

# **Μελέτη σεισμικής δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο (1990 μέχρι σήμερα)**

Χατζηπαρασκευάς Ευριπίδης

Φυσικός, Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πληροφορικής MSc,  
Γεωπληροφορικής MSc

Μυτιλήνη, Ιούνιος 2018

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	3
Θεωρητικό υπόβαθρο .....	3
Σεισμική δραστηριότητα στην Ελλάδα .....	3
Ανάλυση χωρικών δεδομένων – δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis–Ord $G_i^*$ .....	4
Μεθοδολογία .....	5
Περιοχή μελέτης.....	5
Δεδομένα.....	6
Ανάλυση .....	6
Αποτελέσματα.....	7
Συμπεράσματα .....	15
Βιβλιογραφία .....	17

## Εισαγωγή

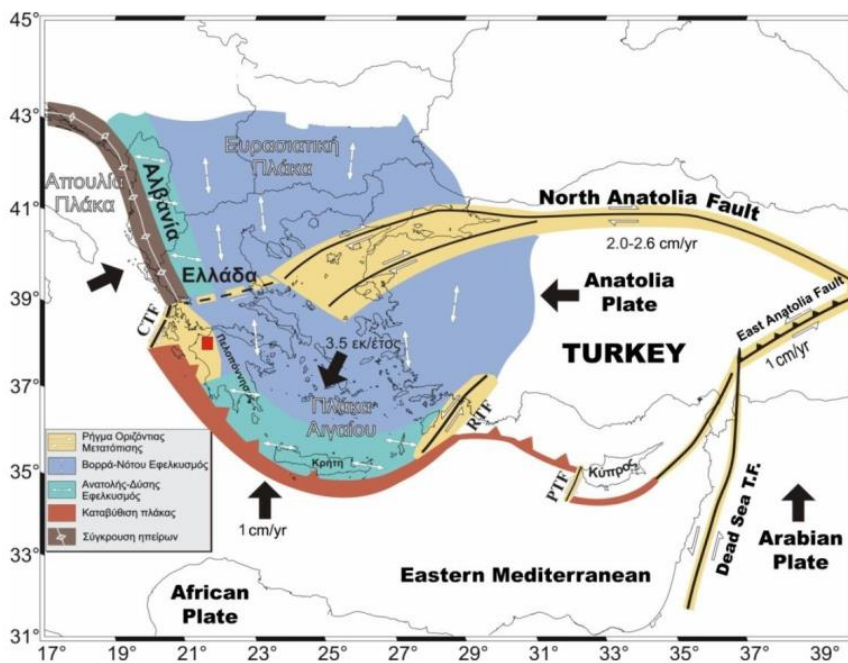
Είναι γεγονός ότι η σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο είναι ένα θα λέγαμε συνηθισμένο φαινόμενο, δεδομένης της αυξημένης συχνότητας τέτοιων περιστατικών, σε σχέση με άλλες περιοχές. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα κατέχει την 6<sup>η</sup> θέση παγκοσμίως σε σεισμικότητα, και την 1<sup>η</sup> σε Μεσόγειο και Ευρώπη (Ο.Α.Σ.Π., 2018).

Στην παρούσα εργασία, γίνεται μία μελέτη της σεισμικής δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο, από το 1990 μέχρι σήμερα, και επιχειρείται η χωρική συσχέτιση των περιστατικών, προκειμένου να δημιουργηθεί μία επιφάνεια πυκνότητας της σεισμικής δραστηριότητας. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) προκειμένου να γίνει χωρική επεξεργασία των δεδομένων. Τα εργαλεία GIS αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την επεξεργασία χωρικών δεδομένων, ανάλυσης και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων, και συνεπώς θεωρούνται πολύτιμο μέσο για την μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς στο χώρο και τον χρόνο.

## Θεωρητικό υπόβαθρο

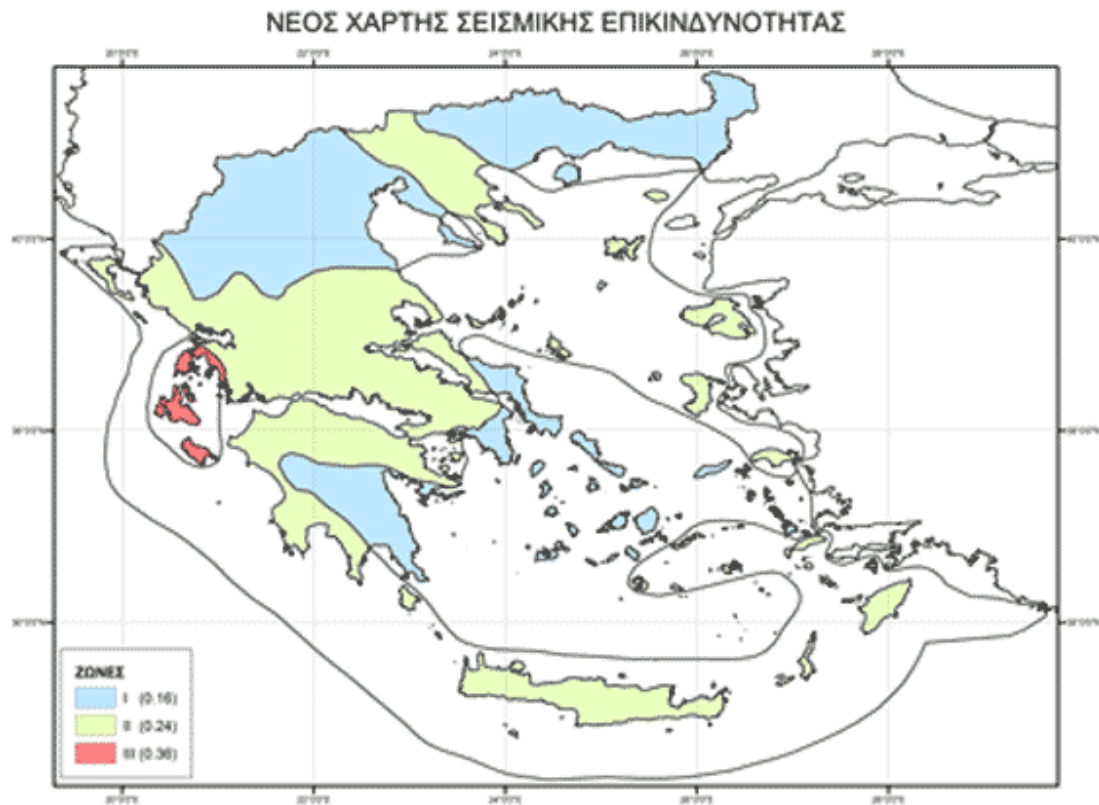
### Σεισμική δραστηριότητα στην Ελλάδα

Η έντονη σεισμική δραστηριότητα του Ελλαδικού χώρου είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής παραμόρφωσης της περιοχής, αποτέλεσμα γεωλογικών κινήσεων. Ο Ελληνικός χώρος καλύπτει την περιοχή επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική. Τρία είναι τα βασικά γεωδυναμικά φαινόμενα που συντελούνται στην περιοχή: α) Η κίνηση προς τα Βόρεια της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με αποτέλεσμα την κατάδυση της μικροπλάκας της Ανατολικής Μεσογείου (Parazachos, B.C. and Comninakis, 1970), β) η κίνηση προς τα Δυτικά της Τούρκικης πλάκας κατά μήκος του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας και της προέκτασής του στο Βόρειο Αιγαίο (McKenzie, 1970) και γ) την αριστερόστροφη περιστροφική κίνηση προς τα ανατολικά της Απούλιας πλάκας και τη σύγκρουσή της στις Αδριατικές ακτές, την Αλβανία και την Ήπειρο.



