

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

ΚΑΡΑΜΠΑΤΣΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

9750027

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΠΡΟΒΙΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΓΚΕΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2003

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	13
1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	13
1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (Risk).....	14
1.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	15
1.3.1 Ελάττωση των αποτελεσμάτων μιας φυσικής καταστροφής.....	15
1.3.2 Διαχείριση επικινδυνότητας (Risk Management).....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	19
2.1 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ - ΓΕΝΙΚΑ	19
2.1.1 Ορισμός, γέννηση σεισμών.....	19
2.1.2 Μέτρηση σεισμικής δραστηριότητας	21
2.1.3 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο	23
2.1.4 Η σεισμική δραστηριότητα στο ΝΑ Αιγαίο (περιοχή νήσου Κρήτης).....	24
2.2 ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ (SEISMIC HAZARD)	26
2.2.1 Ορισμός - Αποτελέσματα	26
2.2.2 Σεισμικός Κίνδυνος και Δίκτυα Κοινής Ωφελείας	28
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (SEISMIC RISK)	30
2.3.1 Ορισμός.....	30
2.3.2 Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας.	31
2.3.3 Μικροζωνικές μελέτες.	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	34
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	34
3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	34
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	35
3.3.1 Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου	37
3.3.2 Προσδιορισμός των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο	47
3.3.3 Προσδιορισμός απωλειών των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο (Τρωτότητα).....	47
3.4 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	49

3.4.1 Θέσπιση καθολικών μέτρων αντισεισμικού σχεδιασμού.	49
3.4.2 Θέσπιση μέτρων σε τοπικό επίπεδο.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	53
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	53
4.2 ΟΡΙΣΜΟΣ, ΕΞΕΛΙΞΗ και χρήση ΤΩΝ ΓΣΠ.....	53
4.2.1 Ορισμός των ΓΣΠ.....	53
4.2.2 Εξέλιξη και χρήση των ΓΣΠ.....	54
4.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΓΣΠ.....	55
4.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	56
4.4.1 Ορισμός – Εισαγωγή.....	56
4.4.2 Ανάπτυξη ενός Συστήματος Βάσεων Δεδομένων.	57
4.4.3 Το ΓΣΠ σαν Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων.....	58
4.5 ΓΣΠ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	61
4.6 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MAPINFO	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ	
ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ.....	67
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	67
5.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ, ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ	
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ	68
5.2.1 Αποτελέσματα Μικροζωνικής.....	68
5.2.2 Μοντέλο αστοχιών και αποκατάστασης δικτύου ύδρευσης.....	69
5.2.3 Υπολογισμός μεγέθους και εξασθένηση σεισμικής έντασης.....	71
5.2.4 Ψηφιακοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν.....	72
5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	73
5.3.1. Ενημέρωση της βάσης του νομού Χανίων	74
5.3.2. Επιλογή δικτύου Ύδρευσης από το AUTOCAD και μεταφορά του στο	
MapInfo.....	75
5.3.3 Επεξεργασία του Χάρτη και Πίνακα Σεισμικών Επικέντρων της περιοχής	
της Κρήτης.....	79
5.3.4 Επεξεργασία Χάρτη Σεισμικής Απόκρισης εδαφών του Δήμου Χανίων...82	
5.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ	84
5.4.1 Εισαγωγή του μοντέλου εξασθένησης.....	84
5.4.2 Εισαγωγή του μοντέλου αστοχιών.....	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
6.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	101
6.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	146
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	149
6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	152
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	156
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	158
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	159
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ.....	164
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	165

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών – ΓΣΠ (Geographic Information Systems – GIS), έχει επεκταθεί τα τελευταία χρόνια σε πάρα πολλούς επιστημονικούς τομείς βρίσκοντας εφαρμογή και δίνοντας λύση σε προβλήματα διαχείρισης και επεξεργασίας χωρικών δεδομένων.

Η Διαχείριση Κινδύνου αποτελεί ένα πεδίο στο οποίο τα ΓΣΠ βρίσκουν άμεση εφαρμογή καθώς μπορούν να αποτελέσουν ένα αξιόπιστο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων σχετικά με ζητήματα που αφορούν άμεσα την δημόσια ασφάλεια. Ιδιαίτερα δε για τον Σεισμικό Κίνδυνο, ο οποίος αποτελεί διαρκές πεδίο προβληματισμού στον ελλαδικό χώρο, τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμεύσουν στην συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία και απεικόνιση μίας σειράς χρήσιμων πληροφοριών, συντελώντας με αυτό τον τρόπο στην ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής στρατηγικής αντιμετώπισης των κοινωνικών, οικονομικών και άλλων επιπτώσεων των σεισμικών επεισοδίων.

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διαχείριση πληροφοριών και δεδομένων που αφορούν τον Σεισμικό Κίνδυνο στην περιοχή της Κρήτης και ιδιαίτερα στον Νομό Χανίων, σε σχέση με τις επιπτώσεις ενός σεισμικού επεισοδίου στα δίκτυα κοινής ωφελείας με έμφαση στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων. Η Διαχείριση Σεισμικού Κινδύνου με χρήση κατάλληλου λογισμικού ΓΣΠ περιλαμβάνει την επεξεργασία γεωγραφικών, γεωλογικών και στατιστικών δεδομένων της περιοχής του Νομού Χανίων, αλλά και τη χρήση κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης αστοχίας σε δίκτυα ύδρευσης σε περίπτωση σεισμού.

Στόχος της χρήσης ΓΣΠ είναι όχι μόνο η διαμόρφωση μιας άμεσης και αποτελεσματικής στρατηγικής αντιμετώπισης των επιπτώσεων ενός σεισμικού επεισοδίου αλλά και η πρόληψη, προς αποφυγή καταστροφών, ιδιαίτερα αυτών στα δίκτυα κοινής ωφελείας της πόλης που θα συντελούσαν στον πολλαπλασιασμό των επιπτώσεων ενός σεισμού. Από αυτή την άποψη τα ΓΣΠ αποτελούν το κατάλληλο εργαλείο συστημικής ανάλυσης καθώς μπορούν να ενσωματώσουν και να

επεξεργαστούν μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης, επιτρέποντας την βέλτιστη διαχείριση των επιπτώσεων μιας φυσικής καταστροφής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα και ειδικότερα η Κρήτη βρίσκονται σε μία από τις πιο σεισμογενείς περιοχές του πλανήτη. Καταστροφικοί σεισμοί έχουν πολλές φορές αφήσει πίσω τους πολλά θύματα και ανυπολόγιστες υλικές ζημιές. Παρά την μεγάλη πρόοδο που έχει συντελεστεί στον μετριασμό των αποτελεσμάτων της έντονης σεισμικότητας του Ελλαδικού χώρου, με την εφαρμογή του Αντισεισμικού Κανονισμού στις κατασκευές, η σεισμική δραστηριότητα δεν παύει να αποτελεί μία διαρκή απειλή, έναν διαρκή **κίνδυνο** για την ελληνική κοινωνία. Κίνδυνος που επιβεβαιώνεται με τον πιο τραγικό τρόπο, όταν ακόμα στις μέρες μας, σεισμικές δονήσεις οι οποίες θα έπρεπε να περνούν απαρατήρητες, από άποψη υλικών καταστροφών, συχνά αφήνουν πίσω τους θύματα και μεγάλες ζημιές.

Ο Σεισμικός Κίνδυνος δεν είναι ένας κίνδυνος που μπορεί να αντιμετωπιστεί στην πηγή του, καθώς τίποτα δεν μπορεί να γίνει για να σταματήσουν οι φυσικές διεργασίες στο εσωτερικό της Γης που οδηγούν στην πρόκληση των σεισμών. Ο Σεισμικός Κίνδυνος δεν είναι μέχρι σήμερα τουλάχιστον προβλέψιμος, αν και σοβαρά βήματα έχουν γίνει από την επιστήμη της Σεισμολογίας προς την κατεύθυνση της ακριβούς πρόγνωσης του σεισμικού φαινομένου. Ο Μηχανικός λοιπόν σε αντίθεση με άλλες περιπτώσεις καλείται να διαχειριστεί κυρίως τα ζητήματα που αφορούν στις καταστροφικές επιπτώσεις της σεισμικής δραστηριότητας. Στόχος του πρέπει να είναι η διαμόρφωση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος απέναντι στην σεισμική δραστηριότητα, που θα περιλαμβάνει ένα πλαίσιο μέτρων, κανόνων και ορίων αλλά και πληροφοριών, που θα δρουν σαν ασπίδα προστασίας των κατασκευών και του πληθυσμού σε περίπτωση σεισμού.

Ο Αντισεισμικός Σχεδιασμός αποτελεί ένα τέτοιο πλαίσιο που όμως αν και έχει θεσμοθετηθεί εδώ και χρόνια, συχνά αποδεικνύεται ανεπαρκής. Οι λόγοι είναι κυρίως δύο: ο πρώτος αφορά στην εφαρμογή του Αντισεισμικού Κανονισμού η οποία πολλές φορές δεν τηρείται είτε για λόγους αμέλειας, είτε για λόγους οικονομίας. Ο δεύτερος λόγος, που αποτελεί και πρόκληση για την σύγχρονη αντιμετώπιση των

ζητημάτων Διαχείρισης Κινδύνου, είναι πως ο Αντισεισμικός Κανονισμός αφορά τα μακροσεισμικά αποτελέσματα σε μία ευρύτερη περιοχή που συνήθως είναι τα όρια μίας χώρας, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνεται μέριμνα με βάση τα τοπικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής τα οποία ωστόσο μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τις επιπτώσεις μιας σεισμικής δόνησης. Τα καθολικά μέτρα που λαμβάνονται από την Κεντρική Διοίκηση, είτε πρόκειται για κανονισμούς σε σχέση με τις κατασκευές, είτε πρόκειται για την ενημέρωση του πληθυσμού, αν και είναι στην σωστή κατεύθυνση, συχνά δεν ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες συνθήκες μιας περιοχής και αποδεικνύονται στην πράξη ανεπαρκή.

Μία σύγχρονη προσέγγιση της Διαχείρισης της Σεισμικής Επικινδυνότητας, δηλαδή της προσπάθειας μείωσης των επιπτώσεων του σεισμικού φαινομένου σε μία περιοχή, απαιτεί όχι μόνο την τήρηση της εφαρμογής των καθολικών μέτρων αντισεισμικής προστασίας, αλλά και την μελέτη των ιδιαίτερων συνθηκών της ίδιας της περιοχής. Ο Μηχανικός καλείται να προσδιορίσει την επικινδυνότητα μελετώντας και συνυπολογίζοντας, τόσο τα μακροσεισμικά στοιχεία, όσο και όλους εκείνους τους παράγοντες του τοπικού περιβάλλοντος που μπορούν να συντελέσουν στην αύξηση της επικινδυνότητας. Τα μέσα για την επίτευξη των στόχων του, είναι η μελέτη της γεωλογίας της περιοχής, η στατιστική επεξεργασία της ιστορικής σεισμικότητας της περιοχής με συγκέντρωση ιστορικών στοιχείων για όλους τους σεισμούς (ακόμα και για εκείνους που δεν έχουν καταγραφεί από κάποιο σύγχρονο μέσο), η χρήση σύγχρονων μέσων για τον προσδιορισμό της «ευαισθησίας» μιας περιοχής απέναντι στα σεισμικά κύματα, δημογραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία, ο εντοπισμός των «κρίσιμων» περιοχών ή κατασκευών σε μία περιοχή και τέλος η χρήση αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων για τον υπολογισμό των αστοχιών στις διάφορες κατασκευές.

Ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται κατά την εκπόνηση μελέτης Διαχείρισης Σεισμικής Επικινδυνότητας, στην συμπεριφορά των δικτύων κοινής ωφελείας μιας περιοχής σε περίπτωση σεισμικού κινδύνου. Αστοχίες στα δίκτυα αυτά συχνά προκαλούν τεράστια προβλήματα τις πρώτες ώρες μετά τον σεισμό, οπότε και η απρόσκοπτη λειτουργία τους θεωρείται ζητούμενο για την σωστή αντιμετώπιση μίας κρίσης. Η αναγκαιότητα προστασίας των δικτύων κοινής ωφελείας κρίνεται ακόμα πιο απαραίτητη, αν αναλογιστεί κανείς πως τα συνδυαστικά αποτελέσματα των επιπτώσεων ενός σεισμού στα δίκτυα μιας πόλης έχουν πολλαπλάσιες επιπτώσεις

στην κοινωνία, τόσο βραχυπρόθεσμα (τις πρώτες ώρες μετά τον σεισμό), όσο και μακροπρόθεσμα. Δεν είναι λίγες οι φορές για παράδειγμα που σε μεγάλους σεισμούς, οι μεγαλύτερες απώλειες προήλθαν από πυρκαγιές σε δίκτυα φυσικού αερίου, ή που οι άνθρωποι που κινδύνευαν δεν είχαν κανένα τρόπο επικοινωνίας με τις δυνάμεις πολιτικής προστασίας, ή που η αντιμετώπιση πυρκαγιών ήταν δύσκολη λόγω αστοχιών στο δίκτυο Ύδρευσης. Ο συνδυασμός των παραπάνω, που δεν αποτελεί απίθανο σενάριο σε μεγάλες πόλεις κατά την διάρκεια εκδήλωσης σεισμικών δονήσεων μεγάλης έντασης, μπορεί να θέσει σε άμεσο κίνδυνο την ζωή του πληθυσμού. Ταυτόχρονα η επιδιόρθωση των καταστροφών στα δίκτυα κοινής ωφελείας είναι συνήθως πολυδάπανη και καθόλου εύκολη υπόθεση.

Χρήσιμο εργαλείο επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων αποτελούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών / ΓΣΠ (ή Geographical Information Systems / GIS), μέσω των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαχείριση όλων των γεωγραφικών αλλά και στατιστικών δεδομένων μίας περιοχής. Τα ΓΣΠ παρέχουν την δυνατότητα ξεχωριστής ή και ταυτόχρονης επεξεργασίας πολλών επιπέδων πληροφορίας που η κάθε μία μπορεί να αντιπροσωπεύει διαφορετικές οντότητες, χωρικές (γεωγραφικές) ή θεματικές (στατιστικά, οικονομικά, κοινωνικά στοιχεία). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για την απόκριση μιας περιοχής στην σεισμική δραστηριότητα και κυρίως ο ακριβής γεωγραφικός προσδιορισμός των σημείων εκείνων στα οποία η ανθρώπινη παρέμβαση και πρόληψη μπορεί να οδηγήσει στον μετριασμό της επικινδυνότητας.

Η ανάδειξη της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής των ΓΣΠ στο ζήτημα της Διαχείρισης Σεισμικής Επικινδυνότητας είναι και ένας από τους στόχους αυτής της εργασίας. Η εφαρμογή έγινε κυρίως στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων, με την χρήση του μαθηματικού μοντέλου που προτείνει ο Wang^[1] για τον υπολογισμό των απωλειών σε δίκτυα ύδρευσης, αλλά και την χρήση των αποτελεσμάτων μικροζωνικής μελέτης στην πόλη των Χανίων που έγινε στην διάρκεια του προγράμματος «Seismocare»^[2]. Μέσω της χρήσης του λογισμικού ΓΣΠ MapInfo, έγινε η επεξεργασία των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας που διαθέταμε και εξήχθησαν αποτελέσματα σε σχέση με τις πιθανότητες αστοχίας ολόκληρου του κεντρικού δικτύου του Δήμου Χανίων αλλά και κάθε αγωγού ξεχωριστά.

Στο πρώτο Κεφάλαιο αυτής της εργασίας γίνεται μία εισαγωγή στις έννοιες της «διαχείρισης», του «κινδύνου» και της «επικινδυνότητας», έννοιες που αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία για τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν οι μηχανικοί τα προβλήματα στις σύγχρονες κοινωνίες. Αναλύονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι παραπάνω έννοιες και γίνεται μία εισαγωγή στην μεθοδολογία με την οποία προσεγγίζεται η Διαχείριση Επικινδυνότητας.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο δίνονται ορισμένα εισαγωγικά στοιχεία Σεισμολογίας που χρησιμεύουν στην εργασία αυτή, καθώς και ορισμένα στοιχεία για την σεισμικότητα του Ελληνικού χώρου αλλά και ιδιαίτερα για την περιοχή της Δυτικής Κρήτης. Αναλύεται η έννοια του σεισμικού κινδύνου και περιγράφονται τα μακροσεισμικά αποτελέσματα. Ιδιαίτερο βάρος δίδεται στα μακροσεισμικά αποτελέσματα στα Δίκτυα Κοινής Ωφελείας, καθώς αυτό είναι και το αντικείμενο το οποίος κυρίως εξετάζεται στο Κεφάλαιο 6. Τέλος εισάγεται η έννοια της Σεισμικής Επικινδυνότητας αλλά και πώς αυτή μπορεί να περιγραφεί από τους αντίστοιχους χάρτες Σεισμικής Επικινδυνότητας.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία προσδιορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας, αναλύεται η έννοια της εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου και γίνεται αναφορά στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό όλων εκείνων των στοιχείων που αποτελούν τον σεισμικό κίνδυνο.

Στο Κεφάλαιο 4 ορίζονται και περιγράφονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα στάδια εξέλιξής τους και αναλύονται τα στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Ακόμα γίνεται αναφορά στην Διαχείριση Βάσεων Δεδομένων που αποτελεί την «καρδιά» ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών. Σε ξεχωριστό επίσης υποκεφάλαιο περιγράφεται η χρήση των ΓΣΠ στην Διαχείριση Σεισμικής Επικινδυνότητας. Τέλος γίνεται αναφορά στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία.

Το πέμπτο Κεφάλαιο αποτελεί την ανάλυση της εργασίας, το πώς δηλαδή με την χρήση κατάλληλου λογισμικού ΓΣΠ είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την Σεισμική Επικινδυνότητα των στοιχείων μιας περιοχής. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα μοντέλα και οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν, αναλύεται ο τρόπος

με τον οποίο έγινε η επεξεργασία των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας, αλλά και η ταυτόχρονη επεξεργασία δύο η περισσότερων επιπέδων, ο τρόπος εισαγωγής των μαθηματικών μοντέλων στο λογισμικό MapInfo και παρατίθενται οι σημαντικότερες εντολές που εφαρμόστηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Τέλος στο έκτο και τελευταίο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε αναλυτικούς χάρτες, πίνακες και διαγράμματα, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων εφαρμογής του μοντέλου του Wang στις πόλεις των Χανίων και της Βαρκελώνης, σχολιάζεται ο βαθμός αβεβαιότητας που τα αποτελέσματα εμπεριέχουν. και εξάγονται τα συμπεράσματα της εργασίας. Στο τελευταίο μέρος της εργασίας, προτείνονται μέτρα για την προστασία του δικτύου με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας και πιθανά βήματα για την αντισεισμική θωράκιση της πόλης των Χανίων με την χρήση GIS.

Στα Παραρτήματα αυτής της εργασίας περιλαμβάνονται στοιχεία πιθανοτήτων (αναγκαία για την κατανόηση του τρόπου προσδιορισμού της Σεισμικής Επικινδυνότητας), η κλίμακες Mercalli και MSK, τα στοιχεία από την εφαρμογή του μοντέλου αστοχιών στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρκελώνης, καθώς και στοιχεία για την ιστορική σεισμικότητα του Νομού Χανίων από έκθεση του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ). Για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας εκτός από το λογισμικό GIS MapInfo έγινε χρήση του λογισμικού Διαχείρισης Βάσεων δεδομένων Microsoft Access, καθώς και του σχεδιαστικού λογισμικού AutoCAD όπου αυτό ήταν απαραίτητο για την μεταφορά πληροφοριών στο λογισμικό GIS.

Κλείνοντας το εισαγωγικό Κεφάλαιο, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ Κ. Προβιδάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης, ο οποίος είχε την επίβλεψη αυτής της εργασίας, και συντέλεσε τα μέγιστα με την παραχώρηση χώρου στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής αλλά κυρίως με τις πολύτιμες γνώσεις του, την επιλογή του θέματος και την καθοδήγησή του. Επίσης οφείλω ευχαριστίες και τους κκ Β. Γκέκα και Ν. Οικονομόπουλο, Καθηγητών του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, που είναι τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, για την συνεισφορά τους στην εκπόνηση της εργασίας. Επίσης πρέπει να αναφέρω και να ευχαριστήσω την κα Ν. Ευελπίδου, Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας του

Πανεπιστημίου Αθηνών, η οποία συντέλεσε στο να ξεπεραστούν αρκετά προβλήματα που αντιμετωπίσαμε με την χρήση του λογισμικού MapInfo, τον κ. Ι. Τσομπανάκη, Επίκουρο Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης για την συμβολή του στην χρήση του λογισμικού AutoCad, καθώς και τον Νεκτάριο Μουμουτζή, μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης, γνώστη θεμάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων, ο οποίος στον λίγο χρόνο που αφιέρωσε στα προβλήματα που αντιμετώπισα, κατάφερε να ανοίξει «δρόμο» για την περαιτέρω βελτίωση και επεξεργασία αυτής της εργασίας σε λογισμικά ΓΣΠ. Δεν θα μπορούσαμε επίσης να μην μνημονεύσουμε τους κκ Δ. Βιριράκη, Γενικό διευθυντή της ΔΕΥΑΧ, Κ. Στεργιάννη, Προϊστάμενο ΔΕΥΑΧ και Ν. Γκαζή, Προϊστάμενο Υπηρεσίας GIS της ΔΕΥΑΧ, για την παροχή όλων των απαραίτητων στοιχείων για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής. Τέλος μεγάλη ευγνωμοσύνη οφείλω στην απόφοιτο του τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης, Σταυρούλα Καψαλάκη, για τις πολύτιμες συμβουλές της στα θέματα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων αλλά κυρίως για την υπομονή και την συμπαράστασή της καθ' όλο το διάστημα της προετοιμασίας αυτής της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η έννοια «Διαχείριση» έχει αποκτήσει τα τελευταία χρόνια κεντρική σημασία στην αντιμετώπιση των προβλημάτων από τους Μηχανικούς. Με τον όρο αυτό περιγράφονται όλες εκείνες οι μέθοδοι και οι στρατηγικές που αναπτύσσονται για την επιστημονική και ρεαλιστική αντιμετώπιση ζητημάτων που απασχολούν την σύγχρονη κοινωνία, όπως είναι ζητήματα περιβαλλοντικής προστασίας ή ζητήματα φυσικών καταστροφών όπως αυτό που εξετάζεται σε αυτή την εργασία.

Η Διαχείριση περιλαμβάνει την χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσπάθεια βελτιστοποίησης της ανθρώπινης παρέμβασης. Ουσιαστικά **πρόκειται για το σύνολο των αποφάσεων** που λαμβάνονται προκειμένου να επιτύχουμε έναν συγκεκριμένο στόχο, είτε αυτός είναι για παράδειγμα η τήρηση ενός ορίου του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, είτε η λήψη μέτρων πρόληψης για την ελάττωση της επικινδυνότητας.

Μεγάλος προβληματισμός, που χρίζει σύντομης αναφοράς, είναι σε εξέλιξη σε σχέση με τις διαφορετικές προσεγγίσεις του όρου «Διαχείριση». Επίκεντρο αυτού του προβληματισμού είναι η προσπάθεια προσέγγισης και «διαχείρισης» κοινωνικών ζητημάτων με αποκλειστικά οικονομικούς και μαθηματικούς όρους (μαθηματικά μοντέλα). Η προσπάθεια ποσοτικοποίησης ποιοτικών παραγόντων, δηλαδή η προσπάθεια να εκφραστούν διάφορες υποκειμενικές αξίες σε αντικειμενικές, καθιστά την «Διαχείριση» επίκεντρο ουσιώδους κριτικής.

Μπορεί άραγε να ποσοτικοποιηθεί μία ποιοτική παράμετρος; Είναι δυνατόν ποιοτικές και «ανεκτίμητες» παράμετροι όπως η ανθρώπινη ζωή ή το περιβάλλον να αναχθούν σε χρηματοοικονομικά μεγέθη, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση ευαισθησίας (κόστος /όφελος).

Είναι βέβαιο πως ο ρόλος του Μηχανικού στην σύγχρονη κοινωνία τον φέρνει αντιμέτωπο με μία σειρά προβλήματα τα οποία καλείται να επιλύσει με ρεαλιστικό τρόπο. Ωστόσο ο επιστήμονας Μηχανικός δεν κινείται σε γυάλα, απομονωμένος από τα κοινωνικά προβλήματα τα οποία καλείται σε τελική ανάλυση να λύσει, αλλά πρέπει να πάρει θέση στα κρίσιμα αυτά ερωτήματα. Ολοκληρώνοντας και δεδομένου πως η κοινωνική ανάλυση του περιεχομένου της Διαχείρισης ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτής της εργασίας, μπορεί να ειπωθεί πως η «Διαχείριση» των σημαντικών προβλημάτων της ανθρωπότητας, όπως για παράδειγμα είναι το περιβαλλοντικό ζήτημα, πρέπει να γίνεται πάντα με κριτήρια και όρους ανθρωποκεντρικούς και όχι όρους κερδοφορίας, προκειμένου να επιλύονται πάντα προς όφελος του τελικού αποδέκτη της «Διαχείρισης», που είναι ο ίδιος ο άνθρωπος.

1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (RISK)

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί της επικινδυνότητας ανάλογα με την προσέγγιση του ζητήματος. Από την σκοπιά ενός Μηχανικού, επικινδυνότητα είναι **«η πιθανότητα να συμβεί ένα περιστατικό που θα έχει επίδραση στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Η επικινδυνότητα υπολογίζεται με όρους πιθανοτήτων και συνεπειών»**^[3]. Συνεπώς η επικινδυνότητα είναι μία έννοια που συντίθεται από τους παράγοντες «κίνδυνος» (δηλαδή ανεπιθύμητες επιπτώσεις) και «πιθανότητες πραγματοποίησης» του συγκεκριμένου κινδύνου.*

Συγκεκριμενοποιώντας τον παραπάνω ορισμό, μπορούμε να χωρίσουμε την έννοια «επικινδυνότητα» στις παρακάτω κατηγορίες, τις οποίες και ορίζουμε^[3]:

- **Φυσικός κίνδυνος:** Η πιθανότητα εμφάνισης ενός εν δυνάμει καταστροφικού φαινομένου, σε μία συγκεκριμένη περίοδο και σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Ο κίνδυνος δεν νοείται μόνο σαν ένα φυσικό καταστροφικό φαινόμενο, αλλά και ως οποιαδήποτε κατάσταση που μπορεί να επιφέρει συγκεκριμένες

* Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στον κίνδυνο (hazard) και στην επικινδυνότητα (risk) καθώς η δεύτερη υποδηλώνει την πιθανότητα του να συμβεί ο συγκεκριμένος κίνδυνος και περιλαμβάνει παράγοντες όπως είναι τα στοιχεία που τίθενται υπό κίνδυνο και ο αναμενόμενος βαθμός απωλειών. Αρκετές φορές ωστόσο στην ελληνική βιβλιογραφία η έννοια «κίνδυνος» χρησιμοποιείται αντί της «επικινδυνότητας»

επιπτώσεις στην περιοχή της μελέτης (για παράδειγμα η διαρροή χημικών από μία Χημική Βιομηχανία).

- **Τρωτότητα:** Ο βαθμός των απωλειών ενός συγκεκριμένου στοιχείου που τίθεται σε κίνδυνο από την εμφάνιση ενός φυσικού φαινομένου συγκεκριμένου μεγέθους.
- **Στοιχεία υπό κίνδυνο:** Τέτοια είναι ο πληθυσμός, τα κτίρια, τα δίκτυα κοινής ωφελείας (δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, τηλεπικοινωνιών, μεταφορών κλπ) οι οικονομικές δραστηριότητες, οι δημόσιες υπηρεσίες, που κινδυνεύουν σε μία συγκεκριμένη περιοχή
- **Συγκεκριμένη επικινδυνότητα:** Ο αναμενόμενος βαθμός απωλειών λόγω της εμφάνισης συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου.
- **Επικινδυνότητα (ή Ολική Επικινδυνότητα):** Ο αναμενόμενος αριθμός ανθρώπινων απωλειών, υλικών καταστροφών και οικονομικών απωλειών, λόγω της εμφάνισης ενός συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου ή μιας άλλης επικίνδυνης κατάστασης στην περιοχή της μελέτης.

Συνεπώς η **Επικινδυνότητα (Risk)** είναι μία συνάρτηση τριών παραγόντων: του κινδύνου (**Hazard**), των στοιχείων που εκτίθενται σε κίνδυνο (**Elements at Risk**) και της τρωτότητας (**Vulnerability**) αυτών των στοιχείων.

$\text{RISK} = f(\text{Hazard, Elements at risk, Vulnerability})$

1.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

1.3.1 Ελάττωση των αποτελεσμάτων μιας φυσικής καταστροφής

Με την έννοια ελάττωση των αποτελεσμάτων μιας φυσικής καταστροφής εννοούμε την προσπάθεια να ελαχιστοποιήσουμε όλες τις απώλειες των στοιχείων εκείνων που τίθενται υπό κίνδυνο.

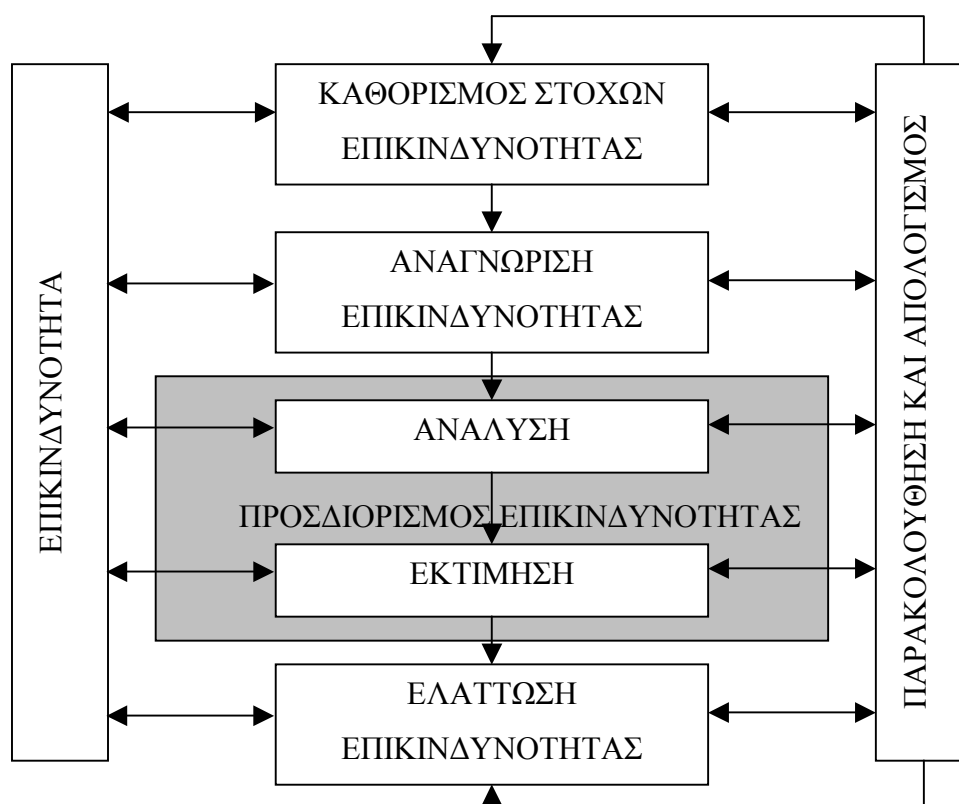
Ο Μηχανικός που διαχειρίζεται μία κατάσταση κινδύνου, μόνο να μετριάσει μπορεί τα αποτελέσματα των ακραίων φυσικών φαινομένων καθώς αυτά είναι πολύ συχνά

απόλυτα καταστροφικά. Γι' αυτό και ο όρος ελάττωση (ή συχνά «μετριασμός») αποδίδει με ρεαλιστικό τρόπο τα αποτελέσματα της Διαχείρισης Κινδύνου. Με τις κατάλληλες στρατηγικές ανάπτυξης ενός καλού σχεδιασμού άμεσης δράσης, αλλά και πρόληψης όπου αυτό είναι δυνατόν, η αβεβαιότητα που υπάρχει σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

Αυτός ουσιαστικά είναι ο στόχος της Διαχείρισης Επικινδυνότητας. Δηλαδή η μείωση κάθε ενός από τους τρεις παράγοντες που ορίζουν την επικινδυνότητα: του κινδύνου (δηλαδή των ανεπιθύμητων συνεπειών του), των στοιχείων που εκτίθενται σε κίνδυνο και της τρωτότητα αυτών των στοιχείων.

1.3.2 Διαχείριση επικινδυνότητας (Risk Management)

Η Διαχείριση Επικινδυνότητας (Κανονισμοί της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας AS/NZS 4360: 1999) περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Σχήμα 1.1):



Σχήμα 1.1: Τα στάδια της Διαχείρισης επικινδυνότητας

Ουσιαστικά ο όρος «Διαχείριση Επικινδυνότητας» περιλαμβάνει την λήψη αποφάσεων που σκοπεύουν στην αλλαγή του επιπέδου της επικινδυνότητας.^[4]

Αναλυτικότερα τα στάδια της Διαχείρισης Επικινδυνότητας έχουν ως εξής:

Καθορισμός γενικού πλαισίου: Πρόκειται για το στάδιο του καθορισμού των στόχων της συγκεκριμένης προσπάθειας διαχείρισης, των αναγκών που απαιτούν την λήψη αποφάσεων, του καθορισμού του είδους και των κριτηρίων της διαχείρισης και της λήψης των πολιτικών αποφάσεων που θα ορίσουν το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η μελέτη.

Αναγνώριση επικινδυνότητας: Η βάση για την αναγνώριση της επικινδυνότητας σε μία περιοχή, είναι η συλλογή, η επεξεργασία, η μελέτη και η παρακολούθηση όλων των καταστροφικών φαινομένων, καθώς και των επιπτώσεων τους, που έχουν εκδηλωθεί στην περιοχή της μελέτης.

Ανάλυση επικινδυνότητας: Η ανάλυση επικινδυνότητας είναι η προσπάθεια προσδιορισμού της επαναληψιμότητας ενός κινδύνου αλλά και του μεγέθους των συνεπειών του μέσω της συστηματικής χρησιμοποίησης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών.

Εκτίμηση επικινδυνότητας: Πρόκειται για την διαδικασία προσδιορισμού των προτεραιοτήτων της Διαχείρισης Επικινδυνότητας, μέσω υπολογισμού του επιπέδου επικινδυνότητας και της σύγκρισης του με αυτά τα οποία έχουν καθοριστεί ως όρια ασφαλείας ή ως «ανεκτά» επίπεδα επικινδυνότητας. Η εκτίμηση επικινδυνότητας, μαζί με την ανάλυση επικινδυνότητας αποτελούν το στάδιο του **προσδιορισμού** της επικινδυνότητας που είναι η «καρδιά» της Διαχείρισης επικινδυνότητας και θα εξεταστούν αναλυτικότερα παρακάτω.

Ελάττωση (μετριασμός) της επικινδυνότητας: Πρόκειται για όλα εκείνα τα μέτρα και τις στρατηγικές που στοχεύουν στην ελάττωση της επικινδυνότητας. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν: (α) ανάπτυξη ή βελτίωση συστημάτων παρακολούθησης της εξέλιξης καταστροφικών φαινομένων και συστηματική καταγραφή των

πληροφοριών, (β)προγράμματα ενημέρωσης και αφύπνισης του πληθυσμού συμπεριλαμβανομένων και ασκήσεων ετοιμότητας, βασισμένων σε ρεαλιστικά σενάρια, (γ) σχέδια έκτακτης ανάγκης που συμπεριλαμβάνουν την κινητοποίηση του κρατικού μηχανισμού (π.χ. σχέδιο «Ξενοκράτης»), (δ)σχεδιασμός της ανάπτυξης, αλλά και προστασία των κρίσιμων σημείων μιας περιοχής (για παράδειγμα νοσοκομεία, σταθμοί πυροσβεστικής, χώροι συγκέντρωσης κλπ) και (ε) ενίσχυση, προστασία αλλά και περαιτέρω ανάπτυξη των δικτύων κοινής ωφελείας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον παράγοντα επικινδυνότητα.

Η Διαχείριση Επικινδυνότητας δεν νοείται ως μία στατική, αλλά ως μία **δυναμική διαδικασία**, συνεπώς όλα τα παραπάνω στάδια της Διαχείρισης υπόκεινται σε συνεχή παρακολούθηση, αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους και αλλαγές στρατηγικής όπου χρειάζεται. Η διαδικασία της διαχείρισης τέλος ενημερώνεται συνεχώς από νέες πληροφορίες που συλλέγονται σε σχέση με το φαινόμενο που μελετάται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

2.1 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ - ΓΕΝΙΚΑ

2.1.1 Ορισμός, γέννηση σεισμών

«Σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων από φυσικές αιτίες που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης.»^[5]

Η θεωρία που περιγράφει περισσότερο ολοκληρωμένα την σεισμική δραστηριότητα είναι η θεωρία της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών. Σύμφωνα με αυτή, οι σεισμοί γεννιούνται στην λιθόσφαιρα και εντοπίζονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Η κίνηση των Λιθοσφαιρικών πλακών (ΟΑΣΠ)

Τα αίτια κίνησής τους πιθανολογείται πως είναι οι οριζόντιες εφαπτομενικές κινήσεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς. Τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα. Η κίνηση των

λιθοσφαιρικών πλακών μπορεί να είναι είτε εφαπτομενική, είτε να τις οδηγεί σε απόκλιση ή σύγκλιση.

Λόγω της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών, τα πετρώματα που βρίσκονται στις παρυφές τους παραμορφώνονται εξαιτίας των τεραστίων ποσών δυναμικής ενέργειας που αναπτύσσονται στις περιοχές αυτές. Αποτέλεσμα της συσσώρευσης αυτής της ενέργειας (ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης πετρωμάτων), είναι η ανάπτυξη μεγάλων αυξανόμενων τάσεων. Στο σημείο στο οποίο οι τάσεις αυτές υπερβούν το όριο αντοχής των πετρωμάτων, επέρχεται θραύση και απότομη σχετική κίνηση των τμημάτων στα οποία ασκούνται οι τάσεις έως ότου επέλθει ισορροπία σε νέες θέσεις. Αυτή είναι η χρονική στιγμή γέννησης του σεισμού, ενώ το σεισμικό ρήγμα είναι η επιφάνεια που προκύπτει από την απότομη σχετική κίνηση του λιθοσφαιρικού υλικού. Η εστία (ή υπόκεντρο) του σεισμού είναι το σημείο εκείνο στο οποίο, κατά προσέγγιση, εκδηλώνεται αυτή η κίνηση των πετρωμάτων. Το επίκεντρο του σεισμού είναι το σημείο στην επιφάνεια της γης, στο οποίο καταλήγει η κατακόρυφη προβολή της εστίας. Εστιακό βάθος, τέλος, είναι η απόσταση της εστίας από το επίκεντρο του σεισμού (Εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.2 Υπόκεντρο, Επίκεντρο και επιφάνεια διάρρηξης (ΟΑΣΠ)

2.1.2 Μέτρηση σεισμικής δραστηριότητας

Η μέτρηση της σεισμικής δραστηριότητας γίνεται με δύο ποσότητες: την **ένταση** και το **μέγεθος** του σεισμού.

