



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διατριβή στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος:

Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική

με θέμα :

**«Ανάλυση Σεισμικής Δραστηριότητας στη Δυτική
Κρήτη και Ανάδειξη Περιοχών Κατάλληλων για
Ανέγερση Έργων Μεγάλης Κλίμακας με χρήση GIS»**

του Δημητράκη Βασίλειου

Επιβλέπουσα:

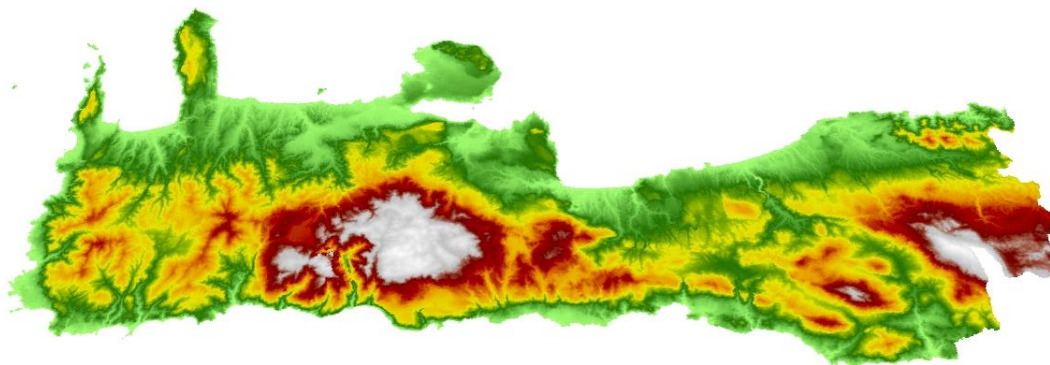
Τσουχλαράκη Ανδρονίκη, Επίκουρη Καθηγήτρια Π.Κ.

Τριμελής Επιτροπή:

Καρατζάς Γεώργιος

Τσουχλαράκη Ανδρονίκη

Κουργιαλάς Νεκτάριος



XANIA

Ιούνιος 2014

Αφιερώνεται σε όσους
αγωνίζονται για ένα καλύτερο
αύριο.

Περίληψη

Με αφορμή τη διαχρονική και εντατική ενασχόληση των επιστημόνων με το σεισμικό φαινόμενο και τις φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές του συνέπειες, σε συνδυασμό με την κομβικής σημασίας θέση του ελληνικού χώρου, επιχειρείται με την παρούσα εργασία να παρουσιασθεί η δυνατότητα που παρέχει η χρήση των υφιστάμενων και συνεχώς αναπτυσσόμενων γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στη μελέτη του σεισμικού φαινομένου. Παράλληλα αναδεικνύεται ο ρόλος των ΓΣΠ στη λήψη μέτρων που στόχο έχουν τη μείωση των επιπτώσεων, περιβαλλοντικών και μη, που επιφέρει μία φυσική καταστροφή.

Μετά από μία σύντομη επισκόπηση στα ΓΣΠ και τις εφαρμογές τους, την παρουσίαση της περιοχής μελέτης που αποτελείται από τις Περιφερειακές Ενότητες Ρεθύμνου και Χανίων και την παράθεση των σχετικών στοιχείων GIS, επιχειρείται η ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας της υπό εξέταση περιοχής με τη χρήση στατιστικών και γεωχωρικών εργαλείων. Στη συνέχεια, εντοπίζονται κατάλληλες περιοχές για τη δημιουργία έργων μεγάλης κλίμακας, οι οποίες πληρούν τέτοιες προϋποθέσεις που προσδίδουν χαρακτηριστικά ασφάλειας από τις καταστρεπτικές συνέπειες ενδεχόμενης ισχυρής σεισμικής δόνησης.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου αξιοποιούνται βασικές αρχές της σεισμολογίας, το ισχύον θεσμικό πλαίσιο καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Δημιουργούνται χάρτες που αποτυπώνουν αποτελέσματα του εγχειρήματος με την παράθεση των απαιτούμενων στατιστικών στοιχείων. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και τίθεται μια βάση προβληματισμού για πιθανή μελλοντική έρευνα.

Abstract

The Seismic phenomenon and the natural, social and economic consequences that it infers, is a field of continuous and intensive research especially in areas with intense seismic activity such as Greece. The present study intends to highlight the vast potential of using the geographic information systems (GIS) in the study of the seismic phenomenon and its associated aspects. In addition, it presents the key-role that GIS can pay in the process of implementing measures to mitigate the ramifications, environmental or not, that are being involved in the event of a natural disaster.

A brief overview over the general possibilities and applications of GIS is provided followed by the basic principles of seismology and the attenuation equations that are being used in the present framework. The area of interest (Western Crete) which practically consists of the prefectures of Chania and Rethymno is therefore presented as is the entire GIS data used to complete the goals of this study.

An analysis of the seismic activity is then conducted using not only geo-spatial (through the GIS) but also statistical tools. Many aspects of the seismic activity are being investigated such as the density and depth of the seismic events, the maximum observed ground acceleration etc. Moreover, suitable areas are being located which fulfill certain criteria, considering the current institutional frame, and hence exhibit safety in case of a strong ground motion seismic event. Various maps and graphs have been created, that depict the results of the afore-mentioned objectives, which are analyzed ad hoc in every section. The findings and results of this framework indicate that it can form a basis for future research either by including a larger territory or by providing guidance and interacting in the process of decision-making when it comes to protection from natural causes.

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική» της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η εργασία πραγματεύεται, το διαχρονικά ενδιαφέρον, φυσικό φαινόμενο της σεισμικής διέγερσης υπό την έννοια της σεισμικής δραστηριότητας, σε συνδυασμό με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφορίας (ΓΣΠ) και συγκεκριμένα του ARCGIS της ESRI, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένα από τα ταχέως ανερχόμενα «εργαλεία» χωρικής ανάλυσης των τελευταίων χρόνων, σε ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό επιστημονικών πεδίων.

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Τσουχλαράκη Ανδρονίκη για τη βοήθεια και την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της καθώς και τον εν δυνάμει συνάδελφο κ. Καραγιαννάκη Μάριο για τα καίρια σχόλια του, που συνέβαλαν σημαντικά στην αρτιότερη ανάδειξη αρκετών σημείων της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Γιάννη τη Μητέρα μου Χαρίκλεια και τη γιαγιά μου Ελένη για την ηθική υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια αυτού του μακρινού και επίπονου δρόμου.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών -ΓΣΠ.....	14
1.1 Γενικά περί ΓΣΠ	14
1.2 Δομή των ΓΣΠ.....	15
1.3 Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες των ΓΣΠ.....	16
1.4 Εφαρμογές των ΓΣΠ	20
1.5 Σύντομη Περιγραφή του Προγράμματος ArcGis	21
Κεφάλαιο 2. Σεισμολογία και Σεισμική Επικινδυνότητα	23
2.1 Γενικές Αρχές.....	23
2.1.1 Το Σεισμικό Φαινόμενο	23
2.1.2 Η Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών.....	25
2.2 Κλίμακες Μεγέθους – Έντασης των Σεισμών.....	28
2.2.1 Μέγεθος Σεισμού.....	28
2.2.2 Σεισμική Ένταση	31
2.2.3 Συσχέτιση Σεισμικού Μεγέθους και Έντασης.....	35
2.3 Η Σεισμικότητα στον Ελλαδικό Χώρο	37
2.4 Σεισμική Επικινδυνότητα	43
2.4.1 Ορισμοί.....	43
2.4.2 Αντισεισμικός Σχεδιασμός.....	44
2.4.3 Το Νομικό Πλαίσιο στην Ελλάδα (NEAK-2000)	46
Κεφάλαιο 3. Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα GIS.....	51
3.1 Η Περιοχή Μελέτης	51
3.1.1 Γενικά	51
3.1.2 Η Περιφερειακή Ενότητα Χανίων	58
3.1.3 Η Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου	60
3.2 Τα Δεδομένα GIS	62
3.2.1 Δεδομένα Γενικής Φύσεως.....	62
3.2.2 Δεδομένα Προσανατολισμένα στη Σεισμική Δραστηριότητα.....	64
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση Σεισμικής Δραστηριότητας	72
4.1 Στατιστικά Στοιχεία	72
4.2 Χωρική Ανάλυση	77
4.2.1 Σεισμική Δραστηριότητα.....	77
4.2.2 Εστιακό Βάθος	80
4.2.3 Πληθυσμός σε Κίνδυνο	81
4.2.4 Ιστορικά Μέγιστη Ένταση και Εδαφική Δόνηση	82
4.2.5 Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση από Μείζον Ρήγμα	84
Κεφάλαιο 5. Ανάδειξη Περιοχών Κατάλληλων για Ανέγερση Έργων Μεγάλης Κλίμακας	88
5.1 Βασικό Σενάριο	89
5.2 Συντηρητικό Σενάριο	91

5.3	Ανάλυση των Αποτελεσμάτων	92
Κεφάλαιο 6.	Συμπεράσματα - Προτάσεις	96
6.1	Συμπεράσματα	96
6.2	Προτάσεις.....	99
Βιβλιογραφία	101
Παράρτημα Α :	Χάρτες Σεναρίων	105
Παράρτημα Β:	Λοιποί Χάρτες	109
Παράρτημα C.	Κλίμακες EMS-98 & ESI 2007	112

Περιεχόμενα Εικόνων

ΣΕΛ

Εικόνα 1-1: Διαδικασία Χρήσης ενός GIS	15
Εικόνα 1-2 Οι τρεις βασικοί τύποι γεωμετριών: Γραμμή, Σημείο, Πολύγωνο	17
Εικόνα 1-3: Μοντέλο σχεσιακής βάσης δεδομένων διαφόρων θεματικών επιπέδων – Layers	18
Εικόνα 1-4 Εφαρμογές των GIS.	21
Εικόνα 2-1 Χαρακτηριστικά σεισμικού φαινομένου	23
Εικόνα 2-2: Είδη Ρηγμάτων	24
Εικόνα 2-3: Η δομή του εσωτερικού της Γης	26
Εικόνα 2-4: Κίνηση Λιθοσφαιρικών πλακών	27
Εικόνα 2-5: Ολίσθηση και σύγκλυση Λιθοσφαιρικών πλακών	27
Εικόνα 2-6: Η Λιθόσφαιρα της Γης αποτελούμενη από 7 μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βορειο-Αμερικανική, Νοτιο-Αμερικανική) και αρκετές μικρότερες. Οι πλάκες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις.	28
Εικόνα 2-7: Κλίμακα Έντασης MM	32
Εικόνα 2-8: Παράδειγμα Ισόσειστων καμπύλων για τον σεισμό της Αμοργού το 1956	34
Εικόνα 2-9: Το Ελληνικό Τόξο	39
Εικόνα 2-10: Το Ελληνικό Τόξο σε τομή διεύθυνσης B-N	40
Εικόνα 2-11: Στερεογραφικό σκαρίφημα που δείχνει τη βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατικό περιθώριο στο χώρο του Νοτίου Αιγαίου κατά Angelier, 1979)	41

Εικόνα 2-12: Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Με τα κόκκινα βέλη οι συμπιεστικές δυνάμεις που ασκούν οι γειτονικές πλάκες στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Με τα κίτρινα βέλη οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας, κατά Παπαζάχος, Β., 1989.	42
Εικόνα 2-13 : Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλακών στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού - Αιγαιακού Τόξου και του Κυπριακού Τόξου, κατά Παπαζάχος 2001	42
Εικόνα 2-14: Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας	47
Εικόνα 6-1: Conservative σενάριο (έντονη πράσινη γραμμή) και μέγιστη ιστορικά PGA στο GoogleEarth	98

Περιεχόμενα Πινάκων

ΣΕΛ

Πίνακας 2-1: Τροποποιημένη κλίμακα σεισμικής έντασης Mercalli (MMI-Modified Mercalli Intensity)	32
Πίνακας 2-2: Συσχέτιση των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων κλιμάκων έντασης	33
Πίνακας 2-3: Σχέση Μεγέθους και έντασης της κλίμακας Modified Mercalli (MM)	36
Πίνακας 2-4: Συσχέτιση Έντασης – Μεγέθους – PGA	36
Πίνακας 2-5: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτιρίων	49
Πίνακας 2-6: Κατηγοριοποίηση εδαφών σύμφωνα με τον NEHRP	49
Πίνακας 2-7: Τύποι εδαφών σύμφωνα με τον EC8	50
Πίνακας 3-1: Περιοχές Natura 2000 Π.Ε. Χανίων	60
Πίνακας 3-2: Περιοχές Natura 2000 Π.Ε. Ρεθύμνου	61
Πίνακας 3-3: Τα Μείζονα ενεργά Ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης	69
Πίνακας 5-1: Αποστάσεις και αντίστοιχη μείωση της μακροσεισμικής έντασης στην απόσταση αυτή από το επίκεντρο του σεισμού	91
Πίνακας 5-2: Συσχέτιση Έντασης και μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης	92
Πίνακας 5-3: Η κατανομή της έκτασης για τα δύο σενάρια ανά περιοχή ενδιαφέροντος	93
Πίνακας 5-4: Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή της πυκνότητας σεισμικής δραστηριότητας ανά περιοχή ενδιαφέροντος	95

Περιεχόμενα Χαρτών

ΣΕΛ

Χάρτης 2-1: Σεισμική δραστηριότητα στην Ευρώπη τη τελευταία χιλιετηρίδα.....	38
Χάρτης 3-1: Διοικητική διαίρεση της Περιοχής Μελέτης με το σχέδιο Καλλικράτη.....	52
Χάρτης 3-2: Ανάγλυφο της περιοχής και θέση των Οικισμών στη Δυτική Κρήτη.....	53
Χάρτης 3-3: Χάρτης κάλυψης Γης Corine 2000.....	56
Χάρτης 3-4: Περιοχές Natura 2000.....	58
Χάρτης 3-5: Σημαντικοί Σεισμοί στη διευρυμένη περιοχή μελέτης (1900 – 2013)	65
Χάρτης 3-6: Μικροσεισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Δυτ. Κρήτης (1964 – 2013).....	66
Χάρτης 3-7: Τα Ρήγματα της στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	68
Χάρτης 3-8: Ζώνη υποβύθισης ελληνικού τόξου (Subduction Zone)	70
Χάρτης 3-9: Η μέση ταχύτητα Vs30 στην περιοχή μελέτης.....	71
Χάρτης 4-1: Συγκέντρωση σεισμικής δραστηριότητας των σημαντικών σεισμών (1900-2013)	78
Χάρτης 4-2: Συγκέντρωση σεισμικής δραστηριότητας των μικροσεισμών (1964 – 2013)	79
Χάρτης 4-3: Εκτιμώμενο σεισμικό εστιακό βάθος στην περιοχή μελέτης και την εγγύς θαλάσσια περιοχή.....	80
Χάρτης 4-4: Οικισμοί και Ρήγματα.....	81
Χάρτης 4-5: Μέγιστη παρατηρούμενη μακροσεισμική ένταση από σεισμούς με μέγεθος (Mw) ≥ 5 (1900-2013).....	83
Χάρτης 4-6: Μέγιστη παρατηρούμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA – Peak Ground Acceleration) για την περιοχή μελέτης (1900-2013)	84
Χάρτης 4-7: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους Mw = 5,5 από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.....	86
Χάρτης 4-8: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους Mw = 6,0 από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.....	86
Χάρτης 4-9: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους Mw = 6,5 από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.....	87

Χάρτες Παραρτήματος

Χάρτης 0-1: Το Βασικό Σενάριο σε σχέση με την κάλυψη Γης.....	105
Χάρτης 0-2: Το Βασικό Σενάριο σε σχέση με τη Σεισμική Δραστηριότητα.....	106
Χάρτης 0-3: Το συντηρητικό Σενάριο σε σχέση με τη Κάλυψη Γης.....	107
Χάρτης 0-4: Το Συντηρητικό Σενάριο σε σχέση με τη Σεισμική Δραστηριότητα.....	108
Χάρτης 0-5: Πυκνότητα Πληθυσμού στη Δυτική Κρήτη.....	109
Χάρτης 0-6: Το οδικό δίκτυο της Δυτικής Κρήτης.....	110
Χάρτης 0-7: Η Γεωλογία της Περιοχής Μελέτης.....	111

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων - Γραφημάτων	ΣΕΛ
Διάγραμμα 4-1: Ιστόγραμμα σημαντικών σεισμών.....	73
Διάγραμμα 4-2: Ιστόγραμμα μικροσεισμών.....	73
Διάγραμμα 4-3: Πλήθος σεισμικών γεγονότων ανά δεκαετία.	74
Διάγραμμα 4-4: Μέγεθος σεισμών ανά δεκαετία	74
Διάγραμμα 4-5: Συσχέτιση Μεγέθους – Βάθους για τους σημαντικούς σεισμούς.....	76
Γράφημα 4-1: Βάθος σεισμών στην περιοχή μελέτης	76
Γράφημα 5-1: Κατηγορίες και ποσοστά για την κάλυψη Γης του βασικού σεναρίου.....	94
Γράφημα 5-2: Κατηγορίες και ποσοστά για την κάλυψη Γης του συντηρητικού σεναρίου	94

Εισαγωγή

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο άρρηκτα συνδεδεμένο με τη ζωή και την ιστορία της γης που τις περισσότερες φορές εκδηλώνεται ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση. Ο ελληνικός χώρος, που βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα, είναι από την αρχαιότητα χώρος μεγάλης σεισμικής δραστηριότητας. Το γεγονός αυτό οδήγησε σεισμολόγους, γεωφυσικούς αλλά και αρκετούς μηχανικούς να ασχολούνται εντατικά και διαχρονικά με το σεισμικό φαινόμενο και τις φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές του συνέπειες.

Είναι σαφές ότι σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, με έντονη σεισμική δραστηριότητα, οφείλει η πολιτεία μέσω διεπιστημονικής συνεργασίας να εξασφαλίζει ένα αξιόπιστο και έγκυρο πλαίσιο αντισεισμικού σχεδιασμού με την προώθηση δικτυακού συστήματος συλλογής, αξιολόγησης και αξιοποίησης πληροφοριών για τη σεισμικότητα, τη σεισμική επικινδυνότητα, τη γεωλογία και τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά κτλ. των διαφόρων περιοχών. Το θεσμικό αυτό πλαίσιο για τη χώρα μας αποτυπώνεται στον κανονισμό NEAK 2000 (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000), ο οποίος αν και δημιουργήθηκε σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (Eurocode-8) εμπεριέχει σε ορισμένα σημεία του αρκετές ασάφειες.

Κανονισμοί όπως ο NEAK θεσπίζονται με βάση την αρχή της πρόληψης, που αποτελεί βασική αρχή του δικαίου (ιδιαίτερα του δικαίου του Περιβάλλοντος) σε περιπτώσεις επιστημονικής αβεβαιότητας. Αυτό είναι λογικό, καθώς παρά τον σχεδόν ένα αιώνα επιστημονικής ενασχόλησης με το σεισμικό φαινόμενο, υπάρχει η πεποίθηση ακόμα ότι αρκετά σημεία του φαινομένου αυτού μας είναι άγνωστα και δεν υπάρχει η δυνατότητα να προβλεφθεί η θέση και το μέγεθος των σεισμικών γεγονότων. Παρόλα αυτά η αξιοποίηση της κατάλληλης πληροφορίας καθώς και των τεχνολογικών μέσων μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στη απομείωση του σεισμικού κινδύνου.

Σε αυτό το πλαίσιο κινείται και η παρούσα διπλωματική διατριβή που με στόχο τον προσδιορισμό και την πρόληψη των δυσμενών συνεπειών σεισμών μεγάλου μεγέθους επιχειρεί, με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή Geographical Information System (GIS) και συγκεκριμένα του ARCGIS 10.1, να αναλύσει τη σεισμική δραστηριότητα της Δυτικής Κρήτης η οποία ορίζεται και ως περιοχής μελέτης. Παράλληλα, συνεκτιμώντας τις διάφορες πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, αναδεικνύονται τοποθεσίες που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ασφαλείς ή ασφαλέστερες από άλλες αναφορικά με τις επιπτώσεις των σεισμικών γεγονότων. Οι τοποθεσίες αυτές ικανοποιούν ταυτόχρονα κριτήρια γεωμορφολογικής και δημογραφικής φύσεως, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για την ανέγερση έργων μεγάλης κλίμακας κοινωνικού ή/και στρατιωτικού ενδιαφέροντος.

Η εργασία αποτελείται συνολικά από έξι (6) Κεφάλαια, ξεκινώντας αρχικά με μία σύντομη αναφορά στα ΓΣΠ και τις εφαρμογές που προκύπτουν από τη αξιοποίηση αυτών.

Στη συνέχεια, αναπτύσσονται βασικοί όροι και αρχές της σεισμολογίας, τίγονται θέματα σεισμικής επικινδυνότητας, αντισεισμικής προστασίας και το νομικό πλαίσιο που τα διέπει. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης που αποτελείται από τις Περιφερειακές ενότητες Ρεθύμνου και Χανίων και παρατίθενται όλα τα σχετικά στοιχεία GIS που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής. Αμέσως μετά επιχειρείται η ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητα της υπό εξέταση περιοχής με τη δημιουργία κατάλληλων χαρτών και την παράθεση στατιστικών στοιχείων. Ακολουθεί η παρουσίαση σεναρίων για την ανάδειξη περιοχών με χαμηλή σεισμική επικινδυνότητα που πληρούν τις προϋποθέσεις, όπως αυτές προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων, παρατίθενται στατιστικά στοιχεία για τις περιοχές αυτές και περιγράφεται πλήρως η τεχνική διαδικασία που εφαρμόστηκε. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα του εγχειρήματος και προτείνονται θέματα προβληματισμού για πιθανή μελλοντική έρευνα.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάδειξη των δυνατοτήτων ενός συστήματος που θα βασίζεται στα ΓΣΠ και θα αξιοποιεί γεωσεισμολογικά δεδομένα με σκοπό την υποστήριξη των αναγκαίων μέτρων και αποφάσεων στο πλαίσιο του αντισεισμικού σχεδιασμού μιας περιοχής. Παράλληλα, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για τη λειτουργία ενός συστήματος εξαγωγής γενικότερων συμπερασμάτων που δύναται να συνδράμει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τη μείωση των επιπτώσεων, περιβαλλοντικών και μη, που επιφέρει μία φυσική καταστροφή στον άνθρωπο και στο δομημένο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - ΓΣΠ

1.1 Γενικά περί ΓΣΠ

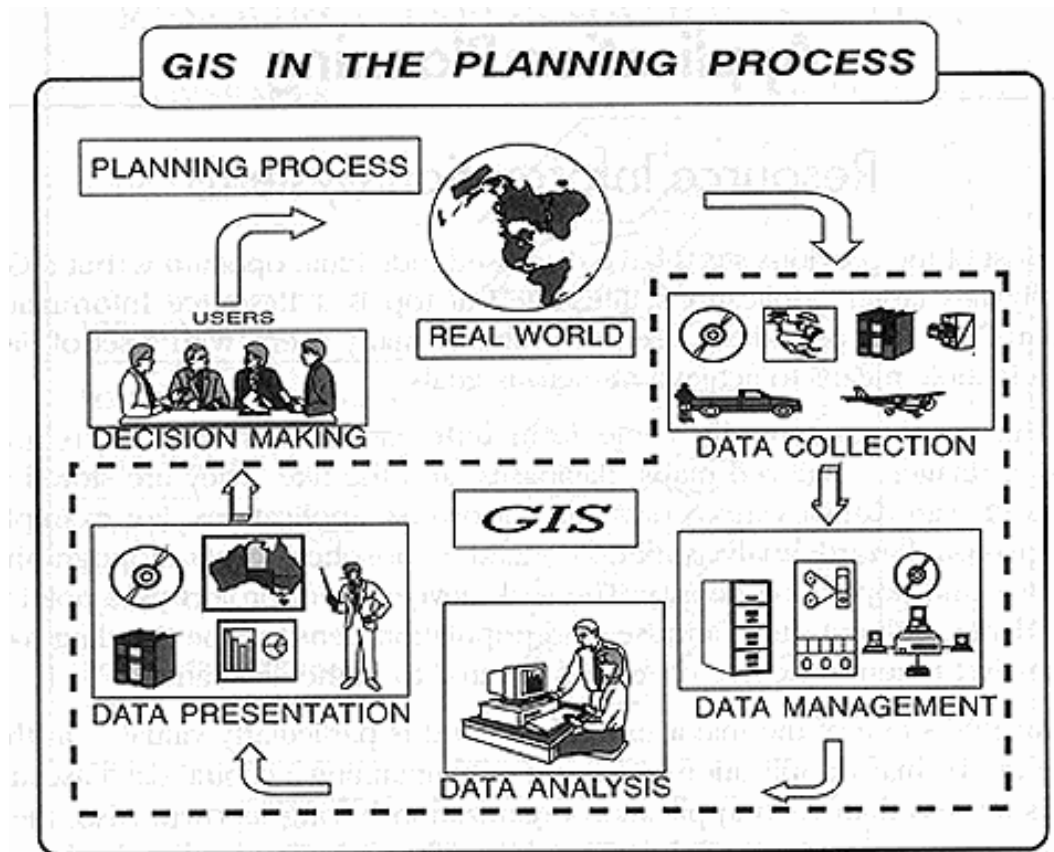
Τις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη της τεχνολογίας είναι ραγδαία και η πληροφορία αποτελεί κύριο προϊόν. Οι καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου, από τις πιο απλές μέχρι τις πλέον σύνθετες, είναι τις περισσότερες φορές συνυφασμένες με την έννοια του χώρου. Σχεδόν όλες οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε κυβερνητικό ή επιστημονικό επίπεδο επηρεάζονται, περιορίζονται ή ακόμη και υπαγορεύονται από κάποιο γεωγραφικό χαρακτηριστικό. Οι αποφάσεις λαμβάνονται μετά από εκτίμηση διαφόρων δεδομένων που χαρακτηρίζονται ως πληροφορίες και είναι συνδεδεμένες με το χώρο (Δήμας, 2010).

Οι γεωγραφικές πληροφορίες, για να βοηθήσουν στην ανάλυση χωρικών φαινομένων, θα πρέπει να είναι ακριβείς, αντικειμενικές, ενιαίες, και προσιτές. Σύστημα πληροφοριών είναι ένα σύστημα που διαθέτει τα κατάλληλα εργαλεία για την αποδοτική συλλογή, επεξεργασία και διαχείριση των πληροφοριών. Ένα σύστημα πληροφοριών δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου πληροφοριών και πολύ μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας, κάνει χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με τις περιφερειακές τους μονάδες και ειδικών προγραμμάτων, και αποτελείται από τη βάση πληροφοριών, τους μηχανισμούς εισαγωγής και εξόδου δεδομένων και τις διαδικασίες ταξινόμησης, επεξεργασίας και ανάλυσης των πληροφοριών.

Ένα Σύστημα Πληροφοριών που βασίζεται στη διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να περιέχει και μη χωρικές (περιγραφικές) πληροφορίες, ονομάζεται Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ, Geographical Information System, GIS).

Τα ΓΣΠ δέχονται πληροφορίες – δεδομένα από πολλές πηγές, οι οποίες μπορεί να έχουν πολλές τυποποιήσεις και δομές. Στους διαφορετικούς τύπους δεδομένων περιλαμβάνονται χάρτες, εικόνες, φωτογραφίες, ψηφιακά προϊόντα, μετρήσεις/σήματα GPS, κείμενα πίνακες δεδομένων κτλ. Τα ΓΣΠ συνδυάζουν δεδομένα και συνεργάζονται με ένα μεγάλο αριθμό άλλων επιστημονικών κατευθύνσεων, όπως τη Γεωγραφία, Χαρτογραφία, Τηλεπισκόπηση, Γεωδαισία, Τοπογραφία, Πληροφορική, Στατιστική, Επιχειρησιακή Έρευνα κτλ.

Αποστολή των ΓΣΠ είναι να εφοδιάσουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων με τις απαραίτητες πληροφορίες. Οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται, είτε για να αναγνωρίσουν και να επισημάνουν την ύπαρξη και τη θέση ενός προβλήματος - θέματος - ζητήματος, είτε για να ανιχνεύσουν και να αναλύσουν τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις ή και για να βοηθήσουν την εκτέλεση μίας απόφασης.



Εικόνα 1-1: Διαδικασία Χρήσης ενός ΓΣΠ (Πηγή: <http://ces.iisc.ernet.in/hpg-envis/Remote/section153.htm>).

1.2 Δομή των ΓΣΠ

Η λειτουργία ενός ΓΣΠ εξαρτάται από τέσσερα σημαντικά τμήματα (Καπαγερίδης, 2006):

- Τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό (Hardware)
- Το κατάλληλο λογισμικό (Software)
- Τα δεδομένα (Data)
- Την οργάνωση και το προσωπικό (χρήστες)

Τα τμήματα που απαρτίζουν ένα ΓΣΠ πρέπει να βρίσκονται σε βέλτιστη σχέση μεταξύ τους για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός ενός ΓΣΠ μπορεί να αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος να είναι ένας σταθμός εργασίας (Workstation) ή ένα απλό PC. Το λογισμικό σε ένα ΓΣΠ πρέπει να έχει ορισμένες δυνατότητες. Πρέπει να επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων σε ότι αφορά τη θέση τους, τις σχέσεις μεταξύ τους και τις ιδιότητές τους. Πρέπει να παρέχει διάφορες επεξεργασίες μετατροπής των ιδιοτήτων ή της εμφάνισης διαφόρων δεδομένων.

Τα δεδομένα που εισάγονται στο ΓΣΠ αποτελούνται από χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες. Οι χωρικές πληροφορίες αφορούν κατά κύριο λόγο το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται το ΓΣΠ. Οι ψηφιακοί χάρτες μπορούν να προκύψουν με διαφόρους τρόπους, όπως π.χ. από επίγειες τοπογραφικές ή κτηματολογικές εργασίες, ψηφιοποίηση υπαρχόντων «χάρτινων» χαρτών κλπ. Οι περιγραφικές πληροφορίες συλλέγονται από υπάρχοντα ηλεκτρονικά ή συμβατικά αρχεία, εκθέσεις, συζητήσεις ή και από τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων.

Τα ΓΣΠ βασίζονται στη διαχείριση πληροφοριών που έχουν άμεση σχέση με το γεωγραφικό χώρο, περιέχουν δηλαδή δεδομένα με γεωγραφική ταυτότητα. Θα πρέπει συνεπώς να λειτουργούν με υπόβαθρο ένα αναλυτικό περιβάλλον που επιτρέπει τον χωρικό ή γεωγραφικό εντοπισμό. Αυτό το περιβάλλον είναι ο χάρτης. Κάθε χάρτης συντάσσεται με βάση ένα σύστημα αναφοράς, ως προς το οποίο κάθε γραφική οντότητα χαρακτηρίζεται ή περιγράφεται από συντεταγμένες.

Οι χάρτες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ψηφιακού υποβάθρου στα ΓΣΠ μπορεί να αναφέρονται σε διαφορετικά γεωγραφικά συστήματα αναφοράς (GCS - Geographic Coordinate System) και προβολικά συστήματα (PCS – Projected coordinate System). Τα GCS καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος της Γης. Η προβολή του σημείου πάνω στην επιφάνεια ορίζεται από τις συντεταγμένες του που αναφέρονται σε ένα καθορισμένο σύστημα αξόνων. Τα προβολικά συστήματα χρησιμοποιούνται για να απεικονίζουν ή να προβάλλουν σημεία που ανήκουν σε μία επιφάνεια αναφοράς (επιφάνεια της Γης) πάνω σε μία άλλη επιφάνεια (επίπεδο χάρτη). Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί εκατοντάδες διαφορετικά GCS και PCS για τη γήινη σφαίρα ή τοπικά σε διάφορα κράτη. Μπορεί να καλύπτουν από μία επιφάνεια μικρής έκτασης μέχρι ολόκληρη τη Γη.

1.3 Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες των ΓΣΠ

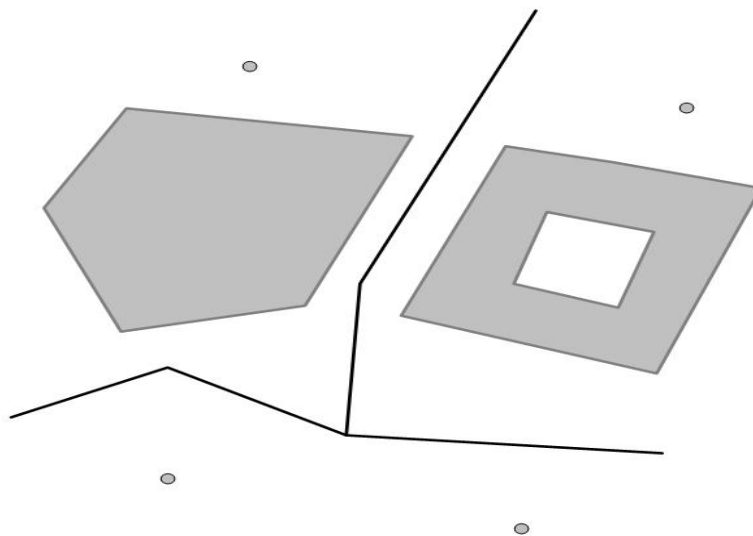
Το ΓΣΠ, στην πιο αυστηρή μορφή του, είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα.

Τα συστήματα ΓΣΠ, όπως και τα συστήματα CAD (Computer-Aided Design), αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως

ονομασία, πληθυσμός κλπ. Παρέχουν επίσης την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά. Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των ΓΣΠ επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα (που αποτελούν ουσιαστικά τον πυρήνα τους), το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια ΓΣΠ.

Σε ένα ΓΣΠ τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται με δύο βασικές δομές: την διανυσματική δομή και τη ψηφιδωτή δομή. Σε όλα τα ΓΣΠ οι δύο δομές αποδίδονται ταυτόχρονα σε κοινές απεικονίσεις ενώ πολλά λογισμικά ΓΣΠ προσφέρουν την δυνατότητα μετάβασης από τη μία δομή στην άλλη.

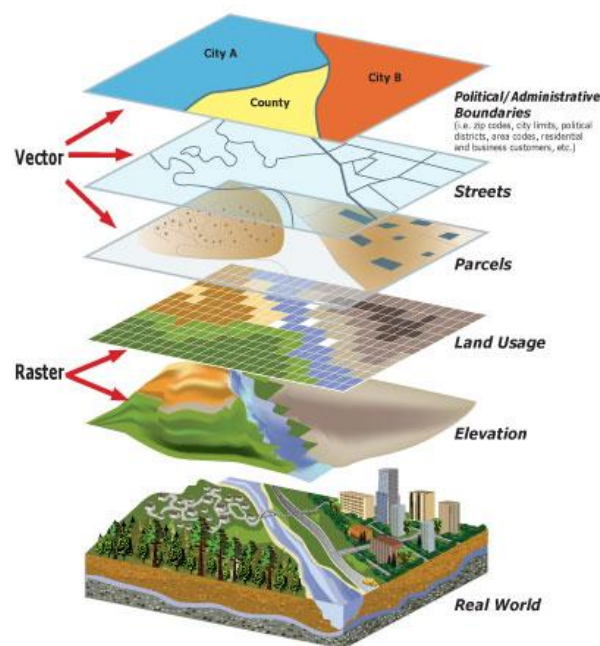
- Διανύσματα (Vector). Όλα τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με τρεις βασικούς τύπου γεωμετριών: σημεία, γραμμές, πολύγωνα. Έτσι για την απόδοση της θέσης μια πόλης σε ένα χάρτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σημείο, για την αποτύπωση του οδικού δικτύου μια γραμμή αποτελούμενη από πολλές κορυφές και για την αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας ένα πολύγωνο. Στην ουσία τα πάντα αναπαρίστανται από γραμμές. Το σημείο είναι μια γραμμή μηδενικού μήκους, ενώ το πολύγωνο είναι μια ακολουθία γραμμών με αρχή και τέλος την ίδια κορυφή. Η γεωμετρία που θα υιοθετηθεί για το συμβολισμό ενός αντικειμένου εξαρτάται από την κλίμακα απεικόνισης και το σκοπό της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Έτσι π.χ. σε μια πολύ μεγάλη κλίμακα (1:1000) τα κτίσματα αποτυπώνονται ως πολύγωνα, ενώ σε μικρότερες κλίμακες (1:10.000) είναι ορθότερο να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρία του σημείου. Τέλος κάθε γεωμετρία συνδέεται με μια σχέση 1-1 με μια εγγραφή σε ένα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.



Εικόνα 1-2 Οι τρεις βασικοί τύποι γεωμετριών: Γραμμή, Σημείο, Πολύγωνο (Πηγή Wikipedia)

- Ψηφιδωτά (Raster). Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους, η κατανομή του θορύβου) ή σε περιπτώσεις που στο ΓΣΠ θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Οι ψηφιδωτές δομές δεδομένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες σύνδεσης με περιγραφικά χαρακτηριστικά.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι η ευρεία χρήση των επιπέδων πληροφορίας - layers (Sanchez-Lozano et al., 2013). Η εισαγωγή δεδομένων γίνεται με τη χρήση των layers τα οποία μπορεί να παρομοιαστούν με διαφανείς σελίδες, οι οποίες περιέχουν μία καθορισμένη από το χρήστη ομάδα πληροφοριών. Σε ένα layer είναι δυνατόν να απεικονιστούν όλα τα είδη των στοιχείων, σημεία, γραμμές, επιφάνειες και εικόνες. Για την τοποθέτηση ενός στοιχείου στο layer, δηλώνεται το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το είδος του συμβολισμού που επιθυμεί ο χρήστης και οι πληροφορίες (ονόματα, γράμματα, αριθμοί, κ.λπ.) που συνοδεύουν την καταχώριση. Με τον τρόπο αυτόν, είναι δυνατή η παρουσίαση όποιων ομάδων πληροφοριών απαιτούνται για τη μελέτη που πραγματοποιείται, χωρίς να γίνεται σύγχυση των πληροφοριών. Ως κατώτερο επίπεδο ορίζουμε αυτό που αποτελείται από επιφάνειες (αν υπάρχει και δεύτερο όμοιο, τότε θέτουμε ως κατώτερο αυτό με τις μεγαλύτερες επιφάνειες), ακολουθούν τα επίπεδα με τα γραμμικά δεδομένα (συγκοινωνιακό δίκτυο, ποτάμια, ρήγματα, κ.λπ.) και ως ανώτερο επίπεδο τοποθετείται αυτό με τα σημειακά στοιχεία (πόλεις, επίκεντρα σεισμών, σημεία δειγματοληψιών, κ.λπ.).



Εικόνα 1-3: Μοντέλο σχεσιακής βάσης δεδομένων διαφόρων θεματικών επιπέδων – Layers (Πηγή: www.gembc.ca.)

Επιπρόσθετα, ένα λογισμικό ΓΣΠ είναι κατάλληλο για την εφαρμογή ποικίλων μεθόδων επεξεργασίας στα καταχωρημένα δεδομένα και δύναται να απαντά σε πολύπλοκες και συνδυαστικές ερωτήσεις που τίθενται από το χρήστη, η φύση των οποίων ποικίλει ανάλογα με το υπό εξέταση επιστημονικό πεδίο. Για παράδειγμα γίνονται ερωτήσεις που αναφέρονται σε τοποθεσίες, αποστάσεις και ποσότητες και αφορούν στη θέση ενός αντικείμενου, προσδιοριζόμενη με ποικιλία τρόπων όπως με γεωγραφικές συντεταγμένες, με το όνομα της περιοχής στην οποία βρίσκεται κτλ. Επίσης, σε αυτή την ομάδα ερωτήσεων κατατάσσονται και αυτές που αφορούν στο μέγεθος μιας περιοχής, ή ακόμη και μιας γραμμής, στην εμφάνιση μιας συγκεκριμένης μορφής από το σημείο Α στο Β, καθώς και τα αντικείμενα που βρίσκονται πλησίον σημείων με συγκεκριμένους συνδυασμούς χαρακτηριστικών γνωρισμάτων.

Σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής, καταχώρισης, οργάνωσης και επεξεργασίας των δεδομένων, τα ΓΣΠ παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Ταχύτερη η δημιουργία των χαρτών.
- Ο συνδυασμός διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας.
- Διευκολύνονται οι αναλύσεις των δεδομένων που απαιτούν αλληλεπίδραση μεταξύ των στατιστικών αναλύσεων και της χαρτογράφησης.
- Η άμεση επιδιόρθωση ή προσθήκη δεδομένων.
- Η εξυπηρέτηση των ειδικών αναγκών των διάφορων χρηστών που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για το είδος και την ακρίβεια των πληροφοριών.
- Η κατάταξη των δεδομένων με τις ίδιες προδιαγραφές συγκέντρωσης και αποθήκευσης.
- Επιτρέπεται η συνεχή πληροφόρηση και ερμηνεία των στοιχείων σε συνδυασμό με τη συνεχή ενημέρωση, ανταλλαγή πληροφοριών και ευκολότερη διανομή στους χρήστες.
- Παρέχεται ασφάλεια και προστασία των στοιχείων από διάφορες φυσικές καταστροφές, καθώς και είναι εύκολη η αναπαραγωγή τους.
- Παρέχεται ασφάλεια σε ότι αφορά την τροποποίηση δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένα άτομα.
- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μικρό χώρο και να είναι εύχρηστα.
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΓΣΠ υπερτερούν των μειονεκτημάτων τα οποία πέρα από την εξοικείωση και την κατάλληλη εκπαίδευση που προϋποθέτουν βασικά είναι το αρχικό

κόστος απόκτησης του συστήματος (υπάρχουν βέβαια και «open source» προγράμματα) καθώς και της τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης αυτού είναι αρκετά υψηλό.

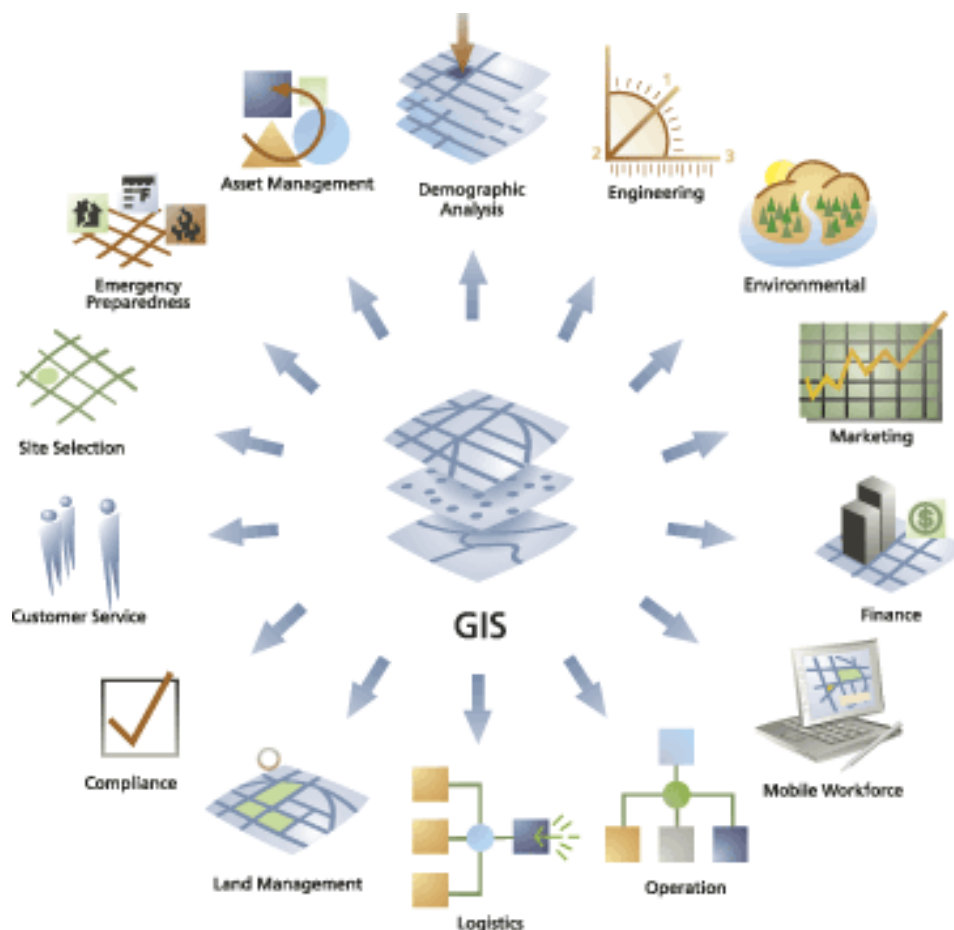
Τα συστήματα ΓΣΠ στις μέρες μας γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή. Αποτέλεσμα αυτού είναι να βελτιώνονται συνεχώς και άρα να αυξάνονται οι δυνατότητές τους ενώ παράλληλα η επίδραση των όποιων μειονεκτημάτων τους να ελαχιστοποιείται.

1.4 Εφαρμογές των ΓΣΠ

Οι εφαρμογές των ΓΣΠ είναι πάρα πολλές και καθορίζονται κάθε φορά από τις ιδιαίτερες ανάγκες του χρήστη. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των περιπτώσεων είναι η ευρύτατη χρήση των θεωρητικών και πρακτικών εφαρμογών της επιστήμης της Γεωγραφίας.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε κρατικό και κυβερνητικό επίπεδο, γίνεται εφαρμογή των ΓΣΠ στα ακόλουθα πεδία (Καπαγερίδης, 2006):

- Στη Καταγραφή και διαχείριση της δημόσιας και ιδιωτικής ακίνητης περιουσίας (κτηματολόγιο).
- Στον πολεοδομικό και χωροταξικό σχεδιασμό.
- Στη διαχείριση οδικών δικτύων.
- Στην Εθνική άμυνα και κατανομή στρατιωτικών εγκαταστάσεων.
- Στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και προστασίας του περιβάλλοντος με τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και άσκηση των υπηρεσιών στην αντιμετώπισή τους.
- Στη διαχείριση των φυσικών πόρων και των καλλιεργειών.
- Στη διαχείριση των δικτύων των οργανισμών κοινής ωφέλειας (ηλεκτρικό, τηλέφωνο, νερό, αποχέτευση, φυσικό αέριο, καλωδιακή τηλεόραση).
- Στην παρακολούθηση των οικονομικών, εμπορικών, βιομηχανικών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων για τον καλύτερο σχεδιασμό της ανάπτυξης της εθνικής οικονομίας.
- Στην παρακολούθηση της υγείας του πληθυσμού, τον εντοπισμό επιδημιών στη γένεσή τους, και το σχεδιασμό νοσηλευτικών κέντρων σε σχέση με την κατανομή του πληθυσμού.
- Στην καταγραφή, τεκμηρίωση και προβολή των αρχαιολογικών ευρημάτων και μνημείων της χώρας.
- Στην παρακολούθηση της εκπαίδευσης του πληθυσμού, συσχέτιση πληθυσμιακών δεδομένων και σχεδιασμού νέων εγκαταστάσεων εκπαίδευσης.
- Στην διαχείριση δημογραφικών στοιχείων για την μακροπρόθεσμη πολιτική ανάπτυξης.
- Στην Εθνική ασφάλεια και καταπολέμηση του εγκλήματος.



Εικόνα 1-4 Εφαρμογές των ΓΣΠ (Πηγή: <http://www.northaugusta.net/>).

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι εφαρμογές των ΓΣΠ σε διεπιστημονικό επίπεδο είναι απεριόριστες. Ειδικότερα στο τομέα της προστασίας του Περιβάλλοντος και της Περιβαλλοντικής Μηχανικής οι πολλαπλές δυνατότητες που παρέχει η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει συμβάλει σημαντικά στην πρόοδο της επιστημονικής έρευνας και στην προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης.