ΕΙΚΟΝΑ 1 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Όσον αφορά την σεισμική επικινδυνότητα στον Ελλαδικό χώρο, το 2004 έγινε η τελευταία αναθεώρηση του αντίστοιχου χάρτη του τελευταίου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ) ό οποίος εφαρμόστηκε το 1995. Ως σεισμική επικινδυνότητα μιας κατασκευής, ορίζεται η αναμενόμενη ένταση της σεισμικής κίνησης στο σημείο στο οποίο υφίσταται η κατασκευή αυτή. Ο τελευταία αναθεώρηση του χάρτη, ορίζει τρεις σεισμικές ζώνες επικινδυνότητας, οι οποίες απεικονίζονται στην εικόνα 2.



Ανάλυση χωρικών δεδομένων – δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis–Ord  $G_i^*$

Σε πολλές περιπτώσεις χωρικών δεδομένων, η μελέτη και κατανόηση της χωρικής κατανομής και την ανίχνευση της χωρικής εξάρτησης-αυτοσυσχέτισής τους, απαιτούν την εφαρμογής ειδικών μεθόδων διερευνητικής ανάλυσής τους.

Ο δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis–Ord  $G_i^*$  προτάθηκε από τους Getis και Ord (Getis & Ord, 1992) και εκφράζει την χωρική εξάρτηση των χωρικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό ορίστηκε ο ολικός δείκτης  $G^*(d)$  και ο τοπικός δείκτης  $G_i^*(d)$  (στον οποίο η παρατήρηση στο σημείο  $i$  συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό). Η σχέση που δίνει τον ολικό δείκτη  $G^*(d)$ , για μία μεταβλητή  $X$  με μέσο  $\bar{x}$  και διακύμανση  $s^2$  ορίζεται (Kalogirou, 2015):

$$G^*(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}$$

Ο τοπικός δείκτης  $G_i^*(d)$  ορίζεται ως εξής:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}, j \neq i$$

Οπού:

$d$  είναι η μέγιστη απόσταση γύρω από ένα σημείο  $i$  η οποία ορίζεται ως γειτονιά του σημείου

$w_{ij}$  είναι το βάρος για κάθε σημείο  $j$  της γειτονιάς (εκτός από το  $i$ )

$x_i, x_j$  οι τιμές της μεταβλητής  $X$  στα σημεία  $i$  και  $j$  αντίστοιχα.

Ο Ολικός δείκτης  $G^*(d)$  δίνει μία ένδειξη ύπαρξης ή όχι χωρικών προτύπων για την μεταβλητή  $X$ , ενώ ο τοπικός δείκτης  $G_i^*(d)$  αποδίδει χαμηλές ή υψηλές τιμές του χωρικού προτύπου για τη μεταβλητή  $X$ , σε κάθε σημείο  $i$  της περιοχής μελέτης. Υψηλές τιμές του δείκτη υποδηλώνουν μία γειτονιά με υψηλές τιμές της μεταβλητής  $X$  και το αντίστροφο για χαμηλές τιμές του δείκτη. Με άλλα λόγια ο δείκτης αυτός ποσοτικοποιεί την έκταση των χωρικών προτύπων (clustering) με σκοπό να αναδείξει περιοχές με υψηλές τιμές (hot spots) ή περιοχές με χαμηλές τιμές (cold spots) στην περιοχή μελέτης. (Al-Ahmadi, Al-Amri, & See, 2014)

## Μεθοδολογία

### Περιοχή μελέτης

Η Ελλάδα γεωγραφικά καλύπτει μία έκταση 131.957 km<sup>2</sup> στο ΝΑ άκρο της Ευρώπης. Η μορφολογία της χώρας περιλαμβάνει ένα μεγάλο ηπειρωτικό τμήμα, το οποίο, μαζί με την Πελοπόννησο, και πολυάριθμα νησιωτικά συμπλέγματα, βρέχεται από το Ιόνιο, το Αιγαίο και το Λιβυκό πέλαγος. Τα πελάγη αυτά ανήκουν στο ΝΑ άκρο της Μεσογείου, ενώ η Ελλάδα γεινιάζει με την Ασιατική και Αφρικανική ήπειρο, γεγονός που αναδεικνύει την σημαντικότητα της γεωπολιτικής θέσης της χώρας.

Η χώρα διοικητικά χωρίζεται σε 13 περιφέρειες (δευτεροβάθμιοι οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης), οι οποίες διαιρούνται περαιτέρω σε 51 νομούς.



**ΕΙΚΟΝΑ 3 ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΠΗΓΗ: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ)**

### Δεδομένα

Για τις ανάγκες της εργασίας απαιτήθηκαν δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από έγκυρες πηγές στο διαδίκτυο. Τα δεδομένα που αντλήθηκαν είναι τα παρακάτω:

- Γεωχωρικά δεδομένα σεισμών από το 1990 έως σήμερα (28/5/2018) (πηγή: (“Χάρτες - Γεωδυναμικό Ινστιτούτο,” 2018)
- Νομοί της Ελλάδας (Κοινωνία της Πληροφορίας Α.Ε., 2016)
- Πρωτεύουσες νομών της Ελλάδας (Κοινωνία της Πληροφορίας Α.Ε., 2016)

### Ανάλυση

Το γεωγραφικό σύστημα στο οποίο έγινε όλη η επεξεργασία ήταν το ΕΓΣΑ87. Η μελέτη σεισμικότητας στην Ελλάδα για το 1990 έως σήμερα, αφορούσε μεγέθη σεισμών πάνω από 4R. Αφού έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές του γεωγραφικού συστήματος αναφοράς στο σύστημα ΕΓΣΑ87, έγινε χαρτογραφική αποτύπωση των παρακάτω δεδομένων:

- Σεισμοί με μέγεθος  $\geq 5R$  για την περίοδο 1990-σήμερα
- Σεισμοί με μέγεθος  $\geq 4R$  για τον μήνα Φεβρουάριο (1990 - σήμερα)
- Σεισμοί με μέγεθος  $\geq 4R$ , εστιακό βάθος  $\leq 40\text{km}$  για την περίοδο 1990-σήμερα
- Σεισμοί με μέγεθος  $\geq 4R$  εκδηλώθηκαν σε απόσταση 25km από κάθε πρωτεύουσα νομού.