Το Μέγεθος (Magnitude) ενός σεισμού είναι το μέτρο της ενέργειας που εκλύεται από την εστία κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης. Το μέγεθος προσδιορίζεται με μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων των σεισμικών κυμάτων όπως το πλάτος, η περίοδος και η διάρκεια. Οι κλίμακες μέτρησης του μεγέθους ενός σεισμού είναι:

- Η κλίμακα τοπικού μεγέθους ή κλίμακα Richter, M_L
- Η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους M_s
- Η κλίμακα χωρικού μεγέθους m_B
- Η κλίμακα μεγέθους διάρκειας και M_T
- Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής M_W

Η δεύτερη ποσότητα με την οποία μετράμε την σεισμική δραστηριότητα είναι η **ένταση** του σεισμού (intensity). Η ένταση ενός σεισμού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, η γεωλογία της περιοχής κλπ. Η ένταση είναι **το μέτρο των επιπτώσεων της σεισμικής δόνησης στους ανθρώπους και τις τεχνικές κατασκευές**.

Η βασική κλίμακα μέτρησης της έντασης μίας σεισμικής δόνησης είναι η κλίμακα Mercalli (MM, 1931) η περιγραφή της οποίας δίδεται στο Παράρτημα Ι. Η κλίμακα Mercalli είναι δωδεκαβάθμια και κάθε βαθμός περιγράφει τις συγκεκριμένες επιπτώσεις της σεισμικής δραστηριότητας. Άλλες κλίμακες μέτρησης της έντασης ενός σεισμού είναι οι κλίμακες Medvedev, Sponheuer, Karnik (MSK, επίσης δωδεκαβάθμια) και η 8βάθμια JMA (Japanese Meteorological Agency) που χρησιμοποιείται από τους Ιάπωνες. Το 1992 το Συμβούλιο της Ευρώπης υιοθέτησε την κλίμακα EMS (European Macroseismic Scale) που αποτελεί εξέλιξη της MSK και έχει προσαρμοστεί σε ευρωπαϊκά δεδομένα. Στο Παράρτημα Ι υπάρχει επίσης πίνακας συσχέτισης της κλίμακας Mercalli με την κλίμακα MSK.

Η μέτρηση της έντασης ενός σεισμού μπορεί να γίνει και μέσω της μέτρησης της **μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης** (Peak Ground Acceleration – **PGA**). Η εδαφική επιτάχυνση εκφράζεται σαν πολλαπλάσιο του g (επιτάχυνση της βαρύτητας). Επίσης άλλοι τρόποι έκφρασης της έντασης μίας σεισμικής δόνησης είναι η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity - PGV), η μέγιστη εδαφική μετατόπιση (Peak Ground Displacement – PGD) αλλά και η φασματική επιτάχυνση (Spectral acceleration).

Το μέγεθος και η ένταση ενός σεισμού μπορούν να συσχετιστούν με τη βοήθεια διάφορων μαθηματικών σχέσεων που προκύπτουν μέσα από τα στατιστικά στοιχεία της σεισμικότητας της κάθε περιοχής. Για τον ελληνικό χώρο έχει βρεθεί πως τα δύο μεγέθη συσχετίζονται μέσω της σχέσης:

$$I_0 = \alpha + \beta M$$

όπου I_0 η επικεντρική ένταση του σεισμού, ενώ για τους επιφανειακούς σεισμούς βρέθηκαν οι τιμές των συντελεστών να είναι: $\alpha=1,23$ και $\beta=1,18$ (Παπαϊωάννου, X., 1984)^[6].

Από την εκτίμηση της έντασης ενός σεισμού εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα ένα εκ των οποίων είναι οι **ισόσεισμες καμπύλες** οι οποίες παρέχουν την κατανομή των επιπτώσεων της σεισμικής δραστηριότητας (ένταση) σε διάφορες αποστάσεις από το επίκεντρο του σεισμού και παρέχουν έτσι σημαντικές πληροφορίες για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας. Στην Εικόνα 2.3 βλέπουμε τις ισόσειστες καμπύλες του σεισμού του Αιγίου το 1995 (κλίμακα Mercalli)



Εικόνα 2.3 Ισόσειστες καμπύλες του σεισμού του Αιγαίου 1997 (Papazachos B.C. et al, 1997).

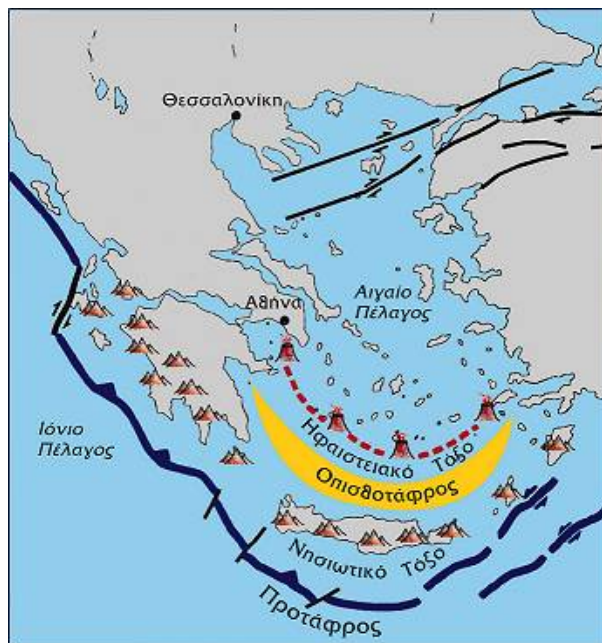
2.1.3 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο

Ο ελληνικός χώρος είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας καθώς βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική. 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, και την Χιλή.



Σχήμα 2.4 Κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών (Papazachos B. C. et al 1997)

Η έντονη σεισμικότητα οφείλεται στην γεωγραφική θέση της Ελλάδας σε σχέση με τις λιθοσφαιρικές πλάκες. Συγκεκριμένα η Ελλάδα βρίσκεται στο όριο επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο, με την Αφρικανική πλάκα τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Το όριο αυτό είναι το **ελληνικό τόξο** το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5 Το ελληνικό τόξο (Παπανικολάου Δ., 1998).

Στην περιοχή του ελληνικού τόξου, οι δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν με σχετική ταχύτητα 2,5 cm ανά έτος. Η ωκεάνια πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου βυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.5, το ελληνικό τόξο αποτελείται από το νησιωτικό τόξο, την οπισθόταφρο, το ηφαιστειακό τόξο και την πρόταφρο.

2.1.4 Η σεισμική δραστηριότητα στο ΝΑ Αιγαίο (περιοχή νήσου Κρήτης)

Η νήσος Κρήτη αποτελεί μέρος του νησιωτικού τόξου που σχηματίζεται από μία σειρά διαδοχικών νησιών, από την Ρόδο μέχρι και τα νησιά του Ιονίου (πλην της

νήσου Κέρκυρας) Το νησιωτικό αυτό τόξο βρίσκεται στο όριο επαφής των δύο λιθοσφαιρικών πλακών (Ευρασιατικής και Αφρικανικής) και δημιουργήθηκε από την ανύψωση ιζηματογενών κυρίως πετρωμάτων της Ευρασιατικής πλάκας. Βρίσκεται δε ανάμεσα σε δύο συστήματα τάφρων: της Ελληνικής τάφρου (ή πρόταφρος, ή τάφρος) και της οπισθοτάφρου. Οι τάφροι είναι βαθιές θαλάσσιες λεκάνες, με βάθη που ξεπερνούν τα 4000m για την πρόταφρο και τα 2000m για την οπισθοτάφρο. Η σχηματική απεικόνιση τομής του ελληνικού τόξου δίνεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6 Τομή του ελληνικού τόξου^[5]

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης σε σχέση με το ελληνικό τόξο, στην νήσο Κρήτη παρατηρείται έντονη σεισμική δραστηριότητα που οφείλεται κυρίως στις συμπιεστικές δυνάμεις, λόγω της σύγκλισης της Αφρικανικής με της Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα. Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4, η κατανομή των epicέντρων των επιφανειακών σεισμών φανερώνει μία έντονη σεισμική δραστηριότητα νότια της Κρήτης, κατά μήκος της ελληνικής τάφρου.

2.2 ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ (SEISMIC HAZARD)

2.2.1 Ορισμός - Αποτελέσματα

Σεισμικός κίνδυνος είναι ο αναμενόμενος βαθμός σεισμικών βλαβών που πρόκειται να υποστεί μια τεχνική κατασκευή ή και γενικότερα το σύνολο των επιπτώσεων στις ανθρώπινες δραστηριότητες, εξαιτίας ενός σεισμού.^[6] Ο Σεισμικός κίνδυνος είναι μία συνάρτηση των εξής παραμέτρων: των **ιδιοτήτων της πηγής**, του **μέσου διάδοσης** και των **τοπικών συνθηκών** σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Οι επιπτώσεις των σεισμικών δονήσεων, στις κατασκευές, στα ύδατα (υπόγεια ή επιφανειακά) και στον πληθυσμό, ονομάζονται επίσης και **Μακροσεισμικά αποτελέσματα**, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα εξής:

Στο **έδαφος** προκαλούνται ρωγμές, χάσματα (δηλ. τα επιφανειακά ίχνη των σεισμικών ρηγμάτων), κατολισθήσεις, εδαφικές κατακρημνίσεις, ρευστοποίηση του εδάφους, υψομετρικές μεταβολές (καθιζήσεις ή εξάρσεις του εδάφους).

Στα **ύδατα**, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι άμεσες ή έμμεσες. Οι άμεσες επιπτώσεις προκαλούνται από την διέλευση των σεισμικών κυμάτων μέσα από τα ύδατα (υπόγεια ή επιφανειακά) και αφορούν ταλαντώσεις του νερού, κυματισμό σε λίμνες και κλειστούς χώρους. Οι έμμεσες οφείλονται στις εδαφικές διαταράξεις που επηρεάζουν και τα ύδατα (μεταβολή στην παροχή των πηγών, αποξήρανση ελών, λιμνών, ποταμών, απόφραξη ποταμών από κατολισθήσεις εδαφών και δημιουργία λιμνών, ελών και πλημμύρων, κλπ.). Επίσης στα θαλάσσια ύδατα προκαλούνται θαλάσσιοι σεισμοί (δονήσεις μικρής περιόδου που οφείλονται στη διέλευση των σεισμικών κυμάτων μέσα από το θαλάσσιο νερό) και θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunamis), που έχουν μεγάλο μήκος κύματος και διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας.

Στις **κατασκευές**, οι βλάβες μπορεί να είναι άμεσες ή έμμεσες (Εικόνα 2.7). Οι άμεσες προκαλούνται από την διέλευση των σεισμικών κυμάτων από τα θεμέλια της κατασκευής και έχουν σαν αποτέλεσμα την πρόκληση βλαβών λιγότερο ή περισσότερο σοβαρών. Σοβαρές είναι βλάβες, οι οποίες προκαλούνται στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής και οι οποίες αρκετές φορές είναι μη αντιστρέψιμες.

Αντιστρέψιμες βλάβες είναι εκείνες οι οποίες δεν έχουν βλάψει ανεπανόρθωτα τον φέροντα οργανισμό ή οι βλάβες στην τοιχοποιία.



Εικόνα 2.7 Τα Μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών στα κατασκευές

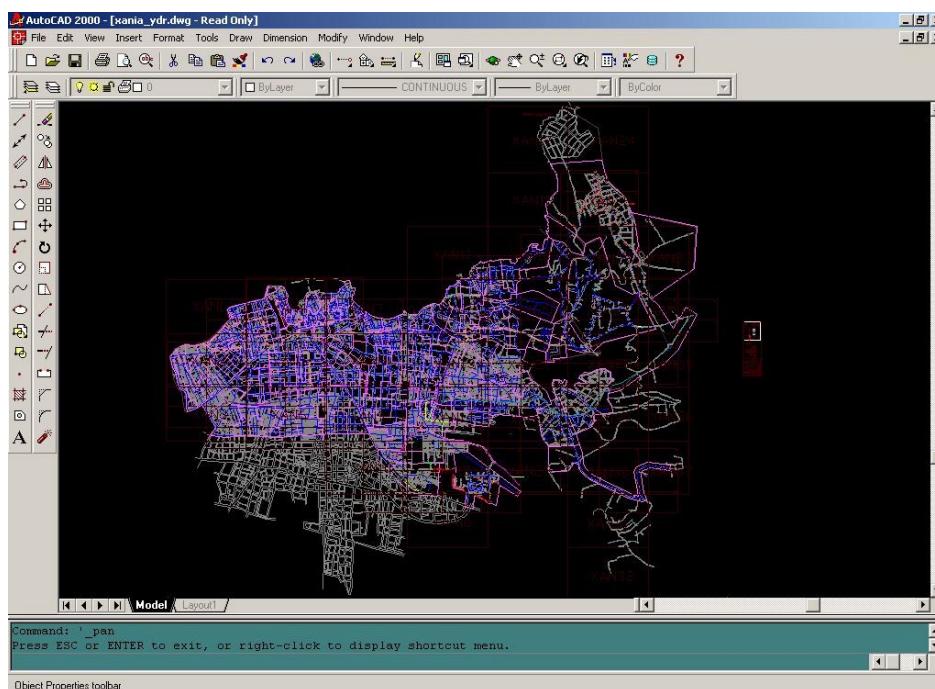
Στον **πληθυσμό** οι σεισμικές δονήσεις συντελούν στις απώλειες ανθρώπινων ζώων και σε τραυματισμούς από ρίψεις αντικειμένων, κατολισθήσεις, καταρρεύσεις κατασκευών κλπ. Τα Μακροσεισμικά αποτελέσματα ενδέχεται να έχουν σοβαρές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις σε τμήματα του πληθυσμού λόγω καταστροφών σε ιδιωτικές περιουσίες. Επίσης οι σεισμοί προκαλούν στον πληθυσμό φόβο, πανικό και νευρική υπερδιέγερση.

Στην **οικονομία** οι επιπτώσεις ενός σεισμού είναι πολυδιάστατες. Κυρίως επικεντρώνονται στην αποκατάσταση των καταστροφών που προκάλεσαν τα σεισμικά κύματα στις δημόσιες κατασκευές και στα δίκτυα κοινής ωφελείας, στην κινητοποίηση του κρατικού μηχανισμού και στα μέτρα ανακούφισης των πληγέντων.

Τέλος στα δίκτυα κοινής ωφελείας οι επιπτώσεις αφορούν αστοχίες στις κατασκευές που μπορούν όμως να έχουν άμεσες επιπτώσεις στον πληθυσμό αλλά και στην λειτουργία των αστικών περιοχών. Οι επιπτώσεις στα δίκτυα κοινής ωφελείας (που αποτελούν αντικείμενο αυτής της εργασίας) εξετάζονται στην επόμενη παράγραφο.

2.2.2 Σεισμικός Κίνδυνος και Δίκτυα Κοινής Ωφελείας

Δίκτυα Κοινής Ωφελείας (ΔΚΩ) ονομάζονται όλες εκείνες οι κατασκευές, οι απαραίτητες για την εύρυθμη λειτουργία μιας αστικής περιοχής όπως είναι τα δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου, ηλεκτρικού, μεταφορών, τηλεπικοινωνιών κλπ. Ο Σεισμικός Κίνδυνος στα Δίκτυα Κοινής Ωφελείας έχει γίνει τα τελευταία χρόνια αντικείμενο επιστημονικής μελέτης καθώς πιθανές αστοχίες σε αυτά, συνεπάγονται τεράστιες επιπτώσεις για τον πληθυσμό. Στην Σεισμική Μηχανική τα δίκτυα αυτά ονομάζονται και “**lifelines**” (γραμμές ζωής) ακριβώς γιατί αυτός ο όρος αποτυπώνει την σημασία τους για την λειτουργία μιας αστικής περιοχής και συνεπώς την ιδιαίτερη επιστημονική προσέγγιση στην διαχείριση της επικινδυνότητας που αφορά τα ΔΚΩ.



Εικόνα 2.8 Τα ΔΚΩ του Δήμου Χανίων σχεδιασμένα σε AUTOCAD (Δ.Ε.Υ.Α.Χ.)

Τα Μακροσεισμικά αποτελέσματα στα ΔΚΩ έχουν βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες επιπτώσεις στις αστικές περιοχές:

Οι αστοχίες στα ΔΚΩ μπορούν να συντελέσουν στην διακοπή των επικοινωνιών και του ηλεκτρικού σε περιοχές που επλήγησαν οδηγώντας στην αποδιοργάνωση του κρατικού μηχανισμού, στην διακοπή λειτουργίας σημαντικών υπηρεσιών, στην αναποτελεσματικότητα των σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Οι τηλεπικοινωνίες είναι

ζωτικής σημασίας παράγοντας για τον πληθυσμό τις πρώτες χρονικές στιγμές μετά το πέρας του σεισμού, καθώς μπορούν να συντελέσουν στην επικοινωνία όσον κινδυνεύουν με τις σωστικές αρχές. Ζωτικής σημασίας είναι και το δίκτυο ηλεκτροδότησης καθώς η έλλειψη ηλεκτρικού ρεύματος δυσχεραίνει το έργο των δυνάμεων της πολιτικής προστασίας τις πρώτες ώρες μετά από ένα σεισμό. Αστοχίες στο ηλεκτρικό ρεύμα έχουν στο παρελθόν θεωρηθεί υπεύθυνες για την πρόκληση πυρκαγιών, λόγω σπινθήρων.

Δίκτυα όπως είναι αυτό του φυσικού αερίου συνιστούν έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους σε αστικές περιοχές, καθώς είναι η βασική αιτία για την πρόκληση πυρκαγιών λόγω αστοχιών και διαρροών. Ειδικοί κανονισμοί έχουν θεσπιστεί τα τελευταία χρόνια για την προστασία από τις πυρκαγιές λόγω διαρροών από το δίκτυο φυσικού αερίου, ενώ η χρήση ειδικών βαλβίδων διακοπής της λειτουργίας σε περίπτωση σεισμού είναι απαραίτητη για την ασφάλεια του πληθυσμού και του δικτύου.



Εικόνα 2.9 Μακροσεισμικά αποτελέσματα σε ΔΚΩ

Το οδικό δίκτυο αλλά και τα υπόλοιπα δίκτυα μεταφορών (Εικόνα 2.9) είναι προφανώς από τους σημαντικότερους παράγοντες για την κρίσιμη λειτουργία της περιοχής. Αστοχίες στο οδικό δίκτυο μπορεί να σημαίνουν αποκοπή ολόκληρων περιοχών από κέντρα τροφοδοσίας ή παροχής υπηρεσιών και βοήθειας γεγονός που μπορεί να αποδειχτεί κρίσιμος παράγοντας τις πρώτες ώρες μετά από έναν σεισμό, ιδιαίτερα αν ταυτόχρονα υπάρχουν αστοχίες και σε άλλα ΔΚΩ. Ο χρόνος αποκατάστασης των ζημιών είναι συνήθως μεγάλος και πολυδάπανος.

Τέλος αστοχίες στα δίκτυα ύδρευσης, συντελούν στην διακοπή τις παροχής ύδατος σε περιοχές που επλήγησαν για αρκετές ημέρες μετά το πέρας της σεισμικής δραστηριότητας. Η έλλειψη πόσιμου νερού σε κρίσιμες περιοχές (για στα παράδειγμα νοσοκομεία ή στους πυροσβεστικούς κρουνούς) αποτελεί υψηλό παράγοντα κινδύνου. Επίσης, αστοχίες στο δίκτυο ύδρευσης ευθύνονται για την πρόκληση πλημμύρων σε οικίες αλλά και σε οδικά δίκτυα, γεγονός που συντελεί στην αύξηση της επικινδυνότητας τις πρώτες ώρες μετά από έναν σεισμό. Οι επισκευές στα δίκτυα ύδρευσης είναι διαδικασίες χρονοβόρες δύσκολες και δαπανηρές με συνέπεια να παρατηρούνται συχνά μεγάλοι χρόνοι αποκατάστασης.

Είναι φανερό πως τα μακροσεισμικά αποτελέσματα στα ΔΚΩ έχουν άμεσες επιπτώσεις στον πληθυσμό αλλά και στην οικονομία μιας περιοχής, ενώ είναι ένας παράγοντας που αυξάνει κατά μεγάλο βαθμό την επικινδυνότητα ενός σεισμικού φαινομένου. Ιδιαίτερα αν τα παραπάνω μακροσεισμικά αποτελέσματα εξεταστούν **συνδυαστικά**, σε ένα πιθανό για τον ελληνικό χώρο σενάριο σεισμικού κινδύνου, γίνεται αντιληπτό πως οι επιπτώσεις του σεισμού πολλαπλασιάζονται. Αν και μέχρι σήμερα ο αντισεισμικός σχεδιασμός επικεντρωνόταν μόνο στις ιδιωτικές κατασκευές ή σε κατασκευές-παροχές των ΔΚΩ υψηλού κινδύνου (φράγματα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί, δεξαμενές κα), έχει αποδειχτεί ότι οι αστοχίες στο ίδιο το δίκτυο πολύ συχνά έχουν ανάλογες επιπτώσεις στον πληθυσμό και την οικονομία μιας περιοχής. Για τους παραπάνω λόγους τα ΔΚΩ είναι ένα από τα κριτήρια της ανάλυσης επικινδυνότητας για το οποίο λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα, ενώ τα μακροσεισμικά αποτελέσματα σε αυτά αποτελούν ένα σχετικά νέο πεδίο της επιστημονικής έρευνας.

2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (SEISMIC RISK)

2.3.1 Ορισμός

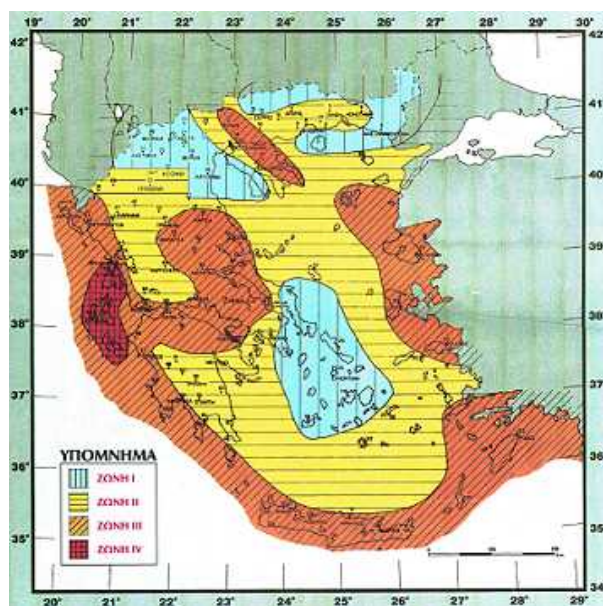
Η έννοια της σεισμικής επικινδυνότητας περιγράφεται από το **μέγεθος της σεισμικής δόνησης που έχει μία συγκεκριμένη πιθανότητα να ξεπεραστεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και σε συγκεκριμένη περιοχή^[3]**. Συνήθως, η σεισμική επικινδυνότητα περιγράφεται σαν το μέγεθος μιας σεισμικής δόνησης που

έχει μία πιθανότητα 10 % να ξεπεραστεί τα επόμενα 50 χρόνια. Αντί του μεγέθους δύναται να χρησιμοποιηθούν και άλλες μονάδες μέτρησης, όπως είναι η ένταση, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), η μέγιστη εδαφική μετατόπιση (PGD) και η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV).

2.3.2 Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας.

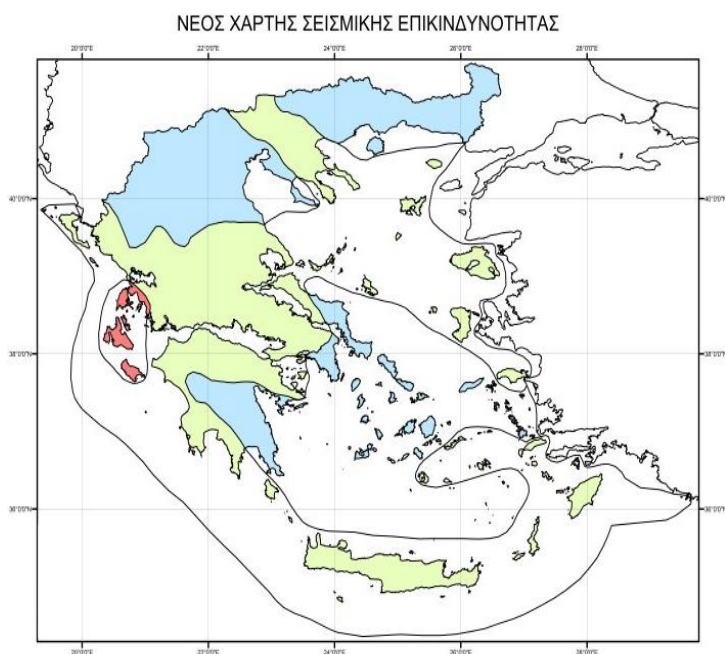
Οι χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας εκφράζουν ακριβώς τον παραπάνω ορισμό, παρουσιάζοντας την **διασπορά των τιμών της ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration/PGA) στην περιοχή της μελέτης**. Οι τιμές αυτές είναι οι τιμές που έχουν μία συγκεκριμένη πιθανότητα να ξεπεραστούν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως 10% να ξεπεραστούν τα επόμενα 50 χρόνια).

Ο Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας που ισχύει σήμερα σχεδιάστηκε την περίοδο 1986-1989, στα πλαίσια σχετικού προγράμματος που είχε αναθέσει ο Ο.Α.Σ.Π. σε σεισμολογικούς φορείς της χώρας (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Ι.Τ.Σ.Α.Κ., Πανεπιστήμιο Αθήνας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), και άρχισε να εφαρμόζεται μαζί με τον νέο αντισεισμικό κανονισμό (NEAK) το 1995. Ο Χάρτης αυτός (Εικόνα 2.10), κατανέμει τον ελληνικό χώρο σε τέσσερις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, τις ζώνες I, II, III, IV, οι οποίες έχουν αντίστοιχα τις εξής τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης: 0.12g, 0.16g, 0.24g και 0.36g (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας)



Εικόνα 2.10 Ισχύον Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας

Μετά τους πρόσφατους καταστροφικούς σεισμούς της τελευταίας 15ετίας, ο ΟΑΣΠ σε συνεργασία με τους σεισμολογικούς φορείς της χώρας, θέσπισε νέο Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Εικόνα 2.11), ο οποίος θα ενσωματωθεί στον Αντισεισμικό Κανονισμό και θα αρχίζει να εφαρμόζεται το 2004.



Εικόνα 2.11 Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Ο νέος χάρτης δημιουργήθηκε προκειμένου να αξιοποιηθεί η επιστημονική γνώση των τελευταίων ετών σε σχέση τόσο με την συλλογή και την επεξεργασία των στοιχείων αυτήν την περίοδο, όσο και με την εξέλιξη της επιστήμης της σεισμολογίας και την εφαρμογή της στα σεισμικά φαινόμενα του Ελλαδικού χώρου. Η δημιουργία του χάρτη ήταν το αποτέλεσμα του προγράμματος «Συλλογή και Επεξεργασία Σεισμολογικών δεδομένων για την σύνταξη του νέου χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας»^[5]. Ο χάρτης συνοδεύεται από πίνακα με τις τιμές της ενεργού επιτάχυνσης στους νομούς και τους δήμους της χώρας.

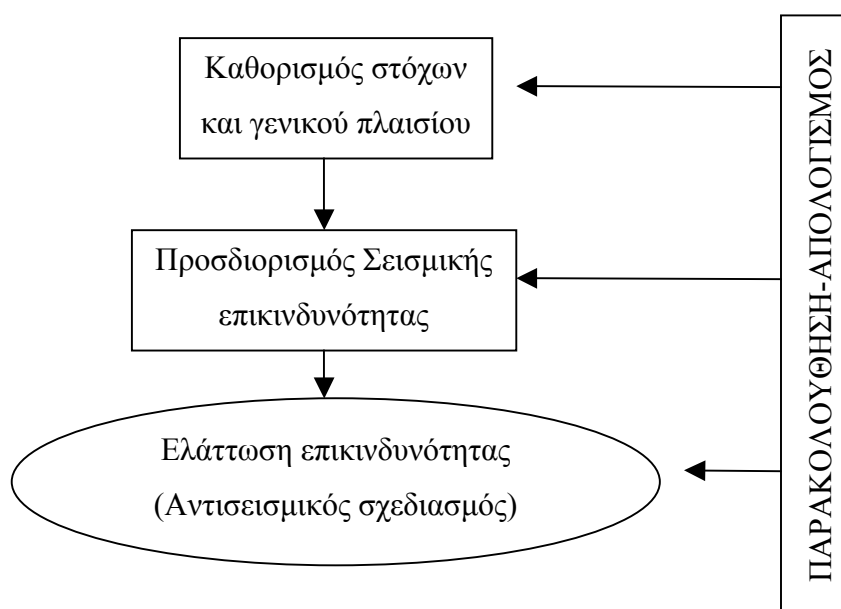
2.3.3 Μικροζωνικές μελέτες.

Οι μικροζωνικές μελέτες αποσκοπούν στην κατάρτιση χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας σε τοπικό επίπεδο (πόλη, δήμος, νομός). Οι μικροζωνικές μελέτες εμπεριέχουν πληροφορίες σε σχέση με την σεισμικότητα αλλά και την σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής, την γεωλογία της εξεταζόμενης περιοχής, τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, την σεισμική απόκριση του εδάφους και πειραματικές μετρήσεις με ειδικό εξοπλισμό που επιβεβαιώνουν ή βελτιώνουν τα δεδομένα της περιοχής. Οι μικροζωνικές μελέτες είναι αναπόσπαστο στοιχείο του Αντισεισμικού Σχεδιασμού και της Διαχείρισης Σεισμικής Επικινδυνότητας και εξετάζονται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 1 για την διαχείριση της επικινδυνότητας, αναπτύσσεται και η μεθοδολογία για την διαχείριση της σεισμικής επικινδυνότητας. Η μεθοδολογία με την οποία προσεγγίζεται το πρόβλημα είναι η εξής:



Διάγραμμα 3.1 Μεθοδολογία προσέγγισης της διαδικασίας Διαχείρισης Σεισμικής Επικινδυνότητας

3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στο πρώτο στάδιο μιας μελέτης για την διαχείριση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία περιοχή, είναι απαραίτητος ο καθορισμός των στόχων της μελέτης. Κύριος στόχος σε μία μελέτη Διαχείρισης Επικινδυνότητας θα πρέπει να είναι η όσο το

δυνατόν μεγαλύτερη προστασία της ανθρώπινης ζωής και των κατασκευών από έναν ενδεχόμενο σεισμό. Αυτό σημαίνει την θέσπιση ειδικών κανονισμών σχεδιασμού, προγραμμάτων ενημέρωσης και σχεδίων κινητοποίησης των δυνάμεων της πολιτικής προστασίας, που να ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Ο βασικός στόχος λοιπόν της διαχείρισης επικινδυνότητας **η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής και η καλύτερη προσαρμογή του Αντισεισμικού Σχεδιασμού στα δεδομένα της περιοχής για την δημιουργία ενός ασφαλέστερου περιβάλλοντος απέναντι στο σεισμικό φαινόμενο.**

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

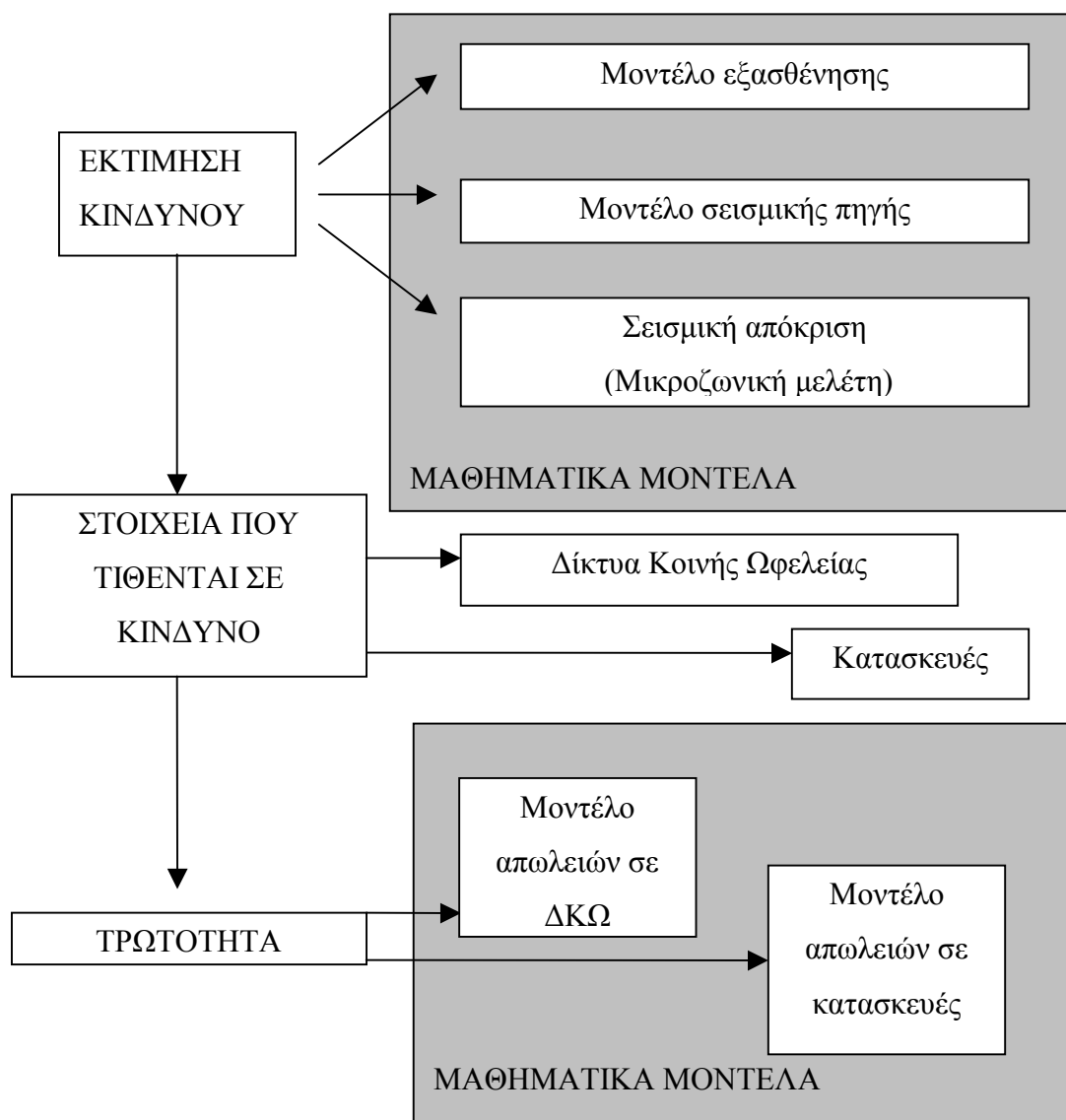
Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, η επικινδυνότητα είναι μία συνάρτηση τριών παραγόντων. Του κινδύνου (με την έννοια των καταστροφικών ή επιβλαβών αποτελεσμάτων αυτού), των αποδεκτών των συνεπειών του κινδύνου (πληθυσμός, τεχνικά έργα, δίκτυα κοινής ωφελείας) και της τρωτότητας των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο (τον βαθμό των απωλειών ή των επιπτώσεων σε κάθε έναν από τους αποδέκτες του κινδύνου). Συνεπώς η σεισμική επικινδυνότητα είναι μία συνάρτηση των εξής παραγόντων: του σεισμικού κινδύνου, των στοιχείων που τίθεται υπό κίνδυνο και των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στα στοιχεία αυτά (τρωτότητα).

Η μεθοδολογία προσδιορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **Εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου** με την μελέτη του ιστορικού σεισμικότητας της περιοχής, την χρήση μαθηματικών μοντέλων και επιστημονικών μελετών για τον υπολογισμό της τοπικής σεισμικότητας, της εξασθένησης των σεισμικών κυμάτων σε συνάρτηση με της απόστασή τους από το επίκεντρο του σεισμού και της σεισμικής συμπεριφοράς των εδαφών στην περιοχή της μελέτης
2. **Προσδιορισμός των στοιχείων** που τίθενται υπό κίνδυνο στην περιοχή της μελέτης

3. **Εκτίμηση των απωλειών** με την χρήση μαθηματικών μοντέλων που προκύπτουν από πειραματικές ή στατιστικές μετρήσεις.

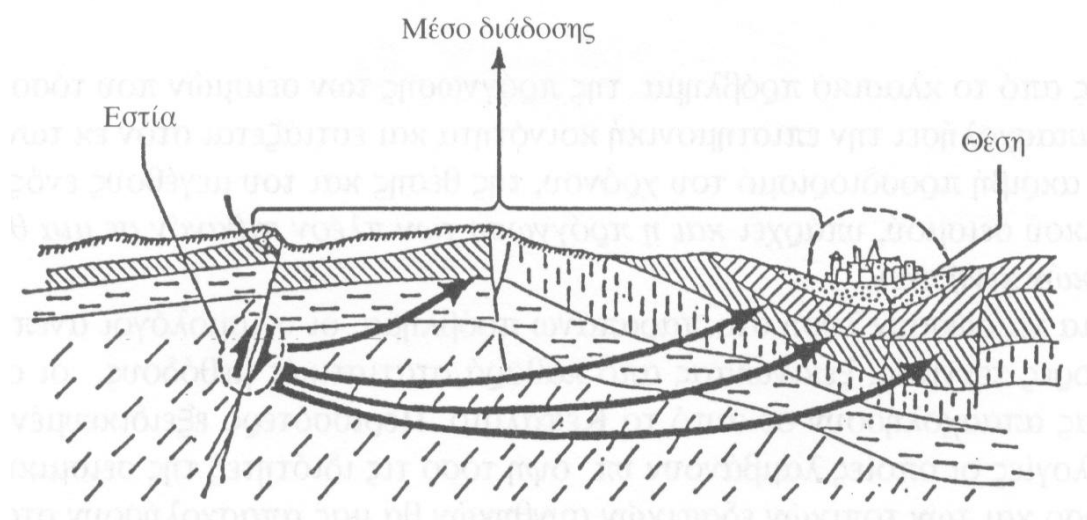
Σχηματικά η μεθοδολογία προσδιορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3.2 Προσδιορισμός Σεισμικής Επικινδυνότητας

3.3.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε μία περιοχή έχει στόχο την έρευνα και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε σχέση με τις πιθανότητες εμφάνισης σεισμικής δραστηριότητας συγκεκριμένης έντασης, αλλά και την απόκριση της περιοχής στις σεισμικές δονήσεις. Τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον σεισμικό κίνδυνο και πρέπει να μελετηθούν: **η σεισμικότητα της περιοχής, η εξασθένηση των σεισμικών κυμάτων (μέσο διάδοσης), η σεισμική απόκριση του εδάφους της εξεταζόμενης περιοχής (μικροζωνική μελέτη)**. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν οι παραπάνω παράγοντες τον σεισμικό κίνδυνο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.3^[7].