1.5 Σύντομη Περιγραφή του Προγράμματος ArcGis

Το ArcGIS είναι από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα για Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών οι οποίες περιλαμβάνουν σχεδιασμό, ανάλυση, διαχείριση και καταγραφή γεωγραφικών συστημάτων.

Το ArcGis αποτελείται από επιμέρους τμήματα (Modules) που είναι το ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe κλπ. Το καθένα από αυτά αφορά σε συγκεκριμένες δραστηριότητες και πλην του ArcCatalog διαθέτουν διαφορετικό τρόπο στη διαχείριση της χωρικής πληροφορίας, ενώ δύνανται να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το ArcMap ενσωματώνει πληροφορίες από διάφορες πηγές. Διαχειρίζεται πίνακες, εικόνες, αρχεία κειμένου, λογιστικά φύλλα εργασίας και γραφικά. Η σχεσιακή βάση δεδομένων που διαθέτει αποθηκεύει περιγραφικά δεδομένα και τις σχέσεις μεταξύ των δεδομένων. Είναι αυτό στο

οποίο γίνεται η χωρική ανάλυση σε δυσδιάστατο περιβάλλον και συνήθως αυτό αξιοποιείται κατά κύριο λόγο. Τα ArcScene και ArcGlobe κυρίως χρησιμοποιούνται για την τρισδιάστατη απεικόνιση και ανάλυση των δεδομένων ενώ το ArcCatalog είναι το μέσο με το οποίο γίνεται η προετοιμασία των δεδομένων και η κατάλληλη επεξεργασία τους για την εισαγωγή αυτών στα άλλα Modules.

Το κάθε Module περιλαμβάνει εργαλεία – εφαρμογές με τα οποία επιτυγχάνεται η χωρική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Τα βασικότερα αυτών είναι τα κοινά εργαλεία (standard tools) για την διαχείριση των δεδομένων (επιλογή στοιχείων, σμίκρυνση χαρτών, μετακίνηση του χάρτη στο χώρο κτλ.), το Editor για την ψηφιοποίηση των δεδομένων, το Georeferencing για τη γεωαναφορά των δεδομένων (συνήθως χαρτών ή εικόνων) σε μορφή αξιοποιήσιμη από το πρόγραμμα. Υπάρχει επίσης το ArcToolbox που ενώ μπορεί να θεωρηθεί ως Module του προγράμματος πρακτικά είναι ενσωματωμένο στα προηγούμενα και περιλαμβάνει μια ευρεία γκάμα από εργαλεία χωρικής ανάλυσης, επεξεργασίας, μετατροπής, μέτρησης και στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων.

Πέραν των ανωτέρω, υπάρχουν διάφορες επεκτάσεις (Extensions) που συντελούν στην ποιοτικότερη και πληρέστερη ανάλυση των δεδομένων. Αυτές που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι τα Spatial Analyst και 3D Analyst τα προσδίδουν επιπρόσθετες δυνατότητες (εργαλεία) για τη χωρική ανάλυση και απεικόνιση των δεδομένων.

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το ArcGis 10.1 της ESRI. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων έγινε κυρίως στο ArcMap 10.1. Ειδικότερη μνεία για τις επιμέρους εφαρμογές και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν θα γίνει στα παρακάτω κεφάλαια. Η απεικόνιση και ανάλυση των δεδομένων έγινε στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987) το οποίο και προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές που καλύπτει Ελλαδικό Χώρο. Το ΕΓΣΑ 87 παρέχει ένα ενιαίο και μοναδικό σύστημα συντεταγμένων για την ελληνική επικράτεια και είναι απόλυτα συμβατό με το Παγκόσμιο Σύστημα WGS 84 που χρησιμοποιείται τόσο από το GPS όσο και από διαδικτυακές εφαρμογές με χαρακτηριστικότερη το Google Earth.

Κεφάλαιο 2. Σεισμολογία και Σεισμική

Επικινδυνότητα

2.1 Γενικές Αρχές

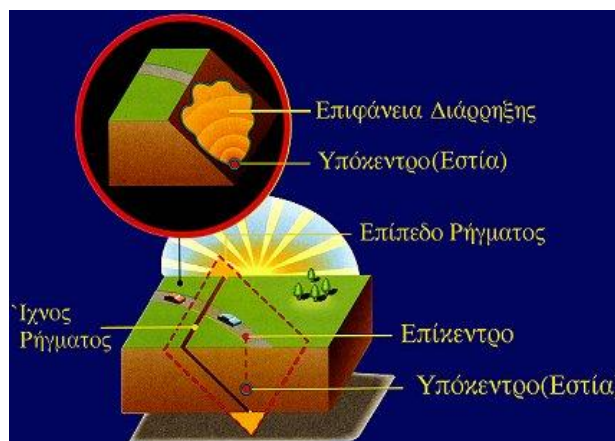
2.1.1 Το Σεισμικό Φαινόμενο

Στην αρχαιότητα υπήρχαν αρκετές ερμηνείες για το σεισμικό φαινόμενο. Χαρακτηριστικά, στη Μυθολογία αναφέρεται ότι σεισμός είναι η δόνηση που προκαλούσε η κίνηση του Εγκέλαδου μέσα στον τάφο του ενώ στην Ιαπωνία θεωρούσαν ότι ο σεισμός οφειλόταν στον κραδασμό του εδάφους από το σπαρτάρισμα του γατόψαρου.

Σήμερα, η επικρατούσα αντίληψη για το σεισμό είναι η κίνηση του εδάφους που οφείλεται στη θραύση πετρωμάτων, το στιγμιαίο αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διαδικασίας συσσώρευσης δυναμικής ενέργειας σε καταπονούμενες περιοχές της Γης. Ένα φυσικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει πολλές απώλειες τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε υλικά αγαθά.

Η Σεισμολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος της Γεωφυσικής με βασικό στόχο την παρατήρηση και μελέτη των σεισμικών φαινομένων στη φύση. Σύμφωνα με τη δεσπόμενη σήμερα επιστημονική αντίληψη, σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη παροδική διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων σε ένα ορισμένο μέρος της στερεάς Γης, από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της (Παπαζάχος, Καρακαϊσής & Χατζηδημητρίου, 2005). Λόγω του σεισμού απελευθερώνεται ενέργεια στο εσωτερικό της Γης, η οποία εκδηλώνεται με τη μορφή κυμάτων που κινούνται στο χώρο και τα οποία προκαλούν τις δονήσεις αυτές.

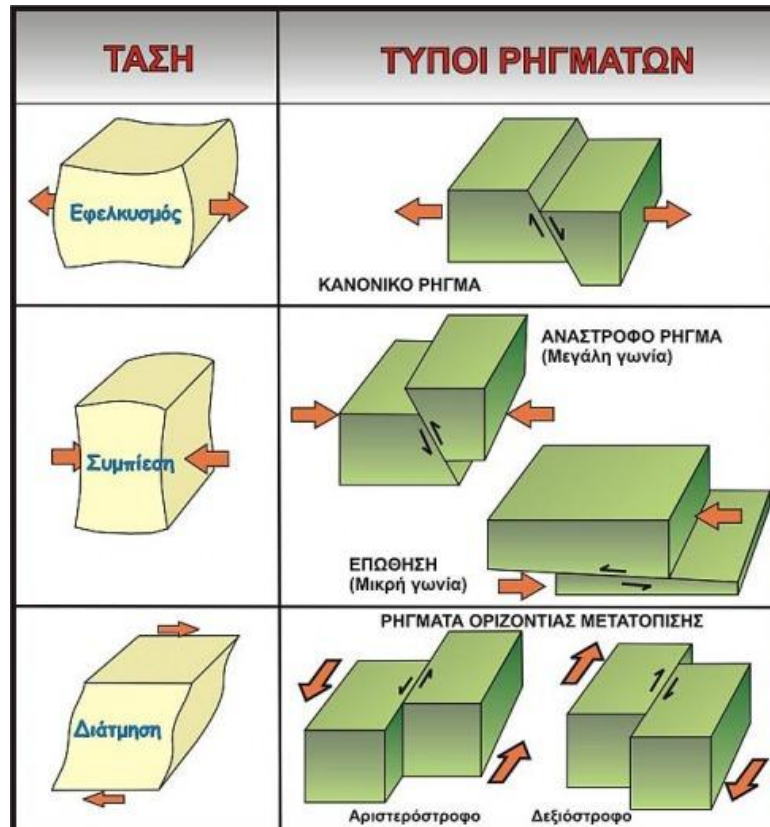
Υπάρχουν βέβαια εδαφικές δονήσεις των οποίων τα αίτια είναι είτε φυσικά είτε τεχνητά και δεν οφείλονται στο εσωτερικό της Γης. Τέτοιες δονήσεις μπορεί να οφείλονται σε πτώση μετεωριτών, παλίρροιες, θαλάσσια κύματα κτλ. (φυσικά αίτια) ή σε μηχανές εργοστασίων, μέσα συγκοινωνίας, πυρηνικές δοκιμές κτλ. (τεχνητά αίτια). Αυτού του τύπου εδαφικές δονήσεις συνιστούν τον εδαφικό θόρυβο και δεν θα πρέπει να συγχέονται με τις σεισμικές δονήσεις ειδικά στις σεισμικές καταγραφές.



Εικόνα 2-1 Χαρακτηριστικά σεισμικού φαινομένου (Πηγή: www.oasp.gr)

Ο χώρος που εκδηλώνεται αρχικά η διάρρηξη των πετρωμάτων (σεισμογόνος χώρος) μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ως σημείο και ονομάζεται **εστία ή υπόκεντρο** του σεισμού. Το ίχνος της κατακόρυφης προβολής της εστίας πάνω στην επιφάνεια της γης είναι το **επίκεντρο**, ενώ η απόστασή του από την εστία (βάθος της εστίας) λέγεται εστιακό βάθος. Οι διαρρήξεις των πετρωμάτων γίνονται πάνω σε επιφάνειες (επιφάνειες διάρρηξης), οι οποίες συνήθως θεωρούνται επίπεδες και ονομάζονται **σεισμικά ρήγματα** (Faults).

Ανάλογα με το μηχανισμό διάρρηξης κατά μήκος του ρήγματος, αυτά διακρίνονται στα εξής κύρια είδη: Κανονικά (Normal), Ανάστροφα (Reverse) και Οριζόντιας μετατόπισης (Strike-Slip). Τα είδη αυτά φαίνονται χαρακτηριστικά στην εικόνα 2-2.



Εικόνα 2-2: Είδη Ρηγμάτων (Πηγή: www.geodifhs.com)

Τα σεισμικά κύματα που ξεκινούν από την εστία και οδεύουν μέσα από τα διάφορα στρώματα της Γης φθάνουν στους σταθμούς παρατήρησης και καταγράφονται από τα διάφορα σεισμογραφικά όργανα. Για να περιγραφεί πλήρως η κίνηση των υλικών σημείων της Γης απαιτούνται τρία είδη σεισμογραφικών οργάνων, αυτά που καταγράφουν την μετάθεση, αυτά που καταγράφουν την περιστροφή και αυτά που καταγράφουν την παραμόρφωση. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη Σεισμολογία παρουσιάζουν τα σεισμογραφικά όργανα που καταγράφουν την μετάθεση και τις παραγώγους της ως προς τον χρόνο, την ταχύτητα και την επιτάχυνση.

Οι **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

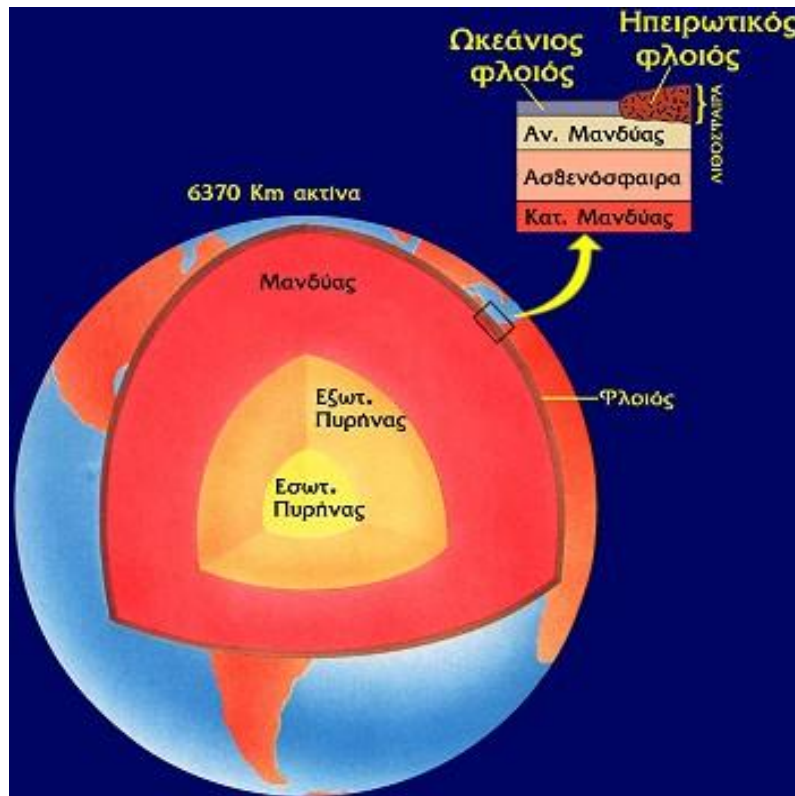
σεισμογράφος αποτελείται από το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης (ή μεγέθυνσης) και το σύστημα αναγραφής. Η μάζα του εκκρεμούς πρέπει να είναι σημαντική ώστε η δύναμη της αδράνειας να υπερνικήσει τις τριβές της γραφίδας και των αρθρώσεων των μοχλών. Ωστόσο επειδή οι σεισμογράφοι δεν διέθεταν σύστημα απόσβεσης της κίνησης, το οποίο θα επανέφερε γρήγορα το εκκρεμές στη θέση ηρεμίας ώστε να ανταποκριθεί σε νέα δόνηση, οι καταγραφές τους ήταν αποτέλεσμα όχι μόνο της σεισμικής κίνησης αλλά και της αιώρησης του εκκρεμούς. Για τον πλήρη καθορισμό της μετάθεσης σε ένα σταθμό πρέπει να υπάρχουν τρεις σεισμογράφοι, ένας για την κατακόρυφη συνιστώσα και δυο για τις οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής κίνησης. Τα **Σεισμόμετρα** είναι όργανα που γράφουν με σημαντική ακρίβεια τις σεισμικές κινήσεις. Η βασική διαφορά μεταξύ σεισμομέτρου και σεισμογράφου 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 των σεισμομέτρων λέγονται σεισμογράμματα.

Η αναγραφή των σεισμικών κυμάτων στα σεισμόμετρα γίνεται με τρεις κυρίως τρόπους. Πρώτον, με μηχανική αναγραφή (σεισμόμετρα Mainka, Wiechert). Δεύτερον, με οπτική αναγραφή (σεισμόμετρα Milne-Show, Wood-Anderson). Τρίτον, με ηλεκτρομαγνητική αναγραφή (σεισμόμετρο κινούμενου πηνίου Galitzin και το σεισμόμετρο μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης Benioff).

2.1.2 Η Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών

Η Γη αποτελείται από τρία διαφορετικά στρώματα το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα, συνολικού πάχους 6.370km περίπου. Ο φλοιός είναι το στερεό, εξωτερικό περίβλημα της Γης. Υπάρχουν δύο είδη φλοιού, ο ηπειρωτικός και ο ωκεάνιος. Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού είναι περίπου 35km, κάτω όμως από τις μεγάλες οροσειρές μπορεί να φτάσει τα 60 - 70km. Το μέσο πάχος του ωκεάνιου είναι 7km. Ο μανδύας είναι το αμέσως επόμενο στρώμα και φτάνει μέχρι το βάθος των 2.900km. Η επιφάνεια που χωρίζει το φλοιό από τον μανδύα, είναι γνωστή με το όνομα ασυνέχεια Mohorovic.

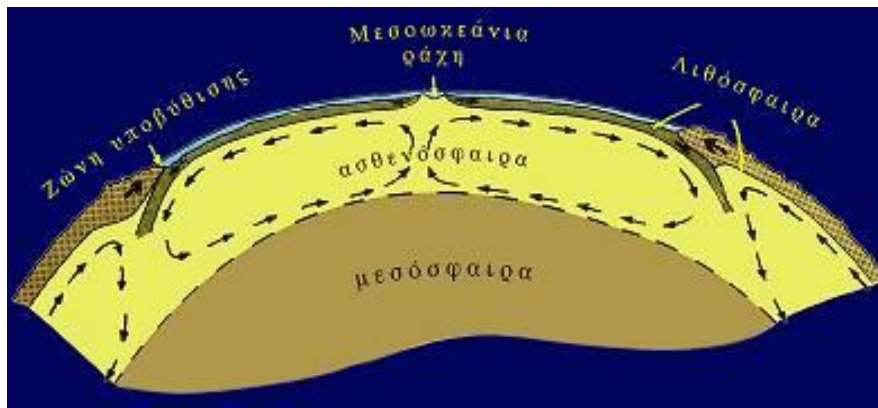
Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται ένα δύσκαμπτο στρώμα, μέσου πάχους 80km περίπου, που **αποτελείται από το στερεό φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα**. Το τμήμα του μανδύα που βρίσκεται κάτω από τη λιθόσφαιρα είναι γνωστό ως ασθενόσφαιρα. Κάτω από το μανδύα υπάρχει ο πυρήνας που φτάνει έως το κέντρο της γης. Ο πυρήνας διακρίνεται σε εξωτερικό (υγρή/ρευστή κατάσταση) και σε εσωτερικό (στερεή κατάσταση).



Εικόνα 2-3: Η δομή του εσωτερικού της Γης (Πηγή: www.oasp.gr)

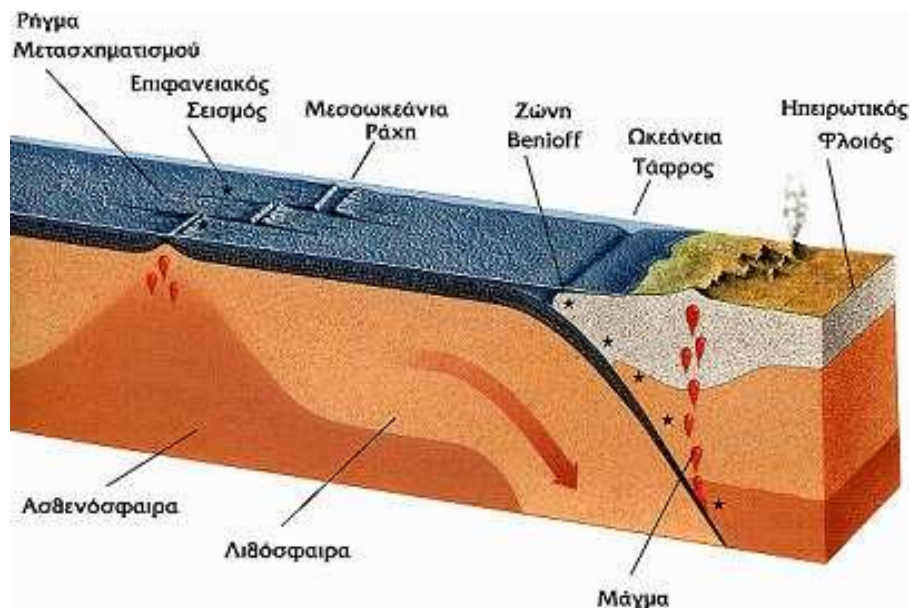
Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από ένα σύνολο μεγάλων και μικρότερων πλακών που ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδυακό υλικό (ασθενόσφαιρα) πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Οι πλάκες αυτές λέγονται λιθοσφαιρικές πλάκες. Τα αίτια κίνησής τους πιθανόν να είναι οι οριζόντιες εφαπτομενικές κινήσεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς τα οποία δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα. Η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά το σύνολο των γεωλογικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική δράση και κατά συνέπεια και με τη σεισμική δράση, είναι αυτή που περιγράφει την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών.

Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλλού αποκλίνουν, αλλού συγκλίνουν και αλλού η μία κινείται παράλληλα - εφαπτομενικά σε σχέση με τη διπλανή της. Στις περιοχές που αποκλίνουν οι λιθοσφαιρικές πλάκες -μεσοωκεάνιες ράχεις- θερμό ασθενοσφαιρικό υλικό βγαίνει στην επιφάνεια, ψύχεται, στερεοποιείται και οδηγεί έτσι στη δημιουργία νέας λιθόσφαιρας κατά μήκος των δύο πλευρών των ράχων (π.χ. μεσοωκεάνια ράχη Ατλαντικού ωκεανού, απομάκρυνση Αμερικανικής - Αφρικανικής πλάκας).



Εικόνα 2-4: Κίνηση Λιθοσφαιρικών πλακών (Πηγή: ΟΑΣΠ).

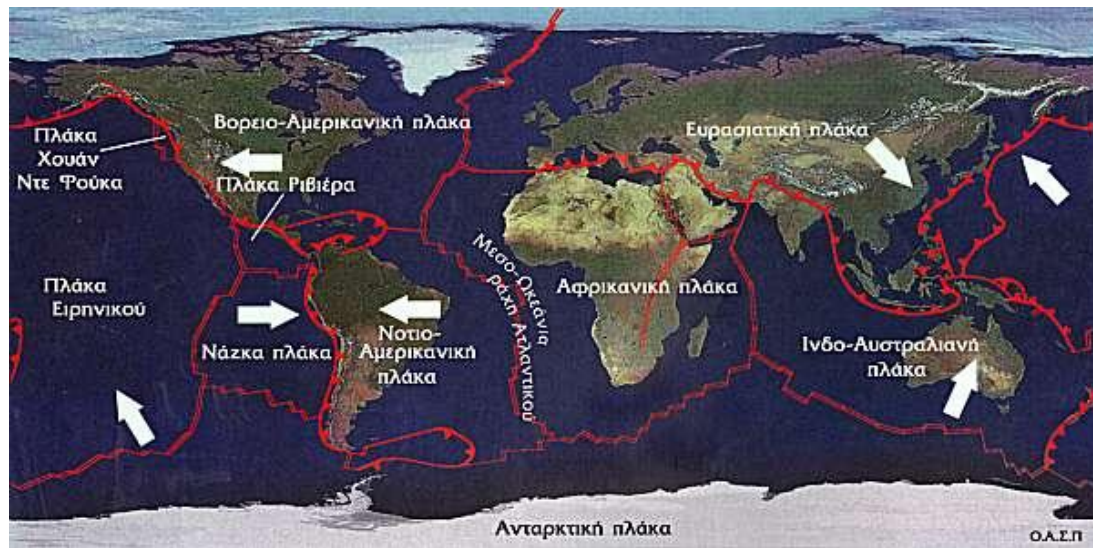
Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη, η κίνηση γίνεται κατά μήκος κατακόρυφων ρηγμάτων μετασχηματισμού. Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών η πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη μέχρις ότου λιώσει η πρώτη μέσα στο θερμό μανδουακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό. Η δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει "σταθερή".



Εικόνα 2-5: Ολίσθηση και σύγκλιση Λιθοσφαιρικών πλακών.

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 (ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης πετρωμάτων), και αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις που συνεχώς αυξάνουν. Όταν οι τάσεις αυξηθούν τόσο πολύ, ώστε να υπερβούν το όριο αντοχής

του λιθσφαιρικού 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.



Εικόνα 2-6: Η Λιθόσφαιρα της Γης αποτελούμενη από 7 μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βόρειο-Αμερικανική, Νοτιο-Αμερικανική) και αρκετές μικρότερες. Οι πλάκες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις. (Πηγή: ΟΑΣΠ)

2.2 Κλίμακες Μεγέθους – Έντασης των Σεισμών

2.2.1 Μέγεθος Σεισμού

Γίνεται αντιληπτό ότι γένεση ενός σεισμού είναι η απελευθέρωση ενέργειας στην εστία του, η οποία είχε συσσωρευτεί στο σεισμογόνο χώρο του με τη μορφή ενέργειας παραμόρφωσης των πετρωμάτων του χώρου αυτού. Μέρος της ενέργειας αυτής μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια στην οποία οφείλονται τα σεισμικά κύματα.

Η μέτρηση της σεισμικής ενέργειας θα είχε μεγάλη σημασία γιατί θα παρείχε την δυνατότητα απόλυτης σύγκρισης και ταξινόμησης των σεισμών, αλλά δεν όμως δεν υπάρχει μέχρι σήμερα άμεσος τρόπος για την ακριβή μέτρηση αυτής. Για αυτό το λόγο οι σεισμολόγοι κατέβαλαν προσπάθεια υπολογισμού μίας ποσότητας η οποία αποτελεί κατά προσέγγιση μέτρο της ενέργειας ενός σεισμού και βασίζεται σε μετρήσεις των χαρακτηριστικών (πλάτος, περίοδος, διάρκεια κτλ.) των σεισμικών κυμάτων. Το μέτρο αυτό ονομάστηκε «Μέγεθος» του σεισμού. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η σεισμική ενέργεια που απελευθερώνεται στην εστία ενός σεισμού, τόσο εντονότερα είναι τα σεισμικά κύματα που παράγονται από αυτόν. Μπορούμε να πούμε ότι **μέγεθος M** ενός σεισμού, με τη γενική σημασία του όρου, είναι ένα μέτρο της ενέργειας του σεισμού, το οποίο προσδιορίζεται με μετρήσεις παραμέτρων (πλάτος, περίοδος, διάρκεια) των σεισμικών κυμάτων που παράγονται κατά τη γένεση του σεισμού.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους των σεισμών επινοήθηκαν διάφορες κλίμακες. Η πρώτη από τις κλίμακες αυτές και πιο γνωστή είναι: η κλίμακα **τοπικού μεγέθους ML** (κλίμακα Richter - το όνομά της το πήρε από τον Ch. Richter το 1935), η οποία βασίζεται σε μετρήσεις των μέγιστων πλατών σεισμικών κυμάτων τοπικών σεισμών (περιόδου της τάξης του 1 sec), όπως αυτά καταγράφονται από τον σειсмоγράφο Wood-Anderson. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και άλλες κλίμακες οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι η κλίμακα **επιφανειακού μεγέθους Ms**, που βασίζεται στις μετρήσεις των επιφανειακών κυμάτων που έχουν περίοδο περίπου 20 sec. Η κλίμακα μεγέθους MS χρησιμοποιείται για τους επιφανειακούς ή αβαθείς σεισμούς (<60Km) με το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χαρακτηρίσει σεισμούς μεγάλων επικεντρικών αποστάσεων (απόσταση σειсмоγράφου – επίκεντρου σεισμού). Επίσης υπάρχει η κλίμακα **χωρικού μεγέθους mb** που βασίζεται σε βραχείας περιόδου (1 sec) κύματα χώρου, τα οποία καταγράφονται σε μεγάλες αποστάσεις. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν και άλλες κλίμακες μεγεθών όπως η κλίμακα του **μεγέθους διάρκειας Mt**, που βασίζεται στη διάρκεια των σεισμικών κυμάτων.

Η ενέργεια που απελευθερώνεται στην εστία ενός σεισμού, ακτινοβολείται με τη μορφή σεισμικών κυμάτων τα οποία έχουν περιόδους που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα (από κλάσματα του δευτερολέπτου μέχρι πολλά δευτερόλεπτα). Όμως κάθε μία από τις παραπάνω κλίμακες μεγεθών βασίζεται σε σεισμικά κύματα που έχουν συχνότητες σε περιορισμένο μέρος (παράθυρο) αυτού του φάσματος και για το λόγο αυτό τα μεγέθη των κλιμάκων αυτών αποτελούν μέτρα της ενέργειας που ακτινοβολείται στα αντίστοιχα παράθυρα συχνοτήτων και όχι της ολικής ενέργειας του σεισμού. Για αυτό το λόγο επινοήθηκε η κλίμακα του **μεγέθους σεισμικής ροπής Mw**, η οποία βασίζεται στην έννοια της σεισμικής ροπής (M_0), που πρότεινε ο Aki (1966), και όχι σε κύματα περιορισμένου φάσματος συχνοτήτων. Σήμερα η Mw θεωρείται ως η πιο ακριβής και αξιόπιστη κλίμακα μεγέθους σεισμού και χρησιμοποιείται ευρέως από τους σεισμολόγους.

Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι τα μεγέθη ML, mb, Ms αυξάνουν όσο αυξάνει η ενέργεια που ακτινοβολείται από τις εστίες των σεισμών μέχρι ορισμένου ορίου, το οποίο είναι σχετικά μικρό (6.0-6.5) για τα ML, mb, και αρκετά μεγαλύτερο (8.0) για το Ms. Έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές των μεγεθών αυτών δεν αυξάνουν πάνω από τα όρια αυτά παρ' ότι η ενέργεια των σεισμών αυξάνει, με συνέπεια οι μετρήσεις αυτών να είναι αναξιόπιστες σε περιπτώσεις μεγάλων σεισμών. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **κορεσμός** των κλιμάκων μεγέθους και δεν παρατηρείται στην κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής Mw.

Οι σεισμοί που προκαλούν βλάβες έχουν τις περισσότερες φορές μέγεθος μεγαλύτερο από 5 βαθμούς της κλίμακας Richter ή $M_w > 5.5$ (Παπαζάχος, Καρακαϊσής & Χατζηδημητρίου, 2005). Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις κατασκευές (βλάβες ή μη βλάβες) εξαρτώνται εκτός από το μέγεθος και από άλλους παράγοντες όπως το βάθος της εστίας, τη θέση του επικέντρου, την κατασκευή, το έδαφος θεμελίωσης της κατασκευής, τη γειτνίαση με ενεργά ρήγματα κ.λπ. Το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού που έχει μετρηθεί έως σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα είναι $M_w = 9.5$ (Χιλή

1960). Για να γίνει κατανοητή η αντιστοιχία των εννοιών μέγεθος - ενέργεια που εκλύεται από έναν σεισμό αρκεί να αναφερθεί ότι για μεγάλους σεισμούς (μέγεθος 8,7 - 8,9) η ενέργεια που εκλύεται είναι περίπου 900 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της βόμβας στη Χιροσίμα.

Σχέσεις μεταξύ των Μεγεθών διαφόρων κλιμάκων

Οι κατάλογοι που χρησιμοποιούνται για διάφορους επιστημονικούς σκοπούς (μελέτη σεισμικότητας, σεισμικής επικινδυνότητας, κτλ.) πρέπει να είναι ομογενείς ως προς τα μεγέθη, δηλαδή τα μεγέθη κάθε τέτοιου καταλόγου πρέπει να είναι στην ίδια κλίμακα. Ως τέτοια κλίμακα επιλέγεται συνήθως η κλίμακα του μεγέθους ροπής M_w .

Χαρακτηριστικά, αναφέρονται οι παρακάτω σχέσεις του M_w με τα M_L , M_s και m_b (Παπαζάχος, Καρακαϊσής & Χατζηδημητρίου, 2005):

$$M_w = 0.94M_L + 0.09 \quad 3.6 \leq M_L \leq 7.0 \quad (2.1)$$

$$M_w = 0.65M_s + 2.20 \quad 3.0 \leq M_s \leq 6.1 \quad (2.2)$$

$$M_w = 1.00M_s - 0.02 \quad 6.2 \leq M_s \leq 8.0 \quad (2.3)$$

$$M_w = 0.85m_b + 1.02 \quad 3.5 \leq m_b \leq 6.2 \quad (2.4)$$

Επίσης από τον κατάλογο EMEC (European Mediterranean Earthquake Catalogue) για τη Νότια Ευρώπη παρέχονται οι παρακάτω σχέσεις (Grünthal & Wahlström, 2012):

$$M_w = 0.796M_s + 1.280 \quad M_s \geq 5.4 \quad (2.5)$$

$$M_w = 0.585M_s + 2.422 \quad M_s \leq 5.4 \quad (2.6)$$

$$M_s = 1.37M_L - 2.19 \quad 4.7 \leq M_L \leq 7.4 \quad (2.7)$$

Παράλληλα, για τον Ελλαδικό χώρο και τις γειτονικές περιοχές έχουν προταθεί οι παρακάτω σχέσεις:

$$M_w = 0.67M_s + 2.07 \quad 3.0 \leq M_s \leq 6.1 \quad (2.8)$$

$$M_w = 0.99M_s + 0.08 \quad 6.2 \leq M_s \leq 8.2 \quad (2.9)$$

(Scordilis, 2006)

$$\text{και} \quad M_w = 0.8786M_s + 0.582 \quad (2.10)$$

(Makropoulos, Kaviris & Kouskouna, 2012)

2.2.2 Σεισμική Ένταση

Συνήθως για την ακριβέστερη εκτίμηση των εδαφικών κινήσεων δεν επαρκούν οι ενόργανες καταγραφές, αλλά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να αξιοποιηθούν μακροσεισμικές παρατηρήσεις, δηλαδή οι επιπτώσεις των σεισμών στο έδαφος και τις τεχνικές κατασκευές.

Οι μακροσεισμικές αυτές παρατηρήσεις συνιστούν μία από τις παλαιότερες τεχνικές για τη μελέτη ενός σεισμού. Η σεισμική ένταση (Seismic Intensity) αποτελεί έναν έμμεσο τρόπο εκτίμησης της σφοδρότητας των σεισμικών εδαφικών κινήσεων σε μία θέση από τη μελέτη των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του σεισμού. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται μία εμπειρική ποσότητα κωδικοποίησης των αποτελεσμάτων αυτών, που ονομάζεται **ένταση (I)** του σεισμού σε συγκεκριμένο τόπο.

Σε αντίθεση με το μέγεθος (M) του σεισμού, που εκφράζει την ενέργεια που απελευθερώνεται από αυτόν, η ένταση (I) του σεισμού εκφράζει τις επιπτώσεις αυτού στον άνθρωπο, τα υλικά-αντικείμενα και τις κατασκευές αξιοποιώντας τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις σε μία περιοχή.

Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η σεισμική ένταση σε μία τοποθεσία είναι:

- Οι ιδιότητες της σεισμικής εστίας (μέγεθος, σεισμική ροπή, μηχανισμός γένεσης, κτλ.).
- Οι ιδιότητες του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, το οποίο βρίσκεται μεταξύ της εστίας του σεισμού και της τοποθεσίας (επικεντρική απόσταση, συντελεστής απόσβεσης, κτλ.).
- Οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες (κατηγορία εδάφους, σκληρότητα του εδάφους, μορφολογία, εδαφικές διαρρήξεις, κτλ.).
- Ο Τύπος των κατασκευών (ιδιοπερίοδος ταλάντωσης, ποιότητα υλικών, κτλ.).

Για τον καθορισμό της έντασης σε μία περιοχή, έχουν κατά καιρούς προταθεί πολλές κλίμακες, εμπειρικές κατά βάση, όπου κάθε μία αποτελείται από ορισμένους βαθμούς μακροσεισμικής έντασης που αναπαριστούνται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III, IV κτλ. Οι πιο διαδεδομένες από αυτές είναι η τροποποιημένη 12βάθμια κλίμακα Mercalli (Modified Mercalli, MM, 1931), η επίσης 12βάθμια MSK (1964) που προτάθηκε από τους Medvedev, Sponheuer, Karnik και η 8βάθμια JMA (Japanese Meteorological Agency) που χρησιμοποιείται από τους Ιάπωνες. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα μέχρι πρότινος ήταν η MM. Στην Εικόνα 2-7 φαίνονται χαρακτηριστικά οι συνέπειες για κάθε βαθμό της κλίμακας MM οι οποίες αναλύονται ακολούθως στον Πίνακα 2-1. Το 1992 προτάθηκε σε Ευρωπαϊκό επίπεδο μία νέα κλίμακα που αποτελεί εξέλιξη της MSK προσαρμοσμένη στα ευρωπαϊκά δεδομένα. Η κλίμακα αυτή είναι η EMS (European

Macroseismic Scale), η οποία το 1998 υιοθετήθηκε από το Συμβούλιο της Ευρώπης και πλέον είναι γνωστή ως EMS-98 (European Commission, Grünthal G. (ed.), 1998). Η συνοπτική μορφή της κλίμακας EMS-98 παρατίθεται στο Παράρτημα C.



Εικόνα 2-7: Κλίμακα Έντασης MM (Πηγή: ΟΑΣΠ)

Πίνακας 2-1: Τροποποιημένη κλίμακα σεισμικής έντασης Mercalli, MMI-Modified Mercalli Intensity (Πηγή: Σπυράκος, 2010).

MMI	Χαρακτηρισμός	Σύντομη Περιγραφή Συνεπειών
I	Ανεπαίσθητος	Μπορεί να γίνει αντιληπτός από ανθρώπους μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις
II	Ελάχιστα Αισθητός	Μπορεί να γίνει αντιληπτός από ανθρώπους που βρίσκονται στους ανώτερους ορόφους κτιρίων
III	Ασθενής	Αισθητός (συνήα όχι ως σεισμός) σε ανώτερους ορόφους κτιρίων, πιθανόν σε σταματημένα οχήματα
IV	Μετρίας Εντάσεως	Αισθητός κυρίως σε όσους βρίσκονται στο εσωτερικό κτιρίων, εάν συμβεί νύχτα μπορεί να ξυπνήσει κάποιους, προκαλεί τριγμούς σε τοίχους κτιρίων και κροτάλισμα πορσελάνινων ή γυάλινων σκευών
V	Σχετικά Ισχυρός	Αντιληπτός σχεδόν από όλους, μπορεί να προκαλέσει σπάσιμο γυάλινων σκευών και να θέσει σε κίνηση μεγάλες καμπάνες
VI	Ισχυρός	Αντιληπτός από όλους, ορισμένοι εγκαταλείπουν το εσωτερικό κτιρίων, σπάσιμο σκευών, μετακίνηση βαρέων επίπλων, ίσως ελαφρές βλάβες σε διακοσμητικά στοιχεία κτιρίων
VII	Πολύ Ισχυρός	Δύσκολο να παραμείνει κανείς όρθιος, ανεπαίσθητες βλάβες σε σύγχρονα κτίρια με καλή ποιότητα κατασκευής, μέτριες σε παλαιότερα κτίρια, πιθανόν σημαντικές σε παλιά κτίρια κακής ποιότητας κατασκευής, αισθητός και στους οδηγούς οχημάτων
VIII	Προκαλεί Βλάβες	Μέτριες βλάβες σε σύγχρονα κτίρια, σημαντικές σε παλαιότερα κτίρια, σοβαρές σε παλιά κτίρια κακής ποιότητας κατασκευής, πιθανές πτώσεις μνημείων, στοιβάδων προϊόντων κτλ.
IX	Προκαλεί Πολύ Σοβαρές Βλάβες	Γενικευμένος πανικός, σημαντικές βλάβες σε σύγχρονα κτίρια, τα οποία πιθανόν να αποκλίνουν από την κατακόρυφο μετά το πέρας του σεισμού, σοβαρές βλάβες στα υπόλοιπα κτίρια με μερική κατάρρευση σε αρκετές περιπτώσεις
X	Καταστροφικός	Καταστροφή των περισσότερων κτιρίων από σκυρόδεμα και τοιχοποιία, λυγισμός στις σιδηροδρομικές τροχιές.
XI	Πολύ Καταστροφικός	Ελάχιστες κατασκευές ίσως παραμένουν όρθιες, κατάρρευση γεφυρών, σοβαρός λυγισμός στις σιδηροδρομικές τροχιές
XII	Καθολικά Καταστροφικός	Ολική καταστροφή του δομημένου περιβάλλοντος. Η επιφάνεια του εδάφους διαστρεβλώνεται, αντικείμενα πετάγονται στον αέρα κατά τη διάρκεια της κίνησης, μεγάλα βραχάδια τεμάχια αποκολλούνται.

Οι παραπάνω κλίμακες έχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους με αποτέλεσμα η μετατροπή από τη μία κλίμακα στην άλλη να αποτελεί ένα δύσκολο έργο που πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Πάντως η σύγκριση ανάμεσα στις MM και MSK έδειξε ότι γενικά δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, αλλά μεγάλες εντάσεις στην MSK – 64 ήταν ελαφρώς υπερεκτιμημένες. Με την εφαρμογή της EMS-98, που σε μεγάλο βαθμό είναι ίδια με την MSK – 64, λύνονται αρκετά θέματα ανομοιογένειας των κλιμάκων έντασης, τουλάχιστον σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Μία σύγκριση των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων κλιμάκων παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-2 (Τσελέντης Α. 1997).

Πίνακας 2-2: Συσχέτιση των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων κλιμάκων έντασης (Πηγή Τσελέντης, 1997)

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΝΤΑΣΗΣ										
MSK-64/EMS-98	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MM	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JMA	1	2	3	4	5	6	7				

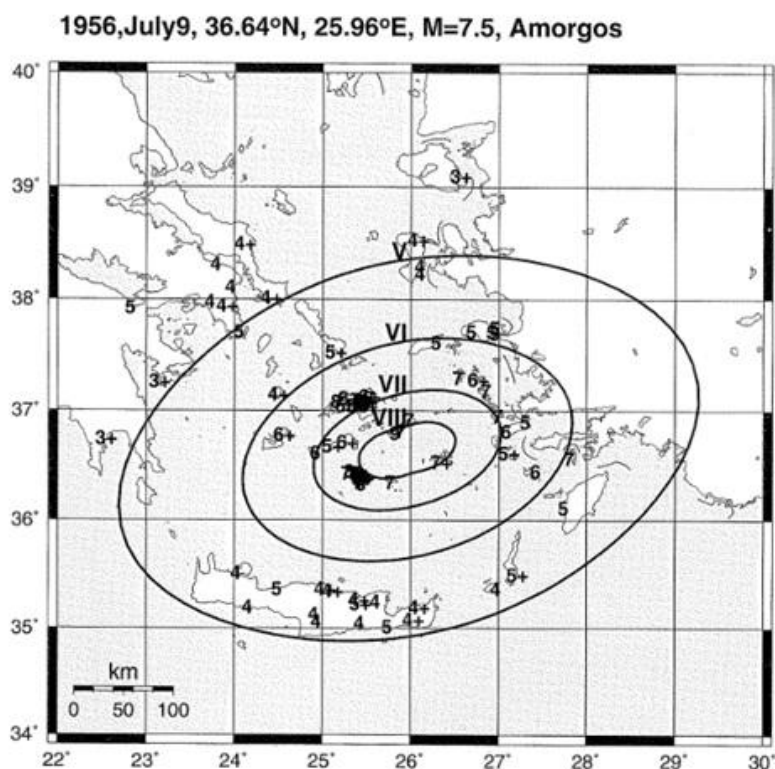
Βέβαια είναι γεγονός ότι μία ενιαία παγκόσμια κλίμακα δεν θα ήταν επιθυμητή, γιατί τα κριτήρια της έντασης, για να γίνουν εφαρμόσιμα, πρέπει να εκφράζονται με τρόπο ώστε να συμφωνούν με τις τοπικές συνθήκες κατασκευών, οι οποίες ποικίλουν πολύ από τόπο σε τόπο.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης, ότι οι παραπάνω κλίμακες επικεντρώνονται πρωτίστως στις συνέπειες της σεισμικής δόνησης στους ανθρώπους, στα υλικά αντικείμενα και στις κατασκευές. Οι αναφορές για τις επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον είναι σχετικά περιορισμένες και για αυτό το λόγο έγινε προσπάθεια τα τελευταία 15 χρόνια για τη θέσπιση μίας μακροσεισμικής κλίμακας έντασης που θα αφορά και θα περιγράφει ακριβώς αυτές τις συνέπειες ενός σεισμικού γεγονότος στη φύση δηλαδή στο έδαφος, τις υδάτινες επιφάνειες κτλ. Προϊόν αυτής της προσπάθειας είναι η κλίμακα ESI 2007 (Environmental Seismic Intensity scale) (Michetti et al, 2007) που είναι δωδεκαβάθμια και χρησιμοποιείται σε

συνεργασία με τις υπόλοιπες κλίμακες έντασης. Ο στόχος είναι με την κλίμακα ESI 2007 να αποτυπωθούν οι επιπτώσεις της σεισμικής διέγερσης στο φυσικό περιβάλλον, αλλά και από τις παρατηρήσεις της κατάστασης του γεωμορφολογίας μίας περιοχής να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τις πιθανές σεισμικές δονήσεις που αυτή έχει υποστεί (Berzhinskii, 2010). Ιδιαίτερα χρήσιμη βέβαια, φαίνεται να είναι η ESI 2007 όταν δεν επαρκούν ή δεν υπάρχουν καθόλου παρατηρήσεις που να προέρχονται από τον άνθρωπο και γενικότερα το δομημένο περιβάλλον και μάλιστα για εντάσεις συνήθως μεγαλύτερες του βαθμού IX. Ο συνοπτικός πίνακας της κλίμακας ESI 2007 παρατίθεται στο Παράρτημα Β (ISPRA, 2008)

Τέλος, για την αναπαράσταση της γεωγραφικής κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων με απλό και παραστατικό τρόπο, χρησιμοποιούνται οι **ισόσειστες καμπύλες**. Αυτές είναι καμπύλες που χωρίζουν μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή σε περιοχές ίδιας έντασης. Οι ισόσειστες παρουσιάζουν συνήθως διάφορα ακανόνιστα σχήματα που γίνονται περισσότερο πολύπλοκα, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μακροσεισμικών δεδομένων.

Η περιοχή, η οποία περικλείεται από την ισόσειστο μέγιστης έντασης ονομάζεται πλειόσειστος περιοχή, η δε σεισμική ένταση σε αυτήν την περιοχή ονομάζεται **μέγιστη μακροσεισμική ένταση ή επικεντρική ένταση** και παριστάνεται με το I_0 . Στην Ελλάδα συνήθως οι ισόσειστες καμπύλες χαράσσονται για εντάσεις ίσες ή μεγαλύτερες του βαθμού III.



Εικόνα 2-8: Παράδειγμα Ισόσειστων καμπύλων για τον σεισμό της Αμοργού το 1956 (Πηγή: <http://earthquake-now.blogspot.gr>).

2.2.3 Συσχέτιση Σεισμικού Μεγέθους και Έντασης

Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τη σεισμική ένταση με άλλες σεισμικές παραμέτρους, όπως το σεισμικό μέγεθος και την εδαφική επιτάχυνση ή μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA-Peak Ground Acceleration). Έχουν επίσης προταθεί σχέσεις εξασθένισης της σεισμικής έντασης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση για διάφορα σεισμικά μεγέθη.

Το σεισμικό μέγεθος συνδέεται με την ένταση μέσω εμπειρικών σχέσεων που προκύπτουν από την ανάλυση και σύγκριση μακροσεισμικών παρατηρήσεων από σεισμούς γνωστών παραμέτρων. Για την Ελλάδα ο Δρακόπουλος πρότεινε το 1977 την ακόλουθη σχέση (Τσελέντης, 1977):

$$M = 2.33 + 0.47I_0 \quad (2.11)$$

Για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ο Παπαϊωάννου πρότεινε την εξής σχέση (Παπαϊωάννου, 1984):

$$I_0 = 1.23 + 1.18M \quad (2.12)$$

Επίσης, οι Παπαζάχος και Παπαϊωάννου βρήκαν τις ακόλουθες σχέσεις για τους επιφανειακούς και ενδιάμεσου βάθους σεισμούς του Ελληνικού χώρου αντίστοιχα (Papazachos and Papaioannou, 1997):

$$I = 4.12 + 1.43M - 3.59 \log(\Delta + 6) \quad (2.13)$$

$$I = 1.87 + 1.69M - 3.94 \log(\Delta + 30) \quad (2.14)$$

Ακόμα οι Παπαζάχος, Καρακάϊσης και Χατζηδημητρίου (2005) αναφέρουν ότι η διαφορά της έντασης I_i σε απόσταση Δ_i , από το **μακροσεισμικό επίκεντρο**, από τη μέγιστη, I_0 , για τον Ελληνικό χώρο, δίνεται από τη σχέση:

$$I_0 - I_i = -5.36 + 4.50 \log(\Delta_i + 17) \quad (2.15)$$

όπου η απόσταση Δ_i μετριέται σε χιλιόμετρα (Km).

