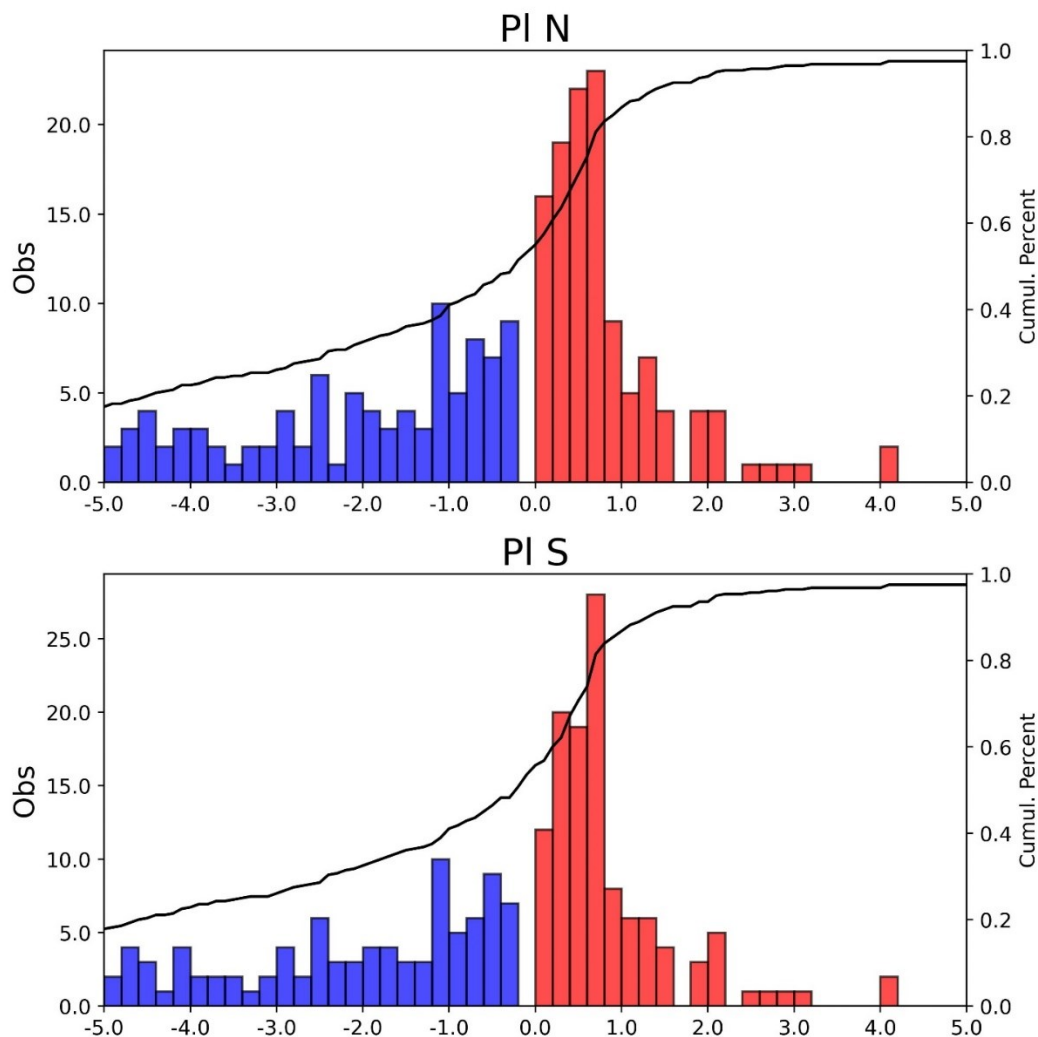
Για λεπτομερέστερη ποσοτική ανάλυση, υπολογίσθηκαν οι τιμές ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού. Στο σχήμα 3.38 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στον πρώτο σεισμό του 2014, στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην

περιοχή από το 2014 έως και το 2022 ενώ στο σχήμα 3.39, αντίστοιχα, τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF που οφείλονται στο δεύτερο σεισμό του 2014. Στην περίπτωση του πρώτου σεισμού (Σχήμα 3.38), παρατηρείται ότι περίπου το 80% των σεισμικών εστιών στην υποπεριοχή της βόρειας Παλικής βρίσκονται σε περιοχές με αρνητικές τιμές ΔCFF, ενώ στην υποπεριοχή της νότιας Παλικής, 50% των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF και 50% σε αρνητικές. Ο πρώτος σεισμός έγινε στη νότια Παλική και κατά συνέπεια η σεισμικότητα στην υποπεριοχή φαίνεται να επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με την βόρεια Παλική.



Σχήμα 3.38: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «PI» μετά τον πρώτο σεισμό του ζεύγους της Κεφαλονιάς έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

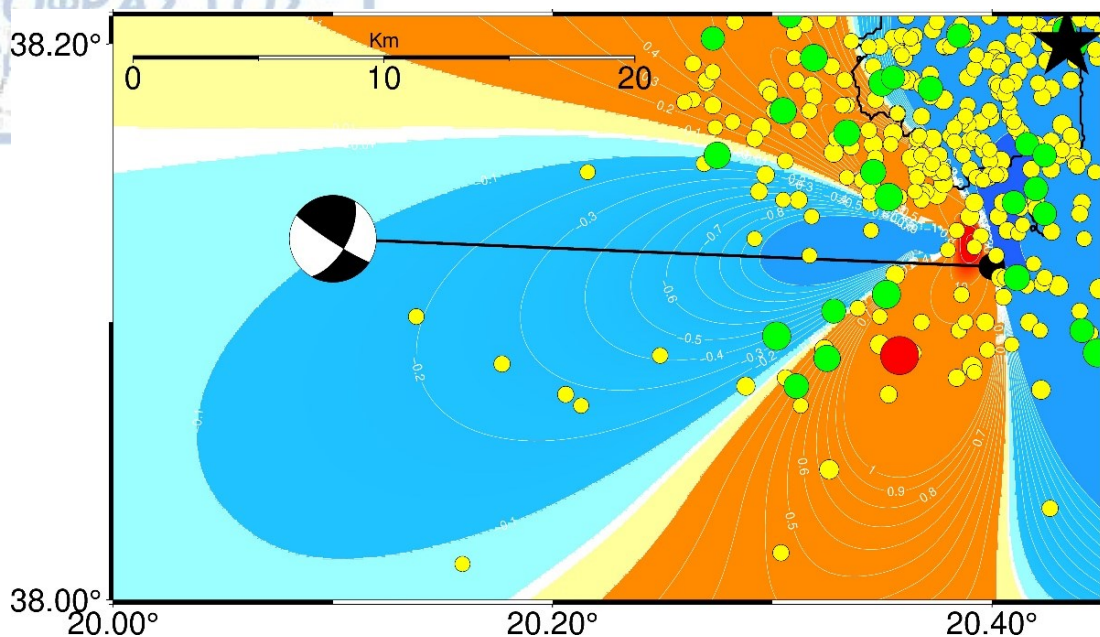
Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 3.39), παρατηρείται ότι και για τις δύο υποπεριοχές, το 50 % των σεισμικών εστιών βρίσκονται σε περιοχές θετικών τιμών ΔCFF. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη ότι ο δεύτερος σεισμός του 2014 είχε μεγαλύτερη επίδραση στην σεισμικότητα της περιοχής από ότι ο πρώτος.



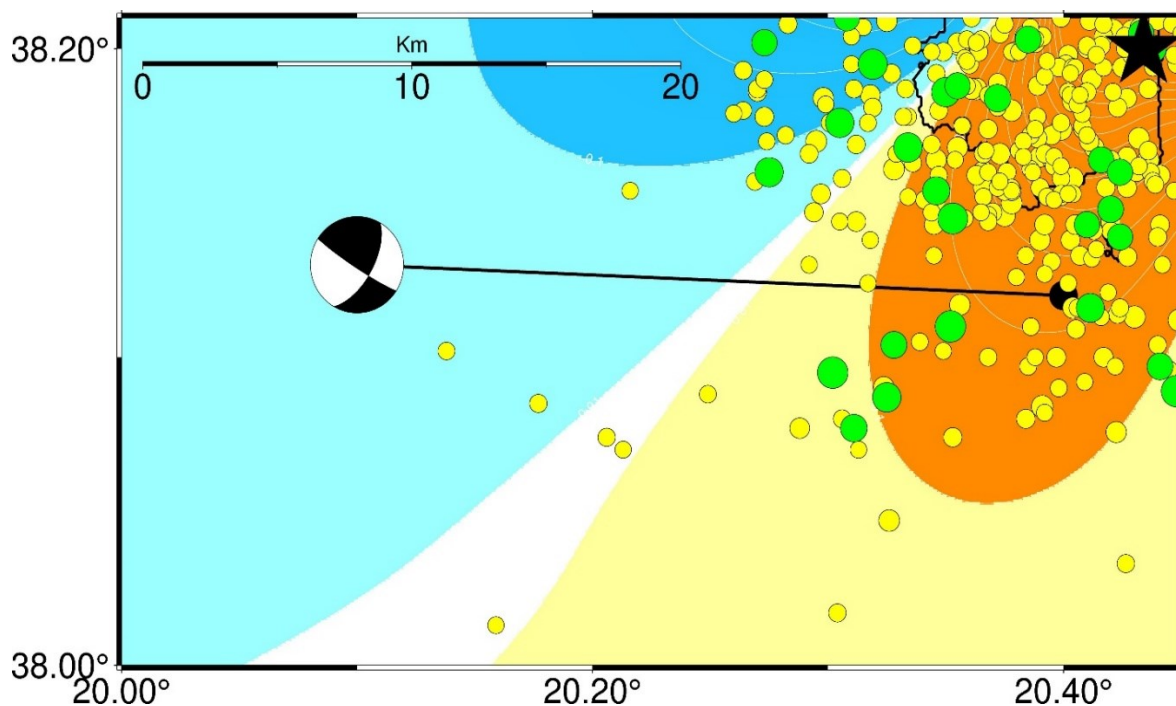
Σχήμα 3.39: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Ok» μετά το δεύτερο σεισμό του ζεύγους της Κεφαλονιάς έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί κάθε φορά σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής.

- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς» (Ok)

Τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων *Coulomb* για το τμήμα «Ok» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού του 2014 (26-01-14) παρουσιάζονται στο σχήμα 3.40 και για το δεύτερο σεισμό του 2014 στο σχήμα 3.41 αντίστοιχα. Από τα σχήματα αυτά, φαίνεται ότι μεγάλο μέρος των επικέντρων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή από το 2014 και έπειτα, βρίσκονται σε περιοχές με θετικές μεταβολές τάσεων *Coulomb*. Δεδομένου ότι η υποπεριοχή βρίσκεται στα άκρα του ρήγματος, μέρος των επικέντρων βρίσκεται σε περιοχές με ακραίες τιμές θετικών αλλά και αρνητικών ΔCFF .



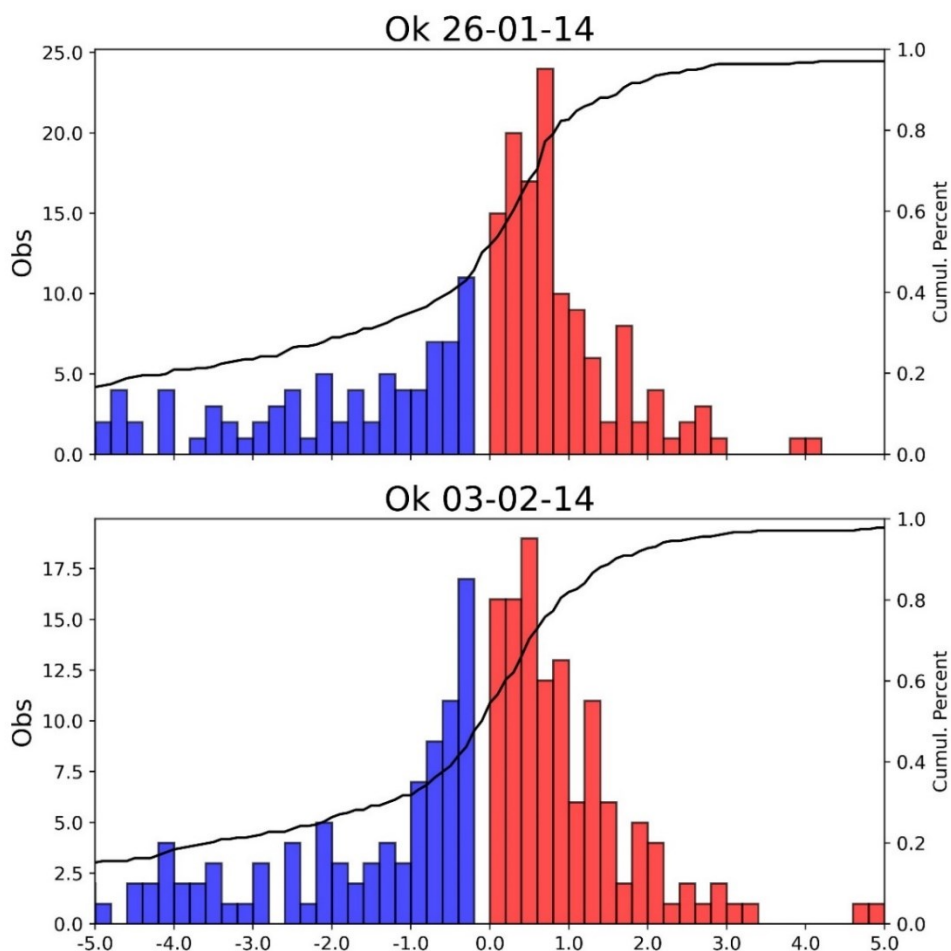
Σχήμα 3.40: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσής του τμήματος «Οκ» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του πρώτου σεισμού της Κεφαλονιάς (26-01-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.



Σχήμα 3.41: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσής του τμήματος «Οκ» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του δεύτερου σεισμού της Κεφαλονιάς (03-02-2014). Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.22.

Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF στις εστίες των σεισμών της περιοχής (σχήμα 3.42) παρατηρείται ότι και για τους δύο σεισμούς του 2014, το 50% των εστιών βρίσκονται σε

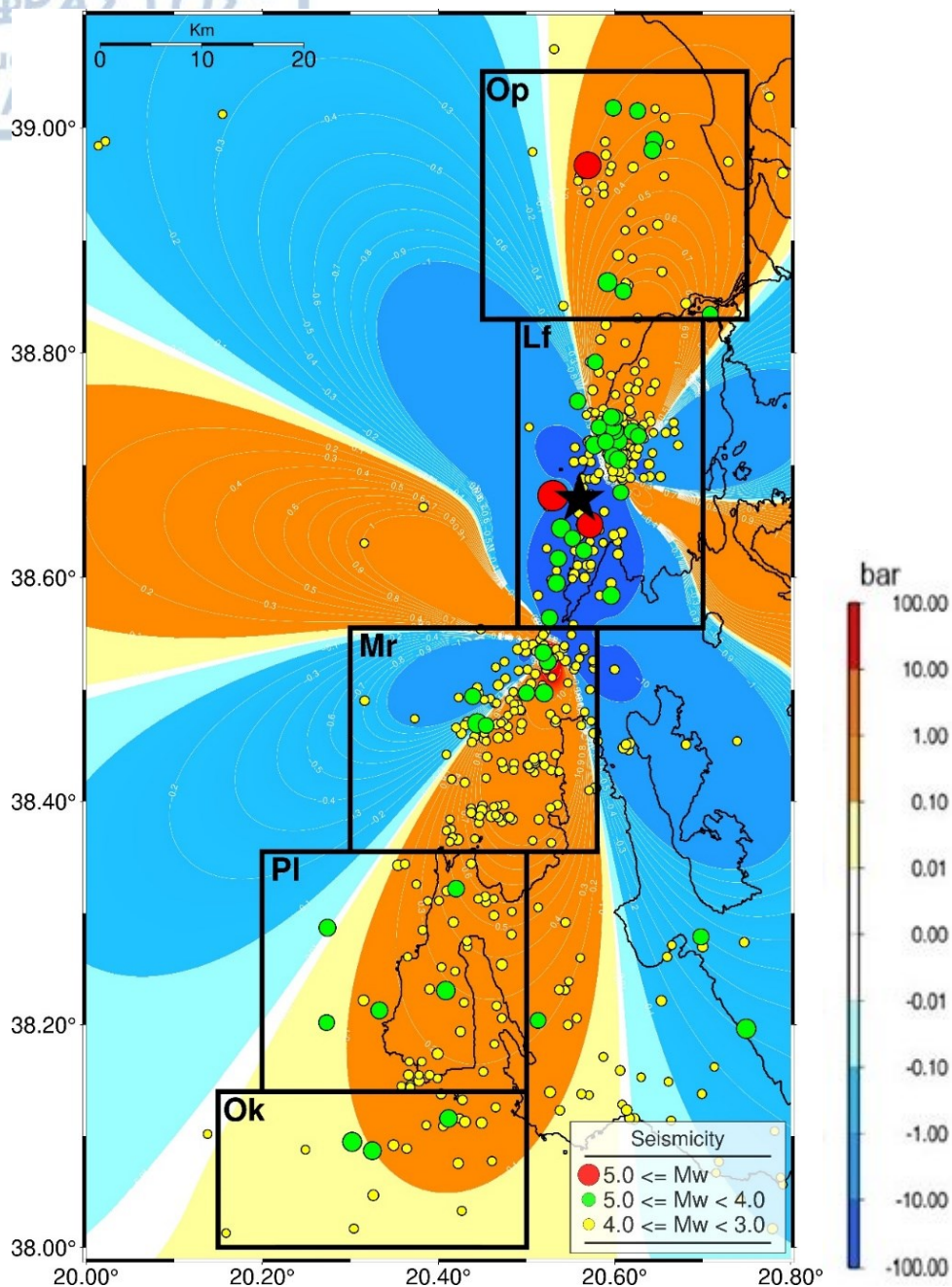
περιοχές με θετικές τιμές μεταβολών τάσεων Coulomb. Επομένως προκύπτει ότι και οι δύο σεισμοί του 2014 είχαν αξιοσημείωτη επίδραση στην σεισμικότητα της θαλάσσιας περιοχής ΝΔ της Κεφαλονιάς. Μέρος των σεισμικών εστιών βρίσκεται σε περιοχές με ακραίες αρνητικές τιμές ΔCFF , λόγω της εγγύτητας της υποπεριοχής στα άκρα του ρήγματος που συνδέεται με τον πρώτο σεισμό του 2014.



Σχήμα 3.42: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Οκ» μετά τον πρώτο σεισμό του 2014 της Κεφαλονιάς (Πάνω) και μετά τον δεύτερο σεισμό του 2014 (Κάτω) έως και τον Ιανουάριο του 2022, με μέγεθος $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης του τμήματος.

3.3.4 Σεισμός Λευκάδας 17-11-2015 ($M_w = 6.5$)

Στο σχήμα 3.43 φαίνονται οι τιμές της στατικής τάσης που οφείλονται στη σεισμική ολίσθηση του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015 καθώς και τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα όλων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ μετά το 2015 έως τον Ιανουάριο του 2022. Φαίνονται επίσης τα 5 τμήματα στα οποία χωρίστηκε η περιοχή μελέτης. Οι υπολογισμοί των ΔCFF έγιναν σε βάθος 8 km και για συντελεστή φαινόμενης τριβής ίσο με 0.4.



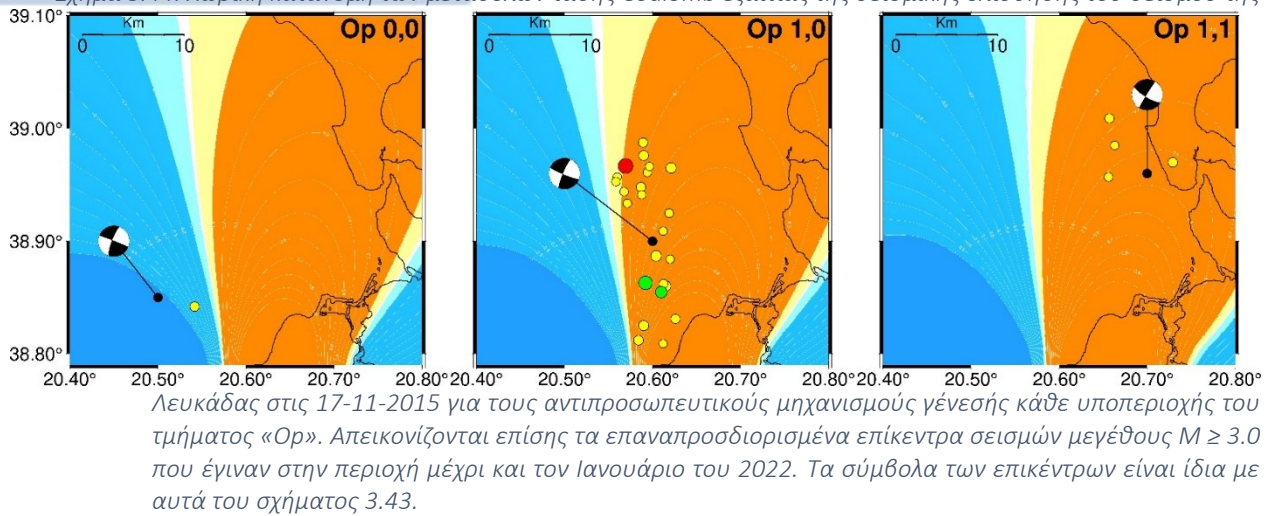
Σχήμα 3.43: Χωρική κατανομή των μεταβολών των τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015. Με μαύρο αστερίσκο απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού. Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα των σεισμών μεγέθους $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022 καθώς και τα 5 τμήματα στα οποία χωρίσθηκε η περιοχή.

- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας» (Op)

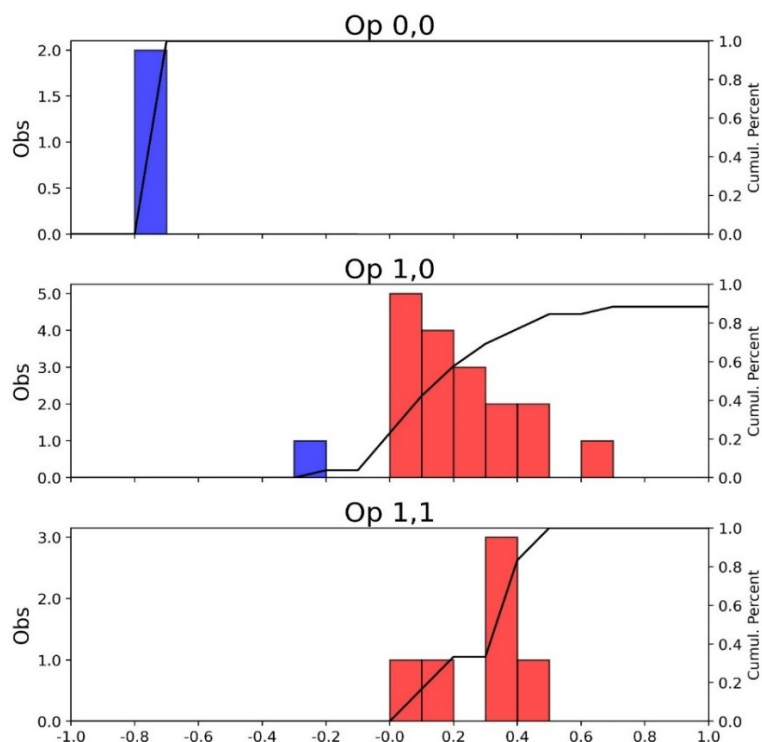
Οι μεταβολές του πεδίου τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2015, υπολογισμένες για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης των τριών υποπεριοχών του τμήματος παρουσιάζονται στο σχήμα 3.44. Παρατηρείται ότι στις υποπεριοχές (1,0) και (1,1) το μεγαλύτερο μέρος των επικέντρων βρίσκεται σε περιοχές θετικών

τιμών ΔCFF , ενώ τα επίκεντρα των δύο σεισμών που έγιναν στην υποπεριοχή (0,0) βρίσκονται σε περιοχή αρνητικών τιμών ΔCFF .

Σχήμα 3.44: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσης *Coulomb* εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της



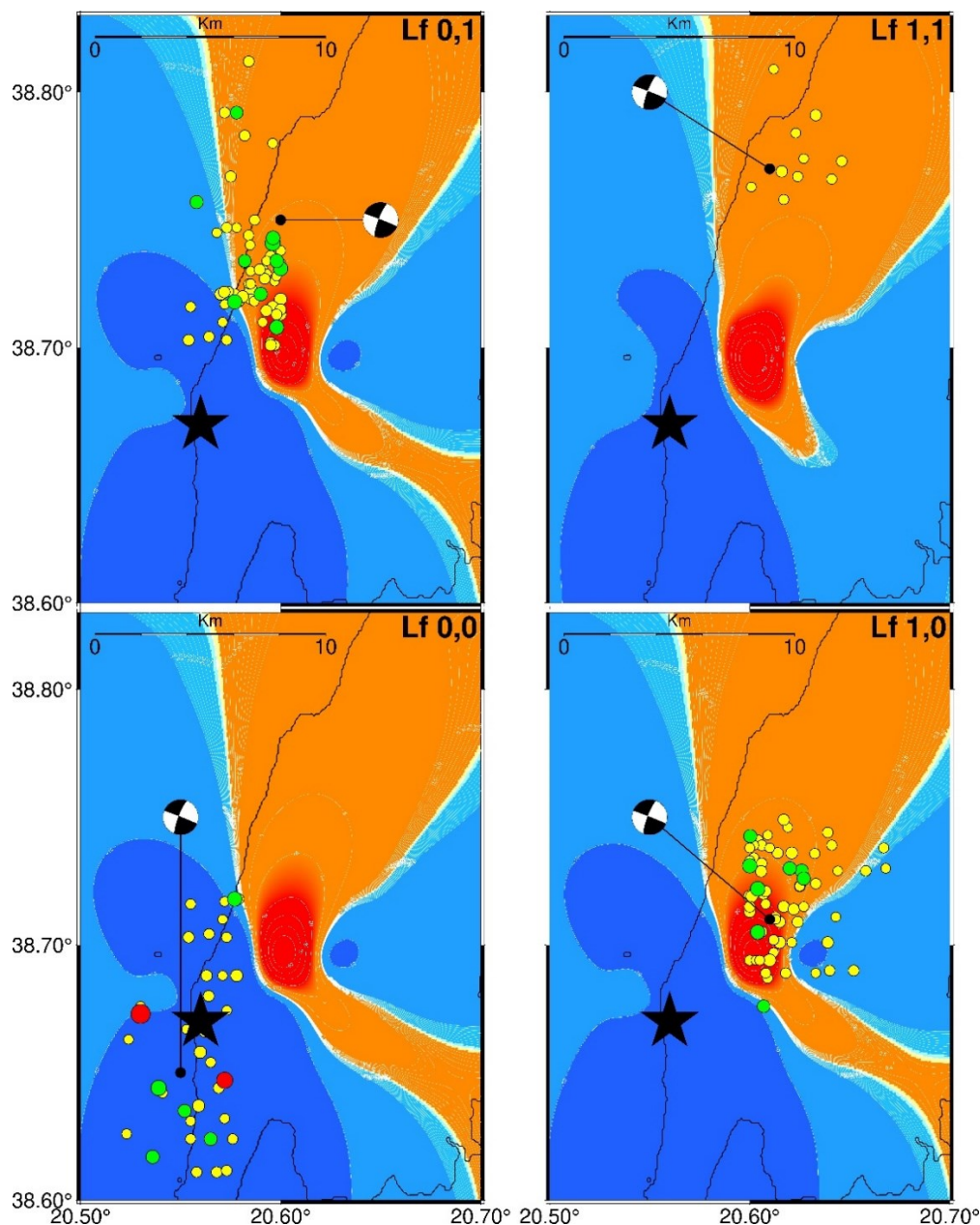
Στο σχήμα 3.45 φαίνονται τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού με $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στο τμήμα «Op» από το 2015 έως και το 2022. Στην υποπεριοχή (0,0), οι εστίες των 2 σεισμών βρίσκονται σε περιοχές αρνητικών τιμών ΔCFF . Στην υποπεριοχή (1,0), το 80% των σεισμικών εστιών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , με το 60% του συνόλου να έχει τιμές μεγαλύτερες του 0.1 bar. Στην υποπεριοχή (1,1) το σύνολο των εστιών βρίσκονται σε περιοχές θετικών τιμών ΔCFF , με το 80% αυτών σε περιοχές με τιμές μεγαλύτερες του 0.1 bar.



Σχήμα 3.45: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Op» μετά τον σεισμό του 2015 έως και τον Ιανουάριο του 2022, μεγέθους $M_w \geq 3.0$.