Εικόνα 3.3 Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον σεισμικό κίνδυνο

3.3.1.1 Μοντέλο Σεισμικότητας – Ζώνες Σεισμικότητας

Το μοντέλο σεισμικότητας στοχεύει στον **υπολογισμό της πιθανότητας** εμφάνισης ενός σεισμού στο χρόνο και στον χώρο και επιτρέπει την **προσομοίωση** ρεαλιστικών σεισμικών επεισοδίων για κάθε εξεταζόμενη περιοχή.

Για τον προσδιορισμό μιας μαθηματικής σχέσης η οποία να υπολογίζει με ακρίβεια τις πιθανότητες εμφάνισης σεισμού δεδομένου μεγέθους στον χώρο και στον χρόνο, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των **σεισμικών πηγών** και η επιλογή των **Ζωνών Σεισμικότητας** της περιοχής που μελετάται. Οι Ζώνες Σεισμικότητας είναι περιοχές με έντονη και διαχρονική σεισμικότητα, ορίζονται με βάση την γεωλογική σύνθεση

και την θέση του κάθε σημείου της περιοχής σε σχέση με την ιστορική σεισμικότητα. Συνεπώς για τον ακριβή προσδιορισμό των ζωνών, απαιτούνται γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία της περιοχής, προσδιορισμός της ακριβούς θέσεις των ρηγμάτων, πλήρης κατάλογος των ιστορικών σεισμών της περιοχής, αλλά και άλλα μακροσεισμικά στοιχεία, όπως είναι χάρτες ισόσειστων για σεισμούς της περιοχής. Στις Ζώνες Σεισμικότητας θεωρείται πως σεισμοί δεδομένου μεγέθους, έχουν **ίσες πιθανότητες να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε σημείο της καθορισμένης Ζώνης**. Μέσω των Ζωνών Σεισμικότητας προσδιορίζεται το μέγεθος του σεισμού που είναι πιθανότερο να παρουσιαστεί στο μέλλον σε κάθε μία από τις διαφορετικές ζώνες.

Αφού προσδιοριστούν οι ζώνες σεισμικότητας προσδιορίζονται οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε σεισμού συγκεκριμένου μεγέθους σε κάθε ζώνη. Οι πιθανότητες αυτές προσδιορίζονται από την Εξίσωση Επαναφοράς των **Gutenberg-Richter** (1942)^[3] η οποία έχει ως εξής:

$$\log_{10} (\lambda_m) = a - bM_w$$

όπου: M είναι το μέγεθος του σεισμού, λ_m είναι ο μέσος ετήσιος ρυθμός υπέρβασης (το ποσοστό των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο με M_w), a είναι μία σταθερά που περιγράφει το επίπεδο της σεισμικής δραστηριότητας της ζώνης (ο λογάριθμος του αριθμού των σεισμικών επεισοδίων σε ένα έτος) και b σταθερά που περιγράφει την κατανομή των διαφορετικών μεγεθών των σεισμών σε κάθε ζώνη (η κλίση της εξίσωσης Gutenberg-Richter). Η δυσκολία στον υπολογισμό της πιθανότητας της υπέρβασης ενός σεισμικού μεγέθους σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από την σχέσης Gutenberg-Richter έγκειται στον ακριβή υπολογισμό των παραμέτρων a και b . Οι παράμετροι αυτοί εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Ο a εξαρτάται κυρίως από την χρονική περίοδο των παρατηρήσεων και την έκταση της περιοχής της μελέτης, ενώ ο b εξαρτάται από το έδαφος και τις μηχανικές ιδιότητές του στην περιοχή του σεισμού, το βάθος του σεισμού, την γεωλογική ηλικία της περιοχής και άλλες παραμέτρους που είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστούν κάθε φορά. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητος ο υπολογισμός τους μέσα από την θεωρία των πιθανοτήτων. Για τον σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η συλλογή αρκετών μακροσεισμικών στοιχείων της περιοχής και η ύπαρξη πλήρων καταλόγων ιστορικής σεισμικότητας ακόμα και για γεγονότα που δεν έχουν καταγραφεί από

σειсмоγράφους, αλλά υπάρχουν καταγεγραμμένες ιστορικές μαρτυρίες σε σχέση με την έντασή τους σε κάθε περιοχή (Παράρτημα IV).

Ο πλέον συνήθης τρόπος υπολογισμού των παραμέτρων a και b από τους καταλόγους ιστορικής σεισμικότητας της περιοχής είναι μέσω της **τεχνικής των ακραίων τιμών**^[7]. Σύμφωνα με αυτή, τα δεδομένα χωρίζονται σε ίσα ετήσια διαστήματα, από τα οποία επιλέγουμε το μεγαλύτερο μέγεθος και κατατάσσουμε όλα τα μέγιστα μεγέθη σε αυξανόμενη κλίμακα, αντιστοιχώντας σε κάθε ένα μία πιθανότητα εμφάνισης P . Η αντιστοίχιση γίνεται με βάση την μεθοδολογία του Gumbel (Παράρτημα II).

Έχοντας υπολογίσει με ακρίβεια την κατανομή των πιθανοτήτων εμφάνισης των διαφορετικών μεγεθών, σε κάθε ζώνη, μπορούμε να προχωρήσουμε στην **προσομοίωση σεισμών για την κάθε ζώνη**.

Η προσομοίωση της σεισμικής δραστηριότητας, η οποία συνήθως γίνεται με ειδικά λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, περιλαμβάνει τα εξής στάδια^[3].

1. Προσδιορισμός του επιθυμητού αριθμού προσομοιώσεων για την κάθε ζώνη: ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τον βαθμό που η κάθε ζώνη επηρεάζει την περιοχή της μελέτης.
2. Προσδιορισμός της γωνίας του σεισμικού ρήγματος. Η γωνία αυτή θεωρείται ίδια για όλη την ζώνη που μελετάται.
3. Προσδιορισμός της θέσης του ρήγματος για κάθε σεισμό που προσομοιώνεται. Οι θέσεις αυτές είναι κατανεμημένες σε όλη τη ζώνη με τυχαίο τρόπο
4. Προσδιορισμός του μεγέθους του κάθε γεγονότος. Τα μεγέθη κατανέμονται ομοιόμορφα ανάμεσα στο μέγιστο και το ελάχιστο αναμενόμενο μέγεθος που έχουμε ορίσει για την κάθε ζώνη.
5. Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης του κάθε σεισμού που προσομοιώνεται με βάση τη σχέση **Gutenberg-Richter**.
6. Εκτίμηση του αζιμούθιου για κάθε ένα από τα γεγονότα.
7. Υπολογισμός της γεωμετρίας του κάθε σεισμικού συμβάντος με στόχο τον ακριβή υπολογισμό της απόστασης της επιφάνειας διάρρηξης από την

- επιφάνεια της γης (καθώς αυτός είναι ο παράγοντας που επηρεάζει την εδαφική κίνηση στην επιφάνεια και όχι η απόσταση από το υπόκεντρο).
8. Υπολογισμός του τελικού σημείου κάθε ρήγματος με βάση την γεωμετρία του και το βάθος της επιφάνειας διάρρηξης.
 9. Τέλος προσανατολισμός των ρηγμάτων που βρίσκονται στα όρια της περιοχής της μελέτης και εκτείνονται έξω από αυτήν με τέτοιον τρόπο ώστε να εμπεριέχονται σε αυτή.

Με αυτόν τον τρόπο, τα λογισμικά πακέτα που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό προσομοιώνουν σεισμικά γεγονότα με βάση τα στοιχεία που εισάγονται σε αυτά και αφορούν στην σεισμικότητα μιας περιοχής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να υπολογιστεί το πόσο επηρεάζει το κάθε ένα από τα προσομοιωμένα γεγονότα στην συγκεκριμένη ζώνη σεισμικότητας την περιοχή της μελέτης, αφού πρώτα εξεταστεί η επίδραση του μέσου διάδοσης με το μοντέλο εξασθένησης αλλά και η απόκριση της περιοχής της μελέτης με την μικροζωνική.

3.3.1.2 Μοντέλο εξασθένησης

Το μοντέλο εξασθένησης περιγράφει την μείωση της έντασης των σεισμικών κυμάτων σε συνάρτηση με την απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού με μία λογαριθμική συνάρτηση της μορφής:

$$I = \alpha + \beta M + \gamma \log(\Delta + \Delta_0)$$

ή

$$I = \alpha + \beta I_0 + \gamma \log(\Delta + \Delta_0)$$

όπου M είναι το μέγεθος του σεισμού, I_0 η μέγιστη ένταση (επικεντρική ένταση) του σεισμού, I η ένταση στο σημείο που εξετάζεται Δ η απόσταση του σημείου αυτού από το επίκεντρο του σεισμού και Δ_0 είναι σταθερά που εξαρτάται από τον κορεσμό της ισχυρής δόνησης του εδάφους πολύ κοντά στο επίκεντρο του σεισμού. Οι σταθερές α , β και γ εξαρτώνται από την γεωλογία της περιοχής που εξετάζεται και την σχετική θέση της περιοχής σε σχέση με την σεισμική δραστηριότητα του υπεδάφους.

Η μορφή του μοντέλου εξασθένησης συνεπώς, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ενώ για την εξαγωγή του σωστού μοντέλου απαιτείται η σωστή συλλογή, ταξινόμηση και

μελέτη των στατιστικών στοιχείων σεισμικότητας της κάθε περιοχής, τα οποία πρέπει να είναι επαρκή και να καλύπτουν μια όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Με την ανάπτυξη της επιστήμης της Τεχνικής Σεισμολογίας, τα μοντέλα που παράγονται τελειοποιούνται όλο και περισσότερο προκειμένου, να αποδίδουν με ρεαλιστικό τρόπο, την εξασθένηση των σεισμικών κυμάτων σε κάθε περιοχή.

Η εξασθένηση της έντασης δίνεται επίσης σαν συνάρτηση της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) ή της φασματικής επιτάχυνσης (Spectral Acceleration).

Οι συναρτήσεις που ακολουθούν είναι τα μοντέλα εξασθένησης για 5 περιοχές της Μεσογείου. Η ένταση μετριέται σε μονάδες μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης. Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει συγκριτικά την απόκριση των 5 μοντέλων σε έναν σεισμό μεγέθους 6 Richter

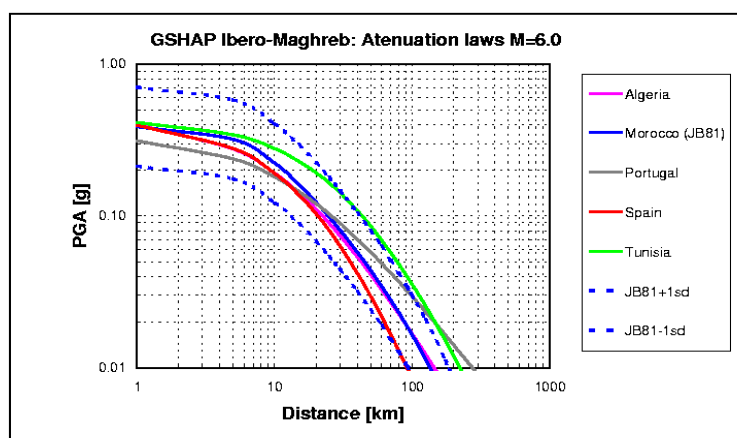
$$PGA = (190.67 e^{0.823 M}) / (R + 0.864 e^{0.463 M})^{1.561}$$

$$\log PGA = -1.02 + 0.25 M - 0.00255 (R^2 + 7.3^2)^{1/2} - \log(R^2 + 7.3^2)^{1/2}$$

$$I = 6.8 + 1.13 M - 1.68 \ln (R + 14)$$

$$I = I_0 + 12.55 - 3.53 \ln (R + 25)$$

$$PGA = (5600 e^{0.8 M}) / (R + 40)^2$$

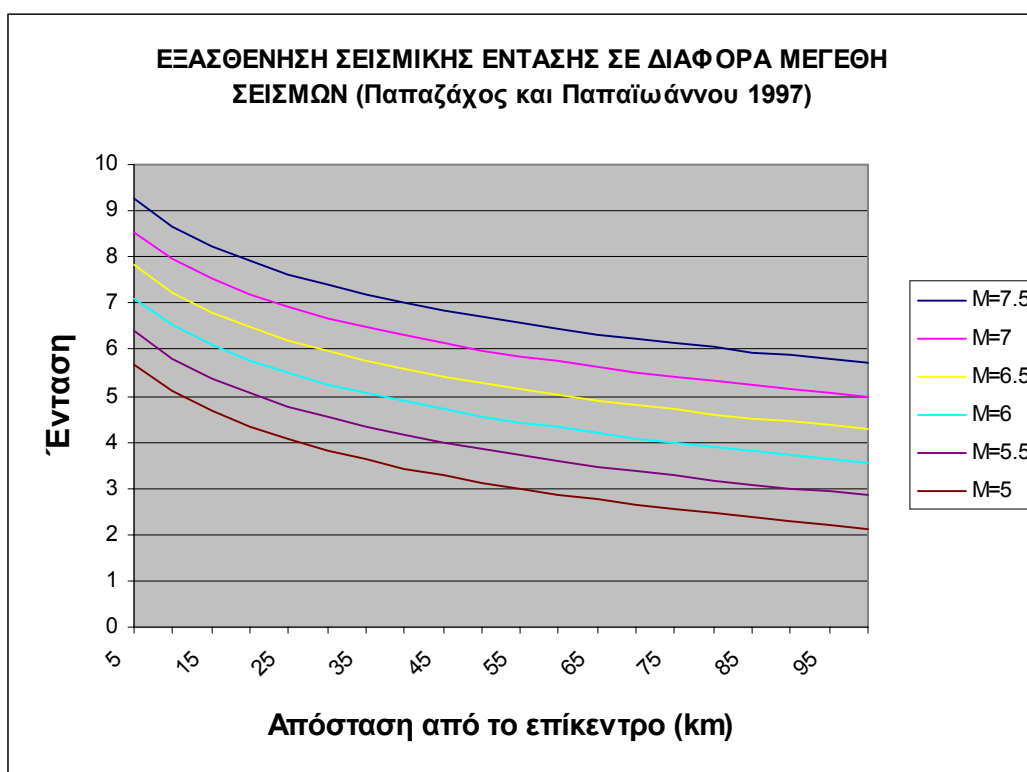


Σχήμα 3.4 Μοντέλα εξασθένησης επιτάχυνσης-απόστασης σε περιοχές της Δ. Μεσογείου για σεισμικές δονήσεις μεγέθους 6 της κλίμακας Richter

Για τον ελληνικό χώρο ένα μοντέλο που περιγράφει κατά μέσο όρο την εξασθένηση της έντασης του σεισμού σε συνάρτηση με την απόσταση είναι το παρακάτω (Παπαζάχος και Παπαιωάννου, 1997):

$$I = 2.26 + 1.43 M - 3.59 \log (\Delta+6)$$

όπου M είναι το μέγεθος του σεισμού και Δ η απόσταση του σημείου που εξετάζουμε από το επίκεντρο. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου μοντέλου για διαφορετικά μεγέθη σεισμών.

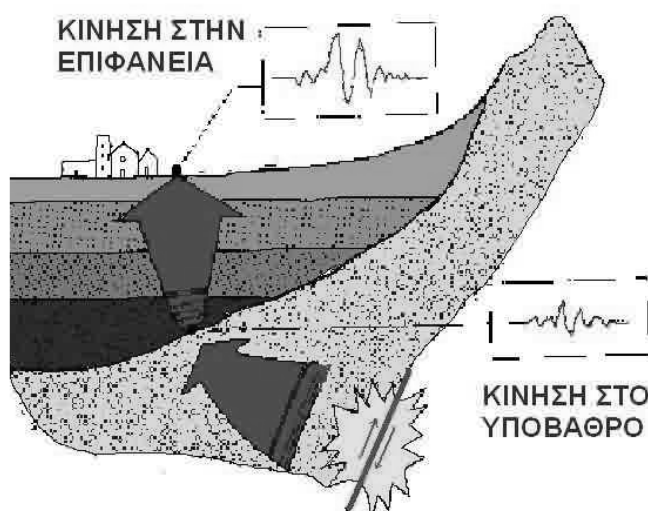


Διάγραμμα 3.5 Μοντέλο εξασθένησης που προτείνεται για τον ελλαδικό χώρο

3.3.1.3 Μικροζωνικές μελέτες (μοντέλο τοπικής απόκρισης)

Με τον όρο μικροζωνική, εννοούμε τον υπολογισμό της απόκρισης του εδάφους της εξεταζόμενης περιοχής στα διάφορα μεγέθη σεισμικών δονήσεων, καθώς έχει αποδειχτεί στην σεισμολογία, πως οι τοπικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά (θετικά ή αρνητικά) την κατά τόπους σεισμική ένταση. Το μέγεθος της σεισμικής κίνησης του εδάφους στην επιφάνεια της περιοχής είναι διαφορετικό από το μέγεθος

της σεισμική κίνησης στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) της περιοχής (εικόνα 3.5). Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός πως η γεωλογική σύσταση του υποβάθρου είναι εντελώς διαφορετική από αυτή των «χαλαρών» εδαφικών στρωμάτων που κείτονται άνωθεν του υποβάθρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η σεισμική κίνηση στην επιφάνεια να έχει διαφορετική τιμή από την σεισμική κίνηση στο υπέδαφος, καθώς συντελείται τροποποίηση του πλάτους και της συχνότητας ενός κύματος που διαδίδεται από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια μέσω των χαλαρών εδαφικών στρωμάτων που βρίσκονται πάνω από το υπόβαθρο (εικόνα 3.6)



Εικόνα 3.6 Μεταφορά σεισμικής κίνησης από το υπέδαφος στην επιφάνεια (Εργαστήριο Σεισμολογίας Πανεπιστημίου Πατρών)

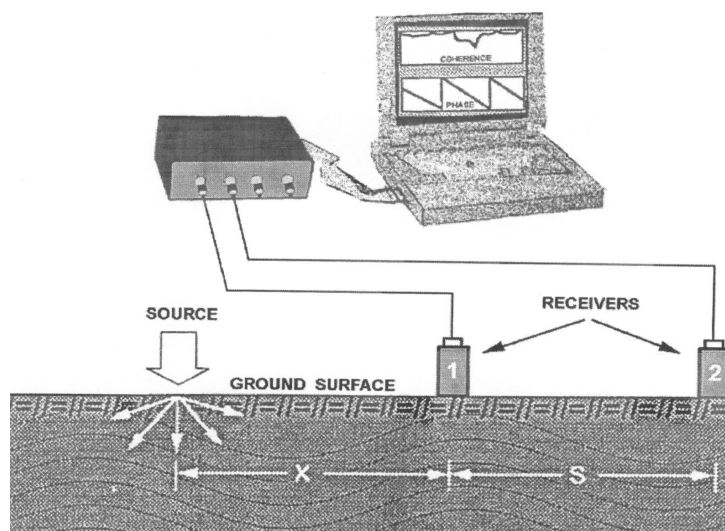
Στόχος της μικροζωνικής μελέτης είναι να ερευνήσει σε τοπικό επίπεδο και με σύγχρονες τεχνικές αυτή ακριβώς την σεισμική απόκριση και να μοντελοποιήσει την μεταφορά της σεισμικής δόνησης από το υπέδαφος στην επιφάνεια. Έχοντας προσδιορίσει την σεισμικότητα μιας περιοχής με βάση το μοντέλο σεισμικότητας και εξασθένισης, τα βασικά στάδια μια μικροζωνικής μελέτης έχουν ως εξής:

1. Προσδιορισμός των τοπικών γεωλογικών συνθηκών μέσω **γεωτεχνικών μελετών**. Στόχος είναι ο προσδιορισμός της θέσης και του ανάγλυφου του σεισμικού υποβάθρου, αλλά και ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των

ανώτερων γεωλογικών σχηματισμών. Όπως προαναφέρθηκε το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελεί ένα δύσκαμπτο γεωλογικό στρώμα, που είναι το μέσον διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και σε αυτό επικάθονται οι ελαστικότερες εδαφικές εναποθέσεις. Το γεωλογικό υπόβαθρο μιας περιοχής μπορεί να προσδιοριστεί είτε με βάση την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων σε αυτό, είτε με βάση την γεωλογική του ηλικία σε σχέση με τα υπόλοιπα γεωλογικά στρώματα της περιοχής, γνωρίζοντας πως η ελαστικότητα του εδάφους μειώνεται με το πέρας του χρόνου. Μέσω της γεωτεχνικής μελέτης γίνονται δειγματοληψίες με γεωτρήσεις στην περιοχή της μελέτης και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του κάθε γεωλογικού στρώματος, όπως είναι η αντοχή τους σε θλίψη, η διαβάθμιση τους με βάση την κοκκομετρία και ο προσδιορισμός των μηχανικών παραμέτρων ιλυωδών εδαφικών σχηματισμών. Από τα παραπάνω μπορούν να εκτιμηθούν ή να υπολογιστούν με σχετική ακρίβεια οι δυναμικές παράμετροι του εδάφους και κυρίως το μέτρο της διατμητικής παραμόρφωσης G_0 , του εδαφικού σχηματισμού μιας περιοχής. Η εκτίμηση των δυναμικών παραμέτρων του εδάφους μπορεί να γίνει και μέσω επιτόπιων γεωτεχνικών μελετών με μέσα όπως είναι οι συσκευές στατικής και δυναμικής διάτρησης του εδάφους (CPT και SPT αντίστοιχα). Με τις συσκευές δυναμικής διάτρησης του εδάφους, υπολογίζεται η σχετική πυκνότητα του εδάφους μέσω της προώθησης ενός δειγματολήπτη στο έδαφος με την χρήση σφύρας βάρους 65Kg η οποία ρίπτεται από ύψος στην κεφαλή του διεισδυσόμετρου. Αφού προωθηθεί ο δειγματολήπτης κατά 150mm, καταγράφεται ο αριθμός των κρούσεων που χρειάζεται για την περαιτέρω προώθησή του κατά 300mm. Ο αριθμός N των κρούσεων είναι αρκετός για να υπολογιστεί η σχετική πυκνότητα του εδάφους και μέσω εμπειρικών σχέσεων μπορεί να συσχετιστεί με το μέτρο της διατμητικής παραμόρφωσης του εδάφους αλλά και με την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων

2. Σε ένα δεύτερο στάδιο μπορούν να πραγματοποιηθούν **γεωφυσικές μελέτες**, είτε για να επιβεβαιώσουν και να εμπλουτίσουν τα αποτελέσματα γεωτεχνικών μελετών, είτε για να εκτιμηθούν εξ αρχής οι ιδιότητες των γεωλογικών στρωμάτων που επικάθονται του υποβάθρου. Μερικές από τις σημαντικότερες τεχνικές προσδιορισμού των ιδιοτήτων των γεωλογικών στρωμάτων με γεωφυσικές μεθόδους είναι η εξής:

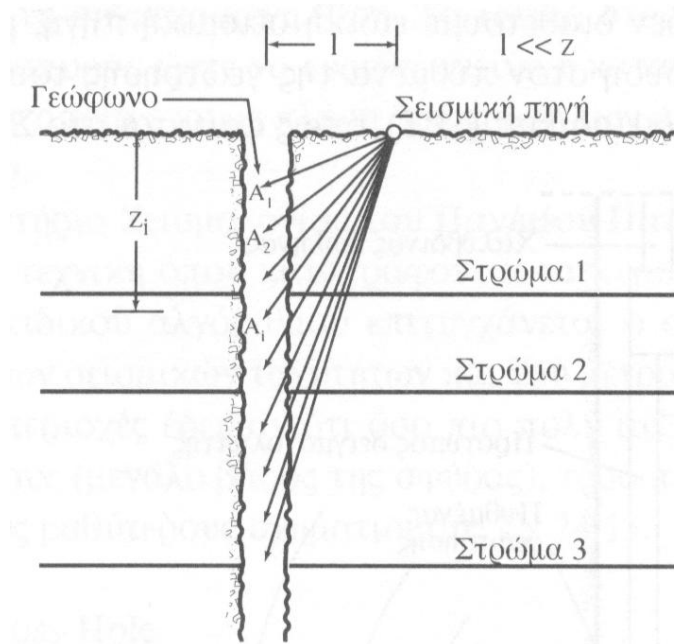
- Εκτίμηση των δυναμικών ελαστικών παραμέτρων των επιφανειακών σχηματισμών με σεισμικές μεθόδους. Μέσω κατάλληλης τεχνικής, δημιουργούνται εγκάρσια και διαμήκη σεισμικά κύματα και προσδιορίζεται η ταχύτητα διάδοσής τους με την χρήση τριαξονικών σεισμομέτρων. Για την δημιουργία των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιείται πακτωμένη στο έδαφος δοκός η οποία κρούεται πλευρικά με ειδική σφύρα.
- Μέθοδος των επιφανειακών κυμάτων, κατά την οποία, με την χρήση σφύρας, ειδικού φορτηγού - δονητή ή με την ρήψη βάρους από μεγάλο ύψος, δημιουργούνται τεχνητά επιφανειακά κύματα Reyleight πλούσιου συχνοτικού περιεχομένου. Τα κύματα καταγράφονται σε H/Y με την βοήθεια γεωφώνων τα οποία είναι πακτωμένα στο έδαφος σε γνωστή απόσταση από το σημείο στο οποίο προκαλείται η τεχνητή δόνηση και υπολογίζεται η κατανομή των σεισμικών ταχυτήτων (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 Η μέθοδος των επιφανειακών κυμάτων

- Η μέθοδος Cross – Hole, με βάση την οποία δημιουργούνται σεισμικά κύματα με την χρήση ειδικού διεγέρτη ο οποίος είναι τοποθετημένος σε γεώτρηση που έχει πραγματοποιηθεί στην περιοχή της μελέτης. Με την χρήση γεωφώνων τα οποία είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό δύο άλλων γεωτρήσεων σε γνωστές αποστάσεις από την τεχνητή σεισμική πηγή, υπολογίζεται η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.
- Η μέθοδος Down hole, η οποία βασίζεται στην αρχή της μεθόδου Cross Hole, με την διαφορά πως οι τεχνητοί σεισμοί δημιουργούνται στην επιφάνεια του εδάφους

κοντά σε γεώτρηση, εντός της οποίας βρίσκεται τοποθετημένο γεώφωνο το οποίο και καταγράφει την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8 Η μέθοδος Down hole^[7]

Έχοντας με βάση τις παραπάνω μεθόδους προσδιορίζει την ταχύτητα διάδοσης των τεχνητών σεισμικών κυμάτων σε ικανό αριθμό σημείων εντός της περιοχής της μελέτης, μπορούν να προσδιοριστούν με βάση μαθηματικές σχέσεις όλες εκείνες οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των ανώτερων εδαφικών στρωμάτων της περιοχής που μελετάται. Βασική παράμετρος που χαρακτηρίζει την σεισμική απόκριση του εδάφους στο κάθε σημείο της περιοχής της μελέτης είναι η **θεμελιώδης ιδιοπερίοδος (T_s)**, της εδαφικής στήλης, η οποία περιγράφει τα εδαφικά στρώματα που βρίσκονται άνωθεν του βραχώδους υποβάθρου μιας περιοχής και είναι μία συνάρτηση του ύψους του κάθε υπερκείμενου στρώματος και της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο στρώμα αυτό. Συνήθως ο υπολογισμός των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την εδαφική διαστρωμάτωση μιας περιοχής υπολογίζεται με ειδικά για το σκοπό αυτό λογισμικά πακέτα. Άλλες εδαφικές παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση (PGA, PGV και PGD αντίστοιχα), αλλά και ο βαθμός ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης (r_a).

3. Τα αποτελέσματα των παραπάνω διαδικασιών και μετρήσεων συλλέγονται και καταρτίζονται ειδικοί χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν την εδαφική απόκριση της περιοχής με βάση τις υπολογισμένες παραμέτρους. Με κριτήριο την κατανομή των τιμών των διαφόρων παραμέτρων στα σημεία τα οποία εξετάστηκαν, καταρτίζονται χάρτες με τις διαφορετικές ζώνες **σεισμικής απόκρισης** της περιοχής που μελετάται.

3.3.2 Προσδιορισμός των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο

Τα στοιχεία που τίθενται υπό κίνδυνο μπορεί να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και ανάλογα με τους στόχους της μελέτης Διαχειρίσεις Σεισμικής Επικινδυνότητας. Σε μία αστική ή ημιαστική περιοχή τα βασικά στοιχεία που τίθενται υπό κίνδυνο είναι ο πληθυσμός, οι ιδιωτικές κατασκευές (οικίες), τα δημόσια κτίρια και τα δίκτυα κοινής ωφελείας. Ωστόσο σε συγκεκριμένες μελέτες τα στοιχεία που τίθενται υπό κίνδυνο μπορεί να είναι πολύ πιο συγκεκριμένα, όπως για παράδειγμα ένα πυρηνικό εργοστάσιο, ένα φράγμα, ένα νοσοκομείο, υπόγειοι σιδηρόδρομοι, ή κάποιο άλλο έργο μεγάλης σημασίας ή αξίας, που χρίζει ιδιαίτερης προστασίας.

Στο στάδιο του προσδιορισμού των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο, συλλέγονται όλα εκείνες οι πληροφορίες που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες των στοιχείων. Αυτά μπορεί να είναι τα υλικά κατασκευής, τεχνικά χαρακτηριστικά, ηλικία του έργου και λοιπά στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν καθοιονδήποτε τρόπο την συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμικού κινδύνου.

3.3.3 Προσδιορισμός απωλειών των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο (Τρωτότητα)

Ο προσδιορισμός των απωλειών των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο γίνεται με την χρήση μαθηματικών μοντέλων που στοχεύουν στον υπολογισμό της τρωτότητας των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο για διαφορετικά μεγέθη σεισμικών δονήσεων. Η τρωτότητα είναι ένας παράγοντας ανεξάρτητος από τον σεισμικό κίνδυνο, με την έννοια του ότι εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της

κατασκευής: μία κατασκευή μπορεί να είναι τρωτή, ακόμα και αν βρίσκεται σε περιοχή με καλή σεισμική απόκριση, αν δεν πληροί τις ανάλογες προδιαγραφές. Ανάλογα με το αντικείμενο που εξετάζεται, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα που αποτελούν προϊόν στατιστικής μελέτης, ή μελέτης της αντοχής του κάθε υλικού ή της δυναμικής της κάθε κατασκευής στην διάρκεια των σεισμών διαφορετικών μεγεθών.

Για τις κατασκευές, υπάρχουν συγκεκριμένα όρια σχεδιασμού (σεισμικές δράσεις σχεδιασμού) που έχουν θεσπιστεί μετά από μελέτες σε σχέση με την αντοχή και την συμπεριφορά των κατασκευών απέναντι στο σεισμικό φαινόμενο. Συνεπώς ο υπολογισμός της τρωτότητας μπορεί να γίνει άμεσα για μία κατασκευή αν είναι γνωστά τα κατασκευαστικά στοιχεία και η ένταση και τα χαρακτηριστικά του σεισμού.

Για τα περισσότερα δίκτυα κοινής ωφελείας, ο προσδιορισμός των απωλειών γίνεται κυρίως με βάση στατιστικά στοιχεία. Το δίκτυο μπορεί να εξεταστεί στο σύνολό του ή στη βάση των στοιχείων που το αποτελούν. Τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα, έχουν αναπτυχθεί μέσω της στατιστικής επεξεργασίας στοιχείων που έχουν συλλεγεί από αστοχίες σε δίκτυα ύδρευσης σε διάφορα σεισμικά γεγονότα. Ο βαθμός αβεβαιότητας του μοντέλου εξαρτάται τόσο από το μέγεθος του στατιστικού δείγματος, την ποιότητα της στατιστικής ανάλυσης, όσο και από το ποιες παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων συνυπολογίζονται στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Καθώς η μελέτη της συμπεριφοράς των διάφορων δικτύων στον σεισμικό κίνδυνο, έχει ξεκινήσει να γίνεται τα τελευταία χρόνια, τα στοιχεία που υπάρχουν είναι σχετικά λίγα και δεν υπάρχει μία σαφώς καθορισμένη και διεθνώς αποδεκτή μεθοδολογία προσέγγισης του ζητήματος. Υπάρχουν ωστόσο διάφορα μαθηματικά μοντέλα που προτείνονται για τον υπολογισμό της τρωτότητας δικτύων κοινής ωφελείας καθένα από τα οποία εμπεριέχει μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό αβεβαιότητας ανάλογα με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αστοχιών.

Με βάση την στατιστική επεξεργασία στοιχείων από πραγματικά συμβάντα, έχουν επίσης αναπτυχθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα που αφορούν στις οικονομικές

απώλειες από ενδεχόμενο σεισμό, την αναμενόμενη θνησιμότητα, αλλά και τους ρυθμούς αποκατάστασης των ζημιών που πιθανών να προκληθούν σε έναν σεισμό.

3.4 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Έχοντας προσδιορίσει με ακρίβεια τον Σεισμικό Κίνδυνο, είναι απαραίτητη η επεξεργασία και ο καθορισμός ενός σχεδίου αντισεισμικής προστασίας για την περιοχή της μελέτης. Τα μέτρα αυτά διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα **καθολικά μέτρα** που θεσπίζονται από την κεντρική διοίκηση με βάση την σεισμικότητα μιας ευρύτερης περιοχής (τα όρια μιας χώρας) και **ειδικότερα μέτρα** τα οποία θεσπίζονται σε **τοπικό επίπεδο** με βάση τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της επικινδυνότητας για την κάθε περιοχή. Η θέσπιση μέτρων σε τοπικό επίπεδο μπορεί να φανεί ιδιαίτερα αποτελεσματική στην μείωση της επικινδυνότητας καθώς λαμβάνονται υπ' όψιν όλα εκείνα τα στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν την επικινδυνότητα (τοπική σεισμικότητα, κατανομή πληθυσμού, πυκνότητα πληθυσμού, κατανομή κατασκευών κλπ). Ιδιαίτερα χρήσιμη στον αποτελεσματικό αντισεισμικό σχεδιασμό είναι και η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια. Ο αντισεισμικός σχεδιασμός, στόχο έχει την προστασία των στοιχείων που τίθενται υπό κίνδυνο δηλαδή του πληθυσμού και των κατασκευών.

3.4.1 Θέσπιση καθολικών μέτρων αντισεισμικού σχεδιασμού.

Όπως προαναφέρθηκε αυτά τα μέτρα θεσπίζονται από την κεντρική διοίκηση και εφαρμόζονται καθολικά σε όλες τις επί μέρους περιοχές. Τα μέτρα αυτά λαμβάνονται μετά από μελέτη του ιστορικού της σεισμικότητας της περιοχής, της εξέλιξης της σεισμικότητας, των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής και την σχετική της θέση σε σχέση με τις περιοχές έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Τέτοια μέτρα, που εφαρμόζονται και στην Ελλάδα είναι: ο Αντισεισμικός Κανονισμός για τις κατασκευές, ο Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος, ο προσεισμικός έλεγχος κτιρίων δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης, οι προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια, το σχεδίου κανονισμού για τον προσεισμικό έλεγχο γεφυρών, οι προδιαγραφές εκπόνησης μελετών φέροντος οργανισμού κτιρίων με προγράμματα H/Y, ο αντισεισμικός κτιριοδομικός κανονισμός, διερεύνηση και καταγραφή αιτιών

με τυπικές βλάβες από το σεισμό της Αθήνας, οι προδιαγραφές για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος^[5]. Οι παραπάνω κανονισμοί παρέχουν τις ακριβείς τιμές σχεδιασμού των κατασκευών που ισχύουν σε όλες τις περιοχές και οι οποίες είναι υποχρεωτικές για κάθε κατασκευή.

Επίσης η κεντρική διοίκηση αναλαμβάνει την κατάρτιση ενός σχεδίου ταχείας κινητοποίησης και συντονισμένης δράσης των δυνάμεων Πολιτικής Προστασίας της χώρας, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των καταστροφών που προκαλούνται από σεισμούς και την παροχή κάθε δυνατής αρωγής στον πληθυσμό. Για την Ελλάδα το σχέδιο αυτό ονομάζεται «Ξενοκράτης-Σεισμοί». Παράλληλα σε σχέση με την προστασία του ανθρώπινου πληθυσμού, η κεντρική διοίκηση αναλαμβάνει την ενημέρωση του πληθυσμού μέσω ειδικών εκδόσεων για την συμπεριφορά σε περίπτωση σεισμού, την οργάνωση και εκτέλεση σχεδίων ετοιμότητας,

3.4.2 Θέσπιση μέτρων σε τοπικό επίπεδο

Με βάση τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της Σεισμικής Επικινδυνότητας σε μία συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να σχεδιαστεί η αποτελεσματική αντισεισμική θωράκισή της με στόχο την ελάττωση της επικινδυνότητας. Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι ιδιαίτερα σημαντική στην κατάρτιση χαρτών που θα απεικονίζουν μαζί τα διάφορα επίπεδα πληροφορίας, έτσι ώστε να μπορεί να σχεδιαστεί αποτελεσματικά η αντισεισμική προστασία. Οι χάρτες αυτοί σχεδιάζονται με βάση τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας, για συγκεκριμένα μεγέθη σεισμών και συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Τέτοιοι χάρτες, είναι οι ακόλουθοι:

- Χάρτες ισόσειστων καμπυλών της περιοχής που εξετάζεται για όλους τους σεισμούς για τους οποίους υπάρχουν στοιχεία.
- Χάρτες εκτίμησης της επικινδυνότητας μιας περιοχής με βάση την κατανομή του πληθυσμού, των κατοικημένων κτιρίων, των κρίσιμων περιοχών (σχολεία, νοσοκομεία)
- Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας στους οποίους θα παρουσιάζεται η εκτιμώμενη μέγιστη / ενεργός επιτάχυνση της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια της κάθε ζώνης (ζώνες σεισμικής απόκρισης)

- Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας για τον υπολογισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού συνήθων κατασκευών.
- Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας με βάση της σχετική θέση των ζωνών διαφορετικής επιφανειακής επιτάχυνσης και της κατανομής των κατοικημένων περιοχών.
- Χάρτες παρουσίας των πιθανών απωλειών στα διαφορετικά στοιχεία της μελέτης με βάση τα σχετικά μαθηματικά μοντέλα
- Παρουσίαση ειδικών φασμάτων σχεδιασμού για κάθε συνοικία της πόλης

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην διαχείριση της σεισμικής επικινδυνότητας θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και όλα τα στοιχεία που προέκυψαν από τον προσδιορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας, μπορούν να θεσπιστούν μέτρα σε τοπικό επίπεδο για την ελάττωση της επικινδυνότητας. Τέτοια μέτρα είναι:

- Ο προσδιορισμός ή η μελέτη ύπαρξης χώρων συγκέντρωσης πληθυσμού σε σχέση με την επικινδυνότητα της κάθε ζώνης
- Η μελέτη κατασκευαστικών έργων σεισμικής προστασίας δημόσιων και κοινωφελών κατασκευών που βρίσκονται σε κρίσιμες περιοχές.
- Η θέσπιση αυστηρότερων κανονισμών σχεδιασμού από την Τοπική Αυτοδιοίκηση ανάλογα με την επικινδυνότητα της περιοχής.
- Η προσαρμογή των κεντρικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης στην επικινδυνότητα της περιοχής.
- Η θέσπιση επιπλέον ενημερωτικών προγραμμάτων αν κριθεί αναγκαίο
- Έργα προστασίας των δικτύων κοινής ωφελείας. Περαιτέρω σχεδιασμός και επέκταση των δικτύων με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών / ΓΣΠ (ή Geographical Information Systems / GIS) είναι πληροφοριακά συστήματα τα οποία αναπτύχθηκαν για να ικανοποιήσουν την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη των κοινωνιών για αξιόπιστες και ενημερωμένες πληροφορίες σε σχέση με ζητήματα διαχείρισης προβλημάτων στον χώρο και τον χρόνο. Οι χωρικές (ή γεωγραφικές) πληροφορίες είναι αυτές που σχετίζονται με την κατανομή ενός φαινομένου στον χώρο. Τα ΓΣΠ ωστόσο δεν είναι απλά συστήματα απεικόνισης ή χαρτογράφησης. Μπορούν να συνδυάσουν πληροφορίες που σχετίζονται τόσο με την γεωγραφική θέση ενός φαινομένου, όσο και με περιγραφικά (μη γεωγραφικά) δεδομένα που αφορούν το φαινόμενο αλλά και με την εξέλιξη του φαινομένου στον χρόνο. Η εξέλιξη των ΓΣΠ τα μετατρέπει σε ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία ιδιαίτερα στον τομέα της λήψης αποφάσεων αλλά και της διαχείρισης περιβαλλοντικών ζητημάτων ή κινδύνων.