Για τη συσχέτιση της σεισμικής έντασης με την εδαφική κίνηση και εν προκειμένου με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση – PGA ή a , δίνεται η παρακάτω σχέση για τον Ελληνικό χώρο (Θεοδουλίδης και Παπαζάχος, 1992):

$$\log a = 0.27 I + 0.25 \quad (2.16)$$

όπου η a μετριέται σε cm/sec^2 .

Για τους επιφανειακούς σεισμούς επίσης χρησιμοποιείται η εξής σχέση (Margaris et al. (2002a) & Margaris et al. (2002b):

$$\ln Y = 4,16 + 0,69 * Mw - 1,24 \ln(R + 6) + 0,12 * S \quad (2.17)$$

όπου ανάλογα με τη κατηγορία εδάφους κατά National Earthquake Hazards Reduction program – NEHRP (βλ. Πίνακα 2-6) ισχύει:

S=0 για NEHRP site category B

S=1 για NEHRP site category C και

S=2 για NEHRP site category D

και το Y είναι σε cm/s^2 και η επικεντρική απόσταση R σε km.

Πέραν των παραπάνω, κατά καιρούς έχουν δημιουργηθεί εμπειρικοί πίνακες που συσχετίζουν την σεισμική ένταση, το μέγεθος και την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση. Ο Πίνακας 2-3 δείχνει την σχέση μεταξύ μεγέθους και έντασης της κλίμακας MM, όπως ακριβώς υπάρχει στην επίσημη ιστοσελίδα του United States Geological Survey (USGS) για το πρόγραμμα «Earthquake Hazards Program». Επίσης στον Πίνακα 2-4 φαίνεται η συσχέτιση της σεισμικής Έντασης με το Σεισμικό Μέγεθος και την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση – PGA (Bolt, 1999).

Πίνακας 2-3: Σχέση Μεγέθους και έντασης της κλίμακας Modified Mercalli (MM) (Πηγή: earthquake.USGS.gov)

Μέγεθος Σεισμού	Ένταση Σεισμού (Maximum Modified Mercalli Intensity)
1.0 - 3.0	I
3.0 - 3.9	II - III
4.0 - 4.9	IV - V
5.0 - 5.9	VI - VII
6.0 - 6.9	VII - IX
>7.0	>VIII

Πίνακας 2-4: Συσχέτιση Έντασης – Μεγέθους – PGA (Πηγή: Bolt, 1999).

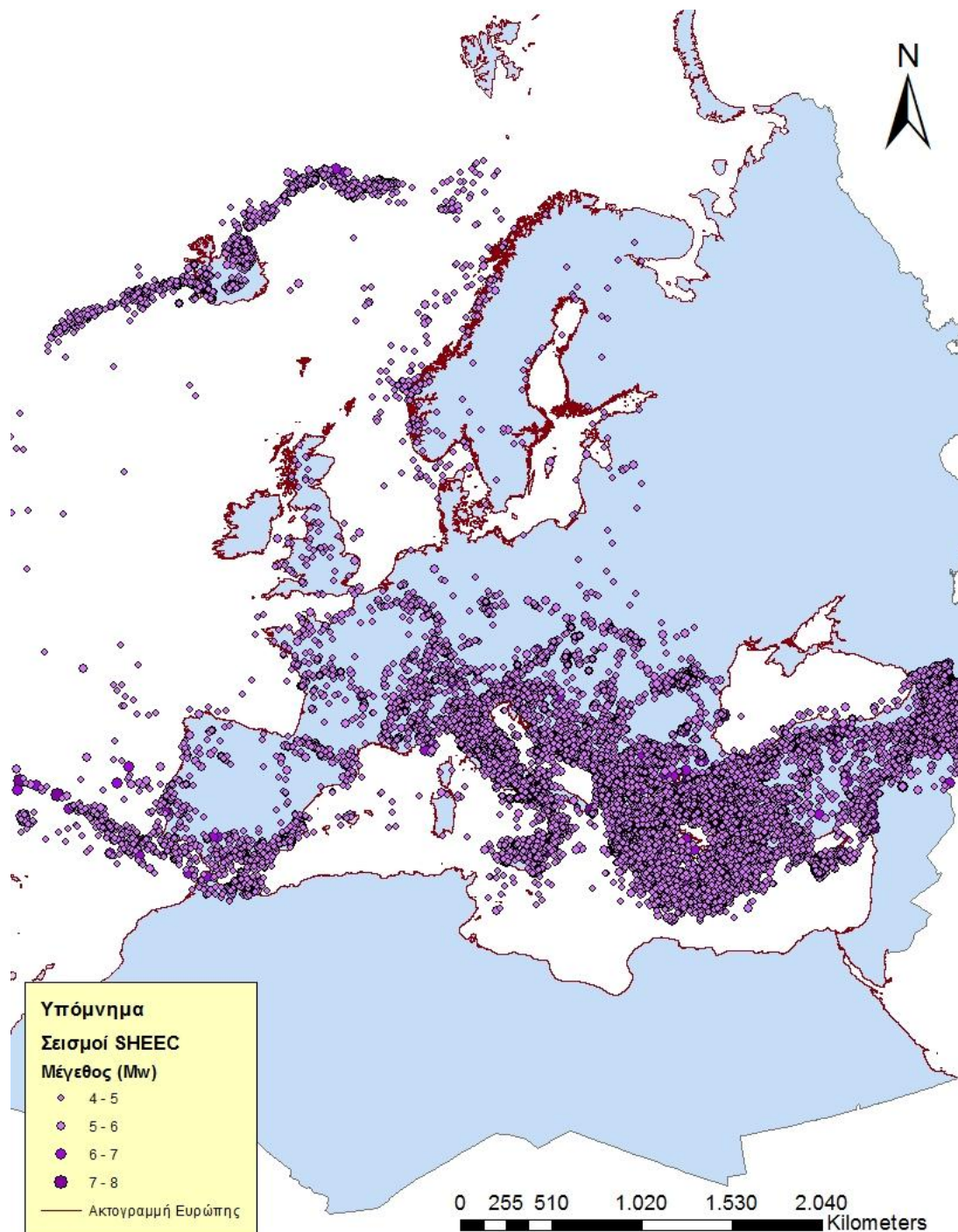
Ένταση Σεισμού (MM Intensity)	Μέγεθος	Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), $g=9,8m/s^2$
I	<3,4	
II	<4	
III	4,2	
IV	4,3 – 4,8	0,015g – 0,02g
V	4,9 - 5,4	0,03g – 0,04g

VI	5,5 – 6,1	0,06g – 0,07g
VII	5,5 – 6,1	0,10g – 0,15g
VIII	6,2 – 6,9	0,25g – 0,30g
IX	6,2 – 6,9	0,5g – 0,55g
X	7,0 – 7,3	>0,60g
XI	7,4 – 7,9	>0,70g
XII	>8	>0,95g

2.3 Η Σεισμικότητα στον Ελλαδικό Χώρο

Καθώς οι περισσότεροι σεισμοί οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, οι ζώνες έντονης σεισμικής δράσης ουσιαστικά ταυτίζονται με τις παρυφές των πλακών αυτών. Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική, γι' αυτό και είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας (η σεισμικότητα ενός τόπου καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των σεισμών και τα μεγέθη τους). Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, τις Νέες Εβρίδες, το Περού, τα νησιά Σολομώντα και τη Χιλή.

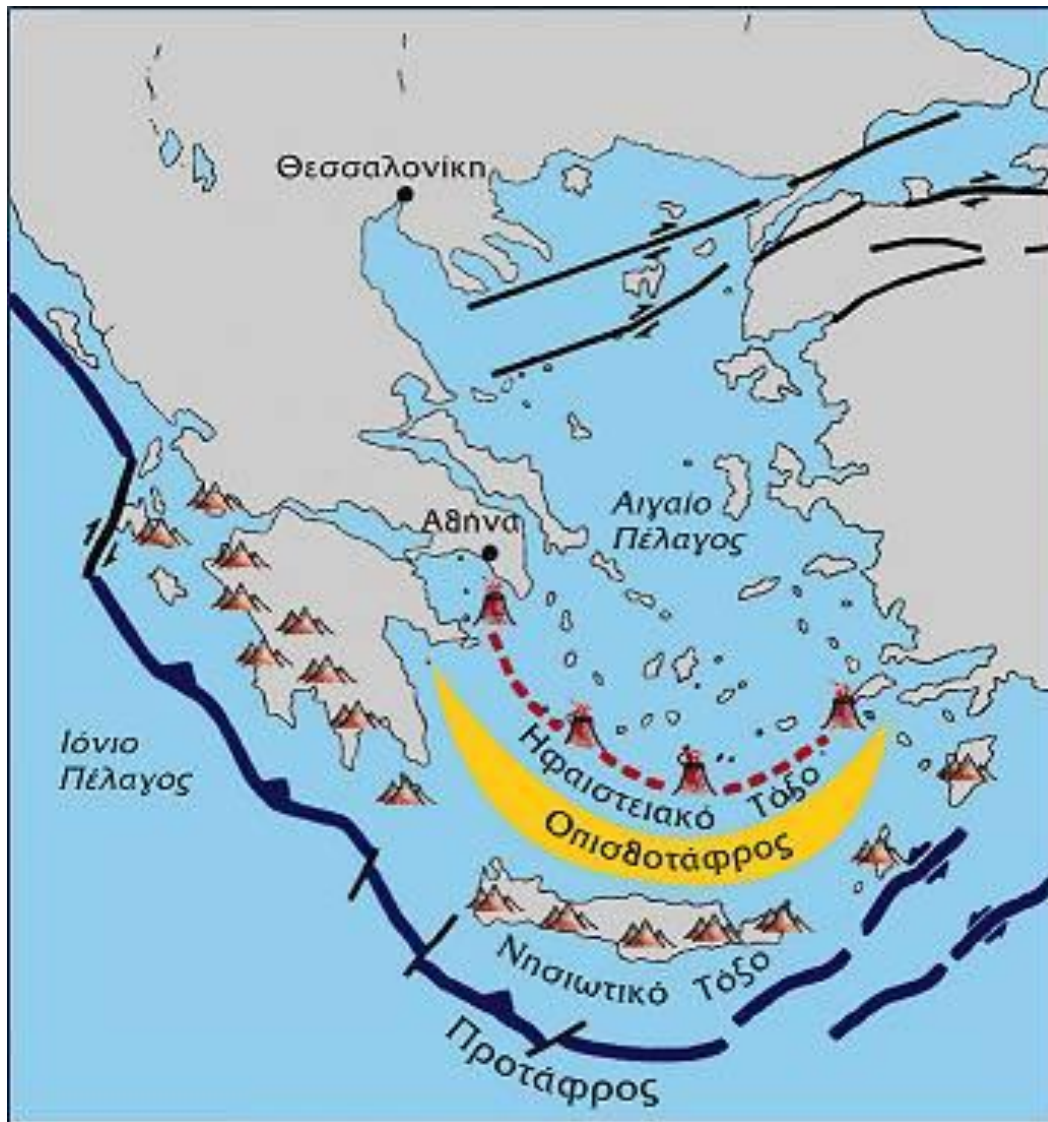
Το παραπάνω στατιστικό στοιχείο φαίνεται χαρακτηριστικά στο Χάρτη 2-1 που δείχνει τη σεισμική δραστηριότητα στον Ευρωπαϊκό χώρο (μεγέθη $M_w > 4$, από το 1000 μέχρι 2001 μ.Χ), όπως προκύπτει από τον κατάλογο SHEEC (SHARE European Earthquake Catalog) του προγράμματος SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) που υποστηρίζεται από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής EC – European Commission) FP7- project NERA (Framework Program 7 – Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation).



Χάρτης 2-1: Σεισμική δραστηριότητα στην Ευρώπη τη τελευταία χιλιετηρίδα.

Βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου είναι το Ελληνικό τόξο. Το Ελληνικό τόξο (τόξο του Αιγαίου) αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας (τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο) και της Αφρικανικής πλάκας (τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατ. Μεσογείου). Οι δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν στην περιοχή αυτή με σχετική ταχύτητα 2,5 εκατοστά το χρόνο, με συνέπεια την καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας της Ανατ. Μεσογείου, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου.

Το τόξο (Σχήμα 2-8) που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο.



Εικόνα 2-9: Το Ελληνικό Τόξο (Παπανικολάου, 1998)

Η **τάφρος** δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, δηλαδή μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες που εκτείνονται από τη Ρόδο μέχρι την Κεφαλονιά. Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4.500m), το οποίο αποτελεί και το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου.

Το **νησιωτικό τόξο** αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας.

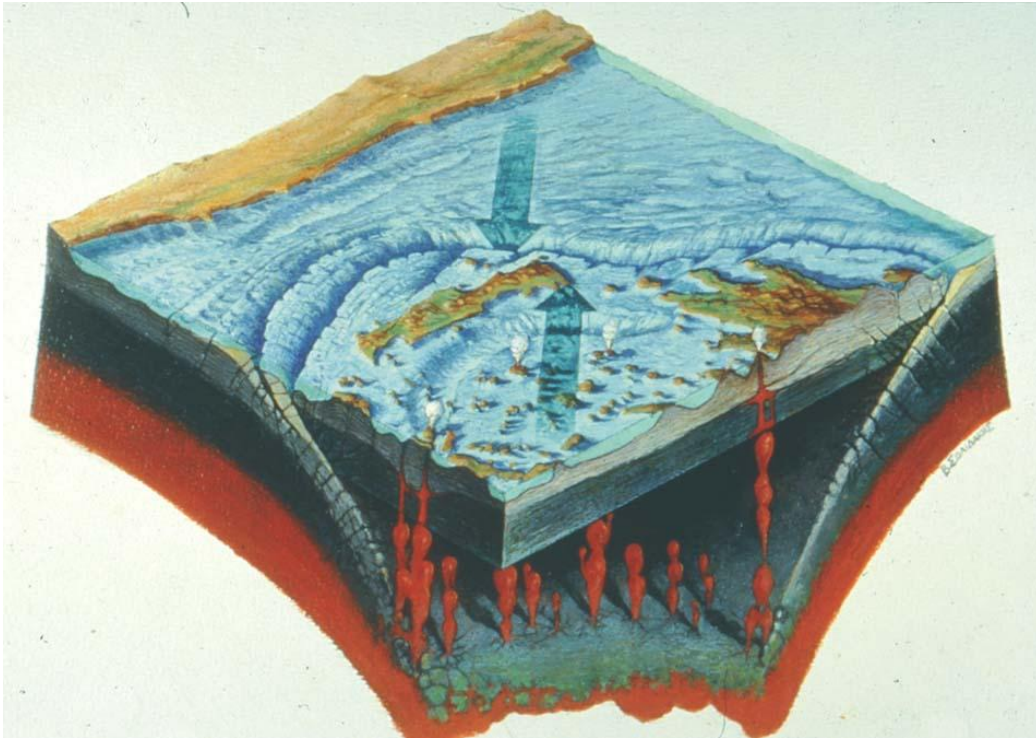
Η οπισθοτάφρος είναι μία θαλάσσια λεκάνη (Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 2.000m περίπου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα.

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια (ενεργά και ανενεργά) Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάτληξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Κατά την άνοδό του το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια.



Εικόνα 2-10: Το Ελληνικό Τόξο σε τομή διεύθυνσης Β-Ν (Παπανικολάου, 1998)

Η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας έχει διαπιστωθεί και έχει καθορισθεί (Parazachos & Comninakis, 1971) από τον προσδιορισμό των εστιών και των μηχανισμών γένεσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, οι οποίοι διατάσσονται σε μια ζώνη, τη ζώνη Benioff. Η κλίση της βυθιζόμενης πλάκας (ζώνη Benioff) υπολογίσθηκε λοιπόν από τη χαρτογράφηση των σεισμών ότι είναι 35ο προς ΒΒΑ και η βυθιζόμενη πλάκα έχει φθάσει σε βάθος περί τα 200 km.



Εικόνα 2-11: Στερεογραφικό σκαρίφημα που δείχνει τη βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατικό περιθώριο στο χώρο του Νοτίου Αιγαίου κατά Angelier, 1979) (Πηγή: Mountrakis, 1990)

Το θέμα της σεισμικής δραστηριότητας στο Αιγαίο και των αιτίων της είναι αρκετά πολύπλοκο. Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο είναι αυξημένη εξαιτίας (Σχήματα 2-11 και 2-12):

- Συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στη σύγκλιση της Αφρικανικής – Ανατ. Μεσογείου λιθοσφαιρικής πλάκας με την αντίστοιχη Ευρασιατική – Αιγαίο. Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο.
- Συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στην αριστερόστροφη περιστροφή της Αδριατικής – Απουλίας πλάκας. Η περιστροφή προκαλεί τη γένεση επιφανειακών σεισμών κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεντρικής Ελλάδας, στα Ιόνια Νησιά και ιδιαίτερα στην Κεφαλονιά, στην Αλβανία και κατά μήκος των ακτών της Κροατίας.
- Συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται κυρίως στην κίνηση της Τουρκικής – Ανατολίας λιθοσφαιρικής πλάκας προς τα δυτικά, που με τη σειρά της η κίνηση αυτή οφείλεται στην προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας.
- Οριζόντιων εφελκυστικών δυνάμεων που έχουν διεύθυνση βορρά – νότου και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου εξαιτίας της οριζόντιας κίνησης των ρευμάτων μεταφοράς.



Εικόνα 2-12: Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Με τα κόκκινα βέλη οι συμπιεστικές δυνάμεις που ασκούν οι γειτονικές πλάκες στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Με τα κίτρινα βέλη οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας, κατά Παπαζάχος, Β., 1989. (Πηγή: ΟΑΣΠ)



Εικόνα 2-13 : Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλάκων στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού - Αιγαίου Τόξου και του Κυπριακού Τόξου, κατά Παπαζάχος 2001 (Πηγή: Μουντράκης Δ., 1990)

2.4 Σεισμική Επικινδυνότητα

2.4.1 Ορισμοί

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα των σεισμών σε ένα τόπο (βλάβες στις τεχνικές κατασκευές, θάνατοι, κτλ.) καθορίζονται από τις αναμενόμενες σεισμικές κινήσεις στον τόπο αυτό και από τις ιδιότητες των κατασκευών οι οποίες πρόκειται να υποστούν τις σεισμικές κινήσεις. Προέκυψε έτσι η ανάγκη να καθοριστούν τρεις αντίστοιχοι σεισμολογικοί όροι, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα των σεισμών στις κατασκευές, την αναμενόμενη απόκριση των κατασκευών στη σεισμική κίνηση και τις αναμενόμενες σεισμικές κινήσεις στα θεμέλια των κατασκευών. Ως τέτοιοι όροι έχουν καθιερωθεί ο «**σεισμικός κίνδυνος**», η «**τρωτότητα**» και η «**σεισμική επικινδυνότητα**»

- Ως **σεισμικό κίνδυνο**, **R**, (seismic Risk), ορίζουμε τον αναμενόμενο βαθμό σεισμικής βλάβης τον πρόκειται να υποστεί μία τεχνική κατασκευή. Ο σεισμικός κίνδυνος εξαρτάται από τις αναμενόμενες σεισμικές κινήσεις στα θεμέλια της κατασκευής και από τον τρόπο απόκρισης της κατασκευής στις σεισμικές κινήσεις.
- Ο αναμενόμενος τρόπος απόκρισης μιας τεχνικής κατασκευής στις σεισμικές κινήσεις ονομάζεται **τρωτότητα**, **V**, (Vulnerability), της κατασκευής. Η τρωτότητα εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών της κατασκευής, από την ιδιοπερίοδο της, τον παράγοντα απόσβεσης, κτλ. (Παπαζάχος, Καρακαϊσής & Χατζηδημητρίου, 2005)
- **Σεισμική επικινδυνότητα**, **H** (seismic Hazard), ενός τόπου ορίζουμε την πιθανότητα κάποιο μέτρο έκφρασης των συνεπειών του σεισμικού φαινομένου, συνήθως οι μέγιστες τιμές εδαφικής κίνησης (μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση), να ξεπεράσει μία δεδομένη τιμή στον τόπο αυτό μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα. Το χρονικό διάστημα, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται, είναι αυτό του χρόνου ζωής των κατασκευών (50-60 χρόνια).

Η σεισμική επικινδυνότητα σε μία θέση εξαρτάται κυρίως από τρεις παράγοντες, το είδος και το μέγεθος της σεισμικής πηγής, την επίδραση του μέσου διάδοσης καθώς και την επίδραση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών. Φαίνεται λογικό ότι η μακροσεισμική ένταση I μοιάζει με την σεισμική επικινδυνότητα, όμως επειδή η ένταση χρησιμοποιείται συνήθως για να εκφράσει την ποσοτική εκτίμηση των βλαβών των κατασκευών αποτελεί ουσιαστικά μέτρο του σεισμικού κινδύνου.

Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι το αποτέλεσμα μίας μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας δεν αναφέρεται στις αναμενόμενες πιθανές κινήσεις από κάποιο

συγκεκριμένο ρήγμα ή ρηξιγενή ζώνη, αλλά περιλαμβάνει όλες τις πιθανές περιπτώσεις που συντελούν στο να ξεπεράσει (ή να μην ξεπεράσει) π.χ. η εδαφική κίνηση στη θέση ενδιαφέροντος κάποια τιμή με ορισμένη πιθανότητα. Έχει δηλαδή έναν έντονο στοχαστικό χαρακτήρα.

Την εξάρτηση του σεισμικού κινδύνου, R , από τη σεισμική επικινδυνότητα, H , και τη τρωτότητα, V , τη συμβολίζουμε συνήθως με τη σχέση $R = H * V$. Θεωρητικά προκύπτει ότι μπορούμε να ελαττώσουμε το σεισμικό κίνδυνο (μείωση βλαβών, θανάτων, κτλ.) αν ελαττώσουμε τη σεισμική επικινδυνότητα ή την τρωτότητα. Για αυτό το λόγο ο ακριβής καθορισμός της σεισμικής επικινδυνότητας και της τρωτότητας είναι πρωταρχικής σημασίας για τον αντισεισμικό σχεδιασμό.

2.4.2 Αντισεισμικός Σχεδιασμός

Απαραίτητη προϋπόθεση για το σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό μιας τεχνικής κατασκευής είναι η εκ των προτέρων εκτίμηση των δυνάμεων που αναμένεται να δράσουν επάνω στη κατασκευή κατά τη διάρκεια της ζωής της και ο υπολογισμός της σεισμικής της απόκρισης. Με τον όρο σεισμική απόκριση εννοούνται οι παραμορφώσεις και τα εντατικά μεγέθη του φορέα τα οποία προκύπτουν σαν αποτέλεσμα της εδαφικής σεισμικής κίνησης στη βάση της κατασκευής. Οι σεισμικές αυτές δονήσεις εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά των σεισμών που αναμένεται να πλήξουν την κατασκευή, η επικεντρική τους απόσταση, οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες καθώς και ο τρόπος κατασκευής. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η σπουδαιότητα της κατασκευής. Τις απαιτούμενες αυτές οδηγίες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό παρέχουν οι **Αντισεισμικοί Κανονισμοί (Α.Κ.)**.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού ενός αντισεισμικού κανονισμού βασίζεται στα διάφορα επίπεδα ασφαλείας που παρέχει. Δίδεται κυρίως έμφαση στην ανθρώπινη ασφάλεια και μετέπειτα στην ελαχιστοποίηση των ζημιών. **Κύριοι στόχοι** είναι:

- Η προστασία της ανθρώπινης ζωής στην περίπτωση υψηλών εντάσεων.
- Ο περιορισμός ή και η αποφυγή οικονομικών απωλειών στην περίπτωση μέτριων εντάσεων .
- Η διασφάλιση μιας ελάχιστης στάθμης λειτουργιών των έργων.

Γενικά είναι αποδεκτό σήμερα ότι υπάρχει η τεχνογνωσία για το σχεδιασμό κατασκευών που να ανταπεξέρχονται ακόμη και στους μεγαλύτερους σεισμούς χωρίς σημαντικές ζημιές, υιοθετώντας ελαστική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης. Επειδή αυτό βέβαια πολλές φορές κρίνεται αντισυμβατικό, στην

πράξη γίνεται αποδεκτό ένα συγκεκριμένο επίπεδο ζημιών στο φέροντα οργανισμό, κυρίως υπό τη μορφή πλαστικών παραμορφώσεων, ανάλογα πάντα με την ένταση και τη συχνότητα των αναμενόμενων σεισμικών δονήσεων.

Στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης, βάση του οποίου γίνεται η σχεδίαση και υλοποίηση μίας κατασκευής, λαμβάνει υπόψη του διάφορους παράγοντες οι οποίοι έχουν να κάνουν με το είδος της κατασκευής, τη σπουδαιότητα της, τις συνθήκες θεμελίωσης, τη γεωλογία κτλ. Κατά κύριο λόγο αυτοί είναι **οι συντελεστές**:

- Σεισμικής επικινδυνότητας
- Σπουδαιότητας
- Συμπεριφοράς
- Θεμελίωσης
- Ιδιοπεριόδου
- Και η κατηγορία εδάφους

Συγκεκριμένα, ο συντελεστής σεισμικής επικινδυνότητας χαρακτηρίζει τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής στην οποία ανήκει η υπό ανέγερση κατασκευή. Συνήθως η χώρα στην οποία αναφέρεται ο αντισεισμικός κανονισμός χωρίζεται σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί μια διαφορετική τιμή του συντελεστή σεισμικής επικινδυνότητας. Ο συντελεστής εκφράζει τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε μονάδες g (επιτάχυνση της βαρύτητας) και ουσιαστικά δηλώνει την πιθανότητα 10% να υπερβεί η PGA την τιμή αυτή τα επόμενα 50 χρόνια.

Ο συντελεστής σπουδαιότητας αφορά ακριβώς την προσδιδόμενη σπουδαιότητα της κατασκευής, με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα και άρα μεγαλύτερο συντελεστή να έχουν τα δημόσια κτίρια, νοσοκομεία, σχολεία κτλ.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς εκφράζει γενικά την ικανότητα ενός δομικού συστήματος να καταναλώνει ενέργεια χωρίς να μειώνεται δραστικά η αντοχή του και εξαρτάται από τη διαθέσιμη πλαστικότητα των στοιχείων της κατασκευής και την κατανομή των αντοχών, μαζών κτλ. εντός της κατασκευής.

Ο συντελεστής θεμελίωσης εξαρτάται γενικά από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης, ενώ ο συντελεστής ιδιοπεριόδου δηλώνει την επίδραση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής στον καθορισμό της σεισμικής δύναμης σχεδιασμού.

Η κατηγορία εδάφους εκφράζει τον τύπο του εδάφους σε σχέση με την απόκριση που έχουν αυτά σε ενδεχόμενη σεισμική δόνηση.

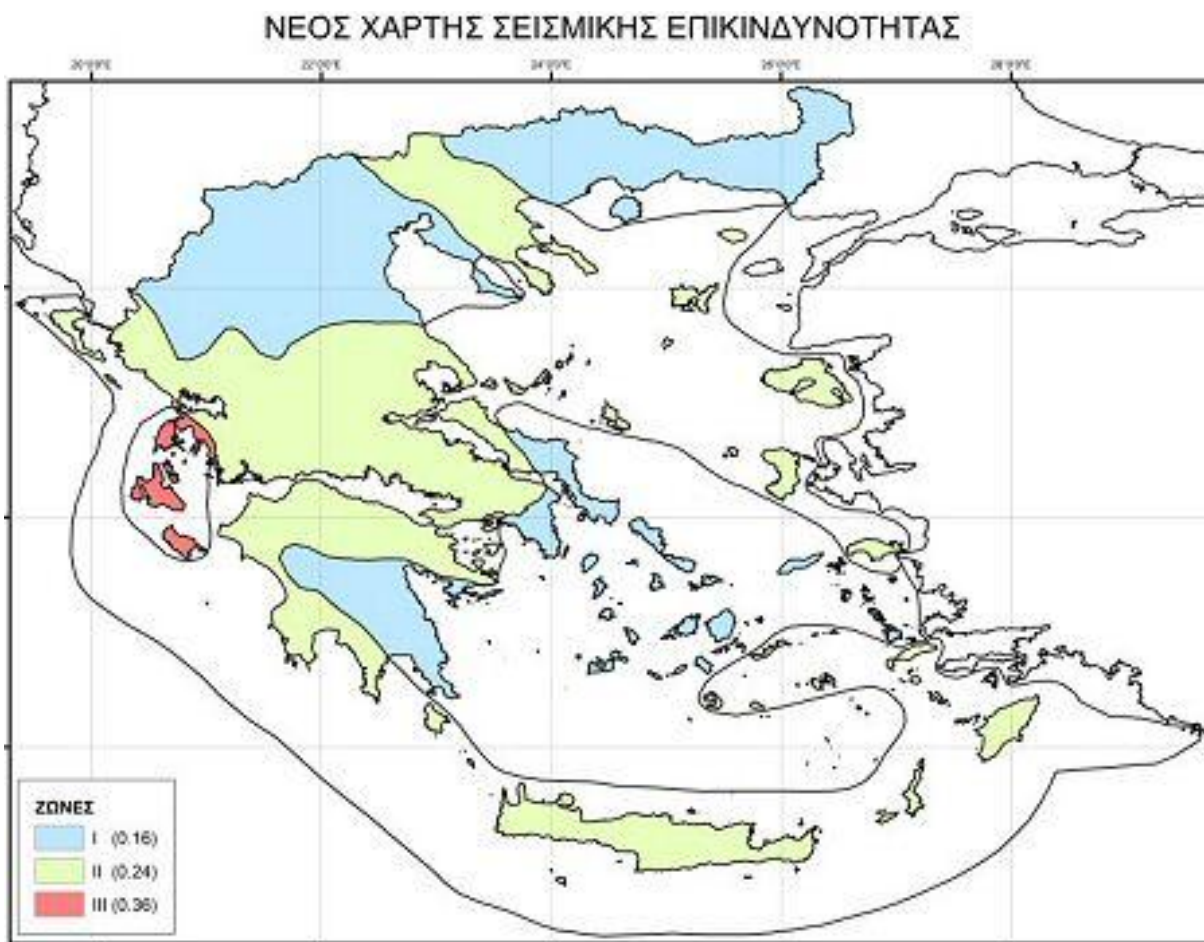
Αναφορικά με την κατηγορία των εδαφών αξίζει να αναφερθεί ότι την καλύτερη συμπεριφορά σε σεισμικές κινήσεις παρουσιάζουν γενικά τα βραχώδη εδάφη ενώ τη χειρότερη τα κοκκώδη, χαλαρά εδάφη. Συνήθως για την κατηγοριοποίηση των εδαφών με μεγάλη αξιοπιστία χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες **μικροζωνικές μελέτες**. Με τις μικροζωνικές γίνεται εκτίμηση των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή λαμβάνοντας υπόψη το σεισμικό περιβάλλον και δίνοντας έμφαση στην επίδραση των τοπικών γεωλογικών και εδαφοτεχνικών συνθηκών.

2.4.3 Το Νομικό Πλαίσιο στην Ελλάδα (ΝΕΑΚ-2000)

Όπως γίνεται αντιληπτό ο Αντισεισμικός Κανονισμός κάθε χώρας είναι το θεσμικό κείμενο που περιέχει το σύνολο των κανόνων που καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών, το οποίο αναθεωρείται και επικαιροποιείται όποτε κρίνεται αναγκαίο από τον αντίστοιχο φορέα που το εκδίδει.

Ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός στην Ελλάδα συντάχθηκε και άρχισε να ισχύει το 1959. Το 1984 συμπληρώθηκε με πρόσθετα άρθρα, η αποκλειστική εφαρμογή των οποίων άρχισε το 1985. Το 1995 τέθηκε σε αποκλειστική εφαρμογή ο Ν.Ε.Α.Κ. (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός), ενώ από το 2001 ισχύει ο **Ν.Ε.Α.Κ. – 2000 (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός - 2000)**. Από τότε μέχρι σήμερα, στο αρχικό κείμενο του ΝΕΑΚ - 2000 έχουν γίνει τροποποιήσεις, συμπληρώσεις και διευκρινήσεις που κρίθηκαν αναγκαίες.

Το 2003 συμπεριλήφθηκε στον Κανονισμό ο Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας. Στο Χάρτη αυτό υπάρχουν 3 Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας σε αντίθεση με τον προηγούμενό του που υπήρχαν 4. Ο χάρτης αυτός φαίνεται στην εικόνα 2-14.



Εικόνα 2-14: Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Πηγή: NEAK-2000)

Ο NEAK-2000 οφείλει να είναι εναρμονισμένος με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες EC-8 (Eurocode-8) (Αντισεισμικός) και EC-7 (Θεμελιώσεων), που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Συνεπώς με τη εφαρμογή του Κανονισμού θα πρέπει να θεωρείται ότι ικανοποιούνται οι θεμελιώδεις συνθήκες επάρκειας μιας κατασκευής.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό, ο σχεδιασμός και η χρήση μιας κατασκευής θεωρείται ότι αντιμετωπίζει επαρκώς τον σεισμικό κίνδυνο, δηλαδή εξασφαλίζει περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες για σεισμό μεγάλης έντασης, ενώ ελαχιστοποιεί τις βλάβες για σεισμούς μικρότερης έντασης. Κατά την επιβολή των σεισμικών δράσεων «σχεδιασμού» συνεπώς, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς, κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής:

- Αποφυγή καταρρεύσεως
- Περιορισμός βλαβών
- Διατήρηση ελάχιστης στάθμης λειτουργιών

Γενικότερα, ο NEAK-2000 περιέχει υποχρεωτικές διατάξεις, οι οποίες καθορίζουν τις ελάχιστες σεισμικές δράσεις σχεδιασμού και τους αντίστοιχους συνδυασμούς δράσεων, τις απαιτήσεις συμπεριφοράς για τους παραπάνω συνδυασμούς δράσεων, καθώς και τα

κριτήρια ελέγχου της ασφάλειας, τις μεθόδους υπολογισμού της εντάσεως και παραμορφώσεως των κατασκευών και τέλος τις ειδικότερες κατασκευαστικές διατάξεις των φορέων και των υλικών.

Πρόσθετα, παρόλο που ο ΝΕΑΚ-2000 είναι αρκετά σαφής στα περισσότερα κριτήρια και διαδικασίες που προβλέπει, υπάρχουν κάποια σημεία τα οποία υπόκεινται στην υποκειμενική κρίση του μελετητή και ενέχουν ασάφειες που μπορεί να επηρεάσουν τη σεισμική επικινδυνότητα μιας κατασκευής. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, αναφέρονται κάποια από αυτά και ουσιαστικά αποτελούν χρήσιμες παρατηρήσεις που θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια της εργασίας:

- α. Στο σύνολό της η Κρήτη υπάγεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II, ήτοι για κάθε περιοχή της Κρήτης υπάρχει η πιθανότητα 10%, λόγω σεισμού, να υπερβεί η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση την τιμή $0,24g$ ($g=9,82m/s^2$) μέσα στα επόμενα 50 χρόνια.
- β. Οι κατηγορίες εδαφών στον ΝΕΑΚ είναι 5 (Α,Β,Γ,Δ,Χ) οι οποίες διαφοροποιούνται με «ποιοτικά» χαρακτηριστικά (βραχώδη, κοκκώδη, χαλαρά λεπτόκοκκα εδάφη κτλ.) και όχι με «ποσοτικές» παραμέτρους, όπως είναι η τιμή της V_s^{30} ή $V_{s,30}$ (average shear velocity down to 30m). Η $V_{s,30}$ που έχει προταθεί από πολλούς μελετητές (Wald D.J., Allen T.I., 2007) για τον χαρακτηρισμό των εδαφών ως προς την σεισμική τους απόκριση, ήδη χρησιμοποιείται από τον Ευρωκώδικα Eurocode 8 (EC-8, EN 1998-1, Design of structures for earthquake resistance), αλλά και από άλλους φορείς όπως ο National Earthquake Hazards Reduction program (NEHRP) των ΗΠΑ .
- γ. Δεν αναφέρεται συγκεκριμένο κριτήριο – απαίτηση απόστασης των κατασκευών από τα ενεργά ή πιθανώς ενεργά ρήγματα. Συγκεκριμένα στη Παράγραφο 5.1.2 του εν λόγω Κανονισμού αναφέρεται ότι: « Εν γένει δεν επιτρέπεται η δόμηση κτισμάτων σπουδαιότητας Σ2, Σ3 και Σ4 στην **άμεση γειτονία** σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικώς ενεργά». Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2-5 τα έργα με σπουδαιότητα Σ3 ή Σ4 είναι έργα, κατά κύριο λόγο, μεγάλης κλίμακας κοινωνικού ενδιαφέροντος, όπως σχολεία, νοσοκομεία, κτλ., τα οποία αποτελούν και το αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 2-5: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτιρίων (Πηγή: NEAK 2000)

Κατηγορία Σπουδαιότητας	
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).

Πίνακας 2-6: Κατηγοριοποίηση εδαφών σύμφωνα με τον NEHRP (Πηγή University of Utah Seismograph Stations – UUSS)

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή	Μέση διατμητική ταχύτητα στα 30m ή 100 ft (Soil Shear Wave Velocity, V_s)	
		ft/sec	m/sec
A	Hard Rock	$V_s > 5000$	$V_s > 1524$
B	Rock	$2500 < V_s \leq 5000$	$762 < V_s \leq 1524$
C	Very dense soil and soft rock	$1200 < V_s \leq 2500$	$366 < V_s \leq 762$
D	Stiff soil profile	$600 < V_s \leq 1200$	$183 < V_s \leq 366$
E	Soft soil profile	$V_s < 600$	$V_s < 183$

Πίνακας 2-7: Τύποι εδαφών σύμφωνα με τον EC8

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (κρούσεις/30cm)	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S_1			

Κεφάλαιο 3. Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα GIS

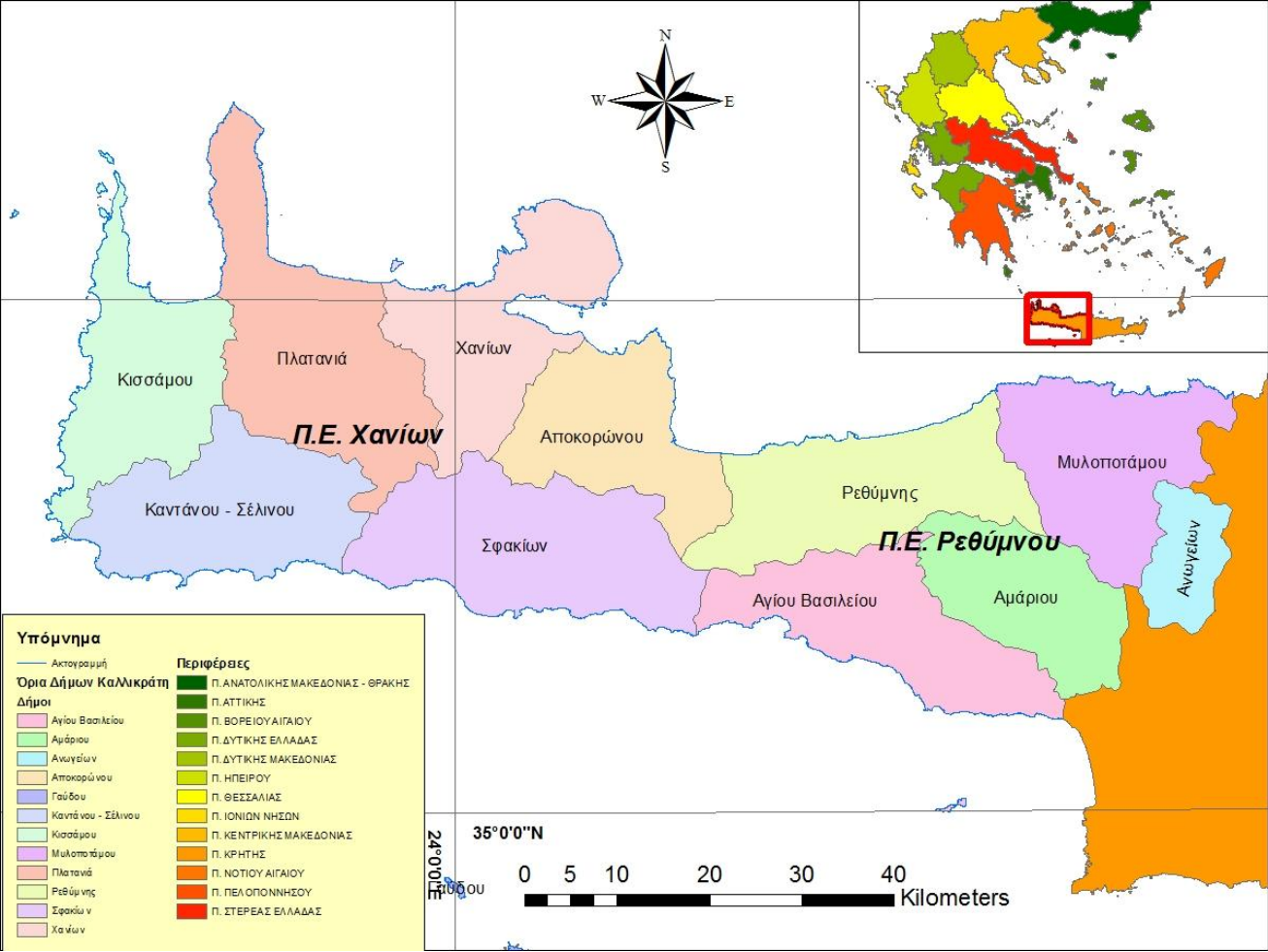
3.1 Η Περιοχή Μελέτης

3.1.1 Γενικά

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το 5ο μεγαλύτερο στη Μεσόγειο. Πρωτεύουσα καθώς και μεγαλύτερη πόλη της είναι το Ηράκλειο. Η Κρήτη εδράζει περίπου 160 χλμ νότια της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας εκτεινόμενη κατά διεύθυνση Ανατολή - Δύση, νότια του Αιγαίου πελάγους, του οποίου και αποτελεί το νότιο φυσικό όριο και βόρεια του Λιβυκού. Αποτελεί τμήμα της περιφερειακής διοίκησης της Ελλάδας (Περιφέρεια Κρήτης) και χωρίζεται σε τέσσερις περιφερειακές ενότητες: Ηρακλείου, Χανίων, Λασιθίου και Ρεθύμνης με έδρα το Ηράκλειο.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η **Δυτική Κρήτη** που αποτελείται από τις **Περιφερειακές Ενότητες (Π.Ε.) Χανίων και Ρεθύμνου**. Η περιοχή βρέχεται βόρεια από το Κρητικό Πέλαγος και Νότια από το Λιβυκό Πέλαγος, ενώ η συνολική της έκταση είναι $3.872,98 \text{ km}^2$ που αποτελεί περίπου το 46,4% της επιφάνειας της Κρήτης. Ο συνολικός μόνιμος πληθυσμός της περιοχής μελέτης είναι 242.194 κάτοικοι βάση των αποτελεσμάτων της απογραφής του 2011 που παρουσιάζονται στον ηλεκτρονικό ιστότοπο της ΕΛΣΤΑΤ (Απογραφή 2011).

Στο Χάρτη 3-1 φαίνεται η θέση της περιοχής μελέτης και η διοικητική της διαίρεση βάση του σχεδίου Καλλικράτη.

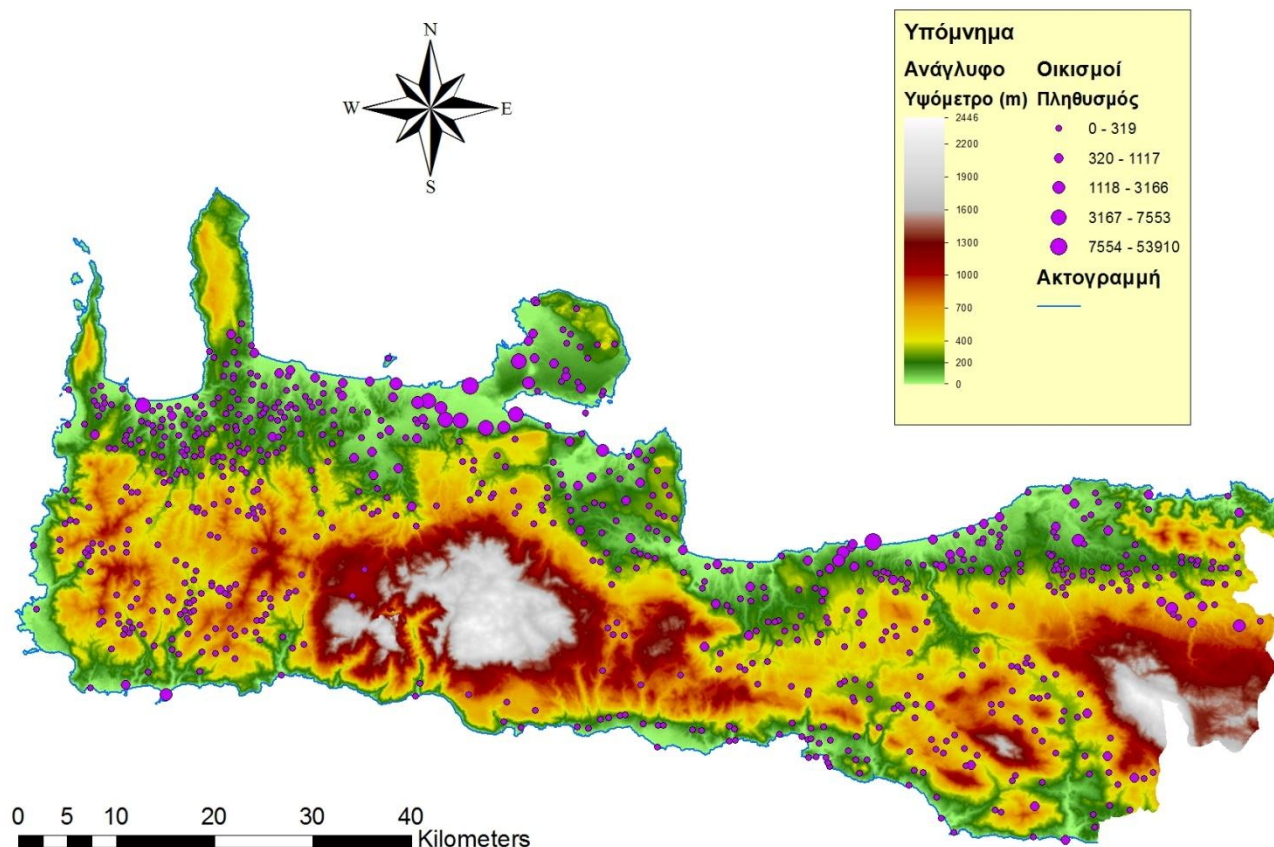


Χάρτης 3-1: Διοικητική διαίρεση της Περιοχής Μελέτης με το σχέδιο Καλλικράτη.