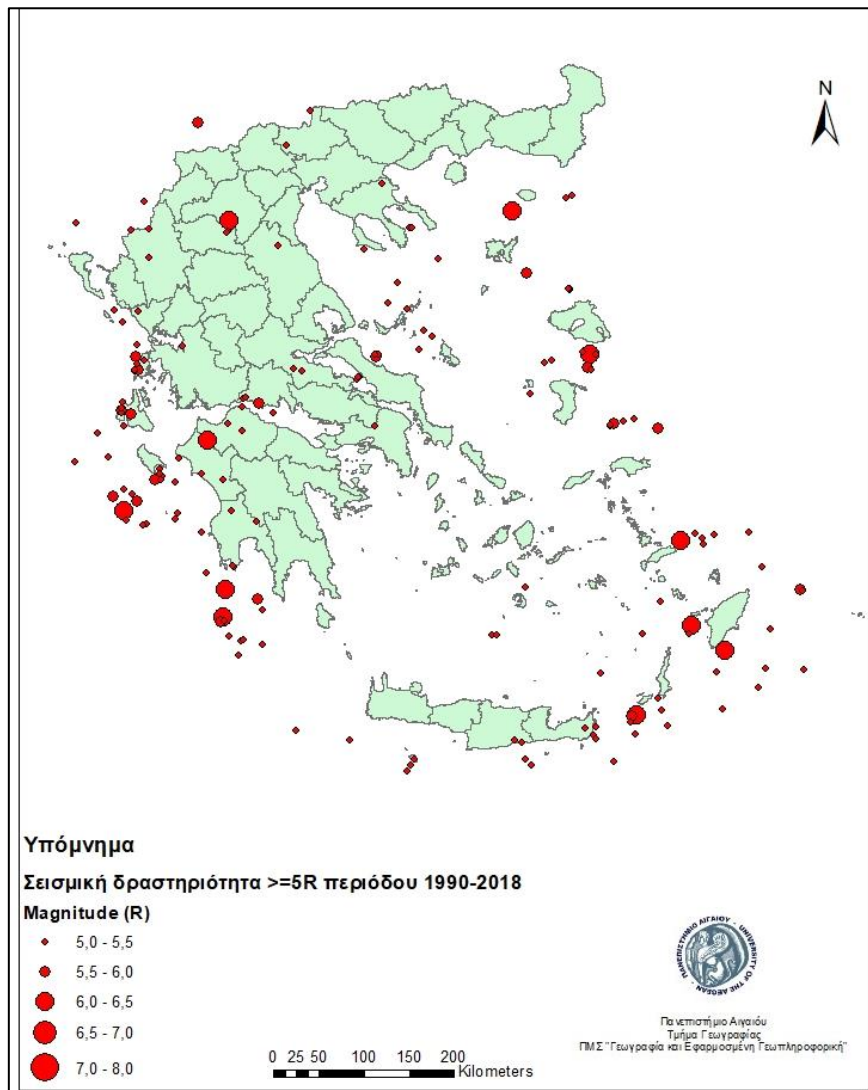
Επόμενο στάδιο της ανάλυσης, ήταν ο υπολογισμός του δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis–Ord  $G_i^*$ . Ο υπολογισμός έγινε για τα παρακάτω δεδομένα:

- Σεισμοί με μέγεθος 4-5 για την περίοδο 1990-σήμερα
- Σεισμοί με μέγεθος  $\geq 5$  για την περίοδο 1990 – σήμερα

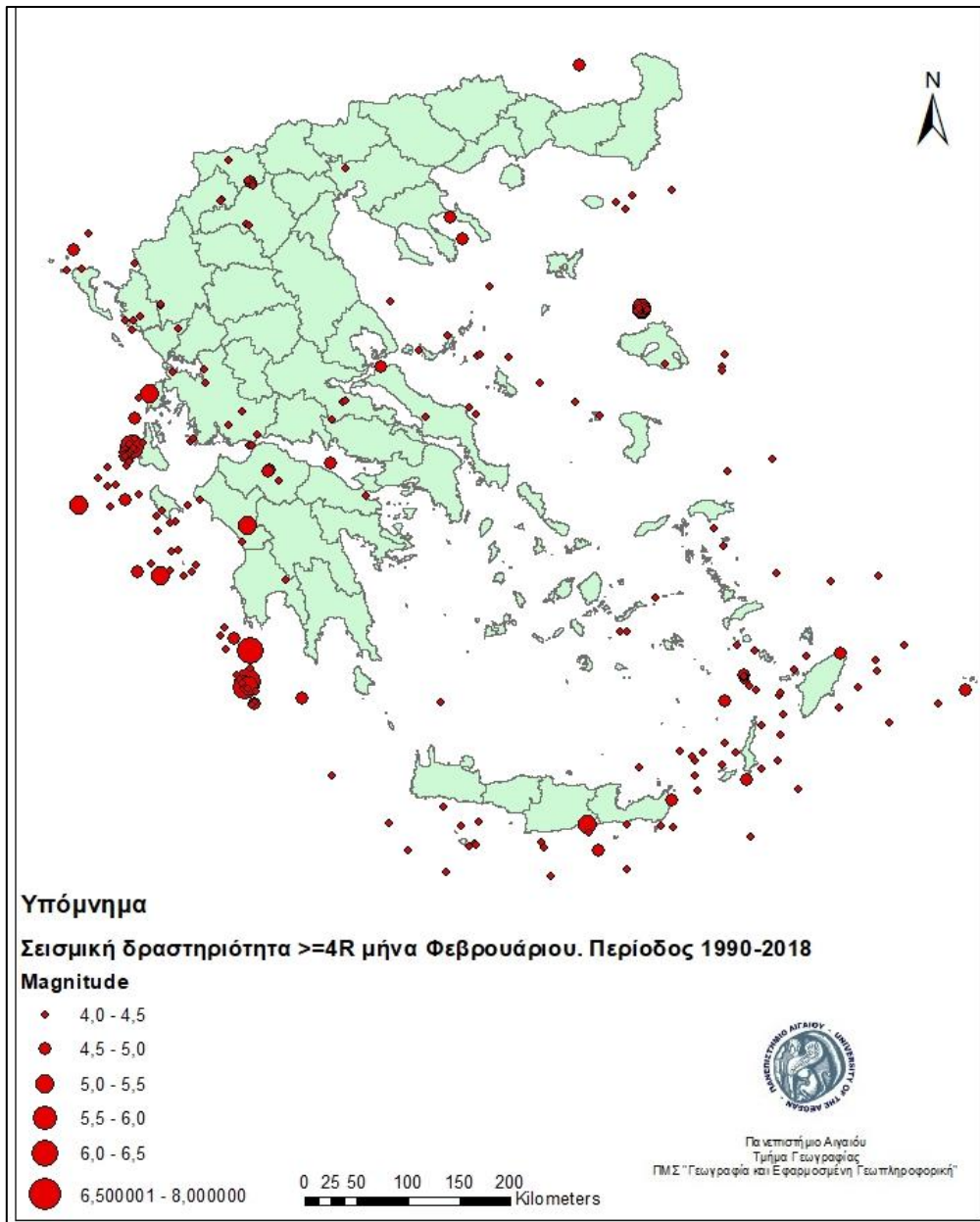
Τελικό στάδιο ήταν η δημιουργία ράστερ πυκνότητας για τους δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Αυτό έγινε με το εργαλείο Kernel Density του λογισμικού Arcmap, το οποίο δημιουργεί μία επιφάνεια με τιμές πυκνότητας δεδομένων χαρακτηριστικών, γύρω από τις τιμές παρατήρησης των χαρακτηριστικών αυτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος υπολογισμού της ακτίνας αναζήτησης και κατόπιν δημιουργείται μια ομαλή καμπυλωτή επιφάνεια γύρω από κάθε σημείο. Η υψηλότερη τιμή επιφάνειας αποδίδεται στο σημείο μέτρησης, και σταδιακά μειώνεται η τιμή αυτή για κάθε εικονοστοιχείο του raster καθώς αυξάνει η απόσταση από το κάθε σημείο, φτάνοντας τη τιμή μηδέν σε απόσταση ίση με την ακτίνα αναζήτησης. Η τελική τιμή πυκνότητας σε κάθε εικονοστοιχείο υπολογίζεται αθροίζοντας τις τιμές από όλες τις επιφάνειες πυρήνα, οι οποίες επικαλύπτουν το κέντρο του κάθε εικονοστοιχείου (ArcGIS Pro, 2018)