4.2 ΟΡΙΣΜΟΣ, ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΣΠ

4.2.1 Ορισμός των ΓΣΠ

Κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), ορισμοί οι οποίοι σε μεγάλο βαθμό αντιπροσωπεύουν και τον βαθμό ανάπτυξης που είχαν τα ΓΣΠ την συγκεκριμένη περίοδο. Ο πληρέστερος ίσως ορισμός έχει δοθεί από την FIG (Federation Internationale des Geometres) το 1983^[8]. Σύμφωνα με την FIG «Σύστημα Πληροφοριών Γης είναι ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται από μία βάση δεδομένων που περιέχει για μία έκταση, στοιχεία προσδιορισμένα στον χώρο και τα οποία σχετίζονται με την γη και από την άλλη αποτελείται από διαδικασίες και τεχνικές για

την συστηματική συλλογή, ενημέρωση και επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση ενός ΓΣΠ είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο επίσης διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία για την Γη.»

Συμπληρωματικά με τον παραπάνω ορισμό και λαμβάνοντας υπ' όψιν την εξέλιξη των ΓΣΠ τα τελευταία χρόνια, πρέπει να τονιστεί πως τα ΓΣΠ δεν είναι απλά ένα όργανο σχεδιασμού και ανάπτυξης, αλλά και ένα εργαλείο παρακολούθησης της εξέλιξης μίας κατάστασης αλλά και διαχείρισης, όπως η διαχείριση κινδύνου στο παράδειγμα που εξετάζεται σε αυτή την εργασία. Επίσης, ή δυνατότητα ενσωμάτωσης μαθηματικών μοντέλων σε ένα ΓΣΠ, το μετατρέπει σε εύχρηστο εργαλείο πρόβλεψης ή προσομοίωσης, που βρίσκει ιδιαίτερες εφαρμογές σε ζητήματα περιβαλλοντικής προστασίας, διαχείρισης ρύπανσης, διαχείρισης κινδύνων. Πρόκειται για μία ολοκληρωμένη τεχνολογία απαραίτητη για την μελέτη, ανάλυση του χώρου και την λήψη αποφάσεων που αφορούν τη γη το περιβάλλον και τον άνθρωπο.^[8]

4.2.2 Εξέλιξη και χρήση των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ πρώτο-αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 1960 στον Καναδά. Το CGIS (Canadian Geographical Information System) σχεδιάστηκε το 1965 από τον Tomlinson^[8] με στόχο να συμπεριλάβει τόσο χαρτογραφικά όσο και ποιοτικά μεγέθη της περιοχής του Καναδά. Ο συνδυασμός χωρικών και μη χωρικών δεδομένων ήταν το πρώτο βήμα της εξέλιξης των ΓΣΠ. Τις δεκαετίες του 60 και του 70 τα ΓΣΠ βρήκαν ιδιαίτερες εφαρμογές στην καταγραφή και την κωδικοποίηση γεωγραφικών στοιχείων. Την δεκαετία του 80 με την περαιτέρω ανάπτυξη των Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων άρχισε η ραγδαία ανάπτυξη των ΓΣΠ με ιδιαίτερη εφαρμογή στα ζητήματα αυτόματης ενημέρωσης κτηματολογίου, αλλά και νέες εφαρμογές σε όλο και περισσότερα επιστημονικά πεδία. Με την ανάπτυξη της δυνατότητας ενός ΓΣΠ να συνδέει την γεωγραφική με την περιγραφική πληροφορία και να τις επεξεργάζεται ταυτόχρονα και με δυναμικό τρόπο, άρχισε να διευρύνεται και η εφαρμογή των ΓΣΠ σε ζητήματα που ξεπερνούσαν τα όρια της χαρτογραφίας ή των πληροφοριών που έχουν σχέση αποκλειστικά με τη Γη. Πλέον, τα ΓΣΠ μπορούν

να χαρακτηριστούν ως μία νέα τεχνολογία απαραίτητη στην λήψη αποφάσεων σε ζητήματα που αφορούν την γη τον άνθρωπο και το περιβάλλον^[9].

Σήμερα τα ΓΣΠ βρίσκουν εφαρμογή σε οτιδήποτε σχεδόν έχει να κάνει σχετικά με την λήψη αποφάσεων που αφορούν την χρονική και χωρική παρουσίαση ή εξέλιξη ενός φαινομένου. Χρησιμοποιούνται στην τοπογραφία, στην θεματική χαρτογραφία, στην ανάλυση δικτύων, στην γεωλογία αλλά και σε ζητήματα διαχείρισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κινδύνων. Ολοένα αυξανόμενη ωστόσο είναι η χρήση τους σε σχέση με κοινωνικά και οικονομικά ζητήματα.

4.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΓΣΠ

Οι βασικές διαδικασίες που συνθέτουν ένα ΓΣΠ είναι οι εξής:

1. **Συλλογή δεδομένων:** Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται και ταξινομούνται όλες οι πληροφορίες που θα εισαχθούν στο ΓΣΠ. Οι πληροφορίες αυτές, ανάλογα με το είδος της μελέτης, μπορεί να είναι χωρικές (χάρτες, τηλεπισκόπηση, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες της υπό εξέταση περιοχής), στατιστικές (πληθυσμιακά δεδομένα, μέτρησης ρύπανσης, σεισμικότητα κα), ή άλλες πληροφορίες που αφορούν μία συγκεκριμένη μελέτη.
2. **Κωδικοποίηση και εισαγωγή:** Σε αυτό το στάδιο οι πληροφορίες που έχουν συλλεγεί τροποποιούνται κατάλληλα (ψηφιοποιούνται) ώστε να μπορούμε να τις εισάγουμε στο πληροφοριακό μας σύστημα.
3. **Διαχείριση των πληροφοριών:** Η διαχείριση των πληροφοριών γίνεται με την χρήση **Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ)**, τα οποία αποτελούν την «καρδιά» των ΓΣΠ (εξετάζονται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο). Τα ΣΔΒΔ πρέπει να είναι αποτελεσματικά, λειτουργικά και δυναμικά, να υπάρχει δηλαδή η δυνατότητα συνεχούς ενημέρωσης του συστήματος.
4. **Ανάκτηση δεδομένων:** Σε αυτό το στάδιο, με βάση τις σχέσεις και συναρτήσεις που ορίζουμε ανάμεσα στα διαφορετικά είδη πληροφοριών που έχουμε εισάγει στην Βάση Δεδομένων, ανακτούμε και τις αναγκαίες πληροφορίες οι οποίες μπορεί να είναι χωρικές (γεωγραφικές) ή θεματικές.

5. **Επεξεργασία και Ανάλυση:** Οι επεξεργασία περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες αλλαγές για την επιθυμητή απεικόνιση των πληροφοριών, όπως είναι η αλλαγές στο προβολικό σύστημα συντεταγμένων, μετρήσεις αποστάσεων ή ακόμα και αναγκαίες αλλαγές στην δομή των πληροφοριών. Η επεξεργασία σε ένα σύστημα ΓΣΠ μπορεί να γίνει σε κάθε επίπεδο πληροφορίας ξεχωριστά, η μέσω της συσχέτισης των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας με χωρικό τρόπο ή μέσω της ύπαρξης κοινών πεδίων.
6. **Απεικόνιση:** Το τελευταίο στάδιο είναι η απεικόνιση των πληροφοριών ή οποία μπορεί σήμερα να γίνει με τρόπους που συντελούν στην εύκολη κατανόηση των πληροφοριών όπως είναι η θεματική παρουσίαση, η τρισδιάστατες εικόνες, οι δυναμικοί χάρτες, διαγράμματα, χάρτες συνεχούς κατανομής τιμών με μεθόδους παρεμβολής κλπ. Η γεωγραφική απεικόνιση των πληροφοριών αποτελείται από διαφορετικά στρώματα – επίπεδα πληροφοριών (layers) στα οποία είναι καταχωρημένες οι διαφορετικές πληροφορίες.

4.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.4.1 Ορισμός – Εισαγωγή

Μία Βάση Δεδομένων είναι μία συλλογή από δεδομένα τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους και αναπαριστούν μία άποψη της πραγματικότητας. Ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) καλείται μία συλλογή από προγράμματα τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν ή να συντηρήσουν μία Βάση Δεδομένων^[9]. Ουσιαστικά η βάση δεδομένων μαζί με το λογισμικό κατασκευής, ενημέρωσης και διαχειρίσεις της αποτελούν το ΣΔΒΔ.

Η Διαχείριση Βάσεων Δεδομένων, αποτελεί την βασική λειτουργία ενός ΓΣΠ. Ουσιαστικά ένα ΓΣΠ είναι ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχειρίσεις Βάσεων Δεδομένων το οποίο όμως παρέχει επιπλέον την δυνατότητα χωρικής (γεωγραφικής) ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων.

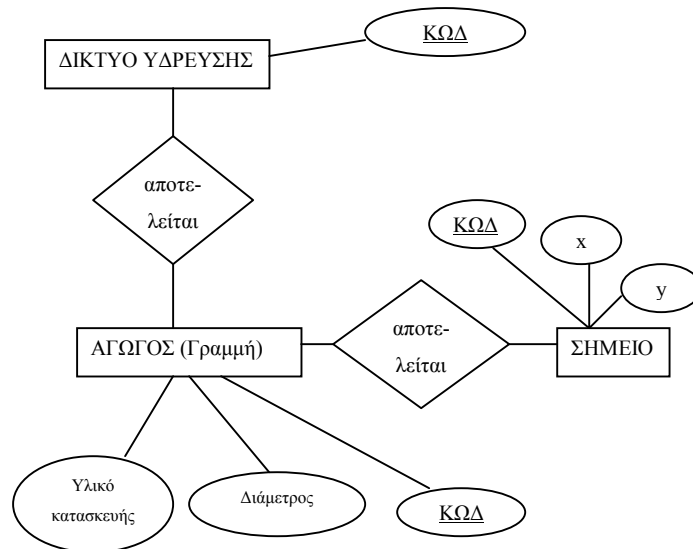
4.4.2 Ανάπτυξη ενός Συστήματος Βάσεων Δεδομένων.

Τα στάδια ανάπτυξης ενός ΣΔΒΔ είναι τα ακόλουθα:

1. Καθορισμός των στόχων, των απαιτήσεων, των σκοπών και των χρηστών του συστήματος
2. Σχεδίαση του Συστήματος
3. Εισαγωγή δεδομένων, ενημέρωση του συστήματος
4. Έλεγχος και αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος
5. Λειτουργία και συντήρηση του συστήματος

Για την σχεδίαση ενός Συστήματος Βάσεων Δεδομένων που είναι το βασικό σκέλος της ανάπτυξής του, ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

1. Σχεδιάζεται το Εννοιολογικό Σχήμα της Βάσης Δεδομένων (ΒΔ). Το εννοιολογικό σχήμα στόχο έχει να περιγράψει με σαφήνεια και με την βοήθεια διαγραμμάτων την ΒΔ ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο θα υλοποιηθεί. Το πλέον διαδεδομένο μοντέλο εννοιολογικού σχήματος που χρησιμοποιείται είναι το μοντέλο οντοτήτων συσχετίσεων (ER μοντέλο). Ουσιαστικά με βάση αυτό το μοντέλο, τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου τα οποία θέλουμε να περιγράψουμε στην ΒΔ και τα οποία καλούνται οντότητες, συσχετίζονται μεταξύ τους με βάση τις ιδιότητες, δηλαδή τα γνωρίσματά τους. Η συσχέτιση μπορεί να γίνει μεταξύ δύο ή περισσότερων οντοτήτων, ενώ ο λόγος πληθικότητας της συσχέτισης, προσδιορίζει τον αριθμό των στιγμιότυπων της συσχέτισης στα οποία μπορεί να συμμετέχει η κάθε οντότητα. Για παράδειγμα σε σχέση με την εφαρμογή της παρούσας εργασίας, οντότητα αποτελεί το «Δίκτυο ύδρευσης» του Δήμου Χανίων. Η οντότητα αυτή συσχετίζεται με την οντότητα «Αγωγός», η οποία με την σειράς συσχετίζεται με την οντότητα «Σημείο» όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.1. Με βάση το ER μοντέλο, τα ορθογώνια αναπαριστούν τις οντότητες, οι ρόμβοι τις συσχετίσεις και οι κύκλοι τα πεδία-γνωρίσματα της κάθε οντότητας.



Διάγραμμα 4.2 Μοντέλο Οντοτήτων συσχετίσεων του Δικτύου Ύδρευσης

2. Σχεδίαση του λογικού σχήματος: Το λογικό σχήμα είναι η δομή της βάσης δεδομένων, δηλαδή η δομή των σχέσεων ανάμεσα στα διαφορετικά στοιχεία των βάσεων. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα δομών σχέσεων ανάμεσα στα στοιχεία των βάσεων δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως είναι το ιεραρχικό (δομές δένδρων), το δικτυωτό και το σχεσιακό, το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο.
3. Στο σχεσιακό μοντέλο, η δομή των σχέσεων ανάμεσα στα στοιχεία της βάσης γίνεται με μαθηματικές σχέσεις. Με αυτόν τον τρόπο απλοποιούνται οι σχέσεις ανάμεσα στα στοιχεία και παρουσιάζονται όπως είναι στην πραγματικότητα. Η ΒΔ παριστάνεται σαν μία συλλογή από σχέσεις, όπου η κάθε σχέση αποτελεί έναν πίνακα. Κάθε στήλη του πίνακα αποτελεί ένα πεδίο, το οποίο παίρνει τιμές από ένα πεδίο ορισμού. Το πεδίο το οποίο ταυτοποιεί τις εγγραφές του πίνακα καλείται κλειδί του πίνακα.

4.4.3 Το ΓΣΠ σαν Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων

Τα ΓΣΠ είναι συστήματα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων εμπλουτισμένα με λειτουργίες γεωγραφικής ανάλυσης. Οι κύριες αρχιτεκτονικές συστημάτων

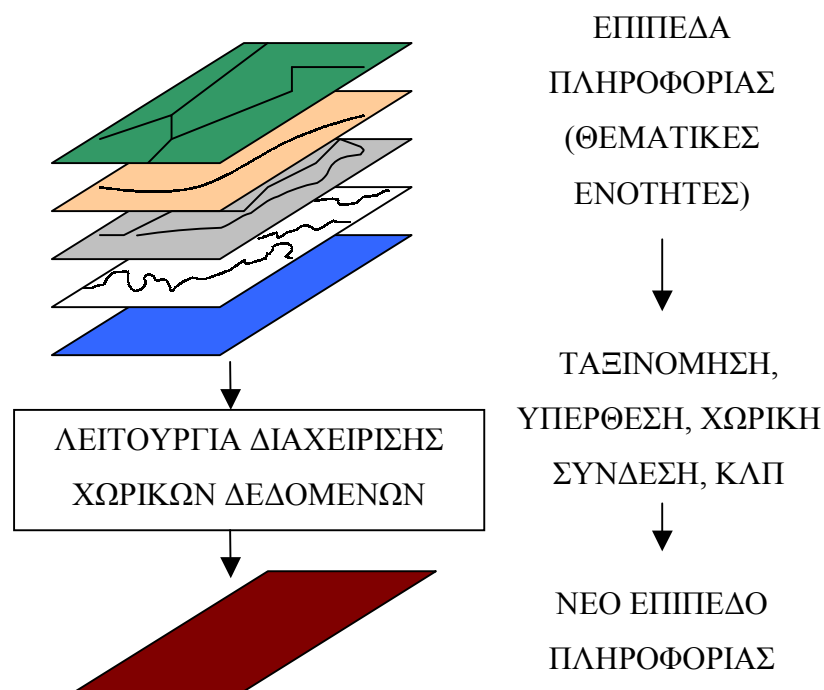
Γεωγραφικών πληροφοριών που έχουν υιοθετηθεί για την διαχείριση βάσεων δεδομένων είναι οι εξής:

- Απλό παραδοσιακό ΣΔΒΔ, όπου τόσο τα χωρικά, όσο και τα μη χωρικά δεδομένα αναπαριστώνται σε μορφή πινάκων στο σχεσιακό μοντέλο. Ο ορισμός και η διαχείριση των γεωγραφικών οντοτήτων γίνεται σε ένα κέλυφος εφαρμογής το οποίο προσαρμόζεται πάνω στο παραδοσιακό ΣΔΒΔ.
- Μερικά παραδοσιακό ΣΔΒΔ, όπου η διαχείριση των χωρικών δεδομένων γίνεται σε ξεχωριστό σύστημα, ενώ για την διαχείριση των θεματικών δεδομένων χρησιμοποιείται ένα παραδοσιακό ΣΔΒΔ. Ένα κοινό κέλυφος εφαρμογής παρέχει ταυτόχρονη και ενιαία πρόσβαση στα δύο υποσυστήματα.
- Εκτεταμένο παραδοσιακό ΣΔΒΔ, στο οποίο το παραδοσιακό ΣΔΒΣ έχει τροποποιηθεί προκειμένου να υποστηρίξει με επιτυχία την διαχείριση χωρικών δεδομένων.

Σε αντίθεση λοιπόν με τα παραδοσιακά ΣΔΒΔ, τα οποία διαχειρίζονται μόνο αλφαριθμητικά δεδομένα, τα ΓΣΠ είναι ικανά να διαχειριστούν και γεωγραφικές πληροφορίες. Ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας των γεωγραφικών πληροφοριών, τα ΓΣΠ χωρίζονται σε διανυσματικά (vector GIS) και σε μωσαϊκού τύπου (Raster GIS). Η διανυσματική απεικόνιση στηρίζεται στην ανάλυση του χάρτη σε επιμέρους τμήματα – διανύσματα τα οποία απεικονίζονται ψηφιακά μέσω μίας διαδικασίας απόδοσης τιμών (x,y) στις αρχικές και τελικές συντεταγμένες του κάθε διανύσματος. Τα μωσαϊκά GIS προσεγγίζουν τον χάρτη σαν ενιαίο σύνολο – ψηφιδωτό, σε κάθε ψηφίδα του οποίου αποδίδεται συγκεκριμένη τιμή. Αν και τα δύο είδη ΓΣΠ σχεδιάστηκαν και αρχικά λειτούργησαν ανεξάρτητα, πολλά σύγχρονα λογισμικά πακέτα ΓΣΠ παρέχουν ενοποιημένες λειτουργίες διανυσματικής και ψηφιδωτής αναπαράστασης γεωγραφικών πληροφοριών.

Τα χωρικά αντικείμενα ορίζονται σαν ένα σύνολο θέσεων αλλά και χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις θέσεις αυτές. Στα συνήθη λογισμικά πακέτα ΓΣΠ η αναπαράσταση των αντικειμένων στον δισδιάστατο χώρο γίνεται με την βοήθεια σημείων, γραμμών και πολυγώνων. Σε ένα ΓΣΠ η έννοια του χώρου ορίζεται σαν μία συλλογή αντικειμένων ή σαν μία συλλογή από συσχετίσεις μεταξύ αντικειμένων. Η γεωγραφική πληροφορία αποτελεί στην ουσία μία βιβλιοθήκη επιπέδων πληροφορίας

(Tomlin 1990)^[9]. Το κάθε επίπεδο πληροφορίας εμπεριέχει διαφορετικές περιοχές (ζώνες) και αποτελεί μία ξεχωριστή θεματική ενότητα. Τα ΓΣΠ παρέχουν την δυνατότητα ταυτόχρονης επεξεργασίας, ανάλυσης και εξαγωγής νέων επιπέδων πληροφοριών, μέσω λειτουργιών διαχείρισης χωρικών δεδομένων, που αποτελούν την κεντρική ενέργεια σε κάθε ΓΣΠ, καθώς μετατρέπουν τα γεωγραφικά δεδομένα σε πληροφορίες (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3 Επίπεδα πληροφορίας, λειτουργίες και νέα επίπεδα

Οι λειτουργίες διαχείρισης γεωγραφικών οντοτήτων (ή αλλιώς λειτουργίες ερμηνείας δεδομένων) ενός ΓΣΠ, διαφέρουν από λογισμικό σε λογισμικό. Οι βασικές ωστόσο λειτουργίες ερμηνείας δεδομένων ενός ΓΣΠ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής^[9]:

1. Τοπικές λειτουργίες. Αυτού του είδους οι λειτουργίες αφορούν την επεξεργασία δεδομένων απλών θέσεων (σημείων), και σχετίζονται με τον υπολογισμό μίας τιμής για κάθε θέση ενός επιπέδου, σαν συνάρτηση των δεδομένων που σχετίζονται με την συγκεκριμένη θέση στα υπόλοιπα υπάρχοντα επίπεδα. Οι λειτουργίες αυτές διακρίνονται σε:

- Λειτουργίες ταξινόμησης και κωδικοποίησης, δηλαδή ανάθεση νέων τιμών στις θέσεις ενός επιπέδου με βάση μαθηματικές σχέσεις που εισάγονται στο σύστημα
 - Λειτουργίες επίθεσης, δηλαδή αντιστοίχισης νέων τιμών στις θέσεις ενός επιπέδου με βάση τον συνδυασμό άλλων επιπέδων. Ουσιαστικά πρόκειται για την σύνδεση των δύο ή περισσότερων επιπέδων πληροφορίας με βάση κοινά, γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Πρόκειται για την αντίστοιχη διαδικασία σύνδεσης που εμπεριέχουν τα παραδοσιακά ΣΔΒΔ
2. Λειτουργίες συνόλου θέσεων (ή λειτουργίες γειτονιάς, ή κεντρικές λειτουργίες), όπου ένα σύνολο θέσεων χαρακτηρίζεται και συνδέεται με μία μαθηματική σχέση με το κέντρο αυτού του συνόλου. Οι βασικές διαδικασίες αυτής της κατηγορίας είναι:
- Ανάθεση νέων τιμών στα χαρακτηριστικά των θέσεων ενός επιπέδου με βάση την απόσταση από το κέντρο της γειτονιάς ή με βάση άλλες μαθηματικές εκφράσεις που εισάγονται στο σύστημα.
 - Παρεμβολή, δηλαδή ανάθεση νέων τιμών στις θέσεις ενός επιπέδου συνάρτηση της απόστασης (με κατανομή βάρους) από τα σημεία ενός συνόλου θέσεων
3. Λειτουργίες ζώνης, όπου νέες τιμές υπολογίζονται για τις θέσεις ενός επιπέδου με βάση τις τιμές που σχετίζονται με την ζώνη του ίδιου ή άλλου επιπέδου που περιλαμβάνει αυτές τις θέσεις. Οι βασικές διαδικασίες αυτής της λειτουργίας είναι:
- Χωρική αναζήτηση, δηλαδή ανάκτηση πληροφοριών με βάση το αν οι θέσεις ενός επιπέδου εμπεριέχονται στις ζώνες κάποιου άλλου επιπέδου
 - Χωρική μέτρηση, δηλαδή υπολογισμός της επιφάνειας ή του μήκους μιας ζώνης και απόδοση νέων τιμών στις θέσεις που σχετίζονται με την ζώνη με βάση τις νέες μετρήσεις.

4.5 ΓΣΠ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Τα ΓΣΠ δεν είναι μόνο κατάλληλα, αλλά είναι και απαραίτητα για την διαχείριση του σεισμικού κινδύνου, καθώς οι πληροφορίες που συλλέγονται κατά την διάρκεια μίας

μελέτης διαχείρισης σεισμικού κινδύνου είναι ένα πλέγμα γραφικών και θεματικών πληροφοριών. Οι γεωλογικές μελέτες, οι τεκτονικοί χάρτες, οι χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας, οι ιστορικοί σεισμοί, πληθυσμιακά στοιχεία, τα δίκτυα κοινής ωφελείας, μαθηματικά μοντέλα, είναι κάποια μόνο από τα στοιχεία που μπορούν να εισαχθούν σε ένα ΓΣΠ και να επεξεργαστούν παράλληλα ή και ταυτόχρονα για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικότερα η δυνατότητα της χρήσης των ΓΣΠ σε κάθε στάδιο της μεθοδολογίας διαχείρισης σεισμικού κινδύνου.

Αρχικά στο στάδιο του καθορισμού των στόχων της διαχείρισης, τα ΓΣΠ μπορούν να συντελέσουν στην σωστή καθοδήγηση της περαιτέρω μελέτης, μέσω της εισαγωγής και θεματικής παρουσίασης των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών που αφορούν μία περιοχή, και την λήψη αποφάσεων σε σχέση με τα στοιχεία τα οποία θα αποτελέσουν το επίκεντρο της μελέτης.

Στον τομέα της εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου τα ΓΣΠ μπορούν να ενσωματώσουν τα μοντέλα σεισμικότητας και εξασθένησης αλλά και τα αποτελέσματα της μικροζωνικής μελέτης καθώς και γεωλογικών ή τεκτονικών μελετών, να απεικονίσουν ταυτόχρονα σε κοινό σύστημα συντεταγμένων τα αποτελέσματα και να οδηγήσουν στην ολοκληρωμένη και άμεση απεικόνιση της συμπεριφοράς μιας περιοχής στα διάφορα σεισμικά σενάρια. Μέσω της χρήσης κατάλληλων λογισμικών ΓΣΠ, υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης ενός Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων το οποίο μέσω της χωρικής σύνδεσης των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας, θα απεικονίζει την σεισμική απόκριση κάθε σημείου της περιοχής για κάθε σεισμό που προσομοιώνεται και θα έχει την δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης, έτσι ώστε να υπολογίζεται και να απεικονίζεται άμεσα η σεισμική απόκριση της περιοχής σε ενδεχόμενο πραγματική σεισμικής δόνησης.

Στον τομέα του προσδιορισμού των αντικειμένων που τίθενται υπό κίνδυνο, τα ΓΣΠ μπορούν να διαχειριστούν πληροφορίες που αφορούν όχι μόνο την γεωγραφική τοποθέτηση των αντικειμένων αυτών, αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, μπορούν να απεικονιστούν και να επεξεργαστούν όχι μόνο οι θέσεις των κατασκευών μιας περιοχής, αλλά και τα χαρακτηριστικά κατασκευής της κάθε

μίας. Σε ένα δίκτυο ύδρευση εκτός από την θέση των αγωγών μπορούν να αποθηκευτούν πληροφορίες σχετικά με την διάμετρο, ή το υλικό κατασκευής του κάθε αγωγού.

Στον υπολογισμό της τρωτότητας των αντικειμένων που τίθενται υπό κίνδυνο, τα ΓΣΠ μπορούν να ενσωματώσουν τα διάφορα μοντέλα απωλειών, συνδέοντας χωρικά τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας υπολογίζοντας με ακρίβεια τις αναμενόμενες απώλειες σε κάθε σενάριο. Έχοντας προσδιορίσει με βάση τα προηγούμενα την ακριβή επικινδυνότητα κάθε περιοχής, την σεισμική απόκριση κάθε σημείου της περιοχής, τα αντικείμενα που βρίσκονται σε κάθε σημείο της περιοχής, την τρωτότητα των αντικειμένων και συνδέοντας τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας εξάγεται μία συνολική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για όλα τα σημεία μίας περιοχής, για όλα τα αντικείμενα που τίθενται υπό κίνδυνο, για όλα τα πιθανά σενάρια σεισμικότητας.

Τα παραπάνω έχουν τεράστια σημασία και στον τομέα της αντισεισμικής προστασίας όπου πάλι τα ΓΣΠ μπορούν να παίξουν τεράστιο ρόλο καθώς μπορούν όχι μόνο να υποδείξουν με ακρίβεια τα σημεία υψηλής επικινδυνότητας, οδηγώντας στην λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με προληπτικά και αντισεισμικά μέτρα, αλλά και να συντελέσουν στην σωστή ενημέρωση του πληθυσμού μιας περιοχής για την σωστή συμπεριφορά στην περίπτωση σεισμικού κινδύνου. Η υπόδειξη κατάλληλων χώρων διαφυγής, συγκέντρωσης, καταλυμάτων και η κατάλληλη ενημέρωση του πληθυσμού με την χρήση θεματικών χαρτών σε ΓΣΠ ακόμα και σε επίπεδο συνοικίας, μπορούν να συντελέσουν στην σωστή συμπεριφορά και αντιμετώπιση του κινδύνου.

Όπως γίνεται αντιληπτό, υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες εξαγωγής πολύτιμων συμπερασμάτων και λήψης κρίσιμων αποφάσεων, που προκύπτουν από την διαχείριση των δεδομένων που αφορούν στον σεισμικό κίνδυνο με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν να οδηγήσουν στην αναπροσαρμογή του αντισεισμικού σχεδιασμού έτσι ώστε να ανταποκρίνεται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο στις ιδιαίτερες συνθήκες μίας τοπικής κοινωνίας και στην λήψη αποφάσεων που αφορούν τον αντισεισμικό σχεδιασμό από την Τοπική

Αυτοδιοίκηση, θωρακίζοντας έτσι τις τοπικές κοινωνίες απέναντι στον πάντα υπαρκτό στον ελληνικό χώρο σεισμικό κίνδυνο.

4.6 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MAPINFO

Στην παρούσα εργασία το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εμπορική έκδοση του MapInfo 6.5 Professional. Το λογισμικό MapInfo έχει υλοποιηθεί για την διαχείριση σχεσιακών βάσεων δεδομένων με βάση την γλώσσα προγραμματισμού SQL(Structured Query Language).

Το MapInfo διαχειρίζεται ταυτόχρονα τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας με βάση γεωγραφικές λειτουργίες οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Συνένωση γεωγραφικών οντοτήτων (Combine) και δυνατότητα απόδοσης νέων τιμών σε κάθε πεδίο της βάσης που προκύπτει από την συνένωση, με βάση το άθροισμα, τον μέσο όρο ή μία τιμή που ορίζει ο χρήστης. Η συνένωση μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την χρήση επιφανειών σε μορφή ζώνης (buffers) γύρω από επιλεγμένα αντικείμενα. Η ζώνες αυτές έχουν προκαθορισμένη απόσταση από το επιλεγμένο αντικείμενο και με βάση αυτές μπορεί να πραγματοποιηθεί η συνένωση.
- Διαχωρισμός γεωγραφικών οντοτήτων (Split). Μία γεωγραφική οντότητα διαχωρίζεται με βάση άλλη γεωγραφική οντότητα και δημιουργείται μία νέα βάση δεδομένων που περιέχει τα πεδία της αρχικής βάσης.
- Τακτοποίηση επιπέδου πληροφορίας, με αφαίρεση των σβησμένων ή περιττών πληροφοριών και μείωση του αποθηκευτικού χώρου που καταλαμβάνει η κάθε βάση.
- Αφαίρεση γεωγραφικών οντοτήτων εντός ή εκτός μίας περιοχής.
- Εγκλεισμός γεωγραφικών αντικειμένων εντός μιας επιφάνειας, δηλαδή δημιουργία νέας κυρτής επιφάνειας με βάση τους κόμβους προεπιλεγμένων αντικειμένων.

Σημαντικό στοιχείο της χρήσης του MapInfo αποτελεί επίσης και η διαδικασία γεωγραφικών αναζητήσεων (Select) αντικειμένων ενός ή περισσότερων επιπέδων πληροφορίας με βάση εντολές – ερωτήματα (Queries) που βασίζονται στην γλώσσα

προγραμματισμού SQL. Για τις αναζητήσεις χρησιμοποιούνται λογικές εκφράσεις (expressions) οι οποίες αποτελούν ουσιαστικά τα κριτήρια της αναζήτησης και εισάγονται στο παράθυρο της εντολής “Select”. Οι εκφράσεις πρέπει να βασίζονται στην δομή της γλώσσας προγραμματισμού SQL. Οι λογικές εκφράσεις που περιγράφουν την αναζήτηση μπορούν να περιέχουν:

- Μαθηματικές Συναρτήσεις, όπως Abs(num), Cos(num), Maximum(num1, num2), που δίνουν την απόλυτη τιμή ενός αριθμού, το ημίτονο ενός αριθμού και το μέγιστο μεταξύ δύο αριθμών. Επίσης υποστηρίζεται η δυνατότητα εισαγωγής πιο πολύπλοκων συναρτήσεων όπως οι εκθετικές ή λογαριθμικές συναρτήσεις.
- Συναρτήσεις ημερομηνίας, όπως date(now) που δίνει την τρέχουσα ημερομηνία
- Αλφαριθμητικές συναρτήσεις, όπως Val(str) και Ucase\$(str), που μετατρέπουν μία αλφαριθμητική τιμή σε αριθμό και δίνει την αλφαριθμητική τιμή με κεφαλαίους χαρακτήρες αντίστοιχα.
- Συναρτήσεις γεωγραφικών υπολογισμών, όπως Area(obj, str), CentroidX(obj) και ObjectLength(obj, str) που επιστρέφουν την έκταση, το γεωγραφικό μήκος και το μήκος ενός αντικειμένου.
- Συναρτήσεις δημιουργίας αντικειμένων, όπως CreateCircle(num_x, num_y, num_radius) που επιστρέφει ένα σημείο με καθορισμένο γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ακτίνα.

Υπάρχει λοιπόν πλειάδα λογικών εκφράσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να γίνει με επιτυχία η χωρική αναζήτηση. Πιο σύνθετες αναζητήσεις μπορεί να γίνουν επίσης στην γλώσσα SQL, μέσω της “SQL επιλογής” (SQL Select). Τα πλεονέκτημα της εντολής γεωγραφικής αναζήτησης SQL έναντι μίας απλής γεωγραφικής αναζήτησης είναι ότι η αναζήτηση SQL επιτρέπει την εξαγωγή δευτερογενών δεδομένων που έχουν προκύψει από την συνένωση δεδομένων βάση ενός πεδίου. Η συνένωση μπορεί να πραγματοποιηθεί, με βάση πεδία του ίδιου ή διαφορετικών πινάκων μέσω μιας διαδικασίας συνένωσης (join). Εδώ ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει τον τρόπο συνένωσης των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας. Δυστυχώς το MapInfo δεν επιτρέπει πολλαπλή σχέση (σχέση $m \times n$) μεταξύ πινάκων. Δεν γίνεται δηλαδή να εξάγουμε το καρτεσιανό γινόμενο δύο πινάκων

αντιστοιχίζοντας όλες τις τιμές του ενός με όλες τις τιμές του άλλου. Υποστηρίζονται μόνο σχέσεις $1 \times n$ ή $n \times 1$. Το MapInfo περιέχει έξι εξισώσεις συνένωσης δεδομένων, οι οποίες είναι:

- Count(*): Μετρά τον αριθμό των αναγραφών σε μία ομάδα δεδομένων
- Sum(expression): Υπολογίζει το άθροισμα των τιμών στην καθορισμένη λογική έκφραση για το σύνολο των αναγραφών
- Average(expression): Υπολογίζει τον μέσο όρο των τιμών της έκφρασης για το σύνολο των αναγραφών
- WtAvg(expression): Υπολογίζει το μέσο όρο βαρύτητας των τιμών στην έκφραση που έχει καθοριστεί για όλες τις αναγραφές
- Max(expression): Υπολογίζει την μέγιστη τιμή του αποτελέσματος της έκφρασης από το σύνολο των αναγραφών
- Min(expression): Υπολογίζει την ελάχιστη τιμή της έκφρασης που έχουμε εισάγει από το σύνολο των αναγραφών.

Τέλος το MapInfo περιέχει ολοκληρωμένο σύστημα θεματικής χαρτογραφίας. Η διαδικασία δημιουργίας θεματικών χαρτών γίνεται με βάση τις θεματικές μεταβλητές κάθε αντικειμένου, δηλαδή με βάση όλες εκείνες τις πληροφορίες που χαρακτηρίζουν ένα αντικείμενο. Ανάλογα με την μορφή του αντικειμένου (σημείο, γραμμή, ζώνη) ποικίλουν και τα είδη της θεματικής χαρτογραφίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσέγγιση του ζητήματος της Διαχείρισης Σεισμικής Επικινδυνότητας με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στόχος είναι η **συμβολή στην αντισεισμική προστασία της πόλης των Χανίων** και η ανάδειξη των αποτελεσμάτων και των πλεονεκτημάτων της χρήσης ΓΣΠ στην Διαχείριση Σεισμικής Επικινδυνότητας. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δόθηκε έμφαση στην αντισεισμική προστασία του **Δικτύου Ύδρευσης** της πόλης των Χανίων αλλά και στην εφαρμογή μοντέλων εξασθένησης για ρεαλιστικά σενάρια σεισμικής δραστηριότητας.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υπολογισμού αστοχιών σε δίκτυα Ύδρευσης του Wang^[1], μαθηματικό μοντέλο εξασθένησης της έντασης του σεισμού που προτείνεται για την περιοχή της Κρήτης, ψηφιοποιημένοι χάρτες του Νομού Χανίων, του δικτύου ύδρευσης της πόλης των Χανίων, των αποτελεσμάτων μικροζωνικής μελέτης στον Δήμο Χανίων και των επικέντρων των σημαντικότερων σεισμών που έπληξαν την περιοχή της Κρήτης από το 1246 έως το 1994. Η διαχείριση των πληροφοριών έγινε στο λογισμικό MapInfo Professional 6.5 στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η μελέτη αφορά τους κεντρικούς αγωγούς ύδρευσης του Δήμου Χανίων που περιλαμβάνονται στις ζώνες σεισμικής απόκρισης όπως προέκυψαν από την μικροζωνική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος “Seismocare”^[2].

