



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ  
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ  
ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.



ΤΖΑΒΑΛΗ ANNA

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: 14079

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΑΤΣΑΡΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ

11 ΙΟΥΛΙΟΥ 2023

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΑΝΔΡΕΑΣ ΤΣΑΤΣΑΡΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΣΙΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΡΑΣΑΝΑΚΗΣ  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα ΤΖΑΒΑΛΗ ANNA του ΙΩΑΝΝΗ, με αριθμό μητρώου 14079 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

11/07/2023

Η Δηλούσα

ΤΖΑΒΑΛΗ ANNA

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, οι οποίοι συνέβαλαν με τις γνώσεις τους στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα, ευχαριστώ τον καθηγητή μου κο Τσάτσαρη Ανδρέα, για τη στήριξη, τη καθοδήγηση, τη συνεχή βοήθειά του στα ζητήματα που προέκυπταν και την απλόχερη προσφορά των γνώσεών του. Ευχαριστώ επίσης, τον κο Καλογερόπουλο Κλεομένη για τη συνεισφορά του στην υλοποίηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγό μου και τους γονείς μου, για την αμέριστη στήριξή τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου, και να αφιερώσω την εργασία αυτή στον γιο μου Μάξιμο.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
SUMMARY.....	9
ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
ΓΕΝΝΕΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ.....	15
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	18
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ.....	19
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	24
ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	28
ΜΕΡΟΣ Α΄: ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ .....	37
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	43
ΜΕΡΟΣ Β΄: ΧΩΡΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	47
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	70
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Στον πίνακα περιόδου Edo απεικονίζεται η προσπάθεια ανθρώπων να δαμάσουν το τεράστιο γατόψαρο (Πηγή: Ο.Α.Σ.Π. "Σεισμός Η γνώση είναι προστασία").	13
Εικόνα 2 Εξελικτική πορεία των ηπείρων μέσα στο χρόνο.	15
Εικόνα 3 Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελούμενη από επτά μεγάλες πλάκες	15
Εικόνα 4 Γέννηση Σεισμού.	17
Εικόνα 5	20
Εικόνα 6.	21
Εικόνα 7	22
Εικόνα 8	23
Εικόνα 9 Σχηματική αναπαράσταση μιας σειсмоγενούς περιοχής και τα χαρακτηριστικά της.	33
Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση των Ατομικών Σεισογενών πηγών (ISS) με τα χαρακτηριστικά τους.	33
Εικόνα 11. Η βάση δεδομένων των ενεργών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος. Οι γραμμές υποδεικνύουν τα ίχνη της επιφάνειάς τους, με χρώματα που αντιπροσωπεύουν την κινηματική κάθε ρήγματος. Με τη μωβ διακεκομμένη γραμμή, απεικονίζεται το όριο Ευρασιατικής πλάκας.	36
Εικόνα 12. Η OLS (Πηγή ESRI)	48
Εικόνα 13. Η GWR (Πηγή ESRI).	49
Εικόνα 14. Επεξήγηση του δείκτη Moran's I (Πηγή ESRI).	60
Εικόνα εξωφύλλου (Πηγή: <a href="https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSC4G-cRstFrJSKY6vh-KW8xnDrCGIoxKrbRg&amp;usqp=CAU">https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSC4G-cRstFrJSKY6vh-KW8xnDrCGIoxKrbRg&amp;usqp=CAU</a> )	

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Κατάλογος σεισμικών γεγονότων στο Excel, Ιδία επεξεργασία	28
Πίνακας 2 Βασικοί τύποι δεδομένων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των σεισμικών πηγών απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. Πηγή: The Database of Individual Seismogenic Sources (ISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008.	34
Πίνακας 3. Συντελεστές της OLS.	59

#### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1 Σεισμοί στον Ελλαδικό χώρο. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία.	43
Χάρτης 2 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους 3,5 -4,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία.....	43
Χάρτης 3 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους 4,5 -5,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία.....	44
Χάρτης 4 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους >5,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία.....	44
Χάρτης 5 Κατανομή σεισμών μεγέθους 3,5-4,5 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου .....	45
Χάρτης 6 Κατανομή σεισμών μεγέθους 4,5-5,5 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου .....	45
Χάρτης 7 Κατανομή σεισμών μεγέθους 5,5-8 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου.....	46
Χάρτης 8 Τα ενεργά ρήγματα της Ελληνικής Χερσονήσου.....	46
Χάρτης 9. Σεισμοί στην Ελλάδα την πενταετία 2017-2022,Ιδία Επεξεργασία.....	52
Χάρτης 10. Διακύμανση του συντελεστή του εστιακού βάθους .....	65
Χάρτης 11. Διακύμανση του συντελεστή της απόστασης από ρήγματα .....	66
Χάρτης 12. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου GWR ( $R^2$ ).....	67

#### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 1 Αλγόριθμος υπολογισμού πυκνότητας σε μία νέα θέση (Πηγή:ESRI,2021).....	37
Εξίσωση 2Αλγόριθμος υπολογισμού ακτίνας αναζήτησης (Πηγή: ESRI) .....	38
Εξίσωση 3Υπολογισμός μη σταθμισμένης τυπικής απόστασης (Πηγή: ESRI, 2021) .....	38
Εξίσωση 4Υπολογισμός σταθμισμένης τυπικής απόστασης (Πηγή:ESRI, 2021) .....	39

#### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 Βήματα υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας-1 .....	27
---	----

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των σεισμικών γεγονότων που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα τα έτη 1964 έως 2022. Σκοπός, είναι η συσχέτιση των σεισμών που έλαβαν χώρα στον ελλαδικό χώρο με τα χαρακτηριζόμενα ως ενεργά ρήγματα της Ελλάδας.

Τα διαθέσιμα δεδομένα των σεισμών προήλθαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, τα οποία είναι ανοιχτά και προσβάσιμα από όλους τους πολίτες, ενώ τα ρήγματα που μελετώνται, προέρχονται από την Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία το 2010 και συνοδεύονται από άρθρο με τον τίτλο «The Greek Catalogue of Active Faults and Database of Seismogenic Sources. Για τα σεισμικά γεγονότα δίδονται η ημερομηνία, οι συντεταγμένες (φ, λ), το βάθος και το μέγεθος στην κλίμακα Richter. Δημιουργήθηκε ένας πίνακας μέσω του περιβάλλοντος του Excel όπου, εμπεριέχονται όλα τα δεδομένα με τη σωστή ταξινόμηση, ομαδοποίηση και κωδικοποίηση ώστε να είναι συμβατά με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

Τα παραπάνω δεδομένα υποβλήθηκαν σε γεωχωρική επεξεργασία που περιελάμβανε τη γεωστατιστική μέθοδο Kernel density estimation, η οποία υλοποιείται μέσω του λογισμικού ArcMap και παρουσιάζεται αναλυτικότερα στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, παρουσιάζονται χάρτες οι οποίοι εμφανίζουν τα σεισμικά γεγονότα που συλλέχθηκαν και τα ενεργά ρήγματα της Ελληνικής Χερσονήσου, ώστε να ερευνήσουμε εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Πραγματοποιείται χωρική στατιστική ανάλυση για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των επικέντρων, των εστιακών βαθών και των αποστάσεων από τα ρήγματα. Από αυτές τις μεθόδους, παράγονται επίσης χάρτες που βοηθούν στην οπτικοποίηση, συνεπώς και στην κατανόηση, των αποτελεσμάτων. Τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα και απαντώνται τα ερωτήματα που τίθενται από την αρχή της εργασίας αυτής.

**Λέξεις Κλειδιά: Σεισμοί, ΣΓΠ, Χωρική Στατιστική, Χωρική Ανάλυση**



## SUMMARY

This paper presents the spatial distribution of seismic events that took place in Greece between 1964 and 2022. The aim is to correlate the earthquakes that took place in Greece with the characterized as active faults in Greece.

The available data came from the Geodynamic Institute, which is open and accessible to all citizens while the faults come from the Hellenic Geological Society and created in 2010 and are accompanied by an article entitled "The Greek Catalog of Active Faults and Database of Seismogenic Sources. The date, the coordinates ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), the depth and the magnitude of the seismic events are given. A table was created through the Excel environment that includes all the data with the correct sorting, grouping, and encoding to be compatible with the software used.

The above data were subjected to geospatial processing which included the geostatistical method Kernel Density estimation, which is implemented through the ArcMap software and is presented in more detail later in the dissertation.

Also, maps are presented that show the seismic events collected and the active faults of the Greek Peninsular, in order to investigate if there is a correlation between them. Spatial statistical analysis is performed to investigate the relationship between epicenters, depth and distances from faults. From these methods, maps are also produced that help to visualize, and therefore to understand, the results. At the end, the results are analyzed and the questions posed from the beginning of this work are answered.

***Keywords: Earthquakes, GIS, Spatial Statistics, Spatial Analysis***

## ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η δομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας με συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου των επιμέρους κεφαλαίων.

Στο εισαγωγικό μέρος παρουσιάζονται μερικές βασικές έννοιες, με λίγα λόγια, οι οποίες αναφέρονται στην εργασία και είναι να καλό να είναι κατανοητή η ερμηνεία τους για να γίνει κατανοητό το θέμα από τον αναγνώστη, καθώς και μία μικρή ιστορική αναδρομή που περιγράφει την αντίληψη του φαινομένου αυτού από τον άνθρωπο, μέσα στα χρόνια.

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα όργανα που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα αλλά και σήμερα σε παραλληλισμό με χάρτες που δημιούργησε το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο όπου, εμφανίζονται τα διάφορα δίκτυα (γεωδαιτικό, σειсмоγράφων, επιταχυνσιογράφων και σεισμολογικό) που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, την Ελλάδα.

Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής, με τα κεφάλαια που την περιέχουν και το περιεχόμενό τους. Αποτελεί θεμέλιο λίθο της εργασίας, καθώς ο αναγνώστης δύναται να αποκτήσει μία σφαιρική και ταχεία εικόνα για το περιεχόμενο. Σειρά έχει η περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθείται για την σύνταξη και ολοκλήρωση της εργασίας μέσω της σχεδίασης ενός διαγράμματος ροής, καθώς και επεξήγηση αυτού. Παράλληλα, γίνεται μία βιβλιογραφική αναφορά στην επεξεργασία δεδομένων μέσω του λογισμικού συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ), με ερμηνείες που δόθηκαν από συγγραφείς, όπως οι Kevany, Soukhanon κ.λπ., περιγράφοντας τα Σ.Γ.Π. ως ολόκληρη τεχνολογία, ένα σώμα μεθόδων και υλικών που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη στόχων. Συνεχίζοντας, στο ίδιο κεφάλαιο παραθέτονται και οι βασικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, δηλαδή η μέθοδος τοπικών εκτιμήσεων, οι μέθοδοι γενικευμένων προσεγγίσεων και οι γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής συσχέτισης, όπως περιγράφονται από τους Νικολακόπουλος, Κ., Κατσάνου, Κ., και Λαμπράκης.

Έπειτα, πρώτο μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε η έρευνα-συλλογή και παρουσίαση των δεδομένων που θα επεξεργαστούν καταλλήλως και θα

αποδώσουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αναφέρονται οι πηγές του, ο τρόπος συλλογής τους, η επεξεργασία τους και τα χαρακτηριστικά που τα προσδιορίζουν. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, όσον αφορά τους σεισμούς που έλαβαν χώρα στην ελληνική επικράτεια και από την Ελληνική Βάση Δεδομένων των Σεισμογόνων Πηγών (GreDaSS), όσον αφορά τη συλλογή των ρηγμάτων της ελληνικής χερσονήσου. Το περιεχόμενο και τον τρόπο που δημιουργήθηκε η βάση αυτή και άλλες παρόμοιες, περιγράφουν τα άρθρα «The Greek Catalogue of Active Faults and Database of Seismogenic Sources», «The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008» και «The New Seismotectonic Atlas of Greece (v1.0) and Its Implementation».

Εν συνεχεία, περιγράφεται διεξοδικώς το σύνολο της διαδικασίας μέσα από την οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε η επιλεγμένη μεθοδολογία που έχει ως στόχο, τη δημιουργία χαρτών και διαγραμμάτων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων/ συμπερασμάτων. Περιγράφονται εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό ArcGIS, όπως το kernel density, το Generate Near Table το Multiple Ring Buffers, το spatial join και το multi values to points.

Κλείνοντας το πρώτο μέρος της εργασίας, που αφορά στην οπτικοποίηση της συσχέτισης των σεισμών, των εστιακών βαθών και των ρηγμάτων τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι χάρτες που δε μπορούν να οδηγήσουν στο συμπέρασμα αυτό.

Στο δεύτερο μέρος, που αφορά στη χωρική στατιστική ανάλυση, παρουσιάζονται οι μέθοδοι που ακολουθούνται, προς διερεύνηση των προαναφερθέντων τριών δεδομένων, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα φαινόμενο σεισμού. Τα παράγωγα πέραν από ποσοτικά, είναι και οπτικά, με τη μορφή χαρτών.

Τέλος, παρατίθενται οι ελληνόγλωσσες και ξενόγλωσσες βιβλιογραφικές αναφορές, το σύνολο των άρθρων, βιβλίων και γενικότερα των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για την επιτυχή εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και οι πίνακες εικόνων, χαρτών και διαγραμμάτων που περιλαμβάνονται.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας με την τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών έχει σκοπό την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων με στόχο να διερευνήσει και να επεξηγήσει φαινόμενα φυσικά ή ανθρωπογενή τα οποία σχετίζονται με τον γεωγραφικό χώρο.

Στην παρούσα Διπλωματική εξετάζεται η διαχρονική σχέση μεταξύ των ενεργών σεισμικών ρηγμάτων με τα επίκεντρα των σεισμών, προκειμένου να διερευνηθεί η χωρική τους διασπορά και κατανομή στην ελληνική χερσόνησο.

Η Ελλάδα, ως η περιοχή μελέτης, είναι μία ιδιαίτερα σειсмоγενής χώρα καθώς, στο περίφημο ελληνικό τόξο διασταυρώνονται η ευρασιατική και η αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Το ελληνικό τόξο ξεκινά από την Κεφαλονιά και διασχίζοντας το Ιόνιο νότια περνά από την Κρήτη και καταλήγει στη Ρόδο. Στο σημείο επαφής των δύο πλακών οι σεισμοί είναι ιδιαίτερα έντονοι και μπορούν να αγγίξουν ακόμη και τους 7,5 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ. Ο κύριος λόγος εκδήλωσης των σεισμών στον ελλαδικό χώρο είναι η βύθιση της αφρικανικής κάτω από την ευρασιατική πλάκα. Το δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου, το οποίο έχει και την πιο έντονη σεισμική δραστηριότητα, εκτείνεται από την Κέρκυρα και καταλήγει στη δυτική Κρήτη και διαχωρίζεται σε τρεις περιοχές. Η πρώτη βρίσκεται βορείως της Λευκάδας, η δεύτερη νοτίως της Κεφαλονιάς και η τρίτη βρίσκεται μεταξύ των δύο προηγούμενων, από τη Ζάκυνθο ως τη Λευκάδα.

Η Ελλάδα ανέρχεται στην έκτη θέση παγκοσμίως και στην πρώτη στην Ευρώπη, όσον αφορά τη σεισμικότητά της. Οι σεισμοί δεν συμβαίνουν τυχαία ούτε όσον αφορά τον χώρο, αλλά ούτε και όσον αφορά τον χρόνο. Συνήθως, η σεισμική ακολουθία εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά. Οι μεγάλοι σεισμοί, ως προς το μέγεθος, δεν εκδηλώνονται τυχαία, προηγούνται ένας ή περισσότεροι καλούμενοι μικροσεισμοί, οι οποίοι είναι προάγγελοι των εντονότερων σεισμών που έπονται.

Ένα κύριο ερώτημα λοιπόν που η εργασία καλείται να απαντήσει είναι η γειτνίαση των ενεργών ρηγμάτων με τα επίκεντρα των σεισμών ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο η γειτνίαση αυτή παίζει κάποιον ρόλο.

## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η γη, είναι ένας πλανήτης ο οποίος αλλάζει συνεχώς μορφή και ανάγλυφο όπου το φυσικό φαινόμενο του σεισμού παίζει το ρόλο του, μιλώντας βέβαια πάντα σε γεωλογικό χρόνο. [3]

Η Ελλάδα έχει, την πρωτιά στην Ευρώπη από άποψη σεισμικότητας. Για το λόγο αυτό γίνεται συνεχής προσπάθεια για ενημέρωση, πρόληψη και αντισεισμική θωράκιση της χώρας. [3]

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.), του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, στην αρχαιότητα οι ορισμοί του σεισμού ποίκιλλαν, αναλόγως με τις διαφορετικές δοξασίες των λαών. Στη χώρα μας υπήρχε για παράδειγμα η πεποίθηση, ότι ο ημίθεος Εγκέλαδος κινείτο μέσα στον τάφο του, ή ότι ο σεισμός ήταν αναγκαίο κακό το οποίο έστελνε κάθε τόσο ο Δίας. Στην επίσης σειсмоγενή Ιαπωνία υπήρχε η δοξασία ότι ο σεισμός προκαλείτο από τη συμπίεση ατμών στο εσωτερικό της Γης, ή από τον κραδασμό του εδάφους ως αποτέλεσμα του σπαρταρίσματος ενός τεράστιου γατόψαρου.[3]



Εικόνα 1 Στον πίνακα περιόδου Edo απεικονίζεται η προσπάθεια ανθρώπων να δαμάσουν το τεράστιο γατόψαρο (Πηγή: Ο.Α.Σ.Π. "Σεισμός Η γνώση είναι προστασία".)

Σήμερα, θεωρείται ότι ο σεισμός είναι η κίνηση του εδάφους που οφείλεται στη θραύση πετρωμάτων, ως το στιγμιαίο αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διαδικασίας

συσσώρευσης δυναμικής ενέργειας σε καταπονούμενες περιοχές της λιθόσφαιρας.[3]

Συνεπώς πρόκειται για την εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων από φυσικές αιτίες που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. [3]

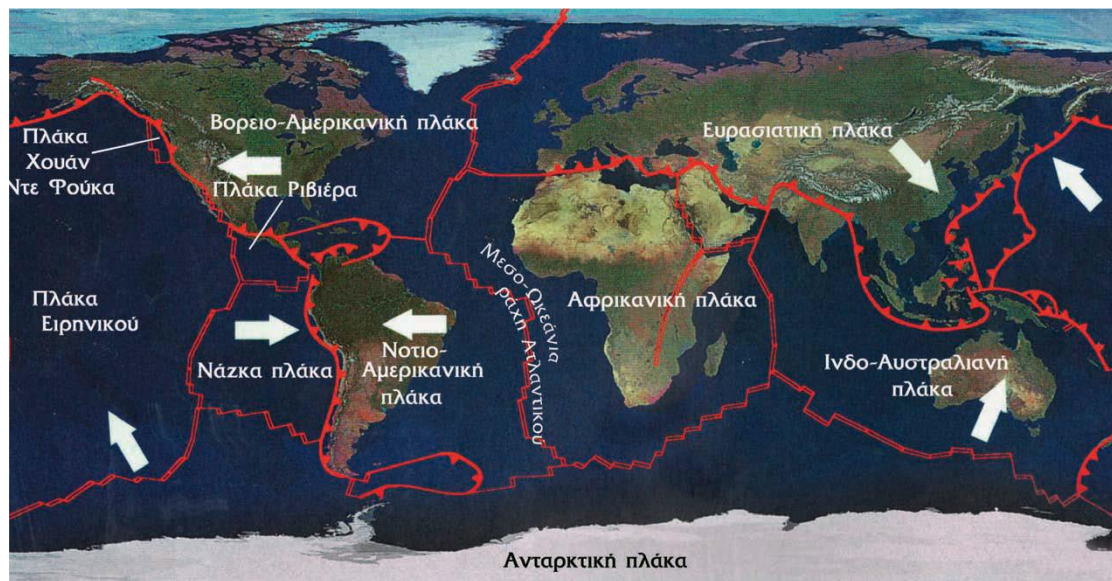
Με λίγα λόγια, θεωρείται ένα φυσικό φαινόμενο που μπορεί όμως να προκαλέσει πολλές απώλειες τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε υλικά αγαθά.[3]

Όπως προαναφέρθηκε, η γη είναι ένας ζωντανός οργανισμός και αλλάζει μορφή στην περίοδο του χρόνου. Σε 500 εκατομμύρια χρόνια πριν η εικόνα της γης ήταν εντελώς διαφορετική με τις ηπείρους να είναι συγκεντρωμένες στο νότιο ημισφαίριο του πλανήτη. Μερικά εκατομμύρια χρόνια αργότερα εμφανίζεται η Παν-γαία, μια ενιαία ήπειρος, που βρεχόταν από την Παν-θάλασσα. Η ενιαία ήπειρος στη συνέχεια «έσπασε» σε δύο μεγάλα τεμάχια, τη Λαυρασία και τη Γκοντβάνα, με τη βαθιά θάλασσα ανάμεσά τους να ονομάζεται Τηθύς.[3]

Συνεχίζοντας την εξελικτική πορεία, οι δύο αυτές ήπειροι, χωρίστηκαν σε ακόμη μικρότερα και ακόμη μικρότερα τεμάχια, μέχρι η γη να φτάσει στην σημερινή της μορφή η οποία είναι η ίδια, χονδρικά, τα τελευταία 50 εκατ. χρόνια. Έτσι, οι επιστήμονες είναι σε θέση να προβλέψουν έως κάποιο βαθμό την μελλοντική εικόνα της γης βάσει των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών, τμήματα των οποίων είναι οι ήπειροι.[3]



Εικόνα 2 Εξελικτική πορεία των ηπείρων μέσα στο χρόνο.  
(Πηγή: Ο.Α.Σ.Π. "Σεισμός Η γνώση είναι προστασία")