### Αποτελέσματα

Παρακάτω παρατίθενται οι χαρτογραφικές αποτυπώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

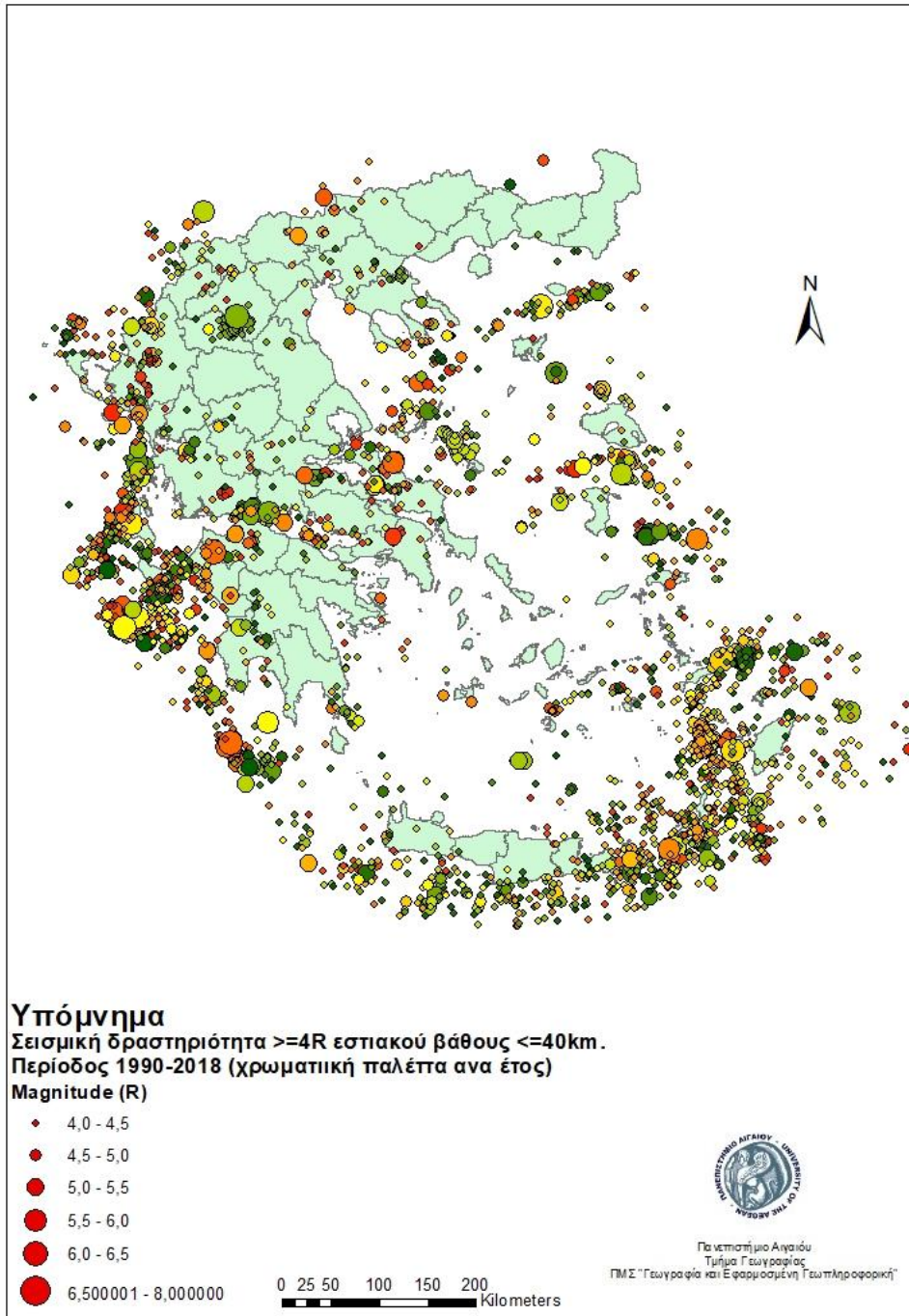


ΕΙΚΟΝΑ 4 ΣΕΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ  $\geq 5$  ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-ΣΗΜΕΡΑ

