Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΡΑΣΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπουσα
Παπαδημητρίου Ελευθερία, Καθηγήτρια Σεισμολογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Α.Π.Θ.

Συνεπιβλέπων
Μπουντζής Πολυζώης, Υποψήφιος Διδάκτορας, Τομέας Γεωφυσικής, Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΡΑΣΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5691

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,

Επιβλέπουσα
Παπαδημητρίου Ελευθερία, Καθηγήτρια Σεισμολογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Α.Π.Θ.

Συνεπιβλέπων
Μπουντζής Πολυζώης, Υποψήφιος Διδάκτορας, Τομέας Γεωφυσικής, Α.Π.Θ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

© Κωνσταντίνος Παράσης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ – *Διπλωματική Εργασία*

© Konstantinos Parasis, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2022
All rights reserved
PHASE INVESTIGATION OF THE SEISMIC CIRCLE BASED ON SEISMICITY IN THE AREA OF GREECE – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την 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.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Διερεύνηση φάσεων του σεισμικού κύκλου με βάση την σεισμικότητα στον ελληνικό χώρο», πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Σκοπός της εργασίας, είναι η ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας στο ΒΑ Αιγαίο και συγκεκριμένα κατά μήκος της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (North Aegean Trough, **NAT**). Στα πλαίσια της ανάλυσης αυτής γίνεται ο προσδιορισμός του μεγέθους πληρότητας, M_c της περιοχής ώστε να καθορισθεί ο πλήρης κατάλογος σεισμών. Η μελέτη καλύπτει το χρονικό διάστημα από το 1964 έως το 2020 και χωρίζεται σε 4 υποπεριόδους, οι οποίες καθορίζονται από τις μεταβολές την ανάπτυξη/βελτίωση του σεισμολογικού δικτύου στον ελλαδικό χώρο, η οποία επηρεάζει την ανιχνευτικότητα από το σεισμολογικό δίκτυο της σεισμικής δραστηριότητας και επομένως τα διαθέσιμα δεδομένα για την σύνταξη των σεισμικών καταλόγων.

Πιο αναλυτικά, στο 1ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του ελληνικού χώρου, και ιδιαίτερα της περιοχής μελέτης και θα δοθεί η έννοια του μεγέθους πληρότητας M_c, και στη συνέχεια θα περιγραφεί ο νομός δύναμης των Gutenberg–Richter (G–R). Στο 2ο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι παράμετροι που προκύπτουν από τον νομό δύναμης G–R και θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην παράμετρο b (b–value). Επίσης, θα αναλυθεί η μεθοδολογία του Goodness-of-Fit (GFT), η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του μεγέθους πληρότητας. Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τα αντίστοιχα σχήματα και χάρτες, όπου φαίνεται η χωρική κατανομή των παραμέτρων a, b, M_c και N_c για την περιοχή μελέτης για κάθε ένα από τα τέσσερα χρονικά διαστήματα. Τα αποτελέσματα συσχετίζονται χωρικά με τα επίκεντρα των ισχυρών σεισμών, με M≥5, οι οποίοι έγιναν κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη καθηγήτρια μου, Ελευθερία Παπαδημητρίου, για την καθοδήγηση της και την δυνατότητα να εργαστώ στην παρούσα διπλωματική εργασία. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Μπουντζή Πολυζώη του Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης που η βοήθεια και συμβολή του στην εργασία μου, ήταν πολύτιμη.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Θεσσαλονίκη 2022
Κωνσταντίνος Παράσης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……..8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς στην Ελλάδα……9

1.2 Το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (NAT)……10

1.2.1 Σεισμική Ζώνη της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (NATFZ)……11

1.3 Σεισμικότητα και σημαντικές παράμετροι……12

1.3.1 Μέγεθος πληρότητας, M_c……12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Μεθοδολογία

2.1 Μέθοδοι υπολογισμών μεγεθών πληρότητας……14

2.2 Μέθοδος GFT……15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ……19

3.1 Καθορισμός του μεγέθους πληρότητας, M_c, και των παραμέτρων σεισμικότητας, a και b ……23

3.2.1 Αποτελέσματα υπολογισμού των παραμέτρων σεισμικότητας στην περιοχή μελέτης κατά το διάστημα 1964–1995……23

3.2.2 Αποτελέσματα υπολογισμού των παραμέτρων σεισμικότητας στην περιοχή μελέτης κατά το διάστημα 1996–2007……28

3.2.3 Αποτελέσματα υπολογισμού των παραμέτρων σεισμικότητας στην περιοχή μελέτης κατά το διάστημα 2008–2011……35

3.2.4 Αποτελέσματα υπολογισμού των παραμέτρων σεισμικότητας στην περιοχή μελέτης κατά το διάστημα 2012–2020……38

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.4 Αποτελέσματα υπολογισμού του μεγέθους M_c και των παραμέτρων σεισμικότητας a και b για τα 4 χρονικά παράθυρα με σφάλμα R=10%, ακτίνα κυψελίδας=0,2 και 0,25……61

3.5 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με ισχυρούς (M≥5.0) σεισμούς……71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συμπεράσματα……72

Βιβλιογραφία……74

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη του σεισμικού κύκλου στην Τάφρο του Βορείου Αιγαίου κατά το χρονικό διάστημα 1964-2020. Η χρονική αυτή περίοδος χωρίστηκε σε 4 χρονικά διαστήματα και συγκεκριμένα, από το 1964 έως το 1995, από το 1996 έως το 2007, από το 2008 έως και το 2011 και τέλος από το 2012 έως και το 2020. Η περιοχή χωρίστηκε σε κύκλους σταθερής ακτίνας 0.20 μοιρών οι οποίοι επικαλύπτονται καθώς τα κέντρα τους βρίσκονται σε απόσταση 0.15 μοιρών. Καθορίστηκε το μέγεθος πληρότητας, M_c, στο δείγμα σεισμών που περιέχονται σε κάθε κύκλου και υπολογίσθηκαν οι τιμές των παραμέτρων a και b της σχέσης των Gutenberg-Richter (1994) και η συχνότητα των σεισμών, M_c. Η χωρική κατανομή των υπολογισμένων παραμέτρων φαίνεται σε χάρτες οι οποίοι κατασκευάστηκαν με την εφαρμογή του προγράμματος GMT.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς στην Ελλάδα

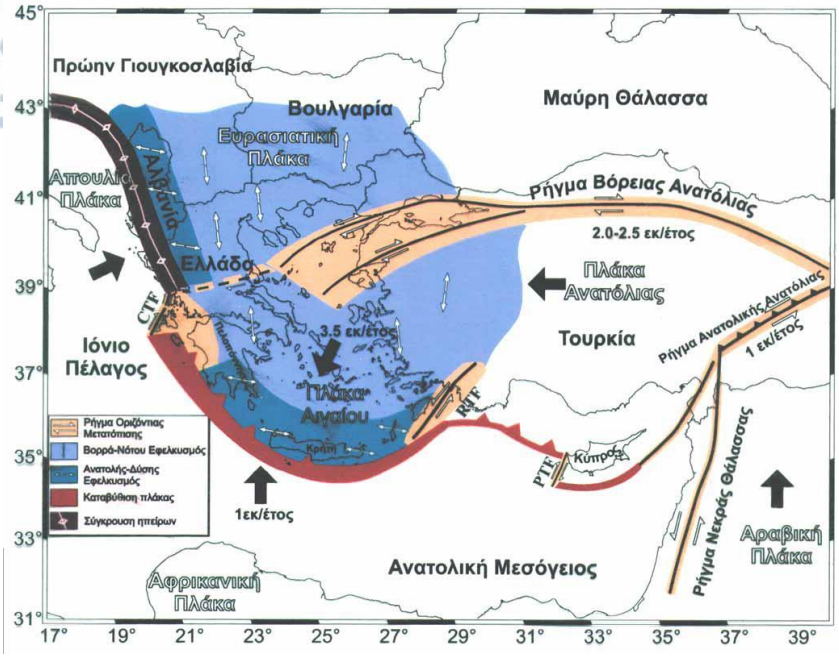
Στην Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρασιατικης-Μελανησιακής Ζώνης Διάρρηξης βρίσκεται η μικρό-πλάκα του Αιγαίου. Η ενεργή τεκτονική της Ελλάδας επηρεάζεται από τις μεγαλύτερες λιθοσφαιρικές πλάκες που είναι η Ευρασιατική, η Αφρικανική και η Αραβική. Η λιθόσφαιρα του Αιγαίου, κινείται ΝΔ ως προς την πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου συναντώντας την στο νότιο όριο της. Αυτή βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας, η συνέχεια της οποίας είναι ωκεάνια λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου η οποία βυθίζεται κάτω από την πλάκα του Αιγαίου, κατευθυνόμενη B-N, με ταχύτητα σύγκλισης 1cm/yr. Η λιθόσφαιρα του Αιγαίου κινείται προς τα ΝΔ με 4.5 cm/yr σε σχέση με την Αφρικανική πλάκα.

Αποτέλεσμα της κατάδυσης είναι η ύπαρξη ανάστροφων ρηγμάτων κατά μήκος της Ελληνικής Τάφρου. Η μέση κατεύθυνση ολίσθησης των ρηγμάτων είναι όμοια με την κατεύθυνση κίνησης της πλάκας του Αιγαίο (Σχήμα 1.1). Η κατάδυση της πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου κατά μήκος του ελληνικού τόξου (Papazachos and Comninakis, 1971) είναι το σημαντικότερο γεωδυναμικό χαρακτηριστικό της περιοχής.

Η μικρό-πλάκα της Ανατολίας κινείται προς τα δυτικά, προς την περιοχή του Αιγαίου μετά από την προς Βορρά σχετικής κίνησης της πλάκας της Αραβίας. Η τελευταία κατευθύνεται B-BA, με ταχύτητα στα βόρεια όρια της 2.5cm/yr, μετακινώντας την πλάκα της Ανατολίας προς τα δυτικά, κατά μήκος του Ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (North Anatolian Fault, NAF). Η συνέχιση του NAF στην Ελλάδα είναι η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου (Σχήμα 1.2), η οποία αποτελεί το βόρειο όριο της λιθόσφαιρας του Αιγαίου με την Ευρασιατική πλάκα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π.

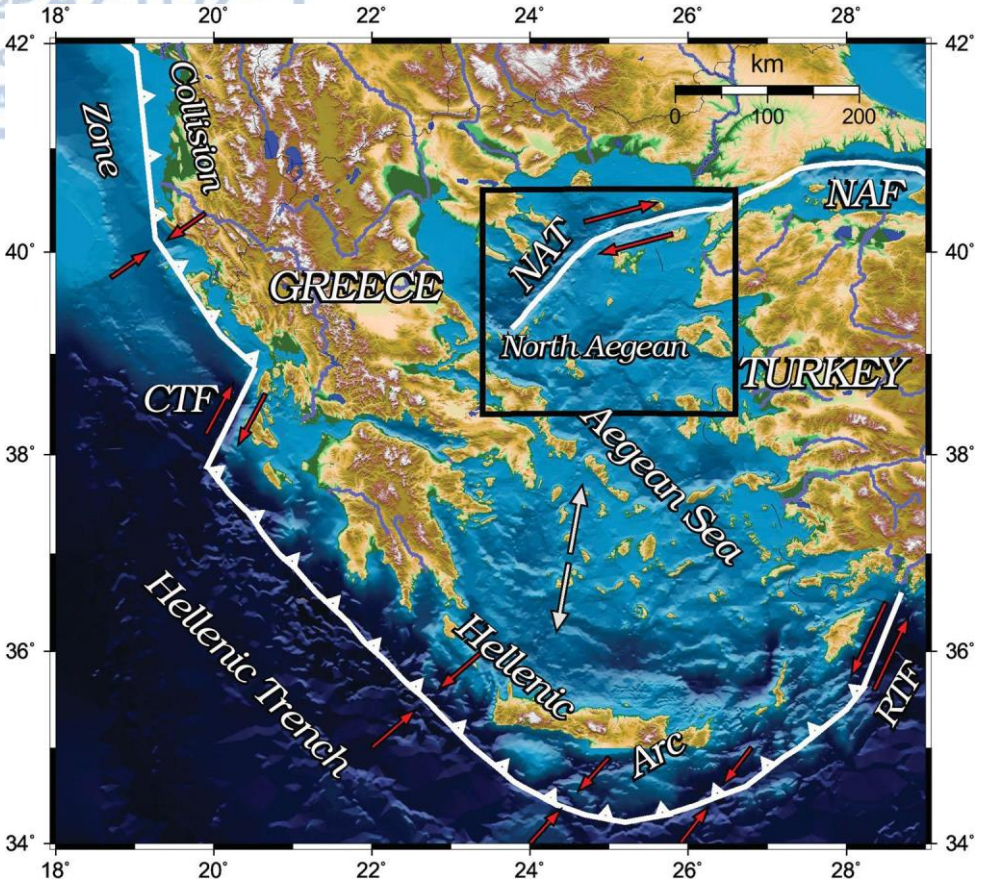


Σχ. 1.1. Γεωδυναμικό μοντέλο της περιοχής της ανατολικής Μεσογείου (Papazachos et al, 1998).

1.2 Το σεισμοτεκτονικό καθεστώς στην περιοχή της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου

Η περιοχή μελέτης που φαίνεται με το ορθογώνιο στο Σχήμα 1.2, είναι η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου, μεταξύ των γεωγραφικών πλάτων 39.5° έως 41.00°, και γεωγραφικών μηκών 24° έως 27.6°. Τα ρήγματα που επικρατούν στην περιοχή είναι δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης εξαιτίας των οποίων δημιουργούνται υψηλές παραμορφωτικές τάσεις και έντονη σεισμικότητα στην περιοχή. Στην περιοχή γίνονται συχνά ισχυροί σεισμοί με μέγεθος $M \geq 6.0$, όπως ο πρόσφατος σεισμός στην Σαμοθράκη που έγινε στις 24 Μαΐου 2014 με μέγεθος M=6.9 (Saltogianni et al., 2015). Έχουν εκπονηθεί πολλές μελέτες στην περιοχή εξαιτίας της έντονης σεισμικότητας που προαναφέρθηκε και του συνεχώς μεταβαλλόμενου πεδίου τάσεων, το οποίο δικαιολογεί την ύπαρξη των σεισμών αυτών (Papadimitriou and Sykes, 2001).

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α



Σχ. 1.2. Κύρια σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά του χώρου του Αιγαίου (άσπρες γραμμές). Τα βέλη δείχνουν σχετική κίνηση μεταξύ των κύριων και των μικρότερων λιθοσφαιρικών πλακών (TF: Cephalonia Transform Fault, NAT: North Aegean Trough, RTF:Rodos Transform Fault). Μέσα στο τετράγωνο πλαίσιο φαίνεται η περιοχή μελέτης.

1.2.1 Σεισμική Ζώνη της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (North Aegean Trough Zone, NATFZ)

Η ζώνη διάρρηξης της NAT αποτελείται από 5 διακριτά ρήγματα, συγκεκριμένα Α) το ρήγμα της λεκάνης της Γλαύκης, Β) το ρήγμα της χερσονήσου του Άθω, Γ) το ρήγμα της Σαμοθράκης, Δ) το ρήγμα Σάρου και Ε) το ρήγμα Γκάνου. Αυτά τα 5 ρήγματα συνδέονται με την γένεση πολύ ισχυρών σεισμών από τις αρχές του 20^{ο} αιώνα. Τα ρήγματα της Γλαύκης και του Άθω έχουν ΒΑ παράταξη και κλίνουν προς τα ΒΔ. Το μήκος τους είναι 48 και 47 χιλιόμετρα, αντίστοιχα. Το ρήγμα της Σαμοθράκης και της Σάρου έχουν παράταξη Α–Δ και κλίνουν προς τα ΝΝΑ. Το μήκος τους είναι 60 και 67 χιλιόμετρα, αντίστοιχα. Το ρήγμα του Γκάνου έχει μήκος 110 χιλιόμετρα, παράταξη ΔΝΔ–ΑΒΑ και κλίση προς τα ΝΑ (Lybéris, 1984).

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

1.3 Σεισμικότητα και σημαντικές παράμετροι

Η σεισμικότητα εκφράζει τόσο το μέγεθος όσο και τη συχνότητας γένεσης των σεισμών σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι Gutenberg και Richter (1944) προτείνουν μια ποσοτική εκτίμηση της σεισμικότητας χρησιμοποιώντας τον νομό κατανομής των μεγεθών. Συγκεκριμένα, το πλήθος σεισμών Nt που γίνονται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο με M δίνεται από την σχέση:

$$\log Nt = \alpha t - bM, \quad (1)$$

όπου η παράμετρος a εκφράζει την παραγωγικότητα της σεισμικότητας και δεν έχει χωρική συσχέτιση ενώ η παράμετρος b εξαρτάται από τις τάσεις που ασκούνται στην περιοχή αλλά και τις μηχανικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα την μηχανική αντοχή, την κατανομή των τάσεων και από την ομοιογένεια του υλικού στον σεισμογόνο χώρο. Η παράμετρος a ανάγεται σε διάρκεια ενός έτους με την σχέση:

$$\alpha = \alpha t - \log t, \quad (2)$$

οπού t το χρονικό διάστημα, σε έτη, που καλύπτει ο κατάλογος σεισμών.

Η αξιοπιστία των εκτιμητών των παραμέτρων a και b εξαρτάται από την ποιότητα και τον αριθμό των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Επομένως, είναι σημαντικό ο σεισμικός κατάλογος να περιέχει ικανοποιητικό αριθμό παρατηρήσεων οι οποίες θα πρέπει να πληρούν κάποια κριτήρια τα οποία θα αναφερθούν στην συνέχεια. Οι Wiemer and Wyss (1977, 2000) έδειξαν ότι η παράμετρος b θα μπορούσε να λειτουργήσει και ως αναγνωριστική τιμή για συγκεκριμένα ρήγματα, τα οποία υφίστανται πολύ υψηλές τάσεις οι οποίες τα παραμορφώνουν τόσο έντονα ώστε είναι πιθανό στο μέλλον να διαρρηχθούν ξανά. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί επειδή η τιμή b είναι αντιστρόφως ανάλογη των εφαρμοζόμενων διατμητικών τάσεων. Επομένως, εάν υπολογισθεί σε ένα ρήγμα μικρής τιμή της παραμέτρου b, αυτό αποτελεί ένδειξη ότι το ρήγμα έχει δεχτεί υψηλή καταπόνηση.

Η τιμή της παραμέτρου b έχει βρεθεί ότι μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψιν παραμέτρους όπως την κατανομή των τάσεων και την ομοιογένεια του υλικού στην περιοχή μελέτης. Όσο μικρότερη τιμή έχει η παράμετρος b τόσο μικρότερη είναι η αναλογία μικρών προς μεγάλων μεγεθών. Επίσης, σε έντονα καταπονημένες περιοχές έχει

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

παρατηρηθεί ότι η b μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μετρητής τάσεων καθώς ανάλογα με την τιμή της είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για το μέγεθος των σεισμών στην περιοχή και κατ΄ επέκταση το μέγεθος της καταπόνησης και τις τάσεις (Wiemer and Wyss, 2002).

Μια ακόμα ιδιότητα της b είναι ότι εάν υπάρχουν παρατηρήσεις της σε μια περιοχή στην οποία έχει γίνει ένας σεισμός μπορούν να ταυτοποιηθούν σεισμοί μεσαίου έως και μεγάλου μεγέθους που έχουν συμβεί πριν τον σεισμό αυτό. Αυτό συμβαίνει εάν οι τιμές της b είναι χωρικά κατανεμημένες στην περιοχή. Εκεί που οι τιμές αυτές αυξάνονται συχνά συμπίπτουν με περιοχές υψηλής προσεισμικής δραστηριότητας (Wiemer and Katsumata, 1999). Επίσης οι τιμές της b αυξάνονται και κατά την διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας ενώ μειώνονται όταν λήξει αυτή η ακολουθία. Η συνηθισμένη μέση τιμή της b, είναι ίση με μονάδα (1), σε παγκόσμιο επίπεδο. Η παράμετρος b έχει μεγάλη σημασία καθώς μπορεί να περιγράψει την κατάσταση των τάσεων και τον βαθμό ομογένειας των υλικών και σε μια περιοχή (Mogi, 1967, Scholz 1968), και να βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την πρόγνωση σεισμών (Papazachos, 1975).