Εικόνα 3 Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελούμενη από επτά μεγάλες πλάκες  
(Πηγή: ΟΑΣΠ "Σεισμός Η γνώση είναι προστασία")

## ΓΕΝΝΕΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

Η σεισμική δράση φαίνεται να σχετίζεται άρρηκτα από την κίνηση των λιθосφαιρικών πλακών. Οι λιθосφαιρικές πλάκες αλλού συγκλίνουν, αλλού αποκλίνουν και αλλού η μία κινείται παράλληλα-εφαπτομενικά σε σχέση με τη διπλανή της. [3]

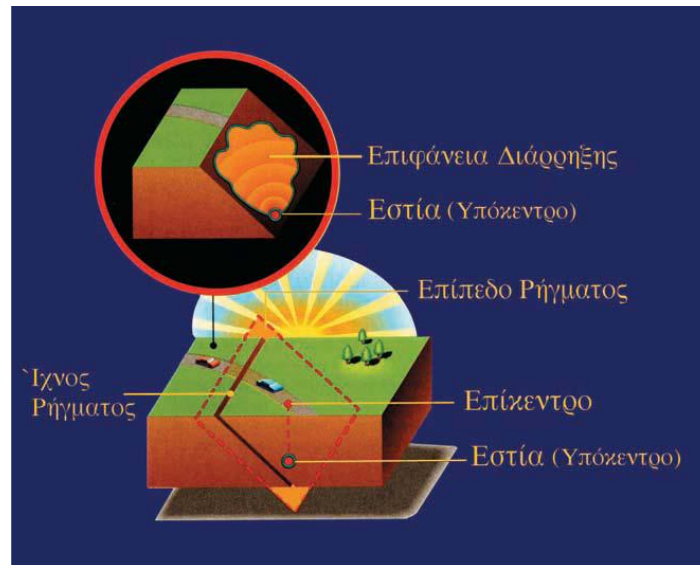
Στις περιοχές που αποκλίνουν οι λιθοσφαιρικές πλάκες θερμό ασθενοσφαιρικό υλικό βγαίνει στην επιφάνεια, ψύχεται, στερεοποιείται και έτσι δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα κατά μήκος των δύο πλευρών ράχων που χαρακτηρίζονται ως μεσοωκεάνιες ράχεις. [3]

Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη, η κίνηση γίνεται κατά μήκος των ρηγμάτων μετασχηματισμού.[3]

Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών η πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη. Όταν υποβυθιζόμενη λιθόσφαιρα φτάσει σε μεγάλα βάθη λιώνει μέσα στο θερμό μανδυακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό. Η δημιουργία νέου λιθοσφαιρικού υλικού στις μεσοωκεάνιες ράχεις αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει «αμετάβλητη». Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων στις παρυφές τους. Για το λόγο αυτό, στα πετρώματα που βρίσκονται κοντά στις περιοχές αυτές συσσωρεύονται τεράστια ποσά δυναμικής ενέργειας (ελαστικής παραμόρφωσης) και αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις που συνεχώς αυξάνουν. Όταν οι τάσεις αυξηθούν τόσο πολύ, ώστε να υπερβούν το όριο αντοχής του λιθοσφαιρικού υλικού στο σημείο αυτό, επέρχεται θραύση. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται απότομη σχετική κίνηση των δύο τμημάτων που έχουν προκύψει, κατά μία επιφάνεια, έως ότου ισορροπήσουν σε νέες θέσεις. Η επιφάνεια αυτή είναι το σεισμικό ρήγμα. Τη χρονική αυτή στιγμή γεννιέται ένας σεισμός. [3]

Το σημείο που κάνει την πρώτη του εκδήλωση ο σεισμός ονομάζεται εστία ή υπόκεντρο του σεισμού. Το επίκεντρο, για το οποίο γίνεται συνήθως λόγος από όλους, είναι το ίχνος της κατακόρυφης προβολής του υπόκεντρου στην επιφάνεια της γης, ενώ το εστιακό βάθος, άλλη μία έννοια που χρησιμοποιείται ευρέως, αφορά την απόσταση του επίκεντρου από την εστία (υπόκεντρο) .[3]





Εικόνα 4 Γέννηση Σεισμού.  
(Πηγή: ΟΑΣΠ, «Σεισμός Η γνώση είναι προστασία»)

Οι σεισμοί γεννιούνται εντός της λιθόσφαιρας και εντοπίζονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Η εστία ενός σεισμού εντοπίζεται σε διαφορετικό βάθος κάθε φορά, μερικές φορές βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να γίνεται πιο αισθητός στους ανθρώπους και να φέρνει μεγαλύτερες καταστροφές, ενώ μπορεί να βρίσκεται και σε βάθος πολλών χιλιομέτρων. Σύμφωνα με τον Ο.Α.Σ.Π., οι εστίες δε μπορεί να ξεπερνούν τα 720 km περίπου, βάθος στο οποίο μπορεί να φτάσει η καταδυόμενη λιθόσφαιρα διατηρώντας τις ελαστικές της ιδιότητες. Έτσι, οι σεισμοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα το εστιακό τους βάθος, σε επιφανειακούς όπου το εστιακό βάθος είναι μικρότερο από 60 km, σε ενδιάμεσου βάθους όταν κυμαίνεται μεταξύ 60 και 300 km και τέλος, σε μεγάλου βάθους όπου τότε το εστιακό βάθος ξεπερνά τα 300 km.[3]

Για να γίνει ο εντοπισμός του κάθε σεισμού και να μετρηθεί το μέγεθός του, δημιουργήθηκαν κάποια όργανα που βοηθούν τους επιστήμονες στην καταγραφή αυτών των σεισμικών γεγονότων. Έτσι, θα είναι σε θέση να ενημερώσουν τους ανθρώπους και να τους προστατέψουν.[3]

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ<sup>1</sup>

Προκειμένου να κατανοηθεί το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας, πρέπει να συστηθεί στον αναγνώστη η έννοια του σεισμού, του ενεργού ρήγματος και άλλων εννοιών.

**Σεισμοί (earthquakes)<sup>1</sup>.** Οι εδαφικές δονήσεις οι οποίες γεννιούνται κατά τις διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Στις θέσεις διατάραξης της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων απελευθερώνεται μηχανική ενέργεια η οποία διαδίδεται μέσα στη γη με τη μορφή σεισμικών κυμάτων, και εκδηλώνεται με τη μορφή δονήσεων του εδάφους.

**Σεισμική επικινδυνότητα (seismichazard)<sup>1</sup>.** Η πιθανότητα του να συμβεί μέσα σε δεδομένη χρονική περίοδο και σε δεδομένη περιοχή σεισμός ίσος ή μεγαλύτερος από ένα ορισμένο μέγεθος.

**Σεισμικότητα (Seismicity)<sup>1</sup>.** Ονομάζεται ο αριθμός των σεισμών στο χρόνο και στο χώρο.

**Μέγεθος M (magnitude)<sup>1</sup>.** Η ποσότητα που εκφράζει το ποσό της ενέργειας που εκλύεται από την εστία του σεισμού. Το μέγεθος ενός σεισμού μετρείται με την κλίμακα Richter από το όνομα του Αμερικανού σεισμολόγου που την πρότεινε το 1935.

**Πυρήνας (Core).** Είναι το τμήμα της Γης κάτω από την ασυνέχεια Gutenberg αρχίζει ο πυρήνας ο οποίος έχει πάχος περίπου 3450 χιλιομέτρων. Αποτελείται από εξωτερικό και εσωτερικό πυρήνα. Σύμφωνα με τις σημερινές απόψεις, ο εξωτερικός πυρήνας θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση τήξης, ενώ ο εσωτερικός σε στερεά κατάσταση. Η γενική σύστασή του είναι κύρια από ενώσεις σιδήρου.[2]

**Ρήγμα (Fault)<sup>2</sup>.** Ένα επίπεδο ή ελαφρά κυρτό σπάσιμο στο βραχώδες τμήμα του φλοιού της Γης, όπου οι δυνάμεις συμπίεσης ή τάνυσης προκαλούν σχετική μετατόπιση των βράχων στις αντίθετες πλευρές του σπασίματος.

---

<sup>1</sup><http://www.gein.noa.gr>

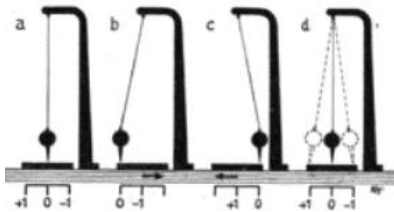
<sup>2</sup><https://www.britannica.com/science/fault-geology>

## ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Ο σεισμός είναι ένα συμβάν το οποίο δεν αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος πάντα λόγω του μεγέθους του. Έτσι, εφευρέθηκαν κάποια όργανα σεισμικά τα οποία έχουν ως στόχο την καταγραφή του κάθε σεισμού ανεξαιρέτου μεγέθους ή τόπου.[4]

Για να καταγραφούν οι σεισμοί σε όλη την επικράτεια της Ελλάδος, υπάρχουν σταθμοί παρατήρησης στους οποίους φθάνουν τα σεισμικά κύματα ξεκινώντας από την εστία και καταγράφονται από τα σειсмоγραφικά όργανα που έχουν τοποθετηθεί σε αυτές τις θέσεις. Για την πλήρη περιγραφή της κίνησης των υλικών σημείων της Γης είναι αναγκαία τρία είδη σειсмоγραφικών οργάνων, αυτά που καταγράφουν τη μετάθεση, αυτά που καταγράφουν την περιστροφή και αυτά που καταγράφουν την παραμόρφωση.<sup>3</sup>

Τα σειсмоγραφικά όργανα είναι τα εξής<sup>4</sup>:



**Σεισμοσκόπια**, είναι όργανα που απλώς σημειώνουν τη γένεση των σεισμών ή αναγράφουν αυτούς πάνω σε ακίνητη αιθαλωμένη πλάκα δίνοντας έτσι πληροφορίες

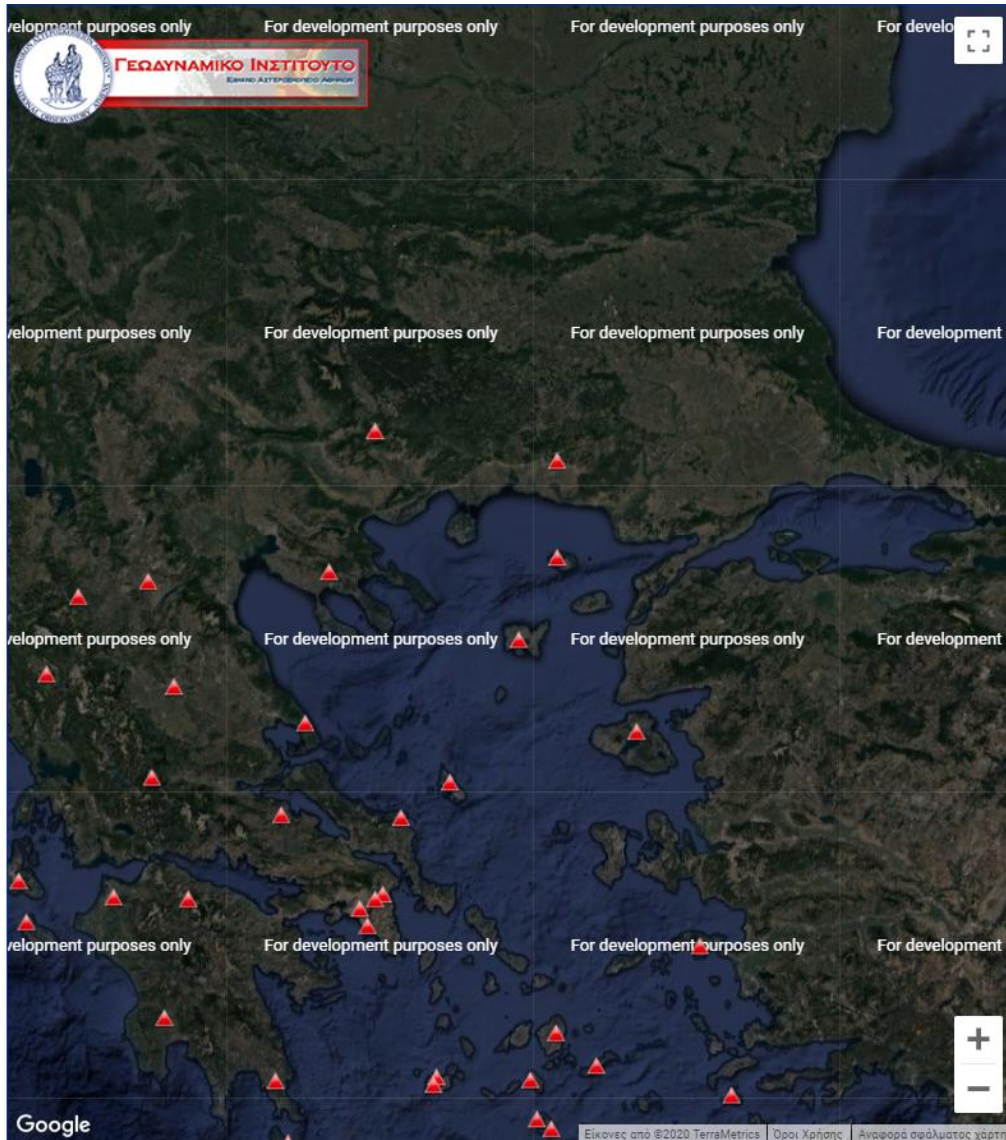
για την ένταση της σεισμικής κίνησης.[4]

**Σεισμογράφοι**, είναι όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται αυτόματη αλλά όχι πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Η αναγραφή αυτή, που λέγεται σεισμογράφημα, γίνεται με γραφίδα πάνω σε αιθαλωμένη ταινία ή με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία. Ο σεισμογράφος αποτελείται από το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης και το σύστημα αναγραφής.[4]

---

<sup>3</sup><http://www.gein.noa.gr/HTML/WEB-EDU/instruments.htm>.

<sup>4</sup><http://www.gein.noa.gr/>.



Εικόνα 5

Πηγή: <http://www.gein.noa.gr/el/diktua/seismologiko-diktuo>

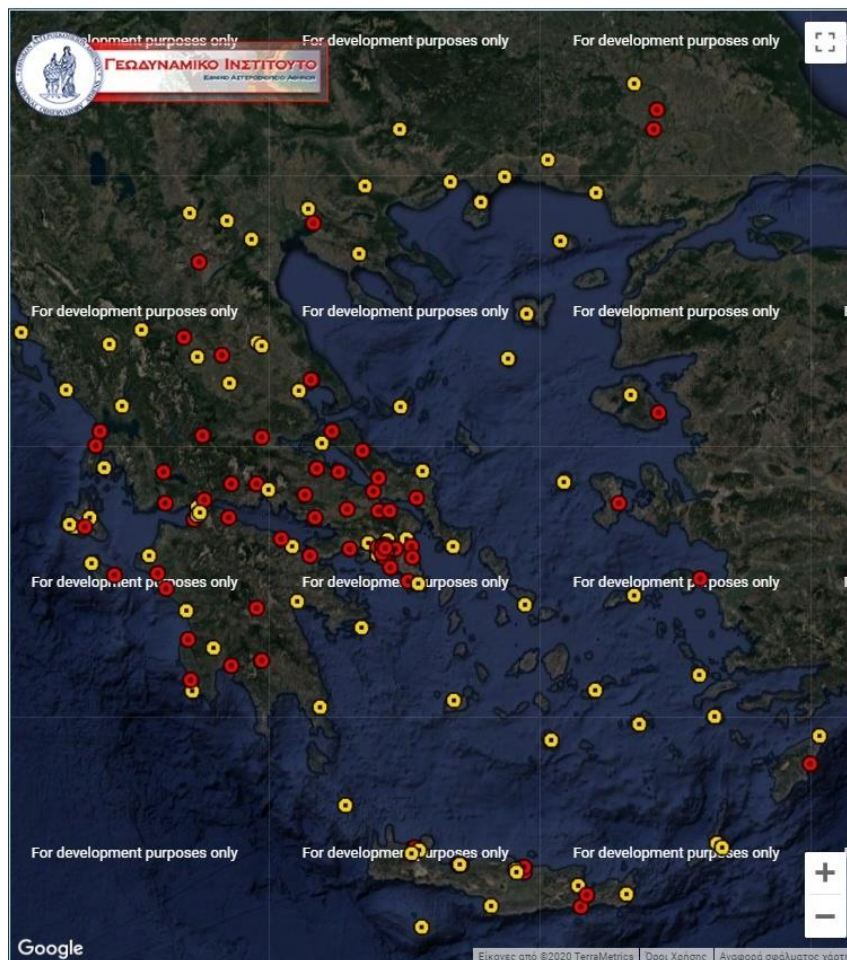


**Σεισμόμετρα**, είναι τα όργανα που γράφουν με σημαντική ακρίβεια τις σεισμικές κινήσεις. Η βασική διαφορά μεταξύ σεισμόμετρου και σειсмоγράφου είναι ότι, το σεισμόμετρο διαθέτει συσκευή με την οποία πετυχαίνεται απόσβεση της αιώρησης του εκκρεμούς και έτσι είναι δυνατή η πιστότερη αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Οι αναγραφές αυτές λέγονται σειсмоγράμματα.[4]



**Επιταχυνσιογράφοι**, είναι ειδική κατηγορία σεισμομέτρων. Τα σεισμογράμματα των οργάνων αυτών δίνουν τη σεισμική επιτάχυνση σε συνάρτηση με το χρόνο. Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά από την Τεχνική Σεισμολογία ενώ, τοποθετούνται συνήθως μέσα στα κτίρια για τη

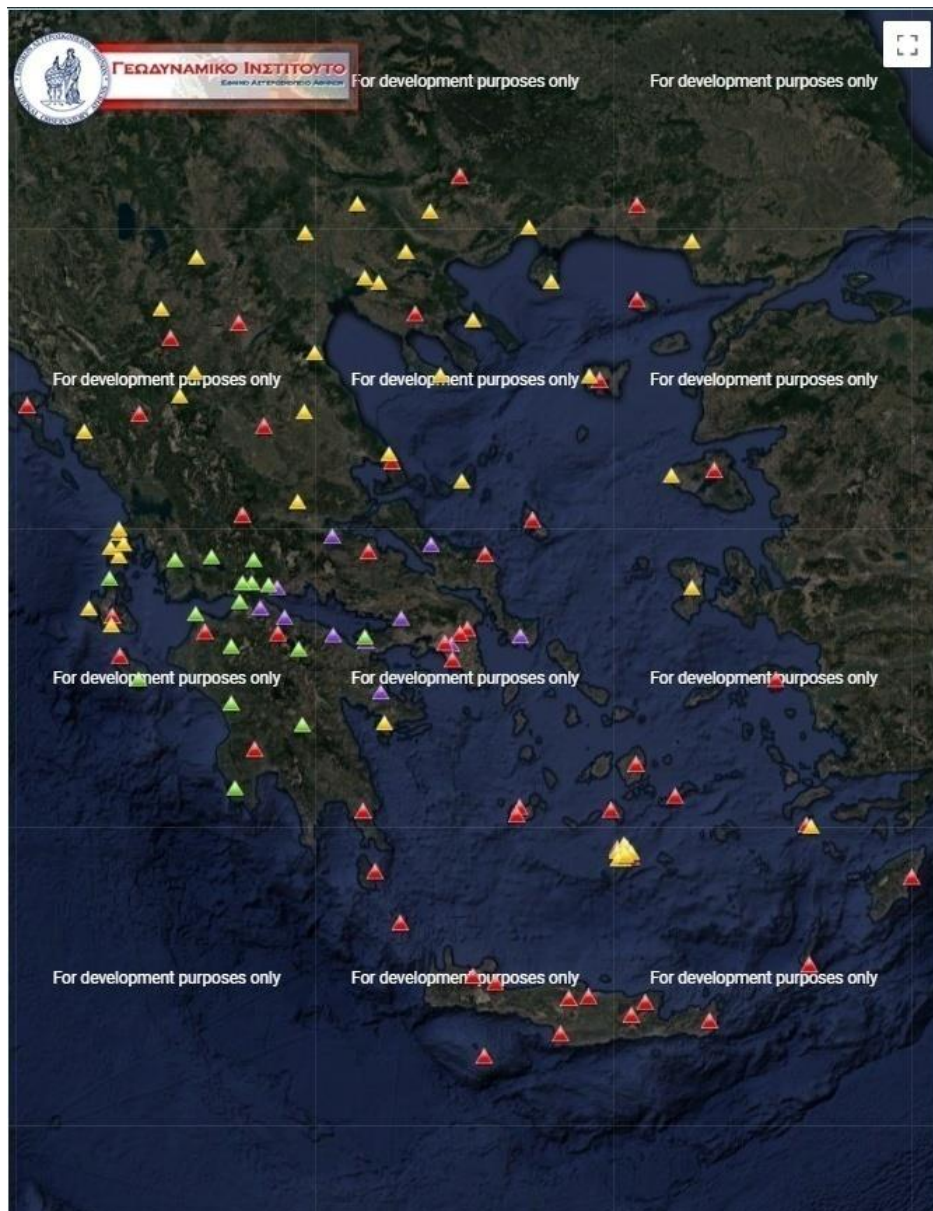
μέτρηση της επιτάχυνσης κατά τη γένεση σεισμών. Μπαίνουν σε λειτουργία με κατάλληλη διέγερση στην αρχή του σεισμού. Στην παρακάτω Εικόνα δαπικονίζεται το δίκτυο επιταχυνσιογράφων στην Ελλάδα. Με κόκκινο χρώμα συναντώνται όργανα που λειτουργούν με αλγόριθμο υπέρβασης ορίου διέγερσης τύπων A-800/A-900 (GeotechInstruments, LLC) και QDR (KinemetricsInc.) ενώ, με κίτρινο χρώμα τα όργανα συνεχούς καταγραφής τύπου CMG-5TDE (GuralpSystemsLtd). [4]



Εικόνα 6.