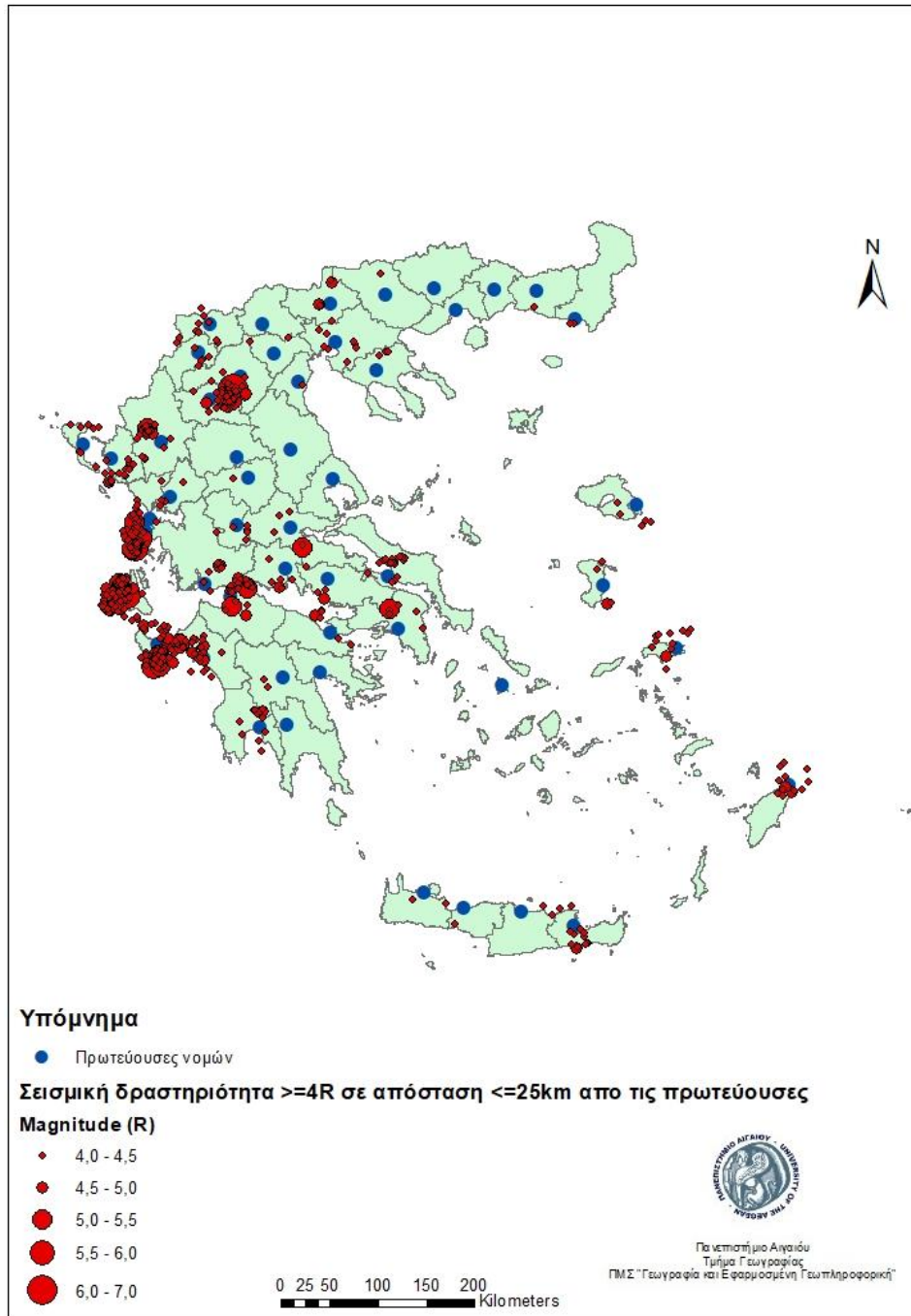


**ΕΙΚΟΝΑ 5 ΣΕΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ  $\geq 4$  ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ (1990 - ΣΗΜΕΡΑ)**