1.3.1 Καθορισμός μεγέθους πληρότητας, M_c

Το μέγεθος της πληρότητας M_c, είναι το κατώτατο όριο μεγέθους σε ένα κατάλογο σεισμών, πάνω από το οποίο όλοι οι σεισμοί καταγράφονται από το Σεισμολογικό Δίκτυο για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα και σε μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Η πληρότητα του σεισμικού καταλόγου, ορίζεται κυρίως ως προς το χώρο (πυκνό ή αραιό δίκτυο) και ως προς τον χρόνο. Η πληρότητα αλλάζει με τον χρόνο στους περισσότερους καταλόγους, συγκεκριμένα μειώνεται όσο προχωρούμε σε πιο πρόσφατες περιόδους, επειδή ο αριθμός των σεισμολογικών σταθμών αυξάνεται και βελτιώνονται οι μέθοδοι ανάλυσης. Στην παρούσα εργασία η περίοδος μελέτης καλύπτει το χρονικό διάστημα από το 1964 έως και το 2020. Για τον ακριβέστερο καθορισμό των παραμέτρων a, b, M_c και N_c, το χρονικό διάστημα χωρίστηκε σε 4 υποδιαστήματα.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία

2.1 Μέθοδοι υπολογισμών μεγεθών πληρότητας

Το μέγεθος πληρότητας, δηλαδή το ελάχιστο μέγεθος σε ένα σεισμικό κατάλογο πάνω από το οποίο όλοι οι σεισμοί έχουν καταγραφεί και περιλαμβάνονται στον κατάλογο αυτό, μπορεί να έχει καθορισθεί χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης δικτύου ή μεθόδους ανάλυσης καταλόγου. Οι μέθοδοι ανάλυσης δικτύου βασίζονται στην εκτίμηση της ικανότητας ανίχνευσης μιας δεδομένης κατανομής σεισμών (Gomberg, 1991, Kvaerna et al., 2002). Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι ο προσδιορισμός του M_c είναι ανεξάρτητος από τη μεταβολή της σεισμικής δραστηριότητας. Παρόλα αυτά, η ποιότητα του καταλόγου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το πλήθος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής ενός Σεισμολογικού Δικτύου. Μια πιθανή λύση είναι αυτή η οποία προτάθηκε από τους Schorlemmer and Woessner (2008), δηλαδή να ληφθούν υπόψιν οι παραπάνω παράγοντες χωρίς να αλλάξει η μέθοδος της ανάλυσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι μέθοδοι εκτίμησης της πληρότητας του καταλόγου βασίζονται μόνο στην ανάλυση των δεδομένων που καταγράφονται (Wiemer and Wyss, 2000, Woessner και Wiemer, 2005) και επομένως μόνο στις παρατηρήσεις. Βέβαια βασική προϋπόθεση είναι η γνώση της σεισμικότητας της περιοχής που θα μελετηθεί.

Βασικά προβλήματα που προκύπτουν στον καθορισμό του μεγέθους πληρότητας σχετίζονται με: α) οι σεισμοί δεν ακολουθούν πάντα στατικούς νομούς και β) μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε περιοχές με έντονες μεταβολές στη σεισμικότητα. Στην περίπτωση αυτή, δύο κύριοι τρόποι μελέτης των μεταβολών της πληρότητας στον χώρο χρησιμοποιούνται. Στην πρώτη περίπτωση σαρώνουμε το σύνολο της περιοχής με κύκλους σταθερής ακτίνας. Δυστυχώς, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με υψηλή χωρική ανάλυση δεδομένης της φυσικής διασποράς των θέσεων των επικέντρων. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται ένας σταθερός αριθμός σεισμών για κάθε μία τιμή μεγέθους. Αυτή η προσέγγιση μεγέθους σταθερού δείγματος εφαρμόστηκε με επιτυχία για την χαρτογράφηση του M_c στην Καλιφόρνια (Wiemer and Wyss, 2000). Γενικότερα το πρόβλημα της δειγματοληψίας είναι ένα βασικό μειονέκτημα των μεθόδων που βασίζονται σε καταλόγους καθώς για παράδειγμα, στην προηγουμένη μέθοδο, η τιμή του M_c μπορεί να

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

επηρεαστεί από απότομες αλλαγές της σεισμικής δραστηριότητας και ενδεχομένως από την κατανομή των σεισμολογικών σταθμών (Rydelek and Sacks, 2003).

Για τον καθορισμό του μεγέθους πληρότητας, M_c, ενός σεισμικού καταλόγου, μπορούν να εφαρμοσθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

1. Έλεγχος καλής προσαρμογής (goodness-of-fit test GFT, Wiemer and Wyss, 2000)
2. Καθορισμός M_c με βάση την τιμή της παραμέτρου b (Cao και Gao, 2002)
3. Μέθοδος μέγιστης καμπυλότητας ή αλλιώς MAXC (Wiemer and Wyss, 2000)
4. Μέση ανάλυση της κλίσης του τμήματος της καμπύλης της αθροιστικής συχνότητας των μεγεθών(FMD, frequency magnitude distribution) με σκοπό τον εντοπισμό σημείων που αποκλίνουν (ανάλυση των FMD σε ολόκληρο το εύρος μεγέθους τους) (Amorese, 2007).

2.2 Μέθοδος GFT

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο σεισμολογικός κατάλογος του Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ (http://geophysics.geo.auth.gr/ss/) που περιέχει δεδομένα από το 1964 μέχρι και το 2020. Στις καταγραφές αναφέρονται η ημερομηνία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού, το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος του επικέντρου, το εστιακό βάθος και το μέγεθος, M_w. Το πρώτο βήμα ήταν ο χωρισμός του χρονικού διαστήματος σε 4 μικρότερα υποδιαστήματα. Τα διαστήματα αυτά δεν επιλέχθηκαν τυχαία, αλλά σηματοδοτούν τις μεγαλύτερες αναβαθμίσεις και μεταβολές του σεισμικού δικτύου στην Ελλάδα οι οποίες οδήγησαν σε ακριβέστερες μετρήσεις του μεγέθους πληρότητας, M_c (Mignan and Chouliaras, 2014). Ο χωρισμός έγινε ως εξής:

Πίνακας 1.1 Τα υποδιαστήματα στα οποία χωρίστηκε το συνολικό διάστημα. Κάθε ένα από αυτά σηματοδοτεί και μια αλλαγή/ανάπτυξη του σεισμικού δικτύου στην Ελλάδα.

1ο υποδιάστημα	**1964 - 1995**
2ο υποδιάστημα	**1996 - 2007**
3ο υποδιάστημα	**2008 - 2011**
4ο υποδιάστημα	**2012- 2020**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Αναλυτικότερα:

1) Το 1964 ξεκίνησε η ανάπτυξη του του σύγχρονου σεισμικού δικτύου στην Ελλάδα, η επέκταση του οποίου συνεχίζεται έως και σήμερα.

2) Το 1995 ξεκίνησε η διαδικασία μετατροπής της αναλογικής επεξεργασίας των δεδομένων σε ψηφιακή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ευκολότερη, ασφαλέστερη και ταχύτερη, επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων.

3) Στην περίοδο 2007 με 2011 σημειώθηκε σημαντική ανάπτυξη του ελληνικού σεισμικού δικτύου.

4) Στα μέσα του 2011 το λογισμικό υπολογισμού μεγεθών των σεισμών αναβαθμίστηκε, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ευκολία στην παρατήρηση και επεξεργασία των σεισμικών παρατηρήσεων.

Εφεξής δεν έχει γίνει κάποια σημαντική αναβάθμιση, παρόλα αυτά υπάρχει μια συνεχής ανάπτυξη του σεισμικού δικτύου στην Ελλάδα

Στην συνέχεια διερευνήθηκε το μέγεθος πληρότητας για κάθε μια από τις παραπάνω περιόδους και υπολογίσθηκαν οι παράμετροι της σχέσης G-R. Οι σεισμικές παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: οι παράμετροι a- value και b- value και το πλήθος N_c, των σεισμών με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο από την πληρότητα M_c σε κάθε χρονικό διάστημα.

Η κύρια προϋπόθεση για την προσαρμογή του νόμου GR είναι ότι οι σεισμοί πρέπει να γίνονται σε τυχαίο χρόνο και να μην επηρεάζονται από το πλήθος σεισμών που γίνονται οπουδήποτε αλλού. Επίσης, για την συγκεκριμένη μέθοδο απαιτείται επαρκές πλήθος παρατηρήσεων. Έτσι σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν περίπου 15.400 δεδομένα παρατήρησης σε διάστημα από το 1964 έως και το 2020.

Πλέον της χρονικής ανάλυσης θα μελετήσουμε την πληρότητα και χωρικά. Έτσι, η περιοχή χωρίστηκε σε κύκλους σταθερής ακτίνας οι οποίοι επικαλύπτονται και καθορίστηκε το μέγεθος πληρότητας, M_c, και οι τιμές των παραμέτρων a και b για τους σεισμούς του κάθε κύκλου μέσω της μεθόδου GFT ώστε **να επιτευχθεί όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη εικόνα της χωρικής κατανομής των τιμών του μεγέθους πληρότητας, M_c, της τιμής a και της τιμής b**. Η περιοχή της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου όπως αναφέρθηκε

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

προηγουμένως περιορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη 39.5^{o} έως 41^{o} και στα γεωγραφικά μήκη 24^{o} έως 27.6^{o}. Υστέρα από κάποιες δοκιμές το μήκος του κελιού ορίστηκε στις 0.15^{O} (περίπου 15 km.) και η ακτίνα του κύκλου στις 0.2^{O} (περίπου 20 km**.). Οι παραπάνω διαστάσεις επιλέχθηκαν έτσι ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότεροι σεισμοί σε κάθε κυψελίδα.** Έπειτα και αφού υπολογιστεί το πλήθος των σεισμών, χρησιμοποιείται η μέθοδος Goodness of Fit (GFT) και υπολογίζεται το μέγεθος πληρότητας, M_c, σε κάθε κυψελίδα. Η μέθοδος GFT χρησιμοποιεί ως υπόθεση ότι το πλήθος σεισμών, N_c, ανά μέγεθος πάνω από ένα κατώφλι μεγέθους, ακολουθεί τη κατανομή συχνότητας μεγέθους που εκφράζεται μέσω της σχέσης (1).

Για να εφαρμόσουμε τη μέθοδο GFT υπολογίζουμε τις διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων και συνθετικών συχνοτήτων που προκύπτουν από τη σχέση GR. Αυτές οι συνθετικές κατανομές υπολογίζονται με βάση τις εκτιμώμενες μεταβλητές a και b που προκύπτουν από το παρατηρήσιμο πλήθος δεδομένων για $M \geq M_{co}$ ως συνάρτηση του αυξανόμενου μεγέθους αποκοπής M_{co}. Ο βαθμός προσαρμογής των δεδομένων υπολογίζεται μέσω της παραμέτρου R, που εκφράζει τις απόλυτες διαφορές μεταξύ της παρατηρούμενης και συνθετικής κατανομής για κάθε μέγεθος, και δίνεται από τη παρακάτω σχέση,

$$R(a, b, Mco) = 100 - ((\Sigma^{Mmax}{}_{Mco} \mid B_i - S_i \mid / \Sigma_i B_i)*100) \qquad \textbf{(3)}$$

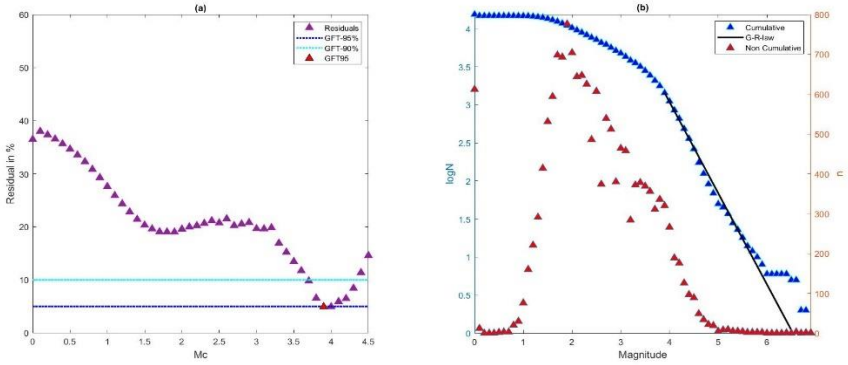
Όπου B_i είναι οι παρατηρούμενοι σεισμοί και S_i οι αναμενόμενοι σεισμοί. Το M_c υπολογίζεται από την πρώτη τιμή μεγέθους M για την οποίο ισχύει $M \geq M_{co}$ που απεικονίζεται στο διάγραμμα ως ευθεία γραμμή για συγκεκριμένο όριο εμπιστοσύνης.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

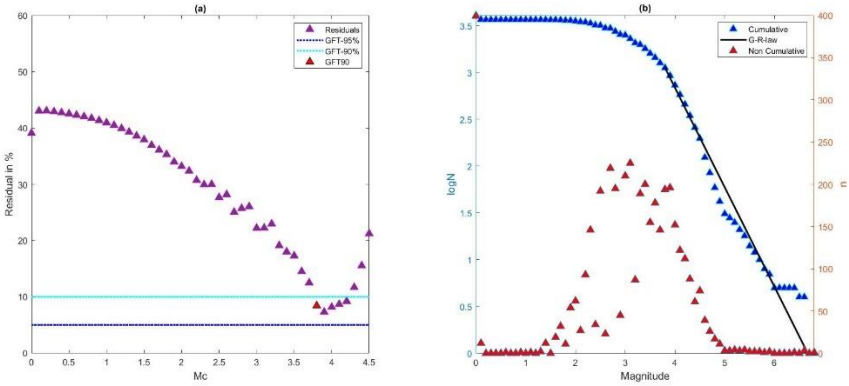
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Καθορισμός του μεγέθους πληρότητας M_c και των παραμέτρων σεισμικότητας a και b

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθορισμού του μεγέθους πληρότητας, M_c, και των παραμέτρων σεισμικότητας a και b από την εφαρμογή της μεθόδου GFT στους σεισμικούς καταλόγους των χρονικών παραθύρων του πίνακα.



Σχ. 3.1 *Αποτελέσματα για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας a και b (δεξιά) και του μεγέθους M_c (αριστερά), για την Τάφρο Βορείου Αιγαίου σε όλο το χρονικό διάστημα της μελέτης, από το 1964 έως και το 2020.*



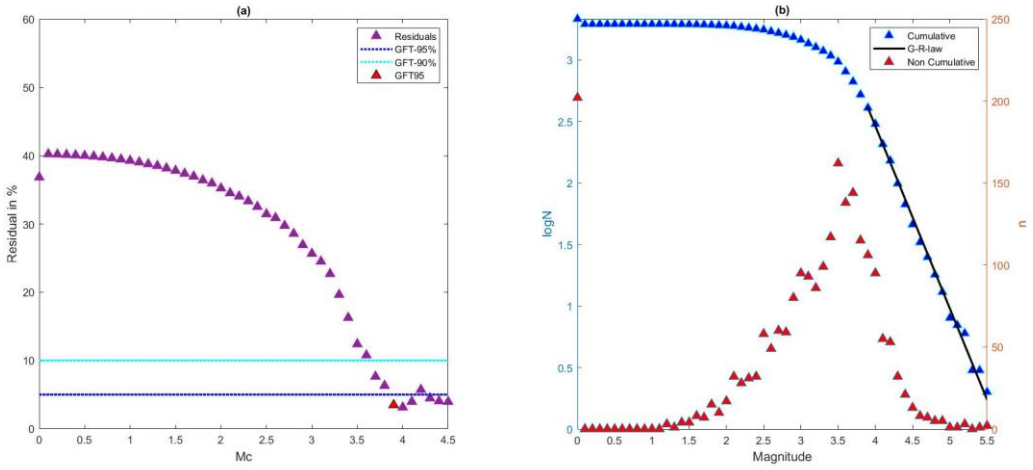
Σχ. 3.2. *Αποτελέσματα για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας a και b (δεξιά) και του μεγέθους M_c (αριστερά), για την Τάφρο Βορείου Αιγαίου στο χρονικό διάστημα 1964 – 1995.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στον παρακάτω πίνακα περιλαμβάνονται στοιχεία του κάθε καταλόγου, συγκεκριμένα, συνολικό πλήθος σεισμών, εκτιμώμενη πληρότητα.

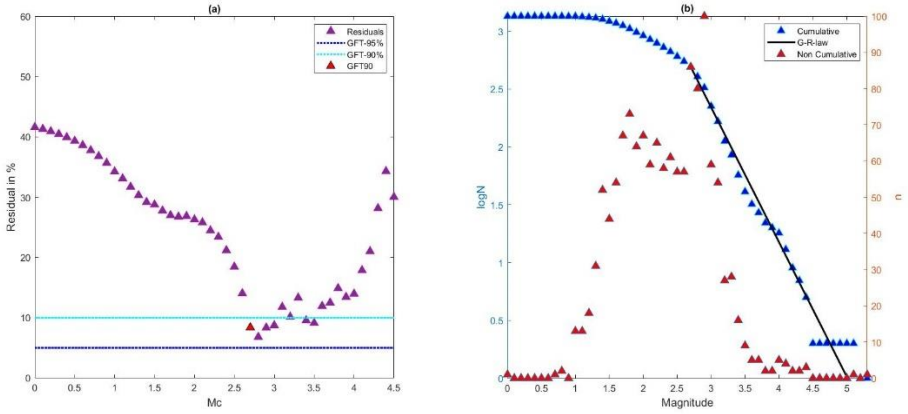
Πίνακας 3.1 Το μέγεθος πληρότητας, M_c, για κάθε χρονικό διάστημα μαζί με τις παραμέτρους a και b του νόμου GR. N και N_c συμβολίζουν το συνολικό πλήθος σεισμών και το πλήθος σεισμών πάνω από το μέγεθος πληρότητας, αντίστοιχα.