5.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ, ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

5.2.1 Αποτελέσματα Μικροζωνικής Μελέτης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο όρος Μικροζωνική μελέτη, περιγράφει την διαδικασία εκτίμησης των τοπικών εδαφικών συνθηκών μιας περιοχής καθώς είναι ένας από τους καθοριστικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον εδαφικό κραδασμό κατά την διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης. Η σημαντικότερη παράμετρος που επηρεάζει και τροποποιεί τα σεισμικά κύματα κατά την κίνησή τους από το υπόβαθρο μιας περιοχής προς την επιφάνεια, είναι **οι ελαστικές ιδιότητες των ανώτερων γεωλογικών σχηματισμών**.

Στον δήμο τον Χανίων πραγματοποιήθηκε εκτίμηση των ελαστικών ιδιοτήτων των επιφανειακών σχηματισμών του εδάφους **με την μέθοδο των επιφανειακών κυμάτων (Spectral Analysis of Surface Waves)** κατά την διάρκεια της εκπόνησης του προγράμματος Seismocare^[2]. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη.

Με την βοήθεια πέτοντας βάρους από μεγάλο ύψος, ασκείται σε διάφορες περιοχές της επιφάνειας του Δήμου Χανίων, κρουστικό φορτίο το οποίο δημιουργεί επιφανειακά σεισμικά κύματα Rayleigh. Σε δεδομένες κάθε φορά αποστάσεις από την περιοχή της προσκλήσεις των τεχνητών σεισμών τοποθετούνται δύο γεώφωνα τα οποία καταγράφουν τα σεισμικά κύματα και αποθηκεύουν τα αποτελέσματα σε H/Y, από όπου και υπολογίζεται η κατανομή των σεισμικών ταχυτήτων σε συνάρτηση με το βάθος.

Με την επεξεργασία των δεδομένων μέσω του λογισμικού Waves, υπολογίστηκε η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του εδάφους στα σημεία της μελέτης T_s και από τις εμπειρικές σχέσεις του Oshaki^[2] για την εδαφική επιτάχυνση, χρησιμοποιήθηκαν αυτές που υπολογίζουν τον βαθμό ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης (r_a) από το υπόβαθρο μιας περιοχής στην επιφάνεια της. Οι σχέσεις αυτές είναι:

$$r_a = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{T_s}{a}\right)^m\right]^2 + d\left(\frac{T_s}{a}\right)^m}}$$

και

$$r_v = r_a \left(\frac{T_s}{a}\right)^m$$

όπου

r_a είναι ο ρυθμός ενίσχυσης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης

r_v είναι ο ρυθμός ενίσχυσης της οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας

T_s είναι η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του εδάφους

a_r είναι η μέγιστη επιτάχυνση του βραχώδους υποβάθρου, g

α , d , m είναι εμπειρικοί συντελεστές που δίνονται από τις σχέσεις

$$m = 1.27 + 0.166 \ln(a_r)$$

$$d = 1.13 + 0.186 \ln(a_r)$$

$$\alpha = 0.32 + 0.066 \ln(a_r)$$

Αποτέλεσμα ήταν η κατάρτιση ενός χάρτη ζωνών εδαφικής απόκρισης. Η κάθε ζώνη αντιπροσωπεύει και διαφορετική τιμή r_a . Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής οι ζώνες αυτές κατηγοριοποιήθηκαν με την χρήση ΓΣΠ σε τρεις κυρίως ζώνες «καλής», «μέτριας» και «κακής» εδαφικής απόκρισης ανάλογα με την τιμή του ρυθμού ενίσχυσης της οριζόντιας επιτάχυνσης:

- Για $r_a < 1$ έχουμε επιβράδυνση του σεισμικού κύματος και άρα καλή εδαφική απόκριση
- Για $r_a \approx 1$ δεν επηρεάζεται η επιτάχυνση άρα έχουμε μέτρια εδαφική απόκριση
- Για $r_a > 1$ η επιτάχυνση αυξάνεται συνεπώς έχουμε κακή εδαφική απόκριση.

5.2.2 Μοντέλο αστοχιών και αποκατάστασης δικτύου ύδρευσης

Για τον Υπολογισμό της τρωτότητας του Δικτύου Ύδρευσης της πόλης των Χανίων χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο του Wang^[1] το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον Υπολογισμό της τρωτότητας του Δικτύου Ύδρευσης της πόλης της Βαρκελώνης.

Το μαθηματικό αυτό μοντέλο είναι προϊόν στατιστικής μελέτης αστοχιών σε δίκτυα Ύδρευσης και έχει το πλεονέκτημα του άμεσου υπολογισμού των αστοχιών σε αγωγούς ανεξάρτητα από το είδος και το υλικό κατασκευής των αγωγών χρησιμοποιώντας σαν μόνο κριτήριο την ποιότητα του εδάφους. Με τον όρο ποιότητα περιγράφεται η σεισμική απόκριση του εδάφους, η οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο σε «καλή», «μέτρια», «κακή» ανάλογα με το αν συντελεί στην αύξηση ή την ελάττωση της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους (PGA) από το υπόβαθρο στην επιφάνεια της περιοχής. Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση ο Wang προτείνει τις εξής μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού των απωλειών σε δίκτυα:

$\text{Log } Y = 1.837 (I) - 14.065$	σε έδαφος με κακή σεισμική απόκριση
$\text{Log } Y = 1,717 (I) - 14.221$	σε έδαφος με μέτρια σεισμική απόκριση
$\text{Log } Y = 1.522 (I) - 14.045$	σε έδαφος με καλή σεισμική απόκριση

όπου Y είναι ο αριθμός των αστοχιών (σπάσιμο - ρήγμα) ανά Km δικτύου και I η σεισμική ένταση.

Το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα δίκτυα (αποχέτευσης, φυσικού αερίου), καθώς όπως αναφέρθηκε δεν εμπεριέχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κατασκευής του δικτύου. Ωστόσο το γεγονός αυτό μειώνει την δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης και συνεπώς το μοντέλο του Wang είναι κατάλληλο μόνο για χονδρικούς υπολογισμούς. Είναι όμως ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση που ενώ υπάρχουν στοιχεία εδαφικής απόκρισης του εδάφους από μικροζωνική μελέτη, δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία για το είδος και την διάμετρο των αγωγών των διαφόρων δικτύων. Για την σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου του Wang στο δίκτυο Ύδρευσης της Βαρκελώνης τα οποία παρατίθενται στο παράρτημα III.

Θεωρώντας πως οι αστοχίες στο δίκτυο ακολουθούν τον νόμο του Poisson (Παράρτημα II), υπολογίζεται και η πιθανότητα έστω και μίας αστοχίας, τόσο σε κάθε αγωγό όσο και συνολικά στο δίκτυο ύδρευσης. Η σχέση που δίνει αυτήν την πιθανότητα είναι η εξής:

$$P = 1 - \exp(-r_j L)$$

όπου r_j είναι ο ρυθμός αστοχιών (breaks/km) του κάθε αγωγού και L είναι το μήκος του αγωγού.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο του ρυθμού αποκατάστασης ζημιών σε δίκτυα ύδρευσης το οποίο προέκυψε από στατιστική μελέτη του χρόνου απόκρισης των δυνάμεων πολιτικής προστασίας στα πλαίσια του προγράμματος Seismocare^[2]. Ο ρυθμός αποκατάστασης απωλειών σε δίκτυα ύδρευσης δίνεται από τη σχέση:

$$R(t) = R(0) + [1 - R(0)] / [1 + A \exp(-Bt)]$$

όπου

$$1 + A = k[1 - R(0)]$$

k είναι μία σταθερά που παίρνει την τιμή 100

B είναι μία σταθερά, διαφορετική για κάθε δίκτυο που εξαρτάται από την απόκριση της κάθε υπηρεσίας στην αποκατάσταση του αντίστοιχου δικτύου (στην περίπτωση των Χανίων για το δίκτυο ύδρευσης, $B=0.17$)

$R(t)$ είναι ο ρυθμός αποκατάστασης σε χρόνο t

και $R(0)$ είναι ο ρυθμός αποκατάστασης αμέσως μετά τον σεισμό ο οποίος είναι ίσος με τον βαθμό του δικτύου που έμεινε ανέπαφο (100%-ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ)

5.2.3 Υπολογισμός εξασθένηση σεισμικής έντασης

Για τον υπολογισμό της εξασθένησης της σεισμικής έντασης για την κατάρτιση αντίστοιχων χαρτών, χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική σχέση των Παπαζάχου και Παπαϊωάννου^[11], η οποία ισχύει για τους σεισμούς στον ελλαδικό χώρο και είναι:

$$I = -3.59 \log(D+6) + 3.19 + I_0$$

όπου I είναι η ένταση στο ζητούμενο σημείο,

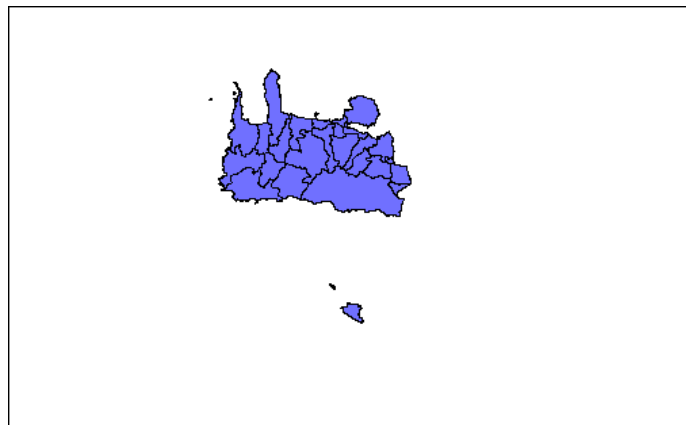
I_0 είναι η ένταση στο επίκεντρο και

D είναι η απόσταση ανάμεσα στο επίκεντρο και το ζητούμενο σημείο.

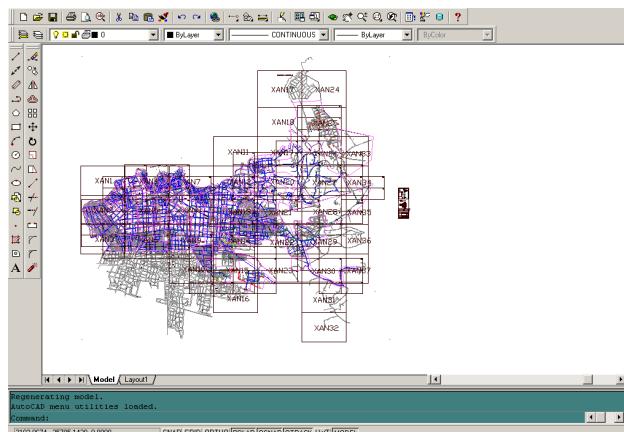
5.2.4 Ψηφιακοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν

Τα ψηφιακά χαρτογραφικά δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία και διαχείριση σε λογισμικό ΓΣΠ, είναι τα εξής:

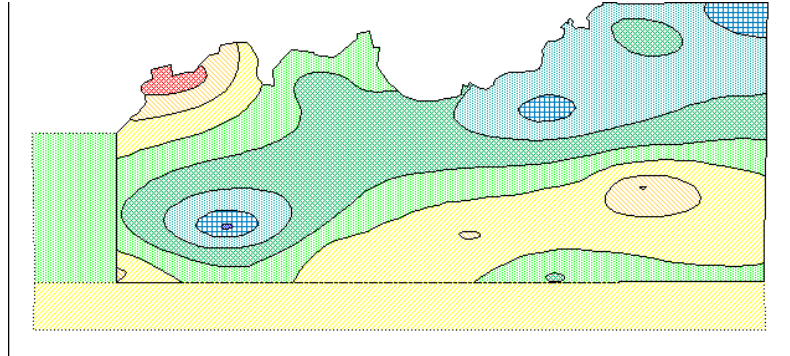
Ψηφιοποιημένος χάρτης του νομού Χανίων που χορηγήθηκε από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης (ΟΑΝΑΚ)



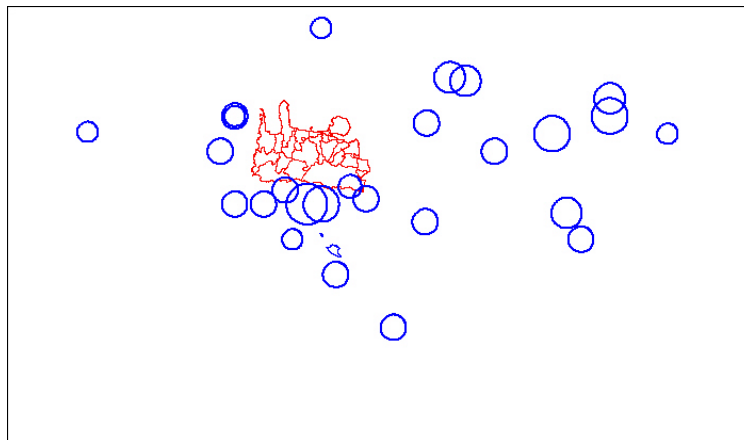
Ψηφιοποιημένος χάρτης όλων των δικτύων της πόλης των Χανίων σε μορφή AUTOCAD από την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ)



Ψηφιοποιημένος χάρτης της σεισμικής απόκρισης των εδαφών του Δήμου Χανίων που προέκυψε από την μικροζωνική μελέτη του προγράμματος Seismocare^[2].



Ψηφιοποιημένος χάρτης των epicέντρων των σημαντικότερων σεισμών από το 1246 έως το 1994 στην περιοχή της Κρήτης που περιέχονται σε μελέτη του Ι.Τ.Σ.Α.Κ^[10].



5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Προκειμένου να υπάρξει σωστή ανάλυση και διαχείριση των δεδομένων προηγήθηκε ένα στάδιο επεξεργασίας, διόρθωσης λαθών των ψηφιακών χαρτών και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκαν οι εξής διαδικασίες:

5.3.1. Ενημέρωση της βάσης του νομού Χανίων

Η ενημέρωση της βάσης του νομού Χανίων γίνεται με εισαγωγή των ονομάτων κάθε Δήμου, πληθυσμιακών δεδομένων και εύρεση της έκτασης κάθε Δήμου του νομού Χανίων. Ο συνολικός πίνακας που προέκυψε για τον Νομό Χανίων είναι ο πίνακας 5.1

α/α	ΔΗΜΟΙ	CENTROIDX	CENTROIDY	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (τετρ. km)
1	Κοινότητα Ασή Γωνιάς	24,282014	35,271794	586	19,93
2	Δ. Χανίων	24,028695	35,510872	53373	12,59
3	Δ. Κισσάμου	23,617843	35,504309	7463	148,61
4	Δ. Μιθύμνης	23,703153	35,447708	2914	55,53
5	Δ. Ινναχωρίου	23,611078	35,347474	1443	135,05
6	Δ. Πελεκάνου	23,662241	35,283203	4259	169,6
7	Δ. Κανδάνου	23,738136	35,336082	1607	74,28
8	Δ. Αν. Σελίνου	23,820424	35,296501	1468	132,95
9	Δ. Βουκολιών	23,775956	35,449118	3296	75,87
10	Δ. Πλατανιά	23,839628	35,465805	5225	75,48
11	Δ. Μουσούρων	23,88996	35,38535	4755	192,33
12	Δ. Νέας Κυδωνίας	23,956669	35,49852	7301	23
13	Δ. Θερίσου	23,966766	35,413417	6313	73,4
14	Δ. Ελ.Βενιζέλου	24,027208	35,47581	10586	19,02
15	Δ. Κολυμπαρίου	23,758563	35,557421	5366	149,3
16	Δ. Ακρωτηρίου	24,124074	35,545029	10321	113,61
17	Δ. Σούδας	24,098557	35,47719	7840	22,25
18	Δ. Κεραμιών	24,051861	35,403892	1630	89,44
19	Δ. Αρμένων	24,116804	35,400906	3250	55,07
20	Δ. Φρε	24,111524	35,365771	1122	53,87
21	Δ. Βάμου	24,206153	35,417958	2932	67,54
22	Δ. Κρυονερίδας	24,190951	35,348942	2330	67,59
23	Δ. Γεωργούπολης	24,277668	35,335095	2483	55,41
24	Δ. Σφακιών	24,085127	35,262727	2446	469,65
25	Δ. Γαύδου	24,083382	34,834797	98	34,8

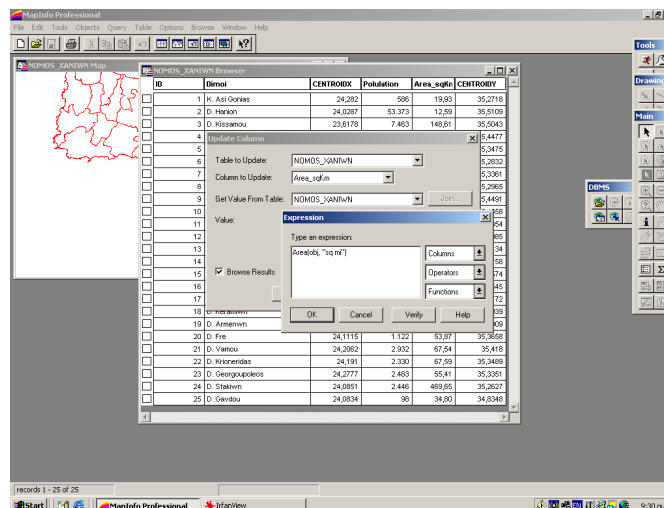
Πίνακας 5.1 Πίνακας δεδομένων Νομού Χανίων

Η εύρεση της έκτασης του κάθε Δήμου έγινε μέσω του MapInfo χρησιμοποιώντας την εντολή :

Area(obj, "sqKm")

στο πεδίο *Update Column*.

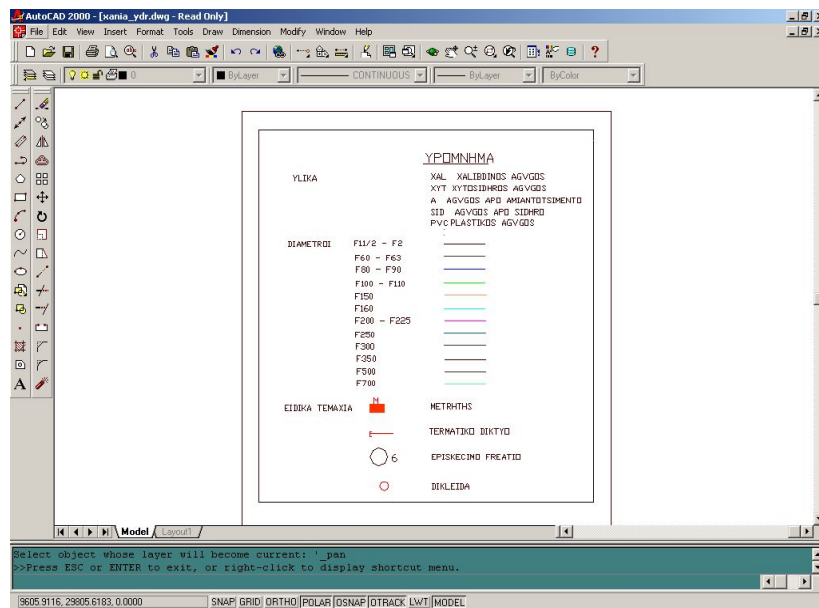
Με την εντολή αυτή υπολογίζεται η έκταση του κάθε αντικειμένου (object) και ενημερώνεται η στήλη την οποία προηγουμένως έχουμε δημιουργήσει στον πίνακα του Νομού ένα πεδίο με το όνομα Area (km²). Η διαδικασία παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.2



Εικόνα 5.2 Διαδικασία εύρεσης της έκτασης μιας περιοχής σε ΓΣΠ

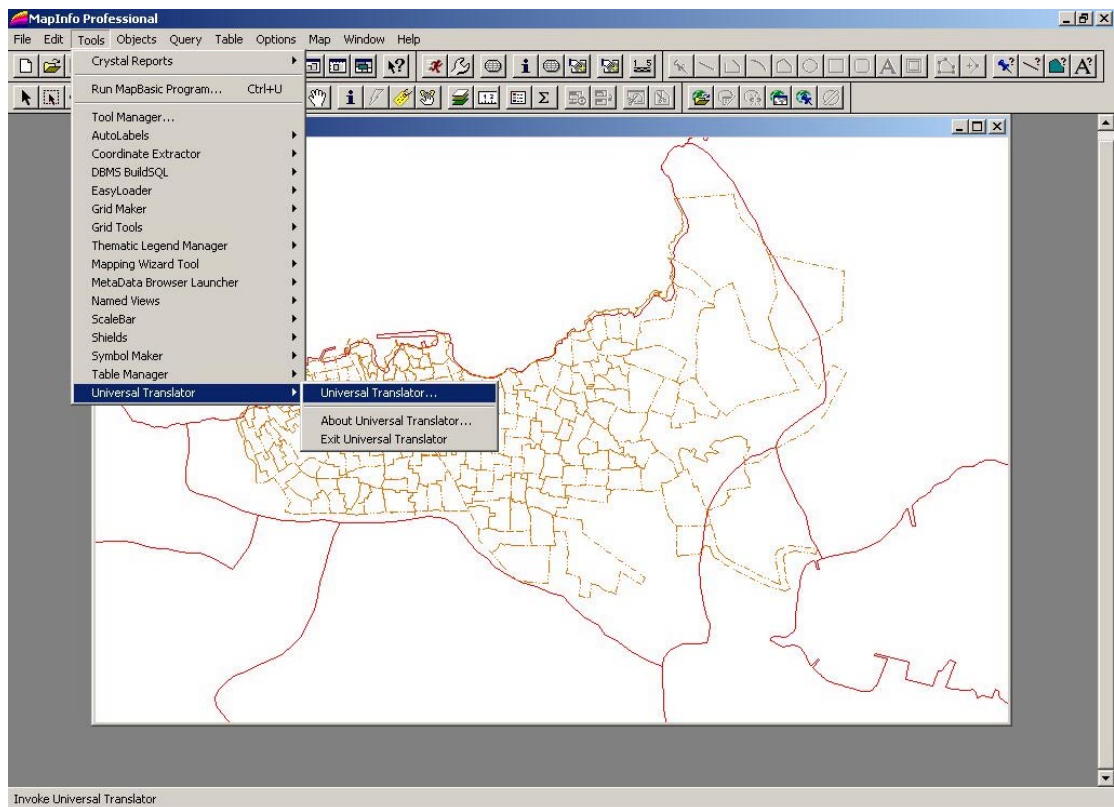
5.3.2. Επιλογή δικτύου Ύδρευσης από το AUTOCAD και μεταφορά του στο MapInfo.

Από το Υπόμνημα που συνοδεύει τον ψηφιακό χάρτη της ΔΕΥΑΧ με τα δίκτυα του νομού Χανίων (Εικ. 5.3) επιλέγουμε το κεντρικό δίκτυο των Χανίων με διάμετρο Φ80-90mm

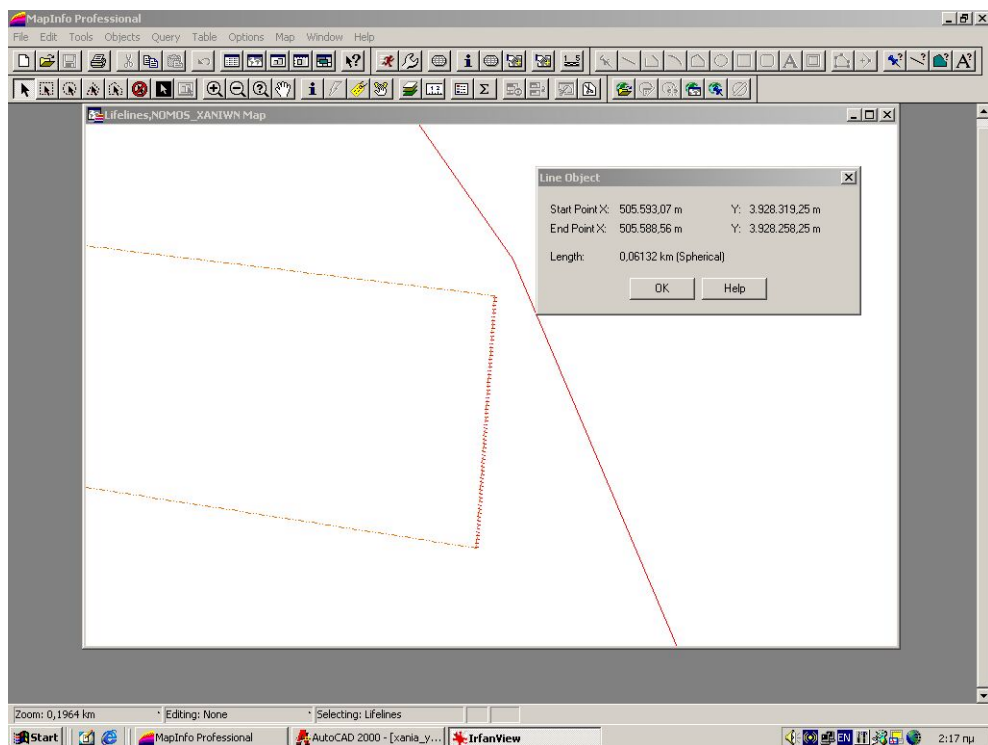


Εικόνα 5.3 Υπόμνημα για τα δίκτυα του Δήμου Χανίων στο AutoCAD

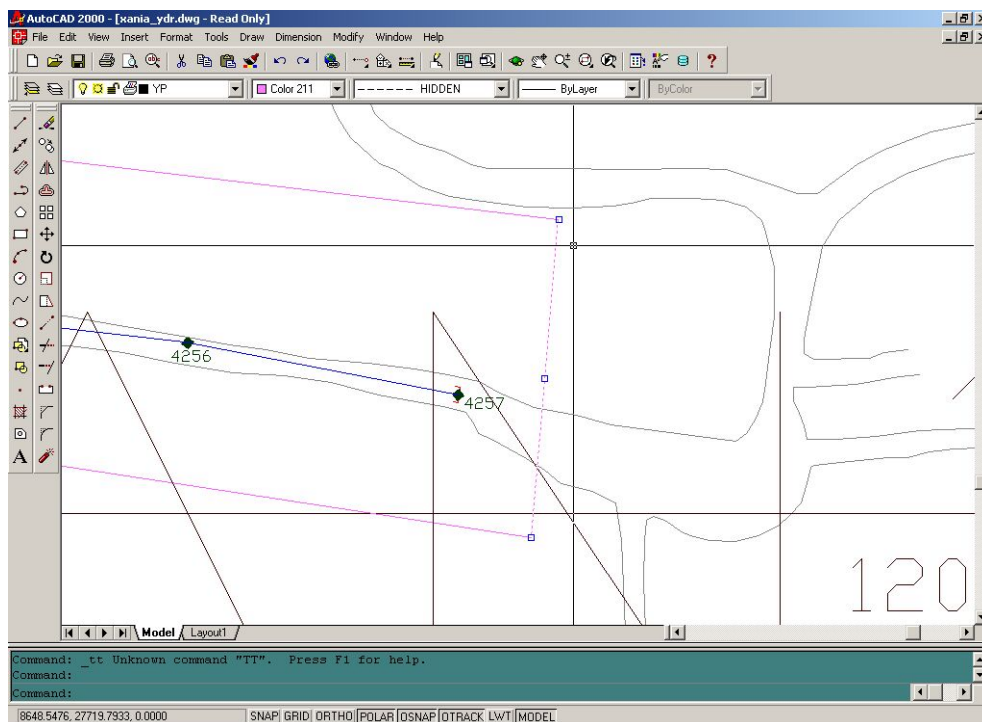
Στην συνέχεια μεταφέρουμε το αρχείο στο λογισμικό MapInfo δίνοντας **κατάλληλες συντεταγμένες** στο δίκτυο ύδρευσης προκειμένου να μεταφερθεί με ακρίβεια στο προβολικό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήσαμε. Η απόδοση συντεταγμένων έγινε μέσω της επιλογής κατάλληλων σημείων από δίκτυο το οποίο υπήρχε ήδη σε μορφή αρχείου MapInfo στην σωστή γεωγραφική θέση σε σχέση με τον Δήμο Χανίων και αντιστοίχισης των συντεταγμένων αυτών των σημείων με τις συντεταγμένες που έχουν τα ίδια σημεία του ίδιου δικτύου στο AutoCad. Η διαδικασία φαίνεται στις εικόνες 5.4-8 και έγινε μέσω της επιλογής *World Transfer* του MapInfo και της εντολής μετατροπής συντεταγμένων (Set coordinate transformation). Το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι το δίκτυο “Lifelines” το οποίο περιέχει τις περιοχές στις οποίες είναι χωρισμένος ο χάρτης όλων των δικτύων του Δήμου Χανίων.



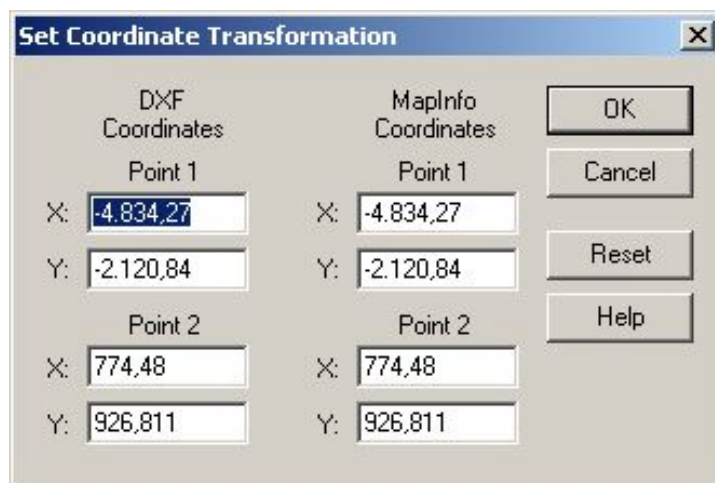
Εικόνα 5.4 Το δίκτυο Lifelines στο πρόγραμμα ΓΣΠ που χρησιμοποιήσαμε για την μετατροπή των συντεταγμένων



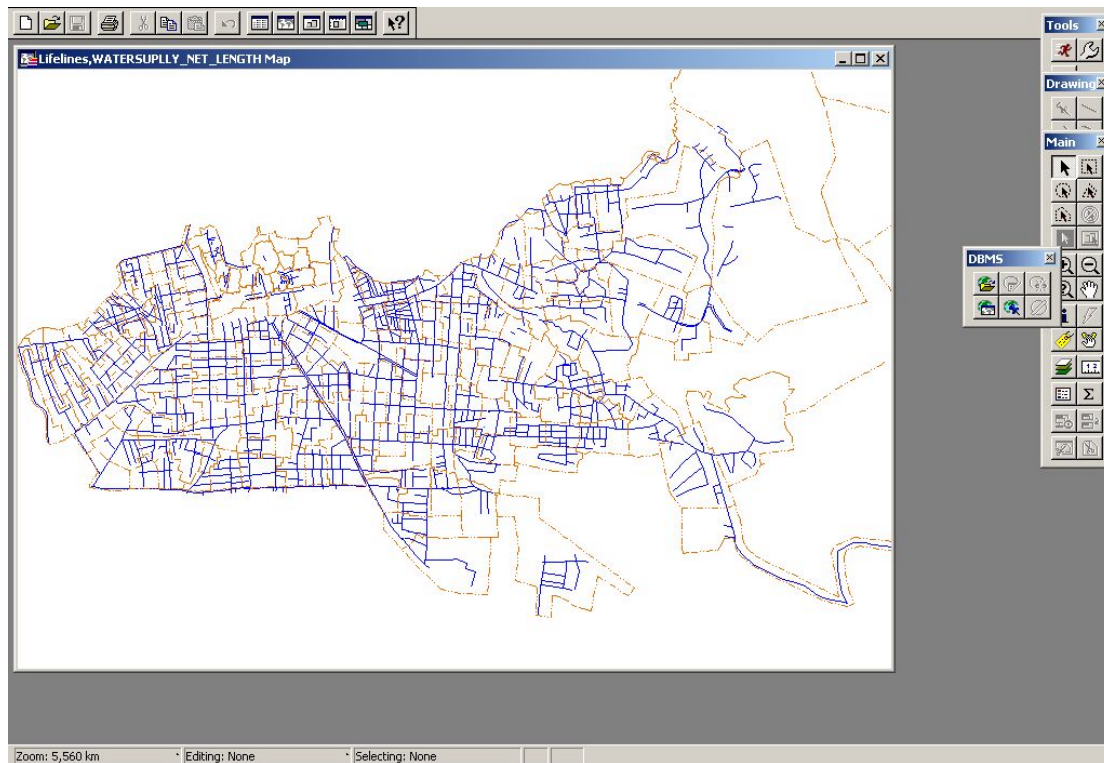
Εικόνα 5.5 Επιλογή συντεταγμένων για διάνυσμα του δικτύου Lifelines στο MapInfo



Εικόνα 5.6 Επιλογή συντεταγμένων για το ίδιο διάγραμμα του δικτύου Lifelines στο AutoCAD



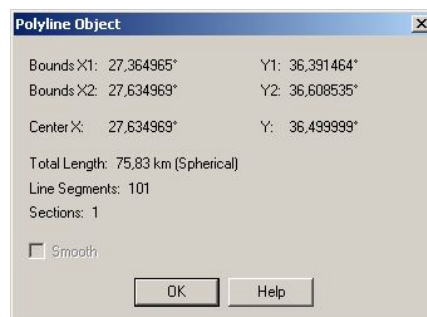
Εικόνα 5.7 Εκτέλεση εντολής μετατροπής συντεταγμένων



Εικόνα 5.8 Μεταφορά κεντρικού δικτύου Ύδρευσης στο GIS MapInfo

5.3.3 Επεξεργασία του Χάρτη και Πίνακα Σεισμικών Επικέντρων της περιοχής της Κρήτης

Ο αρχικός ψηφιακός χάρτης που χρησιμοποιήσαμε περιείχε λάθη που μπορεί να οφείλονταν στην χρησιμοποίηση διαφορετικού λογισμικού ΓΣΠ για την δημιουργία του αρχείου και την λανθασμένη μεταφορά του στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία αυτή. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στην εικόνα 5.9 το επίκεντρο του σεισμού φαίνεται να συμπίπτει με την εξωτερικό όριο της πρώτης ισόσεισμης καμπύλης και δεν βρισκόταν στο κέντρο της.

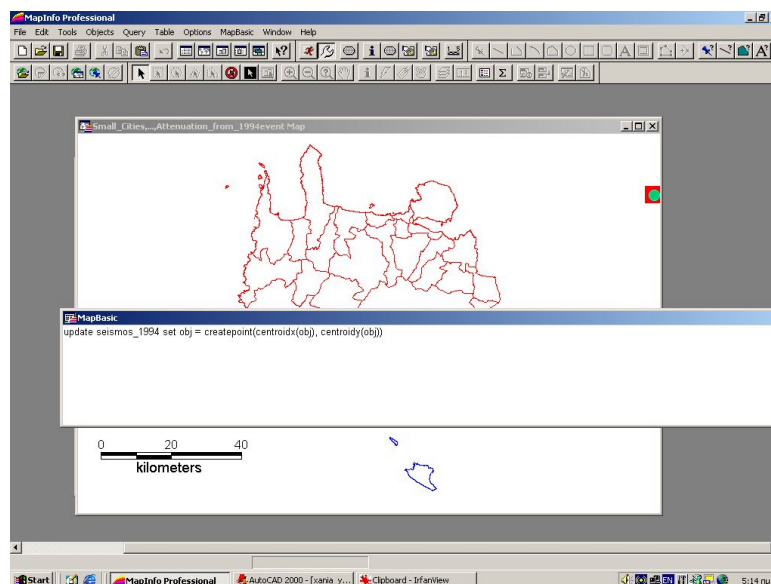


Εικόνα 5.9 Λανθασμένη καταχώρηση αντικειμένου στον ψηφιακό χάρτη

Με διασταύρωση των συντεταγμένων των συγκεκριμένων σεισμών με το αρχείο όλων των ιστορικών σεισμών του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, διαπιστώθηκε πως τα πραγματικά επίκεντρα ήταν όντως τα σημεία που αναφέρονταν στον πίνακα δεδομένων του σημειακού χάρτη, συνεπώς οι ισόσειστες καμπύλες έπρεπε να αντικατασταθούν με σημεία τα οποία να ανταποκρίνονται στις πραγματικές συντεταγμένες. Η διαδικασία αυτή έγινε μέσω της εντολής:

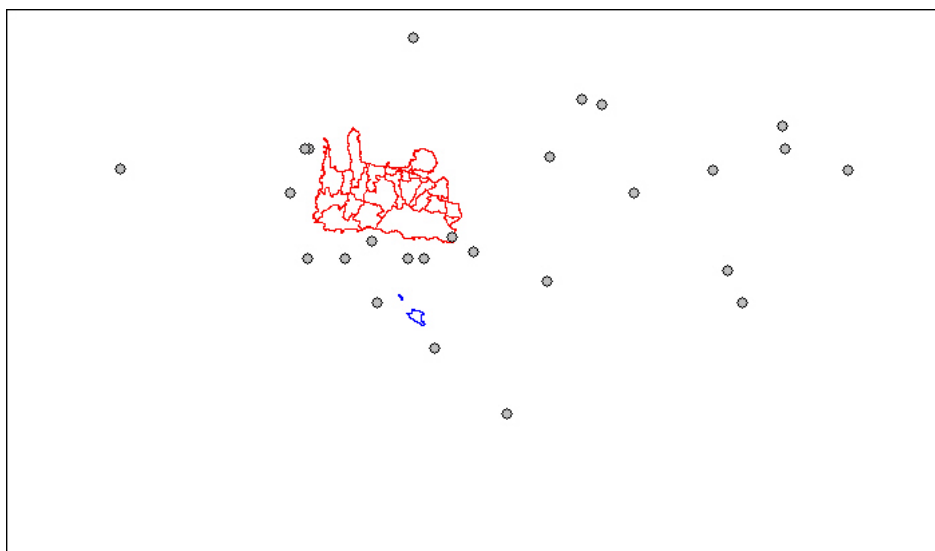
update historical_events set obj = createpoint (centroidx(obj), centroidy(obj))

Η εντολή πληκτρολογήθηκε στο παράθυρο της **MapBasic** (Εικ 5.10) που είναι η γλώσσα προγραμματισμού του λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 5.10 Εντολή δημιουργίας σημείου στην MapBasic

Με την εντολή αυτή τα αντικείμενα του ψηφιακού χάρτη μετατρέπονται σε σημεία με συντεταγμένες τα επίκεντρα των αντικειμένων. Στην προκειμένη περίπτωση τα επίκεντρα αυτά λόγω του λάθους που προαναφέρθηκε βρίσκονταν στο εξωτερικό όριο των αντικειμένων, ωστόσο αντιπροσώπευαν τις πραγματικές τιμές των συντεταγμένων. Ο ψηφιακός χάρτης που προέκυψε φαίνεται στην εικόνα 5.11.