Πηγή: <http://www.gein.noa.gr/el/diktua/diktuo-epitaxunsiografwn>

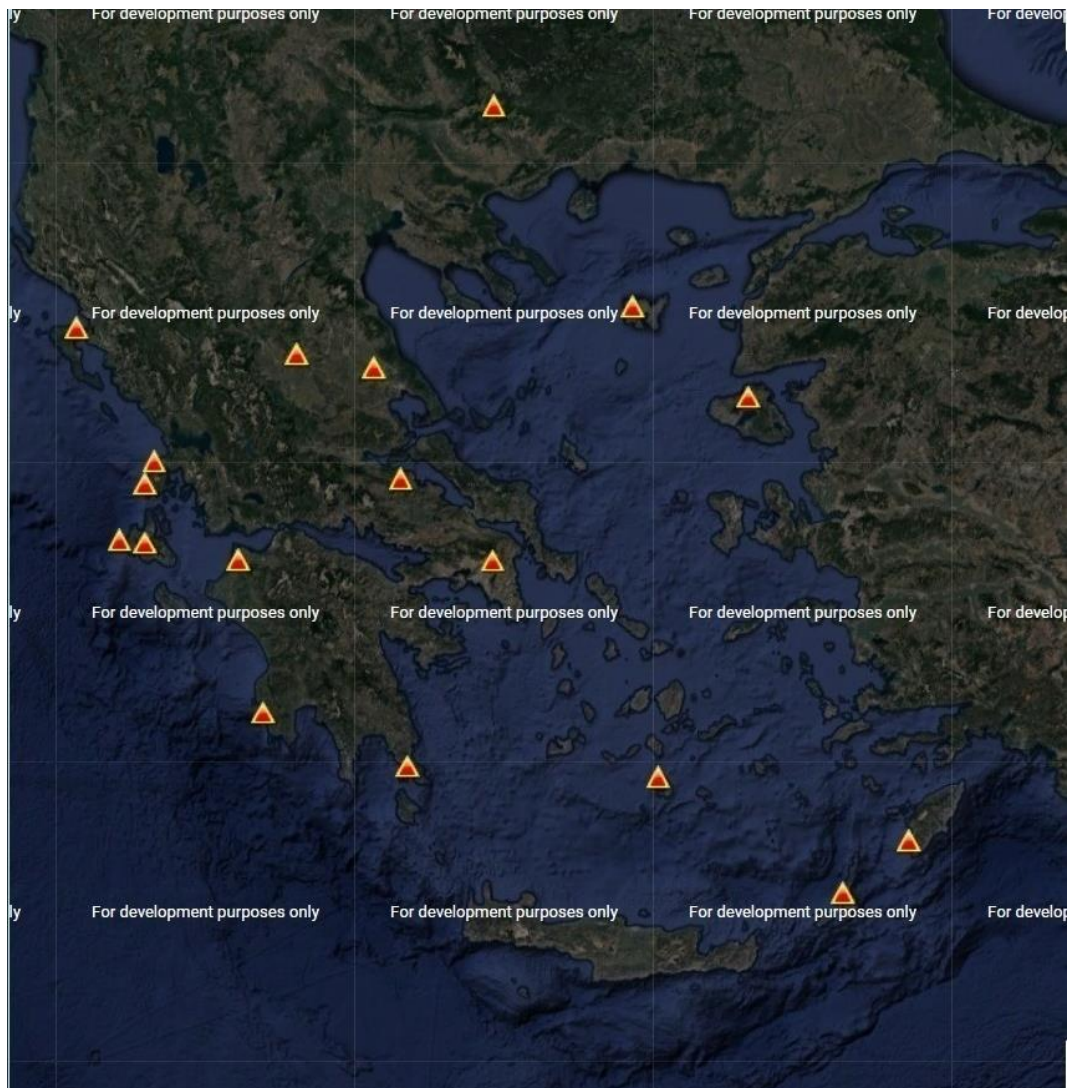
Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται το Ενοποιημένο Ελληνικό Σεισμολογικό Δίκτυο (Ε.Ε.Σ.Δ). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι σταθμοί του Σεισμολογικού Δικτύου του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, με κίτρινο οι σταθμοί του δικτύου του τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με μπλε χρώμα οι σταθμοί του δικτύου του τομέα Γεωφυσικής και Γεωθερμίας του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και τέλος, με πράσινο απεικονίζονται οι σταθμοί του δικτύου του τομέα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.[4]



Εικόνα 7

Πηγή: <http://www.gein.noa.gr/el/diktua/ethniko-seismologiko-diktuo>

Το Γεωδαιτικό Δίκτυο που δημιουργήθηκε από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. Το δίκτυο έχει ως στόχο την παρακολούθηση των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού. Η Ελλάδα είναι μία χώρα με έντονη μετακίνηση του φλοιού της έως και μερικά εκατοστά κατ' έτος. Αυτό συμβαίνει λόγω των μετακινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών της ανατολικής Μεσογείου.[4]



Εικόνα 8

Πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, <http://www.gein.noa.gr/el/diktua>

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η μεθοδολογία της εργασίας. Ο προσδιορισμός του αντικειμένου της και η σχέση του με τα υφιστάμενα δεδομένα ήταν το πρώτο καίριο ζήτημα για την εκπόνησή της. Σε αυτό βοήθησε ιδιαίτερα το διαδίκτυο, καθώς τόσο οι βιβλιογραφικές πηγές που πραγματεύονται το φαινόμενο του σεισμού, όσο και οι πηγές δεδομένων για το ζήτημα που θα απασχολούσε την έρευνα ήταν εφικτές να προσκτηθούν ελεύθερα. Η μελέτη λοιπόν αναφέρεται στην συσχέτιση των σεισμών με τα ενεργά ρήγματα που έχουν καταγραφεί στην Ελληνική Χερσόνησο.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας, οφείλονται στο “γνωστό” γεγονός της συσχέτισης, μεταξύ ενεργών ρηγμάτων και σεισμών, και είχαν σχέση κυρίως με αποστάσεις. Δηλαδή, την απόσταση κάθε επίκεντρου από τα γειτονικά του ρήγματα και τη σχέση του με το εστιακό βάθος.

Τα λογισμικά Σ.Γ.Π. είναι γνωστό ότι έχουν την ιδιότητα της συγκέντρωσης πολλών δεδομένων από διαφορετικές πηγές και την ικανότητα της χωρικής τους ανάλυσης, καθώς από τα ερευνητικά ερωτήματα αυτό που μακροσκοπικά εξάγεται είναι από τη μία ένα ζήτημα θέσης (επίκεντρο – ρήγμα) και από την άλλη σχέσης (επίκεντρο – ρήγμα – εστιακό βάθος) η οποία όμως βασίζεται σε αποστάσεις. Αυτό, σημαίνει ότι υπάρχουν τρόποι και αναλυτικά εργαλεία, εντός αυτών των συστημάτων, τα οποία μπορούν με κατάλληλο χειρισμό να δώσουν απαντήσεις στα ερευνητικά αυτά ερωτήματα.

Η επεξεργασία των δεδομένων έχει αποκτήσει πολλές δυνατότητες σε σχέση με παλαιότερα όπου ήταν περιορισμένες. Το Σ.Γ.Π. είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο το οποίο βοηθάει στη διαχείριση, την ολοκλήρωση και την ανάλυση ενός διαφορετικού φάσματος δεδομένων (Thompson, 1992, Burrough, et.al.1998, Longley, 2001). Ένα Σ.Γ.Π. είναι μία ολόκληρη τεχνολογία, ένα σώμα μεθόδων και υλικών που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη στόχων (Soukhanov, 1984). Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται συχνά ως συνώνυμο για ένα Σ.Γ.Π. είναι «κτηματολόγιο πολλαπλών χρήσεων». Αν και ορισμένοι συγγραφείς έχουν κάνει μια διάκριση μεταξύ ενός κτηματολογίου πολλαπλών χρήσεων και ενός ΣΓΠ



(Kevany, 1986), άλλοι επιλέγουν να δώσουν τον όρο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Βάσεων (RhyasonandSalmer, 1985). Από κάποιους ένα κτηματολόγιο θεωρείται «καταγραφή του ενδιαφέροντος για γη, που περιλαμβάνει τόσο τη φύση όσο και την έκταση των εν λόγω συμφερόντων» και προτείνεται ο όρος Σύστημα Πληροφοριών Γης Πολλαπλών Χρήσεων (Clappetal.1985).

Πιο συγκεκριμένα, η χωρική παρεμβολή η οποία αποτελεί μία διαδικασία εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα, με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος (Νικολακόπουλος, Κατσάνου, Λαμπράκης, 2015). Ο συνδυασμός μεταξύ της ακρίβειας της παρεμβολής στα σημεία με υπάρχοντα δεδομένα και της ακρίβειας εκτίμησης τιμών στα σημεία χωρίς δεδομένα, οδήγησε στη χρήση μεθόδων, που σε γενικές γραμμές έχουν μια μαθηματική λογική. Η μικρότερη ακρίβεια στα δοθέντα σημεία (δηλαδή σε σημεία στα οποία υπάρχουν μετρήσεις) παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στις περιοχές με έλλειψη στοιχείων. Η λογική αυτή προκύπτει από την πεποίθηση ότι πολλά στοιχεία περιέχουν τιμές με συγκεκριμένα επίπεδα θορύβου (αβεβαιότητα, σφάλματα) που πρέπει να εξομαλυνθούν (απαλοιφή ή ελαχιστοποίηση).

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής για εφαρμογές πεδίου θέτει μια σειρά προβλημάτων. Τα δεδομένα μπορεί να είναι αρκετά ογκώδη (π.χ. δεκάδες εκατομμύρια σημεία laserσαρωτή) που προέρχονται από διάφορες πηγές και με διαφορετική κάθε φορά ακρίβεια κάθε φορά. Συνεπώς, η ακρίβεια μιας μεθόδου παρεμβολής που θα είναι κατάλληλη για προσομοίωση του τοπογραφικού ανάγλυφου, θα πρέπει να διέπεται από συγκεκριμένες ιδιότητες (Νικολακόπουλος, κ.α, 2015):

- Ικανοποιητική ακρίβεια και αξιοπιστία των υπό εξέταση φαινομένων,
- Σύνθεση πολλαπλών διαστάσεων,
- Εφαρμοσιμότητα σε δεδομένα από διαφορετικές πηγές (π.χ. καμπύλες, τηλεανίχνευση, γεωδαιτικές μεθόδους κ.λπ.)
- Εφαρμοσιμότητα σε ογκώδεις βάσεις δεδομένων,
- Υπολογιστική ικανότητα και
- Σχετική ευκολία στη χρήση.

Ένα άλλο ζήτημα ήταν τα δεδομένα καθαυτά ,και το κατά πόσο η χρήση τους είναι ελεύθερη για το κοινό. Η αναζήτηση -κυρίως μέσω του διαδικτύου- έδειξε ότι υπάρχουν χωρικά και περιγραφικά δεδομένα, που αφορούν τις βασικές παραμέτρους των ερωτημάτων. Δηλαδή, θέσεις επικέντρων σεισμών εντός της περιοχής μελέτης, θέσεις ενεργών ρηγμάτων και η διαστασιολόγησή τους. Η ενεργή καταγραφή -κυρίως των σεισμικών γεγονότων- έχει ξεκινήσει στη χώρα από το 1964. Σήμερα, το Εθνικό Αστεροσκοπείο διατηρεί και ενημερώνει μία βάση δεδομένων με τα σεισμικά γεγονότα. Πιο κάτω, κατά τη διάρκεια της χωρικής ανάλυσης, θα φανεί ένας ποιοτικός διαχωρισμός των δεδομένων σε σχέση με την ακρίβεια της θέσης τους. Συνεπώς, η χρονική περίοδος κατά την οποία εξετάζονται τα σεισμικά γεγονότα είναι ολόκληρη η περίοδος της ψηφιακής καταγραφής των σεισμολογικών δεδομένων, δηλαδή από το 1964 έως και το 2022.

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, κατέτειναν αφενός στην οπτική συσχέτιση των παραμέτρων που εξετάζονται, σε σχέση με το σεισμικό μέγεθος μέσω της χαρτογράφησης και αφετέρου στη διαπίστωση της συσχέτισης αυτής μέσω της χωρικής στατιστικής ανάλυσης. Αυτό σημαίνει, ότι η εργασία θα έχει δύο διακριτά μέρη: Το ένα θα αφορά σε μεθόδους οπτικής συσχέτισης και το άλλο στην στατιστική απόδειξη της συσχέτισης αυτής.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας, κρίνονται οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν μέσω του κεφαλαίου της συζήτησης και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που ολοκληρώνουν τη Διπλωματική εργασία.

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει μία εικόνα της πορείας της εργασίας



**Διάγραμμα 1 Βήματα υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας-1**

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα δεδομένα και πραγματοποιείται επεξεργασία τους με στόχο την παραγωγή αποτελεσμάτων τα οποία και θα σχολιαστούν.

Ως περιοχή μελέτης, επιλέγεται όλος ο ελλαδικός χώρος μαζί, με την ελληνική χερσόνησο. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται οι νομοί και τα σύνορα της χώρας σε σχέση με τις γειτονικές χώρες, η θάλασσα, τα ενεργά ρήγματα που εντοπίζονται στην Ελλάδα (στεριά και θάλασσα) και οι σεισμοί που έλαβαν χώρα μεταξύ 1964 και 2022.

Χρειάστηκε να γίνει εισαγωγή τους σε φύλλο εργασίας Excel και με μικρές τροποποιήσεις δημιουργήθηκε ο τελικός κατάλογος σεισμικών γεγονότων που χρησιμοποιήθηκε. Ενδεικτικά, παρατίθεται μία εικόνα από το περιβάλλον του Excel με τον κατάλογο των 295799 εγγραφών. Το αρχείο αυτό θα εμφανιστεί στο ArcMap ως σημεία (points) στον ελλαδικό χώρο, όμως θα επιλεγούν σεισμοί μεγέθους άνω των 3,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο απεικονίζονται τα δεδομένα είναι το λεγόμενο Greek Grid – Greek Geodetic Reference System of 1987 (GGRS87).

DATE	TIME	LAN	LONG	DEPTH	MAGNITUDE
1964	23 30 25.0	38,9	23,9	10	5.3
1964	16 00 00.0	39,75	25,25	10	5.7
1964	08 14 40.0	38,5	22,25	10	4.5
1964	03 49 58.0	38	21,8	10	5.0
1964	04 21 00.0	39,25	23,75	10	5.8
1964	17 00 03.0	39,25	23,75	10	5.2

Πίνακας 1 Κατάλογος σεισμικών γεγονότων στο Excel, ίδια επεξεργασία

Τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται στο περιβάλλον του προγράμματος ArcMap 10.3 του λογισμικού ArcGIS. Το περιεχόμενό τους έχει έτος, χρόνο εκδήλωσης σεισμού, γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, βάθος και μέγεθος σεισμού. Εισάγεται παράλληλα ένα layer για τη θάλασσα, ένα όπου θα δείχνει τα σύνορα

της χώρας και ένα που θα εμφανίζει τα ρήγματα που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο.

Παρατηρείται ότι οι σεισμοί είναι τοποθετημένοι σε κάρναβο, με απόσταση περίπου 870m ανά κελί. Επίσης, οι συντεταγμένες τους φ,λ διαθέτουν μόνο δύο δεκαδικά ψηφία, γεγονός που μας δείχνει ότι τα σεισμικά γεγονότα δεν είναι απόλυτα ακριβή ως προς τη θέση τους.

Ένας χάρτης όπου παρουσιάζει όλες τις σεισμικές καταγραφές που λαμβάνουν χώρα στην Ελλάδα, είτε για ένα έτος, είτε για πολλά έτη, μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα χρήσιμος. Είναι φρόνιμο να επιλεγούν σεισμοί οι οποίοι είναι αισθητοί, δηλαδή είναι της τάξης των 3,5 βαθμών και άνω, της κλίμακας Richter ώστε να έχουμε έναν χάρτη πιο καλαίσθητο και χωρίς πλεονάζουσα πληροφορία. Επίσης, θα γίνει και κατηγοριοποίηση των σεισμών σε 3 ομάδες, 3.5-4.5, 4.5-5.5 και 5.5-8 βαθμούς της κλίμακας Richter. Αυτό θα γίνει για να μπορέσουμε να δούμε τι έντασης είναι οι σεισμοί που εντοπίζονται σε κοντινή απόσταση από τα ρήγματα.

Οι σεισμικές καταγραφές, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προέρχονται από τον κατάλογο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου και αφορούν τα έτη 1964 έως 2022. Τα ρήγματα βρέθηκαν έπειτα από έρευνα στο διαδίκτυο. Δημιουργήθηκαν από μία ομάδα επιστημόνων και παρουσιάστηκαν στα πλαίσια ενός διεθνούς συνεδρίου το οποίο έλαβε χώρα στην Πάτρα τον Μάιο του 2010. Οι Παυλίδης Σ., Caruto R., Sboras S., Χατζηπέτρος Α., Παπαθανασίου Γ. και Βαλκανιώτης Σ. (2010) δημιούργησαν έναν κατάλογο που εμπεριέχει τα ενεργά ρήγματα που συναντώνται στον ελληνικό χώρο.

Το άρθρο «The Greek Catalogue of Active Faults and Database of Seismogenic Sources[7]», επικεντρώνεται στην περιοχή του Αιγαίου η οποία είναι εξαιρετικά ενεργή τεκτονικά και πρόκειται για έντονα σεισμογενή περιοχή η οποία δίνει πολλούς και μεγάλους σε μέγεθος σεισμούς. Παρόμοια βάση δεδομένων δεν υπήρξε στο παρελθόν η οποία να είναι τόσο πλήρης. Η πρώτη απόπειρα δημιουργίας μίας τέτοιας βάσης ήταν στα πλαίσια του ευρωπαϊκού έργου FAUST (Τα Σφάλματα ως σεισμολογικό εργαλείο, 1998-2000), όπου συμπεριλήφθηκαν 50 πηγές για ολόκληρη την περιοχή του Αιγαίου, ενώ ο πληρέστερος χάρτης με ρήγματα έως την

δημοσίευση του άρθρου που μελετάμε, ήταν εκείνος που δημιούργησαν η ομάδα του Παυλίδη (2007). Σύμφωνα με τους συγγραφείς του άρθρου, λοιπόν, για να δημιουργηθεί ένα αρχείο ανοιχτό και συνεχώς ανανεώσιμο, είναι απαραίτητη η επιλογή ενός περιβάλλοντος λογισμικού GIS. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη δομή με εκείνη της ιταλικής βάσης δεδομένων μεμονωμένων σεισμικών γεγονότων σεισμικών πηγών (DISS), η οποία αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα έρευνας σχεδόν 20 ετών εμπειρίας της ομάδας εργασίας (Valensise and Pantosti, 2001). Όπως περιγράφεται στο άρθρο "The Greek Catalogue of Active Faults and Database of Seismogenic Sources" η βάση DISS χρησιμοποιεί αρκετά επίπεδα δεδομένων που είτε συνδέονται μεταξύ τους είτε και όχι. Τα σημαντικότερα επίπεδα δεδομένων είναι οι:

- Μεμονωμένες σεισμογενείς πηγές (ISS), όπου λαμβάνονται από γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα και περιγράφονται από ένα σύνολο γεωμετρικών παραμέτρων όπως, μήκος, πλάτος, βάθος, βύθιση και χτύπημα), κινηματικών και σεισμολογικών-παλαιοσεισμολογικών παραμέτρων όπως, μέση μετατόπιση ανά συμβάν, μέγεθος, ποσοστό ολίσθησης και περίοδος επιστροφής καθώς και βαθμολογώντας τις σχετικές αβεβαιότητες. Η βάση θεωρείται ότι εμφανίζει μία συγκεκριμένη συμπεριφορά όσον αφορά το μήκος, το πλάτος ρήξης, την ολίσθηση και το μέγεθος που αναμένεται να είναι και το μέγιστο.

Αυτή η κατηγορία προορίζεται να παρέχει τις πιο ακριβείς πληροφορίες που είναι διαθέσιμες για τις καλύτερα αναγνωρισμένες πηγές, αλλά η πληρότητα των ίδιων των πηγών δεν είναι εγγυημένη. Οι μεμονωμένες σεισμογενείς πηγές μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό σεναρίων σεισμού και τσουνάμι και για τεκτονικές και γεωδυναμικές έρευνες, αλλά δεν προορίζονται να περιλαμβάνουν ένα πλήρες σύνολο δεδομένων εισόδου για πιθανολογική αξιολόγηση του σεισμικού κινδύνου.

Ομοίως με τις άλλες κατηγορίες πηγών DISS, κάθε μεμονωμένη σεισμική πηγή εντοπίζεται με τον κωδικό CCIS ###, όπου:

Το CC είναι ο κωδικός ISO 3166-1 δύο γραμμάτων για ονόματα επίσημα αναγνωρισμένων χωρών.

Το IS προσδιορίζει συγκεκριμένα τις ατομικές σεισμικές πηγές και ### είναι ένα κανονικό μεταξύ 1 και 999 (συμπεριλαμβανομένων των κορυφαίων μηδενικών). [7]

- Σύνθετες σεισμογενείς πηγές (CSS), όπου λαμβάνονται από γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα και περιγράφονται από ένα σύνολο γεωμετρικών παραμέτρων όπως, μήκος, πλάτος, βάθος, βύθιση και χτύπημα, αλλά το μήκος τους είναι σχετικά ορισμένο και εκτείνεται σε δύο ή περισσότερες μεμονωμένες πηγές.[7]

Μία Σύνθετη Σεισμογενής Πηγή, φτιάχνεται με βάση γεωλογικά δεδομένα επιφανείας και υπεδάφους. Σε αντίθεση με τις μεμονωμένες σεισμογενείς πηγές, αυτή η κατηγορία πηγών σχεδιάστηκε για να επιτευχθεί η πληρότητα του αρχείου των πιθανών σεισμών, αν και αυτό μπορεί να συνεπάγεται μικρότερη ακρίβεια στην περιγραφή τους. Σε συνδυασμό με την σεισμικότητα και τα σύγχρονα δεδομένα καταπόνησης, οι CSS μπορούν να προβλέψουν τον σεισμικό κίνδυνο και να διερευνήσουν γεωδυναμικές εργασίες μεγάλης κλίμακας.[7]

Ομοίως με τις άλλες κατηγορίες πηγών DISS, κάθε σύνθετη σεισμική πηγή αναγνωρίζεται από τον κωδικό CCCS ###, όπου:

Το CC είναι ο κωδικός ISO 3166-1 δύο γραμμάτων για ονόματα επίσημα αναγνωρισμένων χωρών.