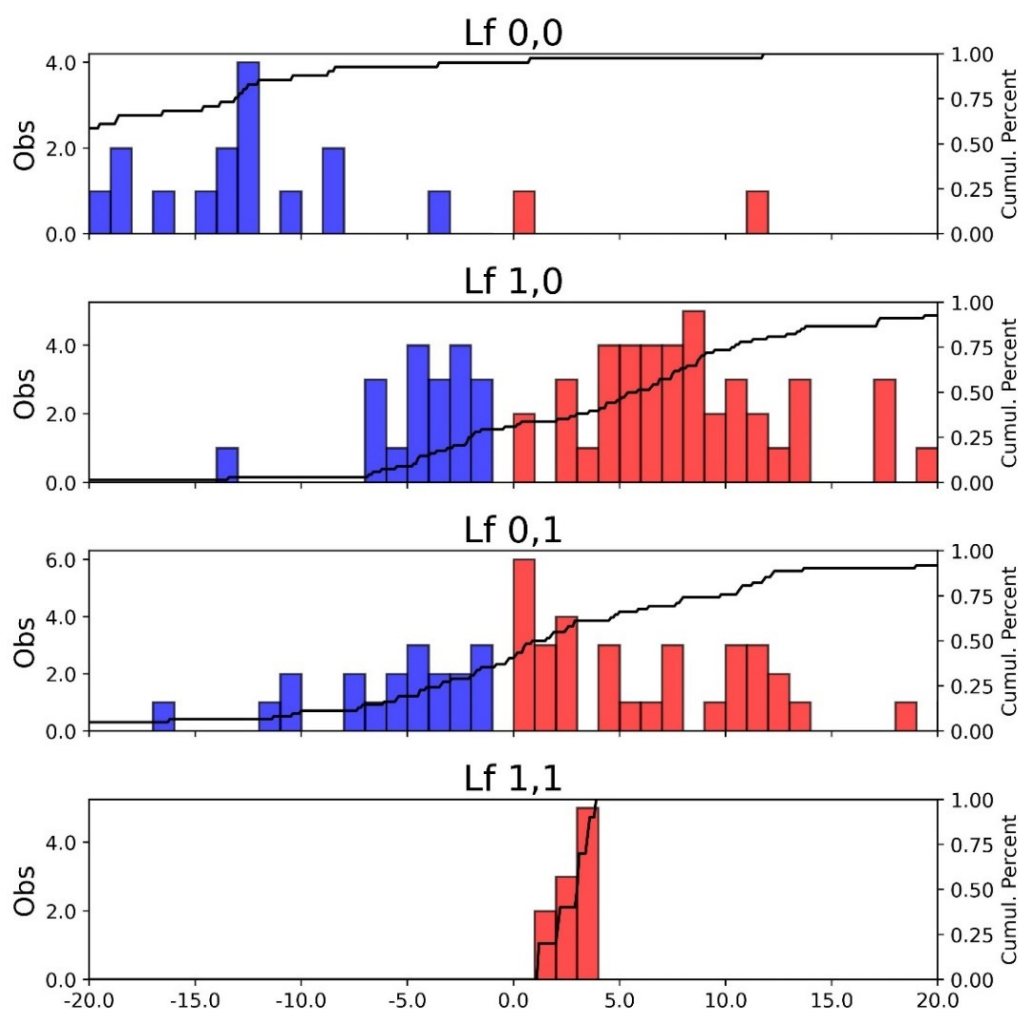
• Τμήμα «Λευκάδα» (Lf)

Στο σχήμα 3.46 φαίνονται οι μεταβολές των στατικών τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, υπολογισμένες για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης των τεσσάρων υποπεριοχών του τμήματος «Lf». Παρατηρείται ότι με εξαίρεση την υποπεριοχή (0,0), η σεισμικότητα στις υποπεριοχές (0,1), (1,0) και (1,1) περιορίζεται κατά κύριο λόγο σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF . Επιπλέον, το τμήμα «Lf» βρίσκεται στο βορειότερο άκρο του ρήγματος του σεισμού του 2015, με αποτέλεσμα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή να βρίσκονται σε περιοχές με ακραίες θετικές και αρνητικές τιμές ΔCFF .



Σχήμα 3.46: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Lf». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Με μαύρο αστέρι απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.43.

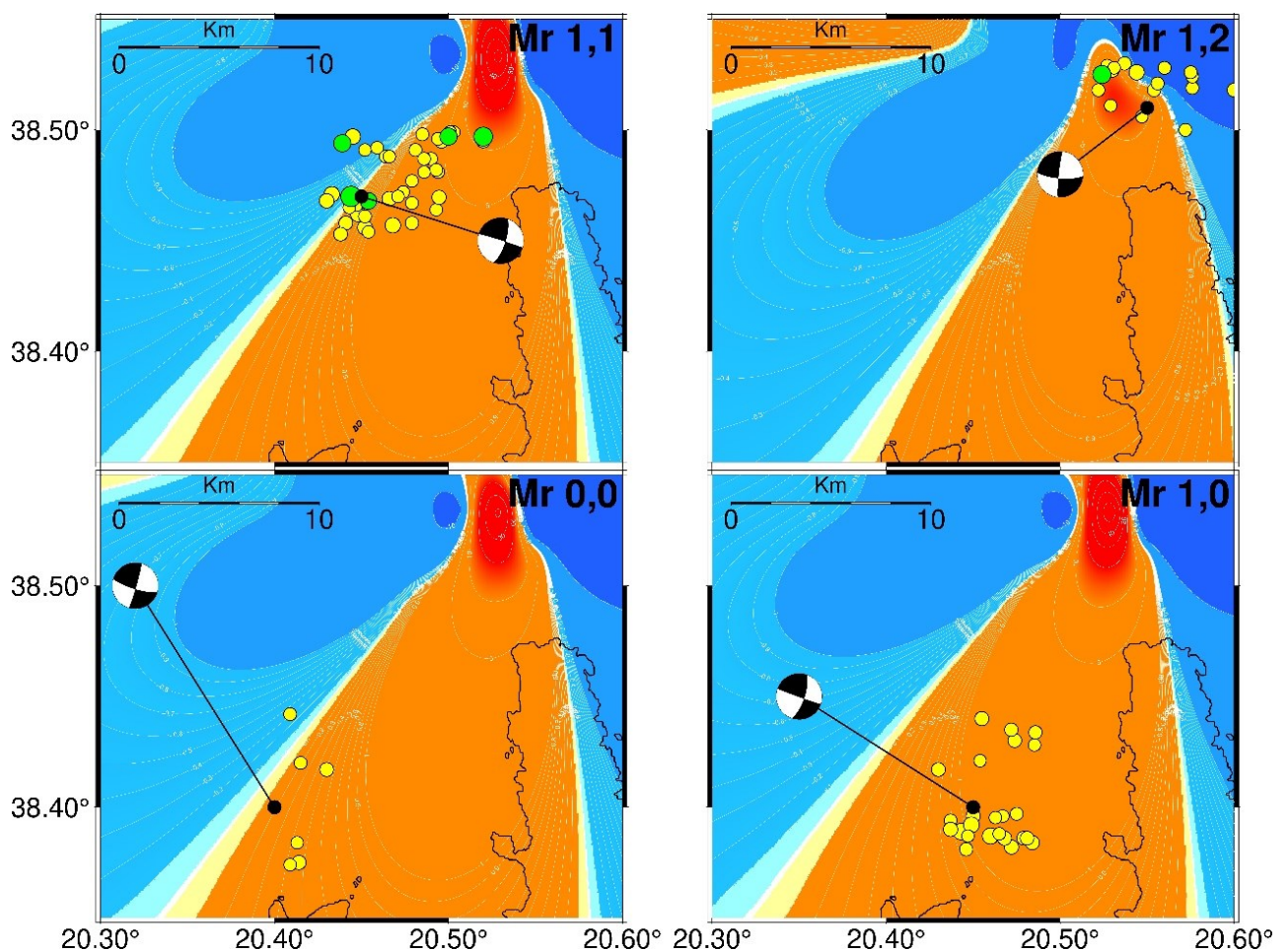
Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF στην εστία κάθε σεισμού με μέγεθος $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην περιοχή από το 2015 έως και το 2022 (σχήμα 3.47), φαίνεται ότι για τις υποπεριοχές (0,1) και (1,0), περισσότερο από το 75% των σεισμικών εστιών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF. Στην υποπεριοχή (1,1) το σύνολο των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF. Προκύπτει επομένως ότι η σεισμικότητα στις υποπεριοχές αυτές επηρεάστηκε και πιθανόν προκλήθηκε από τις μεταβολές του πεδίου τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015. Στην υποπεριοχή (0,0) σχεδόν το σύνολο των εστιών βρίσκεται σε περιοχές με πολύ χαμηλές αρνητικές τιμές ΔCFF (περίπου 90%) λόγω της κοντινής τους θέσης στα άκρα του ρήγματος. Από την παρουσία σεισμικότητας σε θέσεις με πολύ μεγάλη (σε απόλυτη τιμή) αρνητική ΔCFF, προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σκιερές ζώνες στην περιοχή. Η παρατήρηση σεισμικότητας σε περιοχές με πολύ χαμηλές αρνητικές τιμές ΔCFF συμφωνεί με παλαιότερα ερευνητικά αποτελέσματα (π.χ. Lasocki et al., 2009).



Σχήμα 3.47: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Lf» μετά τον σεισμό του 2015 έως και τον Ιανουάριο του 2022, μεγέθους $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής. Μέρος των παρατηρήσεων για την υποπεριοχή (0,0) βρίσκεται εκτός κλίμακας λόγω ακραίων τιμών αρνητικής ΔCFF.

- Τμήμα «Κόλπος Μύρτου» (Mr)

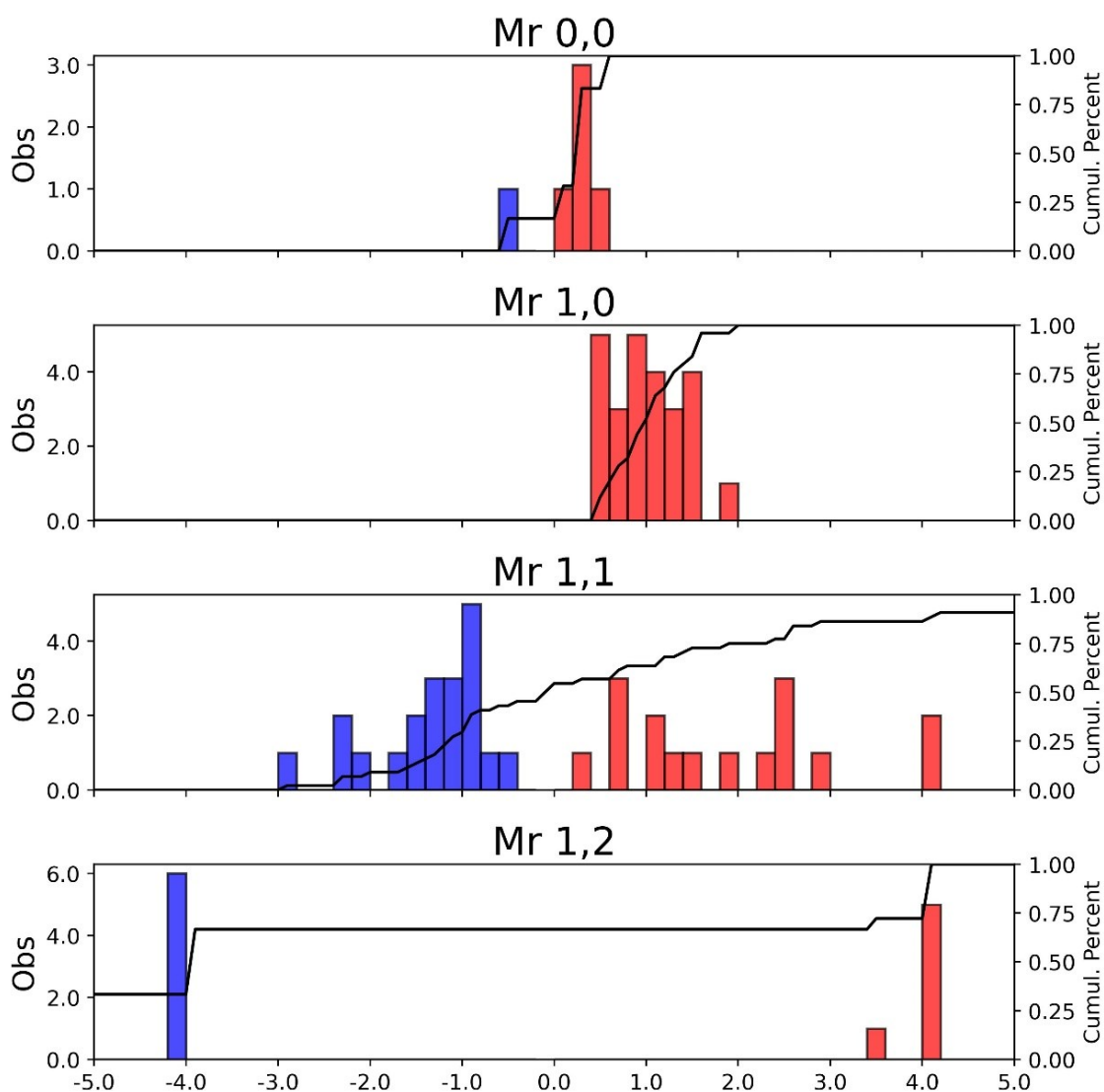
Στο σχήμα 3.46 φαίνονται οι μεταβολές των στατικών τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, υπολογισμένες για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης των τεσσάρων υποπεριοχών του τμήματος «Mr». Παρατηρείται ότι με εξαίρεση την υποπεριοχή (1,0) στην οποία το σύνολο των επικέντρων βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , ορισμένα από τα επίκεντρα των σεισμών στις υποπεριοχές (0,0), (1,1) και (1,2) βρίσκονται και σε περιοχές με αρνητικές τιμές ΔCFF . Μέρος του τμήματος «Mr» βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο του ρήγματος του σεισμού του 2015, με αποτέλεσμα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή να βρίσκονται σε περιοχές με ακραίες θετικές και αρνητικές τιμές ΔCFF , ιδιαίτερα στην υποπεριοχή (1,2).



Σχήμα 3.48: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης κάθε υποπεριοχής του τμήματος «Mr». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.43.

Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF για το τμήμα «Mr» (σχήμα 3.49), προκύπτει ότι για την υποπεριοχή (0,0), το μεγαλύτερο μέρος των εστιών (~75%) βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , μεγαλύτερες των 0.1 bar. Στην υποπεριοχή (1,0) το σύνολο των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF , με το 80% των εστιών να βρίσκονται σε

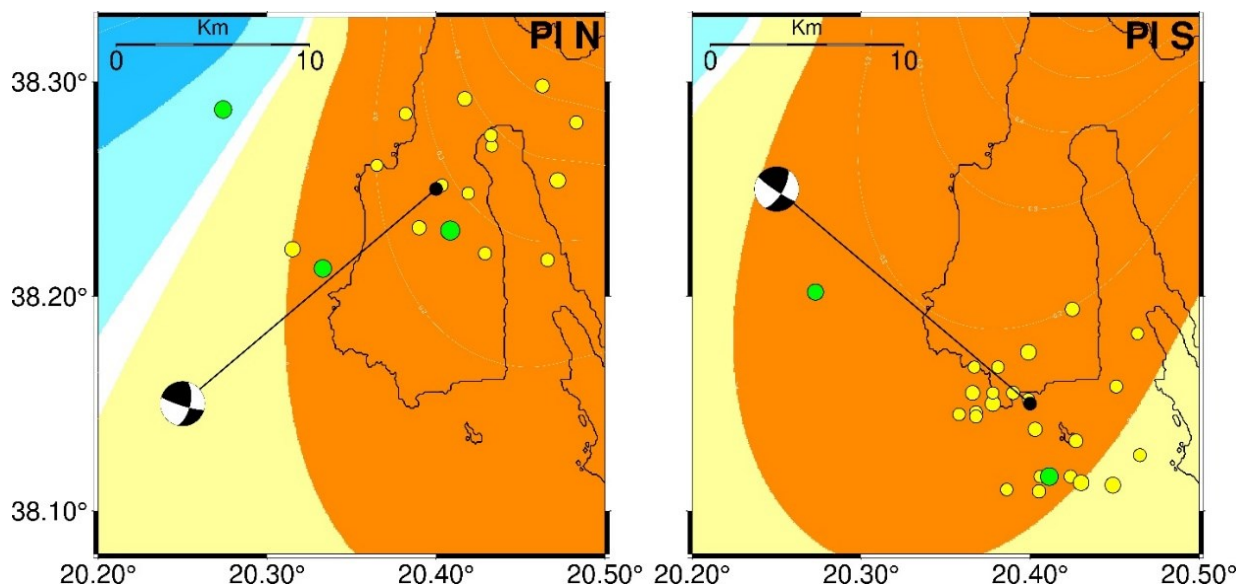
περιοχές με τιμές ΔCFF μεγαλύτερες των 0.1 bar. Στην υποπεριοχή (1,1) το 45% των εστιών βρίσκονται σε θέσεις με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF . Οι εστίες της υποπεριοχής (1,2) βρίσκονται σε περιοχές με ακραίες θετικές και αρνητικές τιμές ΔCFF , πιθανόν λόγω της εγγύτητας αυτών στα άκρα του ρήγματος, με το 25% αυτών να βρίσκονται σε θέσεις με πολύ υψηλές θετικές τιμές ΔCFF , μεγαλύτερες των 3 bar. Προκύπτει επομένως ότι η σεισμικότητα στον κόλπο του Μύρτου έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις μεταβολές του πεδίου τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2015, ιδιαίτερα για τις υποπεριοχές βόρεια της Κεφαλονιάς.



Σχήμα 3.49: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων *Coulomb* στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Mr» μετά τον σεισμό του 2015 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με $M_w \geq 3.0$. Οι μεταβολές τάσεων έχουν υπολογισθεί για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης κάθε υποπεριοχής. Μέρος των παρατηρήσεων για την υποπεριοχή (1,2) βρίσκεται εκτός κλίμακας λόγω ακραίων τιμών αρνητικής ΔCFF .

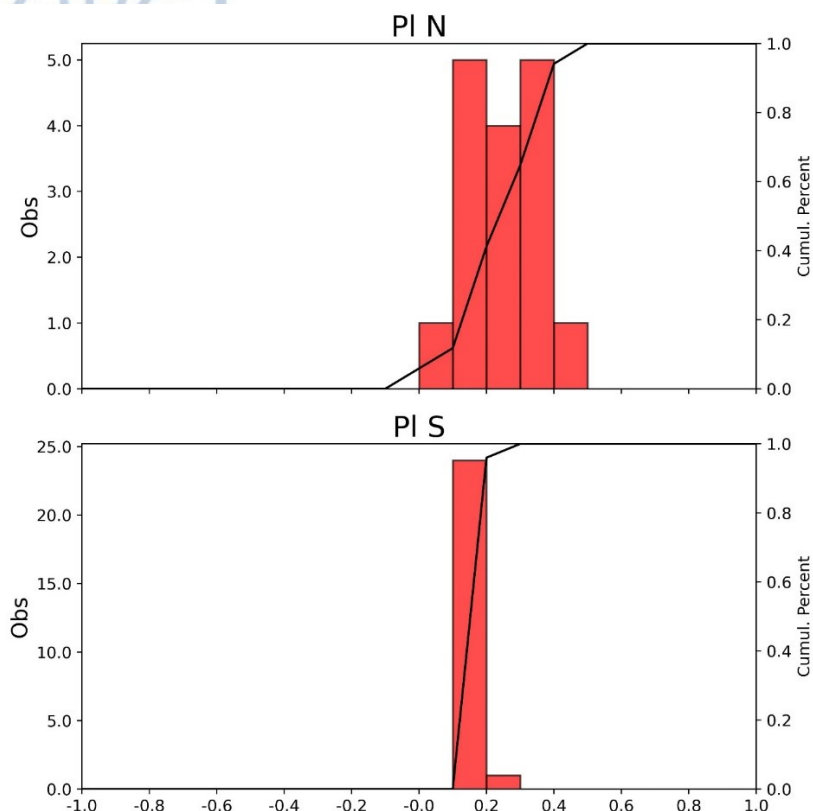
- Τμήμα «Χερσόνησος Παλικής» (PI)

Τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για τις 2 υποπεριοχές του τμήματος «PI» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, παρουσιάζονται στο σχήμα 3.50. Παρατηρείται ότι σχεδόν όλα τα επίκεντρα των σεισμών και στις 2 υποπεριοχές βρίσκονται σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF. Το τμήμα «PI», αν και βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από το ρήγμα του σεισμού της Λευκάδας, δέχθηκε υψηλές θετικές τιμές ΔCFF. Οι τιμές της ΔCFF, αν και μικρότερες από τις τιμές στα τμήματα «Lf» και «Mg», εξακολουθούν να είναι αρκετά υψηλές ώστε να προκαλέσουν σεισμικότητα.



Σχήμα 3.50: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015 για τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσής των υποπεριοχών «βόρεια Παλική» (αριστερά) και «νότια Παλική» (δεξιά) του τμήματος «PI». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών $M_w \geq 3.0$ που έγιναν στην, μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.43.

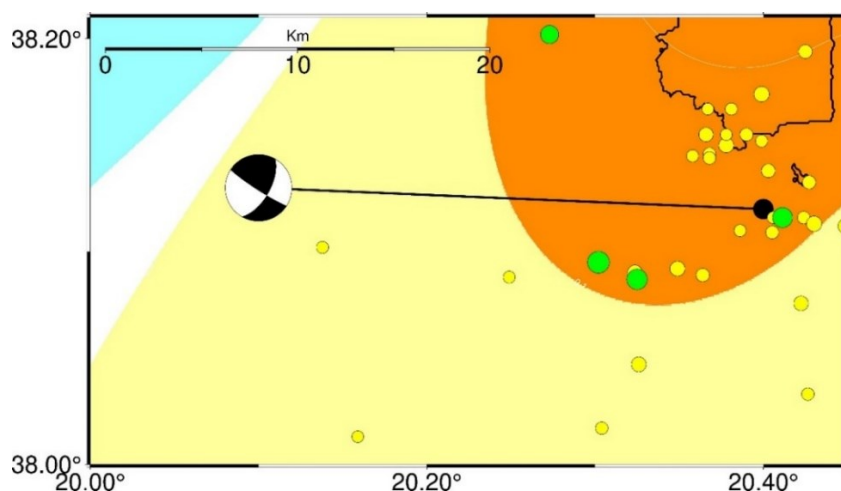
Από τα ιστογράμματα των τιμών ΔCFF για το τμήμα «PI» (σχήμα 3.51), προκύπτει ότι για την υποπεριοχή της βόρειας Παλικής (N), το σύνολο των εστιών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF, με το 80% αυτών να βρίσκεται σε περιοχές με τιμές μεγαλύτερες των 0.1 bar. Στην υποπεριοχή της νότιας Παλικής (S) το σύνολο των εστιών βρίσκονται επίσης σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF, με το 90% των εστιών να βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ των 0.1 bar και 0.2 bar, ενώ το υπόλοιπο 10% των εστιών βρίσκεται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF μεταξύ των 0.2 bar και 0.3 bar. Προκύπτει επομένως ότι η σεισμικότητα στην χερσόνησο της Παλικής (Τμήμα «PI») έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις μεταβολές του πεδίου τάσεων εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας το 2015.



Σχήμα 3.51: Ιστογράμματα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «PI» μετά τον σεισμό του 2015 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με $M_w \geq 3.0$, υπολογισμένες για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό κάθε υποπεριοχής.

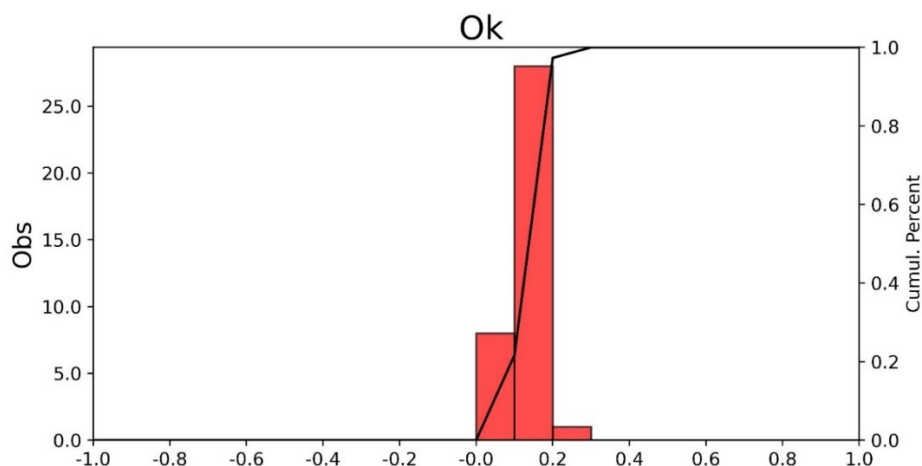
- Τμήμα «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς» (Ok)

Τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβολών τάσεων Coulomb για το τμήμα «Ok» εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας φαίνονται στο σχήμα 3.52. Όλα τα επίκεντρα των σεισμών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , παρά την απόσταση του τμήματος «Ok» από το ρήγμα του σεισμού της Λευκάδας.



Σχήμα 3.52: Χωρική κατανομή των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας στις 17-11-2015, για τον αντιπροσωπευτικό μηχανισμό γένεσης του τμήματος «Ok». Απεικονίζονται επίσης τα επαναπροσδιορισμένα επίκεντρα σεισμών που έγιναν στην περιοχή μέχρι και τον Ιανουάριο του 2022. Τα σύμβολα των επικέντρων είναι ίδια με αυτά του σχήματος 3.43.

Το ιστόγραμμα των τιμών ΔCFF στις θέσεις των εστιών για το τμήμα «Ok» παρουσιάζεται στο σχήμα 3.53. Το σύνολο των εστιών των σεισμών βρίσκονται σε περιοχές με θετικές τιμές ΔCFF , με το 20% αυτών να βρίσκονται σε περιοχές με τιμές ΔCFF μεταξύ 0.01 bar και 0.1 bar, ενώ το 70% αυτών βρίσκονται σε περιοχές με τιμές μεταξύ 0.1 bar και 0.2 bar. Το 10% των εστιών του τμήματος βρίσκεται σε περιοχές με τιμές ΔCFF μεταξύ 0.2 bar και 0.3 bar. Προκύπτει επομένως ότι οι σεισμοί που έγιναν στο τμήμα «Ok» πιθανόν προκλήθηκαν από τις μεταβολές CFF που προκλήθηκαν από την σεισμική ολίσθηση του σεισμού της Λευκάδας το 2015.



Σχήμα 3.53: Ιστόγραμμα των μεταβολών τάσεων Coulomb στις εστίες των σεισμών που έγιναν στο τμήμα «Ok» μετά τον σεισμό του 2015 έως και τον Ιανουάριο του 2022, με $M_w \geq 3.0$.

4^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση πρόκλησης σεισμικότητας σε περιοχές με θετικές μεταβολές τάσεων Coulomb, οι οποίες οφείλονται στη σεισμική ολίσθηση ισχυρών ($M_w \geq 6.0$) σεισμών στην περιοχή του κεντρικού Ιονίου από το 2003 έως σήμερα. Ο υπολογισμός των μεταβολών των τάσεων γίνεται σύμφωνα με συγκεκριμένο τύπο διάρρηξης που χαρακτηρίζει κάθε υποπεριοχή της περιοχής μελέτης και ο οποίος προέκυψε από την εκτέλεση αντιστροφών πεδίου τάσεων για κάθε υποπεριοχή. Βασική προϋπόθεση για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων αποτέλεσε η χρήση αντίστοιχα αξιόπιστων δεδομένων (μηχανισμοί γένεσης, επαναπροσδιορισμένες εστιακές παράμετροι, γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά ρηγμάτων) για τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Μετά από τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στο πρώτο τμήμα της περιοχής μελέτης (Θαλάσσια περιοχή Δ της Πρέβεζας, «Op») παρατηρήθηκε μικρή κανονική συνιστώσα στις υποπεριοχές (0,0) και (1,1) από τα αποτελέσματα των αντιστροφών, σύμφωνα και με τις τιμές της ποσότητας R (Relative stress magnitude) για τις δυο υποπεριοχές. Επιπλέον, η υποπεριοχή (1,1) παρουσιάζει περιστροφή του κύριου άξονα συμπίεσης (P), από BA-ND σε σχεδόν A-Δ διεύθυνση. Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στις μεταβατικές δομές στην περιοχή που παρουσιάζουν διαφορές από τις ρηξιγενείς δομές της KTFZ αλλά και την ύπαρξη κανονικής συνιστώσας σε μηχανισμούς της περιοχής (Kostoglou et al., 2020).
- Στο δεύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης (Λευκάδα, «Lf»), αποκλίσεις από το ισχύον καθεστώς τάσης οριζόντιας μετατόπισης παρατηρήθηκαν κατά τις αντιστροφές των μηχανισμών γένεσης στην υποπεριοχή (1,1), στο BA τμήμα του νησιού. Οι περιστροφές των κυρίων συνιστωσών τάσης και η μεταβολή στις τιμές R, υποδεικνύουν την ύπαρξη ισχυρής ανάστροφης συνιστώσας στην υποπεριοχή και πιθανές ρηξιγενείς δομές με ανάστροφο χαρακτήρα.
- Στο τρίτο τμήμα της περιοχής μελέτης (Κόλπος Μύρτου, «Mr») τα αποτελέσματα των αντιστροφών δείχνουν μια αριστερόστροφη περιστροφή του κύριου άξονα συμπίεσης (P) στην υποπεριοχή (1,2) από ABA-ΔΝΔ σε BA – ΝΔ διεύθυνση. Η υποπεριοχή (1,2) αντιστοιχεί στην περιοχή μικρότερων ρηγμάτων ABA-ΔΝΔ διεύθυνσης που αποτελεί τη ζώνη μετάβασης μεταξύ του βόρειου και του νότιου κλάδου της ζώνης Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς. Οι μικρότερες αυτές δομές ακολουθούν τη διεύθυνση του άξονα P στην υποπεριοχή και βάσει των τιμών R που υπολογίσθηκαν, εμφανίζουν ανάστροφη συνιστώσα.
- Στο τέταρτο τμήμα της περιοχής μελέτης (Χερσόνησος Παλικής, «Pl»), τα αποτελέσματα των αντιστροφών υποδεικνύουν την ύπαρξη μικρής κανονικής συνιστώσας στα δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης της Βόρειας Παλικής. Επιπλέον, βρέ-

Θηκε ότι η διεύθυνση του άξονα μέγιστης συμπίεσης (P) στην περιοχή της Νότιας Παλικής περιστρέφεται δεξιόστροφα, λαμβάνοντας μια σχεδόν Δ-Α διεύθυνση που διαφέρει από την ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνση της Βόρειας Παλικής.