Εικόνα 6.11 Διορθωμένος Χάρτης των ιστορικών σεισμών στην περιοχή της Κρήτης

Επίσης ενημερώσαμε τον πίνακα με τους ιστορικούς σεισμούς για τα μεγέθη των σεισμικών δονήσεων αλλά και τις σωστές τιμές των μέγιστων εντάσεων οι οποίες, στον αρχικό πίνακα, δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα. Για την ενημέρωση του πίνακα χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος των ιστορικών σεισμών στην περιοχή της Κρήτης του ΙΤΣΑΚ. Ο τελικός πίνακας που προέκυψε είναι ο εξής:

Date	Latitude	Longitude	Max_Intensity	Magnitude
1246 00 00	35,1	24	7	7
1508 05 29	35,05	25,7	10	7,5
1681 01 10	35,4	25,2	8	6,3
1780 10 00	34,9	25,8	10	7
1805 07 03	35,1	23,9	8	7,2
1810 02 16	35,5	25,6	9	7,8
1846 03 28	35,8	25	7	7,7
1856 10 12	35,6	26	9	8,2
1867 09 20	36,73	22,45	9	6,8
1887 07 17	35,7	26	7	7,5
1918 07 16	36,7	25,8	4	3,4
1926 06 26	36,5	27,5	11	8
1926 08 30	36,8	23,3	8	7,8

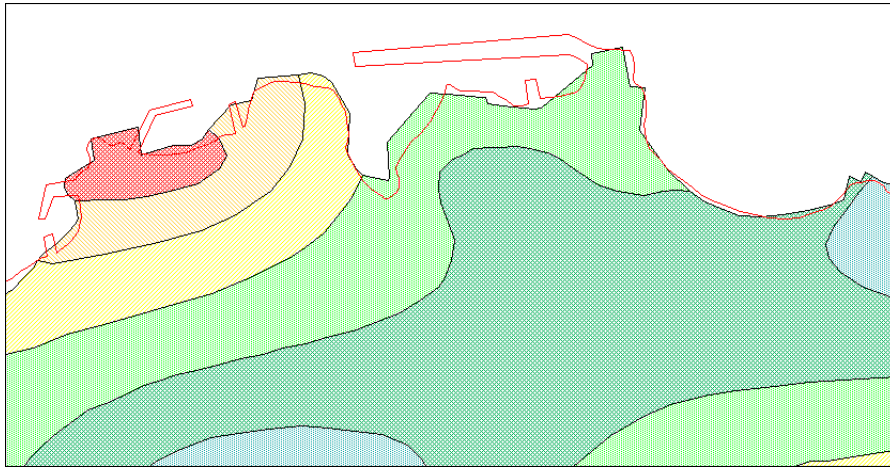
Date	Latitude	Longitude	Max_Intensity	Magnitude
1927 07 01	36,78	22,36	9	7,1
1930 02 14	36,5	24	10	6,7
1935 02 25	35,82	24,89	8	7
1947 08 30	35,1	23,4	5	6,3
1947 10 06	36,96	21,68	5	4,1
1952 12 17	34,4	24,5	6	7
1953 02 07	34,7	24,1	5	4,1
1956 07 09	36,64	25,96	9	7,5
1959 05 14	35	24,72	8	6,3
1959 06 10	35,6	23,4	5	4,1
1961 08 27	35,6	23,4	4	3,4
1961 12 11	36,4	23,4	4	3,4
1962 05 08	35,2	24,2	5	4,1
1963 01 15	36,1	24	4	3,4
1965 04 09	35,13	24,31	6	6,1
1972 05 04	35,1	23,6	5	6,5
1973 11 29	35,18	23,75	7	6
1978 01 28	34,9	23,8	4	3,4
1979 07 23	35,5	26,4	4	3,4
1984 06 21	35,4	23,3	5	6,2
1987 06 19	36,79	28,27	4	3,4
1992 11 21	35,51	22,38	4	3,4
1994 05 23	35,56	24,73	7	6,1

Πίνακας 5.12 Πίνακας Σεισμικότητας περιοχής νήσου Κρήτης

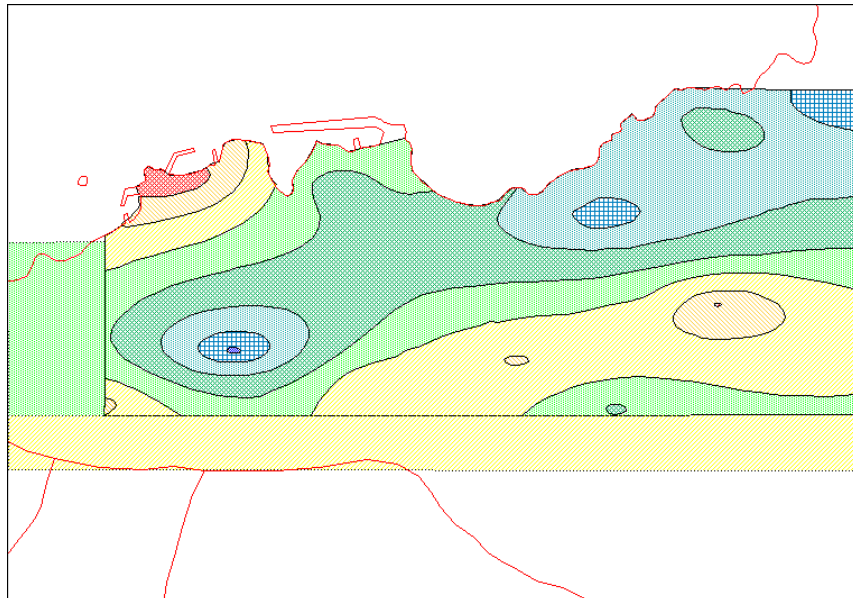
5.3.4 Επεξεργασία Χάρτη Σεισμικής Απόκρισης εδαφών του Δήμου Χανίων.

Ο Χάρτης αυτός λόγω διαφορών στην μη λεπτομερή ψηφιοποίηση σε σχέση με τον χάρτη του νομού Χανίων, παρουσίαζε κενά ή υπερέβαινε τα όρια, στα σημεία επαφής με την ακτογραμμή του νομού Χανίων όταν προβάλαμε μαζί τα δύο επίπεδα

πληροφορίας (Εικόνα 5.13). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει την αλλοίωση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του μοντέλου αστοχιών του δικτύου ύδρευσης καθώς υπήρχε περίπτωση μέρος του δικτύου που εφάπτεται με την ακτογραμμή να μείνει εκτός μοντελοποίησης. Μέσα από κατάλληλες εντολές διαχωρισμού, αποκοπής και ένωσης γεωγραφικών οντοτήτων στο πρόγραμμα MapInfo οδηγηθήκαμε στον χάρτη της εικόνας 5.14 όπου τα δύο επίπεδα πληροφορίας εφάπτονται στα όρια της ακτογραμμής.



Εικόνα 5.13 Ο αρχικός ψηφιακός χάρτης των ζωνών σεισμικής απόκρισης



Εικόνα 5.14 Επεξεργασμένος (διορθωμένος) χάρτης με τα δύο επίπεδα πληροφορίας να εφάπτονται.

5.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ

5.4.1 Εισαγωγή του μοντέλου εξασθένησης

Το μοντέλο εξασθένησης περιγράφεται από την συνάρτηση

$$I - I_0 = -3,59 \cdot \log(D+6) + 3,19$$

όπου

D η απόσταση από το επίκεντρο,

I₀ η ένταση στο επίκεντρο (μέγιστη ένταση) και

I η ένταση στο σημείο της μελέτης.

Για να εισάγουμε το μοντέλο αυτό στο ΓΣΠ και να μας δίνεται η δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης των πινάκων πρέπει να συνδέσουμε χωρικά (spatial join) τους πίνακες με τα δεδομένα του Νομού Χανίων με των πίνακα του ιστορικού των σεισμών. Οι δύο πίνακες έχουν τα εξής πεδία:

NOMOS XANION (NOMOS_XANION)

ID	Δήμος DIMOS	Centroidx	Centroidy	Πληθυσμός POPULATION	Έκταση AREA
----	----------------	-----------	-----------	-------------------------	----------------

ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ (HISTORICAL_EVENTS)

Ημερομηνία DATE	Longitude	Latitude	Max Ένταση Max_Intensity	Μέγεθος Magnitude
--------------------	-----------	----------	-----------------------------	----------------------

Επιχειρήθηκε η σύνδεση αυτών των δύο πινάκων να γίνει γεωγραφικά για όλα τα στοιχεία των πεδίων με τις τιμές των συντεταγμένων, μέσα από την διαδικασία χωρικής σύνδεσης. δηλαδή να δημιουργήσουμε το καρτεσιανό γινόμενο των δύο πινάκων ή αλλιώς μία σύνδεση m επί n. Δυστυχώς το MapInfo, όπως και άλλα λογισμικά GIS αυτής της κατηγορίας (όπως για παράδειγμα το ArcView) δεν επιτρέπουν και δεν μπορούν να διαχειριστούν τέτοιου είδους συνδέσεις μεταξύ πινάκων. Αυτό μας αφαίρεσε την δυνατότητα δημιουργίας ενός Συστήματος

Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων, το οποίο να επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση της βάσης. Προχωρήσαμε λοιπόν σε σύνδεση του κάθε σημείου (σεισμικού epicέντρου) με τα κέντρα όλων των Δήμων (σύνδεση 1*n) μέσω εντολής SQL που υποστηρίζει το λογισμικό και η οποία υπολογίζει την απόσταση μεταξύ δύο σημείων (Εικόνα 5.15). Για την σύνδεση θα χρησιμοποιηθούν τα πεδία centroidx, centroidy, Longitude, Latitude. Τα δύο πρώτα περιγράφουν τις συντεταγμένες του κέντρου του κάθε νομού ενώ τα δύο τελευταία τις συντεταγμένες των epicέντρων του κάθε σεισμού. Για την δημιουργία της χωρικής σύνδεσης χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εντολές.

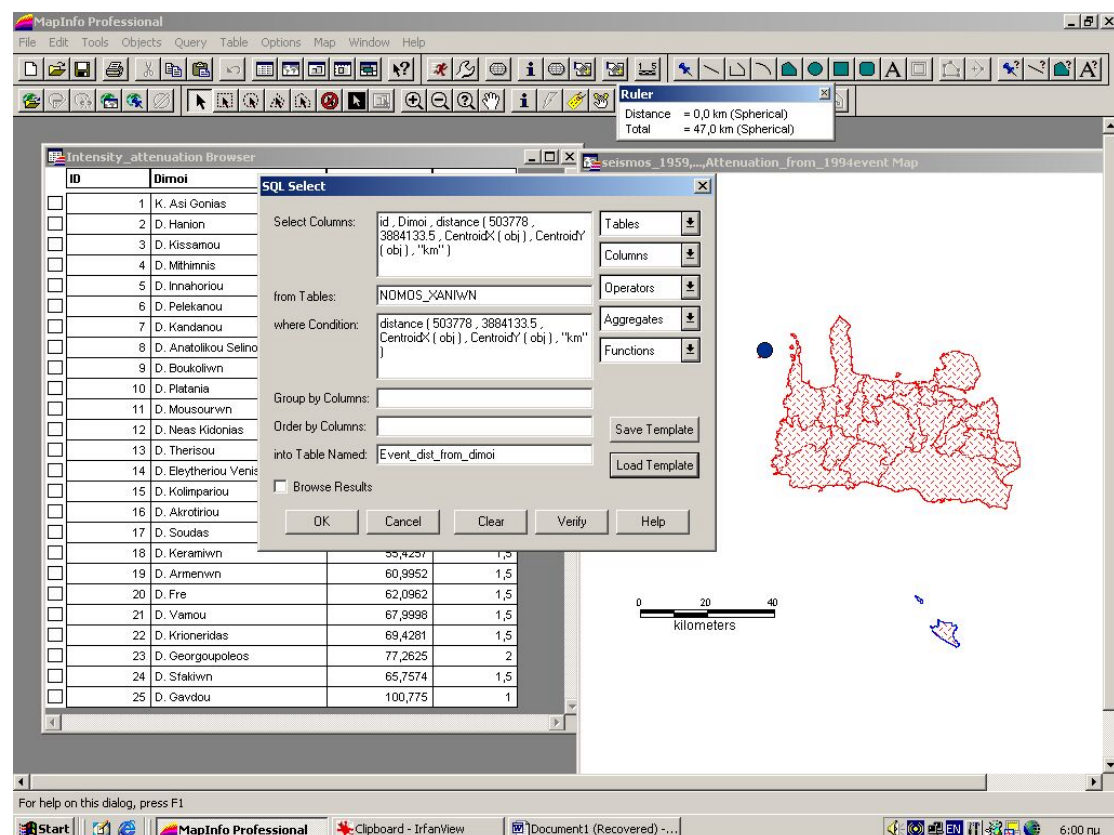
SQL Select

Select Columns: id,Dimos, Centroidx, Centroidy,Population,Area,
Distance(x₁, y₁, Centroidx(obj), Centroidy(obj))

From Tables: NOMOS_XANION

Where: Distance(x₁, y₁, Centroidx(obj), Centroidy(obj))

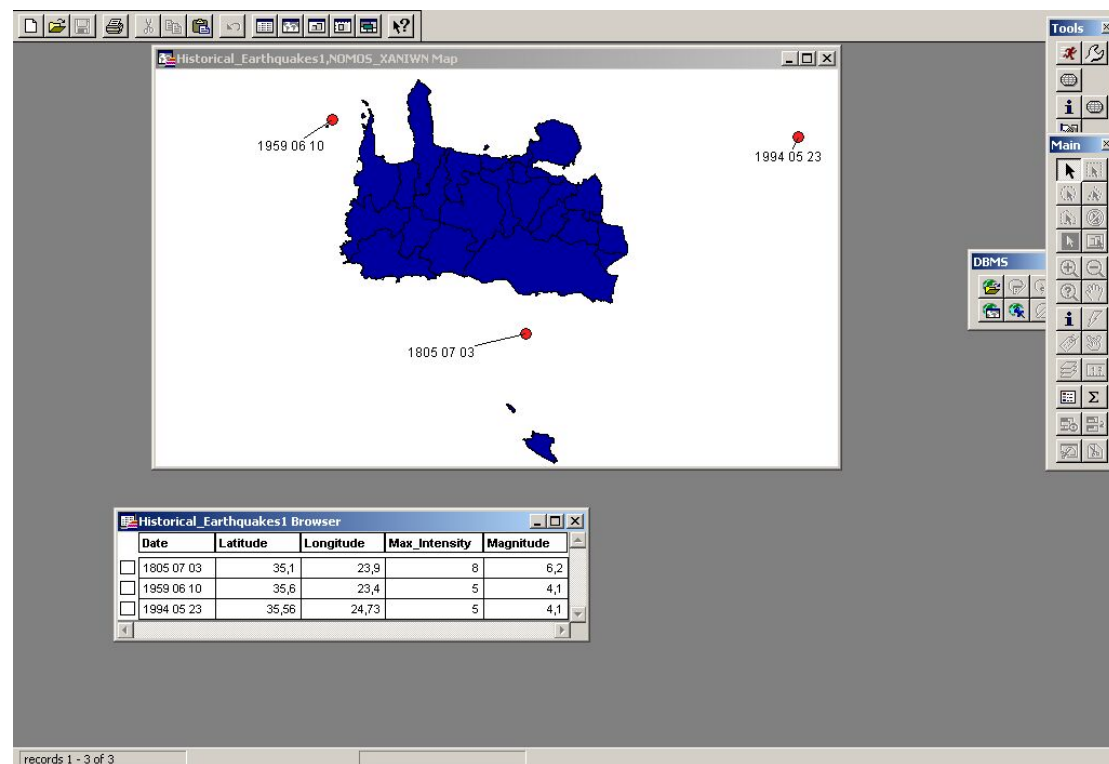
Into table named: Event_dist_from_Dimoi



Εικόνα 5.15 Συμπλήρωση του πεδίου SQL Select για την εύρεση της απόστασης μεταξύ σημείων

Η εντολή $Distance(x_1, y_1, Centroidx(obj), Centroidy(obj))$, υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στα σημεία (x_1, y_1) που είναι οι συντεταγμένες του σεισμού που επιλέξαμε και $(Centroidx(obj), Centroidy(obj))$ που είναι οι συντεταγμένες των κέντρων του κάθε νομού. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στον πίνακα “Event _dist_from_Dimoi ”, ενώ οι εντολές στο SQL Select αποθηκεύονται προκειμένου να τις χρησιμοποιούμε για την ενημέρωση των δεδομένων στο μέλλον. Οι εντολές και τα ονόματα των πεδίων στο λογισμικό δίνονται όλα με λατινικούς χαρακτήρες.

Επιλέξαμε για την εφαρμογή του μοντέλου εξασθένησης του σεισμούς που βρίσκονται σε απόσταση 150km από το κέντρο των Χανίων με την μέθοδο της επιλογής (select) και από αυτούς επιλέξαμε τους 6 μεγαλύτερους σε ένταση.



Εικόνα 5.16 Επιλογή σεναρίων

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία βρίσκουμε την απόσταση του κάθε ενός από τους έξι αυτούς σεισμούς με τα κέντρα των Δήμων του νομού Χανίων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στον πίνακα NOMOS_XANION στον οποίο έχουμε προσθέσει το πεδίο «Απόσταση από Επίκεντρο» (Dist_from_event) και του οποίου τα

καταχωρημένα αρχεία ανανεώνουμε κάθε φορά μέσα από την εντολή Update Column ως εξής:

Update Column

Table to Update: NOMOS_XANION

Column to Update: Distance_from_Event

Get Value from: Event_from_dist

Join: Where ID from table NOMOS_XANION

Matches ID from table Event_dist_from_dimoi

Calculate: Value

Of: Distance(x_1, y_1 , Centroidx(obj), Centroidy(obj))

Οι παραπάνω εντολές ανανεώνουν κάθε φορά τα αρχεία της στήλης Distance_from_Event, δηλαδή την απόσταση του κάθε Δήμου από το επίκεντρο που επιλέγουμε κάθε φορά. Η εντολή Join συνδέει τον πίνακα NOMOS_XANION με τον πίνακα που προκύπτει από τις εντολές SQL Select για την εύρεση της απόστασης που περιγράφηκαν παραπάνω. Από την διαδικασία αυτή προκύπτουν ουσιαστικά έξι πίνακες κάθε ένας εκ των οποίων έχει όλα τα πεδία του πίνακα NOMOS_XANION και ένα πεδίο με την απόσταση του κάθε Δήμου από τα επιλεγμένα κάθε φορά σεισμικά επίκεντρα.

Έχοντας βρει την απόσταση του κάθε επίκεντρου από τους Δήμους μπορούμε να εισάγουμε το μοντέλο εξασθένησης προκειμένου να υπολογίσουμε την ένταση του συγκεκριμένου σεισμού σε κάθε Δήμο. Θεωρούμε προσεγγιστικά ότι η ένταση σε όλο τον Δήμο είναι ίση με την ένταση στο κέντρο του. Η εισαγωγή του μοντέλου γίνεται με τις εξής εντολές:

SQL Select

***Select Columns: id,Dimos, Centroidx, Centroidy, Population, Area, -
-3.59*log(Distance_from_Event+6)+3.19+Max_Intensity***

From Tables: NOMOS_XANION

Into table named: Attenuation_Model

(Το λογισμικό MapInfo δέχεται την εντολή \log σαν τον φυσικό λογάριθμο \ln , συνεπώς διαιρούμε με το $\log(10)$ για να βρούμε τον δεκαδικό λογάριθμο.)

Στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε θεματικά τον κάθε χάρτη μέσα από την διαδικασία *Create Thematic map* και παρουσιάζουμε τους τελικούς χάρτες που περιγράφουν την ένταση σε κάθε δήμο του νομού Χανίων για κάθε ένα από τα επιλεγμένα σεισμικά επίκεντρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε επόμενη παράγραφο.

Μία διαδικασία θεματικής παρουσίασης ψηφιακών χαρτών που χρησιμοποιήθηκε είναι η διαδικασία «Grid» η οποία δίνει τιμές σε όλα τα σημεία του ψηφιακού χάρτη με βάση τις τιμές των σημείων που επιλέγονται κάθε φορά, μέσω μια διαδικασίας παρεμβολής που ονομάζεται *Inverse Distance Weighting (IDW)*. Ο τρόπος παρεμβολής είναι ο εξής. Αρχικά επιλέγεται το πεδίο βάση του οποίου θα γίνει η παρεμβολή (στην περίπτωσή μας το πεδίο «Μέγιστη Ένταση» που περιέχει τις τιμές της έντασης στα επίκεντρα των σεισμών). Έτσι στον ψηφιακό χάρτη υπάρχουν τιμές έντασης, μόνο στα σημεία των συντεταγμένων των διαφόρων επικέντρων και αυτές οι τιμές είναι που θα χρησιμοποιηθούν για την απόδοση τιμών σε όλα τα σημεία του χάρτη. Όλες οι υπόλοιπες ψηφίδες του χάρτη δεν έχουν τιμές, όμως μέσω της παρεμβολής IDW υπολογίζεται η τιμή τους σαν συνάρτηση των τιμών των ορισμένων σημείων και της απόστασης του σημείου για το οποίο ζητάμε μία τιμή με τα σημεία που έχουν γνωστές τιμές. Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση τόσο λιγότερο επηρεάζεται το άγνωστης τιμής σημείο από το σημείο γνωστής τιμής. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μία κατανομή των γνωστών τιμών σε όλα τα σημεία του χάρτη με χρωματικές διαβάθμισης που αντιπροσωπεύουν τις διαβαθμίσεις των τιμών. Η μετατροπή ενός χάρτη σε μορφή “Grid” επιτρέπει την τρισδιάστατη προβολή του καθώς κάθε σημείο έχει και μία τιμή στον τρίτο άξονα.

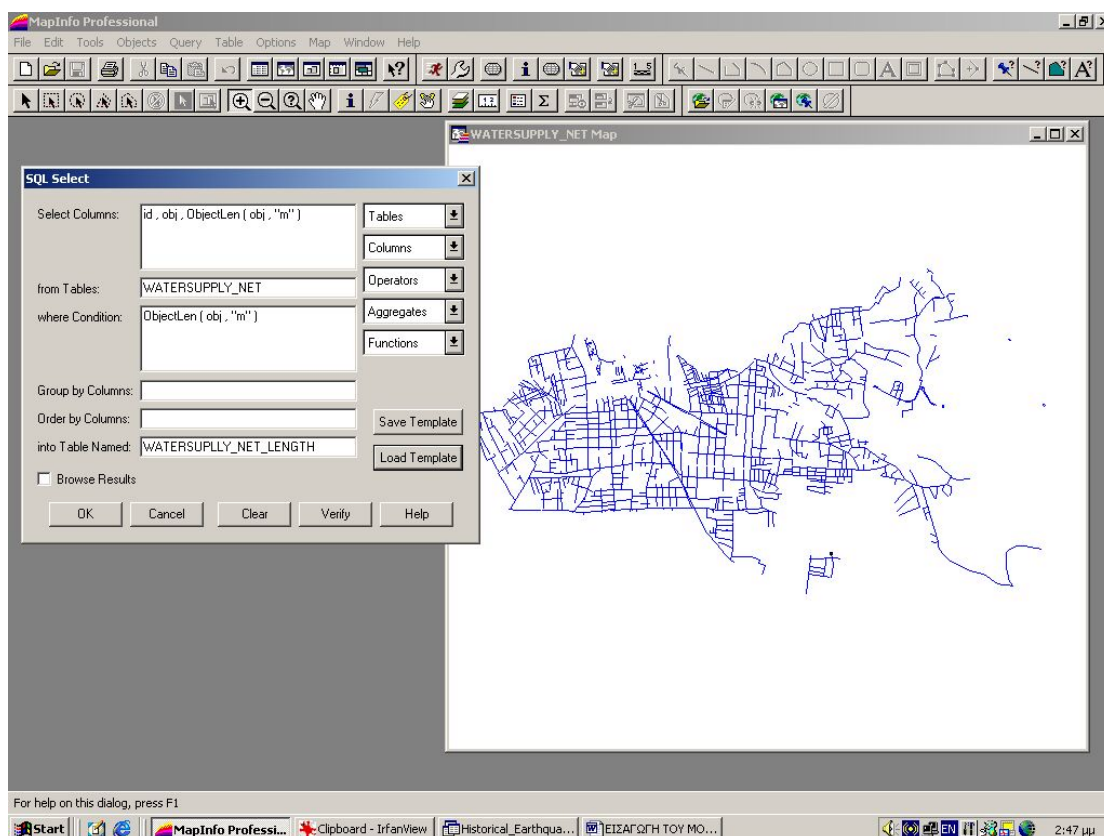
5.4.2 Εισαγωγή του μοντέλου αστοχιών

Για την εισαγωγή του μοντέλου αστοχιών του Wang^[1] ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Εύρεση μήκους τον δικτύου ύδρευσης μέσω της εντολής

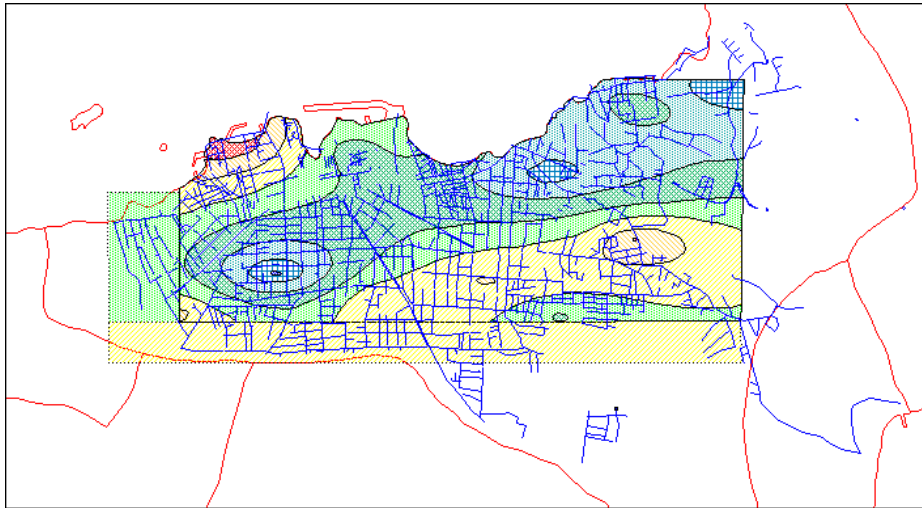
ObjectLen(obj, "m")

Η εντολή αυτή υπολογίζει το μήκος του κάθε διανύσματος (obj) του Δικτύου Ύδρευσης σε μέτρα ("m"). Αποθηκεύουμε τα αποτελέσματα στον αρχικό πίνακα (WATERSUPPLY_NET), στον οποίο προσθέτουμε το πεδίο Obj_Length μέσω της διαδικασίας Update Column.



Εικόνα 5.17 Εύρεση μήκους των διανυσμάτων του δικτύου Ύδρευσης

Βήμα 2^ο: Επιλέγουμε τον πίνακα του νομού Χανίων που περιέχει τα πεδία «Απόσταση από επίκεντρο» και «Ένταση» για τον πρώτο σεισμό (1805), καθώς και τους πίνακες με τις Ζώνες Σεισμικής Απόκρισης και του Δικτύου Ύδρευσης και προβάλουμε μαζί τα τρία επίπεδα πληροφορίας. (Εικόνα 5.18)



Εικόνα 5.18 Προβολή των τριών επιπέδων πληροφορίας

Βρίσκουμε το μήκος των σωληνώσεων του δικτύου Ύδρευσης που βρίσκεται μέσα σε κάθε ζώνη εκτελώντας το Query:

Update Column

Column to Update: Add temporary Column

Get Value from Table: WATERSUPPLY_NET

Join, Where object from WATERSUPPLY_NET

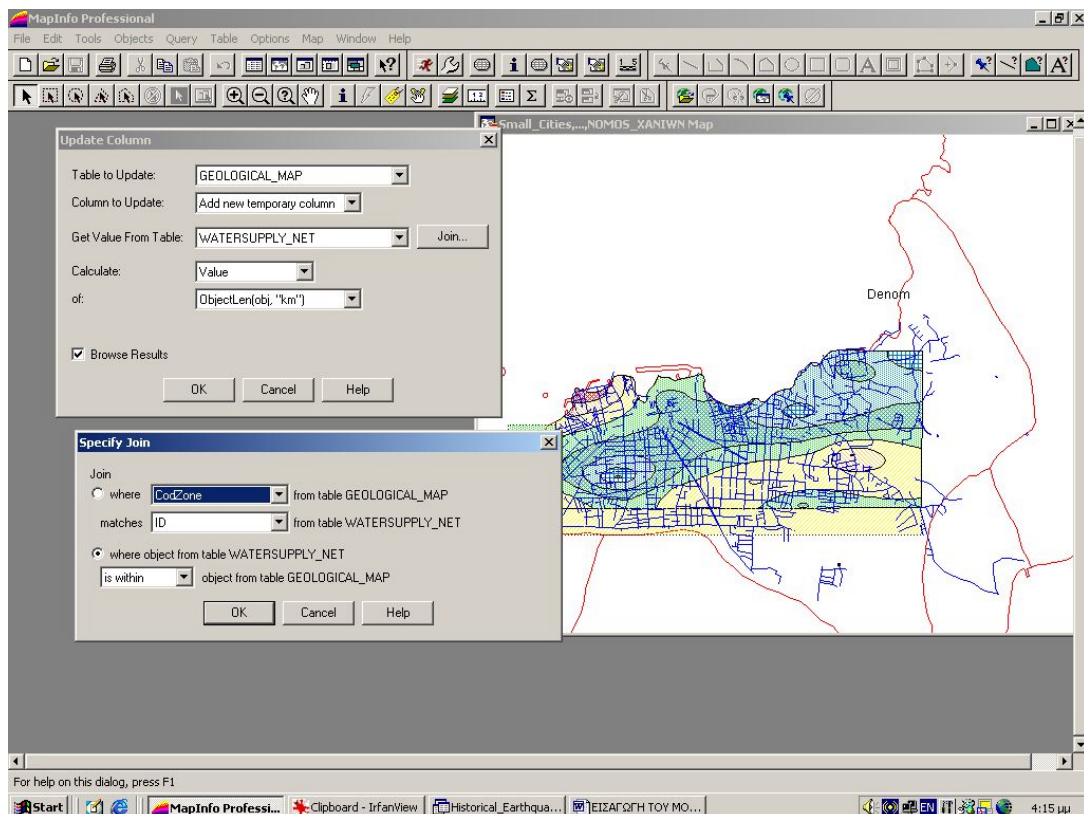
Is within object from GEOLOGICAL_MAP

Calculate:

Sum of:

Expression: ObjectLen(obj, "km")

(Εικόνα 5.19)



Εικόνα 5.19 Σύνδεση Πινάκων και εύρεση μήκους διανυσμάτων

Οι παραπάνω εντολές προσθέτουν ένα πεδίο στον πίνακα GEOLOGICAL_MAP (Σεισμική Απόκριση Εδάφους) στο οποίο υπολογίζονται τα στοιχεία μέσω της χωρικής σύνδεσης (Join) του πίνακα GEOLOGICAL_MAP και του πίνακα WATERSUPPLY_NET. Η σύνδεση αυτή γίνεται για τα διανύσματα (obj) δικτύου που βρίσκονται εντός κάθε ζώνης σεισμικής απόκρισης και υπολογίζεται το άθροισμα (Sum) των στοιχείων αυτών για κάθε ζώνη σε Km.

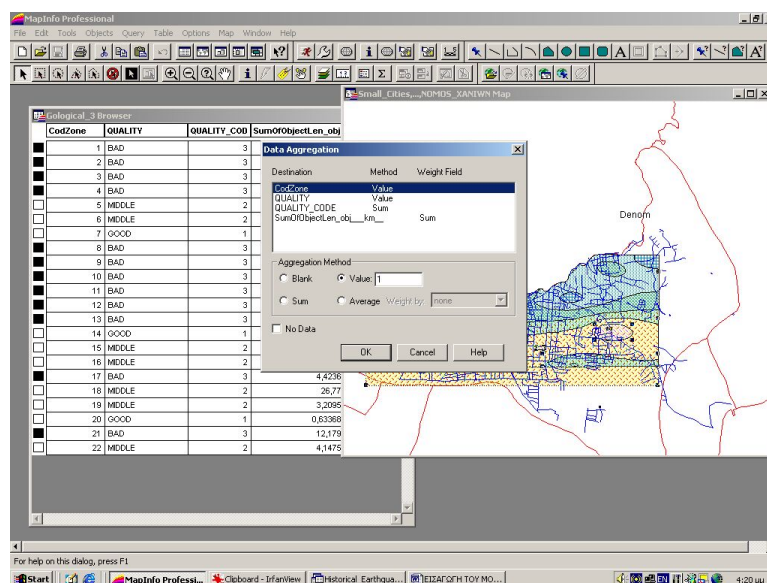
Το μοντέλο απωλειών θα εφαρμοστεί **μόνο στο δίκτυο που περικλείεται στις Ζώνες Σεισμικής Απόκρισης**, καθώς μόνο για εκείνες τις περιοχές έχουμε στοιχεία για την ποιότητα του εδάφους.

Προκύπτει πίνακας που περιέχει το πεδίο με το άθροισμα του μήκους του δικτύου σε κάθε ζώνη σε km.

CodZone	QUALITY	QUALITY_CODI	SumOfObjectLen_obj_
1	BAD	3	0
2	BAD	3	0
3	BAD	3	0
4	BAD	3	0,775951
5	MIDDLE	2	1,39176
6	MIDDLE	2	0,790903
7	GOOD	1	0
8	BAD	3	13,8153
9	BAD	3	1,07197
10	BAD	3	1,68955
11	BAD	3	4,62367
12	BAD	3	16,2837
13	BAD	3	1,61057
14	GOOD	1	0,530275
15	MIDDLE	2	11,778
16	MIDDLE	2	0
17	BAD	3	4,42368
18	MIDDLE	2	26,773
19	MIDDLE	2	3,20953
20	GOOD	1	0,633683
21	BAD	3	12,1797
22	MIDDLE	2	4,14751

Πίνακας 5.20 Μήκος αγωγών σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης

Στην συνέχεια ομαδοποιούμε τα στοιχεία του πίνακα σε τρεις σειρές, που αντιστοιχούν στις τρεις ποιότητες σεισμικών αποκρίσεων. Επιλέγουμε από τον πίνακα τις ζώνες όμοιας ποιότητας και εκτελούμε την εντολή Aggregate data (συνένωση γεωγραφικών οντοτήτων) όπως φαίνεται στο παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.21 Συνένωση Γεωγραφικών Οντοτήτων

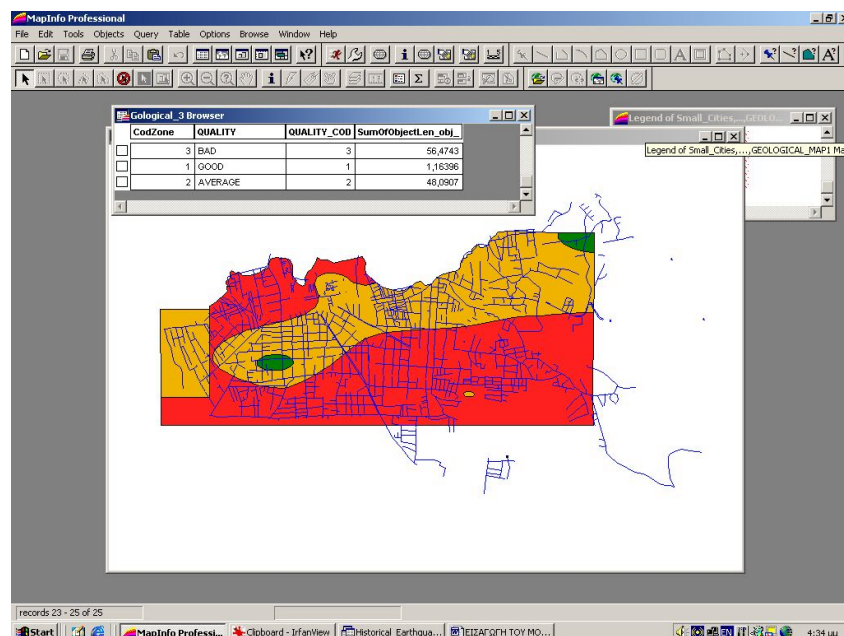
Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και εξάγουμε έναν πίνακα με τρεις σειρές που η κάθε μία αντιστοιχεί σε μία ζώνη, έχοντας υπολογίσει το μήκος του δικτύου Ύδρευσης που περιέχεται σε κάθε μία από τις τρεις ζώνες. εκτελώντας την εντολή

Area(obj, "sq km")

Με την διαδικασία που ακολουθήσαμε σε προηγούμενη παράγραφο λαμβάνουμε τις τιμές της έκτασης της περιοχής σε κάθε ζώνη σε km²

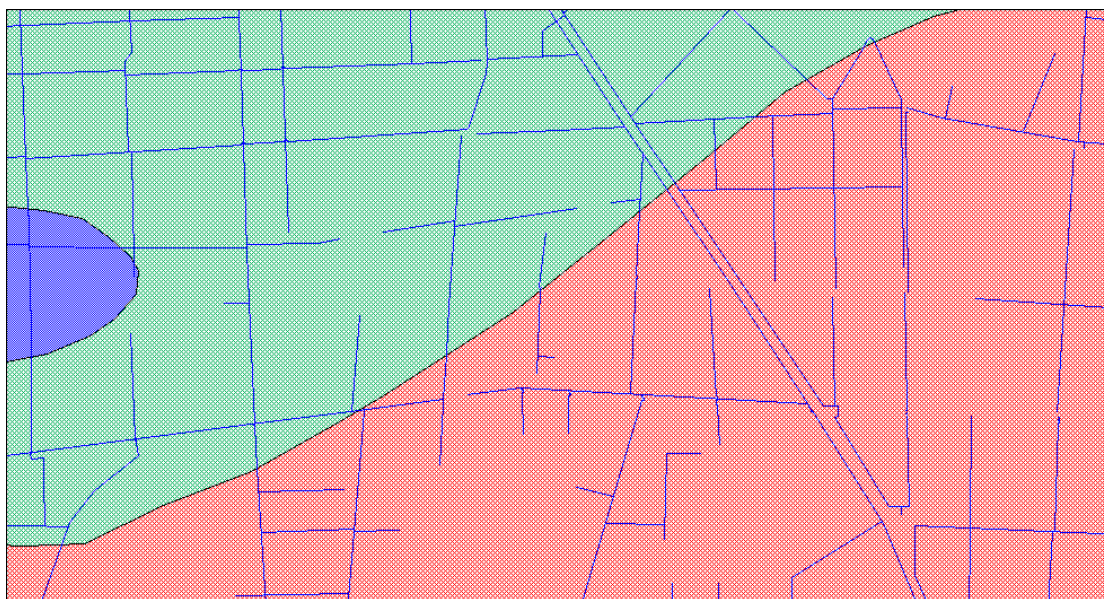
CodZone	QUALITY	QUALITY_COD	SumOfObjectLen_obj	Area
4	BAD	3	56,4743	4,20419
0	GOOD	1	1,16396	0,111459
3	AVERAGE	2	48,0907	3,01984

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου (περίπου 56 km) βρίσκεται σε έδαφος με κακή εδαφική σεισμική απόκριση, ένα μεγάλο μέρος (48 km) βρίσκεται σε έδαφος μέτρια εδαφική απόκριση, ενώ μόλις 1km δικτύου βρίσκεται σε έδαφος με καλή εδαφική απόκριση.