3.1.1.1 Γεωμορφολογία

Η μορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών βασικών ζωνών: τη ζώνη με υψόμετρο 400 m και άνω (υψηλή ή ορεινή), τη ζώνη από 200-400 m (μέση) και τη χαμηλή ζώνη που αφορά στις περιοχές που εκτείνονται από την επιφάνεια της θάλασσας έως τα 200m υψόμετρο. Οι δύο πρώτες ζώνες καταλαμβάνουν σχεδόν τα 3/5 της περιοχής και αποτελούν μια συνεχή οροσειρά από τα δυτικά προς τα ανατολικά, διακοπτόμενη από μικρές κοιλάδες και φαράγγια.

Στο Χάρτη 3-2 φαίνεται το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής, η διαμόρφωση δηλαδή των υψομέτρων, όπου σε αυτόν προστέθηκαν οι θέσεις οικισμών και πόλεων με τέτοιο τρόπο που να αποτυπώνεται και ο μόνιμος πληθυσμός (Απογραφή 2011) τους.



Χάρτης 3-2: Ανάγλυφο της περιοχής και θέση των Οικισμών στη Δυτική Κρήτη

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω χάρτη το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής είναι ορεινό. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα της Δυτικής Κρήτης είναι από τα δυτικά τα Λευκά όρη (2.454 m) και στο ανατολικό τμήμα ο Ψηλορείτης (ή Ίδη, 2.456 m). Προς τα νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φθάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια της περιοχής το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο και λοφώδες (πεδιάδες Χανίων και Ρεθύμνου). Επίσης, το απότομο ανάγλυφο και η συχνή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών σε συνδυασμό με το μικρό εύρος του νησιού έχουν ευνοήσει το σχηματισμό χειμάρρων και την εμφάνιση πολλών πηγών, όχι όμως το σχηματισμό μεγάλων ποταμών (ΕΜΠ, ΠΕΣΔΑ, 2010).

3.1.1.2 Γεωλογία

Η Κρήτη και κατ' επέκταση η περιοχή μελέτης έχει μια ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη γεωλογική δομή, λόγω της άμεσης γειτνίασης με το χώρο υποβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική. Η δομή της χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τεκτονικών καλυμμάτων – ζωνών προαλπικών, αλπικών πετρωμάτων και μετααλπικών νεογενών λεκανών.

Τα προαλπικά-αλπικά καλύμματα είναι:

- **Πλακώδεις ασβεστόλιθοι** (Plattenkalk) (Μ. Ιουρασικό-Ολιγόκαινο, 170-28 εκατομ. χρόνια), κάλυμμα ανθρακικών πετρωμάτων που αποτέθηκαν σε νηριτικό (αβαθές) περιβάλλον, το οποίο μεταβλήθηκε σε πελαγικό (βαθιάς θάλασσας). Η απόθεση κλείνει με τον ολιγοκαινικό φλύσχη της σειράς, υπολείμματα του οποίου εμφανίζονται σε μικρή έκταση στον Ψηλορείτη. Είναι η μόνη ενότητα που σχηματίστηκε στην Κρήτη, γι' αυτό και καλείται αυτόχθονη. Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι απαρτίζουν τους ορεινούς όγκους της Κρήτης. Τα βαθύτερα μέλη τους τα συναντάμε στα Λευκά Όρη (μάρμαρα Παντοκράτορα).
- **Το κάλυμμα του Τρυπαλίου**, άγνωστης ηλικίας, που «κάθεται» τεκτονικά αμέσως πάνω στους πλακώδεις ασβεστολίθους σε ορισμένες θέσεις, στη Δ. Κρήτη. Περιλαμβάνει ανθρακικά κροκαλοπαγή, ασβεστολίθους και κυρίως δολομίτες.
- **Το κάλυμμα της Φυλλιτικής- Χαλαζιτικής** σειράς, πιθανόν προαλπικό ηπειρωτικό τέμαχος, που αποτελείται από φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα, ραουβάκες και γύψους. Είναι μεταμορφωμένα πετρώματα σε συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας. Βρίσκεται, τεκτονικά, πάνω από το σχηματισμό των πλακωδών ασβεστολίθων.
- **Τα τεκτονικά καλύμματα της Ζώνης Τρίπολης και της Ζώνης Πίνδου** που αποτελούν τη συνέχεια προς τα νότια των καλυμμάτων Γαβρόβου-Τρίπολης και Πίνδου της ηπειρωτικής Ελλάδας. Στη βάση του καλύμματος Τρίπολης απαντά ο σχηματισμός των ραβδούχων, Μεσο-Ανω Τριαδικής ηλικίας σχηματισμός (245-200 εκατομ. χρόνια), που αποτελείται από αργιλικούς σχιστολίθους και κλαστικά ιζήματα. Η Ζώνη Τρίπολης αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα Μεσοζωικής κυρίως ηλικίας, ασβεστολίθους και δολομίτες νηριτικής ιζηματογένεσης, και «κλείνει» με το φλύσχη (πηλίτες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) Ανω-Ηωκαινικής ηλικίας (30 εκατομ. χρόνια). Η Ζώνη Πίνδου αποτελείται από πελαγικά ιζήματα (ραδιολαρίτες, κερατολίθους, ασβεστολίθους) Τριαδικού-Ιουρασικού (230-145 εκατομ. χρόνια), ακολουθεί ο πρώτος φλύσχος του Ανώτερου Κρητιδικού (65 εκατομ. χρόνια), στη συνέχεια πελαγικά ανθρακικά ιζήματα Παλαιοκαινικής ηλικίας (65-55 εκατομ. χρόνια) και η σειρά «κλείνει» με φλύσχη (πηλίτες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) Παλαιοκαινικής-Ηωκαινικής ηλικίας (55-35 εκατομ. χρόνια).
- **Το οφιολιθικό κάλυμμα** που αποτελείται από ΑνωΙουρασικά (145 εκατομ. χρόνια) βασικά και υπερβασικά πετρώματα ωκεάνιας λιθόσφαιρας, όπως περιδοτίτες, σερπεντινίτες και γάβρους.

Τα μετααλπικά πετρώματα είναι οι **Νεογενείς – Τεταρτογενείς** αποθέσεις. Οι Νεογενείς προέρχονται από αποθέσεις ρηχής θάλασσας ή υφάλμυρης φάσης, με σχηματισμούς από κλαστικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι. Κατά το Πλειστόκαινο (2 εκατομ. χρόνια), έχουμε έντονες τεκτονικές ανυψώσεις και μεγάλες διακυμάνσεις του επιπέδου της θάλασσας, με συνέπεια την απόθεση τεταρτογενών χερσαίων ή θαλάσσιων σχηματισμών, όπως π.χ. αναβαθμίδων από άμμους, αργίλους και κροκαλοπαγή, με κυριότερη ανάπτυξη αυτών στις νότιες ακτές της νήσου. Τεταρτογενείς (2

εκατομ. χρόνια έως σήμερα) αποθέσεις απαντώνται σε όλες τις ακτές, όπως αναβαθμίδες, κορήματα, κροκαλοπαγή, παλαιοακτές και αμμοθίνες (αλλούβιες αποθέσεις).

Γενικά, η περιοχή αποτελείται από ένα σχετικά αυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων (Αδριατικοϊόνιος ή Ιόνιος Ζώνη). Επίσης αποτελείται από ένα αλλόχθονο σύστημα, με επιμέρους καλύμματα το οποίο είναι επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και τέλος από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς (ΕΜΠ, ΠΕΣΔΑ, 2010).

Ο Χάρτης που αποτυπώνει τη γεωλογία της περιοχής και τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, που αναφέρθηκαν παραπάνω, παρατίθεται στο Παράρτημα Β.

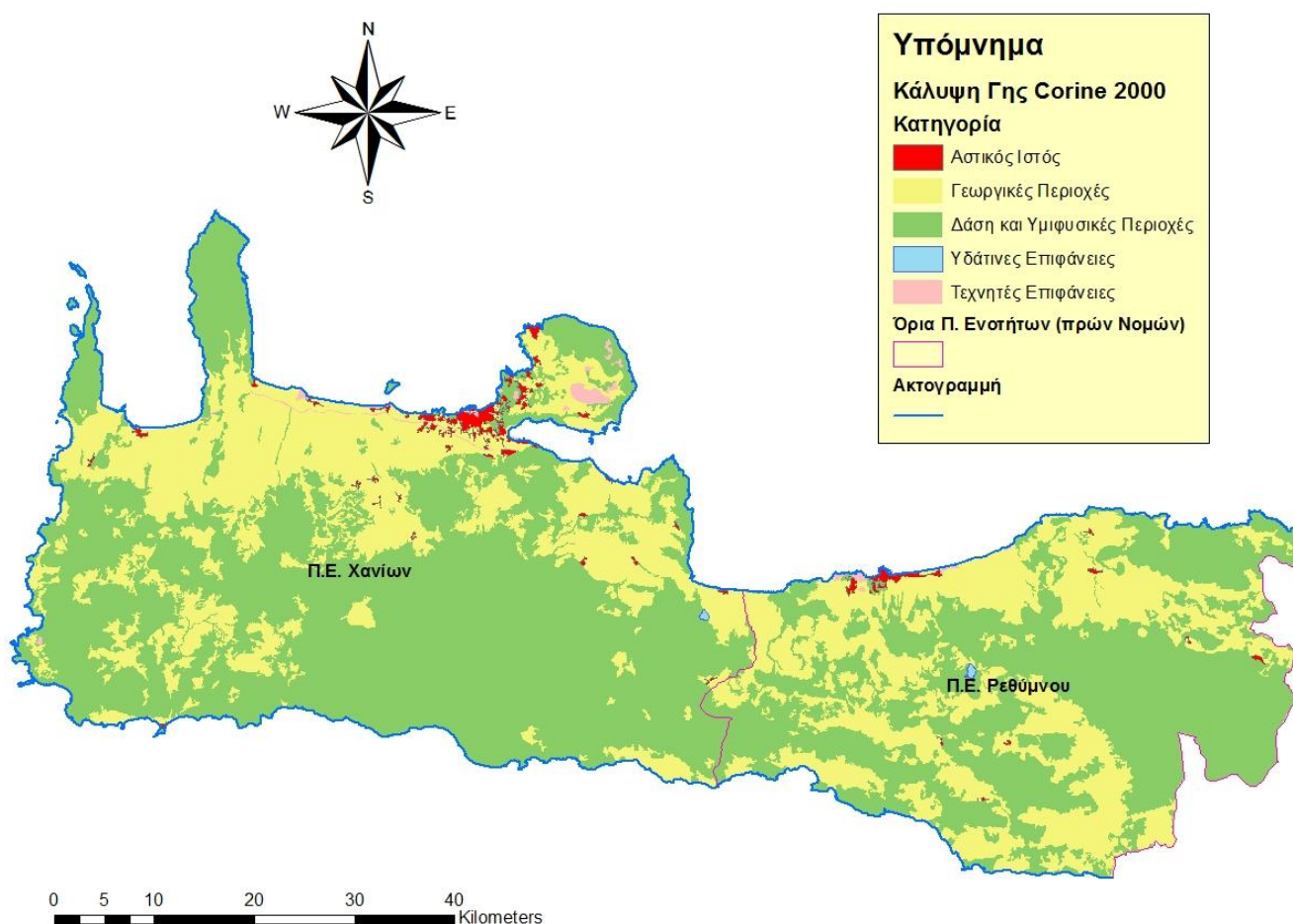
3.1.1.3 Κάλυψη Γης

Ο Χάρτης κάλυψης Γης (Land Cover) προέκυψε από επεξεργασία των δεδομένων του Προγράμματος Corine 2000 της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΥΠΕΧΩΔΕ 2004). Σημειώνεται ότι στο Corine η ταξινόμηση γίνεται σε πέντε (5) κύριες κατηγορίες που είναι:

1. Τεχνητές επιφάνειες, που περιλαμβάνουν
 - I. Αστικό ιστό
 - II. Βιομηχανικές εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών
 - III. Ορυχεία, χώρους απορρίψεως απορριμμάτων και χώρους οικοδόμησης
 - IV. Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου
2. Γεωργικές περιοχές, που περιλαμβάνουν
 - I. Αρώσιμη Γη
 - II. Μόνιμες καλλιέργειες
 - III. Λιβάδια
 - IV. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές
3. Δάση και ημιφυσικές περιοχές, που περιλαμβάνουν
 - I. Δάση
 - II. Συνδυασμούς θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης
 - III. Ανοιχτούς χώρους με λίγη ή καθόλου βλάστηση
4. Υγρότοποι, που περιλαμβάνουν
 - I. Υγροτόπους ενδοχώρας
 - II. Παραθαλάσσιους υγροτόπους
5. Υδάτινες επιφάνειες, που περιλαμβάνουν
 - I. Χερσαία ύδατα
 - II. Θαλάσσια ύδατα

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, η παραπάνω ταξινόμηση διαφοροποιήθηκε στο ότι ο αστικός ιστός εμφανίζεται ως μία ξεχωριστή κατηγορία με αποτέλεσμα οι κατηγορίες να γίνονται έξι (6), με τις υπόλοιπες να παραμένουν ίδιες.

Στον Χάρτη 3-3 φαίνεται ότι στην περιοχή μελέτης κυριαρχούν οι υμιφυσικές περιοχές με τα δάση (κυρίως θαμνώδεις με χαμηλή βλάστηση) και οι γεωργικές εκτάσεις καταδεικνύοντας έτσι και το γενικότερο χαρακτηριστικό της περιοχής που είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. Ο αστικός ιστός, οι πόλεις, οι μεγαλύτεροι οικισμοί και τα μεγάλα έργα συγκεντρώνονται κατά κύριο λόγο στο βόρειο τμήμα της περιοχής (Χάρτες 3-2 και 3-3). Σε αυτό βέβαια έχει συμβάλει και το γεγονός ότι το σύνολο των σύγχρονων μεγάλων ξενοδοχειακών μονάδων βρίσκεται στο βόρειο άξονα της περιοχής. Ο τουρισμός είναι ο πλέον δυναμικός τομέας της περιοχής και αποτελεί κύρια οικονομική δραστηριότητα για ολόένα μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού.



Χάρτης 3-3: Χάρτης κάλυψης Γης Corine 2000

3.1.1.4 Φυσικό Περιβάλλον – Περιοχές Natura 2000

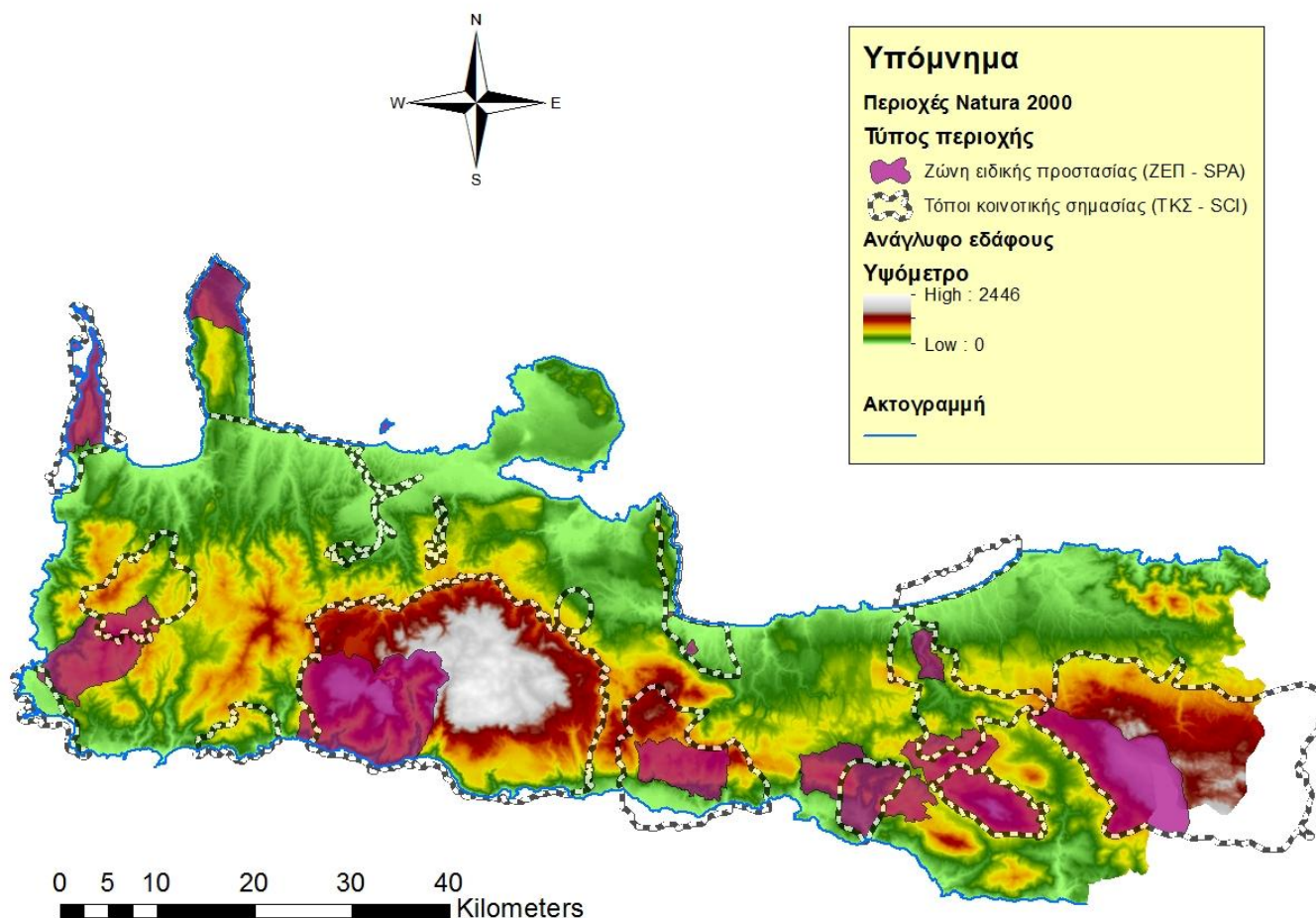
Η Περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μία από τις πλέον ευαίσθητες οικολογικά περιοχές της Μεσογείου περιλαμβάνοντας σημαντικούς ορεινούς όγκους, οικοσυστήματα υψηλής οικολογικής και αισθητικής αξίας και βιοποικιλότητας και εκτεταμένες παράκτιες περιοχές. Το φυσικό περιβάλλον της, χαρακτηρίζεται από σημαντικό αριθμό φυσικών οικοσυστημάτων και μεμονωμένων στοιχείων της φύσης τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο περιβαλλοντικό και οικολογικό ενδιαφέρον. Οι φυσικές περιοχές υψηλής οικολογικής αξίας διακρίνονται σε αυτές που έχουν ενταχθεί σε καθεστώς προστασίας καθώς και σε εκείνες, που στο σύνολό τους, υποπεριοχές ή μεμονωμένα στοιχεία τους, έχουν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ώστε να προχωρήσει μελλοντικά η ένταξη τους.

Η διαφύλαξη και προστασία των περιοχών αυτών είναι ιδιαιτέρως σημαντική για την επιβίωση διαφόρων ειδών θηλαστικών, πτηνών κτλ. Έτσι οι περιοχές αυτές έχουν υπαχθεί στο Δίκτυο των ειδικά προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 και προστατεύονται από το εθνικό και ευρωπαϊκό δίκαιο.

Το δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτό αποτελείται από δύο βασικές κατηγορίες περιοχών (ΥΠΕΚΑ, 2010):

- τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (**ΖΕΠ**)» (Special Protection Areas - **SPA**) για την Οрниθοπανίδα, οι οποίες ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών» όπως αυτή κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ και
- τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (**ΤΚΣ**)» (Sites of Community Importance – **SCI**) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων I και II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος III αυτής. Ο Κατάλογος ΤΚΣ για την περιοχή της Μεσογείου δημοσιεύτηκε στην Απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2010/45.

Στο Χάρτη 3-4 φαίνονται οι περιοχές Natura 2000 που εκτείνονται εντός του ηπειρωτικού μέρους της περιοχής μελέτης και στην εγγύς αυτού θαλάσσια περιοχή.



Χάρτης 3-4: Περιοχές Natura 2000

Στις επόμενες υποπαραγράφους παρουσιάζονται περισσότερες λεπτομέρειες για τα αναφερθέντα χαρακτηριστικά για την κάθε Π.Ε. ξεχωριστά.

3.1.2 Η Περιφερειακή Ενότητα Χανίων

Η Π.Ε. Χανίων είναι το δυτικότερο τμήμα της Κρήτης με μόνιμο πληθυσμό συνολικά 156.585 κατοίκους (Απογραφή 2011) και συνολική έκταση περίπου 2.376 km^2 . Αποτελείται διοικητικά από τους επτά (7) Δήμους (Χάρτης 3-1):

- Χανίων
- Αποκορώνου
- Σφακίων
- Καντάνου – Σέλινου
- Κισσάμου
- Πλατανιά
- Γαύδου

Πρωτεύουσα της Π.Ε. είναι τα Χανιά, που είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη στο νησί με 53.910 μόνιμους κατοίκους (Απογραφή 2011).

Ο Νομός Χανίων χαρακτηρίζεται γενικά ως ορεινός, αφού το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του καταλαμβάνεται από το συγκρότημα των Λευκών Ορέων που τον χωρίζει σε δύο τμήματα, βόρειο και νότιο, με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι ορεινοί όγκοι καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το κεντρικό και νότιο τμήμα του νομού φθάνοντας έως τη θάλασσα, ενώ το πεδινό τμήμα (18,3%) της συνολικής επιφάνειας του νομού απλώνεται στη βόρεια παράκτια περιοχή. Το έδαφος, ιδιαίτερα προς το νότο παρουσιάζει έντονες πτυχώσεις που σχηματίζουν κοιλάδες, ή διαδοχικές λοφώδεις και ορεινές μάζες που γενικά καθιστούν τη μετάβαση δύσκολη από περιοχή σε περιοχή και ειδικότερα από βορρά προς νότο. Το μεγαλύτερο μέρος των πεδινών εκτάσεων βρίσκεται στο βόρειο τμήμα και εκτείνεται σε όλο το μήκος της ακτής, από τον κόλπο της Κισσάμου μέχρι τον όρμο του Αλμυρού. Όπως είναι φυσικό, η περιοχή αυτή είναι και η εντονότερα αναπτυσσόμενη, δεδομένου μάλιστα ότι διαθέτει και πλούσιο υδάτινο δυναμικό, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος τόσο της γεωργικής, όσο και της τουριστικής δραστηριότητας. Στη νότια και δυτική ακτή του Νομού, η γεωργική γη είναι ελάχιστη και αποτελείται από μεμονωμένες «λωρίδες», όπως αυτές του Φραγκοκάστελλου, της Κουντούρας και των Φαλασάρνων. Τα παραπάνω είχαν ως φυσική συνέπεια τη συγκέντρωση του συνόλου σχεδόν των δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση του πληθυσμού στη βόρεια ζώνη. Το νότιο και κεντρικό τμήμα ήταν και εξακολουθούν να είναι υποβαθμισμένα και οικιστικά στάσιμα (ΕΜΠ, ΠΕΣΔΑ, 2010).

Μεγάλα υδάτινα ρεύματα δεν υπάρχουν στην περιοχή των Χανίων, υπάρχουν όμως πολλές πηγές, συνδεδεμένες με την τεράστια λεκάνη απορροής των Λευκών Ορέων (800 τ. χλμ.), ενώ εμφάνιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί η λίμνη Κουρνά, στο βορειοανατολικό άκρο της Π.Ε.

Το κλίμα της περιοχής ακολουθεί το ανάγλυφό της και γενικά χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό, ενώ στους ορεινούς όγκους τείνει προς τον ηπειρωτικό τύπο. Τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται σημαντικές βροχοπτώσεις, οι οποίες περιορίζονται σημαντικά τους καλοκαιρινούς μήνες. Χιονοπτώσεις παρατηρούνται συνήθως στα ορεινά, οι οποίες με τις απορροές που προσφέρουν από την άνοιξη και μετά, συμβάλουν σημαντικά στην καταπολέμηση των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι βροχοπτώσεις είναι εδώ περισσότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, γιατί τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από το Ιόνιο, αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Σε αυτό άλλωστε, και στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους, οφείλονται και ύπαρξη πολλών πηγών.

Οι προστατευόμενες περιοχές Natura 2000 για την Π.Ε. Χανίων φαίνονται στον Πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1: Περιοχές Natura 2000 Π.Ε. Χανίων (Πηγή ΥΠΕΚΑ)

Α/Α	Κωδικός	Κατηγορία	Ονομασία Τόπου	Έκταση (ha)
1	GR4340001	ΤΚΣ	ΗΜΕΡΗ & ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ - ΤΙΓΑΝΙ & ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ - ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ, ΟΡΜΟΣ ΛΙΒΑΔΙ ΒΙΓΛΙΑ	5781,32
2	GR4340002	ΤΚΣ	ΝΗΣΟΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΩΝΗ	271,75
3	GR4340003	ΤΚΣ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΡΟΔΟΠΟΥ - ΠΑΡΑΛΙΑ ΜΑΛΕΜΕ	8797,27
4	GR4340004	ΤΚΣ	ΕΛΟΣ - ΤΟΠΟΛΙΑ - ΣΑΣΑΛΟΣ - ΑΓΙΟΣ ΔΙΚΑΙΟΣ	7351,95
5	GR4340005	ΤΚΣ	ΟΡΜΟΣ ΣΟΥΓΙΑΣ - ΒΑΡΔΙΑ - ΦΑΡΑΓΓΙ ΛΙΣΣΟΥ ΜΕΧΡΙ ΑΝΥΔΡΟΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	3039,87
6	GR4340006	ΤΚΣ	ΛΙΜΝΗ ΑΓΙΑΣ - ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ - ΡΕΜΑ ΚΑΙ ΕΚΒΟΛΗ ΚΕΡΙΤΗ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΦΑΣΑ	1211,83
7	GR4340007	ΤΚΣ	ΦΑΡΑΓΓΙ ΘΕΡΙΣΣΟΥ	497,73
8	GR4340008	ΤΚΣ	ΛΕΥΚΑ ΟΡΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	53363,6
9	GR4340010	ΤΚΣ	ΔΡΑΠΑΝΟ (ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΑΚΤΕΣ) – ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ - ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ	4511,13
10	GR4340011	ΤΚΣ	ΦΡΕ - ΤΖΙΤΖΙΦΕΣ - ΝΙΠΟΣ	1217,6
11	GR4340012	ΤΚΣ	ΑΣΦΕΝΔΟΥ - ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	14022,5
12	GR4340013	ΤΚΣ	ΝΗΣΟΙ ΓΑΥΔΟΣ ΚΑΙ ΓΑΥΔΟΠΟΥΛΑ	6290,57
13	GR4340014	ΖΕΠ	ΕΘΝΙΚΟΣ ΔΡΥΜΟΣ ΣΑΜΑΡΙΑΣ - ΦΑΡΑΓΓΙ ΤΡΥΠΗΤΗΣ- ΨΙΛΑΦΙ - ΚΟΥΣΤΟΓΕΡΑΚΟ	13979,8
14	GR4340015	ΤΚΣ	ΠΑΡΑΛΙΑ ΑΠΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑ ΜΕΧΡΙ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΚΡΙΟΣ	2202,53
15	GR4340016	ΖΕΠ	ΜΕΤΕΡΙΖΙΑ ΑΓΙΟΣ ΔΙΚΑΙΟΣ - ΤΣΟΥΝΑΡΑ – ΒΙΤΣΙΛΙΑ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ	6875,01
16	GR4340017	ΖΕΠ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑΣ ΚΑΙ ΝΗΣΙΔΕΣ ΗΜΕΡΗ ΚΑΙ ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ, ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ	2839,56
17	GR4340018	ΖΕΠ	ΝΗΣΙΔΑ ΑΓΙΟΙ ΘΕΟΔΩΡΟΙ	81,52
18	GR4340019	ΖΕΠ	ΦΑΡΑΓΓΙ ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ-ΑΡΓΟΥΛΙΑΝΟ ΦΑΡΑΓΓΙ- ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΜΑΝΙΚΑ	4232,53
19	GR4340020	ΖΕΠ	ΛΙΜΝΗ ΑΓΙΑΣ (ΧΑΝΙΑ)	66,71
20	GR4340021	ΖΕΠ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΡΟΔΟΠΟΥ	2920,24
21	GR4340022	ΖΕΠ	ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ ΚΑΙ ΕΚΒΟΛΗ ΑΛΜΥΡΟΥ	199,7
22	GR4340023	ΖΕΠ	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΓΑΥΔΟΣ ΚΑΙ ΓΑΥΔΟΠΟΥΛΑ	1563,73

3.1.3 Η Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου

Η Π.Ε. Ρεθύμνου εκτείνεται ανατολικά της Π.Ε. Χανίων και αποτελεί το κεντρικό-δυτικό τμήμα της Κρήτης. Ο μόνιμος πληθυσμός της Π.Ε. ανέρχεται συνολικά σε 85.609 κατοίκους (Απογραφή 2011) και συνολική έκταση περίπου 1.496,10 km^2 . και υποδιαιρείται σε πέντε (5) Δήμους (Χάρτης 3-1) ως εξής:

- Ρεθύμνου
- Αμαρίου

- Αγίου Βασιλείου
- Ανωγείων
- Μυλοποτάμου

Πρωτεύουσα είναι το Ρέθυμνο, που είναι η τρίτη σε μέγεθος πόλη της Κρήτης (32.468 μόνιμους κατοίκους, απογραφή 2011).

Το έδαφος της Π.Ε. σε ποσοστό 65% είναι ορεινό, κατά 19% περίπου είναι ημιορεινό και το υπόλοιπο 16% είναι πεδινό. Τα πεδινά εδάφη περιορίζονται στα βόρεια και νότια παράλια. Ανατολικά του νομού, παρά τα όρια των Δήμων Αμαρίου και Μυλοποτάμου, δεσπόζει το όρος Ίδη, γνωστότερο ως Ψηλορείτης, με υψόμετρο 2.456 μ. Σημαντικότερος ποταμός είναι ο Γεροπόταμος που πηγάζει από την Ίδη και εκβάλλει στο Κρητικό πέλαγος. Ο ποταμός αυτός με τους παραποτάμους του διαρρέει σχεδόν όλο το ανατολικό τμήμα Ρεθύμνου.

Το Ρέθυμνο ως τμήμα της Κρήτης ανήκει στη μεσογειακή κλιματολογική ζώνη το κλίμα της οποίας χαρακτηρίζεται ως εύκρατο. Ο χειμώνας είναι ήπιος και υγρός με αρκετές βροχοπτώσεις και χιόνια στα ορεινά. Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις πεδινές περιοχές, αλλά αρκετά συχνή στις ορεινές. Γενικά η ατμόσφαιρα είναι αρκετά υγρή, ανάλογα με την εγγύτητα στη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 25-30 βαθμών (Κελσίου). Στα νότια του Ρεθύμνου, η θερμοκρασία είναι υψηλότερη και με περισσότερες ημέρες ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Στον Πίνακα 3-2 παρατίθενται οι περιοχές της Π.Ε. Ρεθύμνου που έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα Natura 2000, μετά και από τις τελευταίες ενσωματώσεις νέων περιοχών στον κατάλογο των προστατευόμενων τόπων (ΥΠΕΚΑ, 2010).

Πίνακας 3-2: Περιοχές Natura 2000 Π.Ε. Ρεθύμνου (Πηγή ΥΠΕΚΑ)

A/A	Κωδικός	Κατηγορία	Ονομασία Τόπου	Έκταση (ha)
1	GR4330002	ΤΚΣ	ΟΡΟΣ ΚΕΔΡΟΣ	4700,27
2	GR4330003	ΤΚΣ	ΚΟΥΡΤΑΛΙΩΤΙΚΟ ΦΑΡΑΓΓΙ - ΜΟΝΗ ΠΡΕΒΕΛΗ - ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	3642,73
3	GR4330004	ΤΚΣ	ΠΡΑΣΣΑΝΟ ΦΑΡΑΓΓΙ - ΠΑΤΣΟΣ – ΣΦΑΚΟΥΡΑΚΟ ΡΕΜΑ - ΠΑΡΑΛΙΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ ΚΑΙ ΕΚΒΟΛΗ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ, ΑΚΡ. ΛΙΑΝΟΣ ΚΑΒΟΣ – ΠΕΡΙΒΟΛΙΑ	13121,4
4	GR4330005	ΤΚΣ	ΟΡΟΣ ΙΔΗ (ΒΟΡΙΖΙΑ, ΓΕΡΑΝΟΙ, ΚΑΛΗ ΜΑΔΑΡΑ)	39913,1
5	GR4330006	ΖΕΠ	ΣΩΡΟΣ - ΑΓΚΑΘΙ – ΚΕΔΡΟΣ	8128,93
6	GR4330007	ΖΕΠ	ΚΟΥΡΤΑΛΙΩΤΙΚΟ ΦΑΡΑΓΓΙ, ΦΑΡΑΓΓΙ ΠΡΕΒΕΛΗ	7595,21
7	GR4330008	ΖΕΠ	ΠΡΑΣΣΑΝΟ ΦΑΡΑΓΓΙ	1121,5
8	GR4330009	ΖΕΠ	ΟΡΟΣ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗΣ (ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ)	10632,2

3.2 Τα Δεδομένα GIS

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αξιοποιήθηκαν ποικίλα δεδομένα από διάφορους φορείς και διαφορετικής προέλευσης. Η βασική επιδίωξη ήταν τα δεδομένα αυτά να είναι ή να μετατραπούν σε μορφή που να μπορεί να γίνει δυνατή η επεξεργασία τους σε περιβάλλον GIS. Παράλληλα η πρόσβαση σε αυτά θα έπρεπε να ήταν εύκολη και χωρίς κόστος. Έτσι τα δεδομένα κατά κύριο λόγο αποκτήθηκαν μέσω διαδικτύου και δωρεάν από «open source» πηγές.

Όλα τα δεδομένα στο σύνολο τους εμπεριέχουν πληροφορίες για την περιοχή μελέτης και όχι μόνο. Έτσι σε αρκετές περιπτώσεις, δεδομένα που αφορούσαν ευρύτερη περιοχή από την περιοχή ενδιαφέροντος, απομονώθηκε μετά από κατάλληλη επεξεργασία το αντίστοιχο κομμάτι δεδομένων και πληροφορίας που ήταν απαραίτητο για τους σκοπούς της εργασίας. Επίσης κάποια από τα στοιχεία αποκτήθηκαν απευθείας σε μορφή για χρήση σε GIS (αρχεία .shp), ενώ για κάποια άλλα έπρεπε η πρωτογενής τους μορφή (π.χ. αρχεία Excel, ASCII, χάρτες - εικόνες κτλ.) να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να μπορούν να γίνουν διαχειρίσιμα σε περιβάλλον GIS και δη του ArcGIS 10.1, όπου μετά από κατάλληλη επεξεργασία τους προέκυψε η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη μορφή και την επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και για την προέλευσή τους δίνονται παρακάτω για κάθε στοιχείο ή ομάδα στοιχείων ξεχωριστά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έγινε προβολή των δεδομένων σε **ΕΓΣΑ 87** (Greek Grid), καθώς προσφέρει καλύτερη ακρίβεια για την Ελληνική επικράτεια και χρησιμοποιείται από όλους τους χρήστες GIS στην Ελλάδα.

Μία πρώτη κατηγοριοποίηση των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν θα μπορούσε να είναι σε αυτά που είναι **γενικής φύσεως** και σε αυτά που είναι προσανατολισμένα στην έννοια της **σεισμικής δραστηριότητας**.

3.2.1 Δεδομένα Γενικής Φύσεως

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δεδομένα όπως:

- Οι Περιφέρειες
- Οι Δήμοι Καλλικράτη
- Οι Νομοί, που συμπίπτουν με τις Π.Ε. για την Κρήτη
- Η ακτογραμμή
- Οι οικισμοί
- Η κάλυψη Γης του προγράμματος Corine 2000
- Οι περιοχές Natura

Όλα τα παραπάνω προήλθαν από τον ιστότοπο geodata.gov.gr. Το geodata.gov.gr σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και συντηρείται από το Ινστιτούτο Πληροφοριακών Συστημάτων του Ερευνητικού Κέντρου «Αθηνά» (ΙΠΣΥ/ΕΚ «Αθηνά») με σκοπό να αποτελέσει ένα κεντρικό

σημείο συλλογής, αναζήτησης, διάθεσης και απεικόνισης της ανοικτής δημόσιας γεωχωρικής πληροφορίας. Η λειτουργία του ξεκίνησε στις 14/8/2010.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα αποκτήθηκαν απευθείας σε μορφή «shapefile» (.shp) που είναι αξιοποιήσιμη από το ArcGIS 10.1. Στην πρωτογενή τους μορφή, τα δεδομένα αυτά αφορούσαν σε όλη την έκταση του Ελλαδικού χώρου. Επειδή όμως αυτό δεν ήταν λειτουργικό για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, έπρεπε πρώτα να «οριοθετηθεί» η περιοχή μελέτης και μετά να απομονωθεί η πληροφορία για το κάθε δεδομένο για την υπό εξέταση περιοχή. Για την εν λόγω οριοθέτηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την Αρχιτεκτονική του Καλλικράτη (Ν.3852/2010), χρησιμοποιώντας κατάλληλα εργαλεία (ArcToolbox) στο περιβάλλον του ArcMap. Αρχικά έγινε «Selection» των δήμων που γνωρίζουμε ότι αποτελούν την περιοχή μελέτης και στην συνέχεια έγινε «Export Data» σε καινούργιο «Shapefile». Το ίδιο έγινε και με τους Νομούς – Περιφερειακές Ενότητες. Η απομόνωση της πληροφορίας για τα υπόλοιπα δεδομένα, έγινε με «Clip» αυτών στην περιοχή μελέτης, που είχε ήδη διαμορφωθεί.

Άλλα δεδομένα γενικής φύσεως, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τα υψόμετρα, ο πληθυσμός, το οδικό δίκτυο και η γεωλογία της περιοχής.

Για τα υψόμετρα, με τα οποία δημιουργήθηκε και ο χάρτης ανάγλυφου της περιοχής (Χάρτης 3-2), τα δεδομένα αποκτήθηκαν από το πρόγραμμα ASTER GDEM της κοινοπραξίας NASA (National Aeronautics and Space Administration) των ΗΠΑ με τη METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) της Ιαπωνίας. Από τον ιστότοπο gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp επιλέχθηκε με κατάλληλο τρόπο η περιοχή μελέτης (Select tiles directly) και δημιουργήθηκε ένα αρχείο DEM (Digital Elevation Model) για την επιλεγμένη περιοχή. Το αρχείο αυτό αρχικά μετατράπηκε σε Raster μέσω ανάλογου εργαλείου στο ArcMap, στη συνέχεια έγινε προβολή (Project) αυτού σε ΕΓΣΑ87 και μετά «κόπηκε» (Clip) καταλλήλως ώστε να αφορά μόνο τη περιοχή μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρεχόμενη ακρίβεια (accuracy) για τα υπόψη στοιχεία υψομέτρων που δίνονται από το ανωτέρω πρόγραμμα είναι 7 – 14 m, ενώ το μέγεθος των pixel (cell size) στο αρχείο που δημιουργήθηκε είναι 27m.

Για τον πληθυσμό της περιοχής δεν αποκτήθηκε ξεχωριστό αρχείο αλλά ενσωματώθηκε η πληροφορία στο ήδη υπάρχον, των Οικισμών μέσω του «Editor». Η πληροφορία αυτή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω προήλθε από τον ηλεκτρονικό ιστότοπο της ΕΛΣΤΑΤ, όπου τα αποτελέσματα της Απογραφής 2011 προσφέρονται σε αρχεία Excel.

Σχετικά με το Οδικό δίκτυο, αρχείο σε μορφή shapefile, που αφορούσε όλη τη Κρήτη, «κόπηκε» (Analysis Tools ->Extract ->Clip) στα όρια της περιοχής μελέτης και προέκυψε ο αντίστοιχος χάρτης που παρατίθεται στο Παράρτημα Β.

Για τη Γεωλογία της περιοχής τα δεδομένα προέκυψαν από το project του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και Μελετών) IGME 5000, με τα οποία δημιουργήθηκε ο αντίστοιχος χάρτης που παρατίθεται στο Παράρτημα Β.

3.2.2 Δεδομένα Προσανατολισμένα στη Σεισμική Δραστηριότητα

Στα δεδομένα, που είναι προσανατολισμένα στη σεισμική δραστηριότητα ανήκουν:

- Οι σεισμοί
- Τα ρήγματα
- Εδαφικές συνθήκες

Για τους σεισμούς όπως και για τα ρήγματα, λόγω της φύσης τους και της επίδρασης που μπορούν να συντελέσουν στο όμορο περιβάλλον, η περιοχή μελέτης δεν θα μπορούσε να περιοριστεί στο ηπειρωτικό κομμάτι του νησιού, αλλά επεκτάθηκε και στο θαλάσσιο τμήμα καταλαμβάνοντας συνολικά μία περιοχή ακτίνας περίπου 200 km από το κέντρο των Π.Ε. Χανίων και Ρεθύμνου. Με τον τρόπο αυτό και με γνώμονα την εξασθένιση των σεισμικών φαινομένων θεωρήθηκε ότι η «διευρυμένη» περιοχή μελέτης είναι ικανή να αποδώσει επαρκώς αποτελέσματα για τα υπό διερεύνηση χαρακτηριστικά. Παρακάτω θα αναλυθεί για το κάθε δεδομένο η προέλευση της πληροφορίας, ο τύπος και ο τρόπος που αξιοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS.

3.2.2.1 Σεισμοί

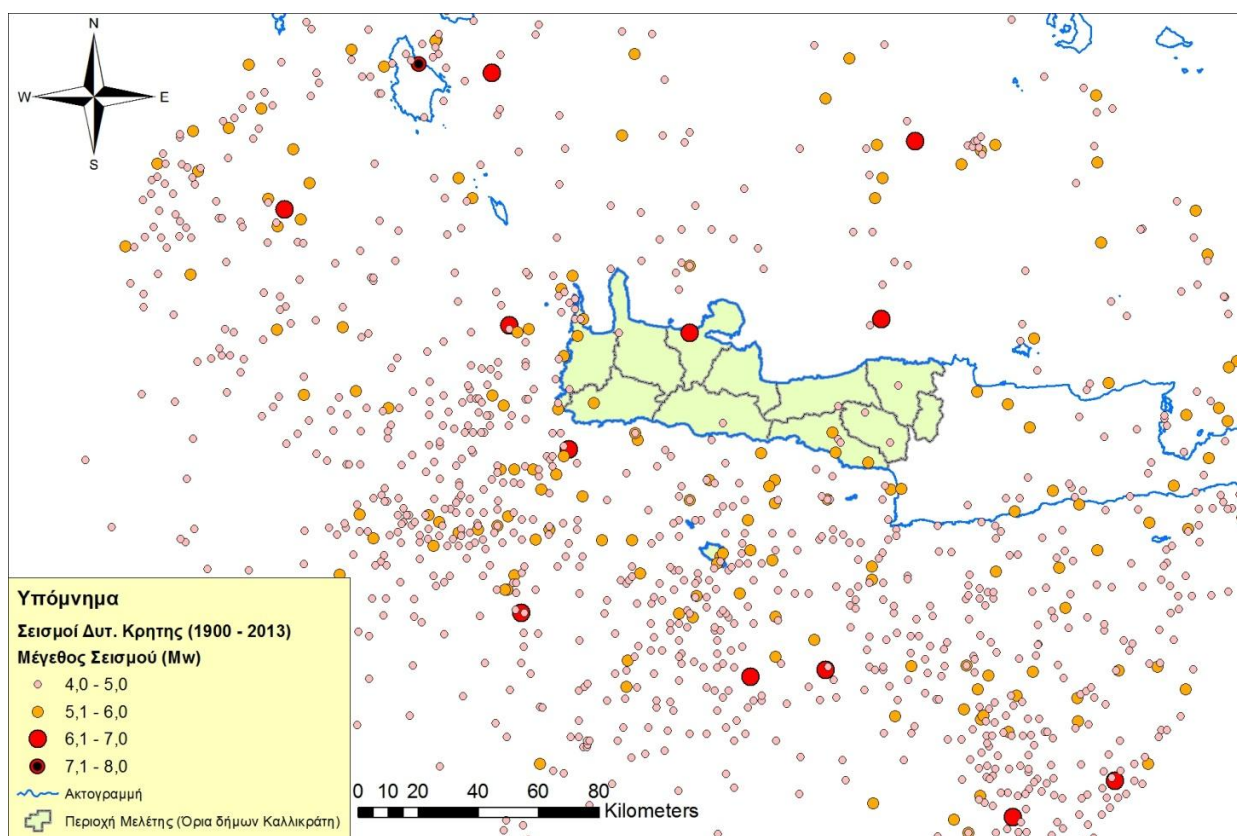
Για τους σεισμούς δημιουργήθηκαν τρία (3) αρχεία:

- Το πρώτο περιλαμβάνει τους «σημαντικούς» σεισμούς (μεγέθους $M_w > 4$) από το 1900 μέχρι και το 2013 (τελευταία εκατονταετία) και αποτελεί την βάση για την ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας στην παρούσα εργασία.
- Το επόμενο αφορά στους μικροσεισμούς που έχουν παρουσιαστεί στην περιοχή μελέτης.
- Το τρίτο αναφέρεται στους σεισμούς που έλαβαν χώρα στο γενικότερο Ευρωπαϊκό χώρο.

Κύρια επιδίωξη ήταν τα αρχεία αυτά να διατηρηθούν ομογενοποιημένα (ως προς το Μέγεθος σεισμού και τον τρόπο καταγραφής) για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των επιμέρους αρχείων σεισμών.

Όσον αφορά το πρώτο αρχείο των σημαντικών σεισμών, που όπως αναφέραμε αξιοποιείται κυρίως για την κύρια ανάλυση, επιλέχθηκε ως βάση, ο ανανεωμένος και εκτεταμένος σεισμολογικός κατάλογος για την Ελλάδα και γειτονικές περιοχές από το 1900 μέχρι το 2009 (Makropoulos, Kaviris and Kouskouna, 2012) που παρέχεται μέσω του ιστοτόπου του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (Γ.Ι.) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOA – National Observatory of Athens) www.gein.noa.gr/el/seismikotita/katalogoi-seismwn (Institute of Geodynamics, 2012). Ο κατάλογος αυτός δίνεται σε μορφή Excel, περιέχει μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w) για όλους τους σεισμούς και αφορά όπως είναι προφανές ολόκληρο τον Ελλαδικό Χώρο. Στη συνέχεια, μέσω του ArcCatalog το αρχείο μετατράπηκε σε πίνακα

(.dbf) και δημιουργήθηκε ξεχωριστό shapefile (display xy data). Παράλληλα η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για την περίοδο 2010-2013 με την αξιοποίηση των σεισμολογικών δεδομένων που παρέχει το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (List of Moment Tensors, Institute of Geodynamics, 2012). Τα συγκεκριμένα δεδομένα παρατίθενται σε λίστες ανά χρονολογία σε μορφή excel. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις λίστες αυτές (Excel -> dbf -> display xy -> shapefile), ώστε να μετατραπούν σε κατάλληλη για αξιοποίηση μορφή. Το τελικό αρχείο προέκυψε μετά από «Projection» σε Greek Grid και «Merge» των επιμέρους καταλόγων, ενώ στο τέλος το αρχείο αυτό «κόπηκε» (Select, Export) στην αντίστοιχη περιοχή ενδιαφέροντος (κύκλος ακτίνας περίπου 200 km από το κέντρο των Π.Ε. Χανίων και Ρεθύμνου). Με αυτό τον τρόπο επιδιώχθηκε ο τελικός κατάλογος που θα διαμορφωθεί να είναι όσο το δυνατό πιο σύγχρονος, έγκυρος και αντιπροσωπευτικός.