- Στο πέμπτο τμήμα της περιοχής μελέτης (Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς, «Οκ»), τα αποτελέσματα των αντιστροφών δείχνουν ότι ο άξονας μέγιστης συμπίεσης (P) έχει προσανατολισμό σχεδόν Α-Δ, παρόμοιο με τον προσανατολισμό της Νότιας Παλικής. Τα χαρακτηριστικά των συνιστωσών σ_2 και σ_3 παρουσιάζουν αβεβαιότητα σε αυτήν την περιοχή, εξαιτίας του μικρού αριθμού δεδομένων μηχανισμών γένεσης.
- Από την μελέτη των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας (14-08-2003, $M_w = 6.2$) και τους υπολογισμούς της χωρικής κατανομής αυτών σύμφωνα με τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης όλων των υποπεριοχών, βρέθηκε ότι η σεισμικότητα στο κεντρικό Ιόνιο επηρεάστηκε από τον σεισμό αυτόν και τις μεταβολές που επέφερε στο πεδίο των τάσεων, εντονότερα στα τμήματα νότια της Λευκάδας.
- Από την αντίστοιχη μελέτη για το ζεύγος σεισμών της Κεφαλονιάς (26-01-2014, $M_w = 6.1$ και 03-02-2014, $M_w = 6.0$), βρέθηκε ότι η επίδραση των ΔCFF εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης των δύο σεισμών ήταν σημαντική στην σεισμικότητα των τμημάτων μελέτης «Κόλλπος Μύρτου», «Χερσόνησος Παλικής» και «Θαλάσσια περιοχή ΝΔ της Κεφαλονιάς». Η πλειονότητα των εστιών σεισμών που έγιναν σε αυτές τις περιοχές βρισκόταν σε θέσεις με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF. Οι τιμές ΔCFF στα τμήματα «Λευκάδα» και «Θαλάσσια περιοχή δυτικά της Πρέβεζας» ήταν θετικές, όμως σημαντικά μικρότερες από τις τιμές στο νότιο κλάδο όπου και έγινε το ζεύγος σεισμών του 2014.
- Τέλος από την μελέτη των μεταβολών τάσεων Coulomb εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας (17-11-2015, $M_w = 6.5$) και τους υπολογισμούς της χωρικής κατανομής αυτών σύμφωνα με τους αντιπροσωπευτικούς μηχανισμούς γένεσης όλων των υποπεριοχών, προκύπτει ότι η πρόσφατη σεισμικότητα στο κεντρικό Ιόνιο (2015-2022) επηρεάστηκε σημαντικά από τις μεταβολές CFF εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης του σεισμού της Λευκάδας του 2015. Στις περισσότερες υποπεριοχές, η πλειονότητα των σεισμικών εστιών έγιναν σε περιοχές με υψηλές θετικές τιμές ΔCFF. Ο σεισμός της Λευκάδας στις 17-11-2015 ήταν ισχυρότερος από τους προηγούμενους σεισμούς που μελετήθηκαν και το γεγονός αυτό φαίνεται από την παρουσία υψηλών θετικών τιμών ΔCFF σε όλα τα τμήματα της περιοχής μελέτης.



Βιβλιογραφία

- Angelier, J. (1979). Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56(3–4), T17–T26. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90081-7)
- Aristotle University of Thessaloniki. (1981). Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University of Thessaloniki. In *International Federation of Digital Seismograph Networks*. <https://doi.org/10.7914/SN/HT>
- Baker, C., Hatzfeld, D., Lyon-Caen, H., Papadimitriou, E., & Rigo, A. (1997). Earthquake mechanisms of the Adriatic Sea and Western Greece: implications for the oceanic subduction-continental collision transition. *Geophysical Journal International*, 131(3), 559–594. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb06600.x>
- Beeler, N. M., Simpson, R. W., Hickman, S. H., & Lockner, D. A. (2000). Pore fluid pressure, apparent friction, and Coulomb failure. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B11), 25533–25542. <https://doi.org/10.1029/2000JB900119>
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Papazachos, C., & Karakaisis, G. (2004). Focal mechanisms of shallow and intermediate depth earthquakes along the Hellenic Arc. *Journal of Geodynamics*, 37(2), 253–296. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2004.02.002>
- 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 of the aftershock sequence. *Journal of Seismology*, 9(2), 171–190. <https://doi.org/10.1007/s10950-005-7092-1>
- Briole, P., Ganas, A., Elias, P., & Dimitrov, D. (2021). The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model. *Geophysical Journal International*, 226(1), 468–492. <https://doi.org/10.1093/gji/ggab089>
- Byerlee, J. (1978). Friction of Rocks. In *Rock Friction and Earthquake Prediction* (pp. 615–626). Birkhäuser Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7182-2_4
- Byerlee, J. D. (1967). Frictional characteristics of granite under high confining pressure. *Journal of Geophysical Research*, 72(14), 3639–3648. <https://doi.org/10.1029/JZ072i014p03639>
- Scholz C. (2002). *The mechanics of earthquakes and faulting* (Vol. 439). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316681473>
- Deng, J., & Sykes, L. R. (1997). Evolution of the stress field in southern California and triggering of moderate-size earthquakes: A 200-year perspective. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B5), 9859–9886. <https://doi.org/10.1029/96jb03897>
- Dieterich, J. H., & Conrad, G. (1984). Effect of humidity on time- and velocity-dependent friction in rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B6), 4196–4202. <https://doi.org/10.1029/JB089iB06p04196>

- Dziewonski, A. M., Chou, T. -A., & Woodhouse, J. H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B4), 2825–2852. <https://doi.org/10.1029/JB086iB04p02825>
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A. M. (2012). The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200–201, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>
- Erickson, L. (1986). *User's manual for DIS3D: A three-dimensional dislocation program with applications to faulting in the Earth*. Stanford University.
- ETH Zurich. (1986). Swiss Seismological Service (SED). In *National Seismic Networks of Switzerland*, ETH Zürich. <https://doi.org/10.12686/SED/NETWORKS/CH>
- Galanopoulos, A. (1953). On the intermediate earthquakes in Greece*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 43(2), 159–178. <https://doi.org/10.1785/BSSA0430020159>
- Galanopoulos, A. G. (1950). Die Seismizität der Insel Leukas. *Gerl. Beitr. Geophys*, 63, 1–15.
- Galanopoulos, A. G. (1963). On mapping of seismic activity in Greece. *Ann. Geofis*, 16(1), 37–100.
- GEOFON seismic network. (1993). GEOFON Data Centre . *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ*. <http://doi.org/10.14470/TR560404>
- Hardebeck, J. L., & Michael, A. J. (2006). Damped regional-scale stress inversions: Methodology and examples for southern California and the Coalinga aftershock sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(11). <https://doi.org/10.1029/2005JB004144>
- Harris, R. A. (1998a). Introduction to Special Section: Stress Triggers, Stress Shadows, and Implications for Seismic Hazard. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24347–24358. <https://doi.org/10.1029/98JB01576>
- Harris, R. A. (1998b). Introduction to Special Section: Stress Triggers, Stress Shadows, and Implications for Seismic Hazard. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24347–24358. <https://doi.org/10.1029/98JB01576>
- Harris, R. A., & Simpson, R. W. (1996). In the shadow of 1857-the effect of the Great Ft. Tejon Earthquake on subsequent earthquakes in southern California. *Geophysical Research Letters*, 23(3), 229–232. <https://doi.org/10.1029/96GL00015>
- 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. <https://doi.org/10.1029/95TC00839>
- Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F., Ziegler, M. O., Zoback, M. Lou, & Zoback, M. (2018). The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. In *Tectonophysics* (Vol. 744, pp. 484–498). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>

- Kahle, H.-G., Müller, M. V., Geiger, A., Danuser, G., Mueller, S., Veis, G., Billiris, H., & Paradissis, D. (1995). The strain field in northwestern Greece and the Ionian Islands: results inferred from GPS measurements. *Tectonophysics*, 249(1–2), 41–52. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00042-L](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00042-L)
- Karakostas, V. (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. <https://doi.org/10.1785/012003254>
- Karakostas, V. G., & Papadimitriou, E. E. (2010). Fault complexity associated with the 14 August 2003 Mw6.2 Lefkada, Greece, aftershock sequence. *Acta Geophysica*, 58(5), 838–854. <https://doi.org/10.2478/s11600-010-0009-6>
- Karakostas, V. G., Papadimitriou, E. E., Karakaisis, G. F., Papazachos, C. B., Scordilis, E. M., Vargemezis, G., & Aidona, E. (2003). The 2001 Skyros, Northern Aegean, Greece, earthquake sequence: off - fault aftershocks, tectonic implications, and seismicity triggering. *Geophysical Research Letters*, 30(1), 12-1-12–14. <https://doi.org/10.1029/2002GL015814>
- Karakostas, V., Papadimitriou, E., Mesimeri, M., Gkaraouni, C., & Paradisopoulou, P. (2015). The 2014 Kefalonia Doublet (MW6.1 and MW6.0), Central Ionian Islands, Greece: Seismotectonic Implications along the Kefalonia Transform Fault Zone. *Acta Geophysica*, 63(1), 1–16. <https://doi.org/10.2478/s11600-014-0227-4>
- King G., Stein R., & Lin Jian. (1994). Static Stress Changes and the Triggering of Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(3), 935–953.
- Kostoglou, A., Karakostas, V., Bountzis, P., & Papadimitriou, E. (2020). The February-March 2019 seismic swarm offshore north Lefkada Island, Greece: Microseismicity analysis and geodynamic implications. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(13). <https://doi.org/10.3390/app10134491>
- Lasocki, S., Karakostas, V. G., & Papadimitriou, E. E. (2009). Assessing the role of stress transfer on aftershock locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B11). <https://doi.org/10.1029/2008JB006022>
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., & Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7), 12675–12690. <https://doi.org/10.1029/95JB00317>
- Lin, J., & Stein, R. S. (2004). Stress triggering in thrust and subduction earthquakes and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B2). <https://doi.org/10.1029/2003JB002607>
- Locati, M., Rovida, A., Albin, P., & Stucchi, M. (2014). The ahead portal: A gateway to european historical earthquake data. *Seismological Research Letters*, 85(3), 727–734. <https://doi.org/10.1785/0220130113>

- Louvari, E., Kiratzi, A. A., & Papazachos, B. C. (1999). The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece). In *Tectonophysics* (Vol. 308). www.elsevier.com/locate/tecto [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00078-5)
- Lund, B., Schmidt, P., Hossein Shomali, Z., & Roth, M. (2021). The Modern Swedish National Seismic Network: Two Decades of Intraplate Microseismic Observation. *Seismological Research Letters*, 92(3), 1747–1758. <https://doi.org/10.1785/0220200435>
- Martínez-Garzón, P., Kwiatak, G., Ickrath, M., & Bohnhoff, M. (2014). MSATSI: A MATLAB package for stress inversion combining solid classic methodology, a new simplified user-handling, and a visualization tool. *Seismological Research Letters*, 85(4), 896–904. <https://doi.org/10.1785/0220130189>
- Masse, R. P., & Needham, R. E. (1989). NEIC - the National Earthquake Information Center. *Earthquakes & Volcanoes (USGS)*, 4–44.
- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine--Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217–254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1978.tb04759.x>
- McKenzie, D. P. (1970). Plate Tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226(5242), 239–243. <https://doi.org/10.1038/226239a0>
- Michael, A. J. (1984). Determination of stress from slip data: faults and folds. *Journal of Geophysical Research*, 89(B13), 11517–11526. <https://doi.org/10.1029/JB089iB13p11517>
- Nalbant, S. S., Hubert, A., & King, G. C. P. (1998). Stress coupling between earthquakes in north-west Turkey and the north Aegean Sea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24469–24486. <https://doi.org/10.1029/98JB01491>
- National Observatory of Athens, I. of G. (1975). *National Observatory of Athens Seismic Network [Data set]*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1785/0120110319>
- Nostro, C. (2005). Coulomb stress changes caused by repeated normal faulting earthquakes during the 1997 Umbria-Marche (central Italy) seismic sequence. *Journal of Geophysical Research*, 110(B5), B05S20. <https://doi.org/10.1029/2004JB003386>
- Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(2), 1018–1040. <https://doi.org/10.1785/BSSA0820021018>
- Papadimitriou, E. E. (1993). Focal mechanism along the convex side of the Hellenic arc. *Bolletino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 35(140), 401–426.
- Papadimitriou, E. E. (2002). Mode of Strong Earthquake Recurrence in the Central Ionian Islands (Greece): Possible Triggering due to Coulomb Stress Changes Generated by the Occurrence of Previous Strong Shocks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(8), 3293–3308. <https://doi.org/10.1785/0120000290>