Το CS προσδιορίζει συγκεκριμένα τις Σύνθετες Σεισμογενείς Πηγές και ### είναι ένα κανονικό μεταξύ 1 και 999 (συμπεριλαμβανομένων των κορυφαίων μηδενικών).

Η διαδικασία που επέλεξαν να ακολουθήσουν είναι αυτή της DISS και βασίζεται στο λογισμικό MapInfo του GIS. Τα δεδομένα που συμπεριέλαβαν στη βάση δεδομένων χωρίζονται σε τέσσερα βασικά επίπεδα πληροφοριών. Επιλέγοντας ένα ρήγμα ο αναγνώστης μπορεί να λάβει πληροφορίες σε μορφή html. Αρχικά, το πρώτο επίπεδο, αφορά πηγές πληροφοριών (γεωμετρικές, κινηματικές και σεισμοτεκτονικές) κάθε ρήγματος. Το δεύτερο επίπεδο είναι τα σχόλια και το τρίτο

οι αναφορές στη σχετική βιβλιογραφία που περιγράφει το αντίστοιχο ρήγμα. Το επίπεδο με τις εικόνες είναι εκείνο που περιέχει φωτογραφίες και διαγράμματα σχετικά με το συσχετιζόμενο ρήγμα.[7]

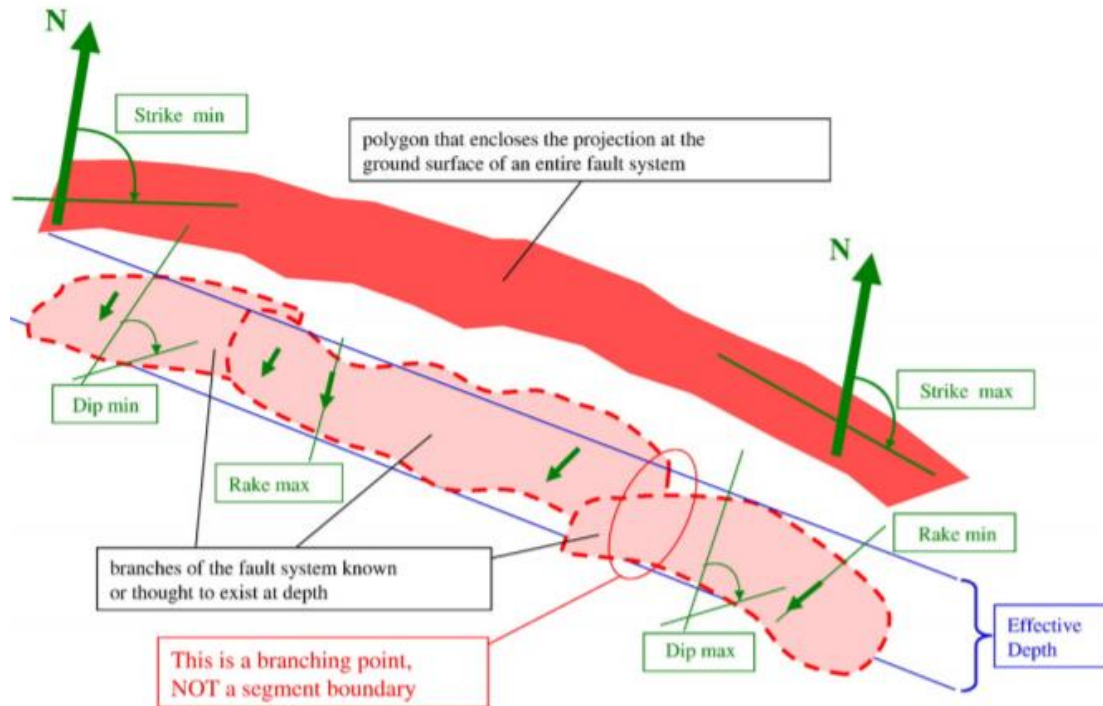
Τα βασικά κριτήρια που κατηγοριοποιούν τα ρήγματα ως προς την πιθανότητα εκδήλωσης σεισμών είναι[7]:

- Γεωλογικά και μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά,
- Σεισμική δραστηριότητα, βοηθά στον διαχωρισμό των μεγάλων σεισμών ως ιστορικούς ή ενόργανους και
- Χωρική γεωδυναμική σύνθεση, που αφορά τον προσανατολισμό του ρήγματος.

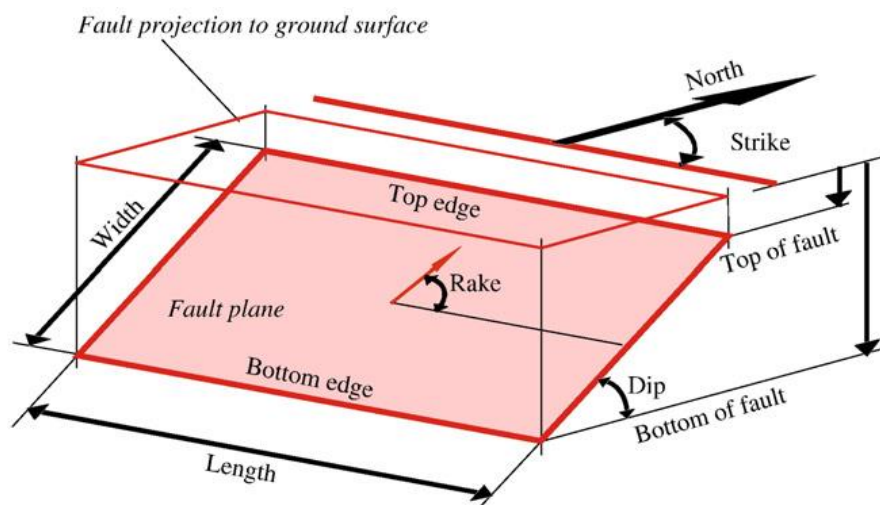
Στην περιοχή μελέτης ερευνήθηκαν περίπου 40 CSS και 60 ISS.

Στην Εικόνα 9 απεικονίζεται μία σεισμογενής περιοχή, με τα χαρακτηριστικά που τη διέπουν. Όπως φαίνεται, το πολύγωνο εμπεριέχει την προβολή στη γήινη επιφάνεια ενός ολόκληρου συστήματος κάποιου ρήγματος. Αυτό αναφέρεται ,καθώς στους χάρτες στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, απεικονίζονται τα ενεργά ρήγματα, συνοδευόμενα από ένα πολύγωνο, το οποίο περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα.[7]





Εικόνα 9 Σχηματική αναπαράσταση μιας σεισμογενούς περιοχής και τα χαρακτηριστικά της.  
(Πηγή: The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008)



Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση των Ατομικών Σεισμογενών πηγών (ISS) με τα χαρακτηριστικά τους.  
Πηγή: The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008)

Τέλος, οι βασικοί τύποι δεδομένων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των σεισμικών πηγών απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. Οι παράμετροι που είναι με γραμματοσειρά *italics* είναι και αυτοί που εφαρμόζονται μόνο στις Ατομικές Σεισμογενείς Πηγές (ISS) (The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008)[8].

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

Parameter	Appropriate data and methods
Location	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Location of historical and/or instrumental earthquakes.</li> <li>• Geological maps.</li> </ul>
Length ( <i>L</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysis of geologic, geomorphic, geodetic deformation.</li> <li>• Geological maps of faults expressed at the surface.</li> <li>• Geological cross sections across the active fault system.</li> <li>• Length of the area deformed by slip at depth identified as displaced or warped geological layers (folds) or geomorphic features (e.g. alluvial and coastal terraces), anomalous drainage pattern (e.g. allogenic stream/river migration/ avulsion).</li> <li>• Scaling relationship between length and moment magnitude (e.g., <math>\text{Log}L = a + b \times M_w</math>).</li> </ul>
Width ( <i>W</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geological sections across the active fault system.</li> <li>• Width of the area deformed by slip at depth identified as displaced or warped geological layers (folds) or geomorphic features (e.g. alluvial and coastal terraces), anomalous drainage pattern (e.g. allogenic stream/river migration/ avulsion).</li> <li>• Combined analysis with the estimation of depth.</li> <li>• Scaling relationship between width and moment magnitude (e.g., <math>\text{Log}W = a + b \times M_w</math>).</li> </ul>
Depth	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depth distribution of instrumental earthquakes.</li> <li>• Geological sections across the active fault system.</li> <li>• Rheological profiles of the region.</li> <li>• Seismic tomography of the region.</li> <li>• Combined analysis with the estimation of width.</li> </ul>
Strike, Dip, and Rake	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Displacement components of geological markers in maps and cross sections.</li> <li>• Measurements of faults exposed at the surface.</li> <li>• Focal mechanisms of the larger associated earthquakes or other physical properties such as principal stress and strain axes.</li> </ul>
Slip Rate (SR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Displacement of dated geological markers.</li> <li>• Displacement observed through geodetic measurements.</li> <li>• Displacement calculated from seismic or geodetic strain.</li> <li>• Derivation from recurrence interval and slip (<math>\text{SR} = D / \text{RI}</math>).</li> </ul>
Recurrence Interval (RI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time lag between successive event horizons identified in paleoseismological trenches.</li> <li>• Derivation from long-term slip rate (<math>\text{RI} = D / \text{SR}</math>).</li> </ul>
Slip per Event ( <i>D</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Displaced geologic or geomorphic markers.</li> <li>• Analytical formulation of seismic moment based on the double-couple model (<math>D = M_0 / \mu S</math>, where <math>\mu</math> is rigidity, <math>S</math> is fault area, and <math>M_0</math> is seismic moment).</li> </ul>
Magnitude ( <i>M<sub>w</sub></i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largest magnitude of associated earthquake(s) measured instrumentally.</li> <li>• Largest magnitude of associated historical earthquake(s) estimated from intensity data.</li> <li>• Magnitude inferred from the area of the largest associated fault or fault set.</li> <li>• Magnitude inferred from a physical model that includes deformation data of any sort (e.g. geodetic, seismic, and geological).</li> <li>• Scaling relationship between magnitude and fault size (e.g. <math>M_w = a + b \text{Log}S</math>, where <math>S</math> is fault size) or magnitude and single event displacement.</li> </ul>

Πίνακας 2 Βασικοί τύποι δεδομένων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των σεισμικών πηγών απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. Πηγή: The Database of Individual Seismogenic Sources (ISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008.

Παρόμοια μελέτη συντάχθηκε τον Νοέμβριο του 2020 με τίτλο «The New Seismotectonic Atlas of Greece (v1.0) and Its Implementation». Πρόκειται για έναν Σεισμοτεκτονικό Άτλαντα που αφορά την Ελλάδα και αποτελείται από σύνολα ενεργών ρηγμάτων, σεισμικότητα ιστορικής και ενόργανης εποχής, εστιακούς

μηχανισμούς, κατανομές πεδίου, πίεσης και τάσης, ενεργά ηφαίστεια, τσουνάμι ιστορικής και ενόργανης εποχής, βαρύτητα και μαγνητικές ανωμαλίες<sup>5</sup>.

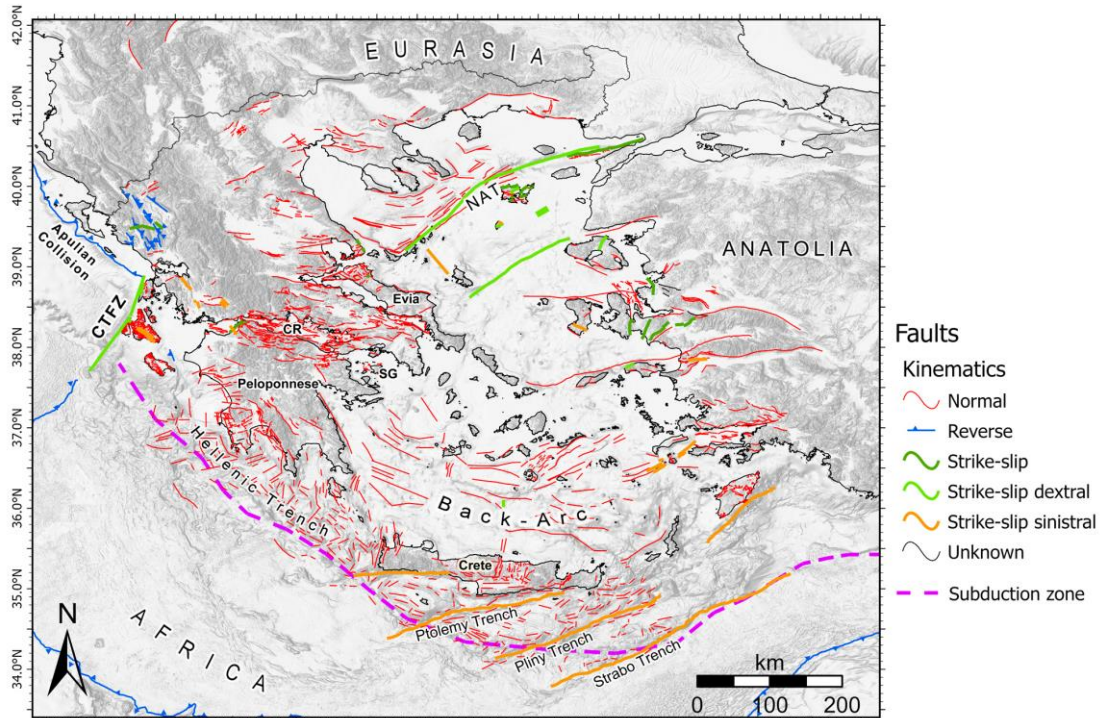
Ο Άτλας αναπτύχθηκε σεβόμενος την οδηγία INSPIRE 2007/2/EK ΕΕ. Για την δημιουργία του άτλαντα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGISPro v2.6.2 και τα δεδομένα είναι σημειακά. Η βάση δεδομένων ενεργών ρηγμάτων που δημιουργήθηκε ονομάζεται "NOAFaults". Η πρώτη βάση δεδομένων προοριζόταν για το Εθνικό Παρατηρητήριο της Αθήνας (NOA) και κατασκευάστηκε με υλικό που προήλθε από τουλάχιστον 110 επιστημονικές εργασίες και έχει κριθεί ιδιαίτερα χρήσιμη. Ο νέος σεισμοτεκτονικός άτλαντας είναι μία αναβαθμισμένη έκδοση της πρώτης βάσης. Τα ενεργά ρήγματα ψηφιοποιήθηκαν από τους πρωτότυπους χάρτες ρηγμάτων που συλλέχθηκαν από διάφορες δημοσιεύσεις. Κάθε σφάλμα που εισήχθη εμπεριέχει πληροφορίες για τη βύθισή του, το χτύπημά του, τον προσανατολισμό του και την γωνία βύθισής του, τον τύπο ρήξης. Σε αυτόν τον άτλαντα τα σφάλματα αφορούν τα ενεργά ρήγματα του Αιγαίου και της Ευρασίας και την οπίσθια περιοχή του Ελληνικού τόξου. Εφόσον υπήρχαν δημοσιευμένες πληροφορίες σχετικά με τα εκάστοτε σεισμικά συμβάντα, οι ερευνητές ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν ρήγματα που σχετίζονται με 57 σεισμούς με μέγεθος 5 έως 7,4 βαθμούς της κλίμακας Richter. Η βάση αυτή δείχνει ότι περίπου το 50% των ενεργών ρηγμάτων είναι μεγαλύτερο των 5 χιλιομέτρων και επομένως, περιλαμβάνει ένα μέτριο έως υψηλό επίπεδο κινδύνου όταν αυτά τα ρήγματα διασχίζουν ή βρίσκονται κοντά στις αστικές περιοχές. Τα δεδομένα μήκους και τύπου ρήξης του κάθε ρήγματος μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα σε μηχανικούς που ασχολούνται με την χωροταξία πόλεων καθώς, προσφέρουν εκτιμήσεις σχετικά με το μέγιστο μέγεθος ενός πιθανού σεισμού και της μέσης μετατόπισης του και άρα μπορούν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό των χρήσεων γης αλλά και τον τύπο των κατασκευών.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup>[https://www.researchgate.net/publication/345496595\\_The\\_New\\_Seismotectonic\\_Atlas\\_of\\_Greece\\_v10\\_and\\_Its\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/345496595_The_New_Seismotectonic_Atlas_of_Greece_v10_and_Its_Implementation).

<sup>6</sup>[https://www.researchgate.net/publication/345496595\\_The\\_New\\_Seismotectonic\\_Atlas\\_of\\_Greece\\_v10\\_and\\_Its\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/345496595_The_New_Seismotectonic_Atlas_of_Greece_v10_and_Its_Implementation).

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.



Εικόνα 11. Η βάση δεδομένων των ενεργών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος. Οι γραμμές υποδεικνύουν τα ίχνη της επιφάνειάς τους, με χρώματα που αντιπροσωπεύουν την κινηματική κάθε ρήγματος. Με τη μωβ διακεκομμένη γραμμή, απεικονίζεται το όριο Ευρασιατικής πλάκας.

(Πηγή: <https://www.researchgate.net/publication/345496595>)

Έτσι, με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από το άρθρο που μελετήθηκε, τίθενται ερωτήματα που θα εξεταστούν και θα απαντηθούν στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα ερωτήματα που τίθενται μελετώντας τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

1. Συσχετίζονται τα ενεργά ρήγματα με τους σεισμούς που καταγράφηκαν;
2. Υπάρχει κάποια συσχέτιση στην απόσταση των επικέντρων στο μέγεθος των σεισμών;

## ΜΕΡΟΣ Α΄: ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Στο περιβάλλον του ArcMap εισάγονται σεισμικά γεγονότα, τα οποία ταξινομούνται με βάση την έντασή τους σε τρεις κατηγορίες και σε συνδυασμό με τη χωρική τους κατανομή (KDE) μπορούμε να παρατηρήσουμε που συγκεντρώνονται οι περισσότεροι σεισμοί κάθε κατηγορίας.

Δημιουργούνται χάρτες πυκνότητας έντασης με χρήση του εργαλείου Kernel Density, που δείχνει πόσα στοιχεία (σεισμοί) εμφανίζονται ανά τετραγωνικά μέτρα.

Η προβλεπόμενη πυκνότητα σε μία νέα θέση (x,y) καθορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Density = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{3}{\pi} \cdot pop_i \left( 1 - \left( \frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right)^2 \right]$$

For  $dist_i < radius$

Εξίσωση 1 Αλγόριθμος υπολογισμού πυκνότητας σε μία νέα θέση (Πηγή:ESRI,2021)

Όπου [10],

- $i=1, \dots, n$  είναι τα σημεία που εισάγονται. Συμπεριλαμβάνονται τα σημεία στο άθροισμα μόνο εάν βρίσκονται εντός της ακτίνας απόστασης της θέσης (x,y).
- $pop_i$  είναι η τιμή του πεδίου πληθυσμού του σημείου  $i$ , το οποίο είναι προαιρετική παράμετρος.
- $dist_i$  είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου  $i$  και της θέσης (x,y).

Ο Kernel, διαθέτει μία παράμετρο που ονομάζεται population και είναι αυτό στην ουσία που «μετρά» πόσα στοιχεία (σεισμοί) υπάρχουν στο κάθε σημείο που μετράμε και τελικά υπολογίζει την ακτίνα αναζήτησης.

Τα βήματα υπολογισμού της ακτίνας αναζήτησης, εισάγοντας σημειακό επίπεδο (layer), το οποίο αφορά την περίπτωση μας [10]:

- Υπολογίζεται το μέσο κέντρο των σημείων. Στην περίπτωση μας δεν εισάγεται πληθυσμός (population<sup>7</sup>).
- Υπολογίζεται η απόσταση από το μέσο κέντρο για όλα τα σημεία.
- Υπολογίζεται η διάμεση τιμή των αποστάσεων αυτών,  $D_m$ .
- Υπολογίζεται η απόσταση μέτρησης της συνεκτικότητας των σημείων,  $SD$ .
- Εφαρμόζεται ο ακόλουθος αλγόριθμος για τον υπολογισμό της ακτίνας αναζήτησης (bandwidth).

$$SearchRadius = 0.9 * \min \left( SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

Εξίσωση 2 Αλγόριθμος υπολογισμού ακτίνας αναζήτησης (Πηγή: ESRI)

Όπου,

- $D_m$  είναι η διάμεση τιμή των αποστάσεων
- $n$  είναι ο αριθμός των σημείων στην περίπτωση που το πεδίο πληθυσμός (population field) δεν υπάρχει, ή το άθροισμα των τιμών του πεδίου αυτού, εφόσον δίδεται.
- $SD$ , είναι η ακτίνα μέτρησης της συνεκτικότητας των σημείων.[10]

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τον υπολογισμό της τυπικής απόστασης, η μη σταθμισμένη (unweighted) και η σταθμισμένη (weighted)[10].

Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο ο τύπος υπολογισμού έχει ως εξής:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{Z})^2}{n}}$$

Εξίσωση 3 Υπολογισμός μη σταθμισμένης τυπικής απόστασης (Πηγή: ESRI, 2021)

Όπου,

- $X_i$ ,  $y_i$  και  $z_i$  είναι οι συντεταγμένες για το χαρακτηριστικό  $i$

<sup>7</sup>Population: Το πεδίο πληθυσμού χρησιμοποιείται για τη στάθμιση ορισμένων χαρακτηριστικών σε μεγαλύτερο βαθμό από άλλα ή για να επιτρέψει σε ένα σημείο να αντιπροσωπεύσει πολλές παρατηρήσεις.