Χρονικό διάστημα	N	M_c	N_c	a	b
1964-2020	15419	3.9	1440	7.8	1.19
1964-1995	4098	3.8	1127	7.1	1.06
1996-2007	1771	3.9	383	8.4	1.50
2008-2011	1734	2.8	601	5.6	1.03
2012-2020	7821	2.1	3358	5.2	0.83

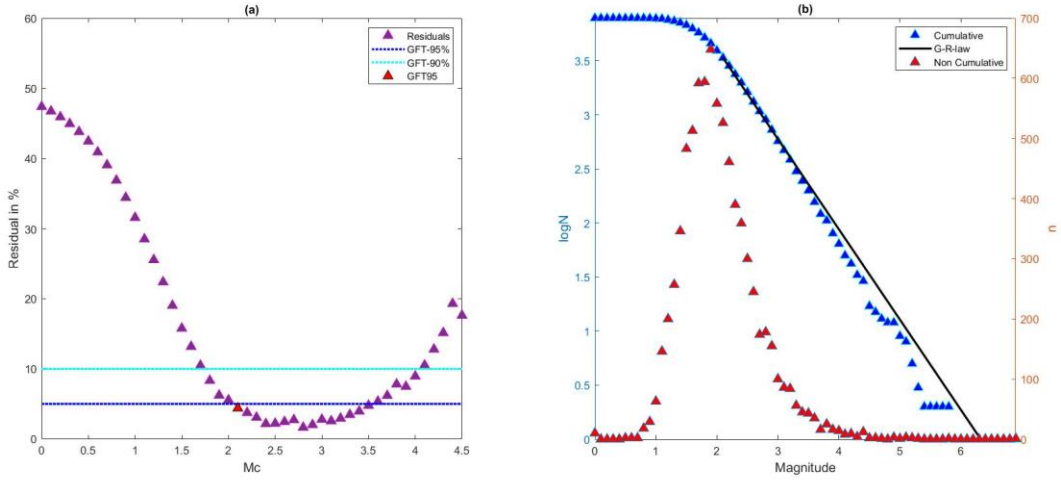


Σχ. 3.3. *Αποτελέσματα για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας a και b (δεξιά) και του μεγέθους M_c (αριστερά), για την Τάφρο Βορείου Αιγαίου στο χρονικό διάστημα 1996 – 2008.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχ. 3.4. *Αποτελέσματα για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας a και b (δεξιά) και του μεγέθους M_c (αριστερά), για την Τάφρο Βορείου Αιγαίου στο χρονικό διάστημα 2009 – 2011.*



Σχ. 3.5. *Αποτελέσματα για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας a και b (δεξιά) και του μεγέθους M_c (αριστερά), για την Τάφρο Βορείου Αιγαίου στο χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

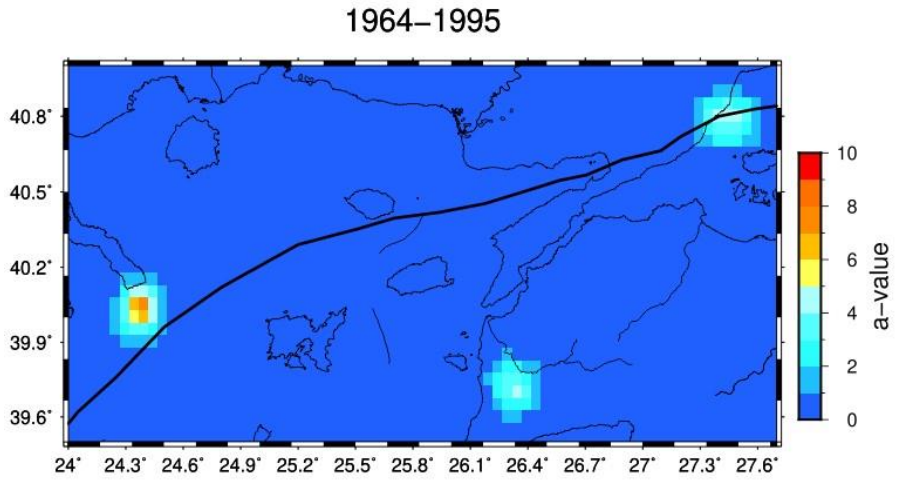
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

3.2 Υπολογισμός παραμέτρων σεισμικότητας

Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκε κώδικας για τον χωρισμό της τάφρου του Βορείου Αιγαίου σε Χ επικαλυπτόμενους κύκλους και την σύνταξη των απαραίτητων σεισμικών καταλόγων (υποσύνολο σεισμών που περιέχονται στην περιοχή που περικλείει κάθε κύκλος), και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος GFT σε κάθε υποσύνολο δεδομένων. Μέσω του κώδικα της μεθόδου GFT υπολογίστηκε το μέγεθος M_c και οι παράμετροι σεισμικότητας a και b για κάθε κύκλο. Υπενθυμίζεται ότι τα τεχνικά χαρακτηριστικά χωρισμού (ακτίνα κύκλου και μήκος κελιού) είναι $R_{κύκλου}=0,2^o$ και $L_{κυψελίδας}=0,15^o$ Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται στα σχήματα παρακάτω.

3.2.1 Αποτελέσματα για την χρονική περίοδο 1964-1995

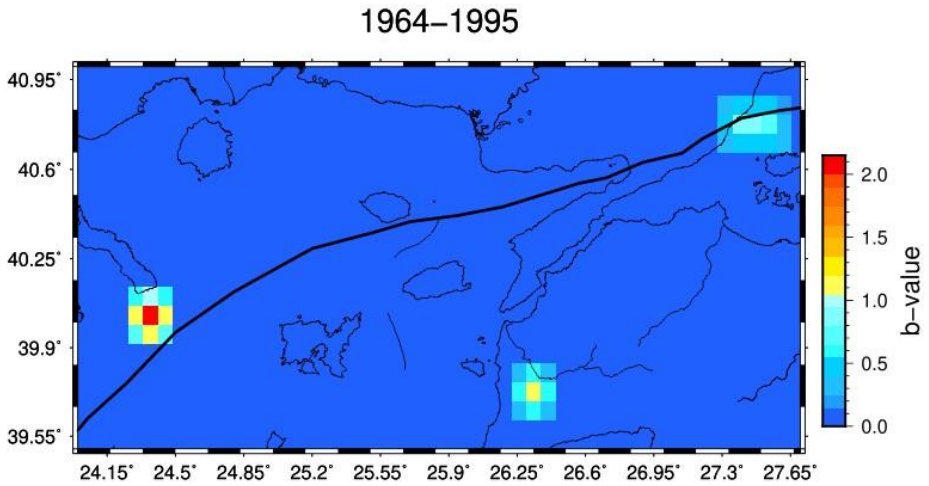
Το σχήμα 3.6 δείχνει την χωρική κατανομή των τιμών a αυτής της μελέτης από το 1964 έως και 1995. Φαίνεται ότι σε αυτό το διάστημα έχουμε 3 συγκεντρώσεις σεισμών με βαση τους οποίους είναι δυνατός ο υπολογισμός των παραμέτρων σεισμικότητας, εδώ συγκεκριμένα της παραμέτρου a, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 1,5 έως και 8,5.



Σχ. 3.6. *Χωρική κατανομή της εκτιμώμενης παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 1964-1995.*

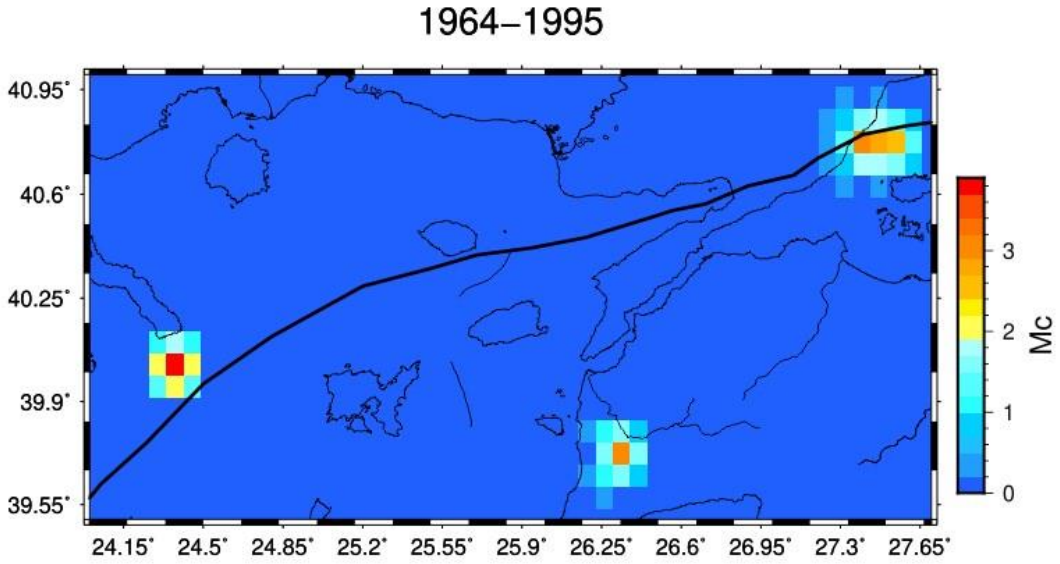
Το σχήμα 3.7 δείχνει την χωρική κατανομή των αντίστοιχων τιμών b για το διάστημα 1964 έως και 1995 οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 0.25 έως και 2.0.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α.



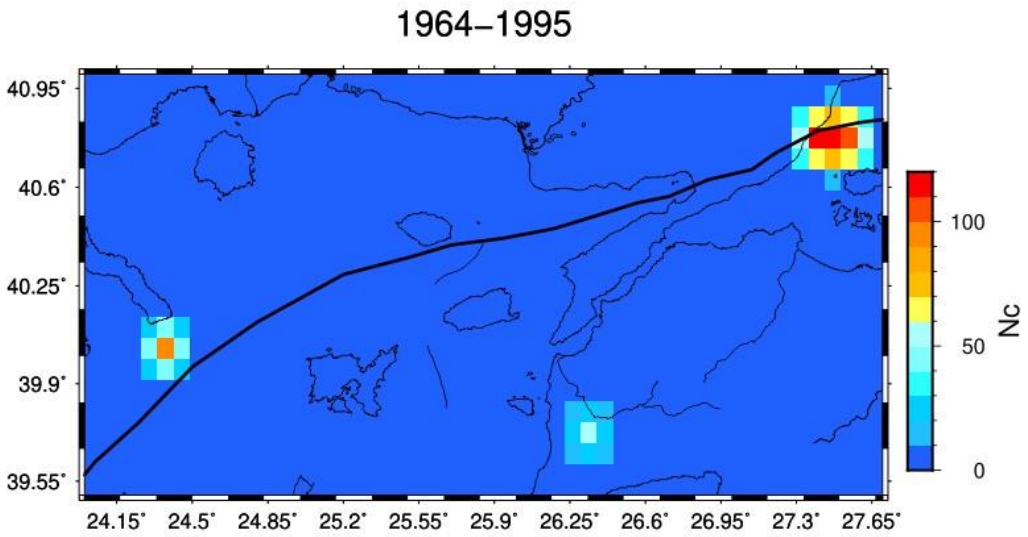
Σχ. 3.7. *Χωρική κατανομή της εκτιμώμενης παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 1964-1995.*

Τα σχήματα 3.8 και 3.9 δείχνουν τη χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας, M_c, και του πλήθους σεισμών, N_c, αντίστοιχα, για το χρονικό διάστημα 1964 – 1995.



Σχ. 3.8. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας, M_c, για το χρονικό διάστημα 1964-1995.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχ. 3.9. *Χωρική κατανομή του πλήθους παρατηρήσεων, N_c, για το χρονικό διάστημα 1964-1995.*

Οι περιοχές στις οποίες υπήρχε ικανοποιητικός αριθμός σεισμών για την ανάλυσή μας, βρίσκονται στο ΝΔ άκρο της περιοχής μελέτης, (39,6° – 39,8° και 24,16° – 24,5°), στο ΝΝΑ άκρο (39,85° – 40,20° και 26,19° – 26,5°) και στο ΒΑ άκρο (40,60° – 40,95° και 27,3° – 27,65°). Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι γενικότερα σε αρκετές ακόμα περιοχές έγιναν σεισμοί κατά την διάρκεια του διαστήματος 1964 – 1995, όμως στις αντίστοιχες κυψελίδες ο αριθμός αυτός δεν υπερέβαινε τους τουλάχιστον 50 σεισμούς πάνω από το κατώφλι πληρότητας, M_c, το οποίο έχει τεθεί ως προϋπόθεση για την αξιοπιστία των υπολογισμών.

Πίνακας 3.2 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για την περίοδο 1964 – 1995.

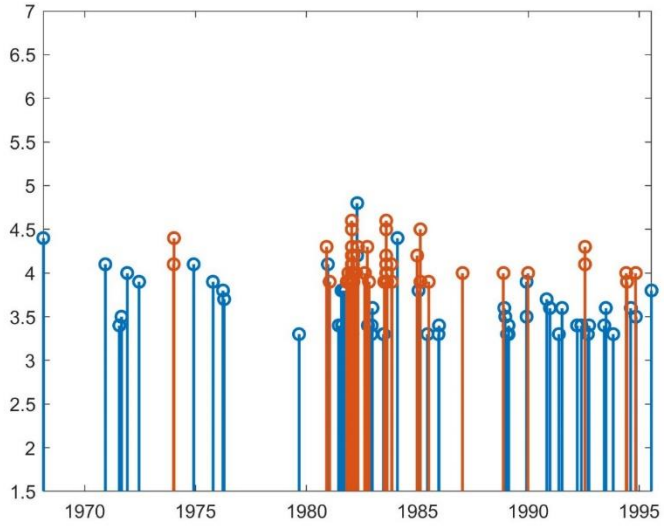
	latitude (Μέσο)	longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 1-- Κυψελίδα 40	39.725	26.325	105	5.68	1.19	3.30	56
Περιοχή 2-- Κυψελίδα 75	40.025	24.375	206	10.27	2.13	3.90	91
Περιοχή 3-- Κυψελίδα 215	40.775	27.375	353	4.71	0.88	3.00	115

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

Περιοχή 4--Κυψελίδα 216	40.775	27.525	368	4.69	0.87	3.00	121

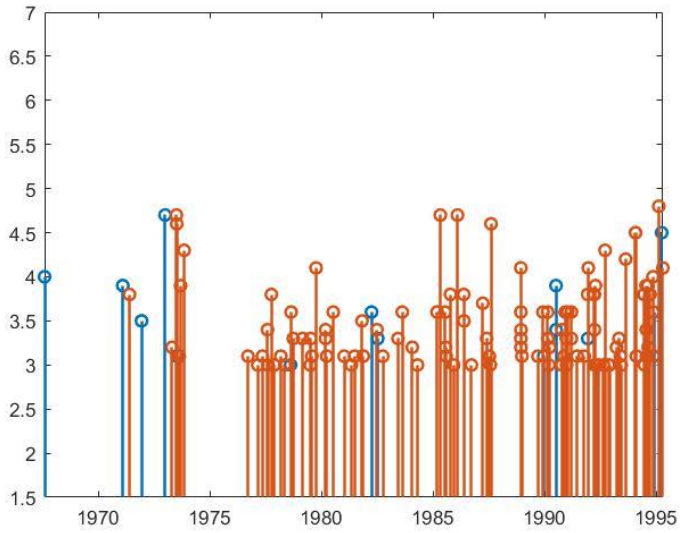
Αναλυτικότερα για τις συγκεκριμένες κυψελίδες προχωρήσαμε στη μελέτη της χρονικής κατανομής των μεγεθών σεισμών. Συγκεκριμένα, στα σχήματα 3.10, 3.11, 3.12 και 3.14 δίνουμε την κατανομή των μεγεθών για τις κυψελίδες 40, 75, 215 και 216, αντίστοιχα ως συνάρτηση του χρόνου.

Στο σχήμα 3.10 παρατηρείται ότι στην κυψελίδα 40 έγινε μία σεισμική ακολουθία με μέγιστο μέγεθος M=4,8 και συγκέντρωση 56 σεισμών. Παρατηρούμε ότι στην κυψελίδα 75 έχουμε μία σεισμική ακολουθία με μέγιστο μέγεθος M=4,6 και συγκέντρωση 91 σεισμών.



Σχ. 3.10. *Μεγέθη σεισμών στις κυψελίδες 40 (μπλε χρώμα) και 75 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 1964 – 1995.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεω
Α.Π.Θ



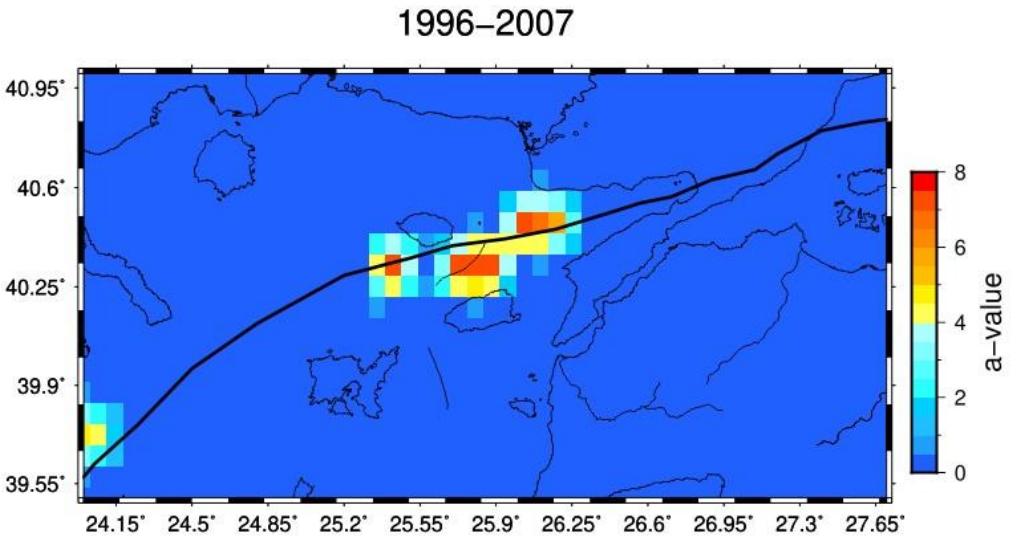
Σχ. 3.11. *Μεγέθη σεισμών στις κυψελίδες 215 (μπλε χρώμα) και 216 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 1964 – 1995*.

Το σχήμα 3.11 δείχνει ότι στην κυψελίδα 215 υπάρχει μία σεισμική ακολουθία με μέγιστο μέγεθος M=4,8 και συγκέντρωση 56 σεισμών, ενώ στην κυψελίδα 216 έχουμε μία σεισμική ακολουθία με μέγιστο μέγεθος M=4,6 και συγκέντρωση 91 σεισμών.