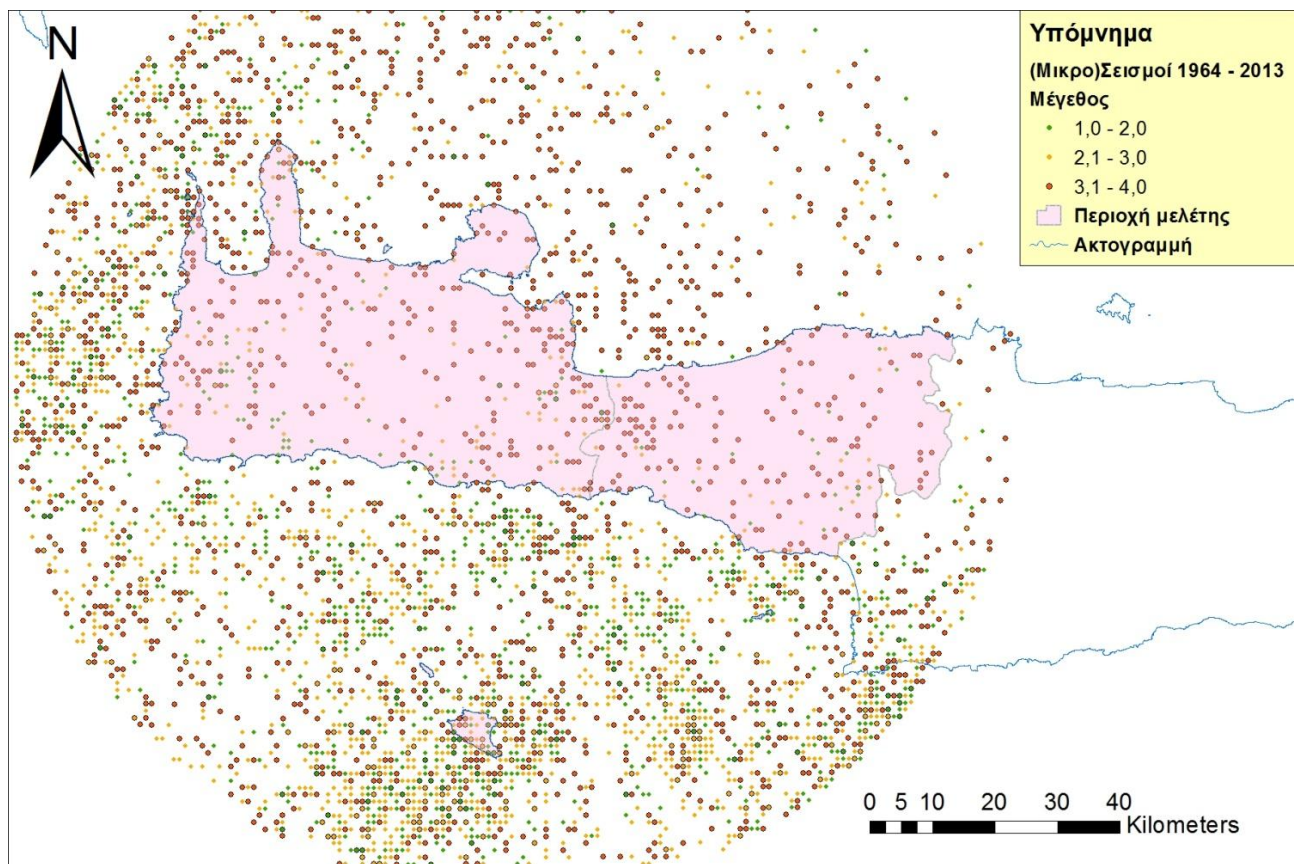


Χάρτης 3-5: Σημαντικοί Σεισμοί στη διευρυμένη περιοχή μελέτης (1900 – 2013)

Αναφορικά με τους μικροσεισμούς ($1 < M_L < 4$) επιλέχθηκε η περίοδος 1964 έως και 2013 (τελευταία 50 χρόνια) και ο αντίστοιχος κατάλογος σεισμών που παρέχεται από την ιστοσελίδα του Γ.Ι. www.gein.noa.gr/el/seismikotita/xartes, σε μορφή .csv (Comma-Separated Values). Το αρχείο αυτό μετατράπηκε ομοίως σε excel και στη συνέχεια ακολουθώντας την προαναφερθείσα διαδικασία σε αρχείο shp. Η περιοχή που καταλαμβάνουν οι μικροσεισμοί είναι σαφώς μικρότερη από αυτή του κυρίως καταλόγου και προσεγγίζει πιο πολύ το

ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης λόγω του ότι αφορά σε σεισμούς πολύ μικρότερου μεγέθους.

Για τους σεισμούς στον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο (Χάρτης 2-1), το αρχείο περιλαμβάνει σεισμικά γεγονότα από το 1000 μέχρι και το 2006, και προήλθε από τον κατάλογο SHEEC - SHARE European Earthquake Catalog (Giardini et al., 2013; Grünthal et al., 2013 & 2012; Stucci et al., 2012) του προγράμματος SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe). Ο κατάλογος αυτός σεισμών βρίσκεται στην ιστοσελίδα του EFEHR (European Facility for Earthquake Hazard Risk). Το EFEHR υποστηρίζεται από το project NERA (Network of European Research Infrastructure for Earthquake Risk Assessment and Mitigation) που μαζί με το SHARE αποτελούν προγράμματα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission – EC) υπό το πρίσμα του FP-7 (Framework Program 7).



Χάρτης 3-6: Μικροσεισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Δυτ. Κρήτης (1964 – 2013)

3.2.2.2 Τα Ρήγματα

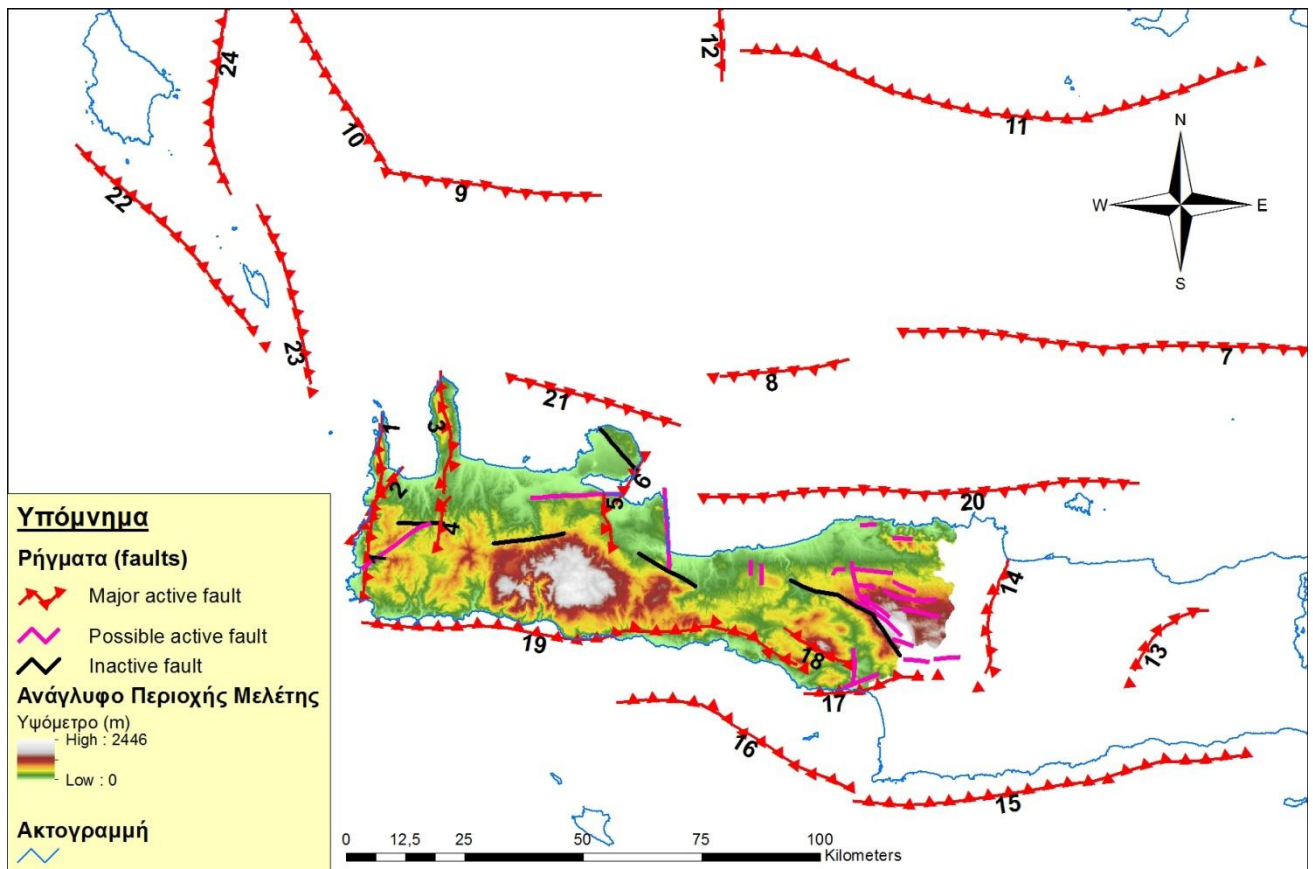
Για τα ρήγματα, δημιουργήθηκε ένα αρχείο από τρεις επιμέρους πηγές. Η βασική πηγή είναι η Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων για τα σεισμογενή ρήγματα – EDSF (European Database of Seismogenic Faults) (Basili et al, 2013), η οποία δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος SHARE, διατηρείται από το Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) και μπορεί κανείς να τη βρει στην ιστοσελίδα <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf>. Η εν λόγω βάση δημιουργήθηκε με τη συνδρομή πολλών διακεκριμένων σεισμολόγων από όλη την Ευρώπη και περιέχει όλα τα ρήγματα του ευρωπαϊκού χώρου που μπορούν να δώσουν σεισμό με μέγεθος $M_w \geq 5,5$. Το αρχείο με τα ρήγματα παρέχεται από την ιστοσελίδα σε μορφή shapefile και για να γίνει αξιοποιήσιμο ακολουθήθηκε η ίδια επεξεργασία με τους σεισμούς με projection σε Greek Grid και Clip στην αντίστοιχη περιοχή ενδιαφέροντος. Επιπρόσθετα από τον ίδιο ιστότοπο αποκτήθηκε και το αρχείο (shapefile) για τις ζώνες υποβύθισης (Subduction Zones) που αποτυπώνουν την περιοχή υποβύθισης της αφρικανικής κάτω από την ευρασιατική πλάκα καθώς και την έκταση και το μέτρο των ισοβαθών (depth contour) αυτής (Χάρτης 3-8).

Στο αρχείο με τα ρήγματα από το πρόγραμμα SHARE προστέθηκαν στη συνέχεια και αυτά της Δυτικής Κρήτης, που παρουσιάζονται στην πρόσφατη νεοτεκτονική ανάλυση στο πλαίσιο του 13ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας που έγινε στα Χανιά το Σεπτέμβριο του 2013 (Mountrakis et al, 2013). Στην αναφερόμενη ανάλυση αναγνωρίστηκαν ζώνες ενεργών, πιθανώς ενεργών και ανενεργών ρηγμάτων, στην περιοχή κυρίως της Π.Ε. Χανίων και αναλύεται η κινητική και δυναμική αυτών. Στην προκειμένη περίπτωση διατηρήθηκε η κατηγοριοποίηση των ρηγμάτων που προκύπτει από την ανωτέρω μελέτη ενώ τα ρήγματα, τα οποία συνέπιπταν με αυτά του SHARE, αφαιρέθηκαν για αποφυγή διπλότυπων (duplicate) δεδομένων. Τέλος το αρχείο με τα ρήγματα ολοκληρώθηκε προσθέτοντας τα ρήγματα από το ΧΑΡΤΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ 1 : 300.000: ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΡΗΤΗΣ (1996), για τα οποία δεν υπάρχει αναφορά στις παραπάνω μελέτες. Ο χάρτης αυτός παρέχεται από τον ιστότοπο του ΟΑΣΠ (www.oasp.gr/assigned_program) και αποτυπώνει τα ρήγματα για όλη την περιοχή της Κρήτης. Η αξιοποίηση των παραπάνω δεδομένων επιτεύχθηκε δημιουργώντας ένα νέο αρχείο shapefile στο οποίο αποτυπώθηκαν οι θέσεις των ρηγμάτων αυτών (Edit), έχοντας πρωτύτερα γεωαναφέρει στο ArcMap (Georeferencing) τους αντίστοιχους χάρτες με τις τοποθεσίες των ρηγμάτων από την νεοτεκτονική ανάλυση και τον χάρτη ενεργών ρηγμάτων του ΟΑΣΠ.

Στη συνέχεια, το δημιουργηθέν αρχείο ενώθηκε (Merge) με το αρχικό αρχείο (ρήγματα SHARE) και έτσι προέκυψε ο χάρτης που απεικονίζει τα ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Χάρτης 3-7). Στον υπόψη χάρτη γίνεται απαρίθμηση μόνο για τα **μείζονα ενεργά ρήγματα (Major Active Faults)**, δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία δίνεται κυρίως έμφαση σε αυτά. Στον Πίνακα 3-3 αντιστοιχα, παρατίθενται κάποια βασικά

χαρακτηριστικά για τα εν λόγω ρήγματα, όπου ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η «δυναμική» τους σε πρόκληση σεισμού μεγάλου μεγέθους (M_{wmax}).

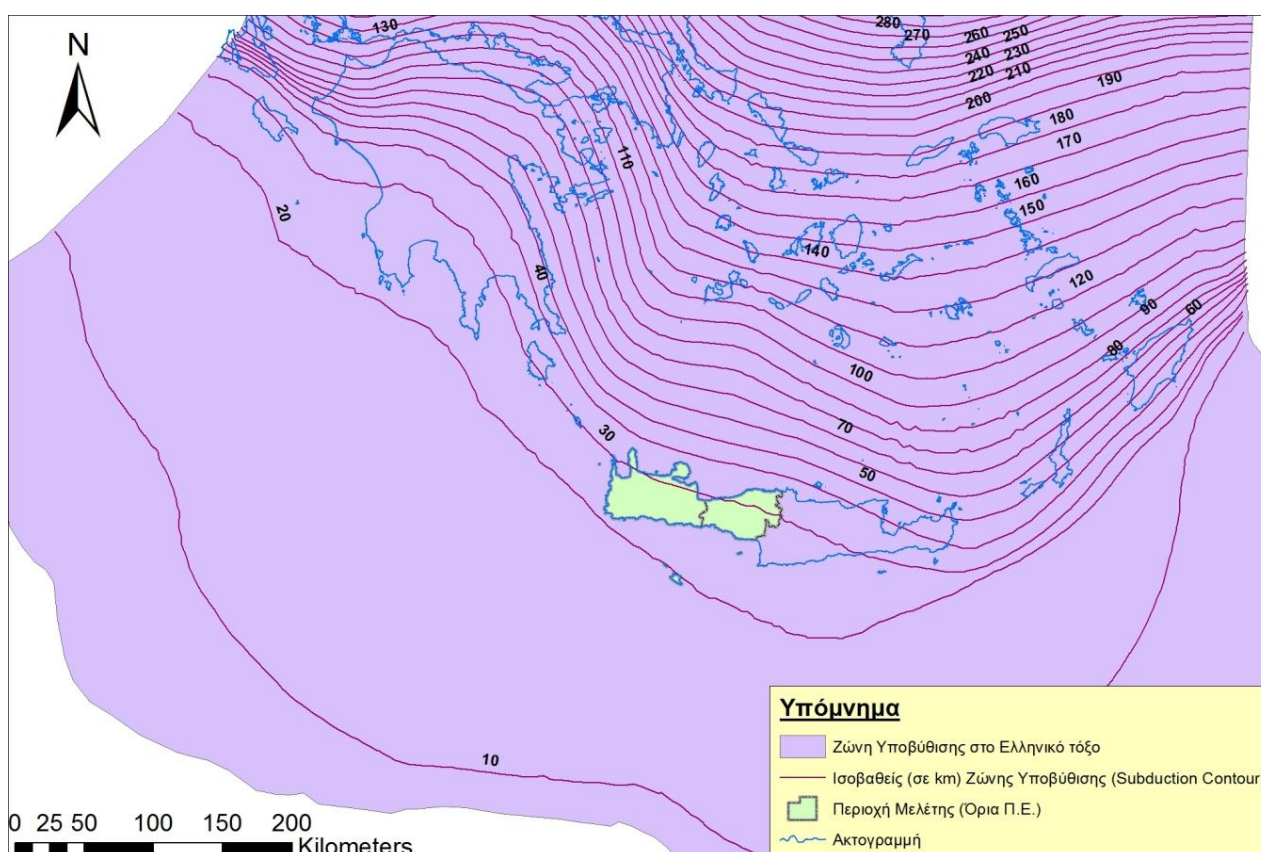
Όπως αναφέρεται και στην προαναφερθείσα νεοτεκτονική ανάλυση (Mountrakis et al, 2013) για την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης έχουν αναγνωρισθεί δύο τεκτονικές φάσεις: η 1η φάση εφελκυσμού κατά διεύθυνση Β-Ν στο Μέσο-Άνω Μειόκαινο έως Κάτω Πλειόκαινο, που προκάλεσε μεγάλα κανονικά ρήγματα (Normal faults) παράταξης Α-Δ τα οποία οριοθετούν τις Νεογενείς λεκάνες και η 2η φάση εφελκυσμού κατά διεύθυνση Α-Δ στο Ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι σήμερα, προκαλώντας ενεργά κανονικά ρήγματα παράταξης Β-Ν. Παρατηρούνται επίσης μικρότερα ρήγματα παράταξης ΒΑ-ΝΔ, με σημαντική συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης (strike slip) και λειτουργούν ως ενεργά ρήγματα μεταφοράς (transfer Faults) μεταξύ των μεγαλύτερων ενεργών ρηξιγενών ζωνών παράταξης Β-Ν.



Χάρτης 3-7: Τα Ρήγματα της στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Πίνακας 3-3: Τα Μείζονα ενεργά Ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Πηγή: Mountrakis et al. (2013) & EDSF)

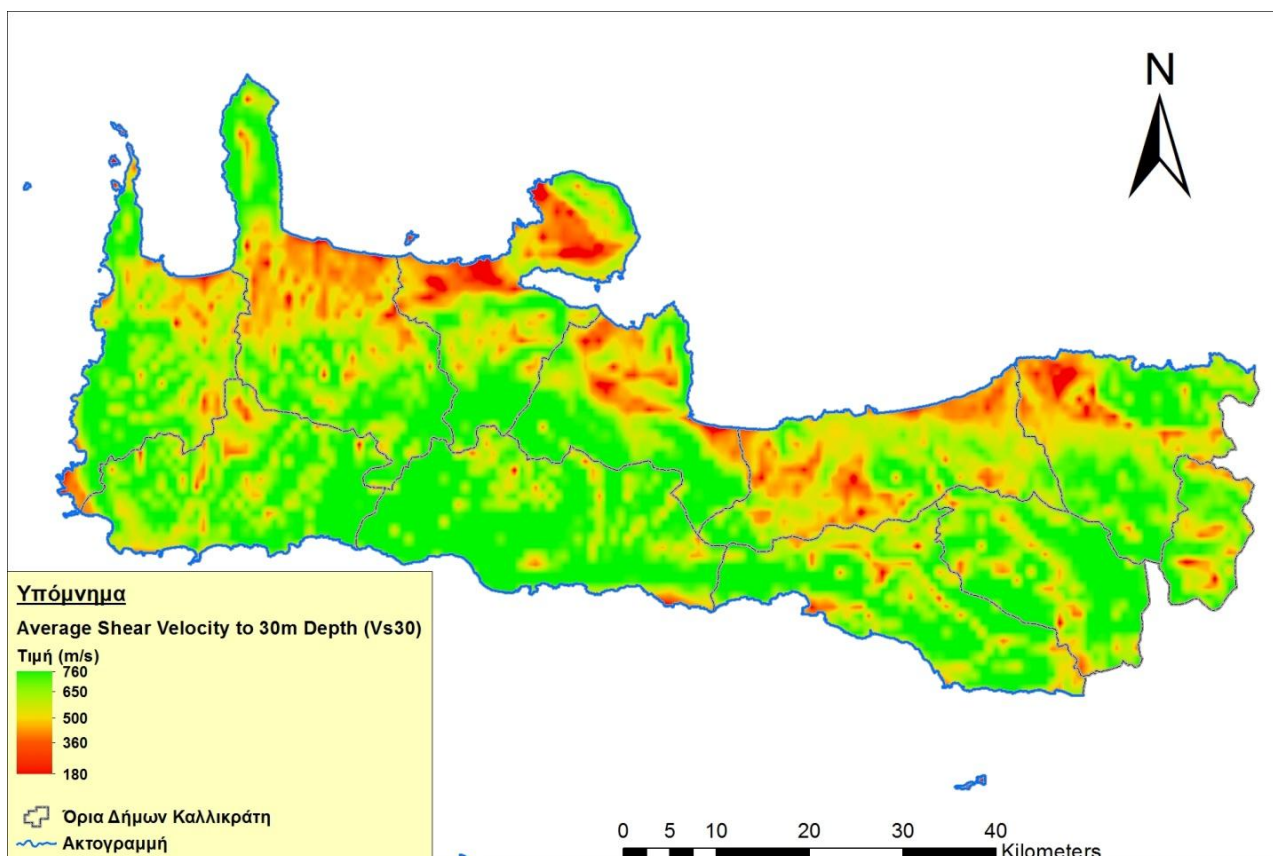
A/A	Ονοματολογία Ρήγματος	M _w m _{ax}	Κατεύθυνση (strike)	Βύθιση (dip)	Συνολικό μήκος κατά προσέγγιση (km)
1	Western Crete (Δυτικής Κρήτης)	7,2	B-N	Δυτικά	65
2	Platanos	5,6	BA-NA	ΒορειοΔυτικά	10
3	Malathiros - Rodopos	6,5	B-N	Δυτικά	30
4	Kera - Kathiana	5,0	BA-NA	ΒορειοΔυτικά	11
5	Zacharias - Pemonia	5,7	B-N	Ανατολικά	11
6	Marathi	5,7	BA-NA	ΝότιοΑνατολικά	12
7	Central Cretan Sea 1	7,0	A-Δ	Βόρεια	104
8	Central Cretan Sea 2	6,5	A-Δ	Βόρεια	27
9	South Myrtoon Sea 2	6,8	A-Δ	Νότια	45
10	South Myrtoon Sea 1	6,8	BA-NA	ΝοτιοΔυτικά	41
11	Christiani	7,1	A-Δ	Νότια	110
12	South Melos	6,7	B-N	Ανατολικά	36
13	Kastelli	6,4	BA-NA	ΒορειοΔυτικά	21
14	Eastern Psiloreiths	6,5	B-N	Ανατολικά	25
15	Ptolemy trench	7,0	A-Δ	Νότια	82
16	Messara	6,6	BA-NA	ΝοτιοΔυτικά	53
17	Agia Galini	6,5	BA-NA	ΝότιοΑνατολικά	25
18	Spili	6,2	BA-NA	ΝοτιοΔυτικά	16
19	Paleochora - Tympaki	7,0	A-Δ	Νότια	94
20	South Cretan Sea	7,1	A-Δ	Βόρεια	92
21	Kyamon	6,7	BA-NA	Βόρειοανατολικά	37
22	Kythera - Antikythera	6,9	BA-NA	ΝοτιοΔυτικά	55
23	East Antikythera	6,7	BA-NA	Βόρειοανατολικά	39
24	East Kythera	6,7	B-N	Ανατολικά	46



Χάρτης 3-8: Ζώνη υποβύθισης ελληνικού τόξου (Subduction Zone)

3.2.2.3 Εδαφικές Συνθήκες

Οι εδαφικές συνθήκες αντιπροσωπεύονται από τη σεισμική απόκριση του εδάφους (seismic site conditions), πληροφορία την οποία παίρνουμε από τη μέση διατμητική **ταχύτητα Vs30** (Average Shear Velocity to 30 m depth). Η τιμή της Vs30 χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια κυρίως ως εναλλακτικός τρόπος σε περιπτώσεις απουσίας στοιχείων για την ακριβή γεωλογική και γεωτεχνική σύνθεση εδάφους (Wald and Allen, 2007). Ο υπολογισμός της $V_{s,30}$ γίνεται μέσω Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 arcsec DEMs όπως αναλύεται από τους Allen και Wald (2009). Από την ιστοσελίδα του U.S. Geological Survey (USGS) δίνεται η πρόσβαση για την απόκτηση αρχείων (ASCII, JPG, GMT) όπου παρέχεται η $V_{s,30}$ σε παγκόσμιο επίπεδο για οποιαδήποτε επιθυμητή περιοχή (<http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30>). Για τη δημιουργία του αντίστοιχου χάρτη (Χάρτης 3-9) επιλέχθηκε κατάλληλα η περιοχή μελέτης, για την οποία δημιουργήθηκε αρχείο ASCII (American Standard Code for Information Interchange) το οποίο εν συνεχεία μετατράπηκε σε Raster στο περιβάλλον του ArcMap (ArcToolbox – ASCII to Raster).



Χάρτης 3-9: Η μέση ταχύτητα Vs30 στην περιοχή μελέτης

Από τον εν λόγω χάρτη φαίνεται ότι η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από πετρώδη και ελαφρώς αμμώδη εδάφη, γεγονός που αποτυπώνεται και στον αντίστοιχο χάρτη για την γεωλογία της περιοχής (Χάρτης Παράρτημα Β'). Οι τιμές της Vs30 (μέγιστο: 760 m/s και ελάχιστο 180 m/s) μας δίνουν εδάφη κατηγορίας D και C κατά NEHRP, ενώ σύμφωνα με τον EC-8 τα εδάφη υπάγονται στις κατηγορίες B και C αντίστοιχα (βλ. πίνακες 2-6 και 2-7).

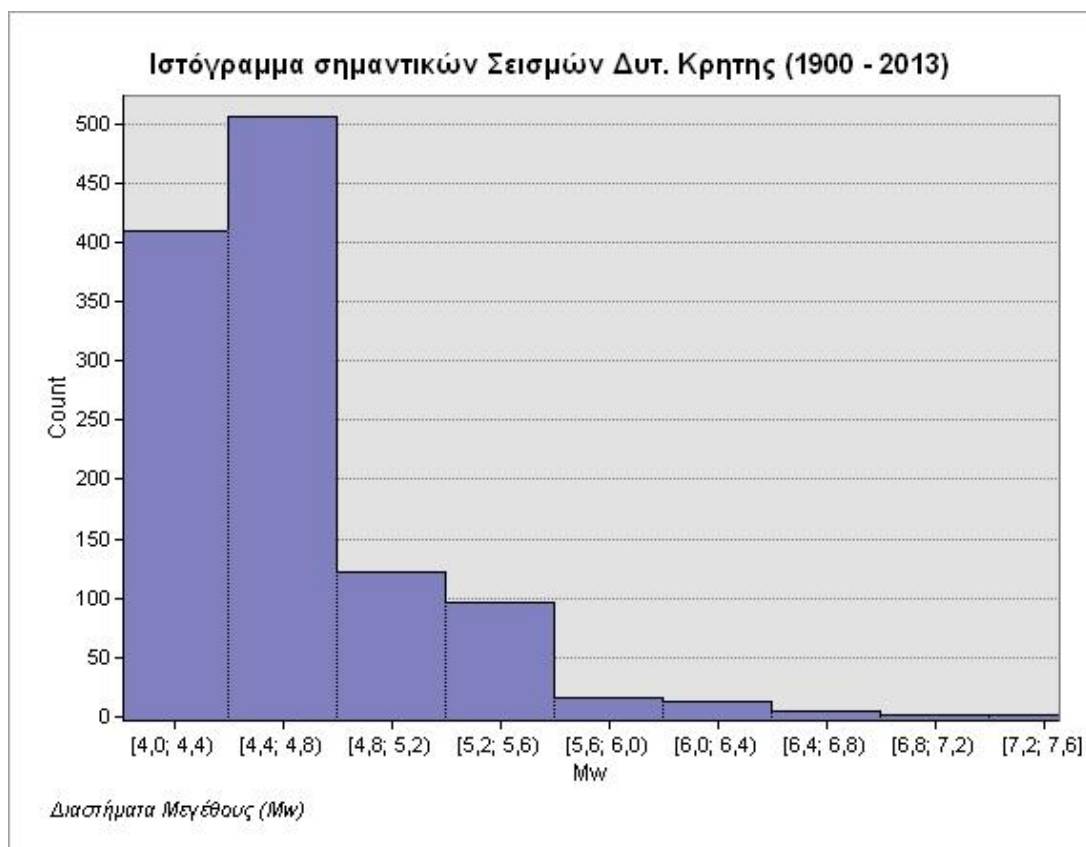
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση Σεισμικής Δραστηριότητας

4.1 Στατιστικά Στοιχεία

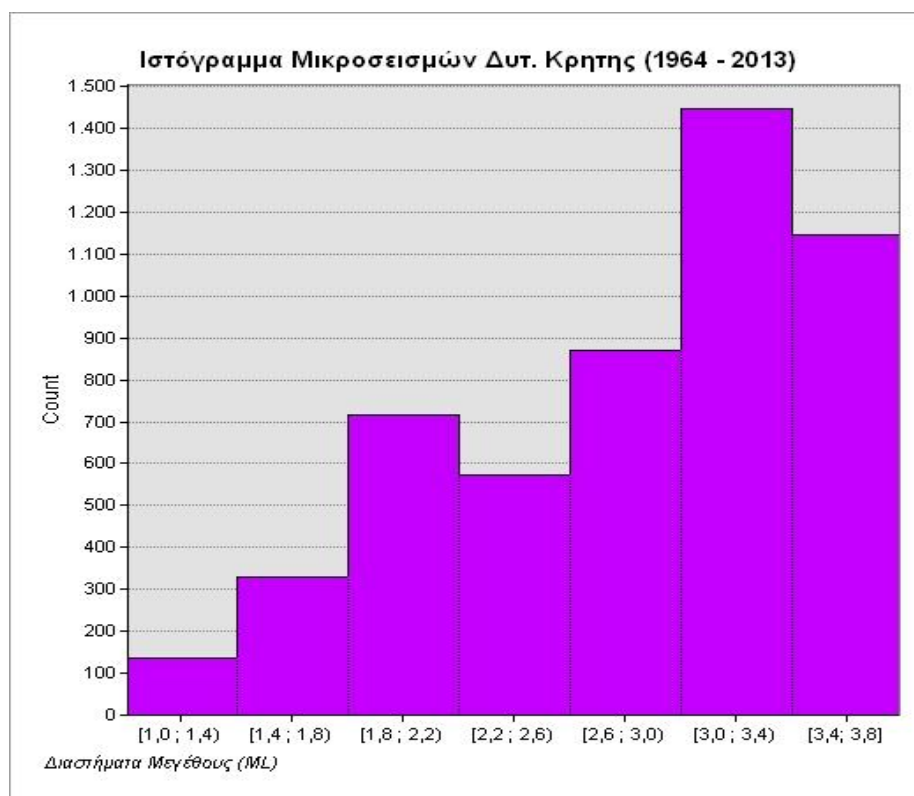
Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η σοβαρότητα ενός σεισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το Μέγεθος, το εστιακό βάθος, την γεωλογία της περιοχής στην οποία εκδηλώνεται κ.α. Συχνά όμως παρατηρείται στην διεθνή αλλά και στην εγχώρια βιβλιογραφία η σημαντικότητα ενός σεισμού να αξιολογείται από το Μέγεθος αυτού. Έτσι οι σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο του $M_w = 4$ θεωρούνται τις περισσότερες φορές ως σημαντικοί. Αυτό αν και υποκειμενικό, δεν είναι παράλογο, καθώς οι σεισμοί αυτοί γίνονται κατά κύριο λόγο αισθητοί και είναι ικανοί να προκαλέσουν ζημιές στις κατασκευές. Ουσιαστικά η θεώρηση αυτή αποτελεί ένα πρακτικό τρόπο αντιμετώπισης της πληθώρας δεδομένων σε περιπτώσεις ανάλυσης σεισμικής δραστηριότητας και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται και στη παρούσα εργασία όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την περιοχή μελέτης έχουμε συνολικά 1171 σημαντικούς σεισμούς, που αποτελούν και τον πυρήνα της ανάλυσης, ενώ στους μικροσεισμούς περιλαμβάνονται 5217 σεισμικά γεγονότα. Για τις δύο κατηγορίες αυτές δημιουργήθηκαν ιστογράμματα (Διαγράμματα 4-1 και 4-2) στο περιβάλλον του ArcMap τα οποία αποτυπώνουν την συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων μεγεθών των σεισμικών γεγονότων.

Στους μεν σημαντικούς σεισμούς φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη συχνότητα έχουν οι σεισμοί με μέγεθος από 4,4 έως 4,8 M_w , ενώ για τους μικροσεισμούς από 3,0 έως 3,4 αντίστοιχα. Αυτό βέβαια είναι ενδεικτικό του γεγονότος ότι στη Δυτ. Κρήτη παρά τη μεγάλη σεισμική δραστηριότητα επικρατούν σεισμοί με σχετικά μέτριο μέγεθος.

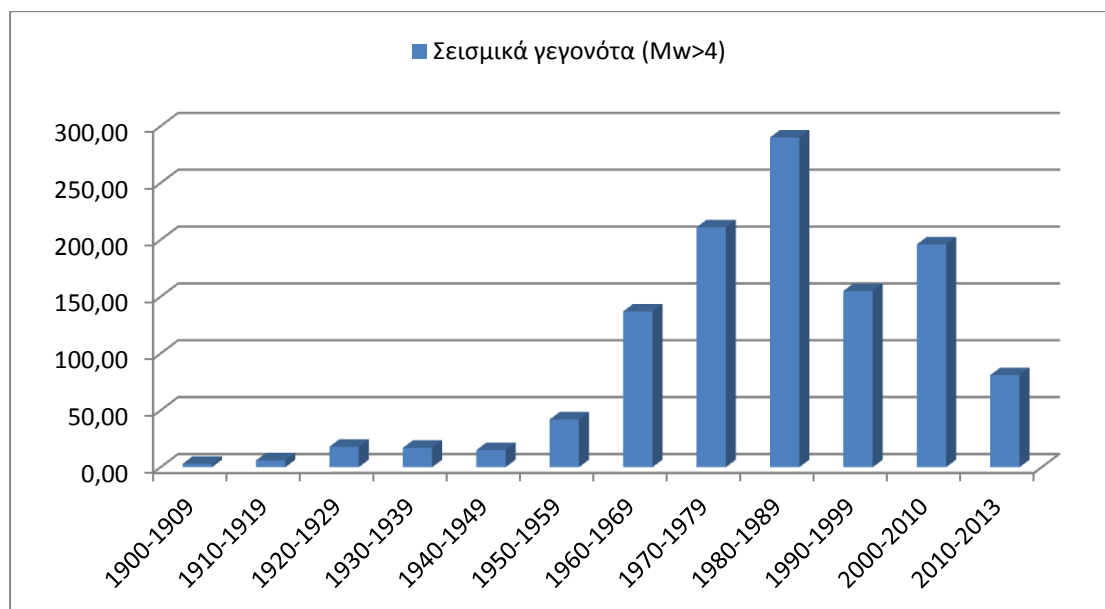


Διάγραμμα 4-1: Ιστόγραμμα σημαντικών σεισμών



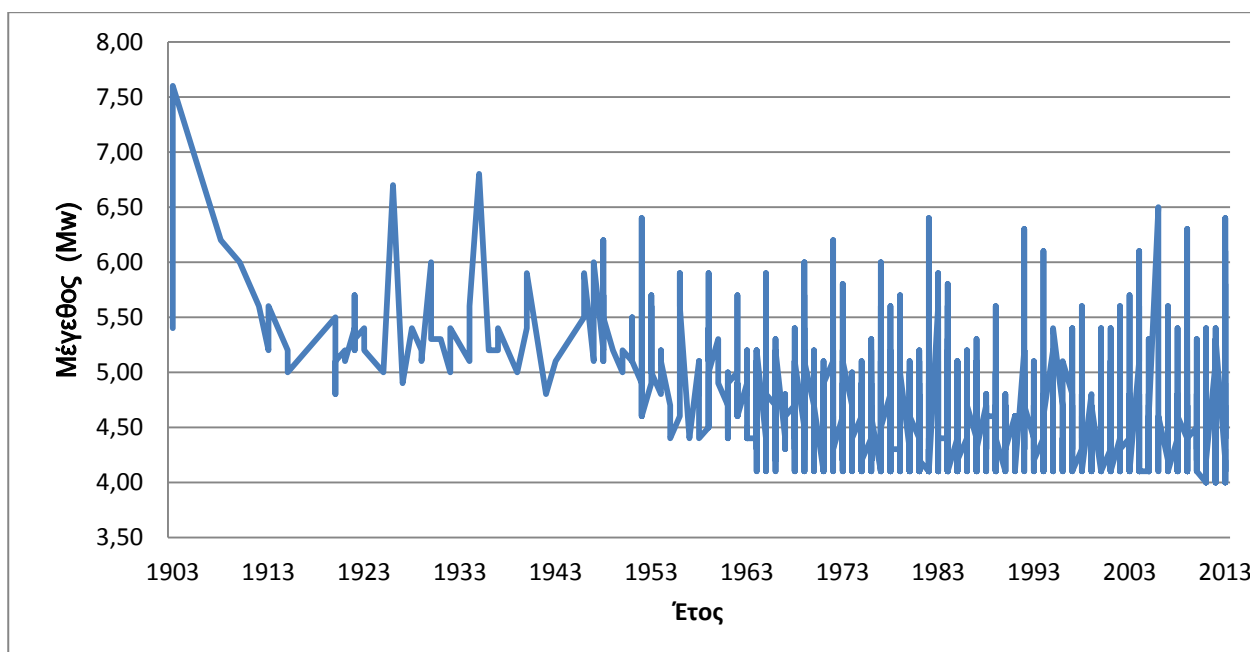
Διάγραμμα 4-2: Ιστόγραμμα μικροσεισμών

Για τους σημαντικούς σεισμούς ($M_w > 4$), που εμφανίζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, σημαντικό στατιστικό στοιχείο αποτελεί η διαχρονική εμφάνιση των σεισμών στη περιοχή μελέτης. Σε αυτό το πλαίσιο, δίνεται στο διάγραμμα 4-3 το πλήθος των σεισμικών γεγονότων ανά δεκαετία. Τα στοιχεία προέρχονται από τον κατάλογο των σημαντικών σεισμών που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Διάγραμμα 4-3: Πλήθος σεισμικών γεγονότων ανά δεκαετία.

Στο ίδιο κλίμα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4-4 τα μεγέθη των σεισμών που εμφανίστηκαν στη περιοχή μελέτης από το 1900 έως το 2013 ανά δεκαετία.

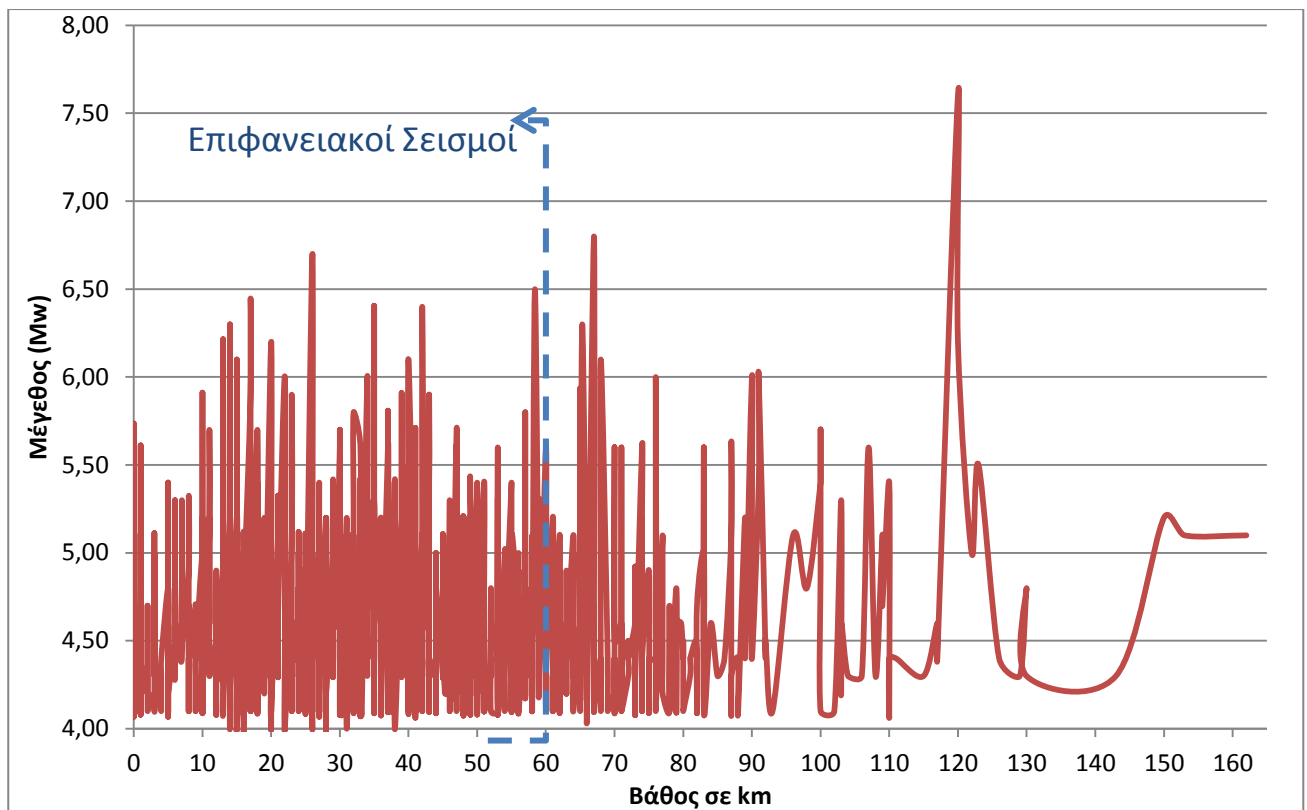


Διάγραμμα 4-4: Μέγεθος σεισμών ανά δεκαετία

Αυτό που παρατηρεί κανείς είναι την τελευταία 50ετία έχουμε στη διάθεσή μας πολλά περισσότερα σεισμικά γεγονότα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, το οποίο όπως είναι φυσικό οφείλεται στην ανάπτυξη των τεχνολογικών μέσων που αναγνωρίζουν και καταγράφουν τις σεισμικές δονήσεις. Η τεχνολογική αυτή πρόοδος έχει επιτελέσει σημαντική ωφέλεια στο έργο των επιμέρους επιστημονικών κλάδων που πραγματεύονται το σεισμικό φαινόμενο, καθώς προσέφερε ένα μεγάλο όγκο δεδομένων προς έρευνα, αλλά και παράλληλα έδωσε μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών.

Το διάγραμμα 4-4, πέρα από τον στατιστικό του χαρακτήρα, φαίνεται να έχει και μία άλλη σημαντική πτυχή που έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχει ένα σταθεροποιημένο μοτίβο εμφάνισης σεισμών στην περιοχή την τελευταία 50ετία, με σεισμικές δονήσεις που δεν ξεπερνούν το $M_w = 6,5$. Το στοιχείο αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι ένας ισχυρός σεισμός που θα συμβεί στην υπόψη περιοχή, αναμένεται να έχει ως μέγιστο το μέγεθος αυτό.

Τέλος, στο διάγραμμα 4-5 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών των σημαντικών σεισμών (M_w) και του βάθους αυτών. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η «δυναμικότητα» των σεισμών είτε επιφανειακών, είτε ενδιάμεσου βάθους είναι περίπου η ίδια, αν και ιστορικά οι ισχυρότεροι σεισμοί που έχουν εμφανιστεί στην περιοχή ($M_w = 6,9$ και $7,6$) ήταν ενδιάμεσου βάθους. Το σημαντικό είναι ότι οι επιφανειακοί σεισμοί, που είναι και οι πιο καταστρεπτικοί, εμφανίζουν ένα μέγιστο μέγεθος εμφάνισης γύρω στο $6,5$, το οποίο συμβαδίζει και με το προαναφερθέν μέγιστο μέγεθος εμφάνισης των σεισμών γενικότερα. Σημειώνεται δε ότι οι επιφανειακοί σεισμοί που παρατηρήθηκαν την χρονική περίοδο μελέτης είναι συνολικά 974 αποτελώντας περίπου το 83% του όλου καταλόγου (Διάγραμμα 4-6). Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα 4-5, όπου οι πιο πυκνές γραμμές σε βάθη μικρότερα των 60km υποδηλώνουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης των επιφανειακών σεισμών σε σχέση με τους υπόλοιπους.



Διάγραμμα 4-5: Συσχέτιση Μεγέθους – Βάθους για τους σημαντικούς σεισμούς



Γράφημα 4-1: Βάθος σεισμών στην περιοχή μελέτης

4.2 Χωρική Ανάλυση

Σαφώς τα στατιστικά στοιχεία προσφέρουν μία αντικειμενική και ποιοτική εικόνα της περιοχής, όμως από μόνα τους δεν επαρκούν. Το ζήτημα της ανάλυσης της σεισμικής δραστηριότητας σε ένα συγκεκριμένο χώρο (εδώ η περιοχή μελέτης), για να αποδοθεί πλήρως, προϋποθέτει μία γεωχωρική προσέγγιση που προσδίδει η χωρική ανάλυση. Με τη χωρική ανάλυση η πληροφορία από σημειακή (στοιχεία σεισμών) ανάγεται σε χωρική και καλύπτει ολόκληρο τον υπό μελέτη χώρο, δημιουργώντας πληροφορία γεωγραφικά και γεωχωρικά προσανατολισμένη στο σύνολο της επιθυμητής έκτασης. Έτσι η μελέτη γίνεται πιο κατανοητή και πιο εύκολα αντιληπτή, ενώ παράλληλα αυξάνονται σημαντικά οι δυνατότητες περεταίρω ανάλυσης συνδυάζοντας πληθώρα άλλων γεωχωρικών δεδομένων.