- Το  $\{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}$  αντιπροσωπεύει το μέσο κέντρο για τα χαρακτηριστικά
- Και  $n$  είναι ίσο με πλήθος των χαρακτηριστικών[10].

Η δεύτερη μέθοδος, η σταθμισμένη, υπολογίζεται με τον παρακάτω αλγόριθμο:

$$SD_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i(x_i - \bar{X}_w)^2}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{\sum_{i=1}^n w_i(y_i - \bar{Y}_w)^2}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{\sum_{i=1}^n w_i(z_i - \bar{Z}_w)^2}{\sum_{i=1}^n w_i}}$$

Εξίσωση 4Υπολογισμός σταθμισμένης τυπικής απόστασης (Πηγή:ESRI, 2021)

Όπου,

- $W_i$  είναι το βάρος του χαρακτηριστικού  $i$
- $\{x_w, y_w, z_w\}$  αναπαριστά το σταθμισμένο μέσο κέντρο[10].

Ένα δεύτερο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται και δίνει τις αποστάσεις των ρηγμάτων από τους σεισμούς σε έναν κατάλογο, είναι το Generate Near Table. Στον πίνακα υπολογίζονται οι αποστάσεις και άλλες πληροφορίες εγγύτητας μεταξύ στοιχείων σε μία ή περισσότερες κατηγορίες στοιχείων ή επίπεδα. Σε αντίθεση με το εργαλείο Near, το οποίο τροποποιεί την είσοδο, το Generate Near Table τοποθετεί τα αποτελέσματα σε έναν νέο αυτόνομο πίνακα και υποστηρίζει την εύρεση περισσότερων από ένα κοντινά στοιχεία<sup>8</sup>.

Ο πίνακας αποτελείται από επτά στήλες οι οποίες είναι:

- το OBJECTID,
- IN\_FID το οποίο είναι το OBJECTID του στοιχείου εισόδου,
- NEAR\_FID το οποίο είναι το OBJECTID του κοντινότερου στοιχείου,
- NEAR\_DIST που είναι η απόσταση από το στοιχείο εισαγωγής στο κοντινότερο στοιχείο<sup>9</sup>.

Στην περίπτωση όπου στον πίνακα εξόδου έχει επιλεγεί η παράμετρος τοποθεσίας εμφανίζονται τα ακόλουθα πεδία:

<sup>8</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/generate-near-table.htm>

<sup>9</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/generate-near-table.htm>

- FROM\_X είναι η συντεταγμένη X της τοποθεσίας του στοιχείου εισόδου που είναι πιο κοντά στο κοντινό στοιχείο.
- FROM\_Y είναι η συντεταγμένη Y της τοποθεσίας του στοιχείου εισόδου που είναι πιο κοντά στο κοντινό στοιχείο.
- NEAR\_X είναι η συντεταγμένη X της τοποθεσίας του κοντινού στοιχείου που είναι πιο κοντά στο στοιχείο εισόδου.
- NEAR\_Y είναι η συντεταγμένη Y της τοποθεσίας του κοντινού στοιχείου που είναι πιο κοντά στο στοιχείο εισόδου<sup>10</sup>.

Στην περίπτωση που στον πίνακα εξόδου είναι επιλεγμένη η παράμετρος Angle εμφανίζεται το ακόλουθο πεδίο:

- NEAR\_ANGLE που είναι η γωνία μεταξύ του στοιχείου εισόδου και του κοντινότερου σημείου του κοντινότερου στοιχείου.

Όταν το στοιχείο εισόδου και το κοντινό τέμνονται, τα πεδία NEAR\_ANGLE και NEAR\_DIST θα οριστούν ως 0.0, τα FROM\_X και FROM\_Y θα είναι ίδια με τα NEAR\_X και NEAR\_Y και θα είναι μία θέση εντός της τομής των δύο χαρακτηριστικών. Οι τιμές στο πεδίο NEAR\_DIST βρίσκονται στη γραμμική μονάδα συστήματος συντεταγμένων των στοιχείων εισόδου. Εάν η είσοδος είναι σε σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων και η παράμετρος έχει οριστεί σε geodesic, οι μονάδες του NEAR\_DIST θα είναι μέτρα. Ο πίνακας εξόδου μπορεί να συνδεθεί με τις δυνατότητες εισαγωγής χρησιμοποιώντας το IN\_FID ή με τα κοντινά στοιχεία χρησιμοποιώντας το NEAR\_FID. Εάν έχει καθοριστεί μια ακτίνα αναζήτησης και δεν εντοπιστεί στοιχείο κοντά, δεν θα πραγματοποιηθεί εγγραφή. Εάν δεν έχει καθοριστεί ακτίνα αναζήτησης, όλα τα κοντινά στοιχεία θα θεωρούνται υποψήφια. Εάν δεν έχει καθοριστεί ακτίνα αναζήτησης και δεν είναι επιλεγμένη η εύρεση μόνο των πλησιέστερων στοιχείων και ο μέγιστος αριθμός πλησιέστερων παραμένει στην προεπιλογή (0 ή άδειος), ο πίνακας εξόδου θα περιέχει υπολογισμούς απόστασης μεταξύ όλων των δυνατοτήτων εισαγωγής και όλων των κοντινών στοιχείων. Αυτό το είδος διαδικασίας μπορεί να διαρκέσει πολύ χρόνο και να δημιουργήσει έναν μεγάλο πίνακα εξόδου. Για παράδειγμα, εάν έχουμε χίλια

---

<sup>10</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/generate-near-table.htm>



στοιχεία εισαγωγής και χίλια σχεδόν κοντινά στοιχεία, ο πίνακας εξόδου θα περιέχει ένα εκατομμύριο εγγραφές. Η ίδια ομάδα στοιχείων ή επιπέδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ως στοιχεία εισόδου όσο και ως κοντινά στοιχεία. Σε αυτή την περίπτωση, το στοιχείο εισαγωγής που αξιολογείται εξαιρείται από τα υποψήφια κοντινά στοιχεία, ώστε να αποφευχθούν όλα τα στοιχεία που είναι κοντύτερα στον εαυτό τους. Όταν χρησιμοποιείται η επιλογή Planar για την παράμετρο Μέθοδος, οι δυνατότητες εισαγωγής θα πρέπει να είναι σε προβολή κατάλληλη για μέτρηση απόστασης, όπως ισαπέχουσες προβολές. Για την οπτικοποίηση των τοποθεσιών FROM\_X, FROM\_Y, NEAR\_X, NEAR\_Y, ο πίνακας εξόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος στα εργαλεία MakeXYEVENTLayerorXYToLine<sup>11</sup>.

Στην εργασία δημιουργήθηκαν τρεις πίνακες, ένας για κάθε κατηγορία έντασης. Οι πίνακες αυτοί εισήχθησαν σε ένα φύλλο εργασίας του Excel ώστε να δημιουργηθούν κάποια γραφήματα τα οποία θα βοηθήσουν στην μελέτη της συσχέτισης της απόστασης των ρηγμάτων από τους σεισμούς με την ένταση αυτών. Τα γραφήματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν και μερικά εργαλεία όπως το spatial Ijoin, το multiple ring buffers και το extract multi values to points. Το μεν multiple ring buffer δημιούργησε επάλληλες ζώνες γύρω από τα ενεργά ρήγματα, δηλαδή πολύγωνα τα οποία έχουν διαφορετικές αποστάσεις από το εκάστωτε ρήγμα (1000,2000,5000,10000 και 20000m). Το δε spatial join, βοηθά στη σύνδεση της χωρικής πληροφορίας των σεισμών με αυτή των ρηγμάτων. Στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιείται αντιστοίχιση της πληροφορίας Near FID, την οποία κατέχει η κάθε εγγραφή-σεισμός, με την FID των ρηγμάτων. Κατά τη χωρική αυτή ένωση, θα δημιουργηθούν δύο νέες στήλες στο Attribute Table, η στήλη Join\_Count και η TARGET\_FID, η μεν Join\_Count αφορά το πλήθος των στοιχείων σύνδεσης που αντιστοιχούν με κάθε στοιχείο προορισμού-στόχου. Στην έρευνα που πραγματοποιούμε δημιουργείται και το επιπλέον πεδίο JOIN\_FID, καθώς

---

<sup>11</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/generate-near-table.htm>

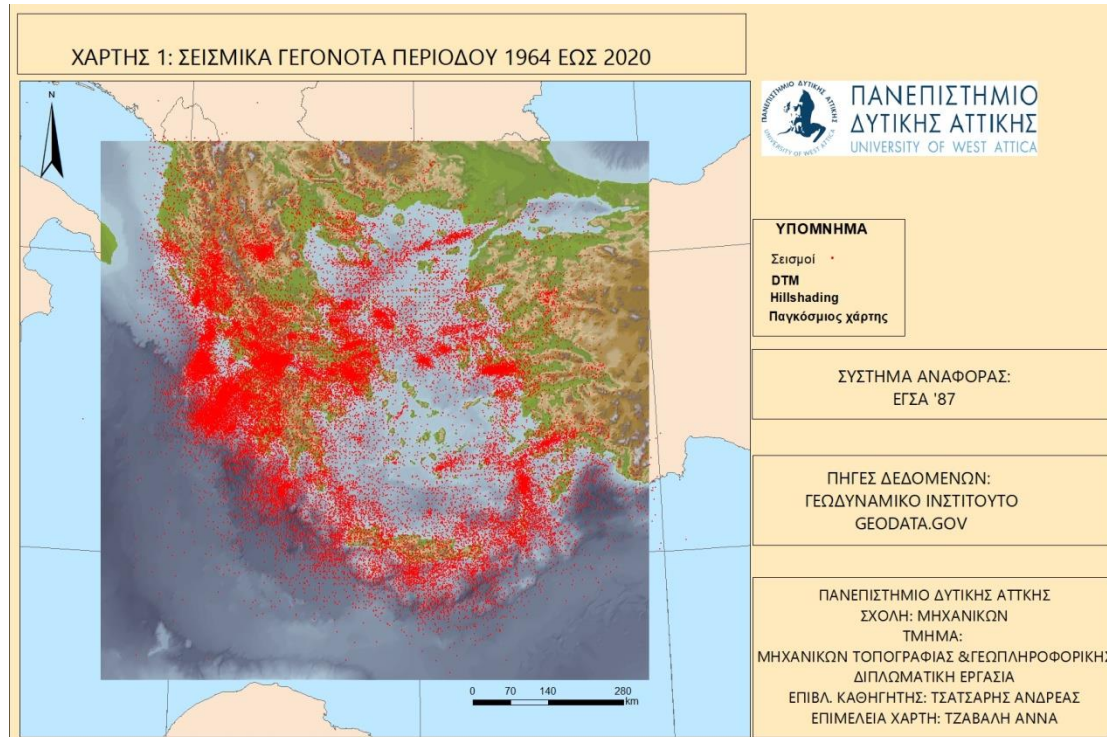
επιλέχθηκε η παράμετρος ONE\_TO\_MANY, και όχι η ONE\_TO\_ONE. Το νέο αυτό πεδίο δείχνει ότι είναι δυνατόν να έχουν χωρική σχέση, με το στοιχείο προορισμού ή στόχου, περισσότερα στοιχεία του ενός<sup>12</sup>. Τέλος, το extract multi values to points βοηθά στην εισαγωγή/σύνδεση της πληροφορίας των υψομέτρων-βαθών τα οποία αφορούν στο ανάγλυφο της περιοχής και όχι αυτά των επικέντρων, ώστε να σχηματιστεί μία ολοκληρωμένη άποψη. Το εργαλείο αυτό δίνει ένα νέο πεδίο που αφορά στη ράστερ πληροφορία που εισήχθη, και προστίθεται σε κάθε κλάση χαρακτηριστικών των στοιχείων εισόδου. Στην ουσία το εργαλείο αυτό τροποποιεί τα στοιχεία εισαγωγής ως προς το αναγνωριστικό του, για παράδειγμα το ObjectID, το FID ή το OID.<sup>13</sup> Εφόσον δοθεί αυτή η επιπλέον πληροφορία, η κάθε κλάση σεισμού διαθέτει τις απαραίτητες πληροφορίες.

---

<sup>12</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/spatial-join.htm>

<sup>13</sup><https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/spatial-analyst-toolbox/extract-multi-values-to-points.htm>

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ



Χάρτης 1 Σεισμοί στον Ελλαδικό χώρο. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία



Χάρτης 2 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους 3,5 -4,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

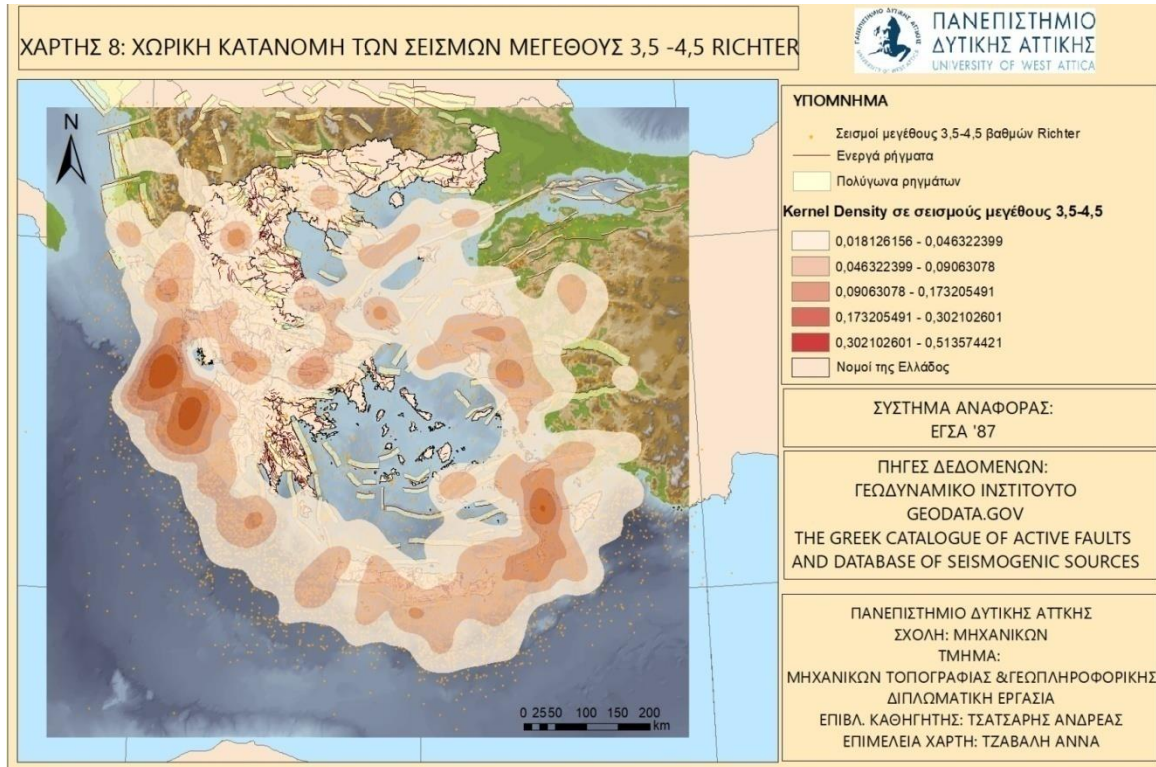


Χάρτης 3 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους 4,5 -5,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία

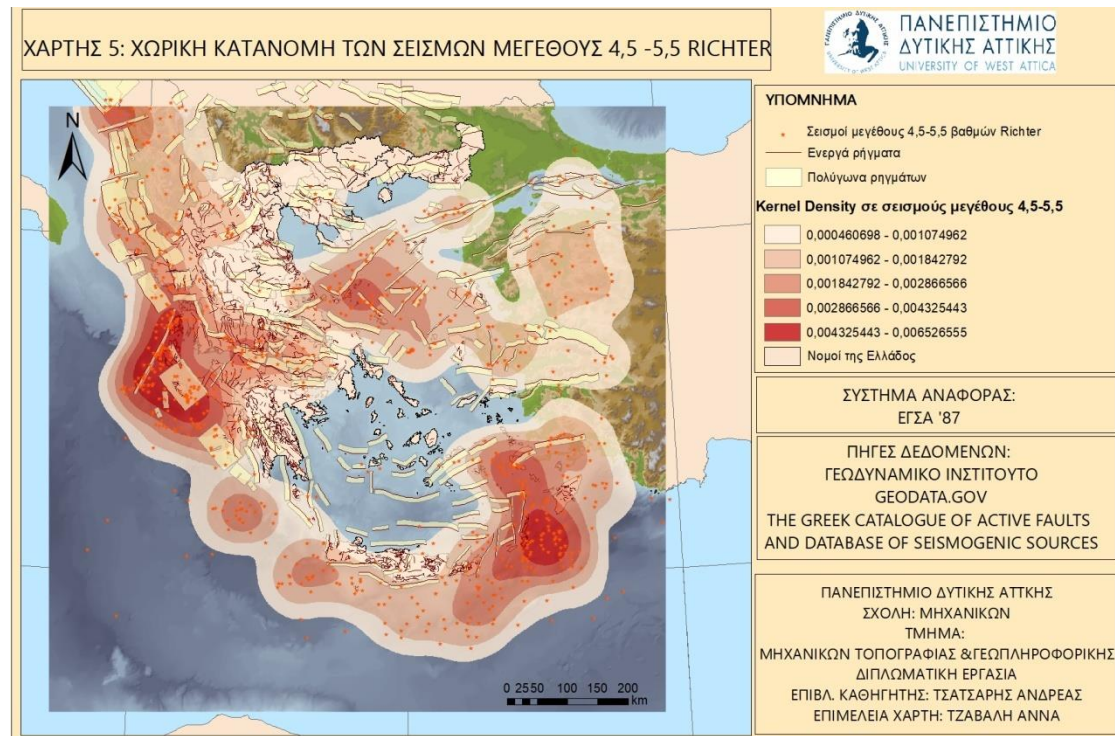


Χάρτης 4 Σεισμοί τον Ελλαδικό χώρο μεγέθους >5,5 βαθμών της κλίμακας Richter. Περίοδος αναφοράς 1964-2020. Ιδία επεξεργασία

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

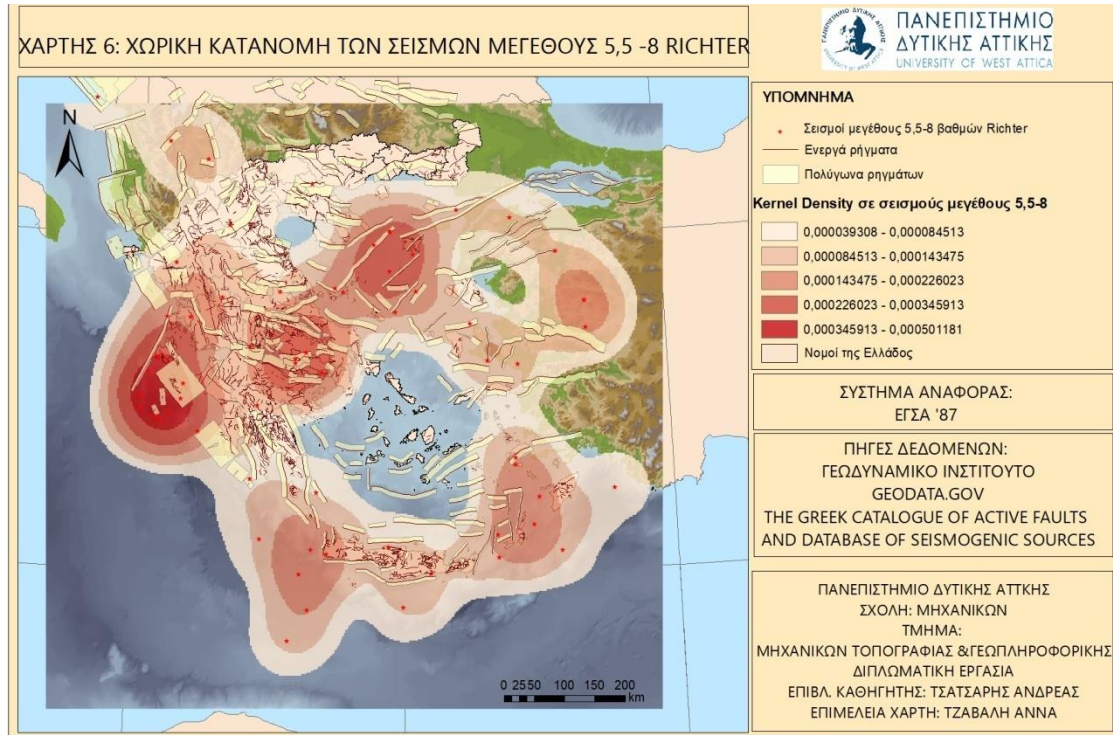


Χάρτης 5 Κατανομή σεισμών μεγέθους 3,5-4,5 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου kerneldensity. Ιδία επεξεργασία



Χάρτης 6 Κατανομή σεισμών μεγέθους 4,5-5,5 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου kerneldensity. Ιδία επεξεργασία

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.



Χάρτης 7 Κατανομή σεισμών μεγέθους 5,5-8 βαθμών της κλίμακας Richter, με τη χρήση της μεθόδου kerneldensity. Ιδία επεξεργασία.



Χάρτης 8 Τα ενεργά ρήγματα της Ελληνικής Χερσονήσου.  
Απεικόνιση της βάσης δεδομένων των ρηγμάτων Gredass.