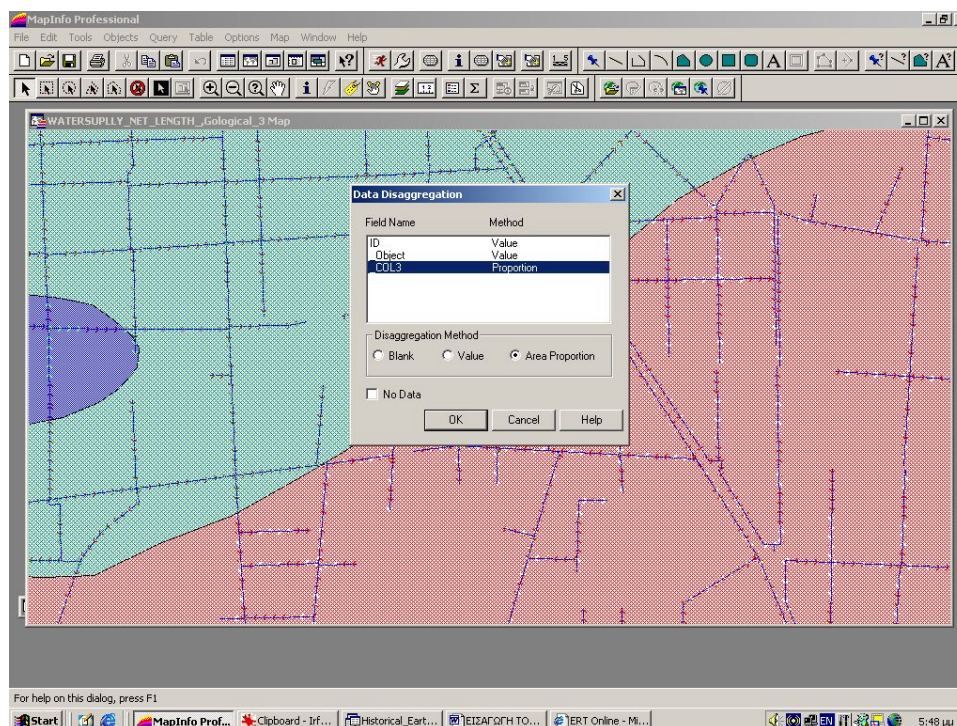
Εικόνα 5.22 Δίκτυο Ύδρευσης και Ζώνες σεισμικής απόκρισης

Ωστόσο το αποτέλεσμα που εξάγουμε δεν είναι ακριβές καθώς όπως παρατηρούμε στο παρακάτω παράθυρο, υπάρχουν αγωγοί που διαπερνούν δύο ή και τρεις διαφορετικές ζώνες. (Εικ. 5.23) Καθώς οι εντολές που έχουμε εισάγει στα Queries που έχουμε εκτελέσει αναφέρονται στους αγωγούς που περικλείονται από κάθε ζώνη, όσοι αγωγοί διαπερνούν δύο ή παραπάνω ζώνες δεν προσμετρώνται στο αποτέλεσμα.



Εικόνα 5.23 Αρκετοί αγωγοί διαπερνούν τις διαφορετικές ζώνες

Για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα που παράγει λάθος αποτελέσματα και θα επηρεάσει αρνητικά το μοντέλο απωλειών, επιλέγουμε τα στοιχεία του πίνακα WATERSUPPLY_NET και μέσω της διαδικασίας του διαχωρισμού γεωγραφικών οντοτήτων με βάση την θέση τους ως προς άλλα αντικείμενα (διαδικασία Data Disaggregation του Mapinfo, Εικ.5.24), χωρίζουμε τα διανύσματα που διαπερνούν δύο ζώνες, στα δύο. Αυτόματα ανανεώνονται τα αρχεία στον πίνακα WATERSUPPLY_NET καθώς και υπολογίζεται το μήκος των νέων στοιχείων.



Εικόνα 5.24 Εντολή διαχωρισμού Γεωγραφικών Οντοτήτων.

Ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε παραπάνω για την εύρεση του μήκους του δικτύου ύδρευσης που βρίσκεται σε κάθε ζώνη παίρνομε τα παρακάτω αποτελέσματα (Το μήκος του δικτύου σε κάθε ζώνη εδώ είναι σε m):

CodZone	QUALITY	QUALITY_CODE	Area	Sum_of_PipeLeng
4	BAD	3	4,20419	70.557,29
0	GOOD	1	0,111459	4.295,61
3	AVERAGE	2	3,01984	58.270,73

Παρατηρούμε ότι υπάρχει τεράστια διαφορά στα αποτελέσματα και το παράδοξο να αυξάνεται το μήκος του δικτύου. Στην πραγματικότητα, δεν αυξήθηκε το μήκος του δικτύου, απλά τώρα συμπεριελήφθησαν όλα τα διανύσματα καθώς πριν, όσα διανύσματα διέσχιζαν δύο ή περισσότερες Ζώνες δεν συμπεριλαμβάνονταν σε καμία καθώς η εντολή που δίναμε για να αθροίσουμε αφορούσε μόνο τα διανύσματα εκείνα που συμπεριλαμβάνονταν σε κάποια ζώνη σεισμικής απόκρισης (εντολή contain within).

Το **μοντέλο απωλειών** μας δίνει τις αστοχίες του δικτύου ανά χιλιόμετρο, για τις τρεις διαφορετικές ποιότητες σεισμικής απόκρισης του εδάφους.

Οι τρεις εξισώσεις που το περιγράφουν είναι:

$$\text{LogY} = 1,837(\text{I}) - 14,065 \text{ POOR SOIL CONDITION}$$

$$\text{LogY} = 1,717(\text{I}) - 14,221 \text{ AVERAGE SOIL CONDITION}$$

$$\text{LogY} = 1,522(\text{I}) - 14,045 \text{ GOOD SOIL CONDITION}$$

Όπου Y: ο αριθμός των αστοχιών ανά χιλιόμετρο αγωγού και

I: η ένταση του σεισμού στο σημείο του υπολογισμού

Δημιουργούμε νέο πίνακα και υπολογίζουμε τις τιμές του μοντέλου για Εντάσεις από 1 έως 12. Χρησιμοποιούμε την εντολή:

Update column

From table: LOSS_MODEL1

Column to update: BAD_loss_per_km

Get Value from Table: LOSS_MODEL1

*Expression: 10^(1.837*INT-14.065)*

Επαναλαμβάνουμε και για τις υπόλοιπες στήλες και λαμβάνουμε πινακοποιημένα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη παράγραφο. Μέσω του λογισμικού MAPINFO δημιουργούμε και γραφικές παραστάσεις για τα παραπάνω αποτελέσματα.

Στην συνέχεια υπολογίσαμε την αστοχία για κάθε ένταση σε κάθε Γεωλογική ζώνη, καθώς και το άθροισμα των αστοχιών και των τριών ζωνών για κάθε ένταση. Μέσω της εντολής Update Column βρίσκουμε τις τιμές των αστοχιών σε κάθε ζώνη, πολλαπλασιάζοντας με το μήκος των αγωγών που περικλείει η κάθε ζώνη.

Στην συνέχεια και αφού αποθηκεύσουμε αυτόν τον πίνακα με το όνομα LOSS_PER_ZONE, υπολογίζουμε τη συνολική αστοχία για κάθε ζώνη, εισάγοντας το πεδίο TOTAL_LOSS και εκτελώντας την εντολή Update Column ως εξής:

Table to Update:

Column to Update:

Get Value From Table:

Value:

☒ Browse Results

Εικόνα 5.25 Υπολογισμός Συνολικής Αστοχίας Δικτύου Ύδρευσης Δήμου Χανίων

Στην συνέχεια και αφού προσθέσουμε νέο πεδίο με το όνομα PROPABILITY, υπολογίζουμε την τιμή του από τη σχέση:

$$P = 1 - \exp(-r_i L)$$

Όπου : r_i είναι ο ρυθμός αστοχίας (δηλαδή οι αστοχίες ανά χιλιόμετρο)

L : είναι το μήκος του αγωγού, άρα

$(r_i L)$ είναι οι αστοχίες στο δίκτυο που ήδη έχουμε υπολογίσει

Εισάγουμε την εντολή ανανέωσης του νέου πεδίου, με βάση το μοντέλο πιθανότητας αστοχίας ως εξής:

Update Column

Table to Update:

Column to Update:

Get Value From Table:

Value:

☒ Browse Results

Εικόνα 5.26 Υπολογισμός Πιθανότητας Αστοχίας

Με βάση την κατηγοριοποίηση του Applied Technology Council^[1] για τις πιθανότητες αστοχίας, εισάγουμε τις εξής 4 κατηγορίες, σε :

NO DAMAGE - SLIGHT (καθόλου αστοχίες) για 0-10%

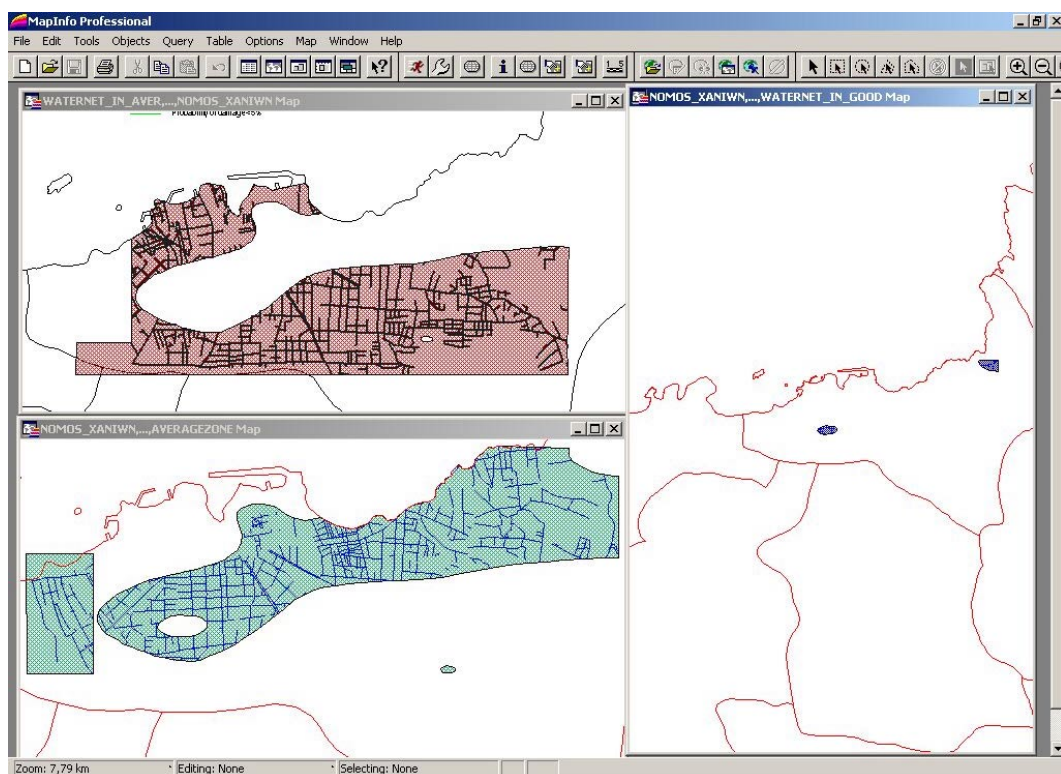
MODERATE (Μικρής κλίμακας αστοχίες) για 10-30%

HEAVY (Μεγάλης κλίμακας αστοχίες) για 30-60%

DESTRUCTIVE (Μερική/Ολοκληρωτική καταστροφή του δικτύου)
για 60-100%

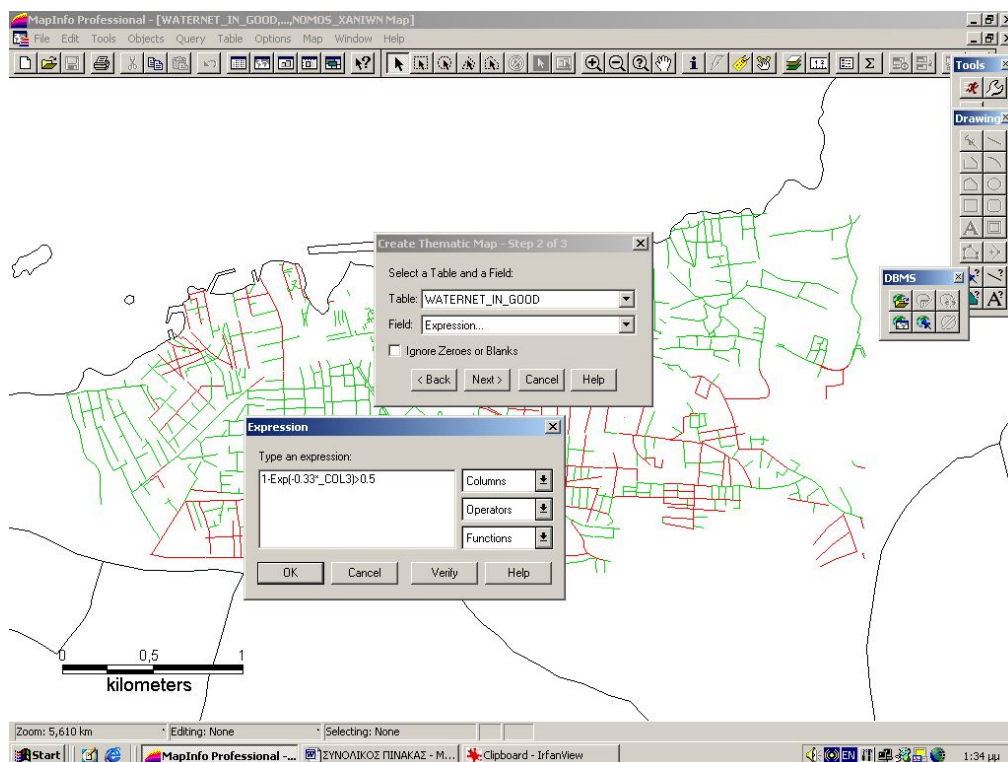
Με βάση την πιθανότητα έστω και μίας αστοχίας, δημιουργούμε θεματικούς χάρτες που παρουσιάζουν την πιθανότητα αστοχίας σε κάθε ξεχωριστό αγωγό του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Χανίων για διαφορετικές εντάσεις σεισμικών δονήσεων. Η διαδικασία είναι η εξής:

Με την εντολή διαχωρισμού γεωγραφικών οντοτήτων, χωρίζουμε το δίκτυο Ύδρευσης σε τρία ξεχωριστά μέρη ανάλογα με την ζώνη σεισμικής απόκρισης στην οποία βρίσκεται το κάθε μέρος του δικτύου (Εικόνα 5.27).

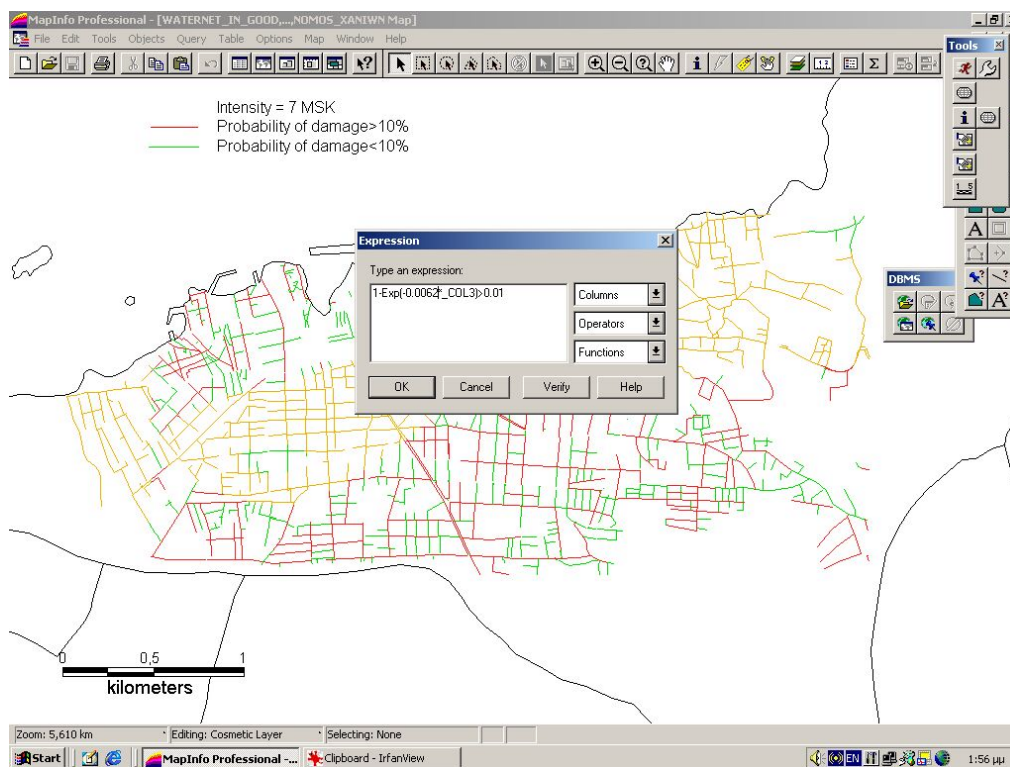


Εικόνα 5.27 Διαχωρισμός Γεωγραφικών Οντοτήτων.

Ο διαχωρισμός γεωγραφικών οντοτήτων σε ένα πρόγραμμα ΓΣΠ συνεπάγεται και τον διαχωρισμό των στοιχείων της βάσης της γεωγραφικής οντότητας. Με βάση τους νέους πίνακες που δημιουργήθηκαν, την σχέση που υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας στο δίκτυο, και τον ρυθμό αστοχιών σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης υπολογίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης έστω και μία αστοχίας σε κάθε αγωγό του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Χανίων και δημιουργούμε θεματικούς χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν αυτές τις πιθανότητες σε διαφορετικές εντάσεις σεισμικών δονήσεων.(Εικόνες 5.28-9)



Εικόνα 5.28 Δημιουργία θεματικού χάρτη με βάση την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας σε κάθε αγωγό



Εικόνα 5.29 Δημιουργία θεματικού χάρτη με βάση την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας σε κάθε αγωγό

Τέλος ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία και πολλαπλασιάζοντας τον ρυθμός αστοχίας σε κάθε ζώνη με το μήκος του κάθε αγωγού που βρίσκεται στην ζώνη αυτή, δημιουργούμε θεματικούς χάρτες με τον αναμενόμενο αριθμό αστοχιών σε κάθε αγωγό του Δήμου Χανίων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα της διαχείρισης των διαθέσιμων πληροφοριών σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι τα εξής:

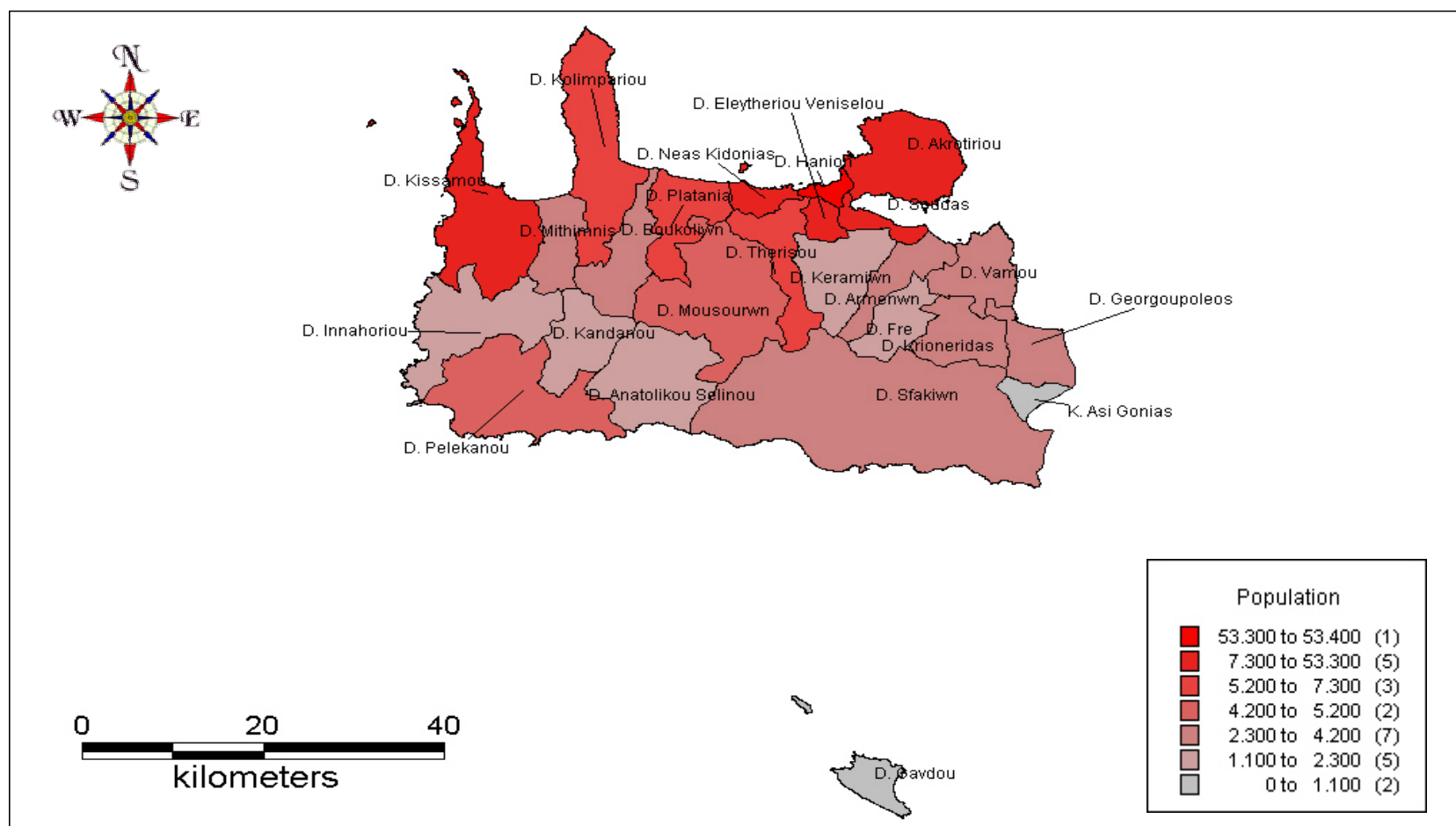
1. Πληθυσμιακοί χάρτες

- Δύο πληθυσμιακοί χάρτες του Νομού Χανίων ο ένας εκ των οποίων είναι σε πρισματική μορφή (Εικ. 6.1-2)

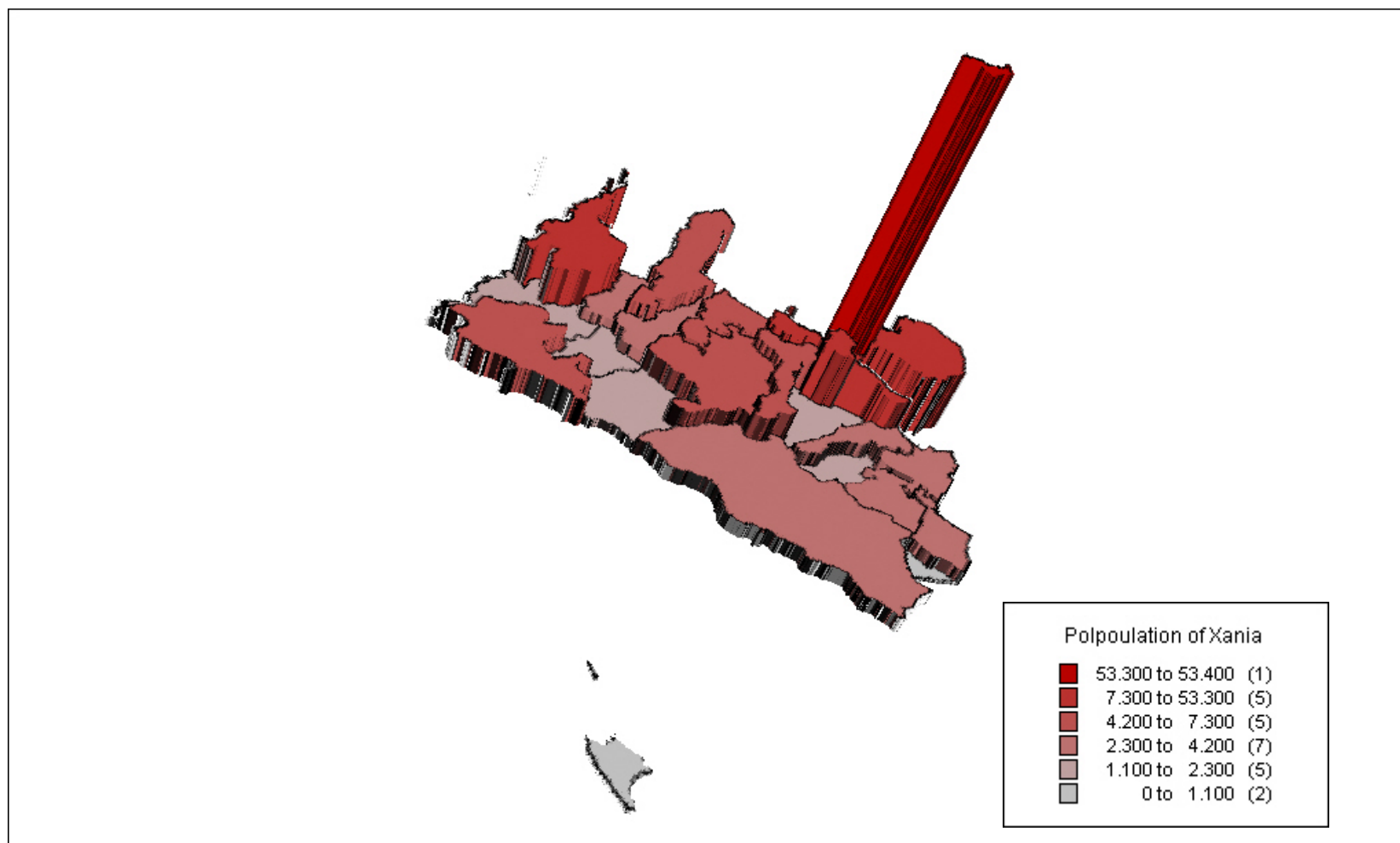
2. Χάρτες κατανομής εντάσεων και χάρτες εξασθένησης σεισμικής έντασης

- Θεματικός χάρτης με τις διαβαθμίσεις των μέγιστων εντάσεων των ιστορικών σεισμών της περιοχής του Νομού Χανίων με αναγραφή της ημερομηνίας κάθε σεισμού (Εικ. 6.3)
- Θεματικός χάρτης με τις διαβαθμίσεις των εντάσεων αλλά και του πληθυσμού κάθε Δήμου (Εικ. 6.4)
- Θεματικός χάρτης Grid με την μέθοδο IDW, της κατανομής των εντάσεων στην περιοχή του Νομού Χανίων (Εικ. 6.5)
- Τρισδιάστατος θεματικός χάρτης Grid με την μέθοδο IDW, της κατανομής των εντάσεων στην περιοχή του Νομού Χανίων (Εικ. 6.6)
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1805 ($I_0=8$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.7)
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1930 ($I_0=10$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.8)
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1935 ($I_0=8$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.9)
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1965 ($I_0=6$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.10)
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1973 ($I_0=7$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.11)

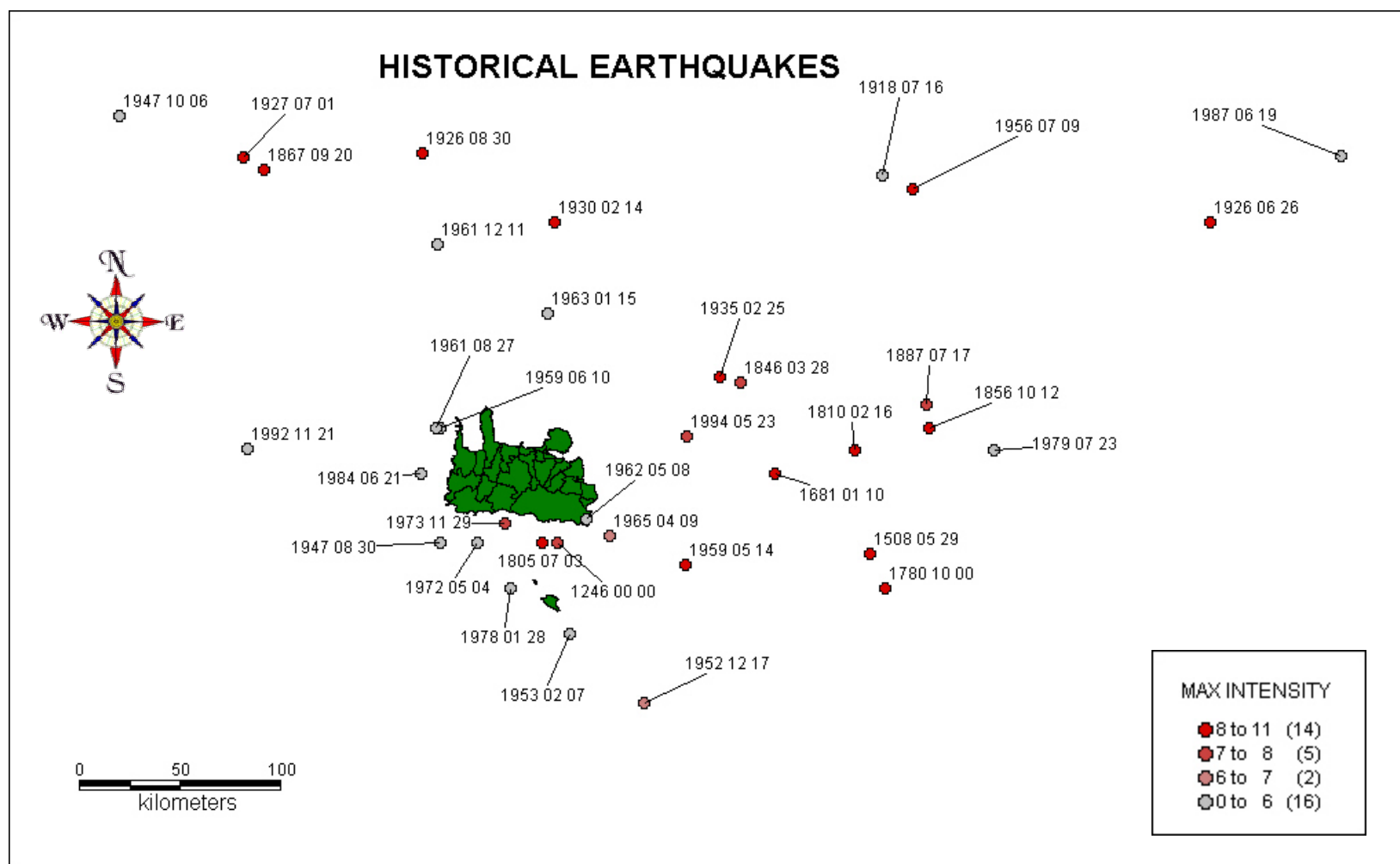
- Θεματικός χάρτης της εξασθένησης της έντασης του σεισμού του έτους 1994 ($I_0=7$ MSK) σε κάθε Δήμο του Νομού Χανίων (Εικ. 6.12)
- 3. Πίνακες, γραφικές παραστάσεις και χάρτες επικινδυνότητας που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου αστοχιών του Wang.**
- Χάρτης των επιπέδων πληροφορίας των ζωνών σεισμικής απόκρισης και του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Χανίων. (Εικ. 6.13)
 - Γραφήματα του ποσοστού εδάφους του Δήμου Χανίων σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης και μήκους δικτύου σε κάθε ζώνη (Εικ. 6.14).
 - Συνολικός Πίνακας Μοντέλου Αστοχιών του Wang στο δίκτυο Ύδρευσης του Νομού Χανίων (Εικ. 6.15)
 - Γράφημα συνολικών απωλειών του δικτύου ύδρευσης σε συνάρτηση με την σεισμική ένταση (Εικ. 6.16)
 - Γραφικές Παραστάσεις σύγκρισης των αστοχιών σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης για το Δίκτυο Ύδρευσης του Δήμου Χανίων (Εικ 6.17-18)
 - Γράφημα πιθανότητας αστοχίας του δικτύου ύδρευσης του Δήμου Χανίων για κάθε σεισμική ένταση (Εικ. 6.19)
 - Γράφημα ρυθμού αποκατάστασης αστοχιών στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων για σεισμικές εντάσεις 7 και 8 (Εικ. 6.20)
 - Συγκριτικές γραφικές παραστάσεις της εφαρμογής του μοντέλου του Wang στα Δίκτυα Ύδρευσης Δήμου Χανίων και της πόλης της Βαρκελώνης (Εικ 6.21-2)
 - Θεματικός χάρτης της κατανομής των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του Δήμου Χανίων στις διαφορετικές ζώνες σεισμικής απόκρισης (Εικ. 6.23)
 - Θεματικοί χάρτες που παρουσιάζουν την πιθανότητα αστοχίας κάθε αγωγού σε διαφορετικές εντάσεις σεισμικών δονήσεων. (6.24-35)
 - Θεματικοί χάρτες που παρουσιάζουν τον ακριβή αριθμό αστοχιών σε κάθε αγωγό του δικτύου ύδρευσης του δήμου Χανίων για διαφορετικές σεισμικές εντάσεις (Εικ 6.36-40)
 - Θεματικοί χάρτες που παρουσιάζουν την κατανομή του αριθμού των αστοχιών σε κάθε αγωγό για διαφορετικές εντάσεις (Εικ 6.41-43)



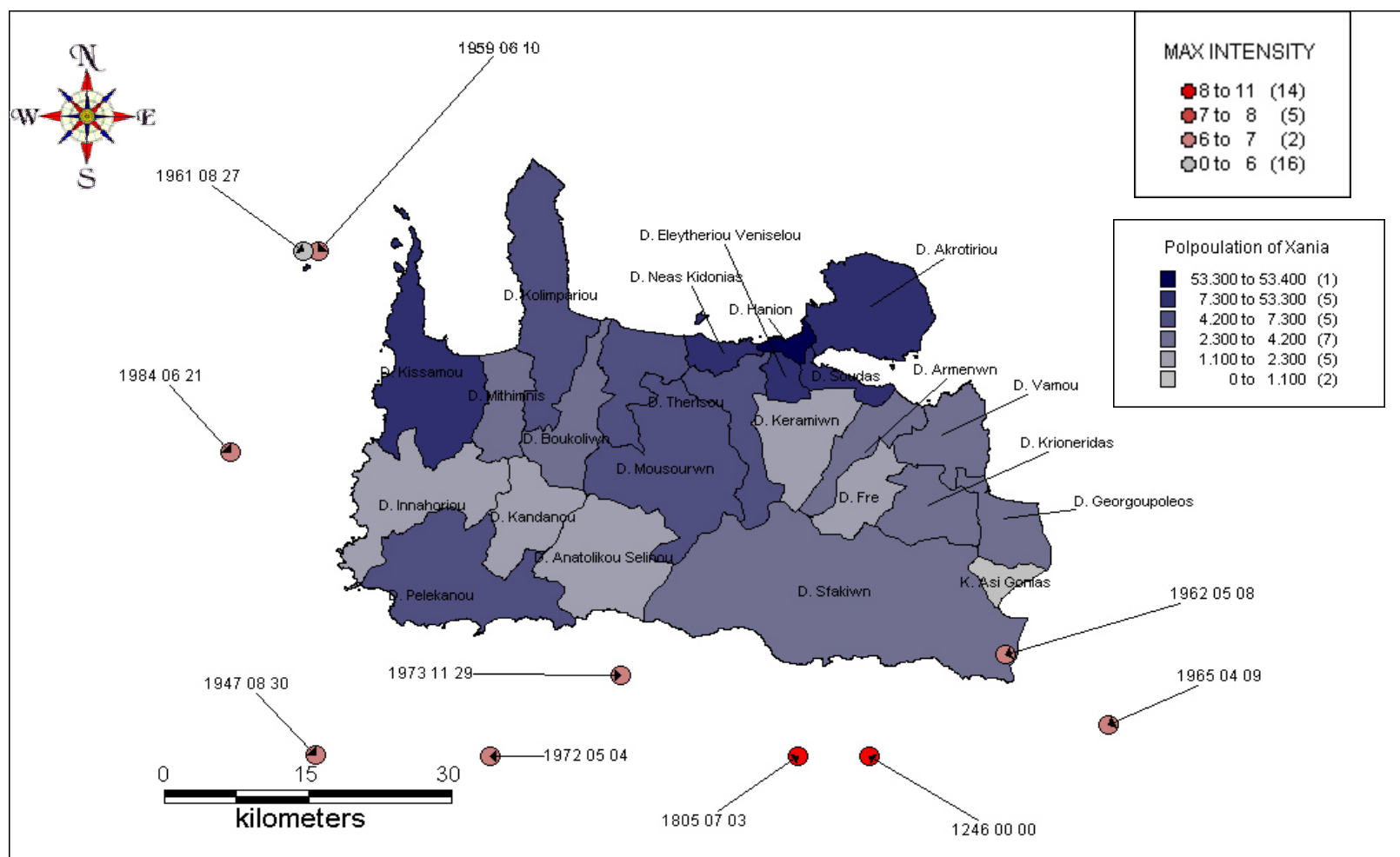
Εικόνα 6.1 Πληθυσμιακός χάρτης Νομού Χανίων