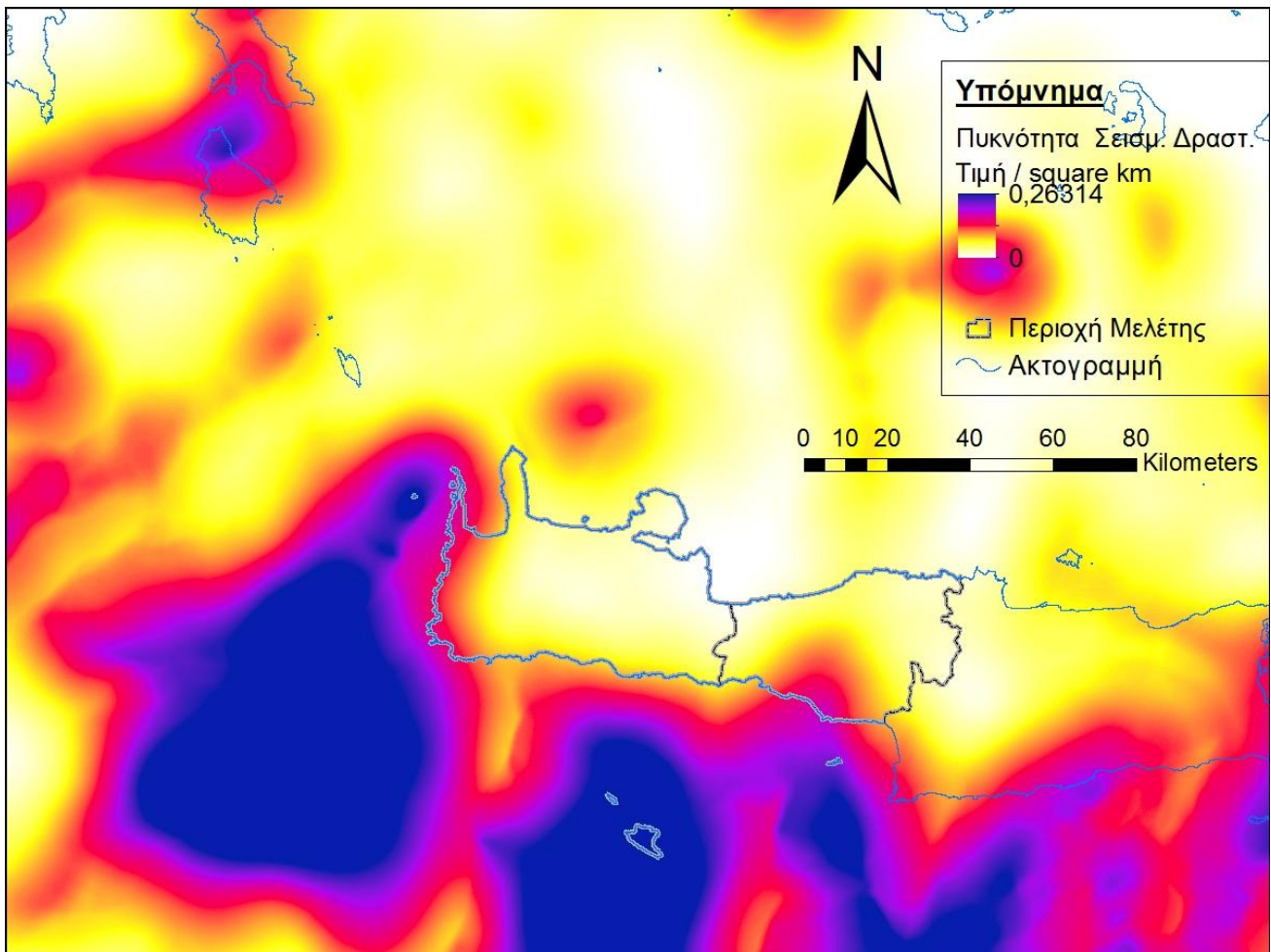
4.2.1 Σεισμική Δραστηριότητα

Κατά αυτό τον τρόπο επιχειρήθηκε να περιγραφεί η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής μελέτης αξιοποιώντας τις πληροφορίες για τη θέση, τα μεγέθη και τα βάθη των σεισμών. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε το εργαλείο «Kernel Density» από τα «Spatial Analyst Tools». Η Kernel density δημιουργεί αρχεία τύπου Raster, όπου υπολογίζει την πυκνότητα σχημάτων (σημείων ή γραμμών) γύρω από το καθορισμένο raster cell, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση Kernel (Silverman p.76 eq. 4.5, 1986). Για κάθε σχήμα καθορίζεται μία «ενεργός απόσταση» (search radius) που αποτελεί και την περιοχή επιρροής του σχήματος (η οποία μειώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση από τη θέση του) και ένα βάρος σημαντικότητας (population field). Έτσι για το κάθε κελί υπολογίζεται η πυκνότητα των επικαλυπτόμενων Kernel επιφανειών που διέρχονται από αυτό. Άρα εκτιμάται η πυκνότητα ή συγκέντρωση εμφάνισης ή αλλιώς και η πυκνότητα πιθανότητας εμφάνισης (probability density function) του σχήματος για το κάθε κελί.

Στην προκειμένη περίπτωση δημιουργήθηκαν δύο αρχεία Raster, ένα για την κάθε κατηγορία σεισμών (σημαντικοί – μικροσεισμοί) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Cell size: 100m
- Map units: square km
- Search radius: 25km για τους σημαντικούς σεισμούς και 8km για τους μικροσεισμούς
- Population field: Το μέγεθος των σεισμών (Mw και ML αντίστοιχα)

Η διαφοροποίηση στην απόσταση της ζώνης επιρροής έγινε με γνώμονα την εξασθένιση των σεισμικών φαινομένων σε συνάρτηση με την απόσταση που εκφράζεται από την εξίσωση 2.15. Έτσι προέκυψαν οι χάρτες 4-1 και 4-2 που αποτυπώνουν πρακτικά την αντίστοιχη συγκέντρωση σεισμικής δραστηριότητας της περιοχής.

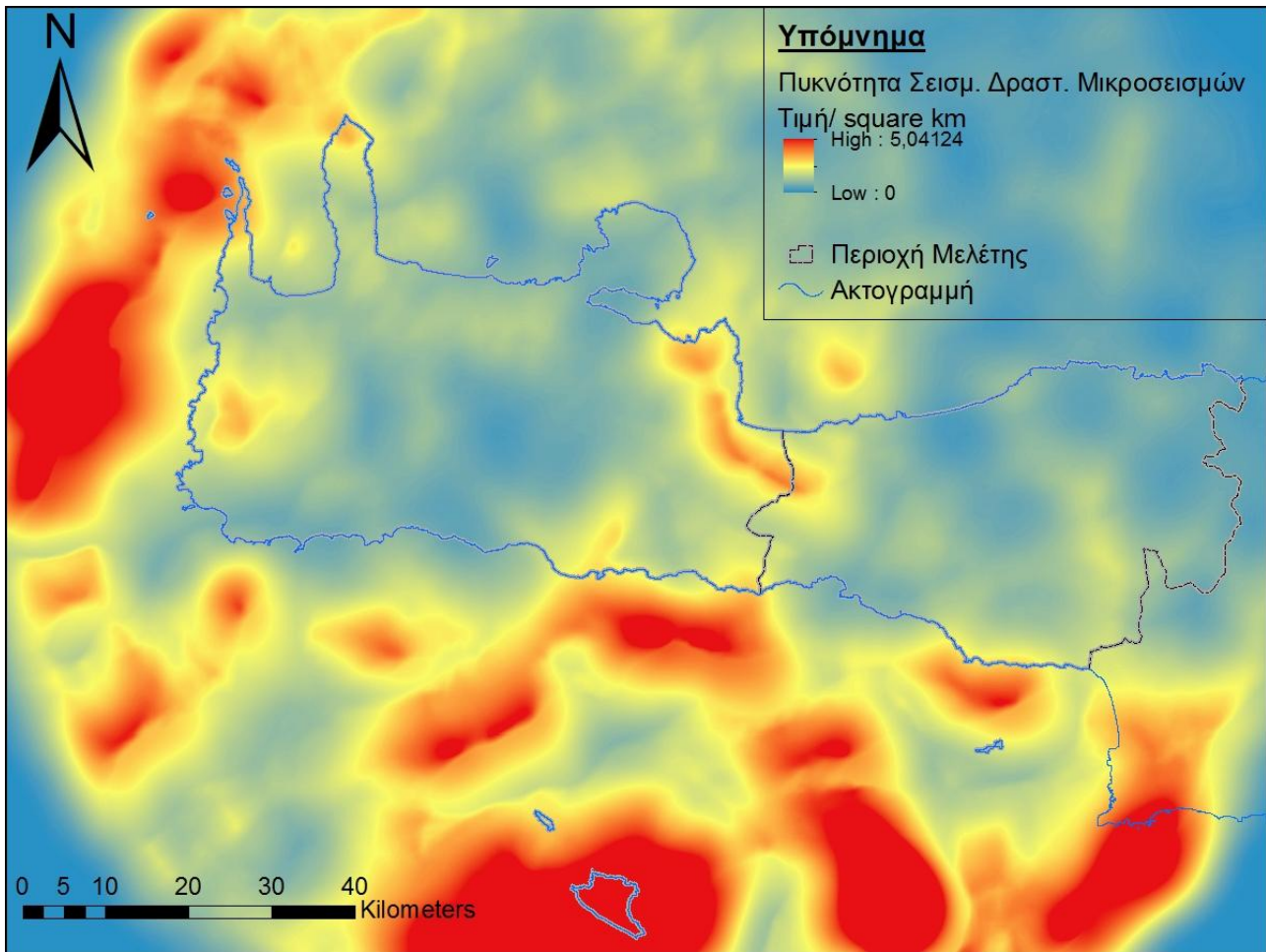


Χάρτης 4-1: Συγκέντρωση σεισμικής δραστηριότητας των σημαντικών σεισμών (1900-2013)

Από το χάρτη 4-1 φαίνεται ότι η έντονη σεισμική δραστηριότητα παρουσιάζεται κυρίως στις νότιες και δυτικές ακτές της περιοχής μελέτης, σε αντίθεση με τη βόρεια και ηπειρωτική πλευρά, όπου σεισμική δραστηριότητα είναι εξαιρετικά χαμηλή και η εμφάνιση σεισμικών γεγονότων αρκετά αραιή. Αυτό καταδεικνύει την ενεργότητα των μεζόνων ρηγμάτων στα δυτικά και νότια της περιοχής και φαίνεται ότι η κύρια σεισμική δραστηριότητα ακολουθεί τη σχηματιζόμενη τάφρο (trench) λόγω υποβύθισης της αφρικανικής πλάκας, του ελληνικού τόξου.

Από τα στατιστικά δεδομένα της ανάλυσης φαίνεται ότι συνολικά η περιοχή μελέτης (διευρυμένη περιοχή) παρουσιάζει σεισμική δραστηριότητα με μέγιστο 0,26314 και μέση τιμή 0,03666 σεισμικά γεγονότα ανά τετρ. km. Αν η ανάλυση περιοριστεί μόνο στο ηπειρωτικό κομμάτι της περιοχής (πραγματική περιοχή μελέτης) τότε οι αντίστοιχες τιμές διαμορφώνονται ως εξής:

Μέγιστο: 0,19428	} Σεισμικά γεγονότα / sq km
Μέση: 0,02558	
και τυπική απόκλιση: 0,024	



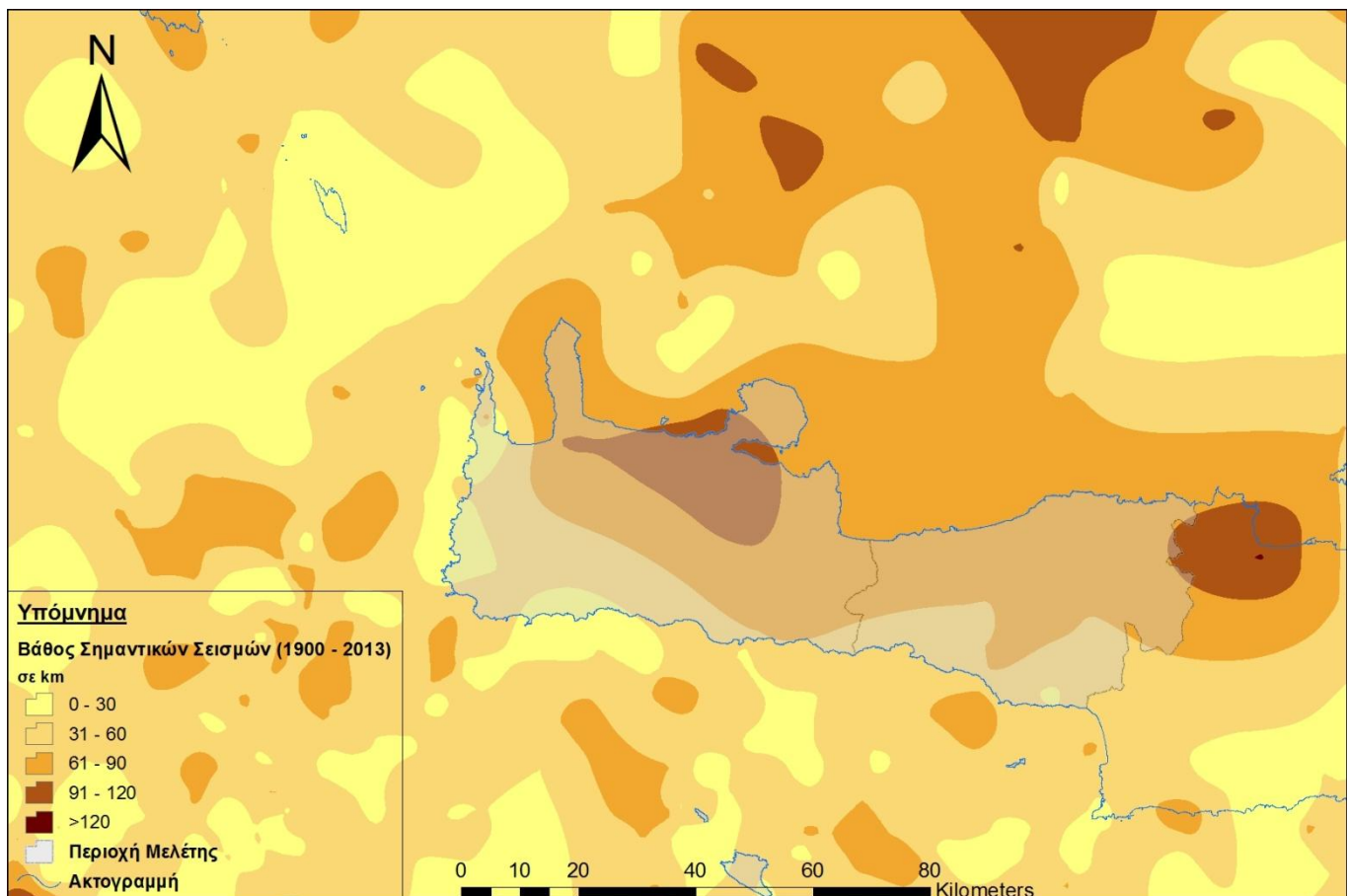
Χάρτης 4-2: Συγκέντρωση σεισμικής δραστηριότητας των μικροσεισμών (1964 – 2013)

Ομοίως στο χάρτη 4-2 βλέπουμε κυρίως τη μεγάλη συγκέντρωση μικροσεισμών στα δυτικά και νότια, αλλά και κάποιες εστίες στα ηπειρωτικά της περιοχής, οι οποίες συνδέονται με τα ρήγματα της εγγύς περιοχής. Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε, παρατηρώντας και τους δύο χάρτες, ότι η σεισμική δραστηριότητα παρουσιάζεται πιο έντονη στο θαλάσσιο χώρο της περιοχής παρά στον ηπειρωτικό.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι τα ρήγματα της περιοχής που φαίνεται να είναι πιο «δημιουργικά» σε σεισμούς, με βάση τη δραστηριότητα τους τα τελευταία 100 χρόνια, είναι αυτά της δυτικής Κρήτης και το νότιο ρήγμα Παλαιόχωρας – Σπηλίου. Αυτό υποδεικνύει και τη επικινδυνότητα των ρηγμάτων αυτών, τα οποία είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν εδαφικές δονήσεις καταστροφικές για τον άνθρωπο και το δομημένο περιβάλλον. Τα υπόλοιπα ρήγματα της περιοχής δείχνουν να συνδέονται κυρίως με την εκδήλωση κυρίως μικροσεισμών, χωρίς αυτό βέβαια να σημαίνει ότι δεν είναι ικανά να «παράγουν» μελλοντικά σεισμούς με πολύ μεγάλο μέγεθος.

4.2.2 Εστιακό Βάθος

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο για την ανάλυση είναι το εστιακό βάθος των σεισμών και κυρίως των σημαντικών σεισμών που έχουν εμφανιστεί στην περιοχή. Θεωρήθηκε ότι οι σημαντικοί σεισμοί αποτελούν ένα ικανό και αντιπροσωπευτικό δείγμα της περιοχής για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τα εστιακά βάθη που εμφανίζονται στην περιοχή. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι η «Natural Neighbor», ένα εργαλείο «Interpolation» του Spatial Analyst Tools, σε περιβάλλον ArcMap. Η Natural Neighbor βασίζεται στη δημιουργία γειτονικών πολυγώνων Voronoi (Thiessen polygons) για τα αρχικά δεδομένα σημεία και για τα ζητούμενα σημεία, η τιμή των οποίων καθορίζεται από βάρη αναλογικά με το ποσοστό επικάλυψης των ήδη υπαρχόντων πολυγώνων. Ουσιαστικά βρίσκει το κοντινότερο υποσύνολο αρχικών δεδομένων για το ζητούμενο σημείο και εφαρμόζει βάρη ανάλογα με την επιφάνεια επικάλυψης σε αυτό (Sibson, 1981). Στην προκειμένη περίπτωση δημιουργήθηκε αρχείο Raster με cell size: 1 km και τα αποτελέσματα αυτού φαίνονται στο Χάρτη 4-3.



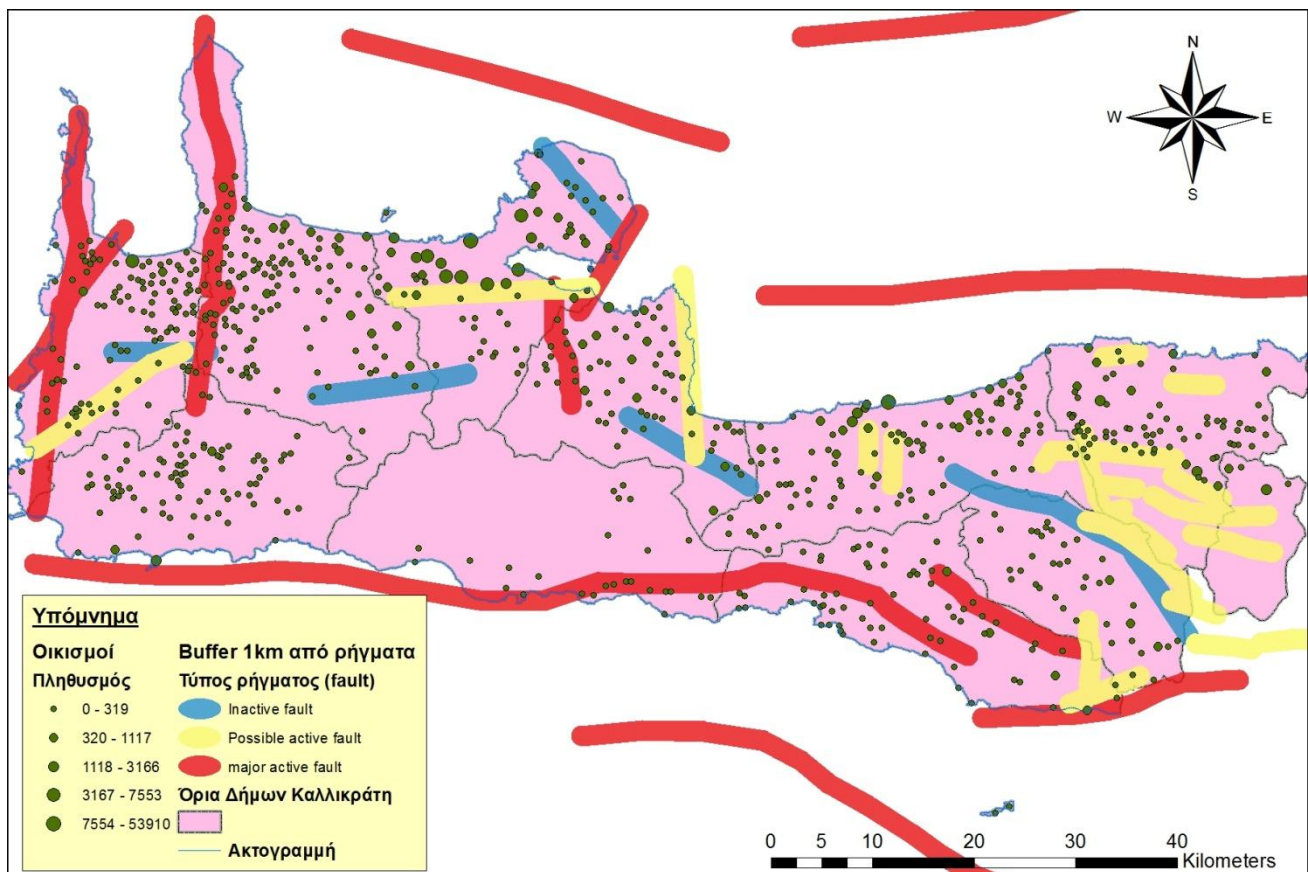
Χάρτης 4-3: Εκτιμώμενο σεισμικό εστιακό βάθος στην περιοχή μελέτης και την εγγύς θαλάσσια περιοχή.

Στον παραπάνω χάρτη αποτυπώνεται τόσο το ποσοστό των επιφανειακών σεισμών (83%) όσο και οι εν γένει περιοχές που αναμένεται η εμφάνιση επιφανειακών σεισμών. Κατά κύριο

λόγο στα νότια και δυτικά της περιοχής είναι πιθανό να προκληθεί επιφανειακός σεισμός ενώ στο βόρειο άξονα και στα κεντρικά της, εκτιμάται ότι οι σεισμοί θα είναι ενδιάμεσου μεγέθους, κάτι που οφείλεται και στη ζώνη υποβύθισης της αφρικάνικης πλάκας (ζώνη Benioff) στην περιοχή, όπως παρουσιάζεται στο χάρτη 3-9.

4.2.3 Πληθυσμός σε Κίνδυνο

Δεδομένου ότι τα ρήγματα της περιοχής μελέτης συνιστούν το μεγαλύτερο κίνδυνο για πρόκληση σεισμού μεγάλου μεγέθους και κατ' επέκταση για πρόκληση ζημιών στις κατασκευές, δημιουργήθηκε ο Χάρτης 4-4 όπου έχει εφαρμοσθεί «Buffer» 1 km γύρω από το κάθε ρήγμα. Στο χάρτη αποτυπώνονται οι οικισμοί της περιοχής, όπου αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της απογραφής 2011 βγαίνουν τα εξής ενδιαφέροντα αποτελέσματα:



Χάρτης 4-4: Οικισμοί και Ρήγματα

Σε απόσταση μικρότερη ή ίση του 1 km από τα μείζονα ρήγματα (κόκκινο χρώμα):

- Βρίσκονται 76 οικισμοί με συνολικό μόνιμο πληθυσμό 6796 κατοίκους.
- Η μέση απόσταση των εν λόγω οικισμών από μείζων ρήγμα είναι 508,5 m, ενώ η ελάχιστη απόσταση που παρατηρήθηκε είναι 7,03 m.

Σε απόσταση μικρότερη ή ίση του 1 km από όλα τα ρήγματα:

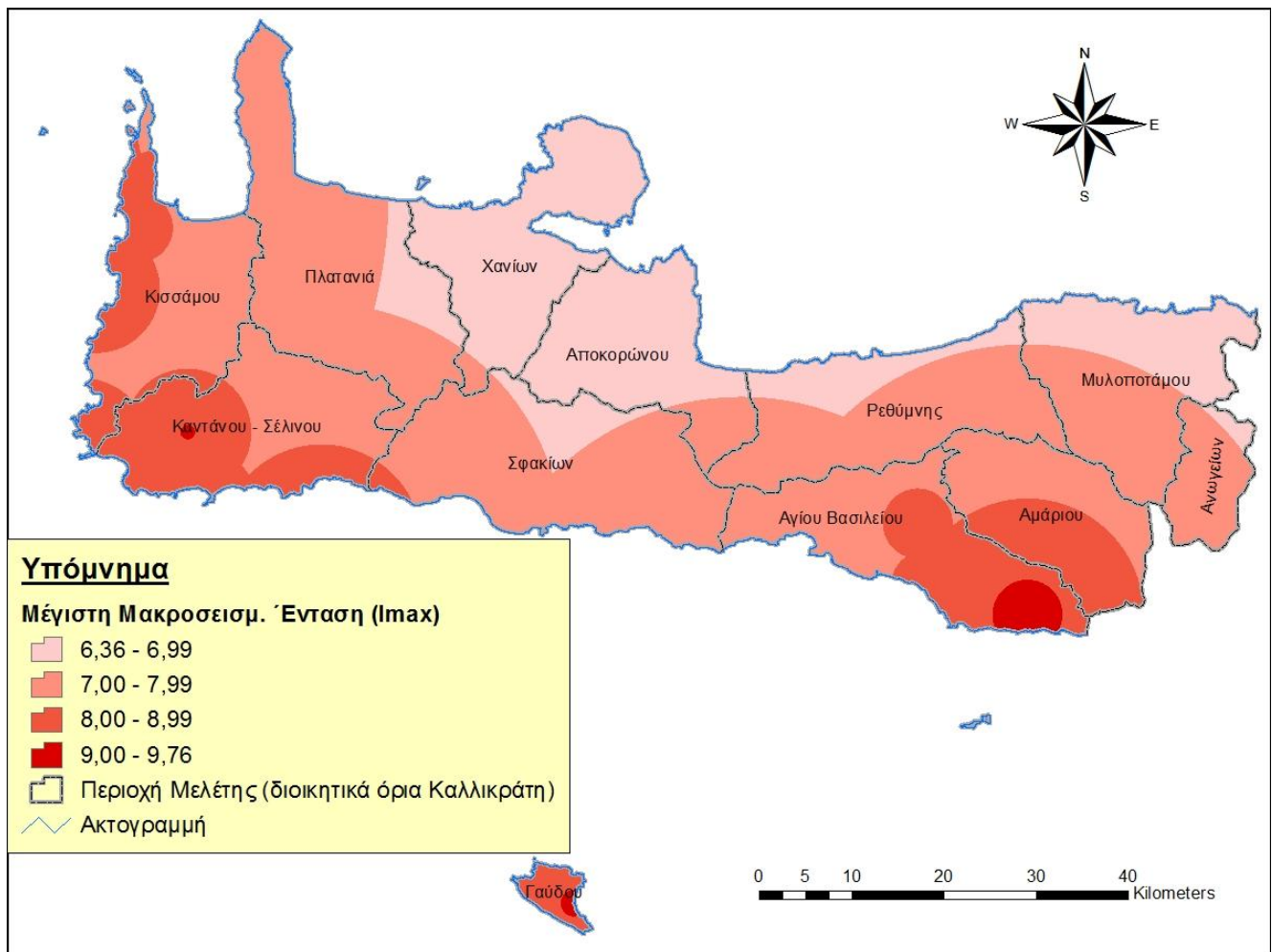
- Βρίσκονται 123 οικισμοί με συνολικό μόνιμο πληθυσμό 20.075 κατοίκους.
- Η μέση απόσταση των εν λόγω οικισμών από οποιοδήποτε ρήγμα είναι 499 m, ενώ η ελάχιστη απόσταση οικισμού από ρήγμα μετρήθηκε στα 6,65 m.

4.2.4 Ιστορικά Μέγιστη Ένταση και Εδαφική Δόνηση

Ένα ακόμα αξιόλογο στοιχείο απορρέει από την απάντηση στο ερώτημα: «τι τάξη μεγέθους είναι οι μέγιστες μακροσεισμικές εντάσεις και οι εδαφικές δονήσεις που έχει «βιώσει» η περιοχή τα τελευταία 100 χρόνια; ». Ουσιαστικά στο ερώτημα αυτό αναζητάμε τις μέγιστες ιστορικά παρατηρούμενες εντάσεις (I) και εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) που έχουν παρουσιαστεί στην περιοχή μελέτης από τους διάφορους ισχυρούς σεισμούς που έχουν εμφανιστεί σε αυτή μέσα στο δεδομένο χρονικό διάστημα. Κατά κανόνα όσο μεγαλύτερο το Μέγεθος ενός σεισμού τόσο μεγαλύτερα θα είναι και τα αντίστοιχα μεγέθη της I και PGA καθώς αυτά αποτελούν πρακτικά την έκφραση – συνέπεια της εκλυόμενης ενέργειας από τον προκληθέντα σεισμό στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της μακροσεισμικής έντασης και της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης παίζουν επιπλέον το εστιακό βάθος του σεισμού, αλλά και η επικεντρική απόσταση αυτού από την περιοχή ενδιαφέροντος. Έχοντας αυτά υπόψη προχωρήσαμε στην υλοποίηση του εγχειρήματος όπως αυτό αναλύεται παρακάτω.

Από το βασικό αρχείο των σημαντικών σεισμών επιλέχθηκαν αυτοί με μεγέθη (M_w) ≥ 5 και εν συνεχεία χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το εστιακό τους βάθος (επιφανειακοί και μη). Κατόπιν, εφαρμόστηκαν οι εξισώσεις 2.13 και 2.14 για την εύρεση των μακροσεισμικών εντάσεων ανάλογα με την κατηγορία (βάθος) του κάθε σεισμού. Τέλος, αξιοποιήθηκε η εξίσωση 2.16 για την εύρεση των PGA σε κάθε περίπτωση. Για το κάθε ένα από τα σεισμικά γεγονότα που αναφέρθηκαν δημιουργήθηκε Raster αποστάσεων, με το εργαλείο Euclidean Distance (Spatial Analyst tools -> Distance & το κάθε αρχείο Raster που δημιουργήθηκε έχει Cell size 100 m). Κατόπιν έγινε εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων μέσω του εργαλείου Raster Calculator, που υπάγεται στα εργαλεία του Spatial Analyst Tools (Map Algebra). Για την εύρεση των τελικών τιμών της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Cell Statistics (Spatial Analyst Tools -> Local) επιλέγοντας τις μέγιστες τιμές σε κάθε κελί της περιοχής ανάμεσα σε όλα επικαλυπτόμενα Raster αρχεία που δημιουργήθηκαν.

Από τη διαδικασία αυτή παρατίθεται ο χάρτης μέγιστων Εντάσεων (I_{max}) (Χάρτης 4-5), όπου η μέγιστη παρατηρούμενη ένταση υπολογίστηκε 9,76 και η ελάχιστη 6,36. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μέγιστη αυτή ένταση προέκυψε από επιφανειακό σεισμό με μέγεθος $M_w=5,9$. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η «συνεισφορά» των επιφανειακών σεισμών στις μέγιστες εντάσεις ήταν μεγαλύτερη από αυτή των ενδιάμεσου εστιακού βάθους. Συγκεκριμένα οι επιφανειακοί σεισμοί εμφάνισαν μέγιστη ένταση όπως αναφέρθηκε 9,76 και ελάχιστη 6,36, ενώ οι ενδιάμεσου βάθους παρουσίασαν μέγιστη ένταση 6,53 και ελάχιστη 5,32.

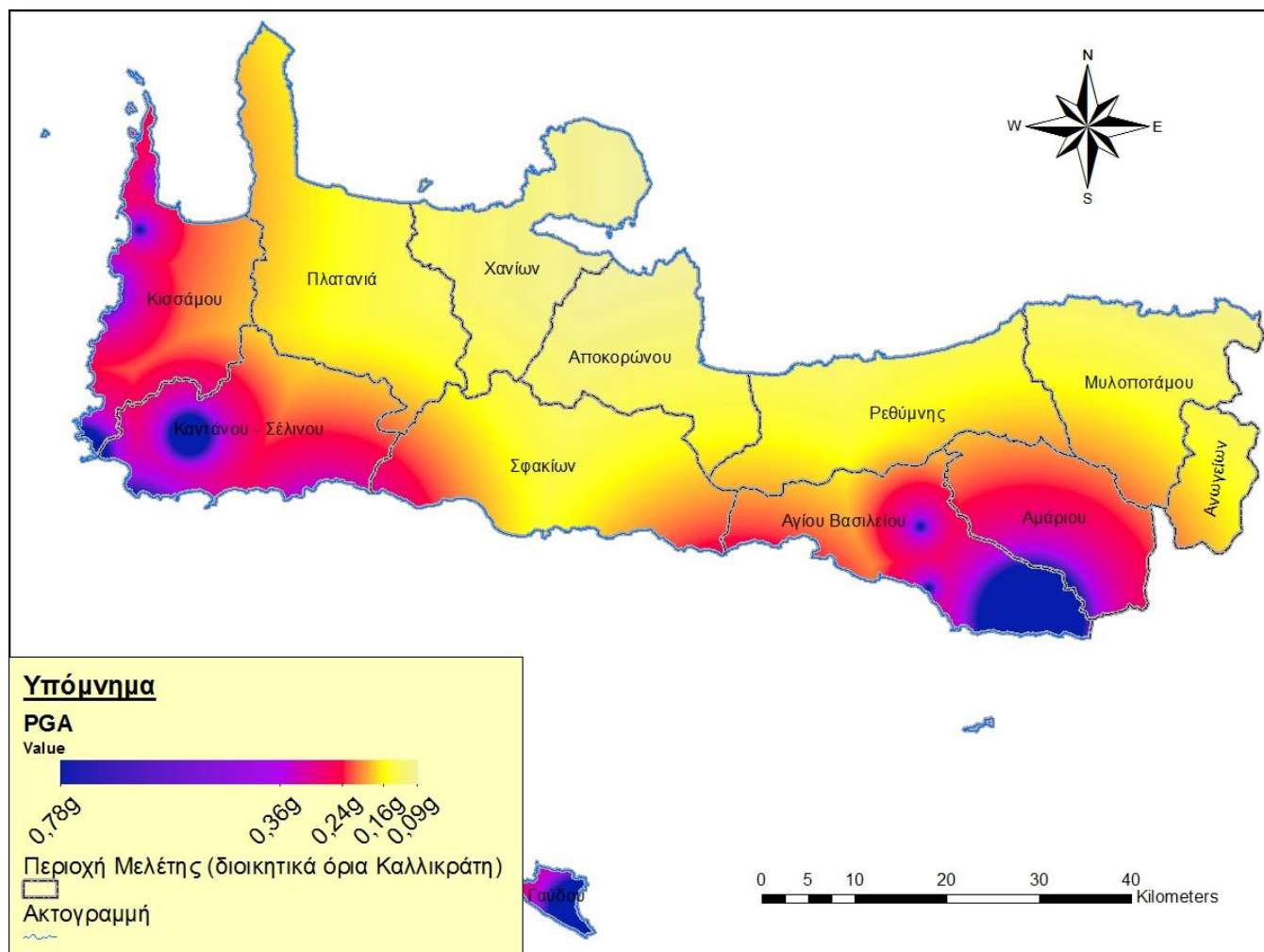


Χάρτης 4-5: Μέγιστη παρατηρούμενη μακροσεισμική ένταση από σεισμούς με μέγεθος (M_w) ≥ 5 (1900-2013)

Επειδή η μακροσεισμική ένταση από τη φύση της είναι υποκειμενική και υπάρχουν διάφορες κλίμακες για αυτήν με αρκετές διαφορές, κρίθηκε σκόπιμο να εξαχθεί ένα μέγεθος το οποίο να είναι πιο αντικειμενικό και πιο αντιπροσωπευτικό της εδαφικής κίνησης - δόνησης που προκαλούν οι σεισμοί. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε και ο χάρτης της μέγιστης PGA (Χάρτη 4-6) αξιοποιώντας την εξίσωση των Θεωδουλίδη, Παπαζάχου (1992). Στον χάρτη αυτό η PGA εκφράζεται ως μονάδα της επιτάχυνσης της βαρύτητας ($g = 9,82 \text{ m/s}^2$) όπως είθισται και από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Όπως παρατηρείται, η περιοχή της Δυτ. Κρήτης έχει υποστεί στο παρελθόν αρκετά ισχυρές σεισμικές δονήσεις και ιδιαίτερα οι Δήμοι Κισσάμου και Καντάνου – Σελίνου στα δυτικά και νότια των Χανίων και οι δήμοι Αγίου Βασιλείου και Αμαρίου στα νότια και νοτιο-ανατολικά του Ρεθύμνου. Οι δονήσεις αυτές είναι δυνατό να έχουν επιφέρει αρκετές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον σύμφωνα με τον ESI 2007 αλλά και πολλές ζημιές σε κατασκευές, σύμφωνα με τις διάφορες κλίμακες μακροσεισμικών παρατηρήσεων. Βέβαια οι περιοχές στα

υπόψη σημεία είναι σχετικά αραιοκατοικημένες και ειδικά τα παλαιότερα χρόνια υποβαθμισμένες, οπότε ενδέχεται να μην έχει αναφερθεί ή καταγραφεί η καταστροφή και γενικότερα οι επιπτώσεις της σεισμικής δράσης στο σύνολο της.



Χάρτης 4-6: Μέγιστη παρατηρούμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA – Peak Ground Acceleration) για την περιοχή μελέτης (1900-2013)

4.2.5 Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση από Μείζον Ρήγμα

Με δεδομένο ότι τα μείζονα ενεργά ρήγματα, από τη φύση τους, αποτελούν την πιο πιθανή αιτία πρόκλησης σεισμού στην περιοχή μελέτης, ερευνήθηκε το μέγεθος της ενδεχόμενης εδαφικής δόνησης που θα προέκυπτε από σεισμό που θα εμφανιζόταν σε οποιοδήποτε σημείο του ίχνους των ρηγμάτων αυτών.

Η Θεώρηση που γίνεται είναι ότι για κάθε σημείο της περιοχής, η ελάχιστη απόσταση του σημείου αυτού από το κοντινότερο μείζον ρήγμα συνεπάγεται τη μέγιστη δυνατή εμφανιζόμενη εδαφική επιτάχυνση λόγω σεισμού από το ρήγμα αυτό. Εφαρμόζοντας το γεγονός αυτό σε περιβάλλον GIS παίρνουμε χάρτες που αποτυπώνουν τη μέγιστη δυνατή

εδαφική επιτάχυνση που μπορεί να παρουσιαστεί σε κάθε σημείο της περιοχής μελέτης, από σεισμό συγκεκριμένου μεγέθους σε οποιοδήποτε μείζον ρήγμα αυτής.

Για τον σκοπό αυτό εξετάστηκαν τρεις (3) περιπτώσεις εμφάνισης επιφανειακών σεισμών από το ίχνος των major ρηγμάτων, μεγέθους:

A) $M_w = 5,5$

B) $M_w = 6,0$

C) $M_w = 6,5$

βασιζόμενοι στη «δυναμική» (μέγιστο δυνατό μέγεθος σεισμού, M_{max}) των ρηγμάτων αυτών, που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3.

Για την εδαφική επιτάχυνση χρησιμοποιήθηκε διαφορετική προσέγγιση από την προηγούμενη υποπαράγραφο. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της εξίσωσης 2.17 (Margaris et. al, 2002), η οποία αφορά σε επιφανειακούς σεισμούς και λαμβάνει υπόψη τις τοπικές εδαφικές συνθήκες (βάσει της ταχύτητας V_{s30}).

Για το σκοπό αυτό αρχικά στο ArcMap,

- δημιουργήθηκαν τα Raster των αποστάσεων από τα Major Faults με Euclidean Distance (Spatial Analyst Tools) και

- χωρίστηκε το Raster της V_{s30} σε δύο μέρη βάσει των τιμών αυτής με Extract by Attributes (Spatial analyst Tools -> Extraction), που αντιπροσωπεύουν και τις κατηγορίες του εδάφους για την περιοχή συμφώνως NEHRP. Τα δύο αυτά μέρη είναι:

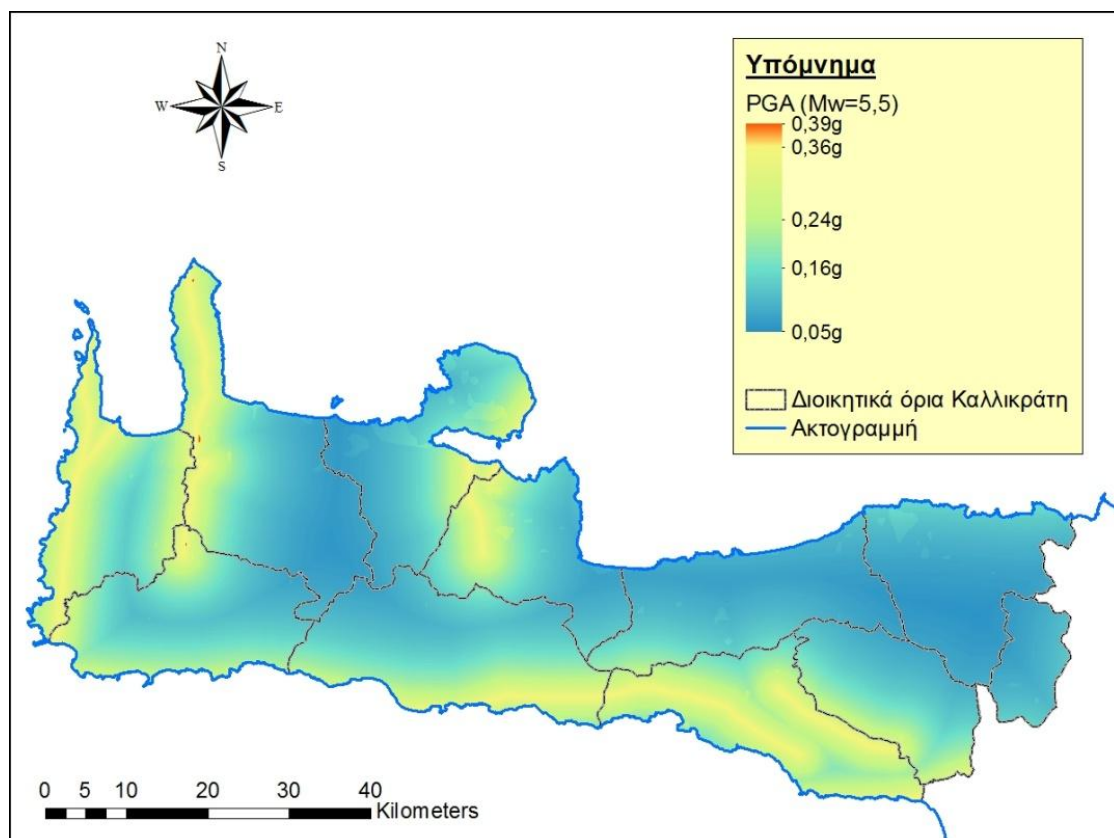
Για $180 < V_{s30} < 366$, όπου έχουμε κατηγορία εδάφους D

Για $366 \leq V_{s30} < 762$, όπου έχουμε κατηγορία εδάφους C

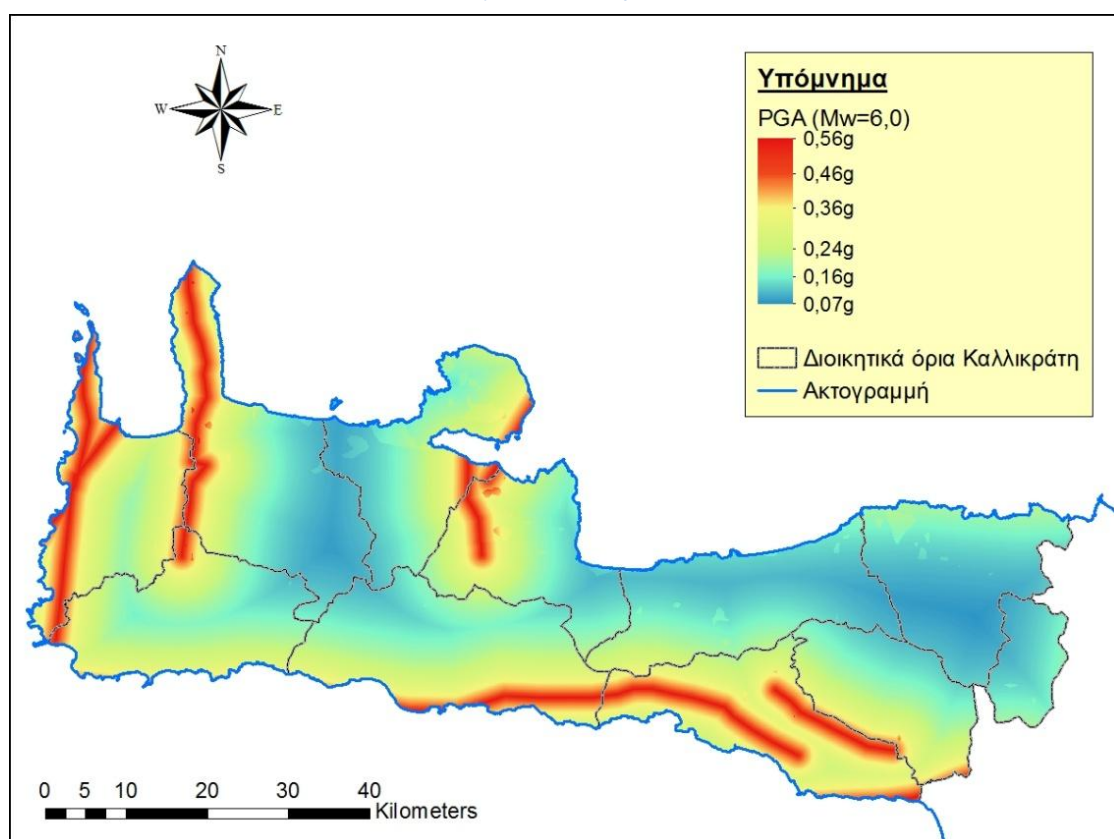
(Βάση των τιμών της V_{s30} , η περιοχή μελέτης δεν εμφανίζει εδάφη κατηγορίας A, B και E κατά NEHRP).

Στη συνέχεια το Raster των αποστάσεων χωρίστηκε σε δύο κομμάτια βάσει των κατηγοριών εδάφους με Extract by Mask (Spatial analyst Tools -> Extraction) και πάνω σε αυτά τα δύο νέα Raster με το Raster Calculator (Spatial analyst -> Map algebra) υπολογίστηκε η PGA της εξίσωσης 2.17 για το καθένα από τα σεισμικά μεγέθη που εξετάζονται. Κατόπιν, ενώθηκαν για την κάθε περίπτωση τα επιμέρους Raster με Mosaic to new Raster (Data Management -> Raster -> Raster Dataset) και στη συνέχεια η PGA μετατράπηκε σε μονάδες της επιτάχυνσης της βαρύτητας ($g = 9,82 \text{ m/s}^2$) πάλι με τη χρήση του Raster Calculator.

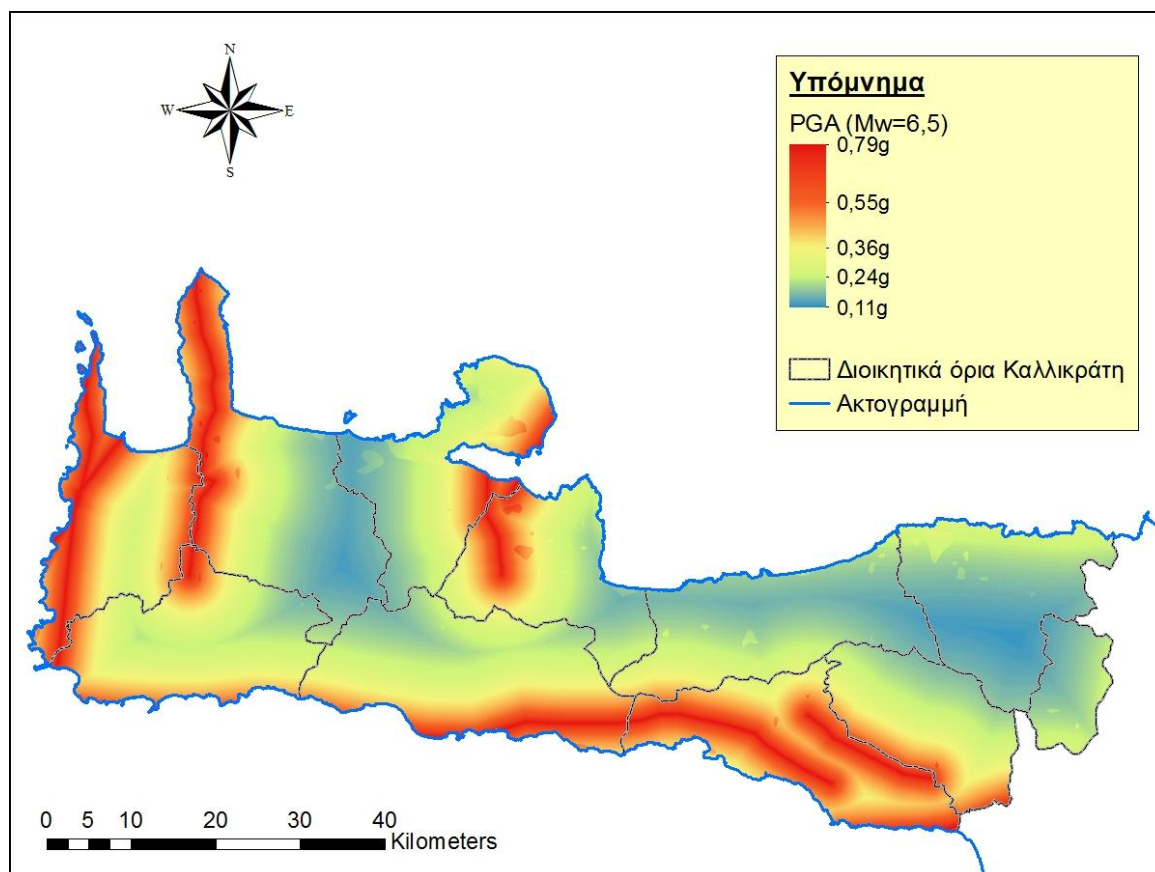
Από την παραπάνω διαδικασία και για την κάθε μία από τις υπο εξέταση περιπτώσεις προέκυψαν οι παρακάτω χάρτες:



Χάρτης 4-7: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους $M_w = 5,5$ από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.