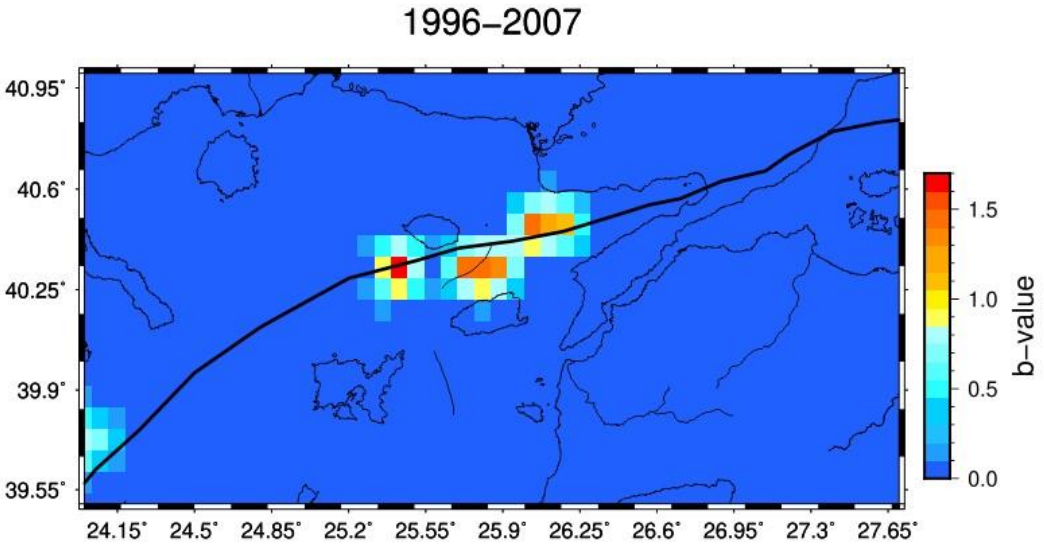
3.2.2 Υπολογισμός παραμέτρων σεισμικότητας στο χρονικό διάστημα 1996–2007

Στα σχήματα 3.12 και 3.13 φαίνονται η χωρική κατανομή των τιμών της a και της b, αντίστοιχα, στο διάστημα 1996–2007. Διακρίνονται 4 συγκεντρώσεις κυψελίδων κατά μήκος της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου. Οι τιμές της a κυμαίνονται μεταξύ 0,25 και 8,0 και της της b μεταξύ 0,25 και 1,5.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



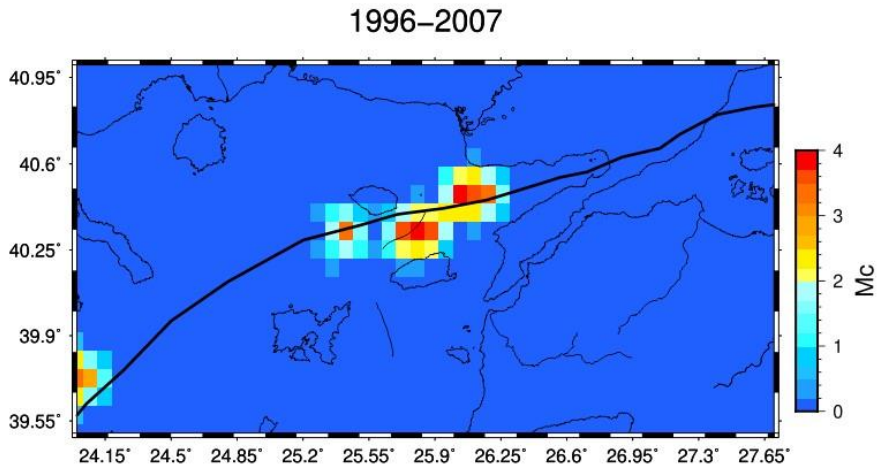
Σχ. 3.12. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*



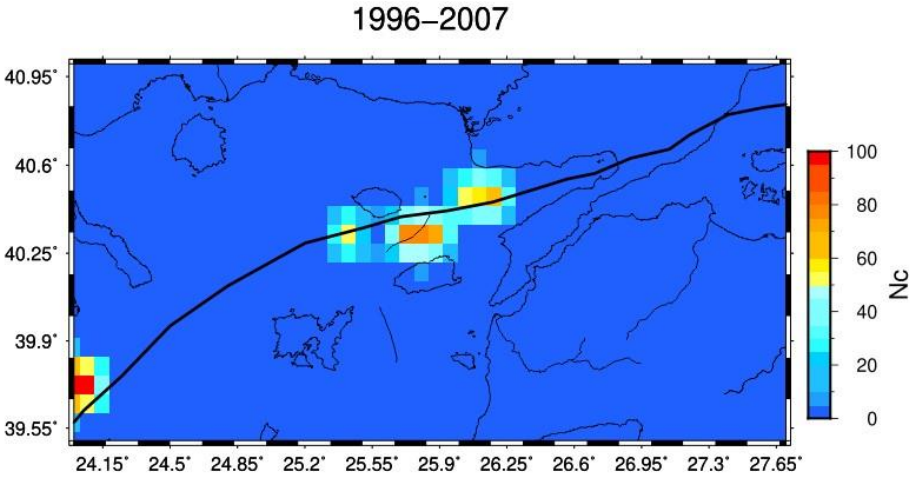
Σχ. 3.13. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*

Στα σχήματα 3.14 και 3.15 φαίνεται η χωρική κατανομή των τιμών M_c και N_c, αντίστοιχα, για το χρονικό διάστημα 1996 – 2007. Διακρίνονται οι 4 συγκεντρώσεις κυψελίδων όπως προαναφέραμε, με τις τιμές του M_c και N_c, αντίστοιχα, να κυμαίνονται μεταξύ ?? - ??, και 10 έως 100.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α.



Σχ. 3.14. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας, M_c, για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*



Σχ. 3.15. *Χωρική κατανομή του πλήθους σεισμών, N_c, για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*

Η 1η συγκέντρωση εμφανίζεται στα ΔΝΔ της περιοχής (39,55° – 39,9° και 24° – 24,16°). Οι σεισμοί που παρατηρούνται ανέρχονται περίπου στους 150 με 180. Οι επόμενες 3 συγκεντρώσεις εφάπτονται. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποια σεισμική ακολουθία η οποία έγινε στο διάστημα 1996 με 2007.

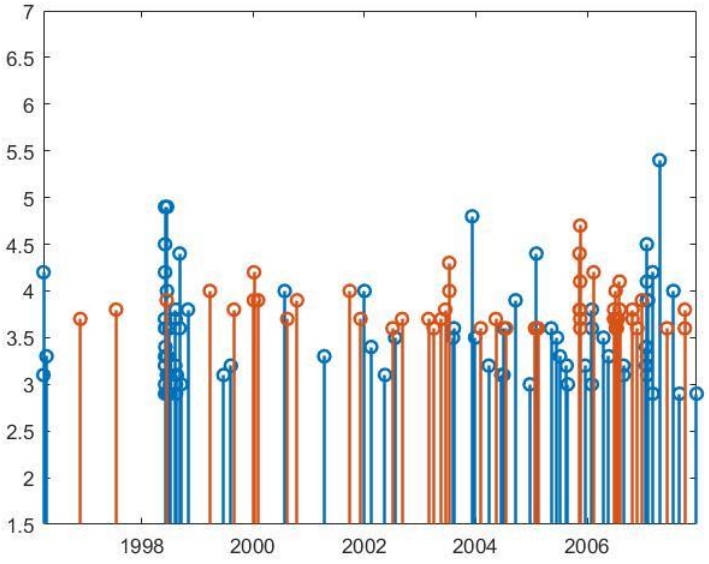
Πίνακας 3.3. Παράμετροι σεισμικότητας για την περίοδο 1996 – 2007

	Latitude (Μέσο)	Longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 1 – Κυψελίδα 25	39.725	24.075	179	4.07	0.716	2.90	98

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Περιοχή 2 – Κυψελίδα 130	40.325	25.425	112	7.91	1.71	3.60	56
Περιοχή 3 – Κυψελίδα 132	40.325	25.725	186	7.23	1.44	3.70	80
Περιοχή 4 – Κυψελίδα 133	40.325	25.875	240	7.55	1.45	3.90	76
Περιοχή 5 – Κυψελίδα 158	40.325	25.725	218	7.59	1.47	4.00	51
Περιοχή 6 – Κυψελίδα 159	40.325	25.875	130	6.27	1.19	3.70	72

Στον πίνακα 3.3 δίνονται τα αποτελέσματα των εκτιμώμενων παραμέτρων σεισμικότητας για τις κυψελίδες με πλήθος σεισμών τουλάχιστον 50 οι οποίοι έχουν μέγεθος $M \geq M_c$. Σε σχέση με τα στοιχείς του Πίνακα 32. Παρατηρείται αύξηση τόσο στο πλήθος των σεισμών όσο και στο πλήθος των κυψελίδων (από 4 σε 6) όπου ορίζεται πληρότητα ,ε βάση τα κριτήρια που έχουμε θέσει. Παρόλα αυτά παραμένουν αρκετές κενές κυψελίδες λόγω αφενός των αυστηρών κριτηρίων που έχουμε ορίσει και αφετέρου του αραιού σεισμικού δικτύου την συγκεκριμένη περίοδο.



Σχ. 3.16. *Μεγέθη σεισμών στις κυψελίδες 25 (μπλε χρώμα) και 130 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 1996 – 2007.*

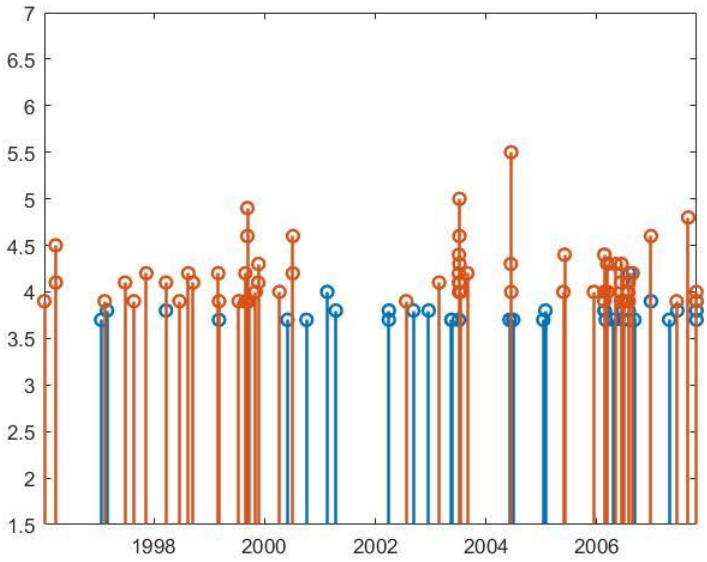
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Στο σχήμα 3.16 παρατηρούνται για την κυψελίδα 25, δύο σεισμικές συγκεντρώσεις με την πρώτη περίπου στα τέλη του 1998 με αρχές 1999 και την δεύτερη να είναι λιγότερο συγκεντρωμένη αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια από τις αρχές του 2004 μέχρι και περίπου τις αρχές του 2007. Για την κυψελίδα 130 παρατηρείται μια έντονη συγκέντρωση σεισμών περίπου στα μέσα του 2003 και έπειτα η περιοχή του κελιού δραστηριοποιείται ξανά στα μέσα του 2005 και παραμένει ενεργή μέχρι τα μέσα του 2006.

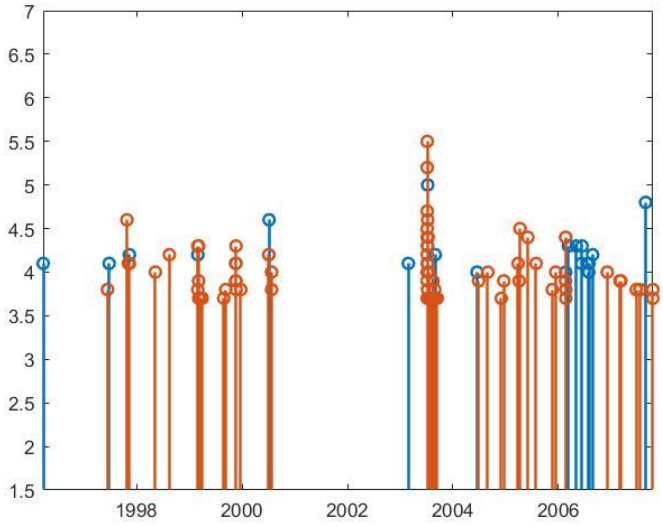
Στο σχήμα 3.17 παρατηρείται ότι η κυψελίδα 132 ενώ δεν έχει έντονη σεισμική δραστηριότητα είναι ενεργή από το 1997 μέχρι και τα τέλη του 2007. Αντίθετα στην κυψελίδα 133 παρατηρείται πιο έντονη σεισμική δραστηριότητα η οποία όμως χωρίζεται σε 2 χρονικά διαστήματα, με το πρώτο να ξεκινάει στις αρχές του 1996 και να φτάνει μέχρι και τα τέλη του 2000 και το δεύτερο να ξεκινάει περίπου το 2003 και να εκτείνεται μέχρι και τα τέλη του 2007.

Στο σχήμα 3.18 παρατηρείται ότι η κυψελίδα 158 έχει μια αρκετά αραιή σεισμική δραστηριότητα από το 1996 έως και το 2001 όταν η περιοχή αυτή ηρεμεί και επαναδραστηριοποιείται στα τέλη του 2003 μέχρι και τα τέλη του 2007 με μια αρκετά έντονη συγκέντρωση σε όλη την διάρκεια του 2006. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά της σεισμικής δραστηριότητας στην κυψελίδα 159 με την διαφορά ότι στο πρώτο διάστημα (1997 μέχρι και τα τέλη του 2000), η σεισμική δραστηριότητα είναι πολύ πιο έντονη σε σχέση με αυτήν της κυψελίδας 158. Επίσης το δεύτερο διάστημα παρατηρείται μια εξαιρετικά έντονη δραστηριότητα περίπου στα μέσα του 2003 με αρκετούς σεισμούς. Έπειτα συνεχίζεται πιο αραιά μέχρι και τα τέλη του 2007.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π.



Σχ. 3.17. *Μεγέθη σεισμών στις κυψελίδες 132 (μπλε χρώμα) και 133 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 1996 – 2007.*



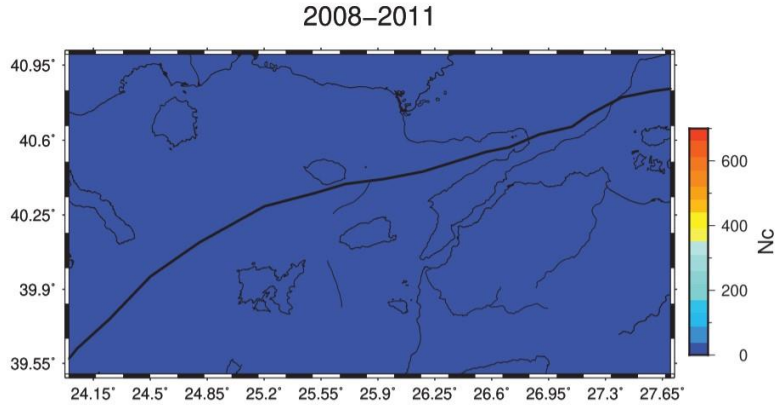
Σχ. 3.17. *Μεγέθη σεισμών στις κυψελίδες 158 (μπλε χρώμα) και 159 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 1996 – 2007.*

3.3 Παράμετροι σεισμικότητας κατά το διάστημα 2008 – 2011

Για το χρονικό διάστημα 2008–2011 με βάση τις προϋποθέσεις που έχουν οριστεί δεν υπάρχουν διαθέσιμα αξιοποιήσιμα δεδομένα στην περιοχή μελέτης. Αυτό δεν οφείλεται στην ανάπτυξη του σεισμικού δικτύου αλλά στη μικρή διάρκεια του διαστήματος αυτού,

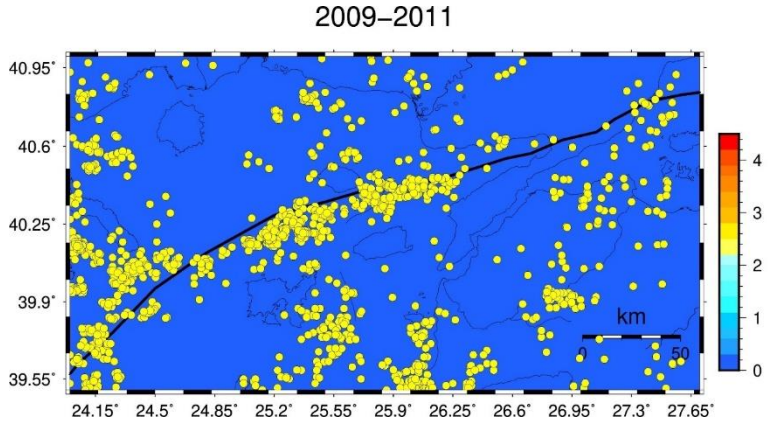
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

καθώς και στο κριτήριο που έχουμε ορίσει σχετικά με το όριο του πλήθους σεισμών πάνω από την πληρότητα σεισμών που έχουμε ορίσει για κάθε κελί.



Σχ. 3.19. *Καθορισμός πλήθους σεισμών για το χρονικό διάστημα 2008 – 2011.*

Το Σχήμα 3.20 δείχνει την επικεντρική κατανομή σεισμών που έγιναν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Αν και φαίνεται ότι η περιοχή είναι ενεργή, το δείγμα δεδομένων δεν πληροί τις προϋποθέσεις που ορίστηκαν, δηλαδή τους 50 σεισμούς πάνω από το κατώφλι πληρότητας ($M>M_c$) ανά κυψελίδα. Παρόλα αυτά παρατηρούνται κάποιες σεισμικές συγκεντρώσεις σε σημεία του χάρτη, τα οποία κατανέμονται κυρίως απλωμένα κατά μήκος της τάφρου.

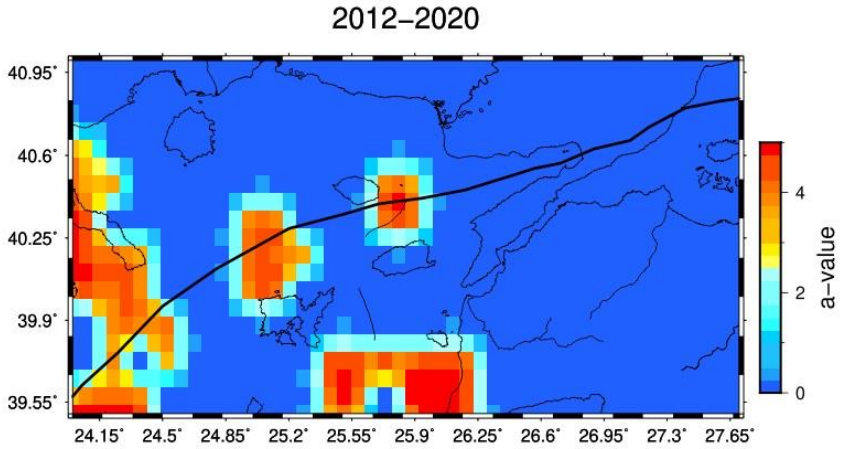


Σχ. 3.20. *Επικεντρική κατανομή σεισμών για το χρονικό διάστημα 2008 – 2011.*

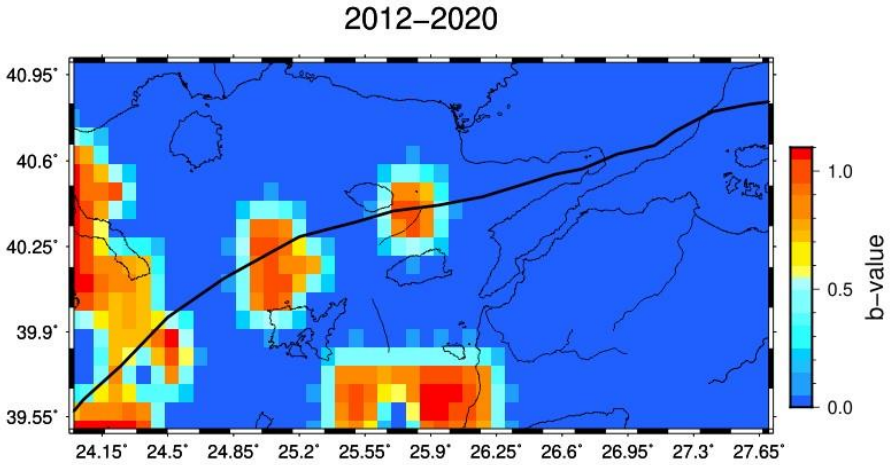
3.3 Παράμετροι σεισμικότητας κατά το διάστημα 2012–2020

Στα σχήματα 3.21 και 3.22 φαίνονται η χωρική κατανομή των τιμών της παραμέτρου a και b, αντίστοιχα για το χρονικό διάστημα 2012–2020. Διακρίνοντα 4 συγκεντρώσεις με τις τιμές της a να κυμαίνονται μεταξύ 0.1 και 5.0 και της b μεταξύ 0.1 και 1.1.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π



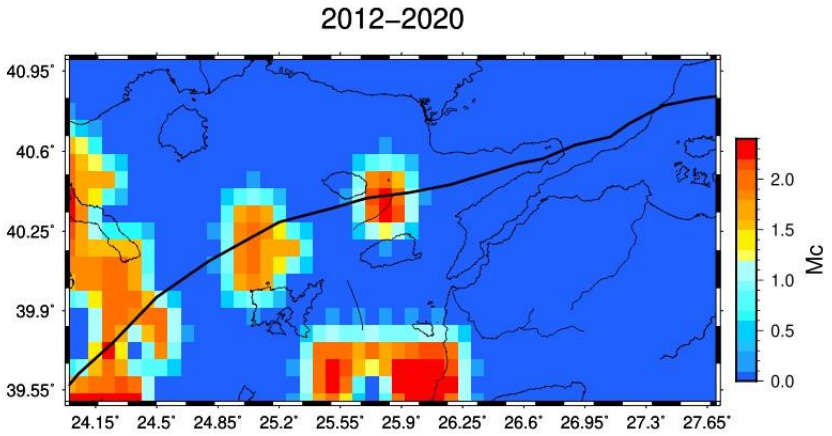
Σχ. 3.21. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*



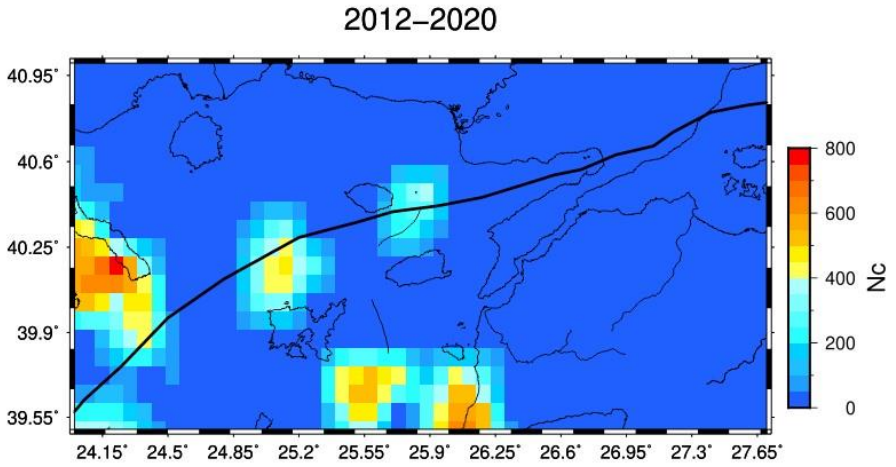
Σχ. 3.22. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*

Στα σχήματα 3.23 και 3.24 φαίνεται η χωρική κατανομή των τιμών M_c και N_c, αντίστοιχα, για το χρονικό διάστημα 2012 έως 2020. Διακρίνονται 4 συγκεντρώσεις κυψελίδων κατά μήκος της τάφρου. Οι τιμές του M_c κυμαίνονται από 0,1 έως 2,5 και του N_c από 50 έως 800.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π



Σχ. 3.23. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας M_c για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*



Σχ. 3.24. *Χωρική κατανομή του πλήθους N_c για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*

Η πρώτη συγκέντρωση εμφανίζεται στα Δ, η έκταση της όμως είναι πολύ μεγάλη (39,50° – 40,76° και 24° – 24,6°). Στον πυρήνα της συγκέντρωσης παρατηρείται μια αύξηση τιμής των a, b και M_c με τις τιμές τους να φτάνουν τα 4.0, 0.7 και 2.0, αντίστοιχα. Ο αριθμός των σεισμών παρατηρείται αυξάνεται στο εσωτερικό της συγκέντρωσης ενώ μειώνεται στο εξωτερικό με το πλήθος των σεισμών να αρχίζει στο εξωτερικό από τους 100 – 150 σεισμούς και να φτάνει ως και τους 800 στο εσωτερικό.