- 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. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1601-3>
- Papazachos, B. C., & Comninakis, P. E. (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean Arc. *Journal of Geophysical Research*, 76(35), 8517–8533. <https://doi.org/10.1029/JB076i035p08517>
- Papazachos, B. C., Comninakis, P. E., Scordilis, E. M., Karakaisis, G. F., & Papazachos, C. B. (2010). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 – 2010. *Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki*.
- Papazachos, B. C., Karakostas, V. G., Papazachos, C. B., & Scordilis, E. M. (2000). The geometry of the Wadati–Benioff zone and lithospheric kinematics in the Hellenic arc. *Tectonophysics*, 319(4), 275–300. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00299-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00299-1)
- Papazachos, B. C., Kiratzi, A. A., Hatzidimitriou, P. M., & Rocca, A. C. (1984). Seismic faults in the Aegean area. *Tectonophysics*, 106(1–2), 71–85. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90222-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90222-1)
- Papazachos, B. C., & Papazachou, C. (2003). *The earthquakes of Greece*. Ziti publications.
- Parsons, T. (2005). Significance of stress transfer in time-dependent earthquake probability calculations. *Journal of Geophysical Research*, 110(B5), B05S02. <https://doi.org/10.1029/2004JB003190>
- Parsons, T., Stein, R. S., Simpson, R. W., & Reasenber, P. A. (1999). Stress sensitivity of fault seismicity: A comparison between limited-offset oblique and major strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B9), 20183–20202. <https://doi.org/10.1029/1999JB900056>
- Pondrelli, S. (2002). *European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors Catalog (RCMT) [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Pondrelli, S., Morelli, A., & Ekström, G. (2004). European-Mediterranean regional centroid-moment tensor catalog: solutions for years 2001 and 2002. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 145(1–4), 127–147. <https://doi.org/10.1016/J.PEPI.2004.03.008>
- Pondrelli, S., Salimbeni, S., Morelli, A., Ekström, G., & Boschi, E. (2007). European–Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalog: Solutions for years 2003 and 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 164(1–2), 90–112. <https://doi.org/10.1016/J.PEPI.2007.05.004>
- Pondrelli, S., Salimbeni, S., Morelli, A., Ekström, G., Postpischl, L., Vannucci, G., & Boschi, E. (2011). European–Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalog: Solutions for 2005–2008. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 185(3–4), 74–81. <https://doi.org/10.1016/J.PEPI.2011.01.007>

Quinteros, J., Strollo, A., Evans, P. L., Hanka, W., Heinloo, A., Hemmleb, S., Hillmann, L., Jaeckel, K.-H., Kind, R., Saul, J., Zieke, T., & Tilmann, F. (2021). The GEOFON Program in 2020. *Seismological Research Letters*, 92(3), 1610–1622. <https://doi.org/10.1785/0220200415>

Reasenbergs, P. A., & Simpson, R. W. (1992). Response of Regional Seismicity to the Static Stress Change Produced by the Loma Prieta Earthquake. *Science*, 255(5052), 1687–1690. <https://doi.org/10.1126/science.255.5052.1687>

Rice, J. R., & Cleary, M. P. (1976). Some basic stress diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media with compressible constituents. *Reviews of Geophysics*, 14(2), 227. <https://doi.org/10.1029/RG014i002p00227>

Scordilis, E. M., Karakaisis, G. F., Karacostas, B. G., Panagiotopoulos, D. G., Comninakis, P. E., & Papazachos, B. C. (1985). Evidence for transform faulting in the Ionian sea: The Cephalonia island earthquake sequence of 1983. *Pure and Applied Geophysics PAGEOPH*, 123(3), 388–397. <https://doi.org/10.1007/BF00880738>

Stein, R. S. (1999). The role of stress transfer in earthquake occurrence. *Nature*, 402(6762), 605–609. <https://doi.org/10.1038/45144>

Steketee, J. A. (1958). ON VOLTERRA'S DISLOCATIONS IN A SEMI-INFINITE ELASTIC MEDIUM. *Canadian Journal of Physics*, 36(2), 192–205. <https://doi.org/10.1139/p58-024>

Toda, S., Stein, R. S., Reasenbergs, P. A., Dieterich, J. H., & Yoshida, A. (1998). Stress transferred by the 1995 $M_w = 6.9$ Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24543–24565. <https://doi.org/10.1029/98JB00765>

Townend J., & Zoback D. M. (2001). Implications of earthquake focal mechanisms for the frictional strength of the San Andreas fault system. *Geological Society, London, Special Publications*, 186, 13–21. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.186.01.02>

Zoback, M. Lou. (1992). First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B8), 11703–11728. <https://doi.org/10.1029/92JB00132>

Κουρούκλας, Χ. (2011). Μελέτη της σεισμικής ακολουθίας του 2007 στη βόρεια Κεφαλλονιά (Μάρτιος – Σεπτέμβριος). (Πτυχιακή εργασία) Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Παράρτημα: Δεδομένα μηχανισμών γένεσης

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
1	17/9/1972	20.3000	38.3000	8	45	68	-174	6.3	1
2	24/6/1981	20.1000	37.8700	20	27	60	171	5.2	2
3	28/6/1981	20.0990	37.8780	18.1	201	51	-159	5.5	3
4	28/6/1981	20.0600	37.8100	15	15	76	180	5.7	1
5	17/1/1983	20.2000	38.0300	7	39	45	175	7	1
6	19/1/1983	20.2190	38.1490	15	41	49	171	5.8	1
7	31/1/1983	20.3940	38.1820	12	41	82	-177	5.6	1
8	23/3/1983	20.3000	38.2000	1.9	31	69	174	6.3	1
9	24/3/1983	20.2900	38.1000	18	62	70	172	5.5	1
10	14/5/1983	20.3300	38.4400	13	36	86	167	5.6	1
11	27/2/1987	20.3600	38.4200	13	26	61	168	5.8	1
12	18/5/1988	20.4200	38.3600	22	45	70	163	5.4	1
13	7/7/1989	20.4800	38.3300	8.2	24	75	160	2.1	4
14	8/7/1989	20.5700	38.6100	17.2	196	80	-158	2.5	4
15	9/7/1989	20.5300	38.3700	13.3	99	54	147	2.7	4
16	12/7/1989	20.4700	38.3100	14.8	30	60	-160	2.3	4
17	14/7/1989	20.4700	38.3300	10.6	50	54	155	1.7	4
18	15/7/1989	20.5300	38.3700	13.6	184	70	125	2.5	4
19	20/7/1989	20.5900	38.6500	24.1	25	71	164	2.3	4
20	22/7/1989	20.5500	38.6600	16.6	35	70	-165	3.5	4
21	23/7/1989	20.6200	38.7500	14.4	9	76	159	2.5	4
22	25/7/1989	20.5900	38.7100	11.9	49	75	145	1.8	4
23	29/7/1989	20.4900	38.3300	12	349	80	179	2.1	4
24	30/7/1989	20.4900	38.3200	15.4	349	80	179	2	4
25	2/8/1989	20.5700	38.6800	9.8	354	63	169	2.5	4
26	4/8/1989	20.5300	38.4700	13.8	179	81	129	3.2	4
27	5/8/1989	20.4700	38.3800	11.6	15	49	164	2.2	4
28	6/8/1989	20.6000	38.7300	9.3	20	80	153	2.1	4
29	8/8/1989	20.4800	38.3200	14.3	15	49	164	2.3	4
30	10/8/1989	20.6500	38.9700	28.4	9	76	159	2.6	4
31	13/8/1989	20.5500	38.4200	8	240	60	-151	2	4
32	14/8/1989	20.6200	38.9000	16.1	9	76	151	2.5	4
33	16/8/1989	20.4500	38.3200	15.5	11	64	-139	2.8	4
34	19/8/1989	20.6400	38.7200	29.1	24	59	144	2.2	4
35	24/8/1989	20.1400	37.9400	15	356	38	130	5.2	3
36	24/8/1989	20.1400	37.9400	16	36	46	142	5.2	1
37	25/2/1994	20.5400	38.7600	9	22	58	168	5.5	1
38	29/11/1994	20.4770	38.8720	15	185	90	-180	5.1	3
39	26/5/2000	20.6400	38.9220	15	176	89	-159	5.5	3
40	27/2/2001	20.3820	38.0800	30	4	46	152	4.4	5
41	16/6/2001	20.4220	38.4230	15.1	42	56	-163	4.5	6