Χάρτης 4-8: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους $M_w = 6,0$ από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.



Χάρτης 4-9: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) για σεισμό Μεγέθους $M_w = 6,5$ από οποιοδήποτε Μείζον ενεργό ρήγμα.

Κεφάλαιο 5. Ανάδειξη Περιοχών Κατάλληλων για Ανέγερση Έργων Μεγάλης Κλίμακας

Στο παρόν Κεφάλαιο επιχειρείται, για την περιοχή μελέτης, ο εντοπισμός και η ανάδειξη περιοχών, οι οποίες πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια και ως εκ τούτου είναι κατάλληλες για την ανέγερση και κατασκευή έργων μεγάλης κλίμακας κοινωνικού αλλά και εθνικού ενδιαφέροντος όπως είναι σχολεία, νοσοκομεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

Η λογική της επιλογής των «έργων μεγάλης κλίμακας» δεν αφορά τεχνικές παραμέτρους που προβλέπονται από το ισχύον θεσμικό πλαίσιο, αλλά το γεγονός ότι μία ραγδαία μείωση των επιπτώσεων που προκαλεί η σεισμική διέγερση έχει νόημα κυρίως για αυτά τα έργα τόσο λόγω του ότι απασχολούν μεγάλο αριθμό ατόμων στη φάση της λειτουργίας όσο και λόγω του μεγέθους τους, ώστε οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και οι ζημιές σε τεχνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο να είναι οι ελάχιστες δυνατές.

Η διαδικασία που ακολουθείται λοιπόν, δεν είναι απόρροια των υφιστάμενων θεσμικών ή τεχνικών κειμένων, αλλά αποτελεί μία επιστημονική προσέγγιση που αξιοποιεί τις γνώσεις και τα δεδομένα που διαθέτει η επιστημονική κοινότητα μέσω της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου των τελευταίων ετών. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάζονται και αποτυπώνονται σε περιβάλλον GIS με τη δημιουργία ενός δυναμικού συστήματος που στόχο έχει την αναγνώριση περιοχών χαμηλής επικινδυνότητας με την έννοια του μέγιστου δυνατού περιορισμού των συνεπειών από μία ενδεχόμενη εμφάνιση σεισμού μεγάλου μεγέθους.

Με δεδομένο ότι η περιοχή μελέτης στο σύνολο της ανήκει στην ίδια ζώνη επικινδυνότητας βάσει ΝΕΑΚ 2000 (Ζώνη 2) και με σκοπό την ολοκληρωμένη αλλά και ρεαλιστική αντιμετώπιση του προβλήματος, επιλέχθηκαν τα εξής κριτήρια:

- 1) Πυκνότητα πληθυσμού
- 2) Απόσταση από το οδικό δίκτυο
- 3) Απόσταση από ακτογραμμή
- 4) Υψόμετρο
- 5) Απόσταση από ενεργά ή πιθανώς ενεργά ρήγματα (Απόσταση από μείζονα ενεργά ρήγματα)
- 6) Οι εδαφικές συνθήκες (Vs30)
- 7) Απόσταση από περιοχές Natura
- 8) Μέγιστη παρατηρηθείσα εδαφική επιτάχυνση (PGA)

Η υλοποίηση του εγχειρήματος προϋποθέτει τη δημιουργία αρχείων Raster, πλέον των υπαρχόντων, για τις αποστάσεις (Euclidian Distance) από την ακτογραμμή, το οδικό δίκτυο και τις περιοχές Natura. Πρόσθετα δημιουργήθηκε αρχείο Raster για την πυκνότητα

πληθυσμού (βλ. Χάρτη Παραρτήματος Β), με τη μέθοδο – εργαλείο Kernel density (ως ενεργός απόσταση επιλέχθηκε τα 5km) αξιοποιώντας τα δεδομένα της απογραφής του 2011 για τον μόνιμο πληθυσμό.

Ως στόχος τέθηκε η εύρεση περιοχών κατάλληλων για ανέγερση έργου κοινωνικού ενδιαφέροντος (Νοσοκομείο, σχολείο, κτλ.) με γνώμονα τον περιορισμό των πιθανών συνεπειών ενός σεισμού στον άνθρωπο, τις κατασκευές και το περιβάλλον.

Αρχικά διαμορφώθηκε ένα βασικό σενάριο (Baseline), για το οποίο τέθηκαν συγκεκριμένα όρια σε όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια. Το βασικό σενάριο αντιπροσωπεύει τις βασικές συνθήκες, που σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα Κεφάλαια, προσδίδουν στο έργο την επιθυμητή στάθμη ασφαλείας και λειτουργικότητας. Έχοντας ως στόχο η παρούσα ανάλυση να μην είναι μονοδιάστατη δημιουργήθηκε ένα δεύτερο σενάριο (Conservative) για το οποίο ορισμένες συνθήκες του βασικού σεναρίου διαφοροποιήθηκαν με γνώμονα το υψηλότερο επίπεδο ασφαλείας και μόνο. Στην ουσία αποτελεί μία πιο συντηρητική προσέγγιση από το βασικό, για αυτό και του δόθηκε η συγκεκριμένη ονομασία.

Όλες οι παράμετροι και οι τιμές των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν επεξηγούνται λεπτομερώς στα επιμέρους υποκεφάλαια για τα δύο σενάρια. Σημειώνεται ότι η υλοποίηση των σεναρίων έγινε στο ArcMap με τη χρήση του Raster Calculator (Spatial Analyst Tools -> Map Algebra). Σε αυτό εισήχθησαν τα αρχεία Raster που δημιουργήθηκαν, ενώ μέσω κατάλληλων λογικών συναρτήσεων (AND) εκφράστηκαν οι αντίστοιχοι περιορισμοί του κάθε σεναρίου. Τα νέα αρχεία Raster που δημιουργήθηκαν και αποτυπώνουν τις επιθυμητές περιοχές μετατράπηκαν σε αρχεία Vector (Conversion Tools -> Raster to Polygon), ώστε να γίνει πιο εύκολη η παρουσίασή τους, αλλά και η αξιολόγησή τους συνδυαστικά με άλλα δεδομένα για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται σε χάρτες που παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Οι χάρτες αυτοί αποτυπώνουν τις αντίστοιχες περιοχές για τα δύο σενάρια σε σχέση με την κάλυψη Γης και τη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης.

5.1 Βασικό Σενάριο

Στο βασικό σενάριο (Baseline) τέθηκαν οι εξής περιορισμοί:

- Πυκνότητα πληθυσμού > 25 κατ./τετρ.km
- Απόσταση από οδικό δίκτυο <500m
- Απόσταση από ακτογραμμή >1609m
- 10m < Υψόμετρο < 1000m
- Απόσταση από ενεργά ή πιθανώς ενεργά ρήγματα > 5000m
- Vs30 > 180 m/s
- Απόσταση από περιοχές Natura > 100m
- PGA< 0,24g

Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτούς τους περιορισμούς είναι:

- I. Για την πυκνότητα πληθυσμού θεωρήθηκε ότι ένα έργο, κοινωνικού ενδιαφέροντος, θα πρέπει να καλύπτει και κάποια δημογραφικά χαρακτηριστικά. Η τιμή > 25 κατ./τετρ.κμ αντιστοιχεί στο ότι το έργο εξυπηρετεί τουλάχιστον 2000 κατοίκους σε ακτίνα 5 κμ.
- II. Η απόσταση από το οδικό δίκτυο ορίστηκε $< 500\text{m}$ γιατί θεωρήθηκε λογικό το έργο να βρίσκεται πλησίον του υπάρχοντος οδικού δικτύου.
- III. Η απόσταση από την ακτογραμμή τέθηκε με σκοπό την αποφυγή των συνεπειών από ενδεχόμενο tsunami. Για το συγκεκριμένο όριο, επιλέχθηκε η τιμή που δίνεται στην ιστοσελίδα του International Tsunami Information Center (ITIC, <http://itic.ioc-unesco.org>), όπου χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι περιοχές που έχουν το μεγαλύτερο ρίσκο να υποστούν τις περισσότερες ζημιές είναι αυτές εντός ενός μιλίου ($1 \text{ mile} = 1609 \text{ m}$) από την ακτή (<http://itic.ioc-unesco.org>). Βέβαια η απόσταση αυτή εκ των πραγμάτων εξυπηρετεί και την αντιμετώπιση των προβλημάτων λόγω περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την ανέγερση και λειτουργία έργου μεγάλης κλίμακας στις ακτές της Κρήτης
- IV. Για το υψόμετρο επιλέχθηκαν δύο περιορισμοί. Από τη μία το υψόμετρο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 10m λόγω των συνεπειών ενδεχόμενου tsunami. Η τιμή αυτή αναφέρεται στην ιστοσελίδα του ITIC. Από την άλλη θεωρήθηκε ρεαλιστικό το υψόμετρο μίας τέτοιας κατασκευής να μην ξεπερνάει το 1km .
- V. Ως βασικός περιορισμός τέθηκε η απόσταση κατασκευής από τα ενεργά ή πιθανώς ενεργά ρήγματα της περιοχής να είναι μεγαλύτερη από 5km ρήγματα. Ο περιορισμός αυτός έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εργασίες – μελέτες όπως των Δημοπούλου, Σπυρόπουλος και Ζεντέλης (2006), χωρίς όμως να υπάρχει επαρκής αιτιολογία για την επιλογή της απόστασης αυτής, δεδομένης και της απουσίας σχετικών διατάξεων περί οριοθέτησης κατασκευών από ρήγματα τόσο σε εθνικά ή ευρωπαϊκά θεσμικά κείμενα.
- VI. Για τις εδαφικές συνθήκες θεωρήθηκε ως βασική προϋπόθεση ο τύπος του εδάφους να είναι τουλάχιστον κατηγορίας C κατά EC-8.
- VII. Βάσει του Ν. 4014/2011, τα έργα εντός ή εγγύς των περιοχών Natura υπόκεινται σε ειδική περιβαλλοντική αδειοδότηση με σκοπό την προστασία της ακεραιότητας των περιοχών αυτών. Πέραν τούτου, ο λόγος που επιλέχθηκε το έργο να μην βρίσκεται κοντά σε περιοχές Natura (η απόσταση των 100m είναι ενδεικτική) είναι ότι οι επίδραση ενός ενδεχόμενου σεισμού στο έργο μπορεί να επιφέρει καταστροφικές συνέπειες στο εγγύς οικοσύστημα και φυσικό περιβάλλον (διαφυγή λυμάτων, χημικών κτλ.).
- VIII. Η τιμή $0,24g$ για την PGA προκύπτει από τις ζώνες επικινδυνότητας σύμφωνα με τον NEAK 2000 όπου αποτελεί το όριο της ζώνης 2. Ουσιαστικά στο βασικό σενάριο ζητούμενο είναι η ανάδειξη περιοχών που να έχουν «βιώσει» εδαφικές δονήσεις μικρότερες από $0,24g$ τα τελευταία 100 χρόνια, βάσει των στοιχείων που διαθέτουμε. Το γεγονός αυτό δεν συνιστά πανάκεια, αλλά είναι ενδεικτικό της ενδεχόμενης χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής.

5.2 Συντηρητικό Σενάριο

Στο **συντηρητικό (conservative)** σενάριο, η διαφοροποίηση του με το βασικό έγκειται στα εξής:

- Η ταχύτητα V_{s30} τέθηκε >360 m/s με σκοπό την επιλογή καλύτερων εδαφικών συνθηκών κατηγορίας τουλάχιστον B κατά EC-8.
- Το ελάχιστο υψόμετρο τέθηκε στα 30m, βάσει των μέγιστων υψών κυμάτων tsunami που έχουν παρατηρηθεί στην Ελλάδα και τις εγγύς παράκτιες περιοχές, όπως αναφέρονται από τους Paradopoulos και Chalkis (1984).
- Πέρα από την απόσταση των 5km από τα ενεργά ή πιθανώς ενεργά ρήγματα, προστίθεται η εξής παράμετρος: η απόσταση να είναι μεγαλύτερη των 8,9 km από τα μείζονα ενεργά ρήγματα της περιοχής. Η εν λόγω απόσταση επιφέρει μείωση της μακροσεισμικής έντασης από το επίκεντρο του σεισμού κατά μία μονάδα, σύμφωνα με την εξίσωση 2.15 των Παπαζάχως, Καρακαϊσής και Χατζηδημητρίου (2005) για τον Ελλαδικό χώρο. Στον πίνακα 5-1 αναφέρονται χαρακτηριστικά οι τιμές των αποστάσεων και η αντίστοιχη μείωση της μακροσεισμικής έντασης με βάση την παραπάνω εξίσωση.

Πίνακας 5-1: Αποστάσεις και αντίστοιχη μείωση της μακροσεισμικής έντασης στην απόσταση αυτή από το επίκεντρο του σεισμού

Απόσταση σε km	Μείωση της Έντασης κατά (Βαθμοί της κλίμακας έντασης)
8,9	1
26,2	2
55	3

Αξίζει να αναφερθεί ότι η μείωση κατά μία μονάδα της κλίμακας Έντασης σημαίνει και σημαντική μείωση στην εδαφική δόνηση που θα υποστεί η όποια κατασκευή. Στον Πίνακα 5-2 φαίνονται οι τιμές Έντασης και οι αντίστοιχες PGA βάσει της εξίσωσης 2.16 των Θεοδουλίδη και Παπαζάχου (1992).

Πίνακας 5-2: Συσχέτιση Έντασης και μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης

Μακροσεισμική Ένταση (I)	PGA (σε μονάδες $g=9,82m/s^2$)
10	0,90g
9	0,48g
8	0,26g
7	0,14g
6	0,07g
5	0,04g
4	0,02g
3	0,01g

- Η μέγιστη παρατηρηθείσα PGA τέθηκε $< 0,16g$. Η τιμή αυτή αποτελεί το όριο της ζώνης 1 κατά NEAK 2000 και ο λόγος που επιλέχθηκε είναι γιατί οι περιοχές που θα αναδειχθούν θα πρέπει να έχουν υποστεί (μέσα στη χρονική περίοδο μελέτης) όσο το δυνατόν πιο μικρές, σε μέγεθος, εδαφικές επιταχύνσεις και άρα να χαρακτηρίζονται ως περιοχές με χαμηλή σεισμική επικινδυνότητα.

5.3 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας, που φαίνονται στους χάρτες του Παραρτήματος Α, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν σε συνδυασμό με την κάλυψη Γης (πρόγραμμα Corine 2000) και τη σεισμική δραστηριότητα (όπως προκύπτει από την ανάλυση του προηγούμενου Κεφαλαίου) της περιοχής μελέτης. Πέρα από το γεγονός ότι η παρουσίαση των περιοχών - αποτελεσμάτων κατά αυτόν τον τρόπο είναι πιο πρακτική και κατανοητή, η επιλογή αυτή αποσκοπεί πρόσθετα και στην πληρότητα της όλης διαδικασίας δια του ελέγχου των αποτελεσμάτων με τα εν λόγω χαρακτηριστικά.

Συγκεκριμένα, για το βασικό σενάριο βλέπουμε ότι βρέθηκαν αρκετές περιοχές (συνολικά 14 διακριτές), οι οποίες κυρίως συγκεντρώνονται στο βόρειο και κεντρικό άξονα του νησιού, ενώ στο συντηρητικό σενάριο οι περιοχές (συνολικά 6 διακριτές) εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης.

Αξιοποιώντας μία σειρά εργαλείων στο ArcMap (Calculate Geometry, Union, Dissolve, Clip, Extraction) πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των περιοχών, που προέκυψαν από τα δύο σενάρια, με τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (Π. Ενότητες, Δήμοι Καλλικράτη, Κάλυψη Γης, σεισμική δραστηριότητα). Πρόεκυψαν επιπλέον σημαντικά στατιστικά στοιχεία τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Η κατανομή των περιοχών που προκύπτουν από την ανάλυση των σεναρίων και οι αντίστοιχες εκτάσεις που καλύπτουν (εμβαδό) παρατίθενται στον πίνακα 5-3. Οι εκτάσεις αυτές παρατίθενται τόσο επί του συνόλου της περιοχής μελέτης όσο και σε επίπεδο περιφερειακών ενοτήτων (Χανίων Ρεθύμνου) αλλά και με το κριτήριο της διοικητικής τους διαίρεσης (Καλλικρατικοί δήμοι)

Αξίζει να αναφερθεί ότι σε σχέση με το συνολικό εμβαδό της περιοχής μελέτης (3872,98 τετρ. km), το βασικό σενάριο καλύπτει μία περιοχή συνολικής έκτασης 235,77 τετρ. km, που σημαίνει ότι αποτελεί μόλις το 6% αυτής, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το συντηρητικό σενάριο (έκταση 110,63 τετρ. km) προσεγγίζει το 2,8%.

Ενδιαφέρον ακόμα παρουσιάζει το γεγονός ότι η Π.Ε. Χανίων κατέχει το μεγαλύτερο μέρος από τις περιοχές του Baseline σεναρίου, ενώ αντίθετα στο συντηρητικό σενάριο το μεγαλύτερο ποσοστό των περιοχών ανήκει στην Π.Ε. Ρεθύμνου. Επίσης, ο μόνος δήμος που δεν περιλαμβάνει περιοχές σε κανένα από τα δύο σενάρια είναι ο Δήμος Σφακίων, ενώ και στα δύο σενάρια ο Δήμος με τη μεγαλύτερη έκταση «κατάλληλων» περιοχών είναι ο Δήμος Ρεθύμνης.

Πίνακας 5-3: Η κατανομή της έκτασης για τα δύο σενάρια ανά περιοχή ενδιαφέροντος

Περιοχή	Baseline (km ²)	Conservative (km ²)
Μελέτης	235,77	110,63
Π.Ε. Χανίων	130,52	41,22
Π.Ε. Ρεθύμνου	105,25	69,41
Δήμος Αγ. Βασιλείου	0,39	-
Δήμος Αμαρίου	4,5	-
Δήμος Ανωγείων	0,25	0,25
Δήμος Αποκορώνου	28,68	1,40
Δήμος Καντάνου - Σέλινου	1,57	-
Δήμος Κισσάμου	6,74	-
Δήμος Μυλοποτάμου	12,92	11,88
Δήμος Πλατανιά	69,81	39,81
Δήμος Ρεθύμνης	87,16	57,27
Δήμος Χανίων	23,7	0,01

Αναφορικά με την Κάλυψη Γης του προγράμματος Corine, στα Γραφήματα 5-1 και 5-2 φαίνονται χαρακτηριστικά οι κατηγορίες Γης, που περιλαμβάνουν συνολικά οι περιοχές των δύο σεναρίων με τα αντίστοιχα ποσοστά τους.

Baseline Σενάριο: Κάλυψη Γης **(Ποσοστά %)**



Γράφημα 5-1: Κατηγορίες και ποσοστά για την κάλυψη Γης του βασικού σεναρίου

Conservative Σενάριο: Κάλυψη Γης **(Ποσοστά %)**



Γράφημα 5-2: Κατηγορίες και ποσοστά για την κάλυψη Γης του συντηρητικού σεναρίου

Όπως γίνεται αντιληπτό στις περιοχές του βασικού αλλά και του συντηρητικού σεναρίου κυριαρχούν οι γεωργικές εκτάσεις, τα δάση και οι ημιφυσικές περιοχές, γεγονός σύμφωνο με

την γεωμορφολογία της Κρήτης και σε καμία περίπτωση αποτρεπτικός παράγοντας για την ανέγερση έργου μεγάλης κλίμακας.

Πέραν των ανωτέρω, η διαδικασία της ανάδειξης περιοχών οδήγησε και σε αποτελέσματα που όπως φαίνεται από τους αντίστοιχους χάρτες (5-2 και 5-4), αφορούν τοποθεσίες σχετικά απομακρυσμένες από τις «εστίες» μεγάλης σεισμικής δραστηριότητας. Αυτό φαίνεται και από τις σχετικές τιμές πυκνότητας σεισμικής δραστηριότητας των δύο σεναρίων που παρατίθενται στον πίνακα 5-4. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές σε σχέση με αυτές της διευρυμένης περιοχής μελέτης, όπου χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι η μέγιστη πυκνότητα σεισμικής εμφάνισης, στην περίπτωση ειδικά του συντηρητικού σεναρίου, είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή για την διευρυμένη περιοχή.

Πίνακας 5-4: Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή της πυκνότητας σεισμικής δραστηριότητας ανά περιοχή ενδιαφέροντος

	Max	Min	Mean
Διευρυμένη περιοχή μελέτης	0,263	0	0,036
Baseline	0,055	0,001	0,011
Conservative	0,021	0,001	0,009

Το παραπάνω στοιχείο πέραν των άλλων καταδεικνύει και την εγκυρότητα και αξιοπιστία της όλης διαδικασίας, η οποία οδήγησε σε περιοχές με καταφανή χαμηλή συγκέντρωση σεισμικών γεγονότων. Το δεδομένο αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τέθηκε το κριτήριο για ιστορικά χαμηλές εδαφικές δονήσεις (Max PGA), προσδίδει στις περιοχές αυτές την προοπτική μέγιστης ασφάλειας από συνέπειες σεισμικών γεγονότων που πιθανόν θα λάβουν χώρα στην περιοχή μελέτης.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αντιληπτό ότι η συνδυαστική χρήση προγραμμάτων ΓΣΠ, που αποτελούν το κυρίαρχο «εργαλείο» στη χωρική ανάλυση, στη μελέτη ενός διαχρονικά ενδιαφέροντος θέματος, όπως είναι σεισμική δραστηριότητα και οι σχετικές με αυτή δραστηριότητες για την προστασία του ανθρώπου και των κατασκευών, οδηγεί σε πολύ ενδιαφέροντα και σημαντικά συμπεράσματα.

Η Κρήτη και η εγγύς σε αυτή θαλάσσια περιοχή αποτελεί κατ' εξοχήν μία περιοχή υψηλής σεισμικής δραστηριότητας. Ως τέτοια, χρήζει από την πολιτεία τη λήψη μέτρων αντισεισμικής προστασίας, τα οποία και αντικατοπτρίζονται κυρίως στο ΝΕΑΚ 2000. Όμως το ισχύον αυτό θεσμικό πλαίσιο αντιμετωπίζει όλη τη Κρήτη, σε επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας, ως μία ενιαία περιοχή (Ζώνη 2 στο ΝΕΑΚ). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό και με άλλα αμφιλεγόμενα στοιχεία του κανονισμού (π.χ. η απόσταση ασφαλείας από το ίχνος ενεργών ρηγμάτων), αλλά και η πάγια πεποίθηση για τη διαφορετικότητα μεταξύ των περιοχών οδήγησε στη μελέτη των πραγματικών σεισμολογικών δεδομένων για την περιοχή της Δυτικής Κρήτης.

Μέσα από την ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας και των σχετικών στοιχείων για την περιοχή μελέτης φαίνεται πως υπάρχουν αρκετές διαφορές στη «σεισμική συμπεριφορά» μεταξύ των περιοχών της, τα τελευταία 100 χρόνια. Συγκεκριμένα, εντοπίζονται περιοχές με πολύ υψηλή δραστηριότητα (Νότια και Δυτικά) αλλά και περιοχές με αρκετά χαμηλή (Βόρεια και κεντρικά). Ταυτόχρονα, απεικονίζεται η γεωγραφική κατανομή του εστιακού βάθους των παρατηρηθέντων σεισμικών γεγονότων, ενώ αναδεικνύονται οι οικισμοί (και πληθυσμός) που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από ρήγματα. Επιπλέον, υπολογίζονται οι μέγιστες εντάσεις και εδαφικές επιταχύνσεις που έχουν εμφανιστεί στην περιοχή, αλλά και η μέγιστη εδαφική δόνηση σε περιπτώσεις ισχυρού σεισμού από ίχνος ενεργών ρηγμάτων. Ουσιαστικά δίνεται ένας γεωγραφικός προσανατολισμός στην έννοια της σεισμικής δραστηριότητας και επικινδυνότητας. Η αξιολόγηση των εν λόγω στοιχείων συνθέτει μία πλήρη εικόνα με σκοπό την ολοκληρωμένη ανάλυση του σεισμικού φαινομένου και των συσχετιζόμενων γνωρισμάτων του. Η δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών βοηθάει στην οπτικοποίηση της πληροφορίας και την εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων είτε για την πληροφόρηση του κοινού, είτε για την αξιοποίηση αυτών σε αντίστοιχες μελέτες. Επιπρόσθετα, η χωρική ανάλυση που επιχειρείται, προσφέρει ένα διαφορετικό τρόπο διαχείρισης της σεισμολογικής πληροφορίας και μπορεί να συμβάλλει στην πληρέστερη κατανόηση του σεισμικού φαινομένου, αναδεικνύοντας ενδεχομένως στο μέλλον και «κρυφές» πτυχές του.

Τα δεδομένα λοιπόν, μέσα στο χρονικό διάστημα ελέγχου (100 έτη - αξιόπιστο δείγμα), δείχνουν ότι η Δυτ. Κρήτη δεν μπορεί να θεωρείται ως ενιαία, αναφορικά με τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Η χρήση επιπλέον πληροφοριών για την αποτελεσματική σχεδίαση και κατασκευή έργων στο πλαίσιο της αντισεισμικής προστασίας θεωρείται τουλάχιστον

αναγκαία. Αυτό ακριβώς επιχειρεί το δεύτερο σκέλος της παρούσας εργασίας με τη ανάδειξη των «κατάλληλων» περιοχών μέσα από τη παράθεση μίας σειράς κριτηρίων διαμορφωμένα σε δύο σενάρια.

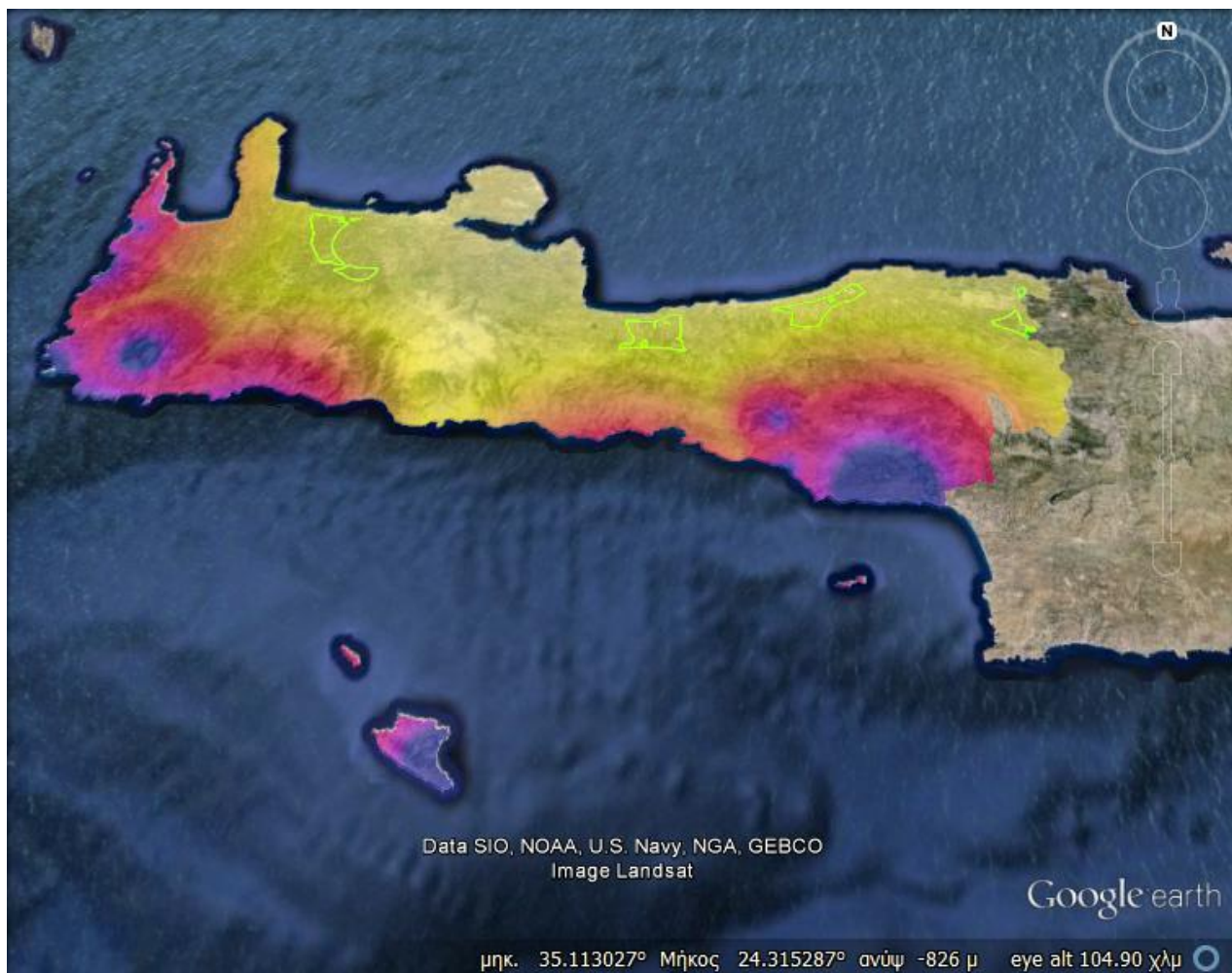
Η εντοπισμός των περιοχών επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα, θέτοντας τα κατάλληλα κριτήρια και τις προϋποθέσεις, που αναλύονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Η διαβάθμιση των αποτελεσμάτων σε δύο σενάρια αυξανόμενης αυστηρότητας εξυπηρετεί στην ευελιξία της διαδικασίας και στην πληρέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της. Μέσα από τους χάρτες και τα σχετικά στατιστικά στοιχεία, που παρατίθενται, φανερώνονται οι δυνατότητες της διαδικασίας, η οποία οδηγεί σε περιοχές με προοπτική αφαλούς οικιστικής ανάπτυξης. Πέραν τούτου, η διαδικασία που ακολουθείται με το δυναμικό της χαρακτηρίζει και την ικανότητα της να παρέχει «χειροπιαστά» αποτελέσματα, αποδεικνύει εμπράκτως το εύρος των δυνατοτήτων των ΓΣΠ στην χωρική ανάλυση αλλά και τον πρακτικό και ουσιαστικό χαρακτήρα τους.

Κατά συνέπεια τα αποτελέσματα της προσπάθειας αυτής μπορούν να αξιοποιηθούν σε αντίστοιχες μελέτες στο πλαίσιο του αντισεισμικού σχεδιασμού των περιοχών. Μια μελέτη χωροθέτησης ή χωροταξικού σχεδιασμού περιοχών κατάλληλων για κάποιες μορφές οικιστική ανάπτυξη με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων που απορρέουν από τη σεισμική δραστηριότητα, δύναται να συμπεριλαμβάνει βασικά κριτήρια αναζήτησης, τα οποία θα προσαρμόζονται στις ανάγκες του κάθε σχεδιαστικού προγράμματος (π.χ. σχολείο, εκκλησία, νοσοκομείο, χώροι αθλητισμού, διοικητικά κτίρια κτλ.). Με οδηγό τα κριτήρια αυτά εντοπίζονται οι υποψήφιες περιοχές οπότε και επιλέγεται η κατάλληλη εισάγοντας ενδεχομένως πρόσθετα κριτήρια αναζήτησης ή οικονομικές και άλλες δεσμεύσεις που μπορεί να υπεισέρχονται στον προγραμματισμό τέτοιων έργων.

Πέραν των ανωτέρω, τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν στο παραπάνω Κεφάλαιο υποδεικνύουν τη δυνατότητα υλοποίησης ενός συστήματος που θα βασίζεται στην αρχή της πρόληψης και στην ανάγκη αντιμετώπισης των σημαντικών επιπτώσεων του σεισμικού φαινομένου, μέσω της βέλτιστης διαχείρισης των γεωσεισμολογικών, πληθυσμιακών και άλλων χαρακτηριστικών μίας περιοχής.

Η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος βοηθάει στην οπτικοποίηση της καταλληλότητας των περιοχών, με βάση τα συγκεκριμένα κριτήρια που εισάγουμε στο σύστημα. Τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν σε χάρτες με μορφή JPG, TIFF κτλ., αλλά και διαδραστικά μέσω του διαδικτύου «πάνω» σε δημοφιλείς γεωχωρικές πλατφόρμες όπως είναι το Google earth με τη μορφή kmz ή kml. Βέβαια η σωστή χρήση των χαρτών αυτών απαιτεί τη συμβολή ειδικών επιστημόνων που θα ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα και θα ποσοτικοποιήσουν την επικινδυνότητα των περιοχών αυτών. Η δυνατότητα εισαγωγής πολλαπλών κριτηρίων ενισχύει την δυναμική του συστήματος και δημιουργεί προοπτική μακροχρόνιας παρακολούθησης της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής. Αυτό συμβάλλει στη διαχρονική διαχείριση ενός φαινομένου, όπως είναι η σεισμικότητα, που αποτελεί σημαντική πηγή προβλημάτων για τη χώρα μας.

Όσον αφορά τη μορφή πληροφορίας σε αρχεία kml, kmz, η δημιουργία τους και η χρήση τους δίνει νέα διάσταση στην παραπάνω διαδικασία. Η προοπτική αξιοποίησης τους μελλοντικά φαίνεται να συμβάλει σημαντικά στην πληρέστερη εποπτική ανάλυση των αποτελεσμάτων, αλλά και στη διαδραστικότητα της πληροφορίας, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα των πλατφόρμων - προγραμμάτων αυτών και κάνοντας την πληροφορία εύκολα διαθέσιμη σε πολλούς χρήστες (χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιου ειδικού προγράμματος ΓΣΠ). Προς τούτο, παρουσιάζεται στην εικόνα 6-1 ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπου απεικονίζεται το Συντηρητικό σενάριο (Conservative) και το Raster αρχείο της μέγιστης παρατηρηθείσας PGA (αφού μετατράπηκαν σε μορφή .kmz) για την περιοχή μελέτης πάνω στον αντίστοιχο χάρτη (interface) του GoogleEarth. Βέβαια, παρόλο που μετατράπηκαν αρκετά αρχεία σε kmz, δεν κρίθηκε σκόπιμο για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας να παρουσιαστούν όλα τα δεδομένα σε αυτή τη μορφή.



Εικόνα 6-1: Conservative σενάριο (έντονη πράσινη γραμμή) και μέγιστη ιστορικά PGA στο GoogleEarth

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι η σεισμική δραστηριότητα και κατά συνέπεια το μέγεθος της σεισμικής επικινδυνότητας δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια. Μπορεί όμως η

έγκαιρη προειδοποίηση και ο σωστός σχεδιασμός να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες. Με την κατάλληλη **πληροφορία** και τη σωστή χρήση της, μπορούμε δυνητικά, να πετύχουμε ένα βέλτιστο επίπεδο διαχείρισης των παραμέτρων που σχετίζονται με τη σεισμική επικινδυνότητα, εξισορροπώντας σε μεγάλο βαθμό το κόστος αντιμετώπισης της με τις πιθανές απώλειες. Με γνώμονα τη δημιουργία της κατάλληλης πληροφορίας προς τη βέλτιστη διαχείριση της, διαμορφώθηκαν και οι δύο κύριοι άξονες της εργασίας αυτής.

Η χρήση των ΓΣΠ διευκολύνει σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση, προσφέροντας δυνατότητες οργάνωσης της σχετικής πληροφορίας, γεωγραφικής ανάλυσης και εποπτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Η εστίαση σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή παρέχει λεπτομερέστερη πληροφορία και αποτελέσματα σε μεγαλύτερη κλίμακα.

6.2 Προτάσεις

Έχει γίνει κατανοητό ότι ο αντισεισμικός σχεδιασμός και η πρόληψη αποτελούν πλέον αναγκαιότητα για τον ελληνικό χώρο και συνεπώς η δημιουργία γεωσεισμολογικών ΓΣΠ και παραγώγων χαρτών τους, συνιστά βασική υποδομή για τη υποστήριξη των μέτρων και των αποφάσεων του αντισεισμικού σχεδιασμού μιας περιοχής. Η πολυθεματική πληροφορία που περιλαμβάνει ένα τέτοιο σύστημα και η αναγκαιότητα ενός πολύπλοκου συσχετισμού των στοιχείων που περιέχει, με στόχο την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για το σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό, προϋποθέτει την οργάνωση των σχετικών δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνολογίας ΓΣΠ, που παρουσιάζει εξαιρετικά πλεονεκτήματα, όχι μόνο σε ότι αφορά τη σύνταξη και την παρουσίαση ενός χάρτη μιας απλής γεωγραφικής κατανομής πληροφοριών, αλλά κυρίως στη συγκριτική επεξεργασία και στο συνδυασμό ενός πλήθους θεματικών δεδομένων και επί μέρους χαρτών, ώστε με την κατάλληλη επικάλυψη και την ταυτόχρονη δημιουργία σχεσιακών βάσεων δεδομένων να δημιουργούνται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη λειτουργία ενός συστήματος εξαγωγής γενικότερων συμπερασμάτων και λήψης αποφάσεων.

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει μέρος μίας μεγαλύτερης και πιο ολοκληρωμένης προσπάθειας που θα αφορά όλη την Περιφέρεια Κρήτης, αλλά και κατ' επέκταση περισσότερες Περιφέρειες της Ελλάδας. Η υλοποίηση ενός αντίστοιχου συστήματος, δεδομένου του χαρακτήρα της πληροφορίας που είναι ανοικτού τύπου (open source), δίνει τη δυνατότητα στον κάθε ενδιαφερόμενο – χρήστη, να το προσαρμόσει ανάλογα με τις ανάγκες του και την περιοχή ενδιαφέροντος του. Προσθέτοντας και εμπλουτίζοντας τη βάση δεδομένων του συστήματος με επιπλέον πληροφορία επιτυγχάνεται η διαχρονική παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας με σκοπό τη διαρκή υποστήριξη του σχεδιασμού πρόληψης απέναντι στο σεισμικό κίνδυνο, όπως θα πρέπει να υλοποιείται στο πλαίσιο της αντισεισμικής πολιτικής και θωράκισης των περιοχών.

Από την άλλη πλευρά ο τομέας της σεισμολογίας είναι ένα πεδίο συνεχούς έρευνας το οποίο με την εξέλιξη των τεχνολογικών μεθόδων, εξελίσσεται και αυτό. Είναι δυνατό στο

μέλλον να υπάρξουν αλλαγές, είτε στον τρόπο υπολογισμού των χαρακτηριστικών του σεισμού (μέγεθος, ένταση, αντίστοιχες εξισώσεις), είτε στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε το σεισμικό φαινόμενο, με αποτέλεσμα να υπάρξουν νέα δεδομένα (πιθανώς και γεωχωρικής φύσεως) που θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας και κατά συνέπεια της σεισμικής επικινδυνότητας. Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει οδηγό για τις μελλοντικές προκλήσεις όπως και τα προγράμματα ΓΣΠ φαίνεται πλέον πως είναι υπέρ του δέοντος ικανά να ανταποκριθούν στις εν γένει απαιτήσεις.

Πέραν τούτου, αξίζει να σημειωθεί και ο ιδιαίτερος ρόλος που διαδραματίζει το ευρύτερο χωροταξικό, πολεοδομικό και οικιστικό πλαίσιο σε αντίστοιχες προσπάθειες. Ο χωροταξικός σχεδιασμός αποτελεί ένα από τα βασικά εργαλεία της πολιτείας για την ορθολογική και αειφόρο ανάπτυξη εκφράζοντας τις σύγχρονες επιστημονικές και κοινωνικές επιταγές για την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Υπό το πρίσμα αυτό, το χωροταξικό πλαίσιο είναι ένα πεδίο έρευνας στο οποίο θα μπορούσαν να συμβάλλουν αντίστοιχες με την παρούσα εργασίες, αλλά και ένα θεσμικό κείμενο, το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε παρόμοιο εγχείρημα.

Πιο συγκεκριμένα, και σε συνέχεια της παρούσας εργασίας θα μπορούσε πραγματοποιηθεί η ενσωμάτωση των διατάξεων του «Περιφερειακού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης Περιφέρειας Κρήτης» κατά την αναζήτηση και ανάδειξη των περιοχών για την ανέγερση έργων μεγάλης κλίμακας. Αυτό βέβαια, δύναται να συνδυασθεί με το γενικότερο καθεστώς που προβλέπεται στο Γενικό Χωροταξικό και στα επιμέρους Ειδικά Χωροταξικά πλαίσια ανάλογα και τη φύση του υπό μελέτη έργου.

Από την άλλη πλευρά, και δεδομένου ότι κατά περιόδους τα παραπάνω Χωροταξικά πλαίσια υπόκεινται σε αναθεώρηση, θα μπορούσαν, κατά περίπτωση, αντίστοιχες μελέτες, είτε να ληφθούν υπόψη κατά τη διαμόρφωση των διατάξεων αυτών, είτε να συμβάλλουν σε επίπεδο κατάρτισης νέων κανονισμών και προδιαγραφών για περαιτέρω μελλοντική οικιστική ανάπτυξη.

Είναι πλέον φανερό ότι η διαχείριση και αξιοποίηση της ψηφιακής πληροφορίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (δημοσίου ή/και ιδιωτικού τομέα) είναι επιτακτική για την οργάνωση δράσεων με σκοπό την προστασία του πολίτη και του περιβάλλοντος. Η χρήση των δυνατοτήτων και υπηρεσιών των ΓΣΠ και γενικότερα της πληροφορικής, βελτιστοποιεί την επικοινωνία, επιταχύνει τη διάδοση της πληροφορίας και δημιουργεί τις απαραίτητες υποδομές για αποδοτική διαχείριση της υφιστάμενης και δημιουργούμενης πληροφορίας μεταξύ των χρηστών της. Παράλληλα και πιο σημαντικά επιτυγχάνεται η αναβάθμιση του επιπέδου παροχής υπηρεσιών στους πολίτες και σε κάθε χρήστη της πληροφορίας.

Βιβλιογραφία

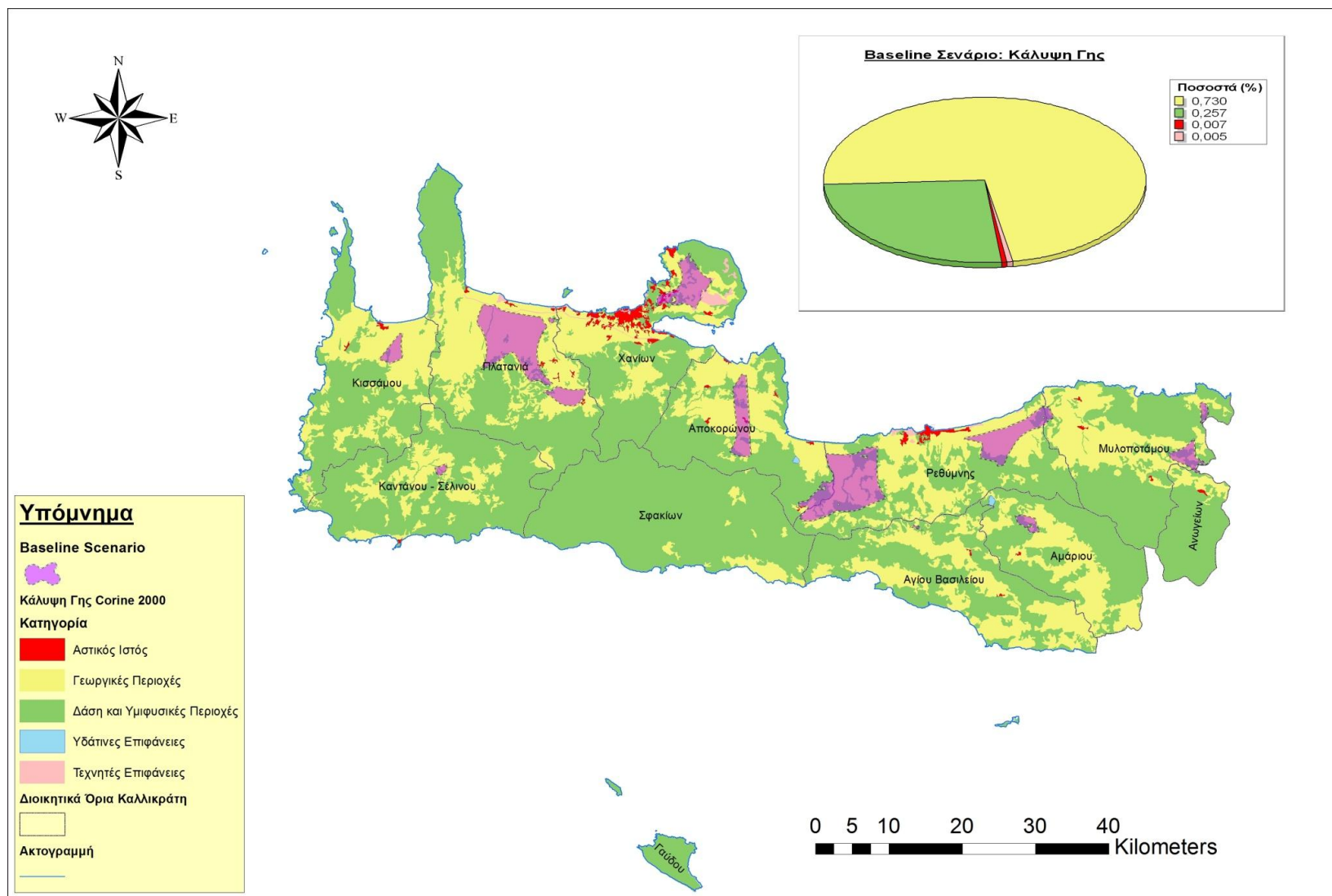
- Aki, K. (1966). Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 44, pp. 23-88.
- Allen, T. I., and Wald, D. J. (2007). Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site Conditions (Vs30) and Amplification around the Globe, U.S. Geological Survey, Open File Report 2007-1357, pp. 69.
- Allen, T. I. and Wald D. J. (2009). On the Use of High-Resolution Topographic Data as a Proxy for Seismic Site Conditions (VS30), Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 99, No. 2A, pp. 935-943.
- Berzhinskii, Yu.A, Ordynskaya, A.P., Gladkov, A.S. Lunina, O.V., Berzhinskaya, L.P., Radziminovich, N.A., Radziminovich, Ya.B., Imayev, V.S., Chipizubov, A.V. and Smekalin O. P. (2010). Application of the ESI2007 Scale for Estimating the Intensity of the Kultuk Earthquake, August 27, 2008 (South Baikal), ISSN 07479239, Seismic Instruments, 46(4), pp. 307–324.
- Bolt, B.A. (1999). Earthquakes - Fourth Edition. New York. W.H. Freeman and Company, Appendix C, pp.152.
- Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B., Garcia Moreno D., Nemser E. S., Petricca P., Sboras S. P., Besana-Ostman G. M., Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti M. M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. Available at: <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF, [Accessed 18 January 2014].
- Γεωδυναμικό Ινστιτούτο – Institute of Geodynamics (2012). Seismicity: Moment Tensors, Catalogues and Database, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – National Observatory of Athens – NOA, Available at: <http://bbnet.gein.noa.gr/HL/>, [Accessed 18 January 2014].
- Δήμας, Δ. (2010). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Εφαρμογές τους, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιά.
- Δημοπούλου Ε., Σπυρόπουλος Χ., Ζεντέλης Π. (2006). «Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης σεισμικής επικινδυνότητας», Πρακτικά Δ' Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών «Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση: ο ρόλος των Γ.Σ.Π.», Αθήνα, 4 & 5 Μαΐου, σελ. 16.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο –ΕΜΠ (2010). Έρευνα και μελέτη για την αναθεώρηση του Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) Περιφέρειας

- Κρήτης. Αθήνα, ΕΜΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Available at: http://uest.ntua.gr/-pesdak/?page_id=15, [Accessed 20 Mar 2014].
- Ελληνική Στατιστική Αρχή – ΕΛΣΤΑΤ (2014). Πίνακας αποτελεσμάτων ΜΟΝΙΜΟΥ πληθυσμού – Απογραφής 2011. Available at: <http://www.statistics.gr/portal/page-portal/ESYE/PAGE-census2011>, [Accessed 15 March 2014].
- European Committee for Standardization – CEN (2004). EN 1998-1 :2004: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, ICS 91.120.25.
- European Commission, Grünthal, G. (ed.) (1998). European Macroseismic Scale EMS-98, Luxembourg, Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, vol. 15.
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu, H. Crowley, F. Cotton, G. Grünthal, R. Pinho, G. Valensise, S. Akkar, R. Arvidsson, R. Basili, T. Cameelbeeck, A. Campos-Costa, J. Douglas, M. B. Demircioglu, M. Erdik, J. Fonseca, B. Glavatovic, C. Lindholm, K. Makropoulos, F. Meletti, R. Musson, K. Pitilakis, K. Sesetyan, D. Stromeyer, M. Stucchi, A. Rovida (2013). Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE, [Accessed 18 January 2014].
- Grünthal, G., Wahlström, R. (2012). The European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC) for the last millennium, *Journal of Seismology*, 16 (3), pp. 535-570.
- Grünthal, G., Wahlström, R., Stromeyer, D. (2013), The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) for the time period 1900-2006 and its comparison to EMEC. *Journal of Seismology*, 17(4), pp.1339-1344.
- Grünthal, G., Wahlström, R. (2012): The European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC) for the last millennium, *Journal of Seismology*, 16(3), pp. 535-57.
- Institute of Environmental Protection and Research (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2008). Synoptic Table of ESI 2007 Intensity Degrees. Available at: <http://www.isprambiente.gov.it/files/progetti/inqua/esi-2007-synoptic-table-of-intensity-degrees.pdf>, [Accessed 18 March 2014].
- Καπαγερίδης, Ι. (2006). Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Σημειώσεις θεωρίας του τμήματος Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
- Makropoulos, K., Kaviris G. and Kouskouna V. (2012). An updated and extended earthquake catalogue for Greece and adjacent areas since 1900, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, pp. 1425–1430.