Η δεύτερη συγκέντρωση εμφανίζεται λίγο ανατολικότερα της πρώτης άλλα με πολύ μικρότερη έκταση (39,9° – 40,43° και 24,85° – 25,35°). Όπως και στην πρώτη συγκέντρωση

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οι τιμές των a, b και M_c φαίνεται να αυξάνονται στο εσωτερικό ενώ παρατηρείται μείωση στο εξωτερικό. Οι τιμές που παρατηρούνται είναι 4.0 (a), 0.75 (b), και 2.0 (M_c) στο εσωτερικό. Το πλήθος των σεισμών στο εσωτερικό φτάνει μέχρι και τους 450 σεισμούς ενώ στο εξωτερικό περίπου στους 50 – 100 ανά κυψελίδα.

Η τρίτη συγκέντρωση βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής και γενικά οι μετρήσεις σε αυτήν την περιοχή έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με τις προηγούμενες δύο συγκεντρώσεις με την διάφορα ότι παρατηρείται μια ομογένεια στο πλήθος των σεισμών καθόλη την έκταση της περιοχής δηλαδή 250 σεισμοί ανά κυψελίδα. Οι τιμές των παραμέτρων είναι αυξημένες στο εσωτερικό ενώ μειώνονται στο εξωτερικό. Συγκεκριμένα το a ξεκάνει από 0.2 στο εσωτερικό και φτάνει μέχρι 4.5 στο εξωτερικό, η παράμετρος b από 0.1 στο εσωτερικό και φτάνει μέχρι 1.2 στο εξωτερικό και το M_c ξεκάνει από 0,5 στο εσωτερικό και φτάνει μέχρι 2,5 στο εξωτερικό.

Η τελευταία συγκέντρωση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως δυο ξεχωριστές συγκεντρώσεις οι οποίες εφάπτονται (39,50^o – 39,80^o και από 25,30^o έως 26,30^o). Όπως και στις προηγούμενες 3 συγκεντρώσεις ισχύει ότι στο εσωτερικό οι τιμές των παραμέτρων a, b, M_c και N_c αυξάνονται ενώ στο εξωτερικό μειώνονται.

Πίνακας 3.4. Παράμετροι σεισμικότητας για την περίοδο 2012 – 2020.

	latitude (Μέσο)	longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 1 - Κυψελίδα 1	39.575	24.075	355	3.9383	0.8239	1.90	236
Περιοχή 2-- Κυψελίδα 2	39.575	24.225	383	4.0547	0.8561	2.00	220
Περιοχή 3-- Κυψελίδα 3	39.575	24.375	213	3.9052	0.8730	2.10	118
Περιοχή 4-- Κυψελίδα 10	39.575	25.425	439	4.0906	0.8593	1.90	287
Περιοχή 5-- Κυψελίδα 11	39.575	25.575	801	4.4069	0.8544	2.40	499
Περιοχή 6-- Κυψελίδα 13	39.575	25.875	741	5.0420	1.0981	2.40	255

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

	latitude (Μέσο)	longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 7--Κυψελίδα 13	39.575	25.875	741	5.0126	0.9474	2.40	548
Περιοχή 8--Κυψελίδα 15	39.575	26.175	1398	4.9883	0.9390	2.40	543
Περιοχή 9--Κυψελίδα 26	39.725	24.225	314	3.8711	0.8293	2.40	76
Περιοχή 10--Κυψελίδα 28	39.725	24.525	80	3.2966	0.8735	1.80	53
Περιοχή 11--Κυψελίδα 34	39.725	25.425	698	4.3374	0.8525	2.00	429
Περιοχή 12--Κυψελίδα 35	39.725	25.575	856	4.4373	0.8581	2.00	526
Περιοχή 13--Κυψελίδα 36	39.725	25.725	683	4.3743	0.8654	2.00	440
Περιοχή 14--Κυψελίδα 37	39.725	25.875	257	4.1516	1.0208	1.90	163
Περιοχή 15--Κυψελίδα 38	39.725	26.025	928	4.7985	0.9850	2.20	428
Περιοχή 16--Κυψελίδα 39	39.725	26.175	672	4.5095	0.9218	2.20	303
Περιοχή 17--Κυψελίδα 50	39.875	24.225	569	3.9375	0.7353	2.00	293
Περιοχή 18--Κυψελίδα 51	39.875	24.375	610	3.8742	0.6973	1.80	416
Περιοχή 19--Κυψελίδα 52	39.875	24.525	180	4.1042	1.0943	2.10	64
Περιοχή 20--Κυψελίδα 73	40.025	24.075	1099	4.5048	0.9901	1.80	528
Περιοχή 21--Κυψελίδα 74	40.025	24.225	785	4.0213	0.7259	2.00	371
Περιοχή 22--Κυψελίδα 75	40.025	24.375	739	3.9885	0.7313	1.80	470

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

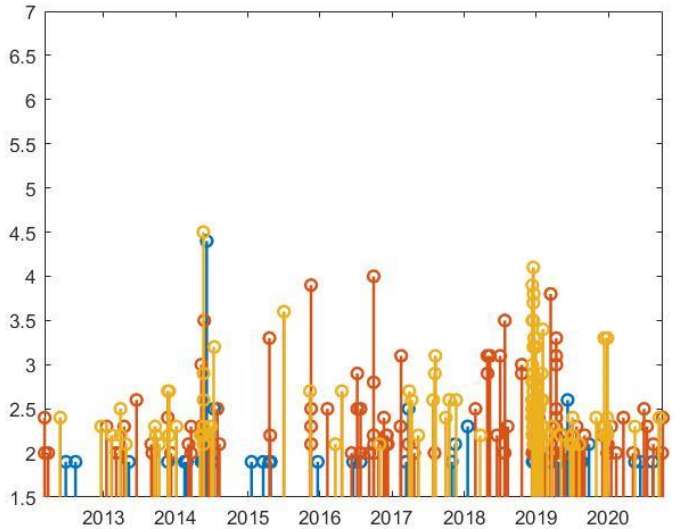
	latitude (Μέσο)	longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 23--Κυψελίδα 79	40.025	24.975	368	3.7932	0.8312	1.70	240
Περιοχή 24--Κυψελίδα 80	40.025	25.125	531	4.1668	0.9657	1.70	335
Περιοχή 25--Κυψελίδα 97	40.175	24.075	1019	4.4429	0.9849	1.70	587
Περιοχή 26--Κυψελίδα 98	40.175	24.225	1078	4.2299	0.8330	1.60	789
Περιοχή 27--Κυψελίδα 99	40.175	24.375	472	3.7389	0.7476	1.60	349
Περιοχή 28--Κυψελίδα 103	40.175	24.975	576	4.1298	0.8952	1.80	330
Περιοχή 29--Κυψελίδα 104	40.175	25.125	757	4.1058	0.8472	1.70	463
Περιοχή 30--Κυψελίδα 105	40.175	25.275	617	4.0151	0.8374	1.80	322
Περιοχή 31--Κυψελίδα 121	40.325	24.075	861	4.4748	1.0321	1.80	414
Περιοχή 32--Κυψελίδα 127	40.325	24.975	289	3.8700	0.9285	1.80	158
Περιοχή 33--Κυψελίδα 128	40.325	25.125	668	4.1432	0.8884	1.80	350
Περιοχή 34--Κυψελίδα 132	40.325	25.725	402	3.9236	0.8506	1.90	203
Περιοχή 35--Κυψελίδα 133	40.325	25.875	580	4.2734	0.9009	2.30	159
Περιοχή 36--Κυψελίδα 145	40.475	24.075	174	3.5692	0.9205	1.70	101
Περιοχή 37--Κυψελίδα 146	40.475	24.225	173	3.5328	0.9651	1.70	78

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

	latitude (Μέσο)	longitude (Μέσο)	Σύνολο σεισμών (χωρίς όριο Mc)	a	b	Mc	Nc
Περιοχή 38--Κυψελίδα 156	40.475	24.725	378	3.9330	0.8659	1.90	194
Περιοχή 39--Κυψελίδα 157	40.475	25.875	570	3.9250	0.7757	1.70	404
Περιοχή 40--Κυψελίδα 169	40.625	24.075	82	2.8149	0.7920	1.30	61

Στον πίνακα 3.3 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων σεισμικότητας για τις κυψελίδες με πλήθος σεισμών ίσο με τουλάχιστον 50 πάνω από το μέγεθος πληρότητας. Στην περιοχή ενδιαφέροντος πλέον υπάρχουν πολύ λίγες περιοχές στις οποίες δεν έχουν γίνει σεισμοί ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις που έχουν οριστεί για την κάθε κυψελίδα. Αναλυτικότερα για τις συγκεκριμένες κυψελίδες προχωρήσαμε στη μελέτη της χρονικής κατανομής της σεισμικότητας. Συγκεκριμένα στα επόμενα σχήματα δίνουμε την κατανομή των μεγεθών ως συνάρτηση του χρόνου.

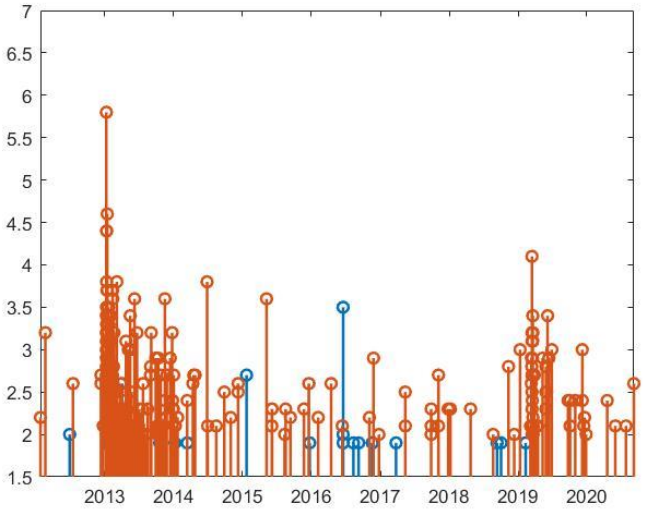
Στο σχήμα 3.25 φαίνεται η χρονική κατανομή των μεγεθών σεισμών σε 3 κυψελίδες, στις οποίες παρατηρείται αρκετά έντονη σεισμική δραστηριότητα σε όλο το χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά είναι αξιοσημείωτη η έντονη συγκέντρωση σεισμών στην κυψελίδα 3 στις αρχές του 2019 η οποία διαρκεί μέχρι περίπου τις αρχές του 2020.



Σχ. 3.25. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 1 (μπλε χρώμα), 2 (πορτοκαλί χρώμα) και 3 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

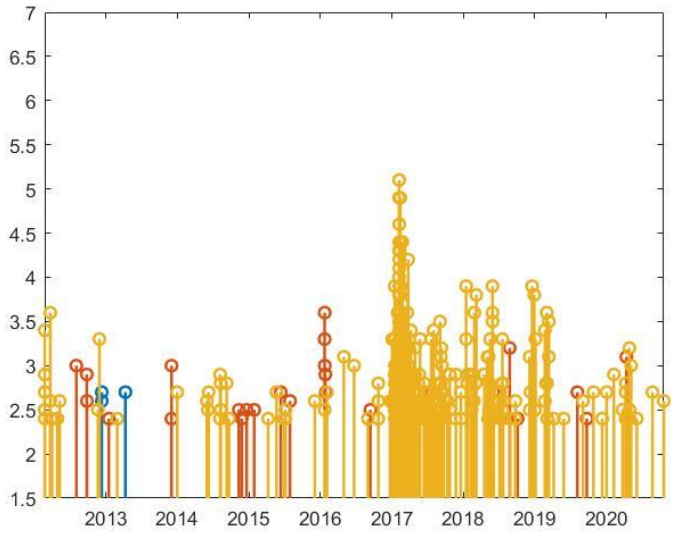
Στο σχήμα 3.26 φαίνεται η σεισμική δραστηριότητα 2 κυψελίδων. Η κυψελίδα 10 έχει πολύ αραιή σεισμική δραστηριότητα με αρκετές διακοπές (πχ. από το 2017 έως τα μέσα του 2018 η περιοχή βρίσκεται σε σχετική σεισμική ησυχία). Αντίθετα στην κυψελίδα 11 παρατηρείται πιο έντονη και χωρίς πολλές διακοπές σεισμική δραστηριότητα. Μάλιστα παρατηρούνται και δυο χρονικά διαστήματα στα οποία υπήρχε εξαιρετικά έντονη δραστηριότητα με την πρώτη να διαρκεί από το 2013 μέχρι και τις αρχές του 2014 και την δεύτερη από τα μέσα του 2019 μέχρι τις αρχές του 2020.



Σχ. 3.26. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 10 (μπλε χρώμα) και 11 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

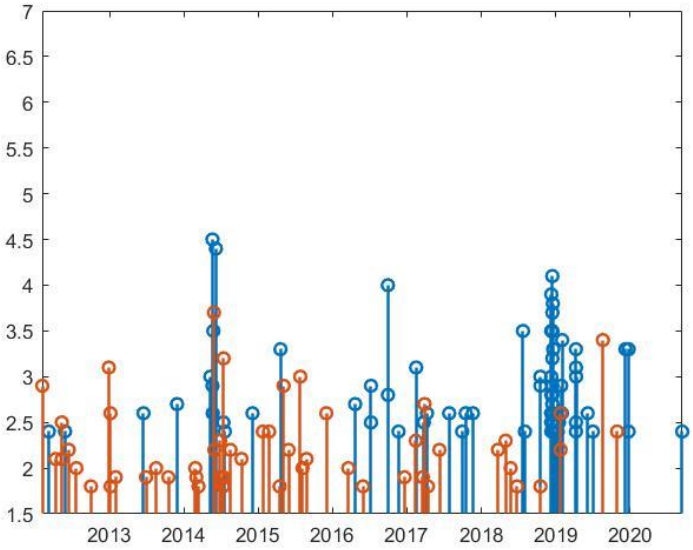
Στο σχήμα 3.27 φαίνεται η σεισμική δραστηριότητα 3 κυψελίδων, με τις 13 και 14 να παρουσιάζουν πολύ αραιή σεισμική δραστηριότητα ενώ στην κυψελίδα 15 παρατηρείται εξαιρετικά έντονη δραστηριότητα σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος με εξαίρεση μια σύντομη σχετική ηρεμία περίπου στα μέσα του 2013.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεω
Α.Π.Θ



Σχ. 3.27. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 13 (μπλε χρώμα), 14 (πορτοκαλί χρώμα) και 15 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

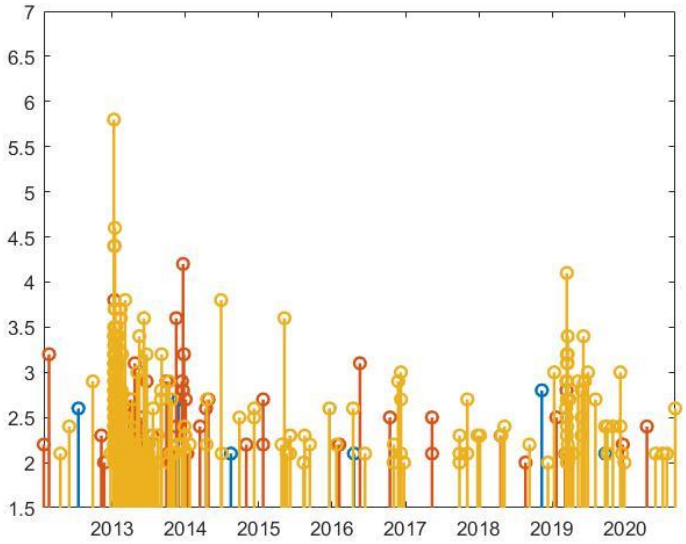
Στο σχήμα 3.28 φαίνεται ότι η κυψελίδα 28 έχει μια σχετικά αραιή δραστηριότητα με μικρά μεγέθη σεισμών, ενώ η 26 παρουσιάζει πιο έντονη δραστηριότητά με σεισμούς με M≥4.5. Στην κυψελίδα 26 παρατηρούνται δυο πυκνές συγκεντρώσεις, με την πρώτη στα μέσα του 2014 και την δεύτερη στις αρχές του 2019.