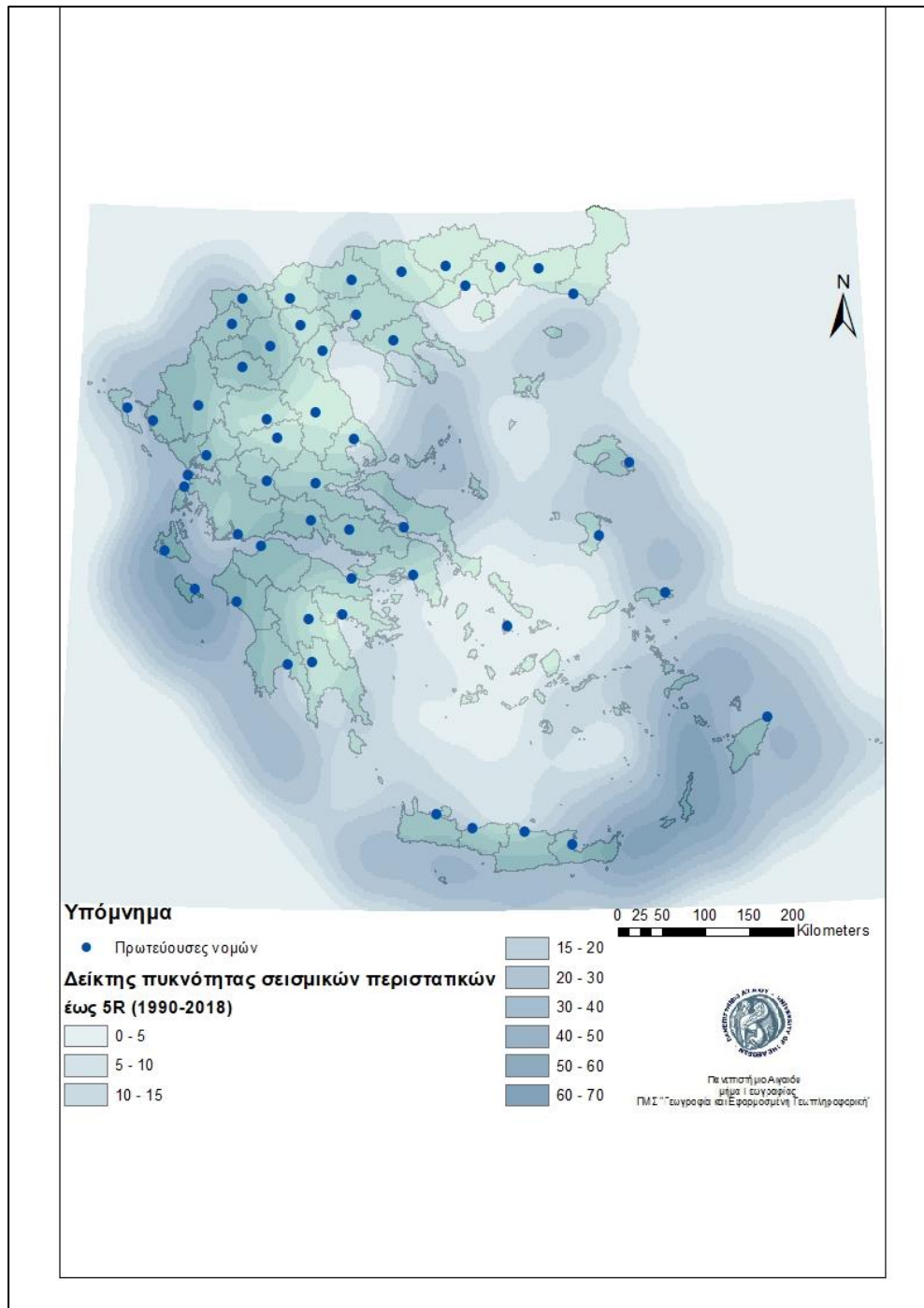




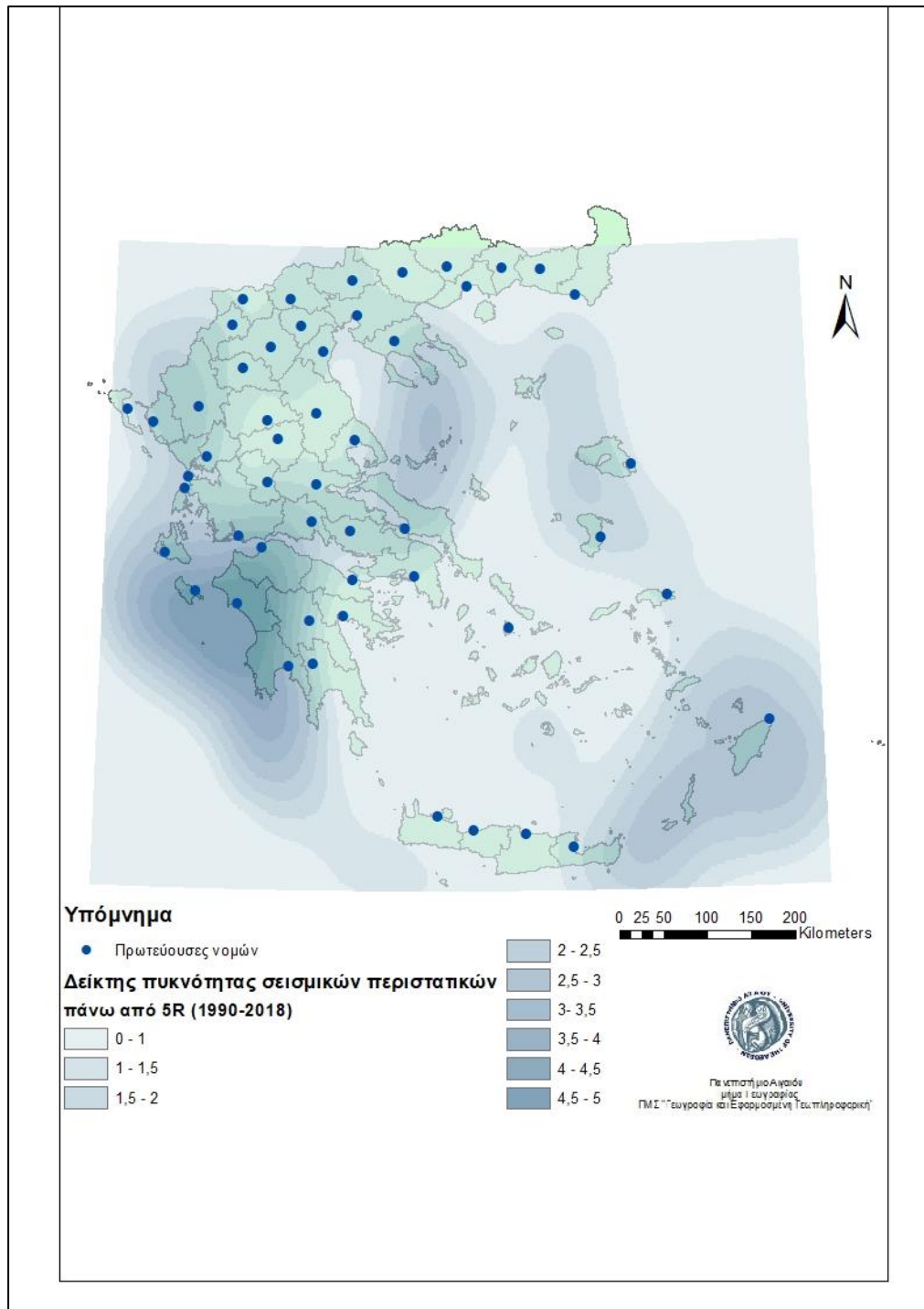
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΣΕΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ  $\geq 4$ , ΕΣΤΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ  $\leq 40\text{KM}$  ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-ΣΗΜΕΡΑ



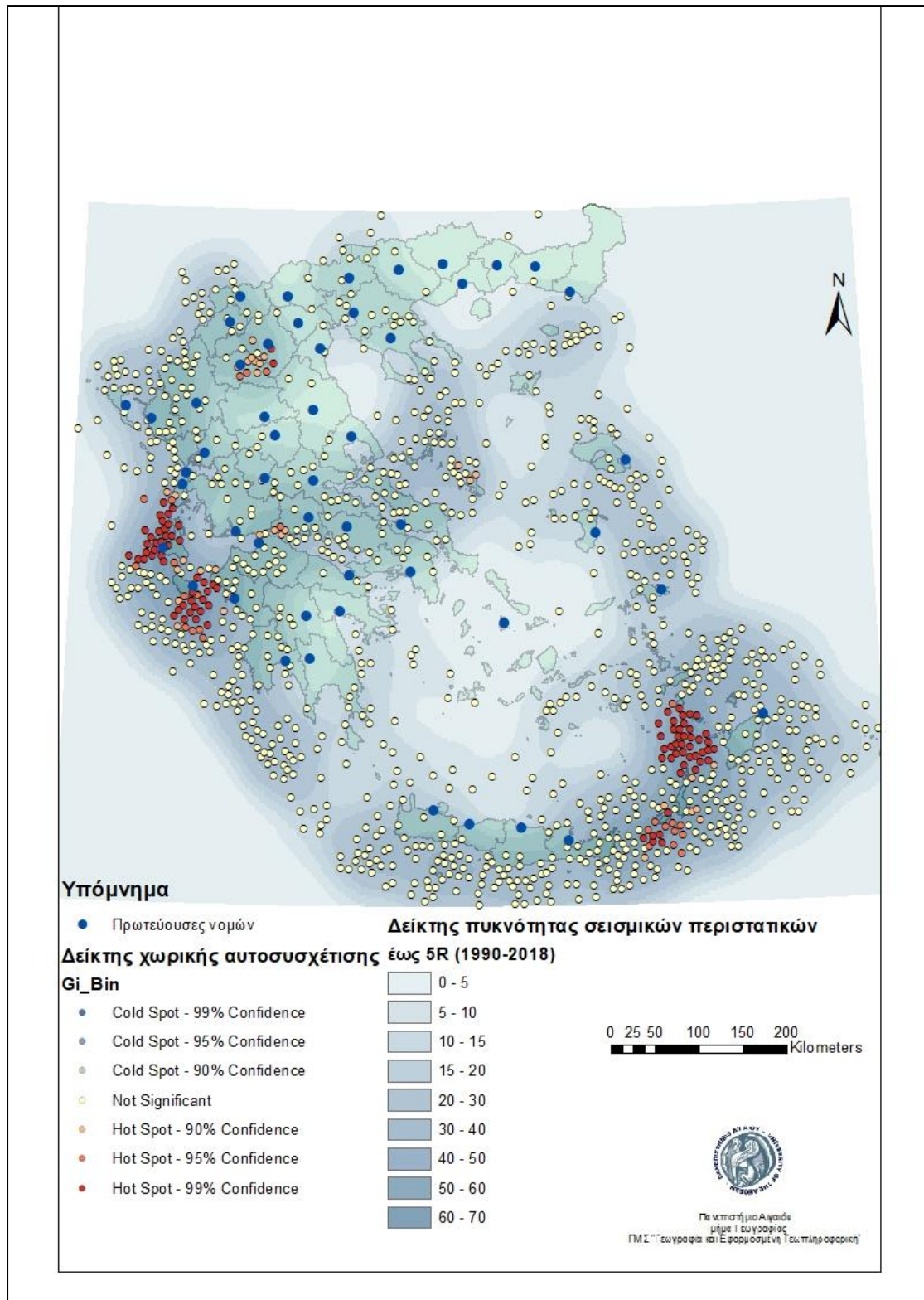
**ΕΙΚΟΝΑ 7 ΣΕΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ  $\geq 4R$  ΕΝΤΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ 25KM ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΥ**