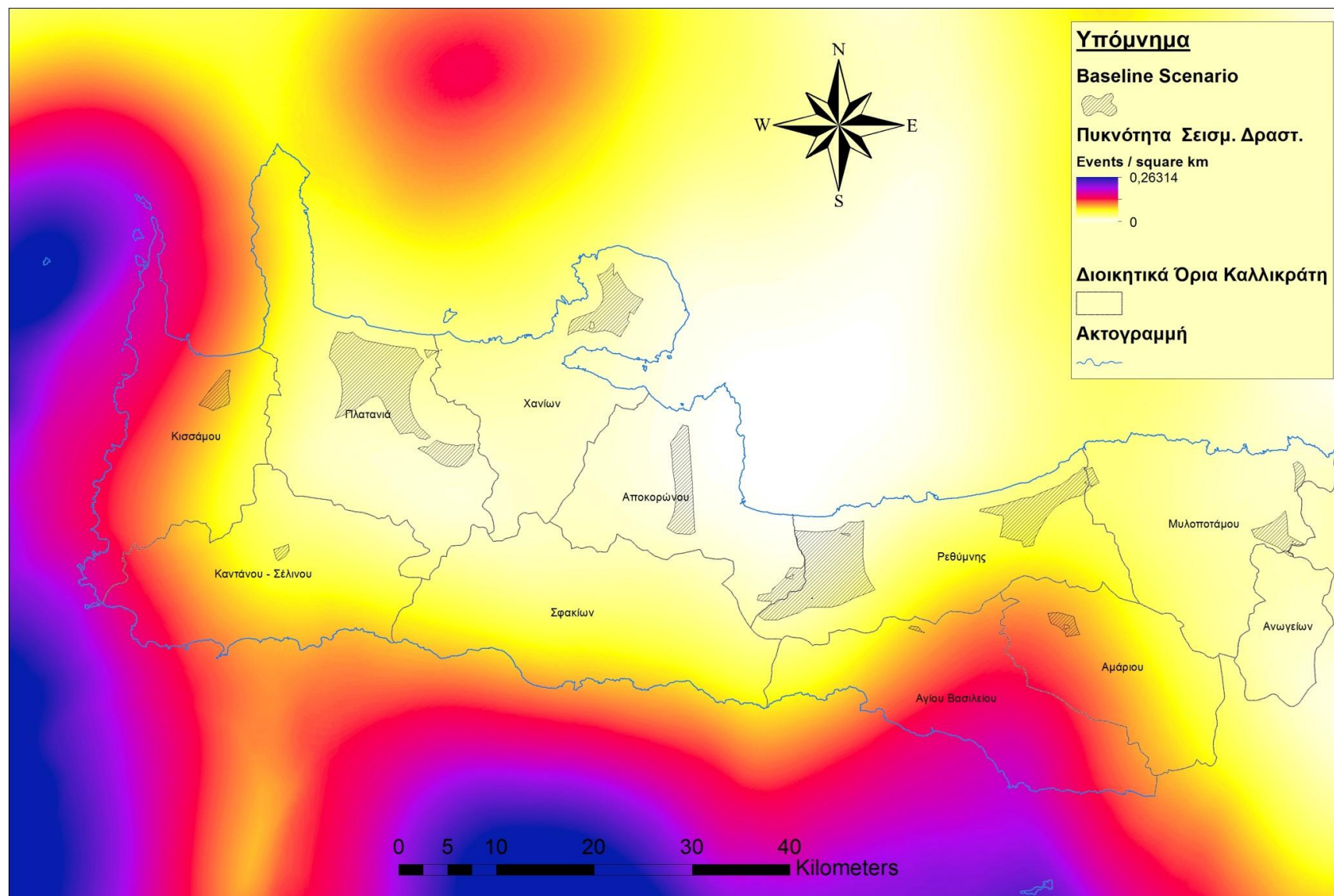
- Margaris, B., Papazachos, C., Papaioannou, C., Theodulidis, N., Kalogeras, I. & Skarlatoudis, A. (2002a ,Sep). Ground motion attenuation relations for shallow earthquakes in Greece. In: Proceedings of the XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).
- Margaris, B., Papazachos, C., Papaioannou, C., Theodulidis, N., Kalogeras, I., & Skarlatoudis, A. (2002b, Sep). Ground motion attenuation relations for shallow earthquakes in Greece. In: Proceedings of Twelfth European Conference on Earthquake Engineering. Paper reference 385.
- Michetti, A.M., E. Esposito, L. Guerrieri, S. Porfido, L. Serva, R. Tatevossian, E. Vittori, F. Audemard, T. Azuma, J. Clague, V. Commerci, A. Gürpınar, McCalpin, B. Mohammadioun, J. Mohammadioun, N.A. Möner, Y. Ota and E. Roghazin (2007). Environmental Seismic Intensity Scale - ESI 2007, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 74, pp. 7-54, Servizio Geologico d'Italia – Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Roma, Italy.
- Μουντράκης, Δ. (1990). Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, available at <http://www.geo.auth.gr/courses/>, [Accessed 20 February 2014].
- Mountrakis D., Kiliass A., Pavlaki A., Fassoulas C., Thomaidou E., Papazachos C., Papaioannou C., Roumelioti Z., Benetatos C., Vamvakaris D. (2013). NEOTECTONIC ANALYSIS, ACTIVE STRESS FIELD AND ACTIVE FAULTS SEISMIC HAZARD ASSESSMENT IN WESTERN CRETE, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII 2013, Proceedings of the 13th International Congress, Chania, Sept. 2013.
- ΟΑΣΠ (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (1983). Περί σεισμών, Available at: <http://www.oasp.gr/node/115>, [Accessed 26 April 2014].
- ΟΑΣΠ -Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2003). NEAK 2000 (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000), Αθήνα, Available at: <http://www.oasp.gr-/node/8>, [Accessed 26 April 2014].
- Papadopoulos G.A. and Chalkis B.J. (1984). Tsunamis observed in Greece and the surrounding area from antiquity up to the present times, Marine Geology, 56, pp.309-317.
- Παπαϊωάννου, Χ.Α. (1984). Απόσβεση των σεισμικών εντάσεων και σεισμική επικινδυνότητα στον Ελληνικό χώρο. Διδ. Διατριβή, Παν. Θεσσαλονίκης, σελ. 200.
- Παπανικολάου, Δ. (1998). Η εξέλιξη του Ελληνικού τόξου στην Ανατ. Μεσόγειο. Εκδ. 2η Αθήνα: Ρεύματα.
- Papazachos, B.C., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and Savvaidis, A.S. (1997). Atlas of isoseismal maps for strong earthquakes in Greece and surrounding area. Publ. Geophys. Lab., Univ. Thessaloniki, 4, pp.200.

- Papazachos, B.C., Comninakis, P. E. (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.* 76, pp. 8517–8533.
- Παπαζάχος, Β.Κ., Καρακάϊσης, Γ.Φ. & Χατζηδημητρίου, Π.Μ. (2005). Εισαγωγή στη Σεισμολογία, Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.
- Sanchez-Lozano J.M., Teruel-Solano J., Soto-Elvira P.L., Garcia-Cascales M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South Eastern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp. 544-556.
- Scordilis, E.M. (2006). Empirical global relations converting M_s and m_b to moment magnitude, *Journal Seismol.*, 10, pp. 225–236.
- Sibson, R. (1981). A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, chapter 2 in *Interpolating Multivariate Data*. New York: John Wiley & Sons, pp.21–36.
- Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York: Chapman and Hall, pp. 76.
- Σπυράκος Κ. & Κουτρομάνος Ι. (2010). Αντισεισμικές Κατασκευές: Στοιχεία Τεχνικής Σεισμολογίας και Σεισμικής Μηχανικής. ΕΜΠ, Αθήνα
- Stucchi et al., (2012). The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology*, doi: 10.1007/s10950-012-9335-2.
- Theodulidis, N.P. and Papazachos, B.C. (1992). Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, Peak horizontal acceleration, velocity and displacement. *Soil Dynamics, Earthquake Eng.*, 11, pp. 387-402.
- Τσελέντης Α. (1997). Σύγχρονη Σεισμολογία, Τόμος Β', Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- U.S. Geological Survey – USGS (2010). Global Vs30 Map Server, Custom Vs30 mapping, U.S. Department of the Interior, Available at: <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/custom.php>, [Accessed 1 March 2014].
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής - ΥΠΕΚΑ (2010). ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ NATURA 2000. Available at: <http://www.ypeka.gr/-Default.aspx?tabid=432>, [Accessed 5 February 2014].
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων – ΥΠΕΧΩΔΕ, νυν ΥΠΕΚΑ (2004). Corine Land Cover (CLC) 2000, European Environmental Agency – ΕΕΑ, Available at: <http://geodata.gov.gr/geodata/> [15 February 2014].

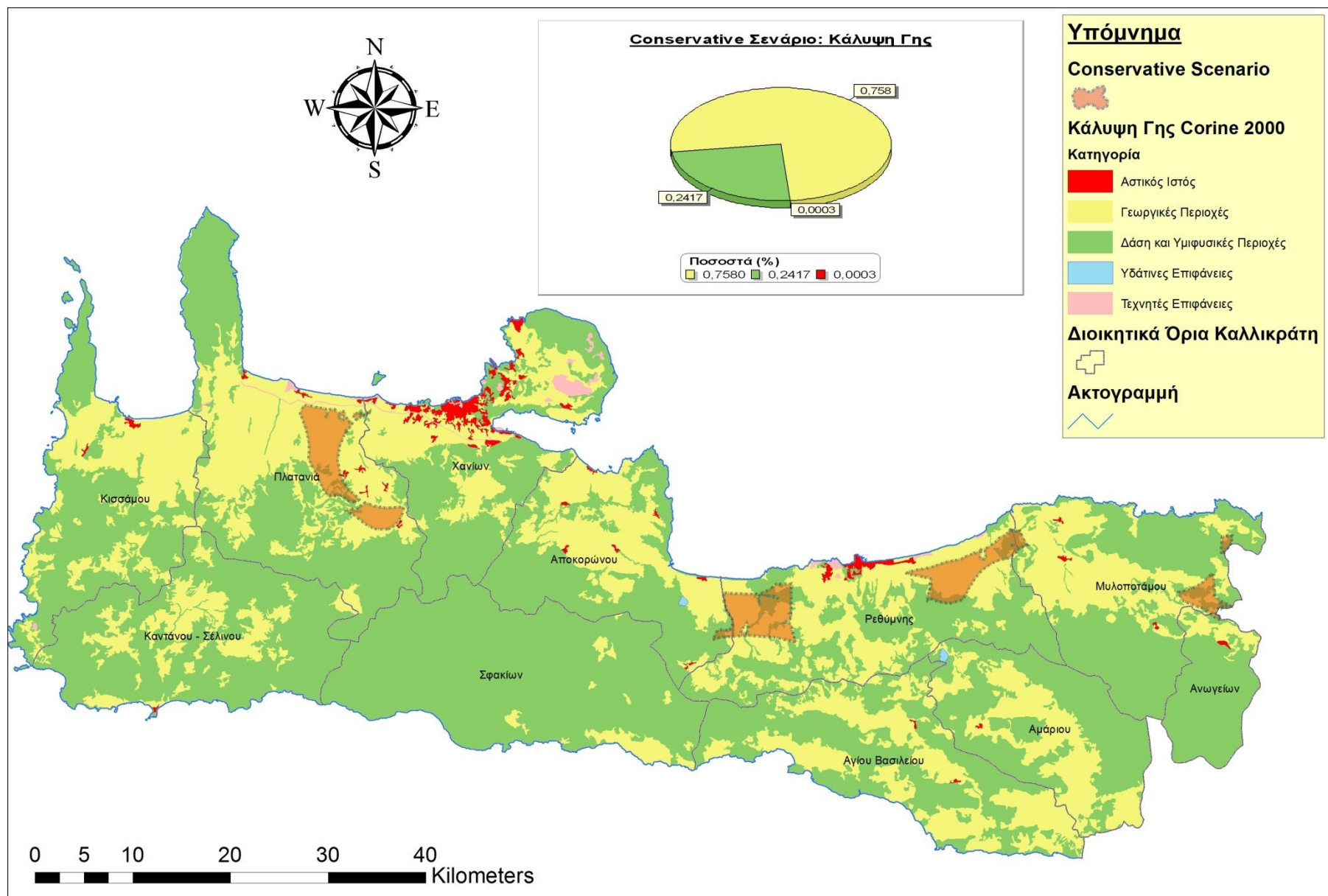
Παράρτημα Α : Χάρτες Σεναρίων



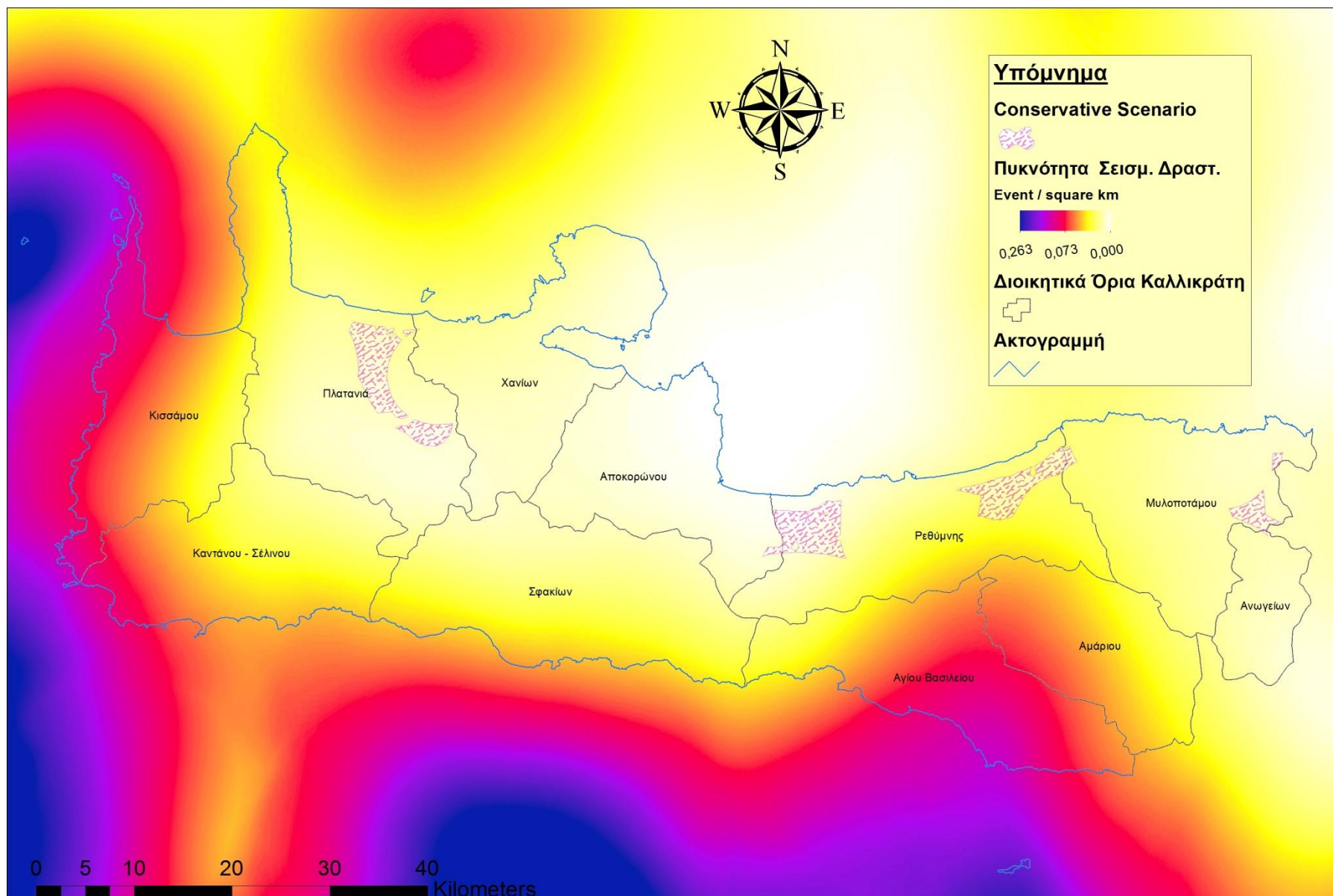
Χάρτης 0-1: Το Βασικό Σενάριο σε σχέση με την κάλυψη Γης.



Χάρτης 0-2: Το Βασικό Σενάριο σε σχέση με τη Σεισμική Δραστηριότητα.

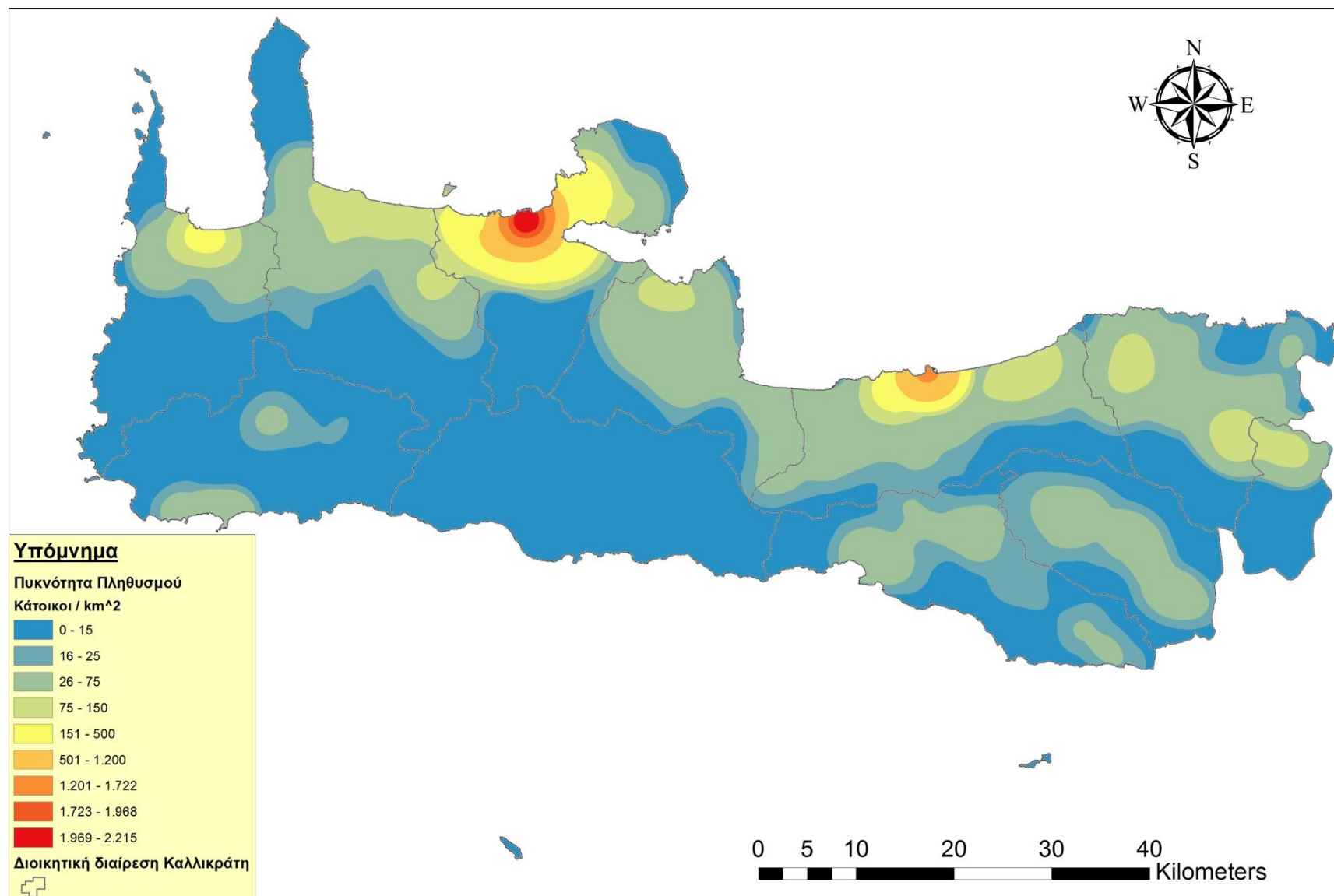


Χάρτης 0-3: Το συντηρητικό Σενάριο σε σχέση με τη Κάλυψη Γης.

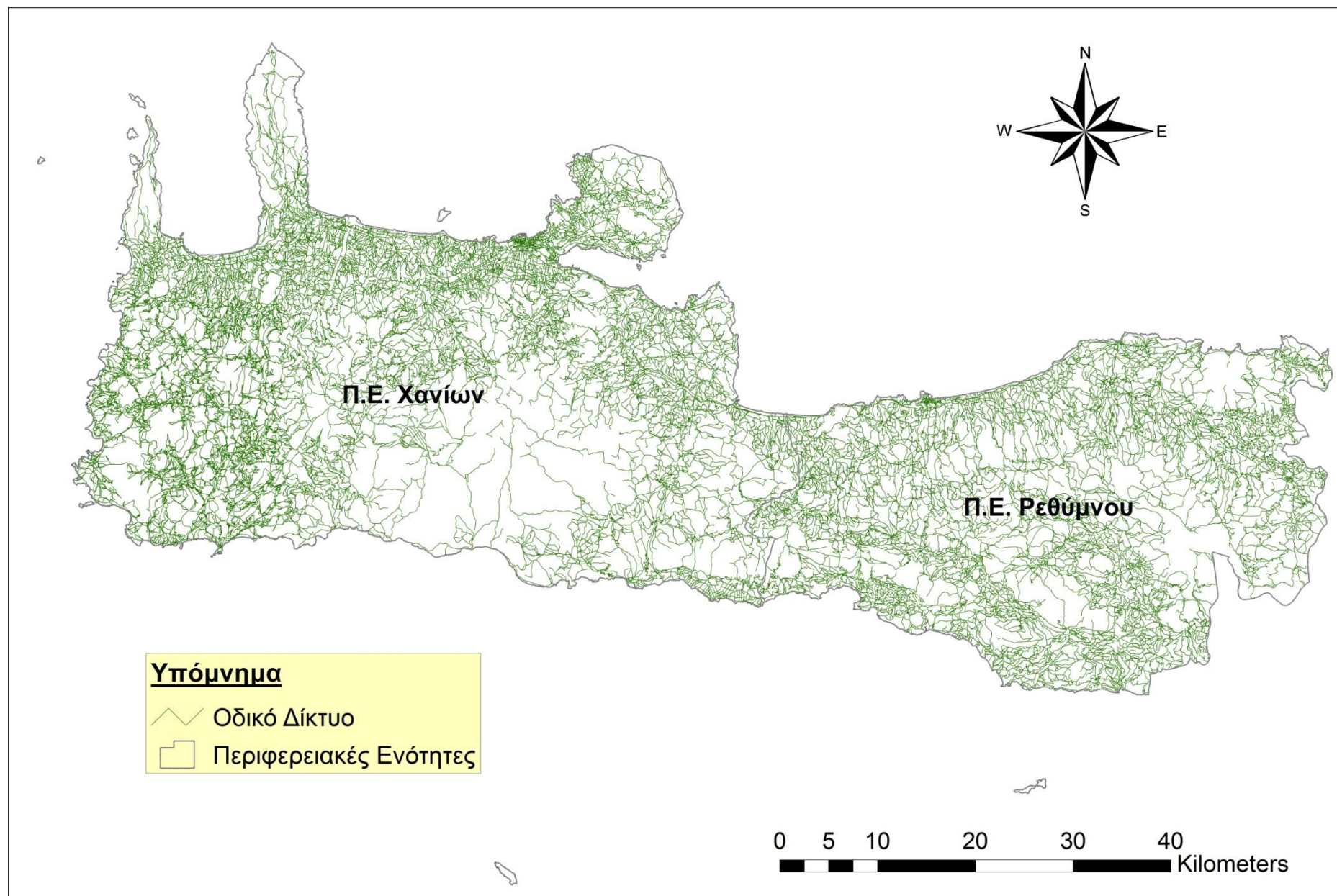


Χάρτης 0-4: Το Συντηρητικό Σενάριο σε σχέση με τη Σεισμική Δραστηριότητα.

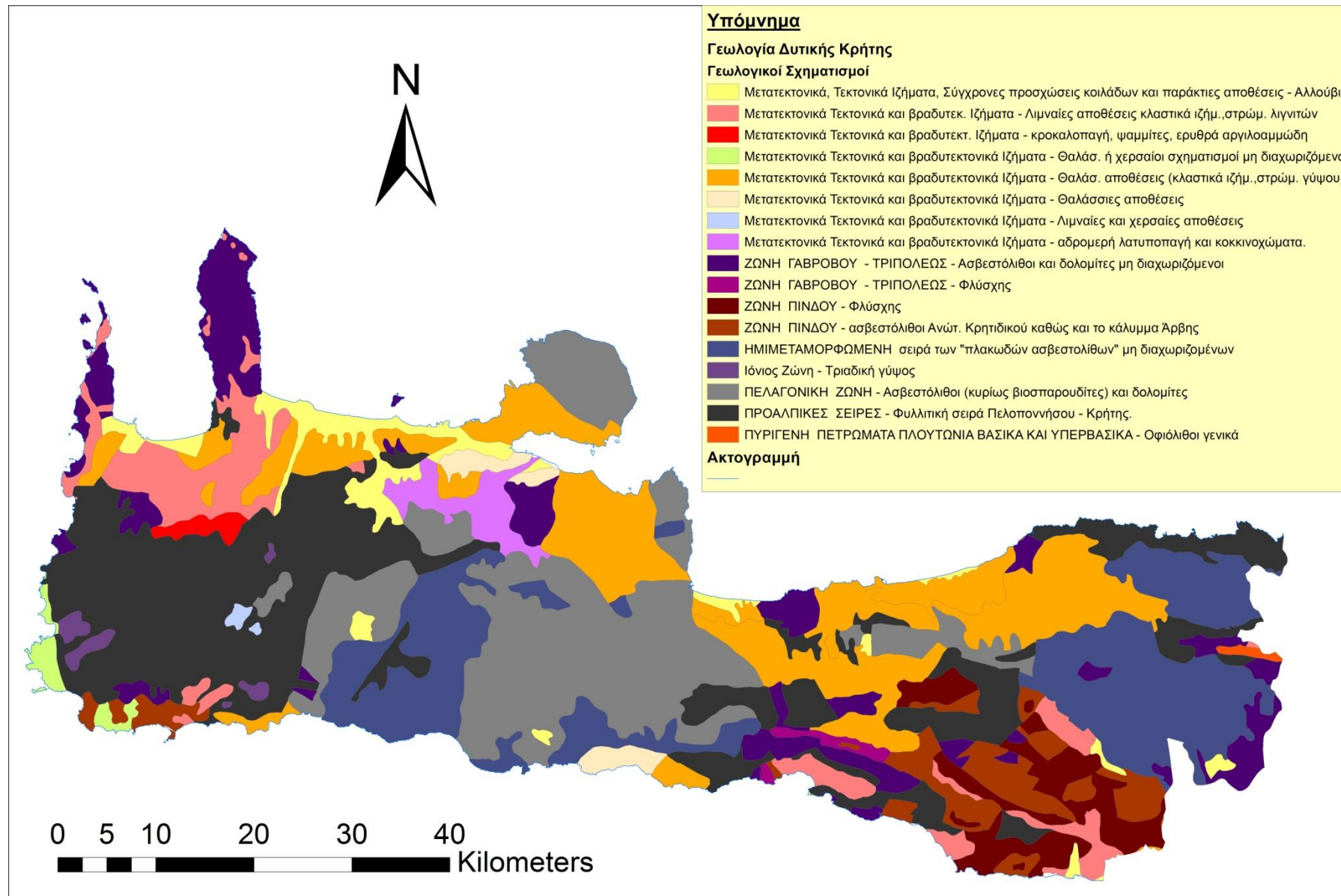
Παράρτημα Β: Λοιποί Χάρτες



Χάρτης 0-1: Πυκνότητα Πληθυσμού στη Δυτική Κρήτη.



Χάρτης 0-2: Το οδικό δίκτυο της Δυτικής Κρήτης.



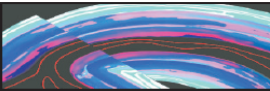
Χάρτης 0-3: Η Γεωλογία της Περιοχής Μελέτης.

Παράρτημα C. Κλίμακες EMS-98 & ESI 2007

C1 Συνοπτική μορφή (short form) της κλίμακας EMS-98

EMS intensity	Definition	Description of typical observed effects (abstracted)
I	Not felt	Not felt.
II	Scarcely felt	Felt only by very few individual people at rest in houses.
III	Weak	Felt indoors by a few people. People at rest feel a swaying or light trembling.
IV	Largely observed	Felt indoors by many people, outdoors by very few. A few people are awakened. Windows, doors and dishes rattle.
V	Strong	Felt indoors by most, outdoors by few. Many sleeping people awake. A few are frightened. Buildings tremble throughout. Hanging objects swing considerably. Small objects are shifted. Doors and windows swing open or shut.
VI	Slightly damaging	Many people are frightened and run outdoors. Some objects fall. Many houses suffer slight non-structural damage like hair-line cracks and fall of small pieces of plaster.
VII	Damaging	Most people are frightened and run outdoors. Furniture is shifted and objects fall from shelves in large numbers. Many well built ordinary buildings suffer moderate damage: small cracks in walls, fall of plaster, parts of chimneys fall down; older buildings may show large cracks in walls and failure of fill-in walls.
VIII	Heavily damaging	Many people find it difficult to stand. Many houses have large cracks in walls. A few well built ordinary buildings show serious failure of walls, while weak older structures may collapse.
IX	Destructive	General panic. Many weak constructions collapse. Even well built ordinary buildings show very heavy damage: serious failure of walls and partial structural failure.
X	Very destructive	Many ordinary well built buildings collapse.
XI	Devastating	Most ordinary well built buildings collapse, even some with good earthquake resistant design are destroyed.
XII	Completely devastating	Almost all buildings are destroyed.

C2 Συνοπτικός Πίνακας της κλίμακας ESI 2007

		PRIMARY EFFECTS		
		Surface faulting and deformations	Hydrological anomalies	Anomalous waves/tsunamis
From I to III		There are no environmental effects		
IV	LARGELY OBSERVED First unequivocal effects in the environment	Absent	Rare small variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as extremely rare small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in springs and wells, especially within large karstic spring systems, which appear to be most prone to this phenomenon.	In closed basins (lakes, even seas) seiches with height not exceeding a few centimeters may develop, commonly observed only by tidal gauges, exceptionally even by naked eye, typically in the far field of strong earthquakes. Anomalous waves are perceived by all people on small boats, few people on larger boats, most people on the coast. Water in swimming pools sways and may sometimes overflows.
V	STRONG Marginal effects in the environment	Absent	Rare variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells.	In closed basins (lakes, even seas) seiches with height of decimeters may develop, sometimes noted also by naked eye, typically in the far field of strong earthquakes. Anomalous waves up to several tens of cm high are perceived by all people on boats and on the coast. Water in swimming pools overflows.
VI	SLIGHTLY DAMAGING Modest effects in the environment	Absent	Significant variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells.	Anomalous waves up to many tens of cm high flood very limited areas nearshore. Water in swimming pools and small ponds and basins overflows.
VII	DAMAGING Appreciable effects in the environment	Observed very rarely, and almost exclusively in volcanic areas. Limited surface fault ruptures, tens to hundreds of meters long and with centimetric offset, may occur, essentially associated to very shallow earthquakes.	Significant temporary variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded. Seldom, small springs may temporarily run dry or appear. Weak variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells are locally observed.	Anomalous waves even higher than a meter may flood limited nearshore areas and damage or wash away objects of variable size. Water overflows from small basins and watercourses.
VIII	HEAVILY DAMAGING Extensive effects in the environment	Observed rarely. <i>Ground ruptures (surface faulting) may develop, up to several hundred meters long, with offsets not exceeding a few cm, particularly for very shallow focus earthquakes such as those common in volcanic areas. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values on the order of a few centimeters may occur.</i>	Springs may change, generally temporarily, their flow-rate and/or elevation of outcrop. Some small springs may even run dry. Variations in water level are observed in wells. Weak variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, may be observed in springs and/or wells. Water turbidity may appear in closed basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are locally observed.	Anomalous waves up to 1-2 meters high flood nearshore areas and may damage or wash away objects of variable size. Erosion and dumping of waste is observed along the beaches, where some bushes and even small weak-rooted trees can be eradicated and drifted away. Water violently overflows from small basins and watercourses.
IX	DESTRUCTIVE Effects in the environment are a widespread hazard and become important for intensity assessment	Observed commonly. <i>Ground ruptures (surface faulting) develop, up to a few km long, with offsets generally in the order of several cm. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of a few decimeters may occur.</i>	<i>Springs can change, generally temporarily, their flow-rate and/or location to a considerable extent. Some modest springs may even run dry. Temporary variations of water level are commonly observed in wells. Variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Water turbidity is common in closed basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.</i>	<i>Meters high waves develop in still and running waters. In flood plains water streams may even change their course, also because of land subsidence. Small basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, dangerous tsunamis may reach the shores with runups of up to several meters flooding wide areas. Widespread erosion and dumping of waste is observed along the beaches, where bushes and trees can be eradicated and drifted away.</i>
X	VERY DESTRUCTIVE Effects in the environment become a leading source of hazards and are critical for intensity assessment	Become leading <i>Surface faulting can extend for few tens of km, with offsets from tens of cm up to a few meters. Gravity grabens and elongated depressions develop; for very shallow focus earthquakes in volcanic areas rupture lengths might be much lower. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of few meters may occur.</i>	Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Some springs may run temporarily or even permanently dry. Temporary variations of water level are commonly observed in wells. Even strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Often water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.	<i>Meters high waves develop in even big lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers may change their course, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence. Basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups exceeding 5 m flooding flat areas for thousands of meters inland. Small boulders can be dragged for many meters. Widespread deep erosion is observed along the shores, with noteworthy changes of the coastline profile. Trees nearshore are eradicated and drifted away.</i>
XI	DEVASTATING Effects in the environment become decisive for intensity assessment, due to saturation of structural damage	Are dominant. <i>Surface faulting extends from several tens of km up to more than one hundred km, accompanied by slips reaching several meters. Gravity graben, elongated depressions and pressure ridges develop. Drainage lines can be seriously offset. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of numerous meters may occur.</i>	Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Many springs may run temporarily or even permanently dry. Temporary or permanent variations of water level are generally observed in wells. Even strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Often water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.	<i>Large waves develop in big lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers can change their course, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence and landsliding. Basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups reaching 15 meters and more devastating flat areas for kilometers inland. Even meter-sized boulders can be dragged for long distances. Widespread deep erosion is observed along the shores, with noteworthy changes of the coastal morphology. Trees nearshore are eradicated and drifted away, along the shores, with noteworthy changes of the coastline profile. Trees nearshore are eradicated and drifted away.</i>
XII	COMPLETELY DEVASTATING Effects in the environment are the only tool for intensity assessment	Are dominant. <i>Surface faulting is at least few hundreds of km long, accompanied by offsets reaching several tens of meters. Gravity graben, elongated depressions and pressure ridges develop. Drainage lines can be seriously offset. Landscape and geomorphological changes induced by primary effects can attain extraordinary extent and size (typical examples are the uplift or subsidence of coastlines by several meters, appearance or disappearance from sight of significant landscape elements, rivers changing course, origination of waterfalls, formation or disappearance of lakes).</i>	Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Temporary or permanent variations of water level are generally observed in wells. Many springs and wells may run temporarily or even permanently dry. Strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.	<i>Giant waves develop in lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers change their course and even their flow direction, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence and landsliding. Large basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups of several tens of meters devastating flat areas for many kilometers inland. Big boulders can be dragged for long distances. Widespread deep erosion is observed along the shores, with outstanding changes of the coastal morphology. Many trees are eradicated and drifted away. All boats are tore from their moorings and swept away or carried onshore even for long distances. All people outdoor are swept away.</i>

SECONDARY EFFECTS						
Ground cracks	Slope movements	Tree shaking	Liquefactions	Dust clouds	Jumping stones	TOTAL AREA
that can be used as diagnostic						
Hair-thin cracks (millimeter-wide) might be occasionally seen where lithology (e.g., loose alluvial deposits, saturated soils) and/or morphology (slopes or ridge crests) are most prone to this phenomenon.	Exceptionally, rocks may fall and small landslide may be (re)activated, along slopes where the equilibrium is already near the limit state, e.g. steep slopes and cuts, with loose and generally saturated soil.	Tree limbs shake feebly.	Absent	Absent	Absent	-----
Thin cracks (millimeter-wide and several cms up to one meter long) are locally seen where lithology (e.g., loose alluvial deposits, saturated soils) and/or morphology (slopes or ridge crests) are most prone to this phenomenon.	Rare small rockfalls, rotational landslides and slump earth flows may take place, along often but not necessarily steep slopes where equilibrium is near the limit state, mainly loose deposits and saturated soil. Underwater landslides may be triggered, which can induce small anomalous waves in coastal areas of sea and lakes.	Tree limbs and bushes shake slightly, very rare cases of fallen dead limbs and ripe fruit.	Extremely rare cases are reported of liquefaction (sand boils), small in size and in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near-surface water table).	Absent	Absent	-----
Occasionally, millimeter-centimeter wide and up to several meters long fractures are observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; along steep slopes or riverbanks they can be 1-2 cm wide. A few minor cracks develop in paved (either asphalt or stone) roads.	Rockfalls and landslides with volume reaching ca. 10^3 m ³ can take place, especially where equilibrium is near the limit state, e.g. steep slopes and cuts, with loose saturated soil, or highly weathered / fractured rocks. Underwater landslides can be triggered, occasionally provoking small anomalous waves in coastal areas of sea and lakes, commonly seen by instrumental records.	Trees and bushes shake moderately to strongly, a very few tree tops and unstable-dead limbs may break and fall, also depending on species, fruit load and state of health.	Rare cases are reported of liquefaction (sand boils), small in size and in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near surface water table).	Absent	Absent	-----
Fractures up to 5-10 cm wide and up to hundred metres long are observed, commonly in loose alluvial deposits and/or saturated soils; rarely, in dry sand, sand-clay, and clay soil fractures are also seen, up to 1 cm wide. Centimeter-wide cracks are common in paved (asphalt or stone) roads.	Scattered landslides occur in prone areas, where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils), while modest rock falls are common on steep gorges, cliffs). Their size is sometimes significant (10^3 - 10^5 m ³); in dry sand, sand-clay, and clay soil, the volumes are usually up to 100 m ³ . Ruptures, slides and falls may affect riverbanks and artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) in loose sediment or weathered / fractured rock. Significant underwater landslides can be triggered, provoking anomalous waves in coastal areas of sea and lakes, directly felt by people on boats and ports.	Trees and bushes shake vigorously, especially in densely forested areas, many limbs and tops break and fall.	Rare cases are reported of liquefaction, with sand boils up to 50 cm in diameter, in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near surface water table).	Absent	Absent	The total affected area is in the order of 10 km ² .
Fractures up to 50 cm wide and up to hundred metres long, are commonly observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in rare cases fractures up to 1 cm can be observed in competent dry rocks. Decimetric cracks are common in paved (asphalt or stone) roads, as well as small pressure undulations.	Small to moderate (10^3 - 10^5 m ³) landslides are widespread in prone areas; rarely they can occur also on gentle slopes; where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils; rock falls on steep gorges, coastal cliffs) their size is sometimes large (10^5 - 10^6 m ³). Landslides can occasionally dam narrow valleys causing temporary or even permanent lakes. Ruptures, slides and falls affect riverbanks and artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) in loose sediment or weathered / fractured rock. Frequent is the occurrence of landslides under the sea level in coastal areas.	Trees shake vigorously; branches may break and fall, trees may be uprooted, especially along steep slopes.	Liquefaction may be frequent in the epicentral area, depending on local conditions; the most typical effects are: sand boils up to ca. 1 m in diameter; apparent water fountains in still waters; localised lateral spreading and settlements (subsidence up to ca. 30 cm), with fissuring parallel to waterfront areas (river banks, lakes, canals, seashores).	In dry areas, dust clouds may rise from the ground in the epicentral area.	Stone sand even small boulders and tree trunks may be thrown in the air, leaving typical imprints in soft soil.	The total affected area is in the order of 100 km ² .
Fractures up to 100 cm wide and up to hundred metres long are commonly observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in competent rocks they can reach up to 10 cm. Significant cracks are common in paved (asphalt or stone) roads, as well as small pressure undulations.	Landsliding is widespread in prone areas, also on gentle slopes; where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils; rock falls on steep gorges, coastal cliffs) their size is frequently large (10^5 m ³), sometimes very large (10^6 m ³). Landslides can dam narrow valleys causing temporary or even permanent lakes. Riverbanks, artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) frequently collapse. Frequent are large landslides under the sea level in coastal areas.	Trees shake vigorously; branches and thin tree trunks frequently break and fall. Some trees might be uprooted and fall, especially along steep slopes.	Liquefaction and water upsurge are frequent; sand boils up to 3 m in diameter; the most typical effects are: apparent water fountains in still waters; frequent lateral spreading and settlements (subsidence of more than ca. 30 cm), with fissuring parallel to waterfront areas (river banks, lakes, canals, seashores).	In dry areas, dust clouds may rise from the ground.	Small boulders and tree trunks may be thrown in the air and move away from their site for meters, also depending on slope angle and roundness, leaving typical imprints in soft soil.	The total affected area is in the order of 1,000 km ² .
Open ground cracks up to more than 1 m wide and up to hundred metres long are frequent, mainly in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in competent rocks opening reaches several decimeters. Wide cracks develop in paved (asphalt or stone) roads, as well as pressure undulations.	Large landslides and rock-falls ($> 10^5$ - 10^6 m ³) are frequent, practically regardless of equilibrium state of the slopes, causing temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams may also incur serious damage. Frequent are large landslides under the sea level in coastal areas.	Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Some trees might be uprooted and fall.	Liquefaction, with water upsurge and soil compaction, may change the aspect of wide zones; sand volcanoes may even be more than 6 m in diameter; vertical subsidence even > 1 m; large and long fissures due to lateral spreading are common.	In dry areas, dust clouds commonly rise from the ground.	Boulders (diameter in excess of 2-3 meters) can be thrown in the air and move away from their site for hundreds of meters down even gentle slopes, leaving typical imprints in soil.	The total affected area is in the order of 5,000 km ² .
Open ground cracks up to several meters wide are very frequent, mainly in loose alluvial deposits and/or saturated soils. In competent rocks they can reach 1 m. Very wide cracks develop in paved (asphalt or stone) roads, as well as large pressure undulations.	Large landslides and rock-falls ($> 10^5$ - 10^6 m ³) are frequent, practically regardless of equilibrium state of the slopes, causing many temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams incur serious damage. Significant landslides can occur even at 200 - 300 km distance from the epicenter. Frequent are large landslides under the sea level in coastal areas.	Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Many trees are uprooted and fall.	Liquefaction changes the aspect of extensive zones of lowland, determining vertical subsidence possibly exceeding several meters; numerous large sand volcanoes, and severe lateral spreading can be observed.	In dry areas dust clouds arise from the ground.	Big boulders (diameter of several meters) can be thrown in the air and move away from their site for long distances down even gentle slopes, leaving typical imprints in soil.	The total affected area is in the order of 10,000 km ² .
Ground open cracks are very frequent, up to one meter or more wide in the bedrock, up to more than 10 m wide in loose alluvial deposits and/or saturated soils. These may extend up to several kilometers in length.	Large landslides and rock-falls ($> 10^5$ - 10^6 m ³) are frequent, practically regardless of equilibrium state of the slopes, causing many temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams incur serious damage. Significant landslides can occur at more than 200 - 300 km distance from the epicenter. Frequent are very large landslides under the sea level in coastal areas.	Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Many trees are uprooted and fall.	Liquefaction occurs over large areas and changes the morphology of extensive flat zones, determining vertical subsidence exceeding several meters, widespread large sand volcanoes, and extensive severe lateral spreading can be observed.	In dry areas dust clouds arise from the ground.	Also very big boulders can be thrown in the air and move for long distances down even gentle slopes, leaving typical imprints in soil.	The total affected area is in the order of 50,000 km ² and more