## ΜΕΡΟΣ Β΄: ΧΩΡΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### Γενικά

Η χωρική στατιστική ανάλυση είναι ένα ισχυρό πλαίσιο για την κατανόηση και την ερμηνεία δεδομένων με χωρική αναφορά, το οποίο μας επιτρέπει να εξερευνήσουμε και να αναλύσουμε μοτίβα, σχέσεις και διαδικασίες που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική μέθοδος στο πλαίσιο της χωρικής ανάλυσης είναι η γραμμική παλινδρόμηση, η οποία μας επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε και να ποσοτικοποιήσουμε τις σχέσεις μεταξύ μεταβλητών. Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων (OLS) είναι μια κοινή προσέγγιση που χρησιμοποιείται στη γραμμική παλινδρόμηση, ενώ η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR) επεκτείνει τις δυνατότητες της παραδοσιακής παλινδρόμησης ενσωματώνοντας τη χωρική ετερογένεια (Chalkias et al., 2013; Faka, 2020; Faka et al., 2021; Faka et al., 2022)<sup>14</sup>.

Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια στατιστική τεχνική που αποσκοπεί στην καθιέρωση μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Υποθέτει ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών αυτών και επιδιώκει να εκτιμήσει τους συντελεστές της γραμμικής εξίσωσης που περιγράφει καλύτερα τη σχέση αυτή. Χρησιμοποιώντας τη γραμμική παλινδρόμηση, μπορούμε να εξετάσουμε την ισχύ, την κατεύθυνση και τη στατιστική σημαντικότητα των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, καθώς και να κάνουμε προβλέψεις με βάση το μοντέλο που προκύπτει<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup>Chalkias, C.; Papadopoulos, A.G.; Kalogeropoulos, K.; Tambalis, K.; Psarra, G.; Sidossis, L. Geographical Heterogeneity of the Relationship between Childhood Obesity and Socio-Environmental Status: Empirical Evidence from Athens, Greece. *Applied Geography* 2013, 37, 34–43, doi:10.1016/j.apgeog.2012.10.007

Faka, A. Assessing Quality of Life Inequalities. A Geographical Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2020, 9, 600, doi:10.3390/ijgi9100600.

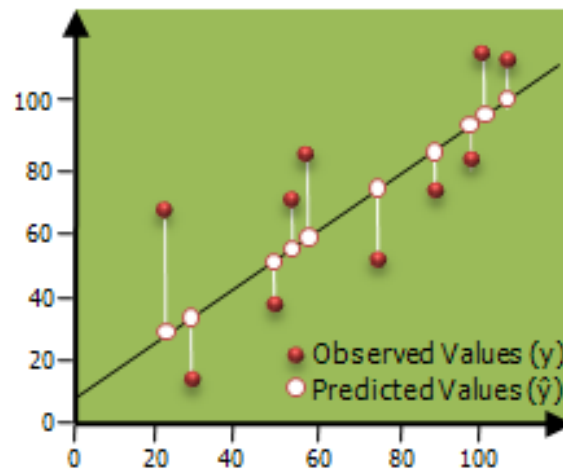
Faka, A.; Kalogeropoulos, K.; Maloutas, T.; Chalkias, C. Urban Quality of Life: Spatial Modeling and Indexing in Athens Metropolitan Area, Greece. *IJGI* 2021, 10, 347, doi:10.3390/ijgi10050347.

Faka, A.; Kalogeropoulos, K.; Maloutas, T.; Chalkias, C. Spatial Variability and Clustering of Quality of Life at Local Level: A Geographical Analysis in Athens, Greece. *IJGI* 2022, 11, 276, doi:10.3390/ijgi11050276.

<sup>15</sup>Brunsdon, C.; Fotheringham, S.; Charlton, M. Geographically Weighted Regression. *J Royal Statistical Soc D* 1998, 47, 431–443, doi:10.1111/1467-9884.00145.

Ripley, B.D. Modelling Spatial Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 1977, 39, 172–192, doi:10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x.

Η OLS είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως στη γραμμική παλινδρόμηση, με στόχο την εκτίμηση των συντελεστών της γραμμικής εξίσωσης μέσω της ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγωνικών καταλοίπων μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και των προβλεπόμενων τιμών. Υποθέτει ότι τα σφάλματα κατανέμονται κανονικά, έχουν σταθερή διακύμανση και είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η OLS παρέχει έναν απλό και αποτελεσματικό τρόπο για την εκτίμηση των συντελεστών, την αξιολόγηση της σημαντικότητάς τους και την αξιολόγηση της συνολικής καλής προσαρμογής του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης.



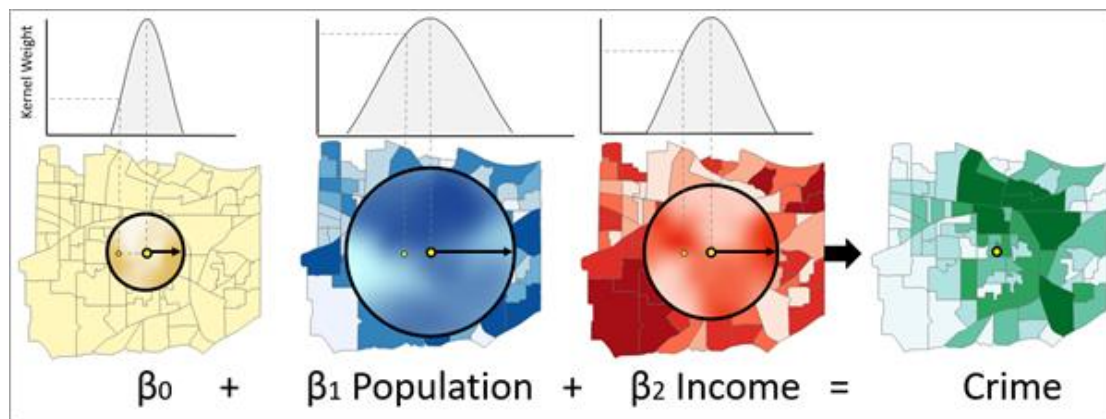
Εικόνα 12. Η OLS (Πηγή ESRI).

Ωστόσο, οι χωρικές διεργασίες συχνά χαρακτηρίζονται από χωρική ετερογένεια, όπου οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών ποικίλλουν σε διαφορετικές τοποθεσίες. Σε αυτό το σημείο εισάγεται η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR). Η GWR επεκτείνει το συμβατικό πλαίσιο της OLS εισάγοντας χωρικά μεταβαλλόμενους συντελεστές. Μας επιτρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά και τη δυναμική των διαφόρων περιοχών, παρέχοντας μια πιο ακριβή αναπαράσταση των χωρικών σχέσεων. Η GWR αποδίδει βάρη στις παρατηρήσεις με βάση την εγγύτητά τους στην τοποθεσία που μοντελοποιείται, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις κοντινές παρατηρήσεις και μικρότερη βαρύτητα στις μακρινές.

Η χρήση της GWR επιτρέπει τον εντοπισμό και την ανάλυση τοπικών παραλλαγών στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών, καθώς και χωρικά μοτίβα και τάσεις που



μπορεί να αποκρύπτονται από τις παραδοσιακές τεχνικές συνολικής παλινδρόμησης. Επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το χωρικό πλαίσιο επηρεάζει τα παρατηρούμενα φαινόμενα και παρέχει γνώσεις που μπορούν να ενημερώσουν για τη λήψη αποφάσεων σε τομείς όπως ο αστικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική διαχείριση και η δημόσια υγεία.



Εικόνα 13. Η GWR (Πηγή ESRI).

Συνοπτικά, η χωρική ανάλυση, η γραμμική παλινδρόμηση, η OLS και η GWR αποτελούν βασικά εργαλεία για τη διερεύνηση και τη μοντελοποίηση χωρικών σχέσεων. Ενώ η γραμμική παλινδρόμηση με την OLS είναι κατάλληλη για τη σύλληψη παγκόσμιων προτύπων (global) και σχέσεων, η GWR επιτρέπει την αποκάλυψη τοπικών παραλλαγών (local) και χωρικής ετερογένειας. Μαζί, αυτές οι μέθοδοι δίνουν τη δυνατότητα στους ερευνητές και τους αναλυτές να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με πολύπλοκες χωρικές διαδικασίες και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις με βάση το χωρικό πλαίσιο.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης των σεισμών, η γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του μεγέθους ενός σεισμού (εξαρτημένη μεταβλητή) και διαφόρων ανεξάρτητων μεταβλητών, όπως το εστιακό βάθος και η απόσταση από τα ρήγματα. Ο στόχος είναι να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζουν το μέγεθος των σεισμών και να ποσοτικοποιηθεί η επιρροή τους.

Η γραμμική παλινδρόμηση προϋποθέτει μια γραμμική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών και επιδιώκει να εκτιμήσει τους συντελεστές της γραμμικής εξίσωσης που περιγράφει καλύτερα

αυτή τη σχέση. Στην προκειμένη περίπτωση, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι το μέγεθος ενός σεισμού, το οποίο αντιπροσωπεύει την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος. Το εστιακό βάθος αναφέρεται στην κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του υποκέντρου του σεισμού και της γήινης επιφάνειας, ενώ η απόσταση από τα ρήγματα μετρά την εγγύτητα της θέσης του σεισμού σε γνωστές γραμμές ρήγματος.

Πραγματοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση με το μέγεθος ως εξαρτημένη μεταβλητή και το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα ως ανεξάρτητες μεταβλητές, μπορεί να προσδιοριστεί η στατιστική σημαντικότητα, η δύναμη και η κατεύθυνση των σχέσεών τους. Η ανάλυση παλινδρόμησης θα εκτιμήσει τους συντελεστές που σχετίζονται με κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, υποδεικνύοντας πόσο μεταβάλλεται το μέγεθος ενός σεισμού για μια μοναδιαία αλλαγή στο εστιακό βάθος ή την απόσταση από τα ρήγματα.

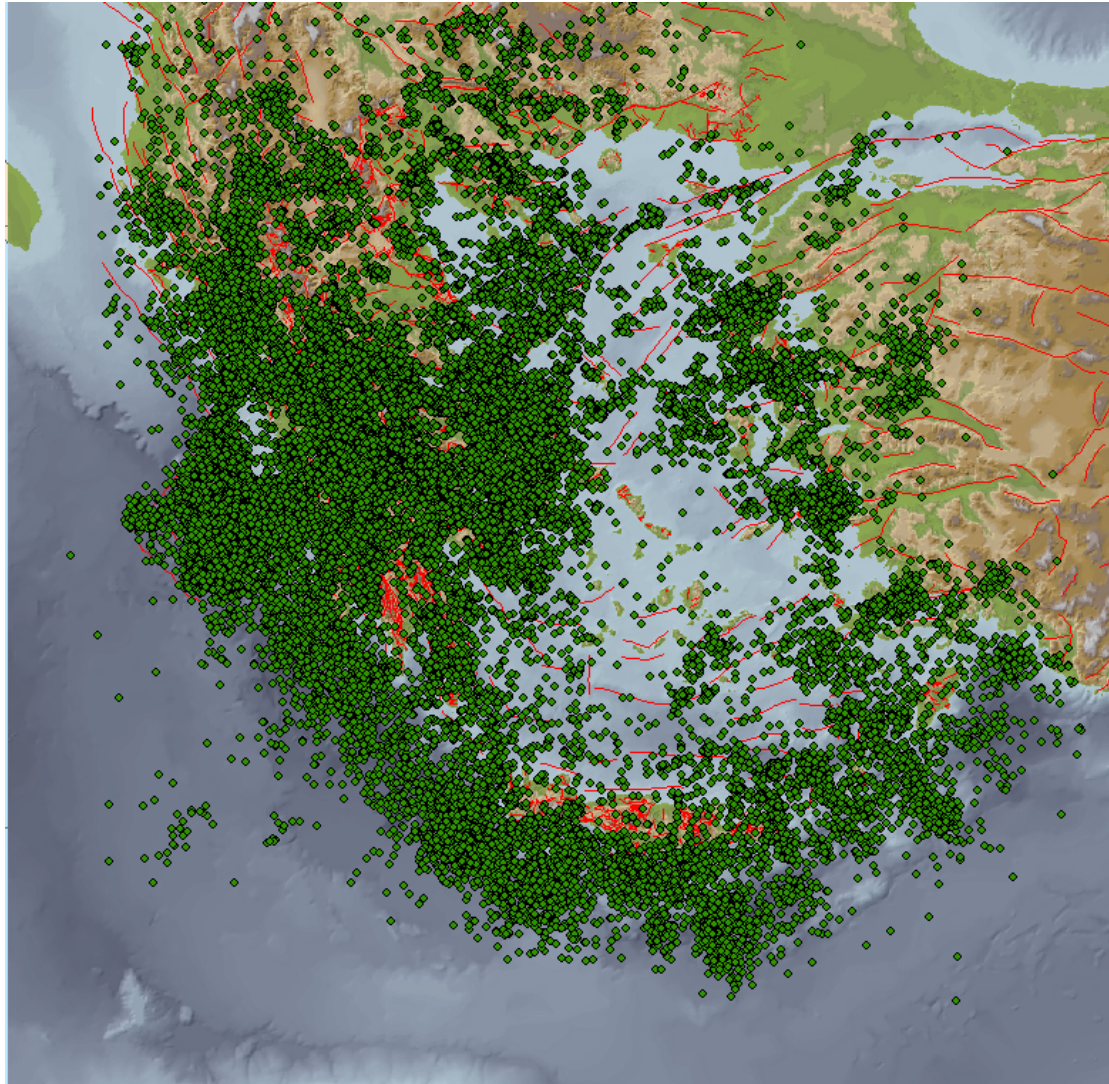
Η ερμηνεία των συντελεστών που λαμβάνονται από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης θα παράσχει πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του εστιακού βάθους και της εγγύτητας σε ρήγματα στα μεγέθη των σεισμών. Οι θετικοί συντελεστές υποδηλώνουν μια θετική σχέση, υποδεικνύοντας ότι η αύξηση του εστιακού βάθους ή της απόστασης από ρήγματα συνδέεται με σεισμό μεγαλύτερου μεγέθους. Αντίθετα, οι αρνητικοί συντελεστές υποδηλώνουν αντίστροφη σχέση, που σημαίνει ότι η αύξηση του εστιακού βάθους ή της απόστασης από ρήγματα συνδέεται με σεισμό μικρότερου μεγέθους. Η στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών μπορεί να προσδιοριστεί μέσω του ελέγχου υποθέσεων, συμβάλλοντας στην επικύρωση της σημασίας των σχέσεων.

Συνολικά, η χρήση της ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης με το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα ως ανεξάρτητες μεταβλητές επιτρέπει τη διερεύνηση και την ποσοτικοποίηση της επίδρασης αυτών των παραγόντων στα μεγέθη των σεισμών. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να είναι πολύτιμες για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, την πρόβλεψη σεισμών και την κατανόηση των υποκείμενων γεωφυσικών διεργασιών που επηρεάζουν τα σεισμικά γεγονότα.

## **Τα δεδομένα για την ανάλυση**

Στη χώρα μας όπως έχει ήδη γραφεί, συλλέγονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο δεδομένα για τους σεισμούς ήδη από το 1965 και καταχωρούνται σε μία ενιαία βάση δεδομένων. Οι χωρικές μεταβλητές τους ωστόσο (συντεταγμένες) δεν είναι αναλυτικές (καταχωρούνται στο Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς με δύο δεκαδικά ψηφία-εκατοστά δηλαδή της μοίρας- γεγονός που δεν επιτρέπει μεγάλη ακρίβεια στη θέση των επικέντρων τους. Το παραπάνω αφαιρεί ουσιαστικές δυνατότητες από ακριβείς υπολογισμούς σε διεργασίες που έχουν να κάνουν με τη χωρική στατιστική ανάλυση, με αποτέλεσμα οι συσχετίσεις που ελέγχονται μέσω αυτής να μην καταλήγουν σε ορθά συμπεράσματα. Από το 2017 μέχρι σήμερα ωστόσο, οι συντεταγμένες εμφανίζονται με τέσσερα δεκαδικά ψηφία, γεγονός που ευνοεί περισσότερο τέτοιους υπολογισμούς.

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει έχει αξιοποιήσει τα συνολικά δεδομένα των σεισμών χωρίς ταξινόμηση σύμφωνα με το μέγεθός τους, για τις χρονολογίες που προαναφέρθηκαν (δηλαδή για την πενταετία 2017-2022, χάρτης 9).



Χάρτης 9. Σεισμοί στην Ελλάδα την πενταετία 2017-2022, Ιδία Επεξεργασία

### **Οι μεταβλητές**

Τόσο στη συνήθη παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων (OLS) όσο και στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR), το μέγεθος του σεισμού μπορεί να αντιμετωπιστεί ως εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ άλλοι παράγοντες, όπως το εστιακό βάθος και η απόσταση από τα ρήγματα, μπορούν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές.

Στην OLS, η έμφαση δίνεται στην εκτίμηση ενός ενιαίου συνόλου συντελεστών που αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (μέγεθος) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (εστιακό βάθος και απόσταση από ρήγματα) για ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Η OLS παρέχει ένα σφαιρικό (παγκόσμιο) μοντέλο

που υποθέτει ότι οι σχέσεις αυτές είναι σταθερές στο χώρο. Οι εκτιμώμενοι συντελεστές υποδεικνύουν τη μέση επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μέγεθος των σεισμών.

Από την άλλη πλευρά, η GWR αναγνωρίζει ότι οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών μπορεί να ποικίλλουν στο χώρο. Επιτρέπει την εκτίμηση χωρικά μεταβαλλόμενων συντελεστών, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με το πώς οι σχέσεις μεταξύ του μεγέθους των σεισμών και των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταβάλλονται από τη μία τοποθεσία στην άλλη. Το GWR λαμβάνει υπόψη τη χωρική ετερογένεια χρησιμοποιώντας χωρικά βάρη για να τονίσει την επιρροή των γειτονικών σεισμών. Με την εκτίμηση των τοπικών συντελεστών, η GWR συλλαμβάνει τις τοπικές επιδράσεις και αποκαλύπτει τη χωρικά μεταβαλλόμενη φύση των σχέσεων.

Τόσο η OLS όσο και η GWR έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Η OLS είναι υπολογιστικά αποδοτική και παρέχει μια σφαιρική προοπτική για τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Είναι κατάλληλη όταν οι σχέσεις υποτίθεται ότι είναι σταθερές στο χώρο. Από την άλλη πλευρά, η GWR προσφέρει μια πιο λεπτομερή κατανόηση των χωρικά μεταβαλλόμενων σχέσεων, επιτρέποντας την τοπική ανάλυση και τη σύλληψη της χωρικής μη στασιμότητας. Η GWR είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν υπάρχουν ενδείξεις χωρικής ετερογένειας ή όταν οι σχέσεις αναμένεται να διαφέρουν σε διαφορετικές τοποθεσίες<sup>16</sup>.

Συνοπτικά, είτε χρησιμοποιείται η OLS είτε η GWR, το μέγεθος του σεισμού μπορεί να αντιμετωπιστεί ως εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ το εστιακό βάθος και η απόσταση από τα ρήγματα μπορούν να χρησιμεύσουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Η OLS παρέχει μια παγκόσμια προοπτική με ένα ενιαίο σύνολο συντελεστών, ενώ η GWR καταγράφει τις χωρικά μεταβαλλόμενες σχέσεις και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις τοπικές επιδράσεις και τα χωρικά πρότυπα των σχέσεων. Η επιλογή μεταξύ OLS και GWR εξαρτάται από το ερευνητικό ερώτημα, την παρουσία χωρικής ετερογένειας και το επιθυμητό επίπεδο χωρικής λεπτομέρειας στην ανάλυση.

---

<sup>16</sup> Fotheringham, A.S.; Brunson, C.; Charlton, M. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships; Wiley, 2002; ISBN 978-0-471-49616-8.

Όταν εξετάζεται το εστιακό βάθος των σεισμών ως ανεξάρτητη μεταβλητή, για την ανάλυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο τα συνήθη ελάχιστα τετράγωνα (OLS) όσο και η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR).

Στην OLS, το εστιακό βάθος μπορεί να συμπεριληφθεί ως ανεξάρτητη μεταβλητή για να εξεταστεί η σχέση του με την εξαρτημένη μεταβλητή ενδιαφέροντος (π.χ. το μέγεθος του σεισμού). Η OLS εκτιμά ένα ενιαίο σύνολο συντελεστών που αντιπροσωπεύει τη μέση επίδραση του εστιακού βάθους στο μέγεθος του σεισμού σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Αυτοί οι συντελεστές παρέχουν μια συνολική εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο οι αλλαγές στο εστιακό βάθος συνδέονται με αλλαγές στο μέγεθος του σεισμού. Η OLS υποθέτει σταθερή σχέση μεταξύ του εστιακού βάθους και του μεγέθους του σεισμού σε όλη την περιοχή μελέτης.

Αντίθετα, η GWR λαμβάνει υπόψη τη χωρική ετερογένεια της σχέσης μεταξύ εστιακού βάθους και μεγέθους σεισμού. Η GWR επιτρέπει την εκτίμηση χωρικά μεταβαλλόμενων συντελεστών, υποδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο η σχέση μεταξύ εστιακού βάθους και μεγέθους σεισμού μεταβάλλεται από τη μια θέση στην άλλη. Με την ενσωμάτωση χωρικών βαρών με βάση την εγγύτητα των σεισμών, το GWR δίνει έμφαση στην επίδραση των γειτονικών παρατηρήσεων στην εκτίμηση των συντελεστών. Η προσέγγιση αυτή καταγράφει τις τοπικές μεταβολές στη σχέση εστιακού βάθους-μεγέθους σεισμού και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα χωρικά πρότυπα και τις χωρικά μεταβαλλόμενες επιδράσεις.

Όταν εξετάζεται η απόσταση από τα ρήγματα των σεισμών ως ανεξάρτητη μεταβλητή, για την ανάλυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο τα ελάχιστα τετράγωνα (OLS) όσο και η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR).