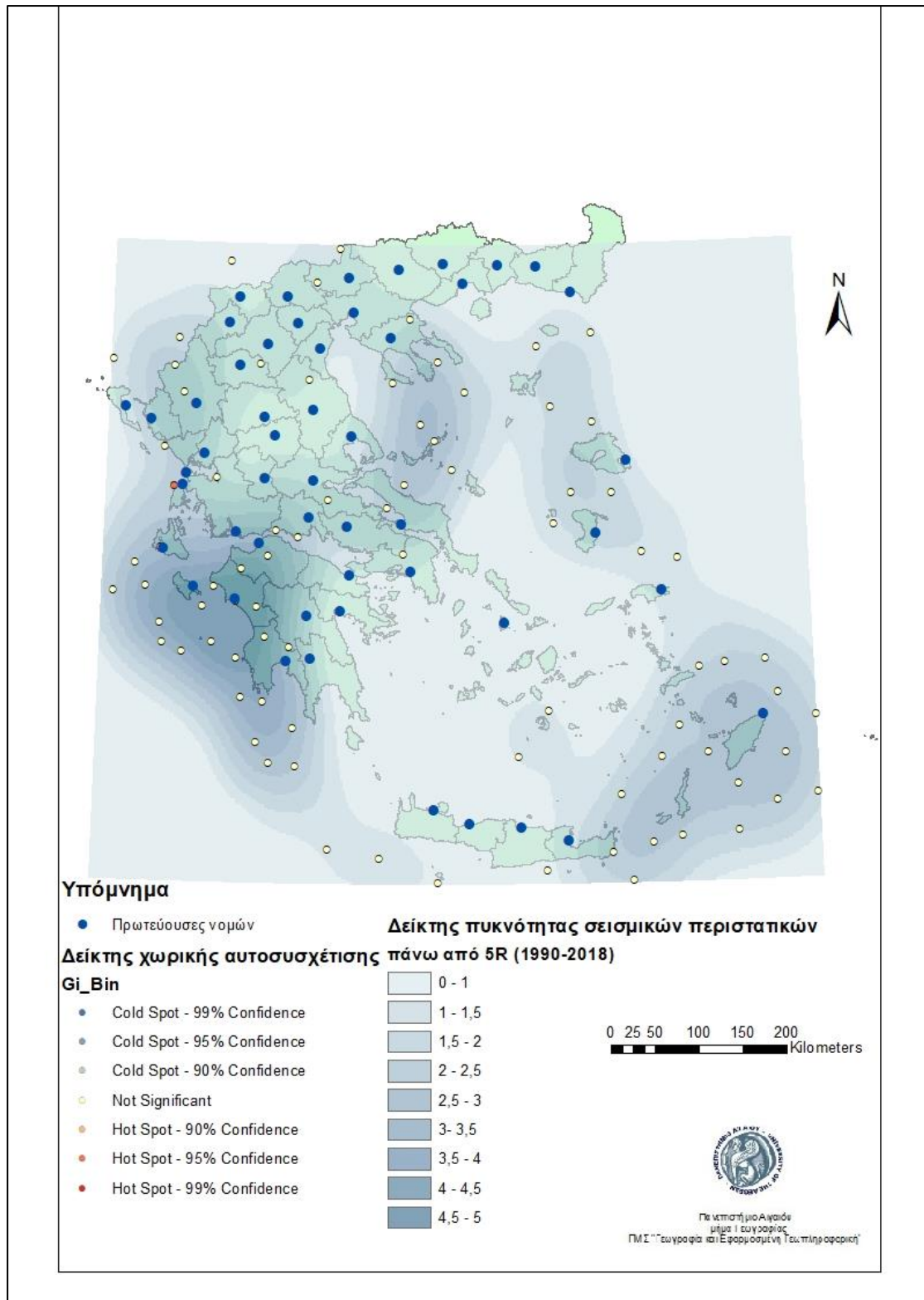
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ 4-5R ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-ΣΗΜΕΡΑ



ΕΙΚΟΝΑ 9 ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ  $\geq 5R$  ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990 – ΣΗΜΕΡΑ



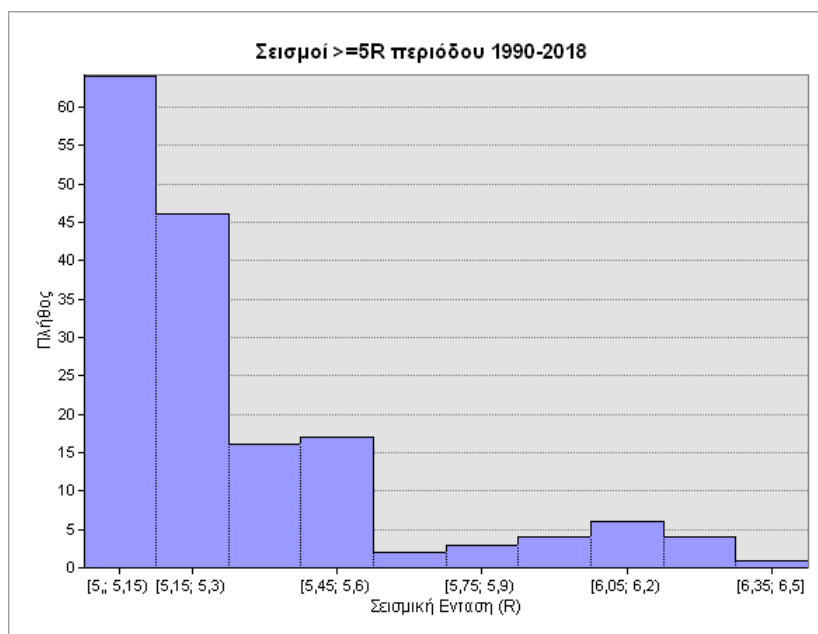
**ΕΙΚΟΝΑ 10** ΧΑΡΤΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΡΑΣΤΕΡ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥΣ  $\leq 5R$



**ΕΙΚΟΝΑ 11 ΧΑΡΤΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΡΑΣΤΕΡ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥΣ >5R**

## Συμπεράσματα

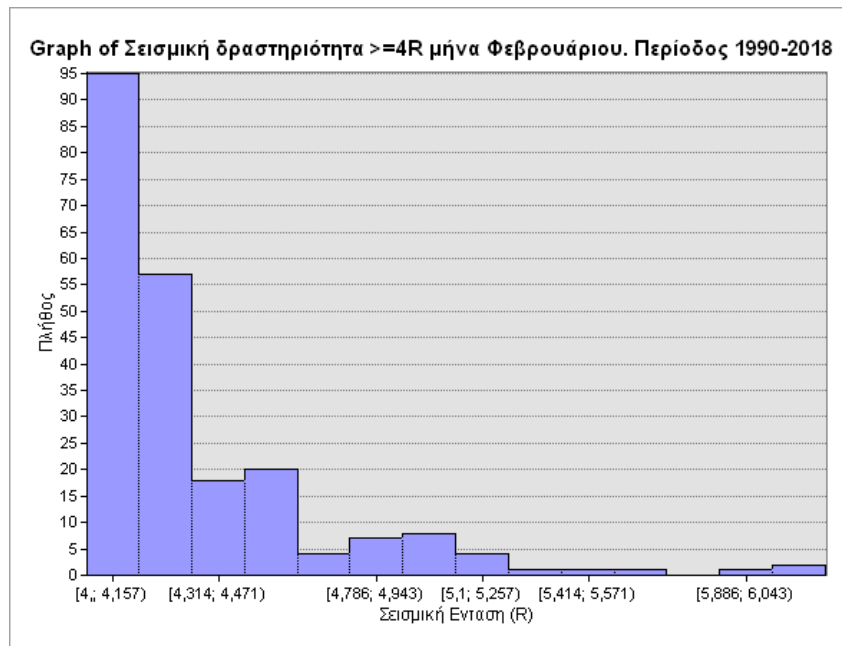
Οι χάρτες που προηγήθηκαν, απεικονίζουν την μεγάλη σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο.