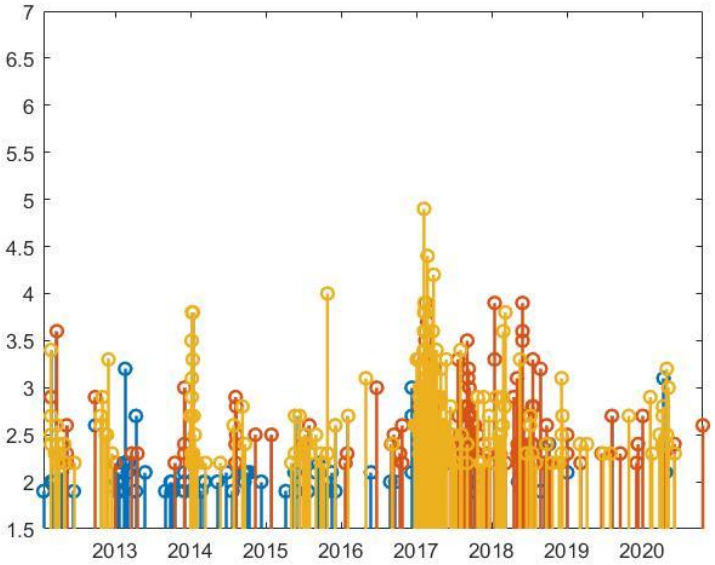
Σχ. 3.28. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 26 (μπλε χρώμα) και 28 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στο σχήμα 3.29 παρατηρούνται 3 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 34, 35 και 36. Η ακολουθία στην κυψελίδα 34 είναι αρκετά αραιή χωρίς πολύ μεγάλα μεγέθη. Η ακολουθία στην κυψελίδα 35 είναι λίγο πιο έντονη και με μεγαλύτερα μεγέθη. Τέλος στην κυψελίδα 35 παρατηρείται μια ακολουθία με 2 μεγάλες συγκεντρώσεις σεισμών. Η έγινε τις αρχές του 2013 μέχρι και τις αρχές του 2014 και η δεύτερη από τα μέσα μέχρι τα τέλη του 2019.



Σχ. 3.29. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 34 (μπλε χρώμα), 35 (πορτοκαλί χρώμα) και 36 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

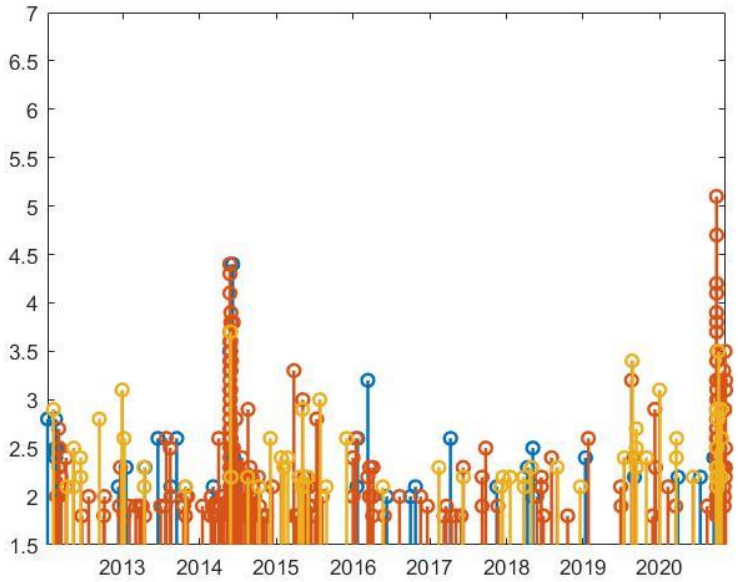


Σχ. 3.30. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 37 (μπλε χρώμα), 38 (πορτοκαλί χρώμα) και 39 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στο σχήμα 3.30 φαίνονται 3 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 37, 38 και 39. Η ακολουθία στην κυψελίδα 37 είναι αρκετά πυκνή αλλά με σχετικά μικρά σεισμικά μεγέθη. Η ακολουθία στην κυψελίδα 38 είναι λίγο πιο έντονη και με μεγαλύτερα μεγέθη. Επίσης σε αυτήν παρατηρείται και μια συγκέντρωση σεισμών η οποία διαρκεί από τα μέσα του 2017 μέχρι και τα μέσα του 2018. Τέλος στην κυψελίδα 35 παρατηρείται μια ακολουθία με διαδοχικές περιόδους ηρεμίας και πυκνές συγκεντρώσεις. Επίσης παρατηρείται μια έντονη συγκέντρωση σεισμών στις αρχές του 2017 η οποία διαρκεί μέχρι και τα τέλη του 2018.

Στο σχήμα 3.31 φαίνονται 3 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 50, 51 και 52. Η λιγότερο δραστήρια σεισμική ακολουθία είναι αυτή της κυψελίδας 50 που ενώ γίνονται σε αυτή αρκετοί σεισμοί κατανέμονται αρκετά αραιά στον χρόνο και δεν έχουν μεγάλο μέγεθος, εκτός από ένα μεμονωμένο περιστατικό στα μέσα του 2014 που είναι και το μέγιστο μέγεθος της ακολουθίας με M=4.6. Η κυψελίδα 51 έχει αρκετά έντονη σεισμική δραστηριότητα ενώ παρατηρούνται και 2 μεγάλες συγκεντρώσεις σεισμών με την πρώτη στις αρχές του 2014 έως και τα μέσα του 2015 και την δεύτερη στα τέλη του 2020. Το μέγιστο μέγεθος της ακολουθίας αυτής είναι M=5.1

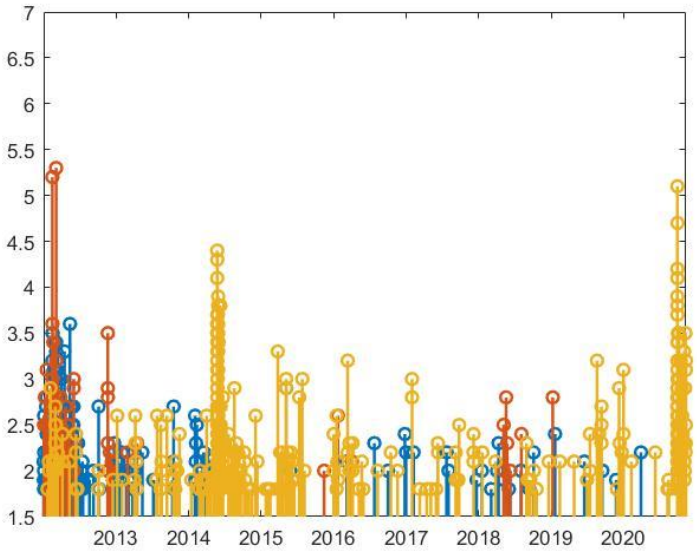


Σχ. 3.31. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 50 (μπλε χρώμα), 51 (πορτοκαλί χρώμα) και 52 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τέλος η ακολουθία στην κυψελίδα 52 είναι πιο έντονη από ότι της κυψελίδας 50 αλλά δεν έχει μεγάλες συγκεντρώσεις όπως αυτή της 51. Παρατηρείται στα τέλη του 2020 μια μικρή συγκέντρωση σεισμών αλλά το μέγιστο μέγεθος της ακολουθίας είναι M=3.8.

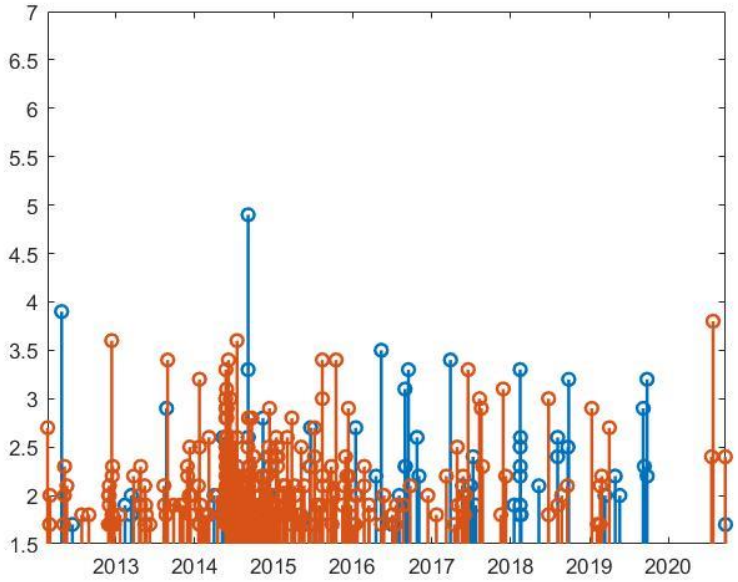
Στο σχήμα 3.32 φαίνονται 3 ακολουθίες στις κυψελίδες 73, 74 και 75. Στην κυψελίδα 73 παρατηρείται έντονη σεισμική δραστηριότητα σε όλη την διάρκεια του χρονικού διαστήματος αλλά τα μεγέθη των σεισμών είναι μικρά. Στην κυψελίδα 74 η σεισμική ακολουθία περιέχει αρκετούς σεισμούς στις αρχές του 2012 και μερικούς με αρκετά μεγάλα μεγέθη με M≥5. Τέλος η κυψελίδα 75 έχει 3 μεγάλες συγκεντρώσεις σεισμών. Η πρώτη είναι στις αρχές του 2012 αλλά σε αυτήν τα μεγέθη των σεισμών είναι μικρά. Η δεύτερη έλαβε χώρα περίπου από τα μέσα του 2014 έως και τα μέσα του 2015. Η τρίτη συγκέντρωση έγινε στα μέσα του 2020 με 2 σεισμούς με μέγεθος M≥5.0.



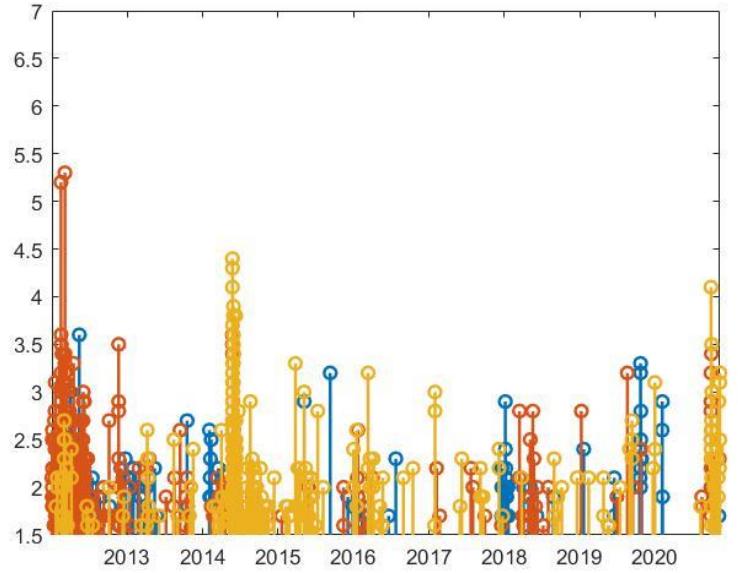
Σχ. 3.32. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 73 (μπλε χρώμα), 74 (πορτοκαλί χρώμα) και 75 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Στο σχήμα 3.33 φαίνονται 2 ακολουθίες στις κυψελίδες 79 και 80. Στην κυψελίδα 79 παρατηρείται μια μέτρια σεισμική δραστηριότητα ενώ τα μεγέθη των σεισμών φτάνουν έως και 5.0. Παρόλα αυτά παρατηρούνται περίοδοι ηρεμίας από τα μέσα του 2019 έως και τα μέσα του 2020. Αντίθετα η κυψελίδα 74 φαίνεται να έχει μια πολύ έντονη σεισμική δραστηριότητα από τα μέσα του 2012 μέχρι και τα μέσα του 2017 ενώ μετά η δραστηριότητα σταματά.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π



Σχ. 3.33. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 79 (μπλε χρώμα) και 80 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

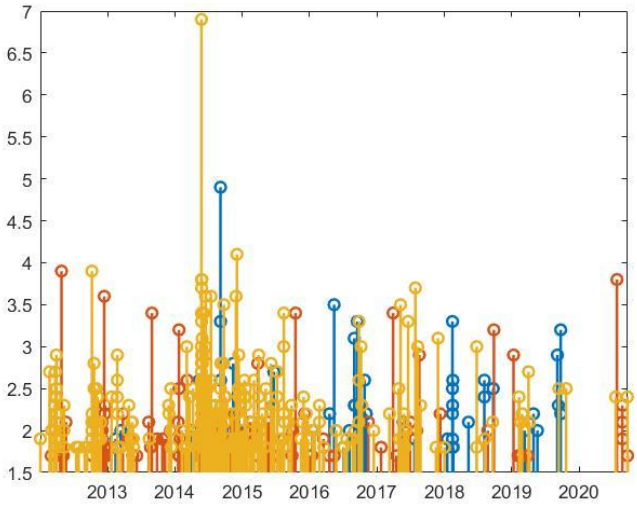


Σχ. 3.34. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 97 (μπλε χρώμα), 98 (πορτοκαλί χρώμα) και 99 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στο σχήμα 3.34 παρατηρούνται 3 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 97, 98 και 99. Οι σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 103 και 104 έχουν σχετικά πυκνή συγκέντρωση σεισμών σε όλη την διάρκεια. Στην κυψελίδα 97 παρατηρείται μια έντονη σεισμική δράση η οποία παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση από το 2012 μέχρι και τα μέσα του 2013. Στην κυψελίδα 99 παρατηρείται μια έντονη σεισμική δράση η οποία παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση από το 2014 μέχρι και τα μέσα του 2015.

Το σχήμα 3.35 δείχνει 3 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 103, 104 και 105. Οι σεισμικές ακολουθίες έχουν σχετικά πυκνή συγκέντρωση σεισμών. Στην κυψελίδα 104 παρατηρείται μια έντονη σεισμική δράση η οποία παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση από το 2014 μέχρι και τα μέσα του 2015.

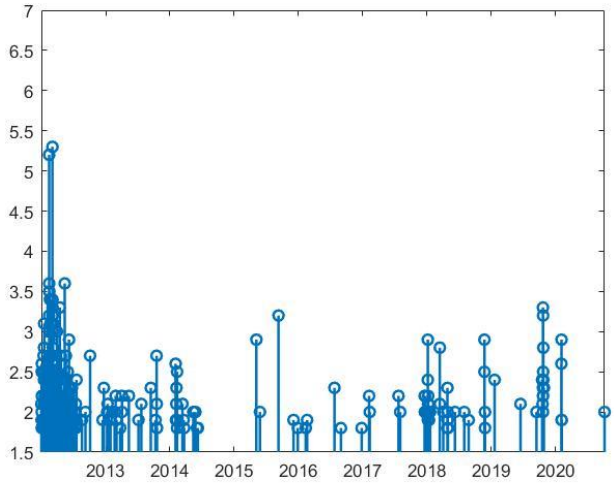


Σχ. 3.35. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 97 (μπλε χρώμα), 98 (πορτοκαλί χρώμα) και 99 (κίτρινο χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

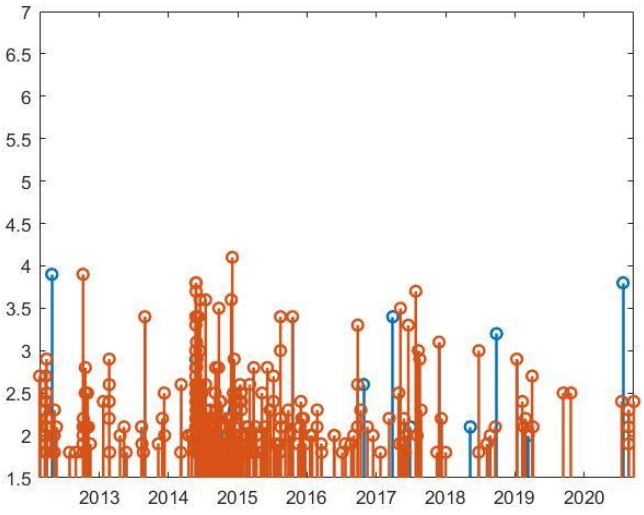
Το σχήμα 3.36 δείχνει μια σεισμική ακολουθία στην κυψελίδα 121. Η ακολουθία αυτή έχει μια έντονη συγκέντρωση σεισμών από την αρχές μέχρι και τα μέσα του 2012 ενώ διακόπτεται κατά τα μέσα του 2014 με 2015.

Στο σχήμα 3.37 φαίνονται 2 σεισμικές ακολουθίες στις κυψελίδες 127 και 128. Η δραστηριότητα της κυψελίδας 127 είναι πιο διάσπαρτη ενώ αυτή στην κυψελίδα 128 είναι πιο συγκεντρωμένη. Στην δραστηριότητα της κυψελίδας 128 επίσης παρατηρείται μια έντονη συγκέντρωση σεισμών από τα μέσα του 2014 μέχρι και τις αρχές του 2016.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλο
Α.Π.Θ



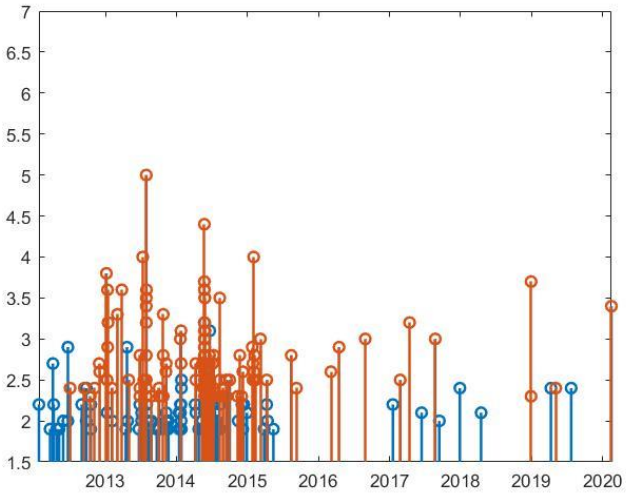
Σχ. 3.36. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στην κυψελίδα 121 (μπλε χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*



Σχ. 3.37. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 127 (μπλε χρώμα), και 128 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

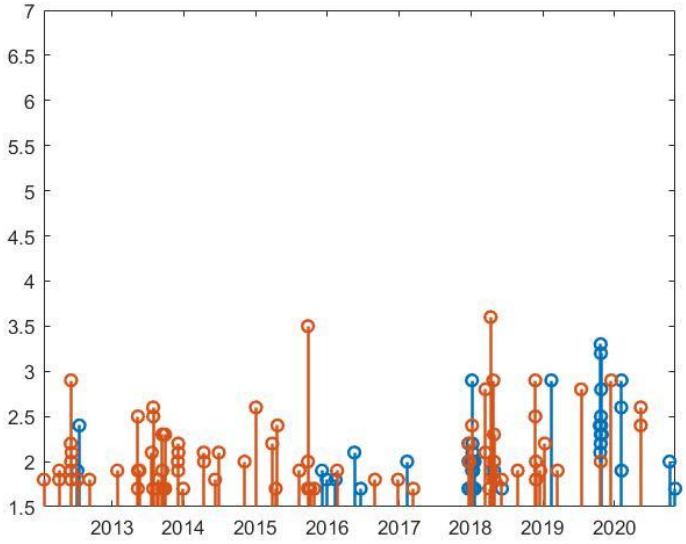
Στο σχήμα 3.38 παρατηρούνται 2 σεισμικές εξάρσεις στις κυψελίδες 132 και 133. Και στις 2 παρατηρείται συγκέντρωση σεισμών από τα μέσα του 2012 μέχρι και περίπου τις αρχές του 2015. Έπειτα από το 2015 οι σεισμοί γίνονται όλο και πιο αραιά ενώ υπάρχουν διαστήματα που και οι 2 περιοχές ηρεμούν.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχ. 3.38. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 132 (μπλε χρώμα), και 133 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

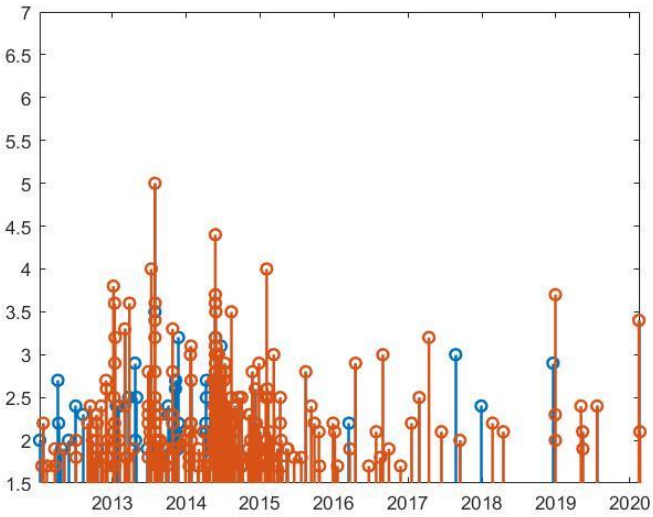
Το σχήμα 3.39 δείχνει ότι η δραστηριότητα στις κυψελίδες 145 και 146 δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες συγκεντρώσεις ούτε μεγάλα μεγέθη σεισμών.