Στην OLS, η απόσταση από τα ρήγματα μπορεί να συμπεριληφθεί ως ανεξάρτητη μεταβλητή για να εξεταστεί η σχέση της με την εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. το μέγεθος του σεισμού). Η OLS εκτιμά ένα ενιαίο σύνολο συντελεστών που αντιπροσωπεύουν τη μέση επίδραση της απόστασης από τα ρήγματα στο μέγεθος του σεισμού σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Αυτοί οι συντελεστές παρέχουν μια συνολική εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο οι αλλαγές στην απόσταση από τα ρήγματα συνδέονται με αλλαγές στο μέγεθος του σεισμού. Η OLS υποθέτει

σταθερή σχέση μεταξύ της απόστασης από τα ρήγματα και του μεγέθους του σεισμού σε όλη την περιοχή μελέτης.

Από την άλλη πλευρά, η GWR λαμβάνει υπόψη τη χωρική ετερογένεια της σχέσης μεταξύ της απόστασης από τα ρήγματα και του μεγέθους του σεισμού. Η GWR επιτρέπει την εκτίμηση χωρικά μεταβαλλόμενων συντελεστών, υποδεικνύοντας πώς η σχέση μεταξύ της απόστασης από ρήγματα και του μεγέθους του σεισμού μεταβάλλεται από τη μια θέση στην άλλη. Με την ενσωμάτωση χωρικών βαρών με βάση την εγγύτητα των σεισμών, η GWR δίνει έμφαση στην επίδραση των γειτονικών παρατηρήσεων στην εκτίμηση των συντελεστών. Η προσέγγιση αυτή καταγράφει τις τοπικές μεταβολές στη σχέση απόστασης από ρήγματα-μεγέθους σεισμού και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα χωρικά πρότυπα και τις χωρικά μεταβαλλόμενες επιδράσεις.

Η επιλογή μεταξύ OLS και GWR εξαρτάται από το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων. Η OLS παρέχει μια σφαιρική προοπτική, εκτιμώντας ένα ενιαίο σύνολο συντελεστών για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, ενώ η GWR επιτρέπει την τοπική ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψη τις χωρικές μεταβολές της σχέσης. Εάν η σχέση μεταξύ της απόστασης από τα ρήγματα, του εστιακού βάθους και του μεγέθους του σεισμού αναμένεται να διαφέρει από τοποθεσία σε τοποθεσία ή εάν υπάρχουν ενδείξεις χωρικής ετερογένειας, η GWR μπορεί να είναι πιο κατάλληλη. Από την άλλη πλευρά, εάν αρκεί μια σφαιρική αξιολόγηση της σχέσης ή εάν δεν υπάρχουν ενδείξεις για χωρικές μεταβολές, η OLS μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη επιλογή.

Συνοψίζοντας, τόσο η OLS όσο και η GWR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της σχέσης μεταξύ της απόστασης από τα ρήγματα των σεισμών ως ανεξάρτητης μεταβλητής και του μεγέθους του σεισμού ως εξαρτημένης μεταβλητής. Η OLS παρέχει μια παγκόσμια προοπτική, ενώ η GWR ενσωματώνει τις χωρικές μεταβολές, επιτρέποντας την τοπική ανάλυση και τη σύλληψη της χωρικής μη-στασιμότητας. Η επιλογή μεταξύ των δύο μεθόδων εξαρτάται από τον ερευνητικό στόχο, την παρουσία χωρικής ετερογένειας και το επιθυμητό επίπεδο χωρικής λεπτομέρειας στην ανάλυση.

## **OLS (OrdinaryLeastSquare)**

Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (OLS) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική μέθοδος για την εκτίμηση των συντελεστών σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Παρέχει έναν τρόπο ανάλυσης της σχέσης μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή. Η OLS είναι ένα ισχυρό εργαλείο σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών, των κοινωνικών επιστημών και της ανάλυσης δεδομένων.

Η θεμελιώδης αρχή πίσω από την OLS είναι η εύρεση της γραμμής ή του επιπέδου καλύτερης προσαρμογής που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και των προβλεπόμενων τιμών που παράγονται από το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Ο όρος "ελάχιστα τετράγωνα" αναφέρεται στον στόχο της ελαχιστοποίησης των τετραγωνικών καταλοίπων, που είναι οι διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών.

Για την εφαρμογή της OLS, καθορίζεται ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο ορίζει τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Το μοντέλο υποθέτει μια γραμμική λειτουργική μορφή, όπου η εξαρτημένη μεταβλητή εκφράζεται ως γραμμικός συνδυασμός των ανεξάρτητων μεταβλητών, μαζί με έναν όρο σφάλματος που αποτυπώνει την ανεξήγητη διακύμανση.

Η διαδικασία εκτίμησης OLS περιλαμβάνει τον υπολογισμό των εκτιμήσεων των συντελεστών στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτιμήσεις αυτές αντιπροσωπεύουν το μέγεθος και την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης μεταβλητής. Η OLS εκτιμά τους συντελεστές ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγωνικών καταλοίπων, χρησιμοποιώντας τεχνικές μαθηματικής βελτιστοποίησης για την εύρεση των βέλτιστων τιμών.



Αφού εκτιμηθούν οι συντελεστές, μπορεί να πραγματοποιηθεί έλεγχος υποθέσεων για την αξιολόγηση της στατιστικής τους σημαντικότητας. Οι έλεγχοι υποθέσεων, όπως οι έλεγχοι  $t$  ή οι έλεγχοι  $F$ , εξετάζουν αν οι συντελεστές διαφέρουν σημαντικά από το μηδέν, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σχέσης μεταξύ των μεταβλητών.

Η OLS προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Παρέχει μια απλή και αποτελεσματική μέθοδο για την εκτίμηση των συντελεστών σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, επιτρέποντας την ερμηνεία των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Η OLS είναι επίσης μια καθιερωμένη τεχνική με στέρεη θεωρητική θεμελίωση, γεγονός που την καθιστά ευρέως εφαρμόσιμη σε διάφορα ερευνητικά και αναλυτικά πλαίσια.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η OLS κάνει ορισμένες υποθέσεις σχετικά με τα δεδομένα, όπως η γραμμικότητα, η ανεξαρτησία των σφαλμάτων, η ομοσκεδαστικότητα (σταθερή διακύμανση) και η απουσία πολυσυγγραμμικότητας. Οι παραβιάσεις αυτών των υποθέσεων μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της OLS.

Συνοπτικά, η μέθοδος των συνήθων ελαχίστων τετραγώνων (OLS) είναι μια ισχυρή στατιστική μέθοδος για την εκτίμηση των συντελεστών σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Παρέχει ένα μέσο για την ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών και χρησιμεύει ως θεμελιώδες εργαλείο στην ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας στους ερευνητές και τους αναλυτές να αποκτήσουν γνώσεις, να κάνουν προβλέψεις και να ελέγξουν υποθέσεις.

Για να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων (OLS) χρησιμοποιώντας το μέγεθος του σεισμού ως εξαρτημένη μεταβλητή και το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα ως ανεξάρτητες μεταβλητές, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Συλλογή δεδομένων που περιλαμβάνει τα μεγέθη των σεισμών, τα εστιακά βάθη και τις αποστάσεις από τα ρήγματα για ένα σύνολο σεισμών.

Προετοιμασία δεδομένων σε δομημένη μορφή, εξασφαλίζοντας ότι κάθε σεισμός έχει αντίστοιχες τιμές μεγέθους, εστιακού βάθους και απόστασης.

Προδιαγραφή μοντέλου – Καθορισμός της εξίσωσης του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης με βάση τις μεταβλητές. Στην προκειμένη περίπτωση, το μοντέλο μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:

$$\text{Μέγεθος} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Εστιακό βάθος} + \beta_2 * \text{Απόσταση από τα ρήγματα} + \varepsilon$$

Εδώ, τα  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  και  $\beta_2$  είναι οι συντελεστές που πρέπει να εκτιμηθούν και αντιπροσωπεύουν έναν σταθερό συντελεστή, τον συντελεστή για το εστιακό βάθος και τον συντελεστή για την απόσταση από τα ρήγματα, αντίστοιχα. Το  $\varepsilon$  αντιπροσωπεύει τα υπόλοιπα των σφαλμάτων.

Εκτίμηση συντελεστών του μοντέλου: Η μέθοδος OLS ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγωνικών καταλοίπων (διαφορές μεταξύ παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών) για την εύρεση της γραμμής με την καλύτερη προσαρμογή. Η διαδικασία αυτή παρέχει εκτιμήσεις για τα  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  και  $\beta_2$ .

Στατιστική συμπερασματολογία: Αξιολόγηση της στατιστικής σημαντικότητας των εκτιμώμενων συντελεστών χρησιμοποιώντας ελέγχους υποθέσεων, όπως t-tests ή F-tests. Η ανάλυση αυτή καθορίζει εάν οι συντελεστές διαφέρουν σημαντικά από το μηδέν, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σχέσης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών (εστιακό βάθος και απόσταση από τα ρήγματα) και της εξαρτημένης μεταβλητής (μέγεθος).

Αξιολόγηση της συνολικής καλής προσαρμογής του μοντέλου: Οι συνήθεις μετρήσεις περιλαμβάνουν τον συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ), ο οποίος μετρά το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από το μοντέλο, και την ανάλυση των υπολειμμάτων για να εκτιμηθεί εάν πληρούνται οι υποθέσεις του μοντέλου.

Ερμηνεία των εκτιμώμενων συντελεστών για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης μεταβλητής: Οι θετικοί συντελεστές υποδηλώνουν θετική σχέση, ενώ οι αρνητικοί συντελεστές υποδηλώνουν αντίστροφη σχέση. Το μέγεθος των συντελεστών υποδηλώνει το μέγεθος της επίδρασης στην εξαρτημένη μεταβλητή για μια μοναδιαία μεταβολή στην ανεξάρτητη μεταβλητή.

Με την OLS, μπορούν να αναλυθούν ποσοτικά οι σχέσεις μεταξύ του μεγέθους του σεισμού, του εστιακού βάθους και της απόστασης από τα ρήγματα, αποκτώντας γνώσεις σχετικά με το πώς αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στη διακύμανση των μεγεθών των σεισμών.

Από την εφαρμογή της OLS το  $R^2$  είναι 0,09, πράγμα που σημαίνει ότι το μοντέλο έχει προβλεπτικότητα κατά 9% και οι συντελεστές που προκύπτουν από την ανάλυση παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Μεταβλητή	Συντελεστής
Σταθερά	1.952
Εστιακό βάθος	0.001
Απόσταση από ρήγματα	0.0004

Πίνακας 3. Συντελεστές της OLS.

Από τον πίνακα αυτόν διαφαίνεται η θετική συσχέτιση που έχουν και οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές με την εξαρτημένη. Επιπλέον, διαφαίνεται μια πιο ισχυρή συσχέτιση του εστιακού βάθους με το μέγεθος των σεισμών.

Συνεπώς, η εξίσωση της OLS γίνεται:

Μέγεθος =  $1.952 + 0.001 * \text{Εστιακό βάθος} + 0.0004 * \text{Απόσταση από τα ρήγματα} + \epsilon$

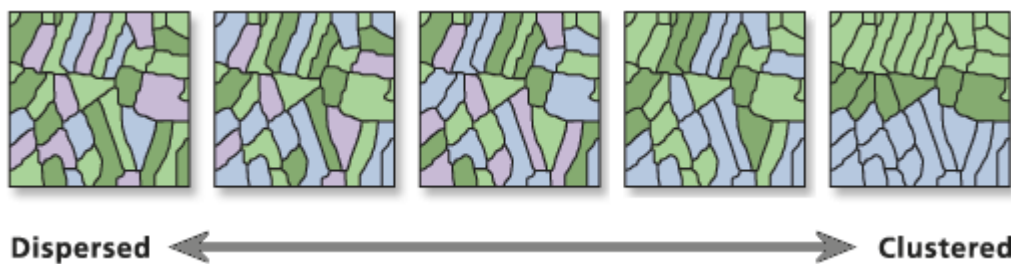
Για τα υπόλοιπα πραγματοποιείται η χρήση του δείκτη Moran's I. Ο τύπος υπολογισμού του δείκτη είναι:

$$I = \frac{n}{W} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Όπου

$n$  είναι ο συνολικός αριθμός θέσεων ή χαρακτηριστικών στο σύνολο δεδομένων,  $W$  είναι το άθροισμα των χωρικών βαρών,  $x_i$  και  $x_j$  είναι οι τιμές των χαρακτηριστικών των θέσεων,  $\bar{x}$  είναι η μέση τιμή του χαρακτηριστικού.

Ο Moran's  $I$  είναι ένα στατιστικό μέτρο που χρησιμοποιείται στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών - ΣΓΠ (GIS) για την αξιολόγηση της χωρικής αυτοσυσχέτισης σε σύνολα χωρικών δεδομένων. Μετρά τον βαθμό ομοιότητας ή ανομοιότητας μεταξύ τιμών χαρακτηριστικών σε διαφορετικές θέσεις εντός μιας γεωγραφικής περιοχής.



Εικόνα 14. Επεξήγηση του δείκτη Moran's  $I$  (Πηγή ESRI).

Η έννοια του Moran's  $I$  βασίζεται στην υπόθεση ότι οι κοντινές τοποθεσίες τείνουν να έχουν πιο παρόμοιες τιμές χαρακτηριστικών από ό,τι οι τοποθεσίες που απέχουν περισσότερο μεταξύ τους. Μας βοηθά να κατανοήσουμε αν τα μοτίβα στις τιμές των χαρακτηριστικών ενός χωρικού συνόλου δεδομένων παρουσιάζουν ομαδοποίηση, διασπορά ή τυχαιότητα.

Ο δείκτης Moran's  $I$  κυμαίνεται από  $-1$  έως  $1$ . Μια θετική τιμή υποδηλώνει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, που σημαίνει ότι παρόμοιες τιμές χαρακτηριστικών τείνουν να συγκεντρώνονται μεταξύ τους. Με άλλα λόγια, οι κοντινές τοποθεσίες έχουν παρόμοιες τιμές χαρακτηριστικών. Μια αρνητική τιμή υποδηλώνει αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση, όπου ανόμοιες τιμές χαρακτηριστικών τείνουν να συγκεντρώνονται. Αυτό υποδηλώνει ότι οι κοντινές τοποθεσίες έχουν ανόμοιες τιμές χαρακτηριστικών. Μια τιμή κοντά στο μηδέν υποδηλώνει ένα τυχαίο χωρικό μοτίβο ή καμία σημαντική χωρική αυτοσυσχέτιση.

Για τον υπολογισμό του Moran's  $I$ , χρησιμοποιείται ένας πίνακας χωρικών βαρών για την ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ γειτονικών θέσεων. Ο πίνακας χωρικών βαρών μπορεί να οριστεί με βάση τη γειτνίαση (π.χ. γειτνίαση βασίλισσας

ή γειτνίαση πύργου) ή την απόσταση (π.χ. αντίστροφη απόσταση ή βάρη πυρήνα). Η επιλογή των χωρικών βαρών εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων και το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα.

Αναλύοντας τον Moran's I, μπορούν να αποκτηθούν πληροφορίες για τα χωρικά μοτίβα και τις εξαρτήσεις που υπάρχουν στο σύνολο δεδομένων. Βοηθά στον εντοπισμό περιοχών υψηλής ή χαμηλής ομοιότητας, οι οποίες μπορεί να είναι πολύτιμες για διάφορες εφαρμογές, όπως ο αστικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική παρακολούθηση και η επιδημιολογία. Επιπλέον, η σημασία του Moran's I μπορεί να αξιολογηθεί μέσω του ελέγχου υποθέσεων. Αυτό περιλαμβάνει τη σύγκριση της υπολογιζόμενης τιμής του Moran's I με την αναμενόμενη κατανομή του Moran's I υπό την υπόθεση της χωρικής τυχαιότητας. Αυτό βοηθά στον προσδιορισμό του κατά πόσον η παρατηρούμενη χωρική αυτοσυσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική ή πιθανότατα οφείλεται σε τυχαία σύμπτωση. Συνοπτικά, ο Moran's I είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στα ΣΓΠ για την ποσοτικοποίηση και την ανάλυση της χωρικής αυτοσυσχέτισης στις τιμές των χαρακτηριστικών ενός συνόλου χωρικών δεδομένων. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα ομαδοποίησης ή διασποράς, επιτρέποντας στους ερευνητές και τους αναλυτές να κατανοήσουν καλύτερα τις χωρικές σχέσεις εντός των δεδομένων τους.

Εν προκειμένω, ο δείκτης Moran's I καταδεικνύει ότι τα υπόλοιπα (ή κατάλοιπα) παρουσιάζουν τυχαιότητα. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η GWR προκειμένου να μετρηθεί αυτή η ετερογένεια στο χώρο.

### **GWR (Geographic Weighted Regression)**

Η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR) είναι μια προηγμένη τεχνική χωρικής ανάλυσης που επεκτείνει τα παραδοσιακά μοντέλα παλινδρόμησης λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική ετερογένεια. Έχει σχεδιαστεί για τη διερεύνηση και τη μοντελοποίηση σχέσεων μεταξύ μεταβλητών που ποικίλλουν σε διαφορετικές τοποθεσίες, αναγνωρίζοντας ότι οι χωρικές διεργασίες συχνά παρουσιάζουν τοπικές παραλλαγές και μοτίβα. Η GWR παρέχει ένα ισχυρό πλαίσιο για την καταγραφή και την κατανόηση αυτών των χωρικά μεταβαλλόμενων σχέσεων.

Σε αντίθεση με τα παγκόσμια μοντέλα παλινδρόμησης, τα οποία υποθέτουν ομοιόμορφες σχέσεις που ισχύουν για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, η GWR αναγνωρίζει ότι οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με την τοποθεσία. Επιτρέπει την εκτίμηση συντελεστών που διαφέρουν στο χώρο, παρέχοντας ακριβέστερη αναπαράσταση της τοπικής δυναμικής και επιτρέποντας την ανίχνευση χωρικά μεταβαλλόμενων επιδράσεων.

Η βασική ιδέα πίσω από την GWR έγκειται στην έννοια της χωρικής στάθμισης. Η GWR αποδίδει βάρη στις παρατηρήσεις με βάση την εγγύτητά τους στην τοποθεσία που μοντελοποιείται. Οι πιο κοντινές παρατηρήσεις λαμβάνουν υψηλότερα βάρη, υποδεικνύοντας ότι έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην εκτίμηση των συντελεστών για τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Με την ενσωμάτωση αυτών των χωρικών βαρών, η GWR συλλαμβάνει αποτελεσματικά το τοπικό πλαίσιο και επιτρέπει την προσαρμοσμένη μοντελοποίηση σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Η GWR είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά την ανάλυση φαινομένων που παρουσιάζουν χωρική μη-στασιμότητα, όπου οι σχέσεις και τα μοτίβα αλλάζουν σε όλο το χώρο. Έχει εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως οι αστικές μελέτες, η περιβαλλοντική επιστήμη, η δημόσια υγεία και ο σχεδιασμός μεταφορών. Ορισμένες συνήθεις εφαρμογές της GWR περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση των τιμών των κατοικιών με βάση τα χαρακτηριστικά της γειτονιάς, την εξέταση της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων στον επιπολασμό ασθενειών ή τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της προσβασιμότητας και των προτύπων μετακίνησης σε τοπικό επίπεδο.

Με τη χρήση της GWR, οι ερευνητές αποκτούν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά μοντέλα παλινδρόμησης. Η GWR επιτρέπει τον εντοπισμό και την ανάλυση των τοπικών παραλλαγών, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις χωρικά μεταβαλλόμενες επιδράσεις και αποκαλύπτοντας κρυφά μοτίβα και τάσεις που θα παραβλέπονταν από τα παγκόσμια μοντέλα. Επιτρέπει επίσης ακριβέστερες προβλέψεις και καλύτερη κατανόηση των υποκείμενων διεργασιών που καθοδηγούν τα χωρικά φαινόμενα.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η GWR δεν είναι μια λύση που ταιριάζει σε όλους. Η επιλογή της χρήσης GWR θα πρέπει να βασίζεται στο συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα και στη φύση των δεδομένων. Η GWR απαιτεί προσεκτική εξέταση της χωρικής κλίμακας, επιλογή των κατάλληλων ευρών ζώνης και αξιολόγηση της καλής προσαρμογής του μοντέλου.

Η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (GWR) είναι μια ισχυρή τεχνική χωρικής ανάλυσης που επιτρέπει τη διερεύνηση των χωρικά μεταβαλλόμενων σχέσεων μεταξύ μεταβλητών. Στο πλαίσιο της ανάλυσης των σεισμών, η GWR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο τα μεγέθη των σεισμών επηρεάζονται από το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική ετερογένεια.

Για να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση GWR με το μέγεθος του σεισμού ως εξαρτημένη μεταβλητή και το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα ως ανεξάρτητες μεταβλητές, ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα:

Προετοιμασία δεδομένων που περιλαμβάνει τα μεγέθη των σεισμών, τα εστιακά βάθη, τις αποστάσεις από τα ρήγματα και τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες τους (γεωγραφικό πλάτος και μήκος). Αυτές οι γεωγραφικές πληροφορίες είναι απαραίτητες για τη χωρική ανάλυση.

Δημιουργία χωρικών βαρών που αντικατοπτρίζουν τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των σεισμών. Τα χωρικά βάρη μπορούν να δημιουργηθούν με διάφορες τεχνικές, όπως η αντίστροφη στάθμιση απόστασης ή οι μέθοδοι με βάση τον πυρήνα. Αυτά τα βάρη ποσοτικοποιούν την επιρροή των γειτονικών σεισμών σε κάθε παρατήρηση με βάση την εγγύτητά τους.