**ΕΙΚΟΝΑ 12 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ 5R**

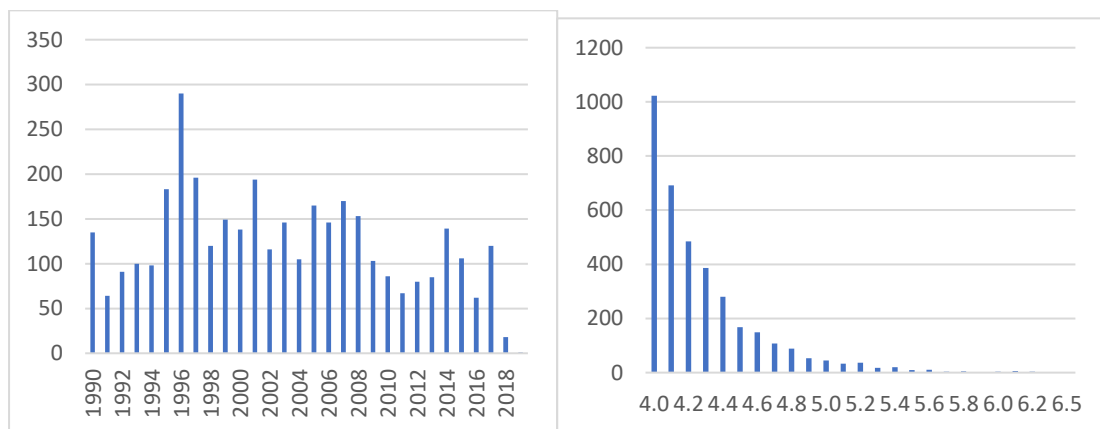
Όπως φαίνεται στην εικόνα 1 οι σεισμοί πάνω από 5R, μετά το 1990, ήταν αρκετοί (163) ενώ σύμφωνα με το ιστόγραμμα της εικόνας, η ένταση των περισσότερων ήταν μέχρι 5,6R. Ο μεγαλύτερης έντασης σεισμός ήταν μεγέθους 6,5R το 2008, 23.1 χμ ΑΒΑ της Ανδραβίδας Ηλείας (Πελοπόννησος).

Στο χάρτη 2 αποτυπώνονται οι σεισμοί πάνω από 4R οι οποίοι σημειώθηκαν το μήνα Φεβρουάριο. Εμφανίζονται 209 σεισμοί με κατανομή έντασης που δεν αποκλίνει από αυτή του συνόλου των σεισμών, γεγονός που μπορεί να ερμηνευτεί ότι δεν υπάρχει χρονική διάκριση στην εμφάνιση σεισμών.



**ΕΙΚΟΝΑ 13 ΠΛΗΘΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ (1990-2018)**

Ο πίνακας 3 απεικονίζει το σύνολο των σεισμών με εστιακό βάθος μικρότερο των 40km, πάνω από 4R, κατηγοριοποιημένους ανά έτος, Στην εικόνα 11 εμφανίζεται η συχνότητα σεισμών ανά έτος, από το 1990 μέχρι σήμερα.



Παρατηρείται μία γεωγραφική κατανομή των σεισμών που θα λέγαμε ότι καλύπτει ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο, με εξαίρεση την Θράκη, την περιοχή των κεντρικών Κυκλάδων και ένα τμήμα της Μακεδονίας. Παρόλα αυτά παρατηρούμε εύκολα ότι υπάρχει συσσώρευση σεισμικών περιστατικών σε δύο κύριες ζώνες, οι οποίες θα λέγαμε ότι συναντώνται μεταξύ τους στα νησιά του Ιονίου. Η μία ζώνη είναι παράλληλη στο Ελληνικό τόξο, και εκτείνεται από την Αλβανία, καλύπτει τα Επτάνησα, συνεχίζει νότια μέχρι την Κρήτη και φτάνει μέχρι την περιοχή των Δωδεκανήσων και τα παράλια της Μικράς Ασίας. Η δεύτερη ζώνη ξεκινάει από την βόρεια-ανατολική περιοχή του Αιγαίου και εκτείνεται νοτιο-δυτικά μέχρι την Βόρεια Εύβοια, την Θεσσαλία, βόρεια Πελοπόννησο, έως τα Επτάνησα. Η ταύτιση του χωρικού μοτίβου των σεισμών με τις γεωλογικές μεταβολές του χώρου, όπως φαίνονται στον χάρτη 1 είναι ευδιάκριτη.



Σε απόσταση 25km από τα κέντρα των πρωτεύουσών των νομών, κατά το χρονικό διάστημα 1990 έως σήμερα, παρατηρούνται 602 σεισμοί. Υπάρχουν πρωτεύουσες νομών (όπως στα Επτάνησα, την κεντρική Μακεδονία, την Στερεά Ελλάδα κα) όπου υπάρχει ιστορικό πολλών σεισμών στην γύρω περιοχή. Το γεγονός αυτό προφανώς κάνει επιτακτική την ανάγκη τήρησης των κανόνων αντισεισμικού σχεδιασμού στην ανέγερση κτηρίων στις πόλεις αυτές, ακόμα περισσότερο.

Κατά το τελικό στάδιο της εργασίας υπολογίστηκαν οι δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης. Από τους δείκτες αυτούς προέκυψαν και οι χάρτες πυκνότητας σεισμικής δραστηριότητας (εικόνες 5,6). Οι χάρτες των εικόνων 7 και 8 απεικονίζουν με υπέρθεση και τα δύο δεδομένα (δείκτες και πυκνότητα). Εδώ φαίνεται η ταύτιση σε πολύ μεγάλο βαθμό των ζωνών επικινδυνότητάς (εικόνα 2), με τις ζώνες υψηλής πυκνότητας. Η περιοχή των Επτανήσων (Κεφαλλονιά, Λευκάδα, νότια Ζάκυνθος αλλά και η περιοχή ανατολικά της Ρόδου εμφανίζει hot spots για σεισμούς 4 έως 5R ενώ για σεισμούς μεγαλύτερους των 5R, αυξημένη επικινδυνότητα εμφανίζει μόνο η περιοχή στα βόρεια της Λευκάδας.

## Βιβλιογραφία

- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A., & See, L. (2014). A spatial statistical analysis of the occurrence of earthquakes along the Red Sea floor spreading: Clusters of seismicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2893–2904. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0974-6>
- ArcGIS Pro. (2018). ArcGIS Pro tool reference. Retrieved June 21, 2018, from <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Kalogirou, S. (2015). *Χωρική Ανάλυση: Μεθοδολογία και Εφαρμογές με τη γλώσσα R*.
- McKenzie, D. P. (1970). Plate Tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226, 239. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/226239a0>
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P. . (1970). Geophysical features of the Greek Island Arc and Eastern Mediterranean Ridge. In *Com. Ren. des Seances de la Conference Reunie a Madrid, 1969* (pp. 74–75).
- Κοινωνία της Πληροφορίας Α.Ε. (2016). Πόλεις - Open Data Epirus. Retrieved June 20, 2018, from [http://www.opendataepirus.gr/dataset/v\\_poleis/resource/f27f90e5-0c72-43fb-af0c-8fd0b090142f](http://www.opendataepirus.gr/dataset/v_poleis/resource/f27f90e5-0c72-43fb-af0c-8fd0b090142f)
- Ο.Α.Σ.Π. (2018). Σεισμοί και Ελλαδικός Χώρος. Retrieved June 21, 2018, from <http://www.oasp.gr/node/207>
- Χάρτες - Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. (2018). Retrieved June 20, 2018, from <http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/xartes>