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
42	2/9/2001	20.2640	38.0700	26.3	35	67	-178	4.6	6
43	2/9/2001	20.13	38	26.3	35	67	-178	4.6	7
44	1/5/2003	20.5410	38.6790	15	183	59	155	4.2	6
45	1/5/2003	20.35	38.29	15	183	59	155	4.2	8
46	14/8/2003	20.67	38.7	15	18	59	-174	6.2	3
47	14/8/2003	20.6160	38.8460	15	17	87	-172	4.7	6
48	14/8/2003	20.36	38.64	17.4	357	27	104	4.7	6
49	14/8/2003	20.57	38.68	10	26	83	-161	4.6	6
50	14/8/2003	20.6100	38.8700	15	39	51	-142	4.5	6
51	14/8/2003	20.5390	38.7440	13	16	72	178	6.3	9
52	14/8/2003	20.53	38.77	15	17	87	-172	4.7	8
53	14/8/2003	20.57	38.68	10	26	83	-161	4.6	8
54	16/8/2003	20.6080	38.7780	11.67	85	70	25	4	10
55	16/8/2003	20.5730	38.7810	5.61	5	85	-155	4	10
56	16/8/2003	20.5730	38.7810	5.61	95	85	-15	4	10
57	16/8/2003	20.52	38.46	20.3	45	57	-143	4.5	8
58	17/8/2003	20.5720	38.6690	8.91	125	70	5	4	10
59	17/8/2003	20.5720	38.6860	4.59	50	35	-135	4	10
60	17/8/2003	20.5690	38.6950	6.42	15	55	-155	4	10
61	17/8/2003	20.5690	38.6950	6.42	100	85	-5	4	10
62	17/8/2003	20.5720	38.7070	6.95	130	80	5	4	10
63	17/8/2003	20.6010	38.7660	11.38	0	85	-175	4	10
64	17/8/2003	20.6010	38.7660	11.38	180	85	-175	4	10
65	17/8/2003	20.6030	38.7760	11.83	100	80	5	4	10
66	17/8/2003	20.5820	38.7880	5.82	110	80	-35	4	10
67	17/8/2003	20.6180	38.8180	10.63	115	30	15	4	10
68	18/8/2003	20.5520	38.6670	3.66	180	40	-175	4	10
69	18/8/2003	20.5560	38.6680	3.71	0	55	-175	4	10
70	18/8/2003	20.5560	38.6680	3.71	180	85	-175	4	10
71	18/8/2003	20.5560	38.6690	2.68	180	35	-175	4	10
72	18/8/2003	20.5940	38.7520	8.65	120	85	165	4	10
73	18/8/2003	20.5670	38.7690	6.39	60	85	155	4	10
74	18/8/2003	20.6340	38.7870	11.39	115	70	-15	4	10
75	18/8/2003	20.5880	38.8100	7.97	0	55	-135	4	10
76	18/8/2003	20.5880	38.8100	7.97	100	80	-15	4	10
77	19/8/2003	20.5790	38.7510	6.27	110	70	25	4	10
78	19/8/2003	20.5690	38.7620	4.6	180	50	-175	4	10
79	20/8/2003	20.5420	38.6310	8.13	35	50	135	4	10
80	20/8/2003	20.5680	38.6650	2.25	80	45	-25	4	10
81	20/8/2003	20.6240	38.7360	9.49	60	85	-165	4	10
82	20/8/2003	20.5910	38.7380	9.12	80	85	-145	4	10
83	20/8/2003	20.5910	38.7380	9.12	160	85	-35	4	10
84	20/8/2003	20.5910	38.7450	8.59	150	85	-15	4	10
85	20/8/2003	20.6090	38.7570	8.98	135	50	-5	4	10
86	20/8/2003	20.5770	38.7790	6.3	5	85	-165	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
87	20/8/2003	20.6180	38.7820	5.88	10	55	-135	4	10
88	20/8/2003	20.5900	38.7980	9.61	5	85	-155	4	10
89	20/8/2003	20.5900	38.7980	9.61	105	85	-15	4	10
90	20/8/2003	20.5930	38.8040	10.06	75	35	145	4	10
91	21/8/2003	20.5550	38.6670	3.54	125	60	15	4	10
92	21/8/2003	20.5470	38.6750	3.2	95	5	-175	4	10
93	21/8/2003	20.5960	38.7370	7.03	130	40	45	4	10
94	22/8/2003	20.5600	38.6660	3.33	25	75	165	4	10
95	22/8/2003	20.6330	38.7390	8.8	60	85	-165	4	10
96	22/8/2003	20.5970	38.7810	9.39	60	80	-165	4	10
97	22/8/2003	20.5970	38.7810	9.39	135	85	-15	4	10
98	22/8/2003	20.6040	38.8030	10.17	85	35	155	4	10
99	24/8/2003	20.5650	38.6890	4.58	20	55	165	4	10
100	24/8/2003	20.6060	38.7340	9.76	70	85	-135	4	10
101	24/8/2003	20.5970	38.7540	9.67	95	75	25	4	10
102	24/8/2003	20.5960	38.7550	9.4	100	85	-175	4	10
103	24/8/2003	20.6250	38.7960	10.49	105	70	-175	4	10
104	25/8/2003	20.5420	38.6490	10.11	20	85	-175	4	10
105	25/8/2003	20.5420	38.6490	10.11	180	85	-155	4	10
106	25/8/2003	20.5450	38.6750	2.69	170	45	-175	4	10
107	25/8/2003	20.5430	38.6750	2.5	145	85	-135	4	10
108	25/8/2003	20.5430	38.6750	2.55	145	85	-135	4	10
109	25/8/2003	20.5420	38.6760	2.69	170	65	-175	4	10
110	25/8/2003	20.5710	38.7240	7.71	150	85	165	4	10
111	25/8/2003	20.6310	38.7330	10.55	135	10	-175	4	10
112	25/8/2003	20.6310	38.7330	10.55	115	70	-165	4	10
113	25/8/2003	20.6390	38.7390	3.79	20	85	145	4	10
114	25/8/2003	20.6270	38.7400	10.61	130	45	45	4	10
115	25/8/2003	20.6330	38.7400	9.35	120	50	145	4	10
116	25/8/2003	20.5890	38.7430	8.46	135	20	45	4	10
117	25/8/2003	20.5670	38.7490	17.31	135	60	-175	4	10
118	25/8/2003	20.5670	38.7490	17.31	165	10	-175	4	10
119	25/8/2003	20.5670	38.7490	17.31	15	5	45	4	10
120	25/8/2003	20.6000	38.7550	12.66	100	85	5	4	10
121	25/8/2003	20.5910	38.7580	11.92	105	80	-5	4	10
122	25/8/2003	20.5910	38.7600	11.31	95	85	5	4	10
123	25/8/2003	20.5840	38.7610	9.7	180	5	5	4	10
124	25/8/2003	20.5840	38.7610	9.7	0	75	165	4	10
125	25/8/2003	20.5920	38.7630	11.41	0	85	-175	4	10
126	25/8/2003	20.5920	38.7630	11.41	155	80	165	4	10
127	25/8/2003	20.5760	38.7690	4.81	115	85	-45	4	10
128	25/8/2003	20.5760	38.7690	4.81	180	35	155	4	10
129	25/8/2003	20.5730	38.7800	5.56	0	85	-165	4	10
130	25/8/2003	20.5730	38.7800	5.56	180	85	165	4	10
131	25/8/2003	20.5730	38.7840	5.54	0	75	-155	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
132	25/8/2003	20.5730	38.7840	5.54	180	5	-25	4	10
133	25/8/2003	20.5730	38.7840	5.54	0	40	155	4	10
134	25/8/2003	20.5730	38.7840	5.54	180	85	155	4	10
135	25/8/2003	20.5820	38.7850	5.45	100	85	-35	4	10
136	25/8/2003	20.6300	38.7870	7.71	5	50	-135	4	10
137	25/8/2003	20.5660	38.7880	7.76	0	85	5	4	10
138	25/8/2003	20.5920	38.7920	9.84	100	65	165	4	10
139	25/8/2003	20.5870	38.7960	5.2	125	85	-35	4	10
140	25/8/2003	20.5870	38.7960	5.2	35	85	155	4	10
141	25/8/2003	20.6040	38.8040	10.89	110	35	-165	4	10
142	25/8/2003	20.5990	38.8070	8.3	0	55	-135	4	10
143	26/8/2003	20.6850	38.6210	19.24	15	85	-165	4	10
144	26/8/2003	20.6850	38.6210	19.24	180	85	165	4	10
145	26/8/2003	20.5440	38.6710	3.34	120	85	5	4	10
146	26/8/2003	20.5460	38.6760	2.65	80	75	-35	4	10
147	26/8/2003	20.5500	38.6770	4.35	5	25	165	4	10
148	26/8/2003	20.5630	38.6830	4.24	40	75	-155	4	10
149	26/8/2003	20.5630	38.6960	3.91	110	85	25	4	10
150	26/8/2003	20.5670	38.7030	7.19	55	45	-135	4	10
151	26/8/2003	20.6250	38.7210	8.08	100	80	-155	4	10
152	26/8/2003	20.6020	38.7280	8.81	80	50	135	4	10
153	26/8/2003	20.6240	38.7330	10.17	130	35	5	4	10
154	26/8/2003	20.6350	38.7420	10.96	120	50	145	4	10
155	26/8/2003	20.5900	38.7540	11.82	105	80	-5	4	10
156	26/8/2003	20.5770	38.7620	4.28	115	85	-45	4	10
157	26/8/2003	20.5870	38.7640	6.68	105	85	5	4	10
158	26/8/2003	20.5680	38.7790	7.76	85	60	-5	4	10
159	26/8/2003	20.5660	38.7800	6.49	95	85	-25	4	10
160	26/8/2003	20.5950	38.8000	10.05	110	25	-165	4	10
161	26/8/2003	20.6190	38.8000	8.31	175	50	165	4	10
162	27/8/2003	20.6410	38.6240	27.91	140	65	155	4	10
163	27/8/2003	20.5710	38.6980	6.47	60	85	-175	4	10
164	27/8/2003	20.5550	38.7200	3.07	65	25	155	4	10
165	27/8/2003	20.5500	38.7220	4.27	75	5	-175	4	10
166	27/8/2003	20.5900	38.7490	9.24	170	85	-35	4	10
167	27/8/2003	20.5900	38.7490	9.24	160	25	45	4	10
168	27/8/2003	20.6280	38.7550	0.09	10	70	-155	4	10
169	27/8/2003	20.6280	38.7550	0.09	180	5	-145	4	10
170	27/8/2003	20.6280	38.7550	0.09	80	60	-35	4	10
171	27/8/2003	20.5910	38.7550	11.76	105	80	-5	4	10
172	27/8/2003	20.6280	38.7550	0.09	180	85	165	4	10
173	27/8/2003	20.6280	38.7550	0.09	5	85	165	4	10
174	27/8/2003	20.5670	38.7570	6.08	80	50	-15	4	10
175	27/8/2003	20.5770	38.7620	9.07	105	85	-15	4	10
176	27/8/2003	20.6370	38.7700	9.3	100	85	-175	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
177	27/8/2003	20.5800	38.7780	6.88	0	80	-165	4	10
178	27/8/2003	20.5660	38.7780	5.07	180	75	-45	4	10
179	27/8/2003	20.5800	38.7800	6.75	0	80	-165	4	10
180	27/8/2003	20.5770	38.7830	6.88	0	85	-165	4	10
181	27/8/2003	20.5770	38.7830	6.88	100	85	-25	4	10
182	27/8/2003	20.5770	38.7830	6.88	0	40	145	4	10
183	27/8/2003	20.5770	38.7830	6.88	180	75	165	4	10
184	27/8/2003	20.5770	38.7840	6.78	0	85	-155	4	10
185	27/8/2003	20.5770	38.7840	6.78	100	85	-25	4	10
186	27/8/2003	20.5770	38.7840	6.78	0	40	145	4	10
187	27/8/2003	20.5770	38.7840	6.78	180	75	165	4	10
188	27/8/2003	20.6040	38.7850	12.77	85	50	-25	4	10
189	28/8/2003	20.5450	38.6640	1.31	170	10	45	4	10
190	28/8/2003	20.5630	38.6970	4.44	45	55	135	4	10
191	28/8/2003	20.5500	38.7150	4.85	50	70	-145	4	10
192	28/8/2003	20.6310	38.7410	11.14	100	85	-155	4	10
193	28/8/2003	20.5910	38.7530	11.38	180	85	-175	4	10
194	28/8/2003	20.5910	38.7530	11.38	100	70	45	4	10
195	28/8/2003	20.5910	38.7530	11.38	0	80	165	4	10
196	28/8/2003	20.5830	38.7590	5.73	0	45	-175	4	10
197	28/8/2003	20.5890	38.7690	9.36	95	60	-165	4	10
198	28/8/2003	20.5910	38.7710	9.45	0	70	-175	4	10
199	28/8/2003	20.5720	38.7840	5.04	5	85	-155	4	10
200	28/8/2003	20.5720	38.7840	5.04	180	85	155	4	10
201	28/8/2003	20.5980	38.7850	11.98	100	65	15	4	10
202	28/8/2003	20.5870	38.7920	5.41	165	85	-175	4	10
203	28/8/2003	20.5870	38.7920	5.41	75	75	35	4	10
204	28/8/2003	20.5920	38.7940	10.12	120	60	-35	4	10
205	28/8/2003	20.5900	38.7940	9.27	100	65	165	4	10
206	28/8/2003	20.5870	38.7950	5.1	5	60	-155	4	10
207	28/8/2003	20.5910	38.7980	9.98	100	80	-15	4	10
208	28/8/2003	20.5950	38.8000	10.85	90	25	165	4	10
209	28/8/2003	20.6170	38.8030	10.56	175	85	-5	4	10
210	28/8/2003	20.6170	38.8030	10.56	0	45	35	4	10
211	28/8/2003	20.5620	38.8060	4.8	180	20	35	4	10
212	28/8/2003	20.5630	38.8070	4.69	90	40	-35	4	10
213	29/8/2003	20.5460	38.6740	3.69	180	65	-175	4	10
214	29/8/2003	20.5460	38.6740	3.69	70	15	165	4	10
215	29/8/2003	20.5670	38.6920	4.8	135	80	15	4	10
216	29/8/2003	20.5730	38.7080	6.62	115	85	135	4	10
217	29/8/2003	20.5730	38.7080	6.62	0	80	145	4	10
218	29/8/2003	20.5540	38.7150	4.74	105	85	-35	4	10
219	29/8/2003	20.5990	38.7360	7.44	115	25	-175	4	10
220	29/8/2003	20.5990	38.7380	8.13	0	65	155	4	10
221	29/8/2003	20.5950	38.7420	7.81	105	85	-25	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
222	29/8/2003	20.5990	38.7720	12.6	100	85	5	4	10
223	29/8/2003	20.5770	38.7830	4.46	100	30	5	4	10
224	29/8/2003	20.5730	38.7840	5.68	0	80	-155	4	10
225	29/8/2003	20.6460	38.7890	11.43	0	50	35	4	10
226	29/8/2003	20.5920	38.7980	10.77	175	85	-175	4	10
227	29/8/2003	20.5920	38.7980	10.77	85	85	25	4	10
228	29/8/2003	20.6810	38.8080	13.38	0	85	-175	4	10
229	29/8/2003	20.6810	38.8080	13.38	180	85	-175	4	10
230	29/8/2003	20.5890	38.8120	10.51	180	85	135	4	10
231	29/8/2003	20.6780	38.8160	12.97	115	65	-145	4	10
232	30/8/2003	20.5720	38.6930	5.76	100	70	-45	4	10
233	30/8/2003	20.5730	38.7030	6.73	0	85	-15	4	10
234	30/8/2003	20.5730	38.7030	6.73	180	85	15	4	10
235	30/8/2003	20.5670	38.7060	6.92	60	85	165	4	10
236	30/8/2003	20.5990	38.7360	7.64	115	5	-175	4	10
237	30/8/2003	20.5820	38.7390	7.55	105	85	-35	4	10
238	30/8/2003	20.5970	38.7410	8.33	180	80	45	4	10
239	30/8/2003	20.6410	38.7430	9.95	15	70	-25	4	10
240	30/8/2003	20.6410	38.7430	9.95	100	10	165	4	10
241	30/8/2003	20.6400	38.7450	9.93	75	55	155	4	10
242	30/8/2003	20.5650	38.7460	7.94	110	20	-145	4	10
243	30/8/2003	20.5770	38.7670	5.01	135	85	-175	4	10
244	30/8/2003	20.5770	38.7670	5.01	160	15	145	4	10
245	30/8/2003	20.6030	38.7750	10.38	105	5	-175	4	10
246	30/8/2003	20.6030	38.7750	10.38	0	85	-135	4	10
247	30/8/2003	20.5980	38.7950	10.9	90	85	45	4	10
248	30/8/2003	20.5800	38.8060	10.02	100	5	-175	4	10
249	30/8/2003	20.5940	38.8080	10.79	5	85	-155	4	10
250	30/8/2003	20.5940	38.8080	10.79	180	80	135	4	10
251	30/8/2003	20.6780	38.8170	13.07	35	85	-155	4	10
252	30/8/2003	20.6780	38.8170	13.07	135	85	-15	4	10
253	30/8/2003	20.5810	38.8250	8.49	5	85	-165	4	10
254	31/8/2003	20.5600	38.6600	11.26	145	70	35	4	10
255	31/8/2003	20.5620	38.6970	5.32	0	85	-175	4	10
256	31/8/2003	20.5620	38.6970	5.32	180	85	-175	4	10
257	31/8/2003	20.5620	38.6970	5.32	180	65	135	4	10
258	31/8/2003	20.6030	38.7330	6.95	105	80	-165	4	10
259	31/8/2003	20.5940	38.7400	7.52	105	85	-25	4	10
260	31/8/2003	20.5940	38.7400	7.52	125	45	45	4	10
261	31/8/2003	20.6390	38.7410	10.08	120	50	145	4	10
262	31/8/2003	20.5770	38.7430	9.03	95	70	15	4	10
263	31/8/2003	20.6470	38.7500	8.22	35	85	-175	4	10
264	31/8/2003	20.6430	38.7500	9.62	175	65	-175	4	10
265	31/8/2003	20.6470	38.7500	8.22	0	40	-15	4	10
266	31/8/2003	20.5730	38.7760	4.71	80	70	-15	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
267	31/8/2003	20.5700	38.7850	4.47	85	65	-15	4	10
268	31/8/2003	20.6040	38.7930	10.54	105	30	135	4	10
269	31/8/2003	20.6040	38.7930	10.54	180	65	135	4	10
270	31/8/2003	20.5800	38.7960	9.14	0	75	45	4	10
271	31/8/2003	20.5840	38.8100	7.74	100	85	-15	4	10
272	1/9/2003	20.5510	38.6730	3.84	65	60	-145	4	10
273	1/9/2003	20.5750	38.7050	6.63	0	85	-15	4	10
274	1/9/2003	20.5750	38.7050	6.63	180	85	15	4	10
275	1/9/2003	20.5560	38.7140	4.7	100	20	-135	4	10
276	1/9/2003	20.6150	38.7290	8.47	70	85	-135	4	10
277	1/9/2003	20.6150	38.7290	8.47	140	85	-25	4	10
278	1/9/2003	20.6180	38.7290	8.47	60	50	135	4	10
279	1/9/2003	20.6160	38.7310	8.55	60	50	135	4	10
280	1/9/2003	20.6130	38.7320	8.15	95	85	-155	4	10
281	1/9/2003	20.6140	38.7320	8.63	140	40	155	4	10
282	1/9/2003	20.6150	38.7320	8.38	125	35	165	4	10
283	1/9/2003	20.6160	38.7330	8.14	120	55	-175	4	10
284	1/9/2003	20.6190	38.7330	8.6	60	55	135	4	10
285	1/9/2003	20.5690	38.7360	8.19	100	15	-165	4	10
286	1/9/2003	20.5690	38.7360	8.19	35	85	-145	4	10
287	1/9/2003	20.5690	38.7360	8.19	110	85	-25	4	10
288	1/9/2003	20.6380	38.7570	11.2	140	5	-175	4	10
289	1/9/2003	20.6380	38.7570	11.2	10	65	15	4	10
290	1/9/2003	20.5640	38.7650	4.51	180	85	-175	4	10
291	1/9/2003	20.5640	38.7650	4.51	110	70	5	4	10
292	1/9/2003	20.5770	38.7760	4.83	105	55	15	4	10
293	1/9/2003	20.5700	38.7810	4.83	115	85	5	4	10
294	1/9/2003	20.5710	38.7850	5.49	0	85	-165	4	10
295	1/9/2003	20.5970	38.7910	10.24	100	70	-165	4	10
296	2/9/2003	20.6130	38.7290	8.29	125	85	-5	4	10
297	2/9/2003	20.6160	38.7330	8.35	125	85	-5	4	10
298	2/9/2003	20.5840	38.7410	8.01	160	15	25	4	10
299	2/9/2003	20.6010	38.7740	12.16	95	85	5	4	10
300	2/9/2003	20.6010	38.7740	12.16	180	85	155	4	10
301	2/9/2003	20.5970	38.7790	10.09	135	70	-5	4	10
302	2/9/2003	20.5830	38.7800	5.42	125	55	-25	4	10
303	5/9/2003	20.5510	38.6320	4.79	30	65	-135	4	10
304	5/9/2003	20.5510	38.6320	4.79	25	75	165	4	10
305	5/9/2003	20.5670	38.6830	6.39	115	80	-15	4	10
306	5/9/2003	20.6220	38.7380	9.99	170	40	-165	4	10
307	5/9/2003	20.5960	38.7680	11.91	0	80	-175	4	10
308	5/9/2003	20.5960	38.7680	11.91	180	85	-175	4	10
309	5/9/2003	20.5730	38.7710	6.88	0	85	-175	4	10
310	5/9/2003	20.5760	38.7710	7.08	110	85	-35	4	10
311	5/9/2003	20.5730	38.7710	6.88	175	85	165	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
312	5/9/2003	20.5670	38.7780	7.94	5	85	-165	4	10
313	5/9/2003	20.5670	38.7780	7.94	100	85	-25	4	10
314	5/9/2003	20.5950	38.8000	9.99	0	70	-135	4	10
315	6/9/2003	20.6060	38.7230	11.48	85	50	-45	4	10
316	6/9/2003	20.6110	38.7370	8.61	55	85	-135	4	10
317	6/9/2003	20.6110	38.7370	8.61	120	85	-15	4	10
318	6/9/2003	20.6110	38.7370	8.61	60	55	135	4	10
319	6/9/2003	20.5870	38.7410	11.23	5	85	-175	4	10
320	6/9/2003	20.5870	38.7410	11.23	180	85	-175	4	10
321	6/9/2003	20.5810	38.7420	8.59	110	40	25	4	10
322	6/9/2003	20.5850	38.7560	12.23	105	80	-5	4	10
323	6/9/2003	20.6430	38.7570	0.13	180	5	-35	4	10
324	6/9/2003	20.6430	38.7570	0.13	95	85	135	4	10
325	6/9/2003	20.6430	38.7570	0.13	75	5	155	4	10
326	6/9/2003	20.5930	38.7710	5.71	0	35	-175	4	10
327	6/9/2003	20.5950	38.7710	5.56	0	20	-135	4	10
328	6/9/2003	20.5910	38.7710	5.35	120	35	-25	4	10
329	6/9/2003	20.5950	38.7710	5.56	5	65	135	4	10
330	6/9/2003	20.6210	38.7780	12.76	160	85	-175	4	10
331	6/9/2003	20.6210	38.7780	12.76	45	85	45	4	10
332	6/9/2003	20.6590	38.7800	11.39	0	45	35	4	10
333	6/9/2003	20.6380	38.7810	7.18	5	40	-135	4	10
334	6/9/2003	20.6610	38.7820	11.47	0	45	35	4	10
335	6/9/2003	20.6590	38.7830	11.22	140	70	-175	4	10
336	6/9/2003	20.6590	38.7840	11.24	70	5	-175	4	10
337	6/9/2003	20.6590	38.7840	11.24	180	80	15	4	10
338	6/9/2003	20.6590	38.7840	11.24	10	85	15	4	10
339	6/9/2003	20.5670	38.7880	4.94	180	85	155	4	10
340	6/9/2003	20.6100	38.7970	10.04	55	60	-45	4	10
341	6/9/2003	20.6100	38.7970	10.04	165	85	155	4	10
342	6/9/2003	20.6750	38.8110	13.85	35	85	-155	4	10
343	6/9/2003	20.6750	38.8110	13.85	150	20	35	4	10
344	6/9/2003	20.6750	38.8110	13.85	15	80	45	4	10
345	7/9/2003	20.5720	38.6600	8.69	20	85	155	4	10
346	7/9/2003	20.5780	38.6870	2.5	180	85	-165	4	10
347	7/9/2003	20.5950	38.6960	5.77	60	75	-165	4	10
348	7/9/2003	20.5950	38.6960	5.77	0	45	45	4	10
349	7/9/2003	20.5830	38.7100	8.31	60	85	-175	4	10
350	7/9/2003	20.6010	38.7260	7.15	140	85	15	4	10
351	7/9/2003	20.6130	38.7380	8.37	60	55	165	4	10
352	7/9/2003	20.6480	38.7400	9.04	120	5	-175	4	10
353	7/9/2003	20.6480	38.7400	9.04	105	75	-165	4	10
354	7/9/2003	20.6180	38.7450	8.52	70	85	-165	4	10
355	7/9/2003	20.5890	38.7650	8.14	100	80	-5	4	10
356	7/9/2003	20.5940	38.7690	5.44	125	40	35	4	10