Σχ. 3.39. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 145 (μπλε χρώμα), και 146 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

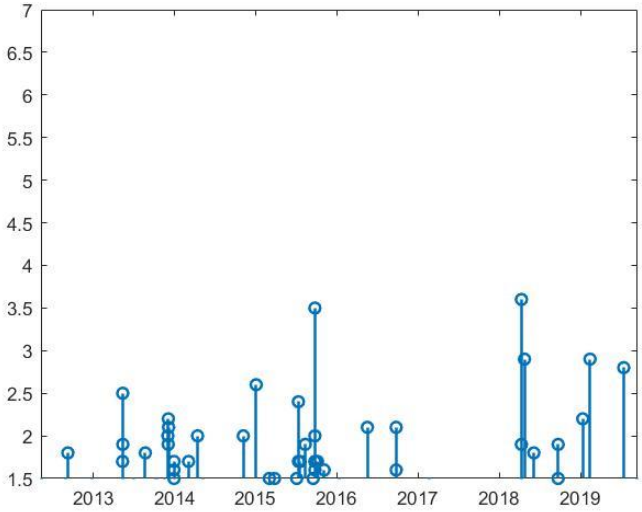
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Το σχήμα 3.40 δείχνει ότι η δραστηριότητα στις κυψελίδες 156 και 157 είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Στην κυψελίδα 156 παρατηρείται έξαρση από το 2012 και μέχρι τα μέσα του 2014 με μεσαία μεγέθη Μ. Μετά το 2014 γίνονται ελάχιστοι σεισμοί με σχετικά μικρό μέγεθος. Στην κυψελίδα 157 η δραστηριότητα είναι λιγότερο έντονη και μετά το 2016 πιο διάσπαρτη.



Σχ. 3.40. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στις κυψελίδες 156 (μπλε χρώμα), και 157 (πορτοκαλί χρώμα) για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Το σχήμα 3.41 δείχνει ότι η δραστηριότητα στην κυψελίδα 169, είναι διάσπαρτη με μικρά μεγέθη σεισμών.

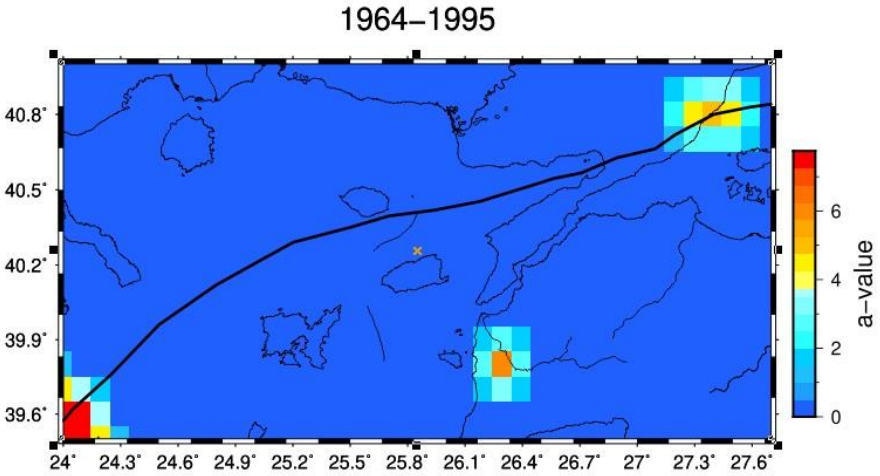


Σχ. 3.41. *Χρονική κατανομή μεγεθών σεισμών στην κυψελίδα 169 (μπλε χρώμα), για το χρονικό διάστημα 2012 – 2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

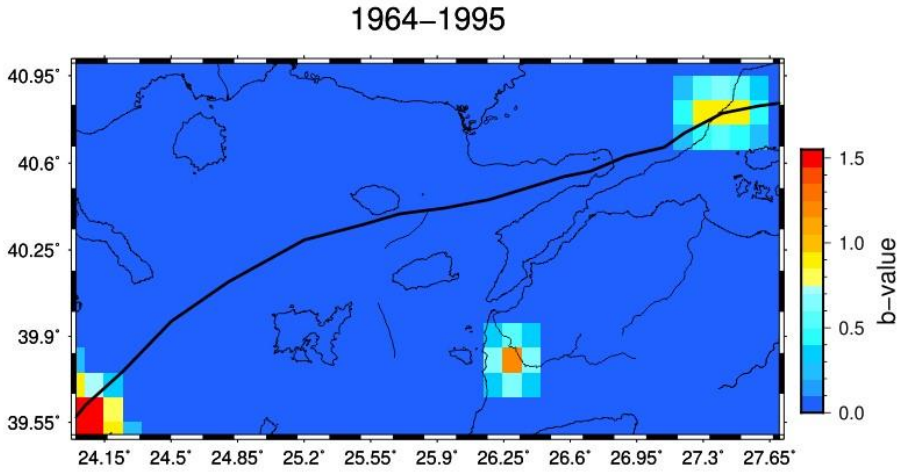
3.4 Καθορισμός του μεγέθους Mc και των παραμέτρων σεισμικότητας a και b για τα 4 χρονικά παράθυρα με σφάλμα R=10%, ακτίνα κυψελίδας=0,2° και 0,25°

Το σχήμα 3.42 δείχνει την χωρική κατανομή των τιμών a από το 1964 έως και 1995 με βάση διαφορετικά κριτήρια τα οποία φαίνονται στον τίτλο αυτής της παραγράφου. Φαίνονται τρεις συγκεντρώσεις κυψελίδων στις οποίες ήταν δυνατή η ανάλυση, με τις τιμές του a να κυμαίνονται από 1 έως 7.



Σχ. 3.42. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 1964–1995.*

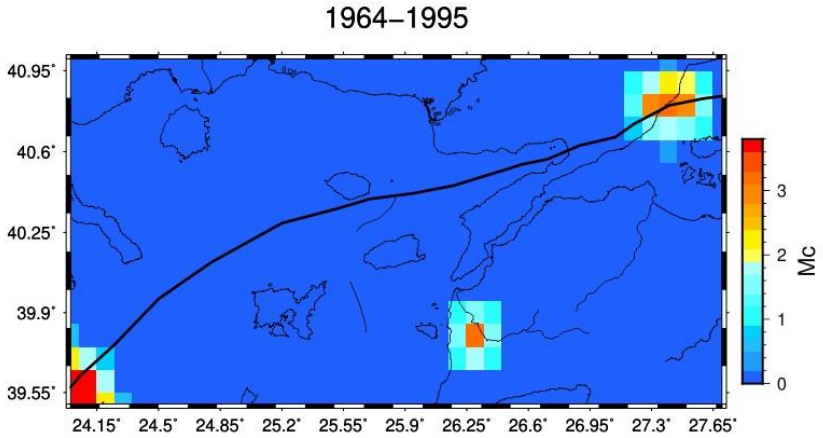
Το σχήμα 3.43 δείχνει τη χωρική κατανομή των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου b οι οποίες κυμαίνονται κυμαίνονται από 0.25 έως 1.5.



Σχ. 3.43. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 1964–1995.*

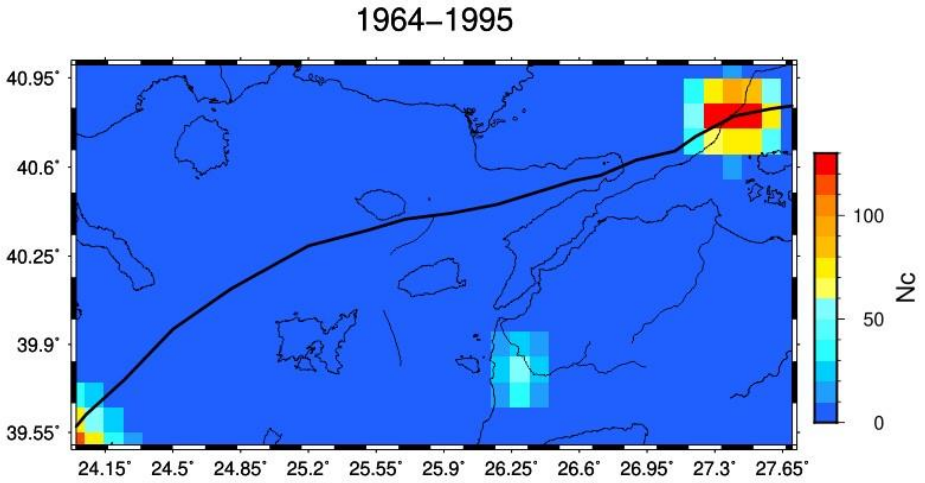
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Το σχήμα 3.44 δείχνει την χωρική κατανομή του M_c για το ίδιο διάστημα με τις τιμές να φτάνουν έως και 4.0.



Σχ. 3.44. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας M_c για το χρονικό διάστημα 1964–1995.*

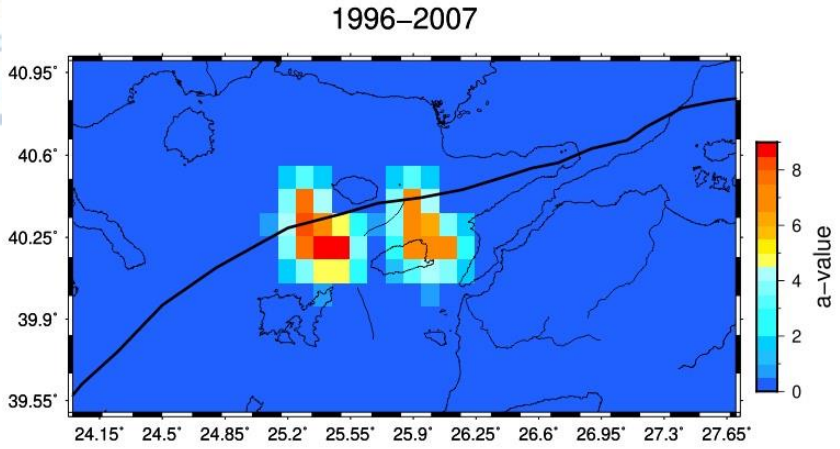
Το σχήμα 3.45 δίνει την κατανομή των τιμών N_c κυμαίνονται από 20 έως και 130.



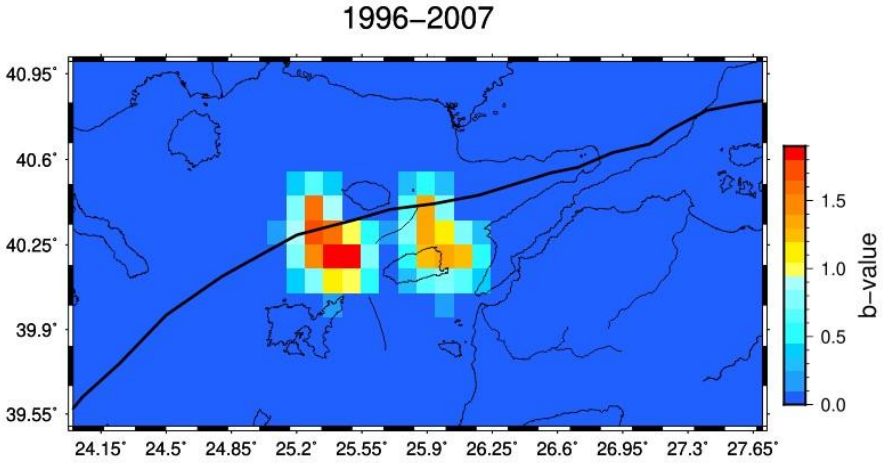
Σχ. 3.45. *Χωρική κατανομή του πλήθους σεισμών N_c για το χρονικό διάστημα 1964–1995.*

Το σχήμα 3.46 δείχνει την χωρική κατανομή των τιμών a για το διάστημα 1996 – 2007. Παρατηρούνται δύο συγκεντρώσεις κυψελίδων με τις τιμές της παραμέτρου a να κυμαίνονται από 0,75 έως 9. Το σχήμα 3.47 δείχνει την αντίστοιχη κατανομή των τιμών της παραμέτρου b για το ίδιο διάστημα, οι οποίες από 0,75 έως 1.5. Το σχήμα 3.48 τις αντίστοιχες τιμές του πλήθους σεισμών οι οποίες κυμαίνονται από 10 έως 170.

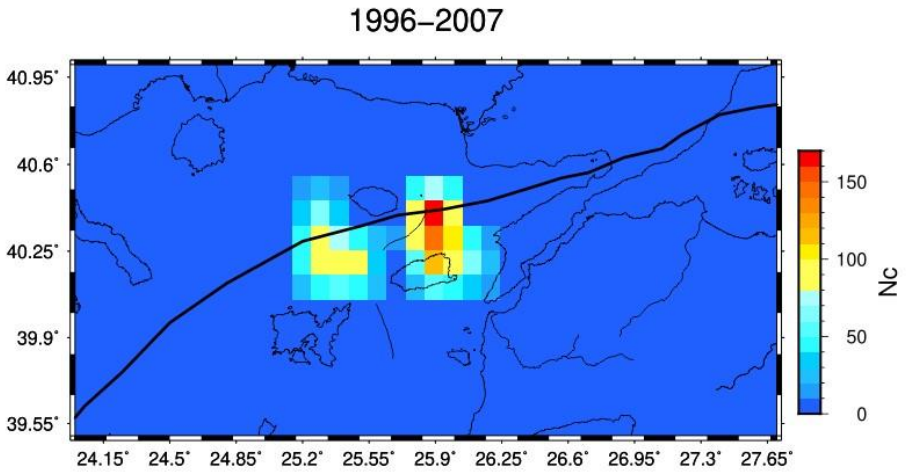
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π



Σχ. 3.46. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*



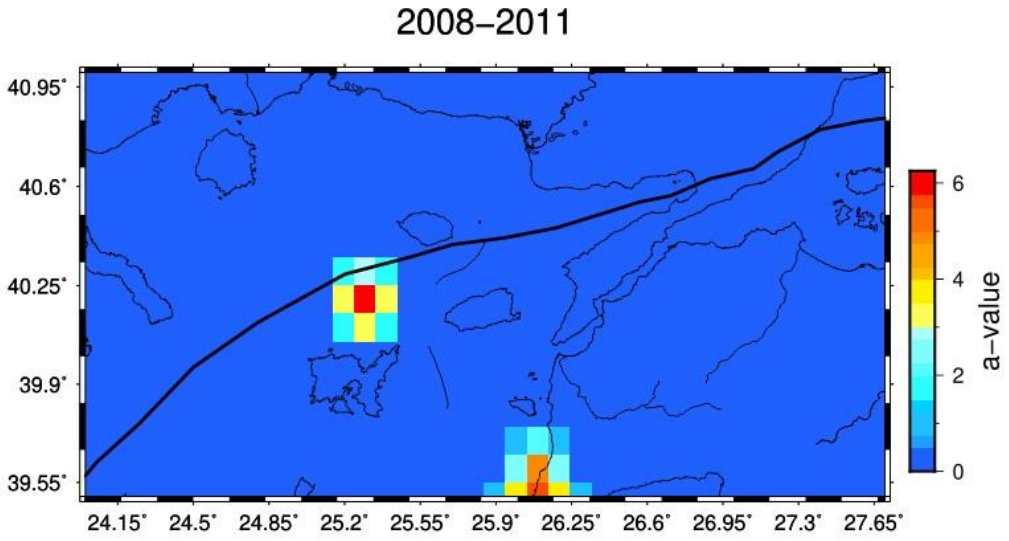
Σχ. 3.47. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*



Σχ. 3.48. *Χωρική κατανομή του πλήθους σεισμών N_c για το χρονικό διάστημα 1996–2007.*

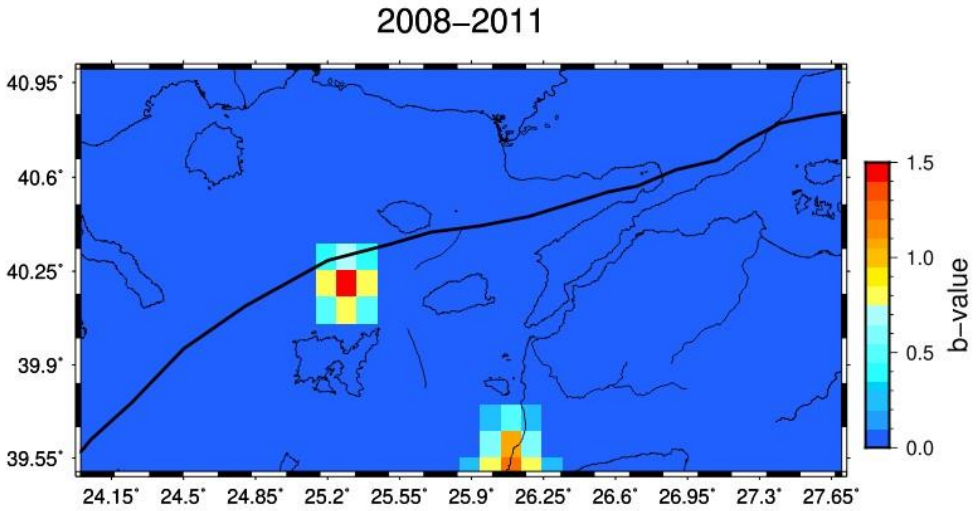
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Το σχήμα 3.49 δείχνει την χωρική κατανομή των τιμών της παραμέτρου a για το διάστημα 2008 έως και 2011, οι οποίες κυμαίνονται φτάνουν έως και την τιμή 6.2, στις δύο συγκεντρώσεις κυψελίδων που εμφανίζονται αυτό το διάστημα.



Σχ. 3.49. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 2008–2011.*

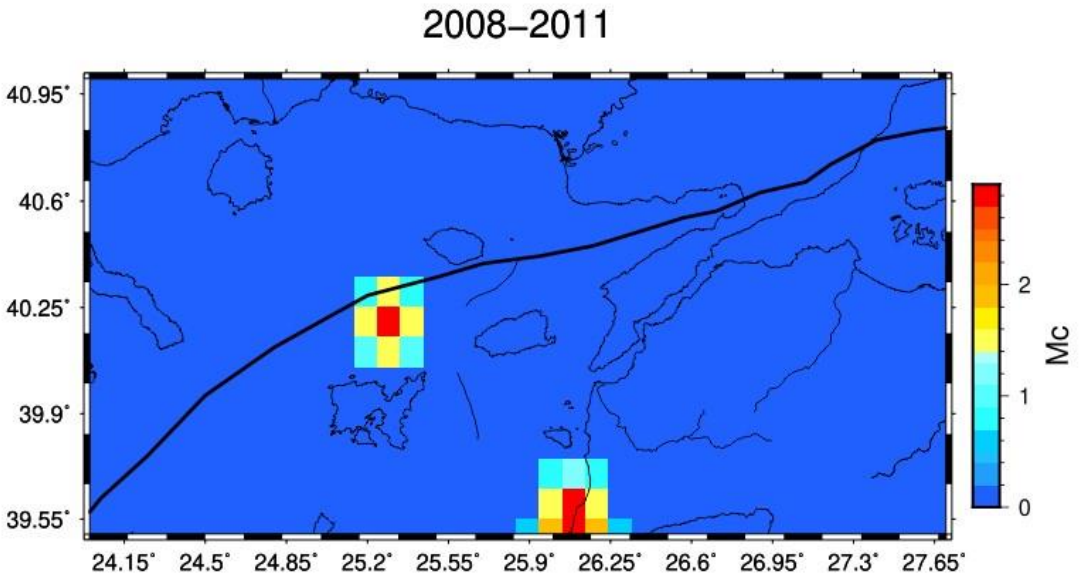
Η αντίστοιχη χωρική κατανομή των τιμών της παραμέτρου b (μεταξύ 0.25 και 1.25) φαίνεται στο Σχήμα 3.50.