Καθορισμός κατάλληλου εύρους ζώνης για την ανάλυση GWR. Το εύρος ζώνης καθορίζει το μέγεθος της τοπικής γειτονιάς γύρω από κάθε παρατήρηση. Ένα μικρότερο εύρος ζώνης καταγράφει πιο εντοπισμένες επιδράσεις, ενώ ένα μεγαλύτερο, εξετάζει τη χωρική ευρύτητα του φαινομένου. Η επιλογή ενός βέλτιστου εύρους ζώνης είναι ζωτικής σημασίας για την εξισορρόπηση του συμβιβασμού μεταξύ της σύλληψης των τοπικών μεταβολών και της αποφυγής θορύβου ή υπεραπώθησης.

Εκτίμηση του μοντέλου GWR καθορίζοντας την εξαρτημένη μεταβλητή (μέγεθος σεισμού) και τις ανεξάρτητες μεταβλητές (εστιακό βάθος και απόσταση από ρήγματα). Το μοντέλο GWR, εκτιμά χωρικά μεταβαλλόμενους συντελεστές, για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή σε κάθε θέση. Αυτό, μας επιτρέπει να αποκαλύψουμε, πώς οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών αλλάζουν σε όλη την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία εκτίμησης περιλαμβάνει την επίλυση μιας σειράς σταθμισμένων παλινδρομήσεων ελαχίστων τετραγώνων, χρησιμοποιώντας τα χωρικά βάρη και το εύρος ζώνης.

Με την ερμηνεία του μοντέλου: GWR αποκτώνται γνώσεις σχετικά με τις χωρικά μεταβαλλόμενες σχέσεις μεταξύ του μεγέθους του σεισμού, του εστιακού βάθους και της απόστασης από τα ρήγματα. Η GWR παρέχει εκτιμήσεις των τοπικών συντελεστών, υποδεικνύοντας το μέγεθος, την κατεύθυνση και τη στατιστική σημαντικότητα των σχέσεων σε διάφορες θέσεις. Η οπτικοποίηση των συντελεστών της GWR σε χάρτη, για τον εντοπισμό χωρικών μοτίβων και διακυμάνσεων, επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των υποκείμενων διαδικασιών.

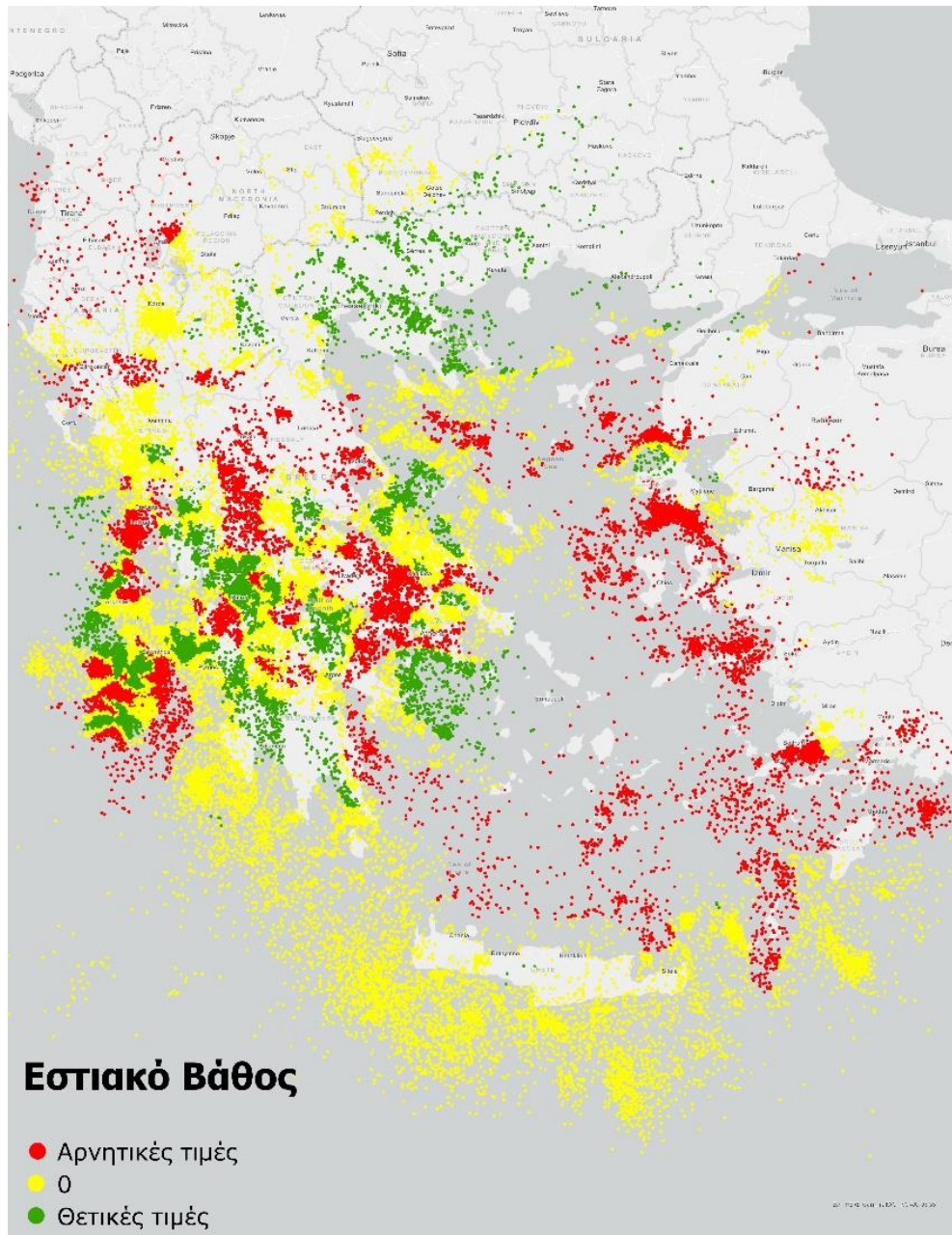
Αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου GWR. Διάφορες μετρήσεις, όπως το προσαρμοσμένο τετράγωνο R ή η AIC, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της καλής προσαρμογής και τη σύγκριση του μοντέλου με εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Εκτελώντας την GWR με το μέγεθος του σεισμού ως εξαρτημένη μεταβλητή και το εστιακό βάθος και την απόσταση από τα ρήγματα ως ανεξάρτητες μεταβλητές, αποκαλύπτονται οι χωρικά μεταβαλλόμενες σχέσεις μεταξύ αυτών των παραγόντων. Αυτή η ανάλυση, παρέχει μια πιο διαφοροποιημένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το εστιακό βάθος και η απόσταση από τα ρήγματα επηρεάζουν τα μεγέθη των σεισμών σε διαφορετικές τοποθεσίες, διευκολύνοντας την καλύτερη κατανόηση των σεισμικών διεργασιών και συμβάλλοντας στον τομέα της έρευνας των σεισμών.

Οι επόμενοι δύο χάρτες παρουσιάζουν τη διακύμανση των συντελεστών των ανεξάρτητων μεταβλητών.

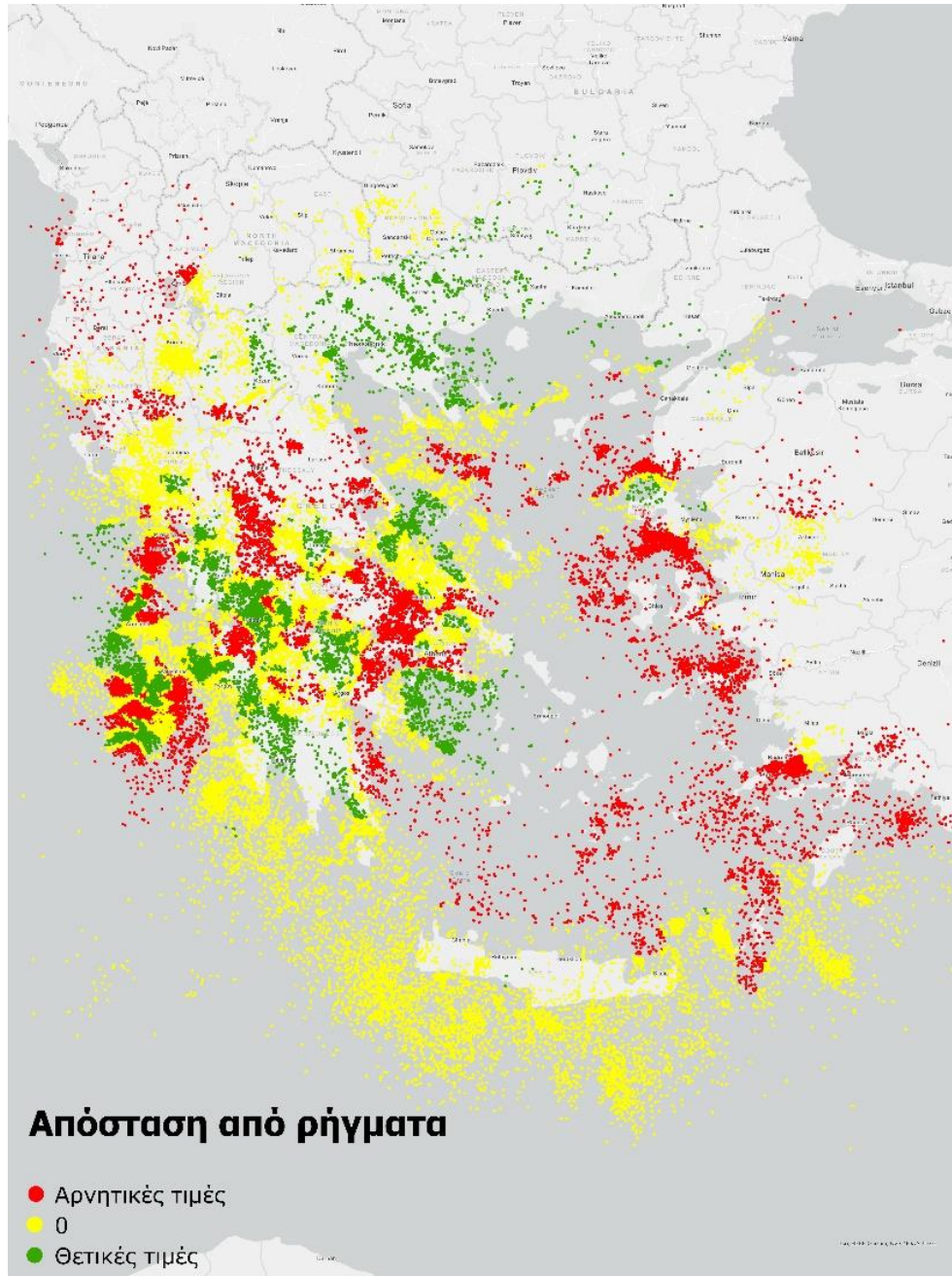


ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.



Χάρτης 10. Διακύμανση του συντελεστή του εστιακού βάθους.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.



Χάρτης 11. Διακύμανση του συντελεστή της απόστασης από ρήγματα.

Από τους δυο παραπάνω χάρτες αναδεικνύεται η ετερογένεια που επικρατεί στον ελλαδικό χώρο αναφορικά με τις δύο παραμέτρους που εξετάστηκαν στην GWR. Συγκεκριμένα, στον Χάρτη 10 αποτυπώνεται η ετερογένεια αναφορικά με το εστιακό βάθος. Έτσι, είναι εύληπτο ότι στις περιοχές νοτίως της Κρήτης, στη Δυτική Ελλάδα και στις Σποράδες το εστιακό βάθος είναι αρνητικά συσχετισμένο με το μέγεθος του σεισμού (κόκκινο χρώμα). Στη Θεσσαλία, στην ευρύτερη περιοχή της

Ρόδου και στο Βόρειο Αιγαίο το εστιακό βάθος είναι θετικά συσχετισμένο με το μέγεθος του σεισμού (πράσινο χρώμα). Στις υπόλοιπες περιοχές το εστιακό βάθος δε δείχνει να παίζει κάποιο ρόλο στο μέγεθος του σεισμού.

Στον Χάρτη 11, από τη Δυτική Ελλάδα έως και την Αττική υπάρχει συνεχής διακύμανση του συντελεστή της απόστασης από ρήγματα. Ενώ είναι ξεκάθαρο ότι στη θαλάσσια περιοχή του τόξου νότια Πελοπόννησος-Κρήτη-Ρόδος η απόσταση από τα ρήγματα δεν έχει καμία επίδραση στο μέγεθος του σεισμού. Ενώ στην περιοχή των Κυκλάδων, στα νησιά του Ανατολικού και Βορείου Αιγαίου η απόσταση από τα ρήγματα είναι αρνητικά συσχετισμένη με το μέγεθος του σεισμού. Ο επόμενος χάρτης παρουσιάζει την προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου GWR αποτυπωμένη με τη χρήση του  $R^2$ .



Χάρτης 12. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου GWR ( $R^2$ ).

Είναι φανερό ότι στη θαλάσσια περιοχή νοτίως της Αττικής το μοντέλο προβλέπει καλύτερα το μέγεθος του σεισμού με ποσοστά που φτάνουν περίπου το 30%. Υπάρχουν επίσης περιοχές όπου το ποσοστό πρόβλεψης είναι μεταξύ 10-20% (νοτίως της Κρήτης, νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου και στο τριεθνές Ελλάδας-Αλβανίας και Βόρειας Μακεδονίας).

## ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε όλους τους χάρτες του Α' μέρους απεικονίζονται ορισμένα βασικά επίπεδα (layers), όπως ο παγκόσμιος χάρτης που δείχνει όλες τις χώρες με τα σύνορά τους σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87, οι νομοί της Ελλάδος, η θάλασσα και το μοντέλο επιφανείας (dtm) μαζί με το hillshading που συνδυασμένα δίνουν την 3D όψη του ανάγλυφου της Ελλάδος. Στον πρώτο χάρτη (Χάρτης 1), επιπροσθέτως, εμφανίζονται και όλα τα σεισμικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στην ελληνική επικράτεια κατά τα έτη 1964 έως 2022. Στους επόμενους χάρτες υπάρχει μία ταξινόμηση ανάλογα με το μέγεθος του σεισμού. Έτσι στο δεύτερο χάρτη (Χάρτης 2), απεικονίζονται οι σεισμοί που είχαν μέγεθος 3,5-4,5 βαθμούς της κλίμακας Richter και εκδηλώθηκαν κατά τα ίδια έτη. Στον τρίτο χάρτη (Χάρτης 3) και τον τέταρτο (Χάρτης 4), παρομοίως με τον δεύτερο, απεικονίζονται οι σεισμοί με μέγεθος 4,5-5,5 και 5,5-8 της κλίμακας Richter, αντιστοίχως. Εν συνεχεία, στον πέμπτο (και τον έκτο χάρτη, μπορούμε να διακρίνουμε ακόμη, τα ενεργά ρήγματα της Ελληνικής Χερσονήσου καθώς και την κατανομή των σεισμών με τη μέθοδο Kernel Density. Στον τελικό χάρτη του πρώτου μέρους, αφαιρέθηκαν οι σεισμοί και εμφανίζονται μόνο τα ενεργά ρήγματα με τα πολύγωνα τους. Το πολύγωνο που συνοδεύει τα ενεργά ρήγματα, σύμφωνα με ερευνητές<sup>17</sup>, περιέχει πληροφορίες σχετικά με την προβολή των ρηγμάτων στην επιφάνεια του εδάφους. Όπως φαίνεται τα ενεργά ρήγματα συγκεντρώνονται κυρίως στη στεριά και υπάρχουν σε μικρότερο βαθμό στον θαλάσσιο χώρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην εκδηλώνονται εκεί αρκετοί σεισμοί και ειδικά άνω των 3,5 βαθμών της κλίμακας Richter, με τους οποίους ασχολείται η παρούσα. Η ταξινόμηση των σεισμών σε

---

<sup>17</sup>Roberto Basili et. al, 2008, The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics 453(1):20-43, DOI: 10.1016/j.tecto.2007.04.014

τρεις κατηγορίες έγινε ώστε να γίνει εφικτή η απεικόνιση της πιθανής συσχέτισης της απόστασης των ρηγμάτων με τους σεισμούς ως προς το μέγεθός τους, δηλαδή, με αυτόν τον τρόπο θα ήταν εφικτό να ερευνηθεί αν την ένταση των σεισμών που δίνουν τα υφιστάμενα ενεργά ρήγματα και αν σχετίζονται με την απόστασή τους από αυτά. Απ' ότι ωστόσο φάνηκε από τη βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε για τη μελέτη, δεν γίνεται αναφορά της συσχέτισης αυτής παρά μόνο δημιουργία βάσεων που καταχωρούνται τα ενεργά ρήγματα της χώρας.

Οπτική συσχέτιση δεν κατέστη δυνατή επίσης για τη σχέση μεταξύ έντασης σεισμού και εστιακού του βάθους.

Επομένως και στα δύο ερευνητικά ερωτήματα **οι απαντήσεις είναι αρνητικές**, με τη παραπάνω μέθοδο. Αυτό που έδειξε η οπτική συσχέτιση είναι ότι οι σεισμικές δονήσεις, φαίνεται να εκδηλώνονται σε τυχαίες αποστάσεις από τα ρήγματα και ανεξάρτητα από το εστιακό τους βάθος.

Αυτό όμως που μπορεί να ειπωθεί έπειτα από όλα τα στάδια της χωρικής στατιστικής ανάλυσης (Μέρος Β'), είναι ότι **το μέγεθος του σεισμού συσχετίζεται έστω και αδρά τόσο με το εστιακό βάθος όσο και με τη γειτνίασή του με ενεργά ρήγματα**. Ειδικά μάλιστα, έπειτα από την εφαρμογή της GWR **φάνηκε ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να έχει προβλεπτικότητα**.

Το πόσο ακριβής ωστόσο, θα είναι η προβλεπτικότητα αυτή, εξαρτάται ίσως από περισσότερους παράγοντες (ακρίβεια της θέσης των ρηγμάτων, γεωλογικά δεδομένα κ.λπ.) οι οποίοι δεν ήταν δυνατό να εξετασθούν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αλλά όμως, αφήνουν ένα ανοικτό επιστημονικό ζήτημα υπό διερεύνηση για επόμενες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΣΕΙΣΜΩΝ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ, <http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/katalogoi-seismwn>
- [2] Ιστοσελίδα Ο.Α.Σ.Π, <https://www.oasp.gr/node/201>
- [3] Σεισμός, Η γνώση είναι προστασία, Ο.Α.Σ.Π., 2007
- [4] Ιστοσελίδα Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, <http://www.gein.noa.gr>, 2020
- [5] Το ελληνικό τόξο, <https://www.seismoi.gr/toellhnikotoxo.htm>, 2020
- [6] [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2527/1/Nikolakopoulos\\_Chapter\\_10.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2527/1/Nikolakopoulos_Chapter_10.pdf)

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [7] The Greek Catalogue of Active Faults and database of Seismogenic Sources, 2010, <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/geosociety/article/viewFile/11199/11251.pdf>
- [8] The Greek Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, 2008, [https://www.researchgate.net/publication/222420918\\_The\\_Database\\_of\\_Individual\\_Seismogenic\\_Sources\\_DISS\\_version\\_3\\_Summarizing\\_20\\_years\\_of\\_research\\_on\\_Italy's\\_earthquake\\_geology](https://www.researchgate.net/publication/222420918_The_Database_of_Individual_Seismogenic_Sources_DISS_version_3_Summarizing_20_years_of_research_on_Italy's_earthquake_geology)
- [9] The New Seismotectonic Atlas of Greece, 2020, [https://www.researchgate.net/publication/345496595\\_The\\_New\\_Seismotectonic\\_Atlas\\_of\\_Greece\\_v10\\_and\\_Its\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/345496595_The_New_Seismotectonic_Atlas_of_Greece_v10_and_Its_Implementation)
- [10] ESRI-How Kernel Density Works, 2021
- [11] [https://www.researchgate.net/publication/222420918\\_The\\_Database\\_of\\_Individual\\_Seismogenic\\_Sources\\_DISS\\_version\\_3\\_Summarizing\\_20\\_years\\_of\\_research\\_on\\_Italy's\\_earthquake\\_geology\\_2008](https://www.researchgate.net/publication/222420918_The_Database_of_Individual_Seismogenic_Sources_DISS_version_3_Summarizing_20_years_of_research_on_Italy's_earthquake_geology_2008)
- [12] [GreDaSS \(unife.it\)](http://www.greDaSS.unife.it)
- [13] Chalkias, C.; Papadopoulos, A.G.; Kalogeropoulos, K.; Tambalis, K.; Psarra, G.; Sidossis, L. Geographical Heterogeneity of the Relationship between Childhood Obesity and Socio-Environmental Status: Empirical Evidence from Athens, Greece. *Applied Geography* 2013, 37, 34–43, doi:10.1016/j.apgeog.2012.10.007
- [14] Faka, A. Assessing Quality of Life Inequalities. A Geographical Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2020, 9, 600, doi:10.3390/ijgi9100600.
- [15] Faka, A.; Kalogeropoulos, K.; Maloutas, T.; Chalkias, C. Urban Quality of Life: Spatial Modeling and Indexing in Athens Metropolitan Area, Greece. *IJGI* 2021, 10, 347, doi:10.3390/ijgi10050347.
- [16] Faka, A.; Kalogeropoulos, K.; Maloutas, T.; Chalkias, C. Spatial Variability and Clustering of Quality of Life at Local Level: A Geographical Analysis in Athens, Greece. *IJGI* 2022, 11, 276, doi:10.3390/ijgi11050276.
- [17] Brunson, C.; Fotheringham, S.; Charlton, M. Geographically Weighted Regression. *J Royal Statistical Soc D* 1998, 47, 431–443, doi:10.1111/1467-9884.00145.

- [18] Ripley, B.D. Modelling Spatial Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 1977, 39, 172–192, doi:10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x.
- [19] Fotheringham, A.S.; Brunsdon, C.; Charlton, M. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*; Wiley, 2002; ISBN 978-0-471-49616-8.