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
357	7/9/2003	20.6300	38.7750	6.53	30	85	-175	4	10
358	7/9/2003	20.6720	38.7780	11.18	20	75	15	4	10
359	7/9/2003	20.6320	38.8210	11.11	0	55	155	4	10
360	8/9/2003	20.5620	38.6560	2.4	180	40	165	4	10
361	8/9/2003	20.5850	38.6930	5.25	15	35	155	4	10
362	8/9/2003	20.6490	38.7380	9.06	120	45	-175	4	10
363	8/9/2003	20.6040	38.7470	10.55	180	85	-175	4	10
364	8/9/2003	20.6040	38.7470	10.55	100	70	45	4	10
365	8/9/2003	20.6040	38.7470	10.55	0	75	165	4	10
366	8/9/2003	20.6020	38.7480	8.85	125	45	45	4	10
367	8/9/2003	20.6390	38.7920	7.37	125	5	-175	4	10
368	8/9/2003	20.6390	38.7920	7.37	5	85	-135	4	10
369	8/9/2003	20.6390	38.7920	7.37	55	40	-25	4	10
370	8/9/2003	20.6390	38.7920	7.37	180	75	135	4	10
371	8/9/2003	20.5700	38.8060	8.65	155	70	135	4	10
372	15/9/2003	20.5920	38.7300	7.69	0	70	135	4	10
373	16/11/2003	20.4470	38.4040	15	266	24	3	5.1	10
374	21/6/2006	20.6030	38.9590	24.5	11	67	-179	5	3
375	24/6/2006	20.4570	38.3860	18.4	46	77	167	4.7	3
376	28/8/2006	20.38	38.03	15	59	7	-156	4.8	11
377	25/3/2007	20.3400	38.3640	12	30	65	164	5.7	3
378	25/3/2007	20.4640	38.3890	26.1	192	86	159	4.5	6
379	25/3/2007	20.4630	38.3590	12	197	74	167	4.5	6
380	25/3/2007	20.34	38.3700	17.7	26	80	-176	4.8	11
381	25/3/2007	20.4330	38.3370	17.7	26	80	-176	4.8	6
382	25/3/2007	20.26	38.3400	12	197	74	167	4.5	11
383	25/3/2007	20.35	38.1200	26.1	192	86	159	4.5	11
384	26/3/2007	20.23	38.32	6	206	76	-170	4.6	12
385	12/4/2007	20.5230	38.8690	28.1	187	63	157	4.4	6
386	25/6/2007	20.73	38.9100	25.5	197	77	161	4.3	11
387	27/8/2007	20.35	38.3100	26.9	30	59	165	4.7	11
388	10/10/2007	20.24	37.9200	23.4	32	75	-175	4.5	11
389	26/1/2008	20.3170	38.0830	12	5	69	-176	4	6
390	30/7/2008	20.2710	38.1080	17.6	39	79	177	5	3
391	23/10/2012	20.6210	38.9730	17.5	186	89	175	4.8	3
392	26/1/2014	20.3530	38.1450	24	16	63	146	4.8	3
393	26/1/2014	20.2870	38.1540	15.2	19	76	176	6.1	3
394	26/1/2014	20.3720	38.1840	10	4	49	174	4.4	6
395	26/1/2014	20.3650	38.2430	17.1	5	43	139	4.7	6
396	27/1/2014	20.3900	38.3840	17	197	83	164	4.5	6
397	27/1/2014	20.3460	38.1540	19.6	190	71	147	4.4	6
398	27/1/2014	20.4120	38.2440	16.8	204	89	178	4.6	6
399	28/1/2014	20.478	38.403	4	112	60	11	4	13
400	28/1/2014	20.467	38.406	7	109	68	5	4	13
401	28/1/2014	20.478	38.406	7	116	66	10	4	13

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
402	28/1/2014	20.488	38.407	3.94	106	64	9	4.4	13
403	28/1/2014	20.467	38.41	4.56	351	65	155	3.7	13
404	28/1/2014	20.414	38.412	13.37	176	66	-169	3.9	13
405	28/1/2014	20.46	38.415	8.54	181	80	-175	4	13
406	28/1/2014	20.4910	38.4090	20.2	206	58	-147	4.4	14
407	28/1/2014	20.4380	38.4200	23.5	14	87	173	4.5	6
408	28/1/2014	20.4000	38.2520	10	355	54	153	4.3	6
409	30/1/2014	20.4610	38.4090	6.29	112	69	9	4.6	10
410	31/1/2014	20.476	38.416	8	115	83	10	5	13
411	31/1/2014	20.468	38.417	5	282	74	-23	5	13
412	31/1/2014	20.4750	38.4230	14.1	17	88	-170	4.4	6
413	31/1/2014	20.4550	38.4240	13	16	79	-175	4.5	6
414	1/2/2014	20.3050	38.1760	16.8	17	83	155	4.9	3
415	3/2/2014	20.3230	38.2660	12	12	57	157	6	3
416	14/2/2014	20.2750	38.1600	21	199	89	-169	4.8	3
417	21/2/2014	20.4200	38.2200	22.9	35	34	-136	4.1	6
418	5/3/2014	20.3110	38.0770	21	6	75	161	4.2	6
419	5/3/2014	20.3520	38.1100	17.7	232	77	-161	4.9	3
420	10/3/2014	20.3190	38.2240	28.9	7	63	147	4.3	6
421	5/11/2014	20.4410	38.0970	25.4	181	67	-169	4.5	6
422	7/11/2014	20.4480	38.0890	16.9	168	64	139	4.9	6
423	8/11/2014	20.3580	38.0880	16.1	348	71	152	5.1	3
424	12/11/2014	20.4640	38.2980	20.5	7	51	144	4.2	6
425	13/11/2014	20.4850	38.3850	23.6	200	86	176	4.6	6
426	11/12/2014	20.4130	38.3930	31	154	70	-145	4.7	14
427	2/6/2015	20.4550	38.1570	23.2	12	85	178	4.5	6
428	17/11/2015	20.5827	38.8883	5	194	78	-168	4.1	15
429	17/11/2015	20.5845	38.6643	13.9	22	64	179	6.5	3
430	17/11/2015	20.5720	38.6470	11.5	18	52	161	5.1	14
431	17/11/2015	20.5770	38.7180	15.6	214	80	-170	4.9	3
432	17/11/2015	20.6088	38.6937	3	208	68	178	4.8	15
433	17/11/2015	20.6095	38.6960	2	222	50	-173	4.6	15
434	17/11/2015	20.6105	38.6999	5	221	61	166	4.2	15
435	17/11/2015	20.5277	38.5009	5	345	63	158	4.5	15
436	18/11/2015	20.5920	38.8630	13.2	194	83	-179	5	3
437	18/11/2015	20.6010	38.8430	9	195	76	-166	5	15
438	18/11/2015	20.6230	38.7227	3	205	65	-159	4.9	15
439	18/11/2015	20.5980	38.7340	11.5	207	36	-170	4.4	6
440	18/11/2015	20.6176	38.7201	2	25	87	-171	4.3	15
441	18/11/2015	20.5200	38.4970	10	352	72	179	4.6	6
442	19/11/2015	20.6044	38.7140	7	3	53	160	3.9	15
443	19/11/2015	20.6239	38.7068	1	27	77	-146	3.7	15
444	19/11/2015	20.6042	38.7061	3	200	70	-177	3.5	15
445	19/11/2015	20.4863	38.4660	6	217	87	-161	3.8	15
446	20/11/2015	20.5754	38.6243	6	20	75	172	4.5	15

No	Date	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Rake	M	Αναφ.
447	20/11/2015	20.5988	38.7987	4	196	62	-157	4.3	15
448	20/11/2015	20.6246	38.7149	3	215	72	-177	3.5	15
449	20/11/2015	20.4803	38.4613	6	212	87	-174	3.5	15
450	20/11/2015	20.5021	38.4668	6	32	56	-176	4.9	15
451	20/11/2015	20.4741	38.4600	5	53	83	-171	3.6	15
452	20/11/2015	20.4746	38.4604	7	47	74	174	3.3	15
453	20/11/2015	20.4440	38.4700	23.7	35	87	179	5	3
454	20/11/2015	20.4914	38.5001	2	215	78	-148	3.8	15
455	21/11/2015	20.6288	38.7055	1	211	68	-165	4.6	15
456	21/11/2015	20.6234	38.7183	2	202	79	-176	3.9	15
457	23/11/2015	20.5347	38.5257	9	324	79	156	4.1	15
458	24/11/2015	20.6195	38.7154	9	358	52	161	4.2	15
459	24/11/2015	20.4670	38.3730	2	192	45	-178	3.9	15
460	25/11/2015	20.5521	38.5220	6	146	74	-142	4.2	15
461	29/11/2015	20.6251	38.7185	2	203	70	176	4.1	15
462	29/11/2015	20.6354	38.7191	3	214	75	-162	3.6	15
463	2/12/2015	20.6108	38.7004	6	218	56	154	3.9	15
464	4/12/2015	20.6179	38.6994	3	216	67	168	3.7	15
465	14/12/2015	20.5539	39.0357	16	188.25	62.37	-174.87	4.3	14
466	4/1/2016	20.4145	38.3293	2	14	11	-173	4.4	15
467	11/4/2016	20.3330	38.2130	14.7	52	18	-179	4.4	6
468	28/2/2017	20.0810	37.8620	7	33	75	180	4.1	16
469	26/6/2017	20.3900	38.2320	20.6	61	33	-165	4	6
470	13/1/2019	20.6569	38.9849	17.2	240	76	180	3.6	17
471	15/1/2019	20.6587	38.9904	11.5	220	45	155	4.5	17
472	15/1/2019	20.6517	38.9957	17.9	215	40	150	3.7	17
473	15/1/2019	20.2740	38.2870	11.2	28	52	-180	4.2	16
474	5/2/2019	20.6870	39.0101	17.86	227	45	160	5.2	17
475	5/2/2019	20.6636	38.9931	17.35	226	67	-153	3.3	17
476	6/2/2019	20.6190	38.9242	13.03	10	67	-156	3.8	17
477	26/2/2019	20.6103	38.8823	9.18	18	62	139	4	17
478	24/9/2020	20.6003	38.7426	15.6	356	43	159	4.1	16
479	19/11/2021	20.4084	38.2307	19.1	63	83	-177	4.9	3
480	16/2/2022	20.5160	38.8840	14	10	88	165	4	18

Αναφορές παραρτήματος:

1. (Louvari et al., 1999), 2.(Benetatos et al., 2004) 3. GCMT (Ekström et al., 2012), 4. (Hatzfeld et al., 1995), 5.ETH Zurich, (1986), 6. MED RCMT (Pondrelli, 2002), 7.(Pondrelli et al., 2004), 8.(Pondrelli et al., 2007), 9.(Benetatos et al., 2005), 10.(Karakostas & Papadimitriou, 2010), 11. (Pondrelli et al., 2011), 12. (Κουρούκλας, 2011), 13. (Karakostas et al., 2015), 14. NEIC (Masse & Needham, 1989), 15. (Papadimitriou et al., 2017), 16. ATH (National Observatory of Athens, 1975), 17. (Kostoglou et al., 2020), 18. (GEOFON seismic network, 1993)