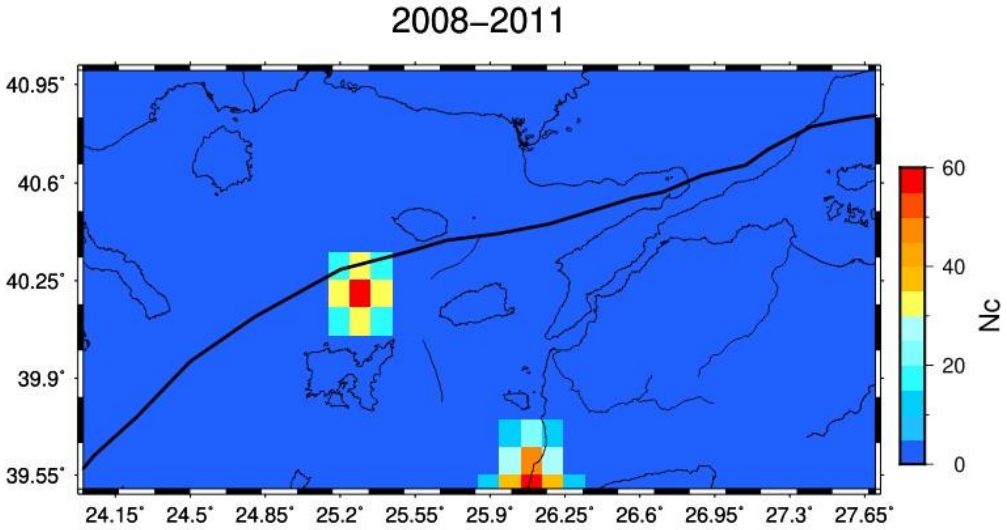
Σχ. 3.50. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 2008–2011.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Το σχήμα 3.51 δείχνει την κατανομή των τιμών M_c και στο σχήμα 3.52 των τιμών N_c.



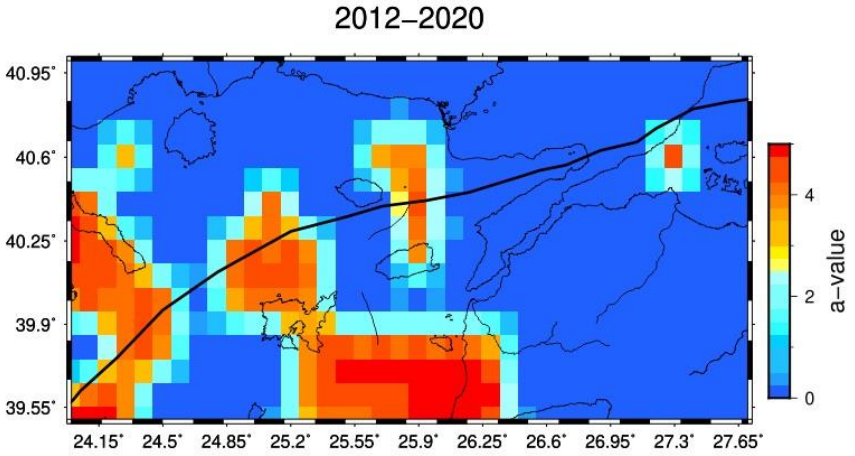
Σχ. 3.51. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας M_c για το χρονικό διάστημα 2008–2011.*



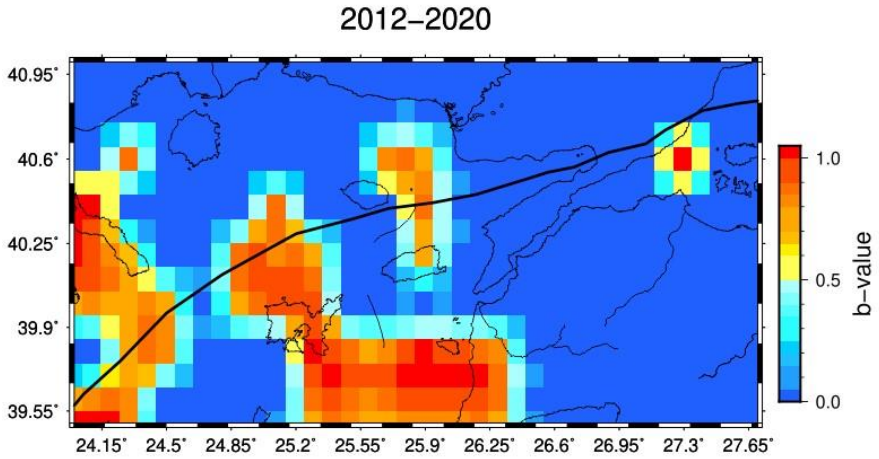
Σχ. 3.52. *Χωρική κατανομή του πλήθους σεισμών N_c για το χρονικό διάστημα 2008–2011.*

Τα Σχήματα 3.53, 3.54, 3.55 και 3.56 δείχνουν την χωρική κατανομή των τιμών των παραμέτρων a, b, M_c και N_c, αντίστοιχα με τις τιμές σύμφωνα με τις χρωματικές κλίμακες στο κάθε σχήμα.

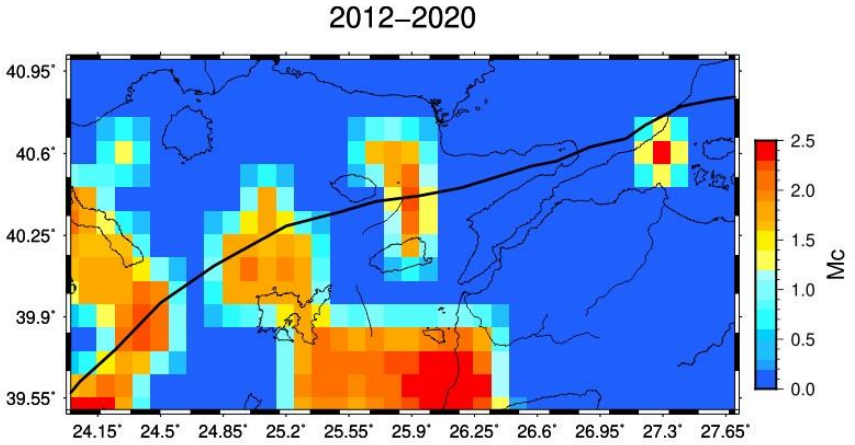
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γ
Α.Π



Σχ. 3.53. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου a για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*

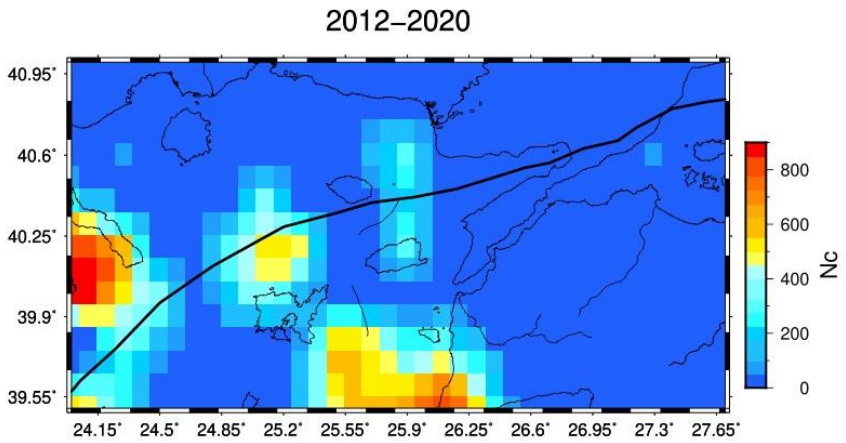


Σχ. 3.54. *Χωρική κατανομή της παραμέτρου b για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*



Σχ. 3.55. *Χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας M_c για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π



Σχ. 3.56. *Χωρική κατανομή του πλήθους σεισμών N_c για το χρονικό διάστημα 2012–2020.*

Αν και η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τον υπολογισμό των παραμέτρων σε αυτή την παράγραφο είναι ίδια, παρατηρούνται κάποιες σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με την αντίστοιχη της παραγράφου 3.2 οι οποίες οφείλονται στην αλλαγή: α) του μεγέθους κυψελίδας (από 0,15 σε 0,20), β) της ακτίνας του κύκλου (από 0,2° σε 0,25°) και γ) της τιμής σφάλματος (από 5% σε 10%). Η κυριότερη αλλαγή που παρατηρείται είναι στο 3° χρονικό διάστημα, καθώς καμία κυψελίδα δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις που είχαν τεθεί στην παράγραφο 3.2. Με τις νέες προϋποθέσεις όμως, παρατηρούνται 2 μικρές συγκεντρώσεις στις οποίες έγινε δυνατός ο υπολογισμός τιμών των εξεταζόμενων παραμέτρων. Μια ακόμη βασική διαφορά με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στην παράγραφο 3.2 είναι η αύξηση του πλήθους σεισμών δηλαδή της τιμής N_c. Συγκεκριμένα:

Για το 1° διάστημα στην προηγούμενη ανάλυση το ανώτερο πλήθος σεισμών ανά κυψελίδα ήταν το ίδιο με αυτής της ανάλυσης.

Για το 2° διάστημα στην προηγούμενη ανάλυση το ανώτερο πλήθος σεισμών ανά κυψελίδα ήταν 100 ενώ σε αυτήν είναι 120.

Για το 3° διάστημα στην προηγούμενη ανάλυση δεν έγιναν σεισμοί ενώ σε αυτήν το ανώτερο πλήθος σεισμών έφτασε τους 60.

Για το 4° διάστημα στην προηγούμενη ανάλυση το ανώτερο πλήθος σεισμών ανά κυψελίδα ήταν 800 ενώ σε αυτήν είναι 900.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πλέον της μέγιστης τιμής του σεισμικού πλήθους φαίνεται ότι υπήρχαν και περισσότερες κυψελίδες σε κάθε διάστημα με μεγάλο πλήθος σεισμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιορισμοί ήταν πιο ελαστικοί και επομένως πρέπει να αναμένεται και μεγαλύτερο σφάλμα σε αυτά τα αποτελέσματα.

3.5 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με γένεση ισχυρών σεισμών

Στο σχήμα 3.6 παρατηρείται μια σεισμική συγκέντρωση στα τέλη του 1981 στην περιοχή της λεκάνης Σκύρου. Αυτή η συγκέντρωση οφείλεται στον σεισμό στις 19 Δεκεμβρίου 1981 στην Λεκάνη Σκύρου με μέγεθος M=7.2. Επίσης στο σχήμα 3.6 παρατηρούνται δύο επί πλέον σημαντικές συγκεντρώσεις η πρώτη στις αρχές του 1982 συγκεκριμένα στις 18 Ιανουάριου του 1982 και η δεύτερη στα μέσα του 1983 συγκεκριμένα στις 6 Αυγούστου του 1983, όταν έγιναν ισχυροί σεισμοί.

Στις 6 Ιουλίου του 2003 έγινε ισχυρός σεισμός στο ρήγμα του Σάρου μεγέθους M=5,7. Αυτό παρατηρείται στο σχήμα 3.13 επομένως συμπεραίνεται ότι ο σεισμός αυτός αποτυπώθηκε στα δεδομένα αυτής της μελέτης.

Στο σχήμα 3.19 έλαβε χώρα η σεισμική ακολουθία του ισχυρού σεισμού που έγινε στις 24 Μάιου του 2014 στην Σαμοθράκη με μέγεθος M=6,9Το μήκος του ρήγματος φτάνει περίπου τα 60 χιλιόμετρα και μετατόπιση περίπου στα 1,8 μέτρα. (Saltogianni et al., 2015)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συμπεράσματα

Με βάση την ανάλυση μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα. Αρχικά, και με απλή παρατήρηση μπορεί κάποιος να αντιληφθεί αρκετά ευκολά την ανάπτυξη του σεισμικού δικτύου στην Ελλάδα. Στο πρώτο διάστημα 1964 έως και 1995 καταγράφηκαν και μελετήθηκαν περίπου χ σεισμοί. Καθόλη την διάρκεια του του 1ου διαστήματος υπήρχε μια συνεχής ανάπτυξη στο σεισμικό δίκτυο στην Ελλάδα το οποίο αποτυπώνεται στον αριθμό των σεισμών που καταγράφονται πάνω από το κατώφλι πληρότητας, καθώς φαίνεται να είναι ελαφρώς πιο συχνές οι καταγραφές στα τέλη του 1ου διαστήματος. Στο 2ο διάστημα ξεκίνησε η μετατροπή της επεξεργασίας των δεδομένων από αναλογική σε ψηφιακή. Έτσι παρατηρούμε ότι στο 2ο διάστημα, 1995- 2008 (13 έτη) παρότι είναι αρκετά μικρότερο από το 1ο, ένα μεγάλο αριθμό καταγεγραμμένων σεισμών, παρόλη την μικρότερη διάρκεια του 2ου διαστήματος. Παρόλα αυτά στο 3ο διάστημα, 2009-2011, ένα διάστημα μόλις 3 ετών, δεν καταγράφονται καθόλου σεισμοί που να τηρούν τα κριτήρια της παρούσας εργασίας, δηλαδή 50 σεισμοί ανά κελί μεγαλύτεροι από το κατώφλι της πληρότητας, Mc, με ποσοστό σφάλματος 5%. Βέβαια, εάν τα κριτήρια γίνουν ελαφρώς πιο ελαστικά, δηλαδή αν αυξηθεί το ποσοστό σφάλματος στο 10% υπάρχουν παρατηρήσιμα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά για την παρούσα έρευνα, θεωρείται ότι για τα επίπεδα ανάπτυξης του 3ου διαστήματος η χρονική περίοδος των 3ων ετών δεν είναι αρκετή για να δοθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Τέλος στο 4ο διάστημα, 2012-2020, παρατηρείται ένας μεγάλος αριθμός καταγεγραμμένων σεισμών. Τα δεδομένα στα σχήματα 1.16, 1.17, 1.18 και 1.19 δίνουν μια πολύ καλή εικόνα των τεκτονικών διεργασιών στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου, παρόλο που το χρονικό διάστημα έχει διάρκεια μόλις 8 ετών.

Η χωρική κατανομή των τιμών a, b, M_c και N_c για το κάθε διάστημα καθιστά εμφανείς σεισμικές συγκεντρώσεις (εξάρσεις) κατά μήκος της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου κυρίως. Οι σεισμικές συγκεντρώσεις αρχίζουν από το 1^{ο} διάστημα στα ΑΒΑ της NAFTZ και συνεχίζουν στα επόμενα χρονικά διαστήματα. Στο 2^{ο} διάστημα παρατηρείται μια σεισμική συγκέντρωση λίγο πιο κεντρικά στην περιοχή της NATFZ ενώ στο 3^{ο} διάστημα παρόλο που δεν υπάρχουν διαθέσιμα ικανοποιητικά δεδομένα για την ανάλυση, φαίνεται ότι η

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

σεισμικότητα συγκεντρώνεται στο κέντρο της περιοχής. Τέλος στο 4^{ο} διάστημα παρόλο που παρατηρούνται 4 σεισμικές εξάρσεις, υπάρχει και μια η οποία βρίσκεται στο ΔΝΔ τμήμα της NATFZ. Δημιουργείται λοιπόν εάν μοτίβο που ακολουθείται στα 4 χρονικά διαστήματα και αυτό είναι η ύπαρξη σεισμικών συγκεντρώσεων από τα ΑΒΑ προς τα ΔΝΔ στην συνολική διάρκεια του χρονικού διαστήματος αυτής της μελέτης.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amorèse, D. 2007. Applying a change-point detection method on frequency-magnitude distributions. *Bull. Seismol. Soc. Am*. 97, 1742-1749.

Brooks, M., & Ferentinos, G. 1980. Structure and evolution of the Sporadhes basin of the North Aegean trough, northern Aegean Sea. *Tectonophysics*, *68*, 15-30.

Bulut, F. 2015. Different phases of the earthquake cycle captured by seismicity along the North Anatolian Fault. *Geophys. Res. Lett.*, *42*, 2219-2227.

Cao, A.M. &Gao, S.S., 2002. Temporal variation of seismic b-values beneath northeastern Japan island arc. *Geophys. Res. Lett*., 29(9), 48(1)-48.

Gomberg, J. 1991. Seismicity and detection/location threshold in the southern Great Basin seismic network. *J. Geophys. Res.*, *96*, 16401-16414.

Gutenberg, B. &Richter, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am*., 34, 185-188.

Karakostas, V., Papadimitriou, E., & Gospodinov, D. 2014. Modelling the 2013 North Aegean (Greece) seismic sequence: geometrical and frictional constraints, and aftershock probabilities. *Geophys. J. Int.*, *197*, 525-541.

Kourouklas, C., Papadimitriou, E., Tsaklidis, G., & Karakostas, V., 2016. Statistics of earthquake recurrence time in North Aegean Trough. *Bull. Geol. Soc. Greece*, *50*, 1349-1358.

Kourouklas, C., Papadimitriou, E., Tsaklidis, G., & Karakostas, V. 2018. Earthquake recurrence models and occurrence probabilities of strong earthquakes in the North Aegean Trough (Greece). *J. Seismol.*, *22*, 1225-1246.

Kourouklas, C., Console, R., Papadimitriou, E., Murru, M., & Karakostas, V. 2021. Modelling the large earthquakes recurrence times along the North Aegean Trough Fault Zone (Greece) with a physics-based simulator. *Geophys. J. Int.*, *225*, 2135-2156.

Kværna, T., Ringdal, F., Schweitzer, J., & Taylor, L. 2002. Optimized seismic threshold monitoring – part 1: regional processing. *Pure Appl. Geophys*, 159, 969-987.

Kværna, T., Ringdal, F., Schweitzer, J., & Taylor, L. 2002. Optimized seismic threshold monitoring – part 2: teleseismic processing. *Pure Appl. Geophys*., *159*, 989-1004.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Leptokaropoulos, K. M., Papadimitriou, E. E., Orlecka-Sikora, B., & Karakostas, V. G. 2012. Seismicity rate changes in association with the evolution of the stress field in northern Aegean Sea, Greece. *Geophys. J. Int.*, *188*, 1322-1338.

Lybéris, N. 1984. Tectonic evolution of the North Aegean trough. *Geol. Soc., Lond., Spec. Publ.*, *17*, 709-725.

Mignan, A., & Woessner, J. 2012. Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, 1-45.

Mogi, K. 1967. Effect of the intermediate principal stress on rock failure. *J. Geophys. Res*, 7220, 5117-5131.

Papazachos, B.C. 1975. Foreshocks and earthquake prediction. *Tectonophysics*, 28, 213-226

Papazachos, B. C., & Comninakis, P. E., 1971. Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.*, *76*, 8517-8533.

Saltogianni, V., Gianniou, M., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S., & Stiros, S., 2015. Fault slip source models for the 2014 M_w 6.9 Samothraki-Gökçeada earthquake (North Aegean trough) combining geodetic and seismological observations. *J. Geophys. Res.-Sol. EA*, *120*, 8610-8622.

Rydelek, P. A., & Sacks, I. S. 2003. Comment on "Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan," by Stefan Wiemer and Max Wyss. *Bull. Seism. Soc. Am.*, *93*, 1862-1867.

Scholz, C.H., 1968. The frequency magnitude relation of microfracturing in rocks and its relation to earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 399-415.

Wiemer, S., & Katsumata, K. 1999. Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones. *J. Geophys. Res.*, *104*, 13135-13151.

Wiemer, S., & Wyss, M. 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, *90*, 859-869.

Woessner, J. & Wiemer S. 2005. Assessing the Quality of Earthquake Catalogs: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 684-698.