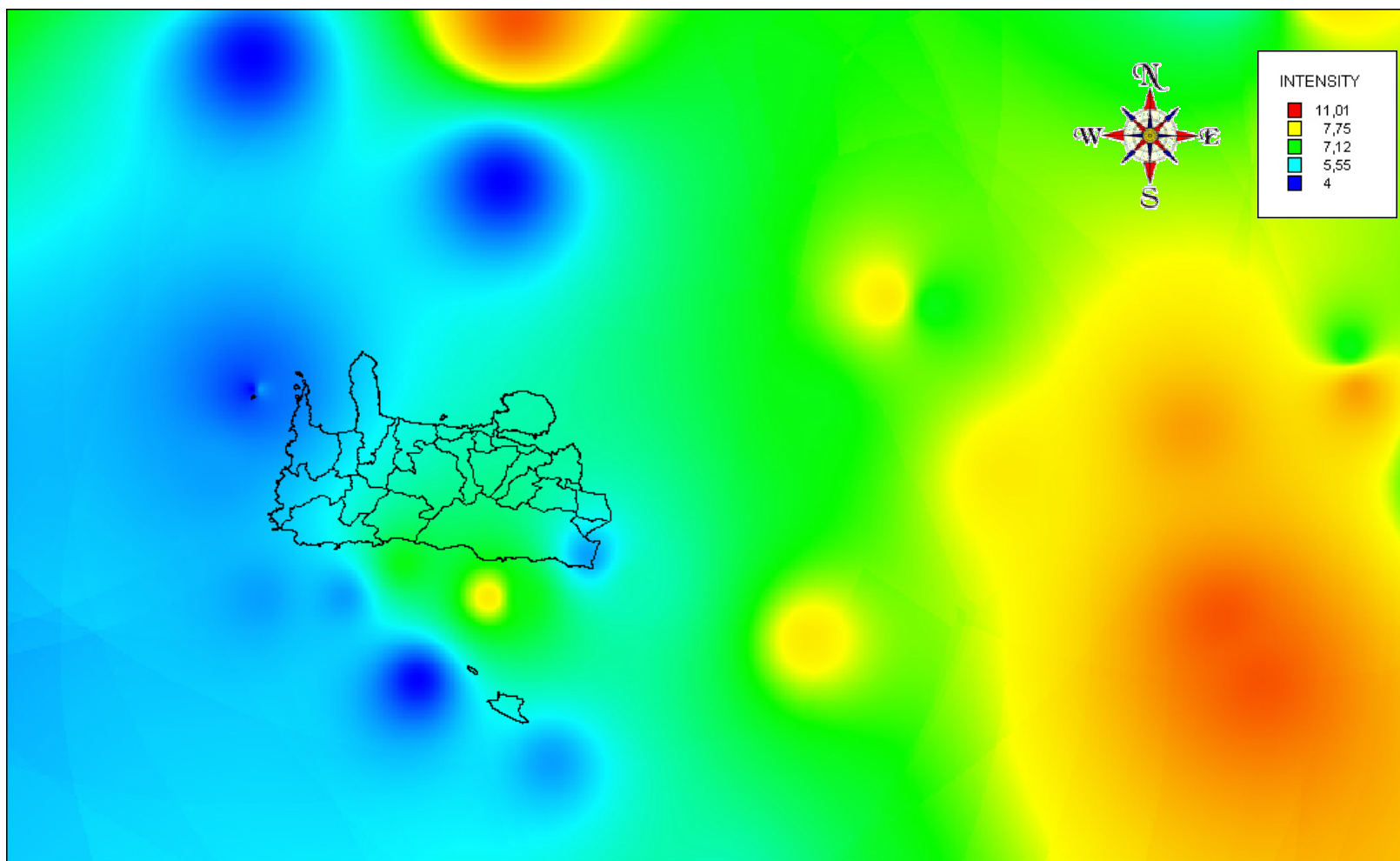
Εικόνα 6.2 Πληθυσμιακός, πρισματικός χάρτης του Νομού Χανίων



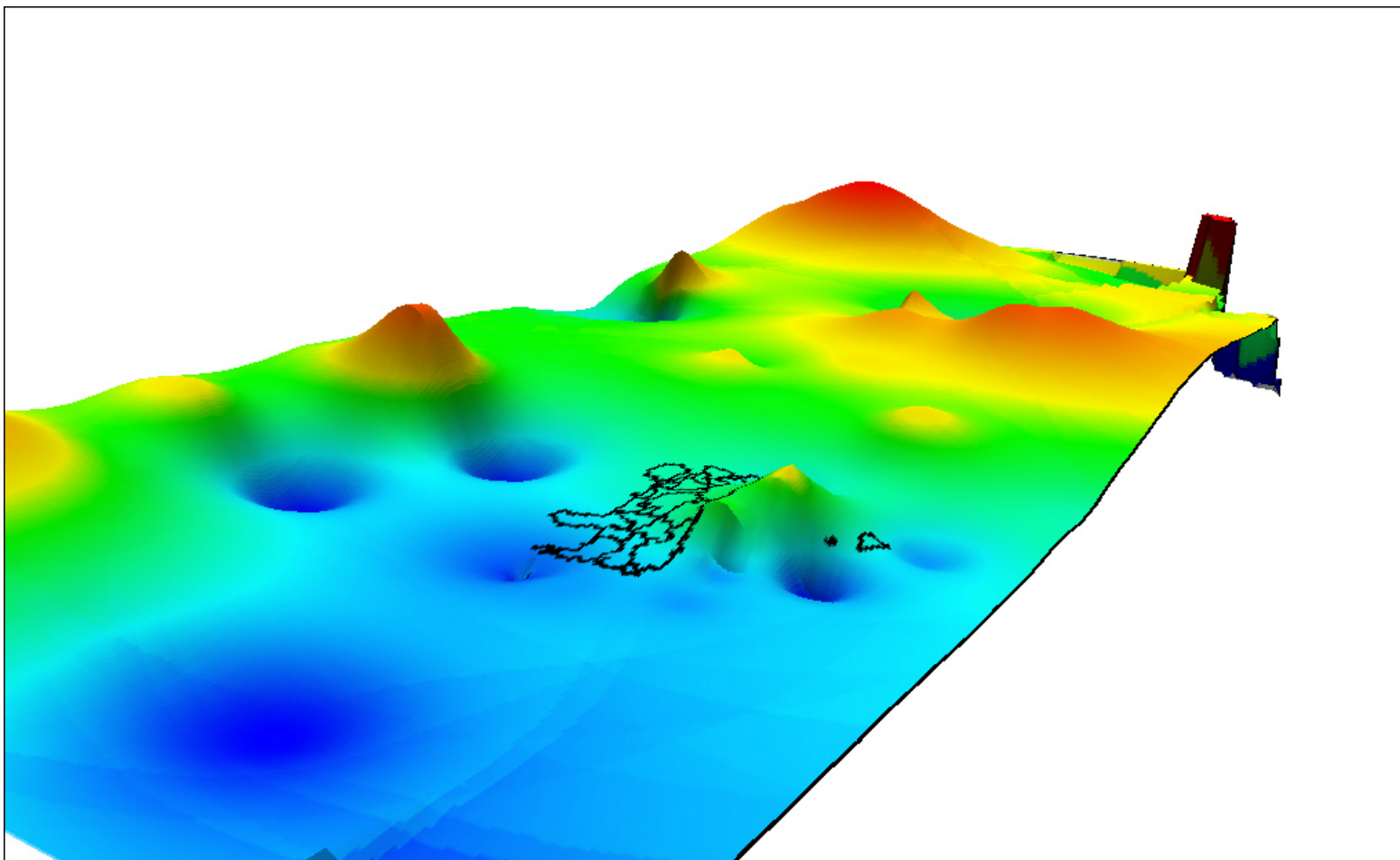
Εικόνα 6.3 Διαβάθμιση των εντάσεων των ιστορικών σεισμών στην περιοχή του Νομού Χανίων



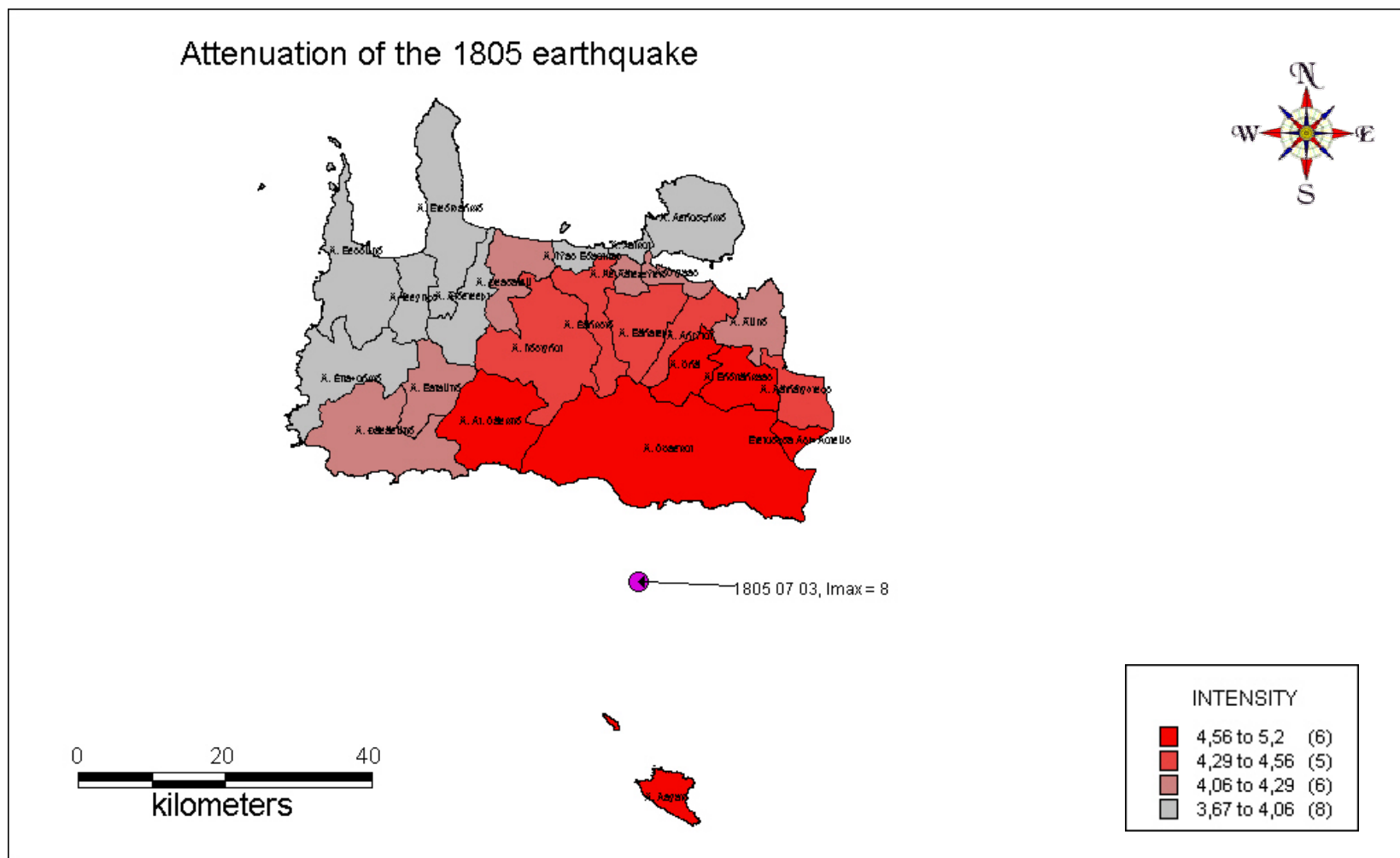
Εικόνα 6.4 Πληθυσμιακός χάρτης του Νομού Χανίων και διαβάθμιση των εντάσεων των ιστορικών σεισμών σε απόσταση 50 km από το κέντρο του Νομού.



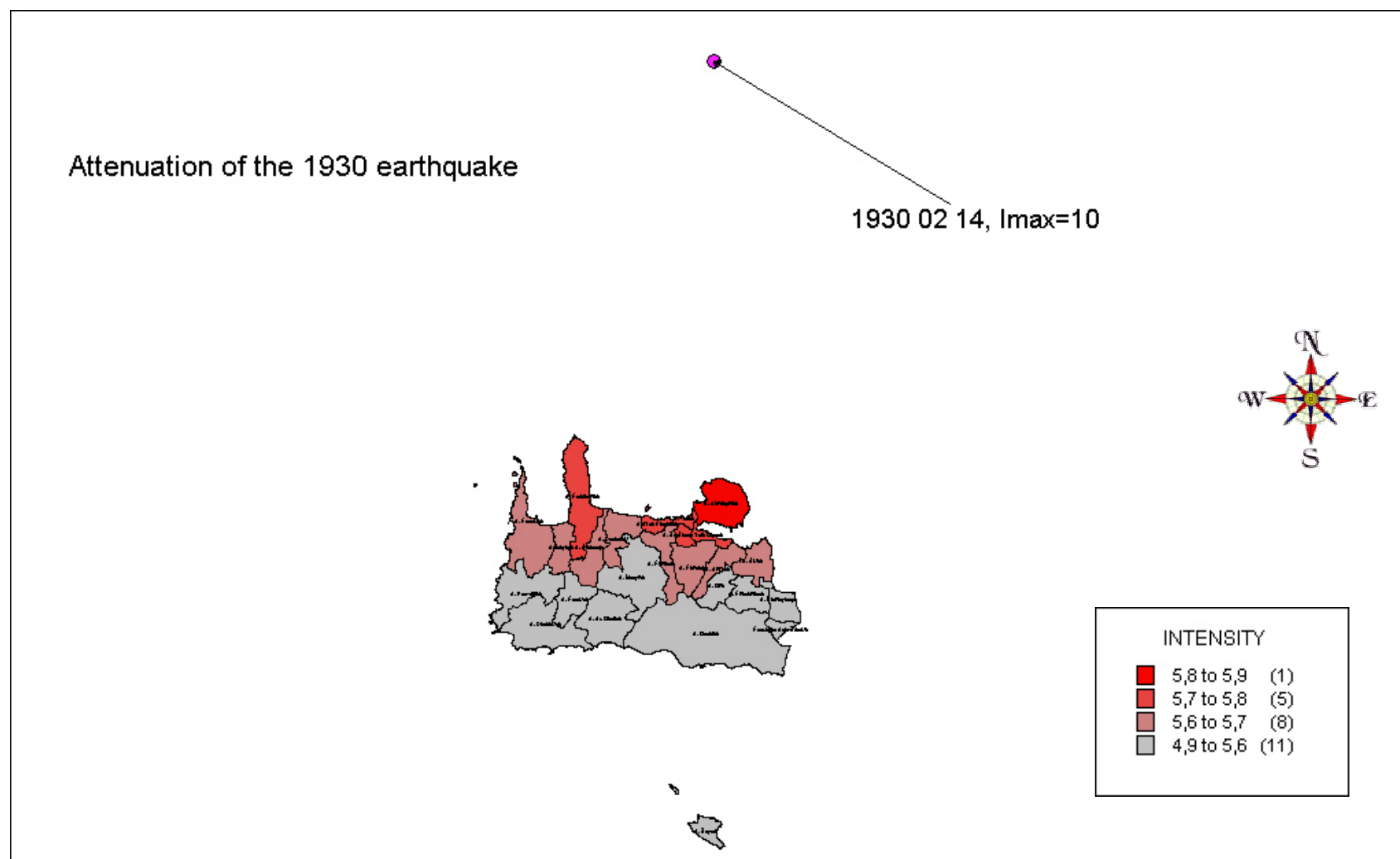
Εικόνα 6.5 Χάρτης κατανομής των σεισμικών εντάσεων στην περιοχή του νομού Χανίων με την μέθοδο IDW



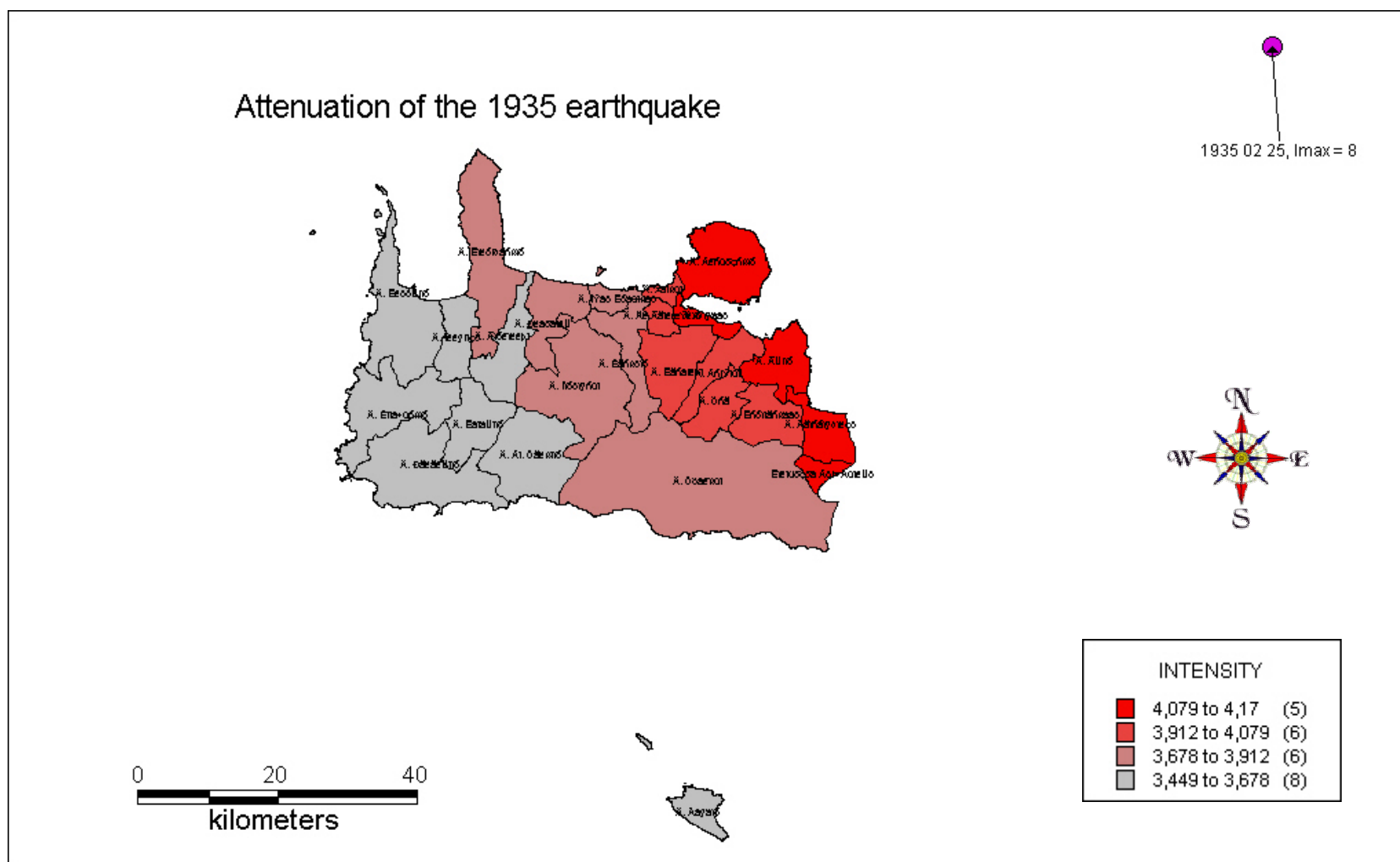
Εικόνα 6.6 Τρισδιάστατος χάρτης κατανομής εντάσεων με την μέθοδο IDW



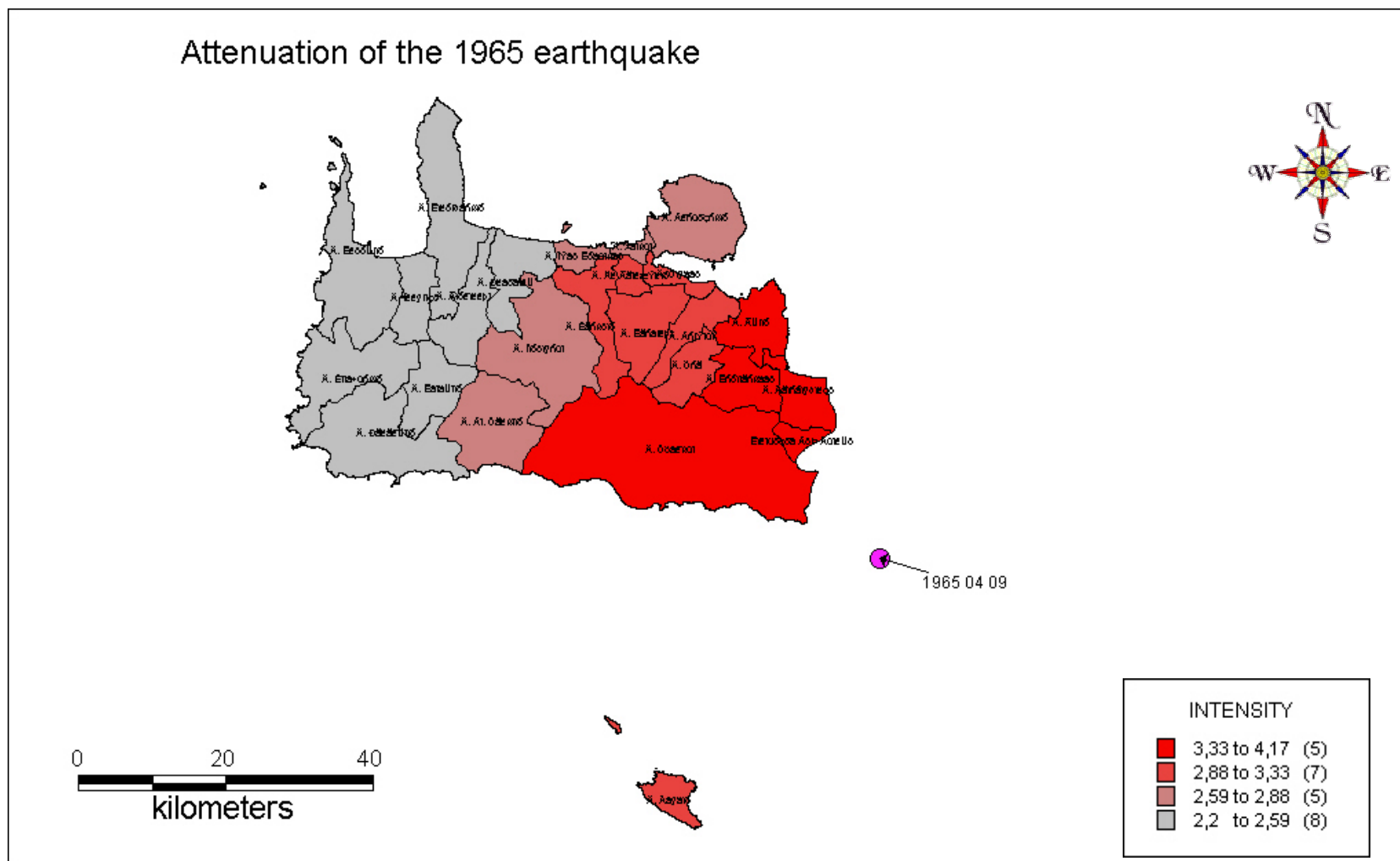
Εικόνα 6.7 Εξασθένιση της έντασης του σεισμού του 1805 στους Δήμους του νομού Χανίων (με βάση το μοντέλο εξασθένισης)



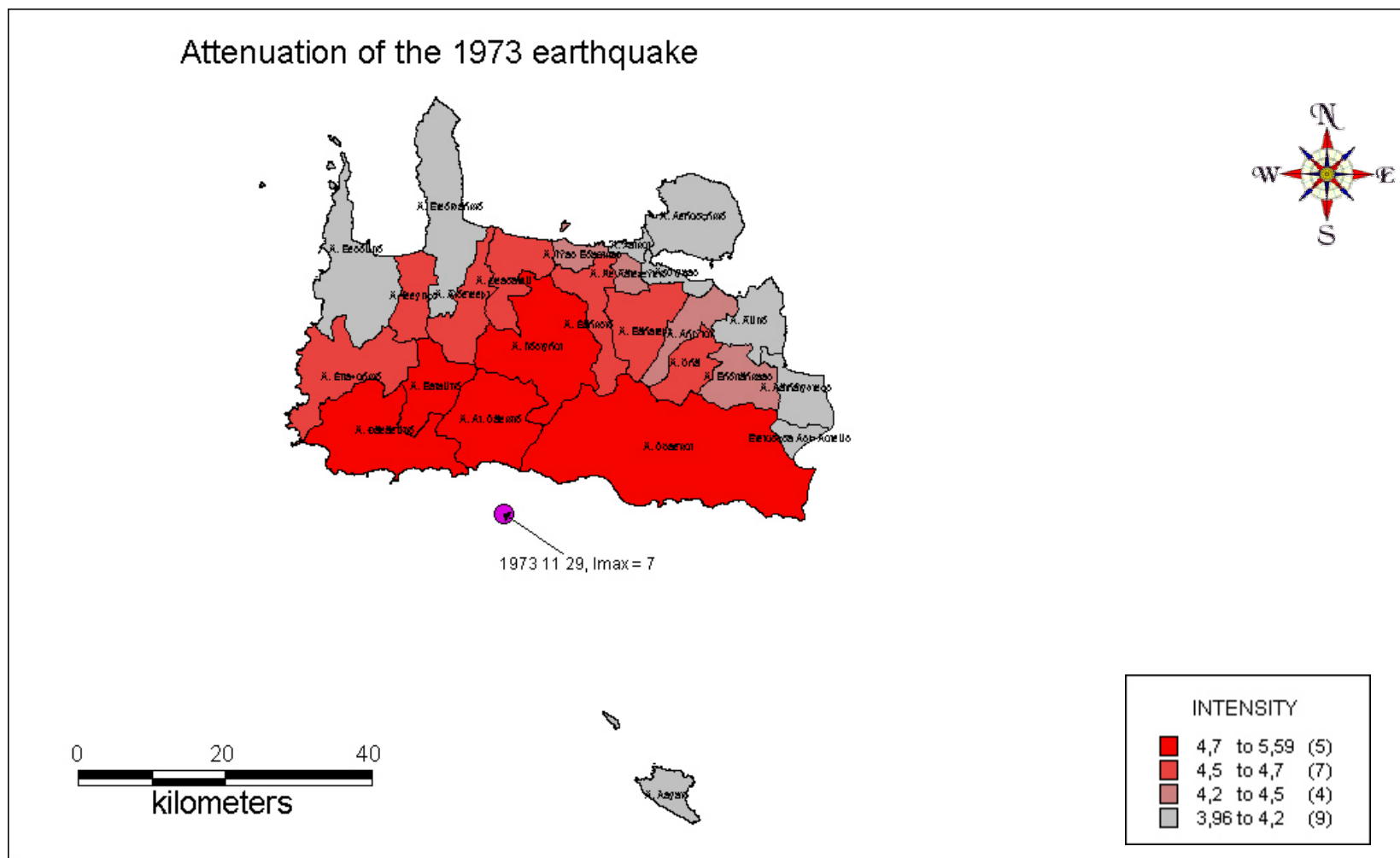
Εικόνα 6.8 Εξασθένηση της έντασης του σεισμού του 1930 στους Δήμους του νομού Χανίων (με βάση το μοντέλο εξασθένησης)



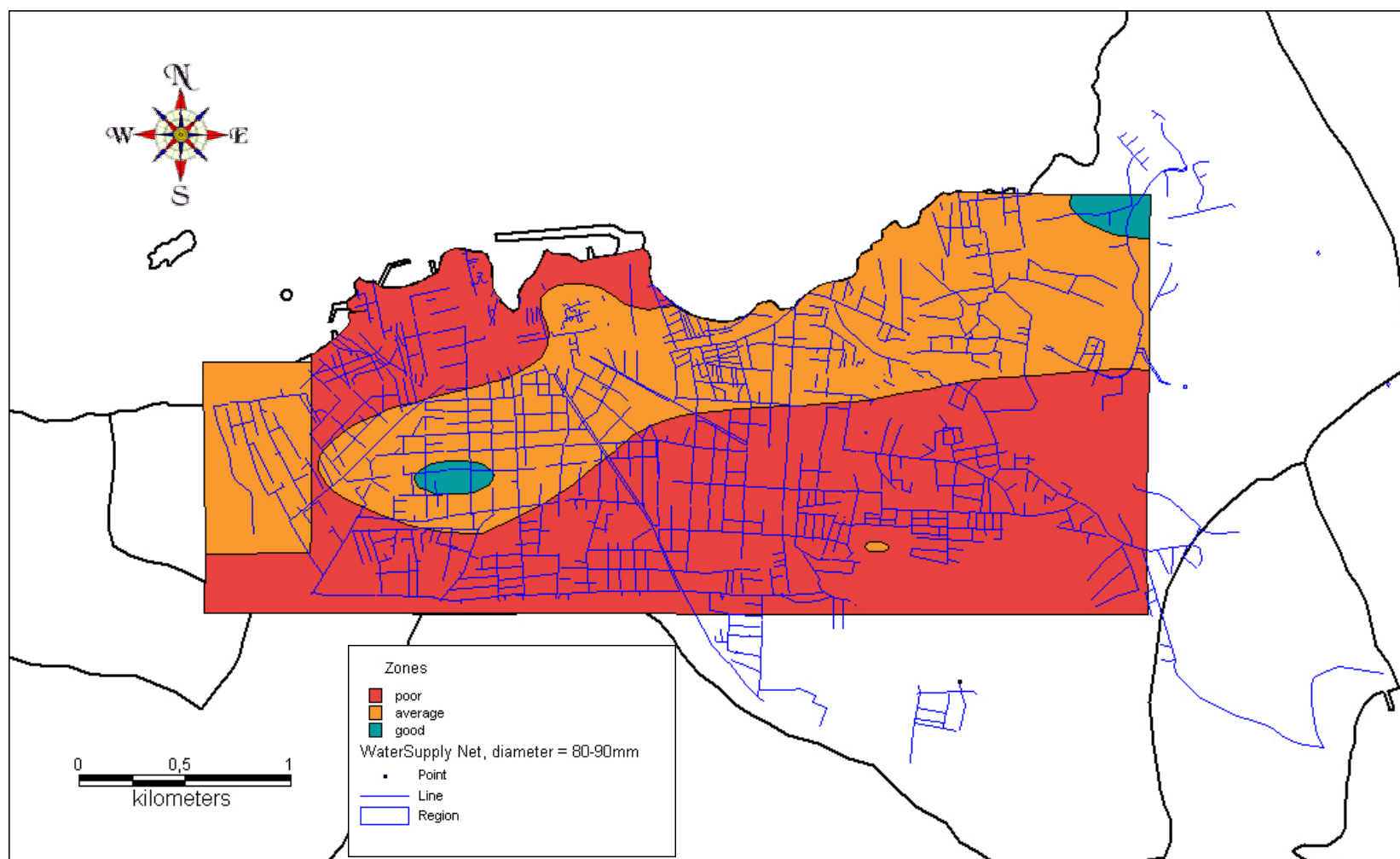
Εικόνα 6.9 Εξασθένηση της έντασης του σεισμού του 1935 στους Δήμους του νομού Χανίων (με βάση το μοντέλο εξασθένησης)



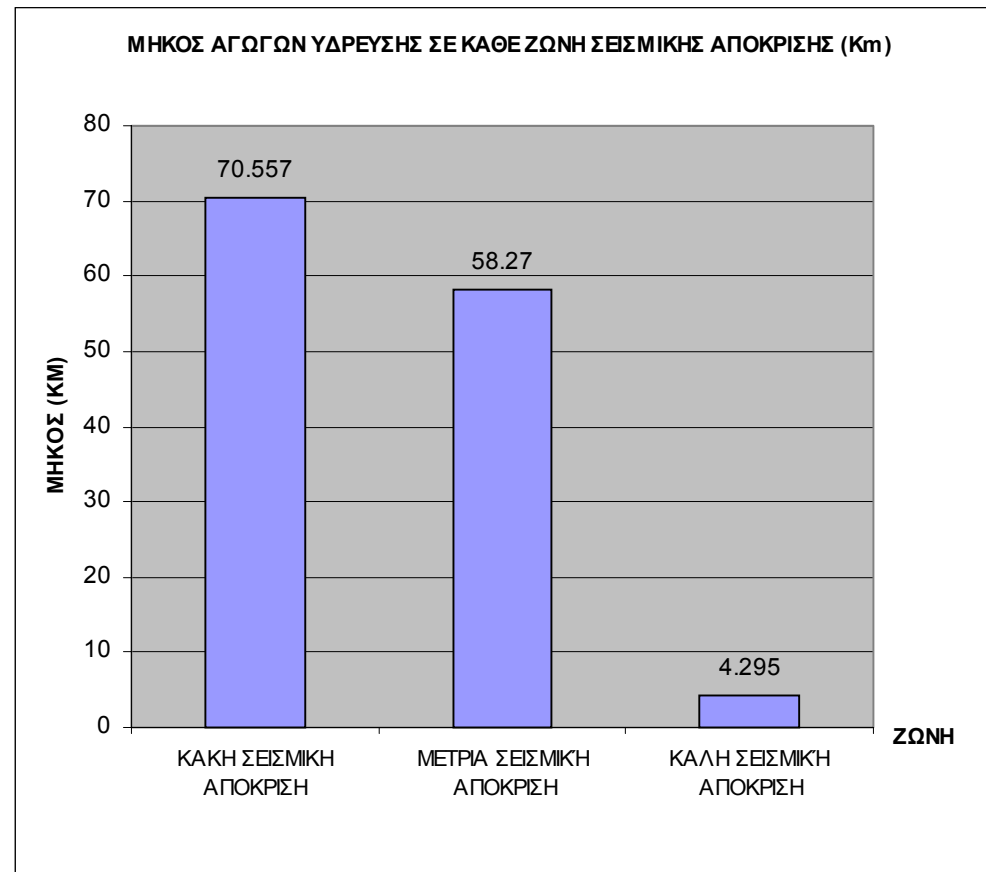
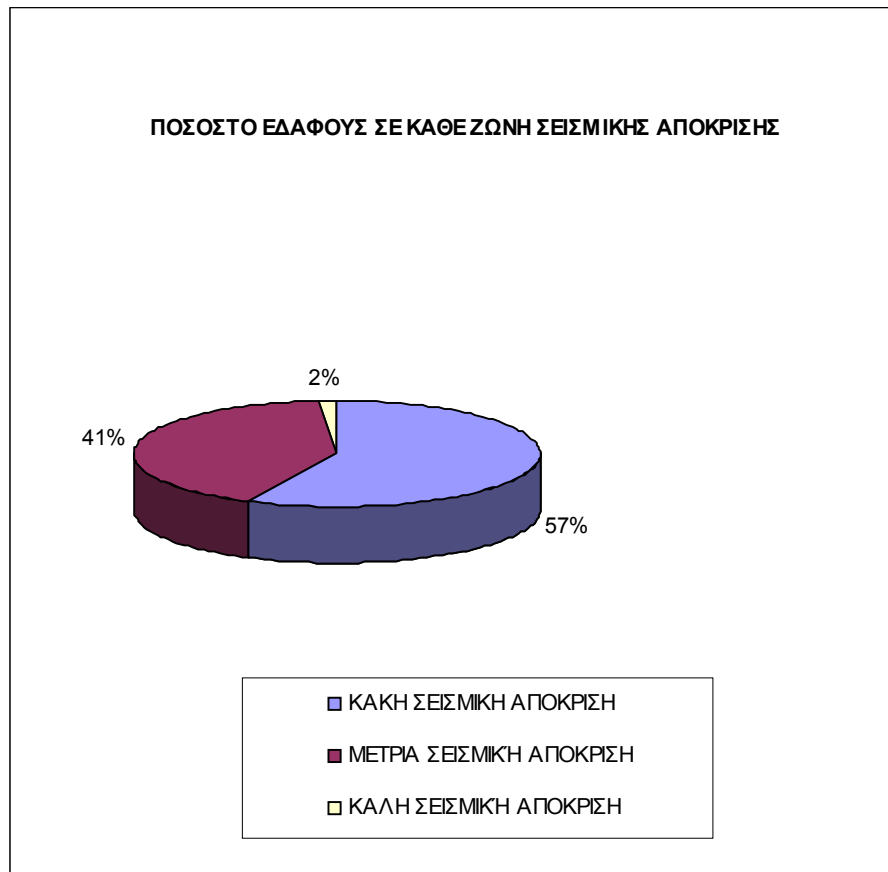
Εικόνα 6.10 Εξασθένηση της έντασης του σεισμού του 1965 στους Δήμους του νομού Χανίων (με βάση το μοντέλο εξασθένησης)



Εικόνα 6.11 Εξασθένηση της έντασης του σεισμού του 1973 στους Δήμους του νομού Χανίων (με βάση το μοντέλο εξασθένησης)



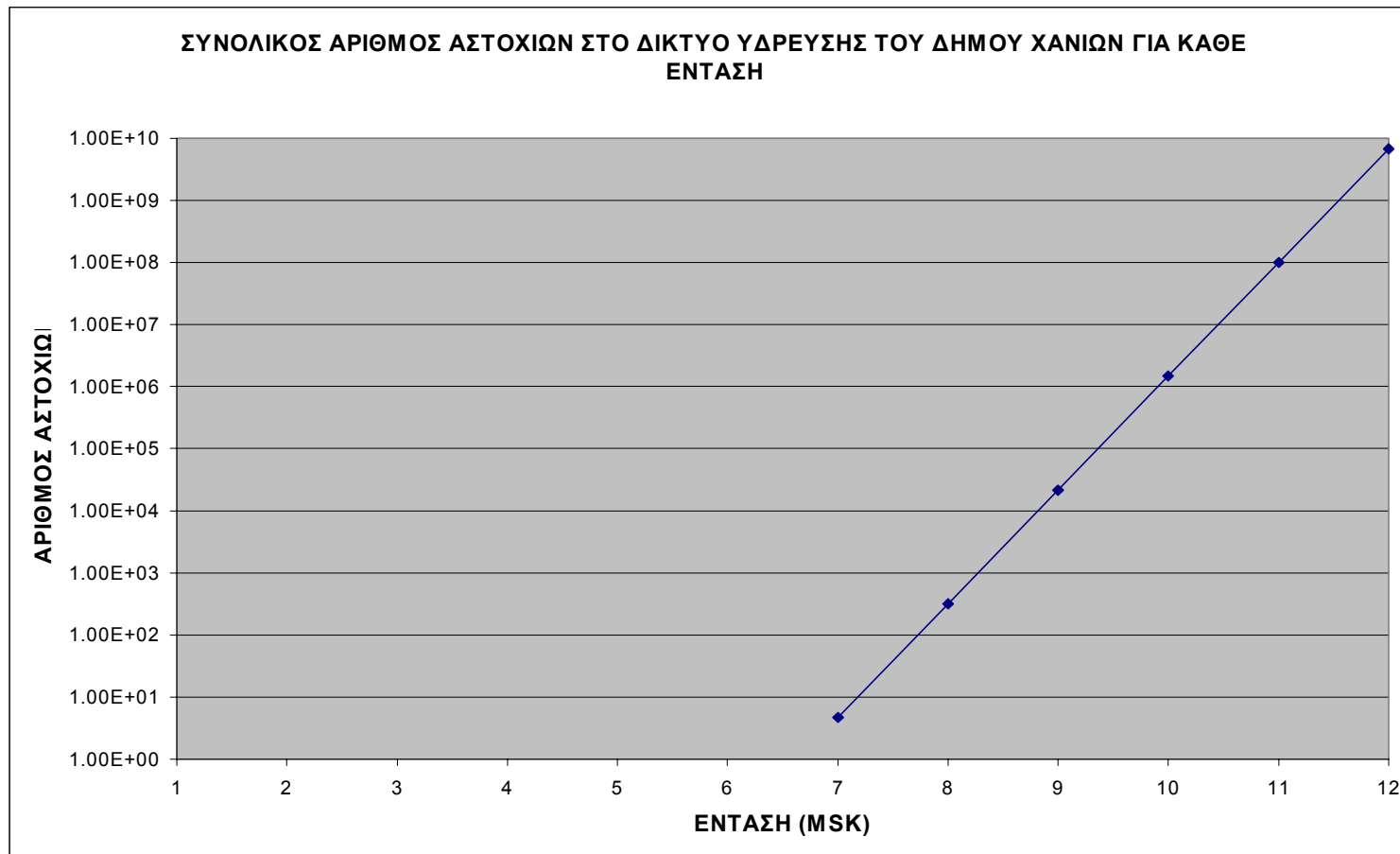
Εικόνα 6.13: Η θέση του δικτύου ύδρευσης του Δήμου Χανίων σε σχέση με τις Ζώνες Σεισμικής Απόκρισης όπως προέκυψαν από την μικροζωνική μελέτη



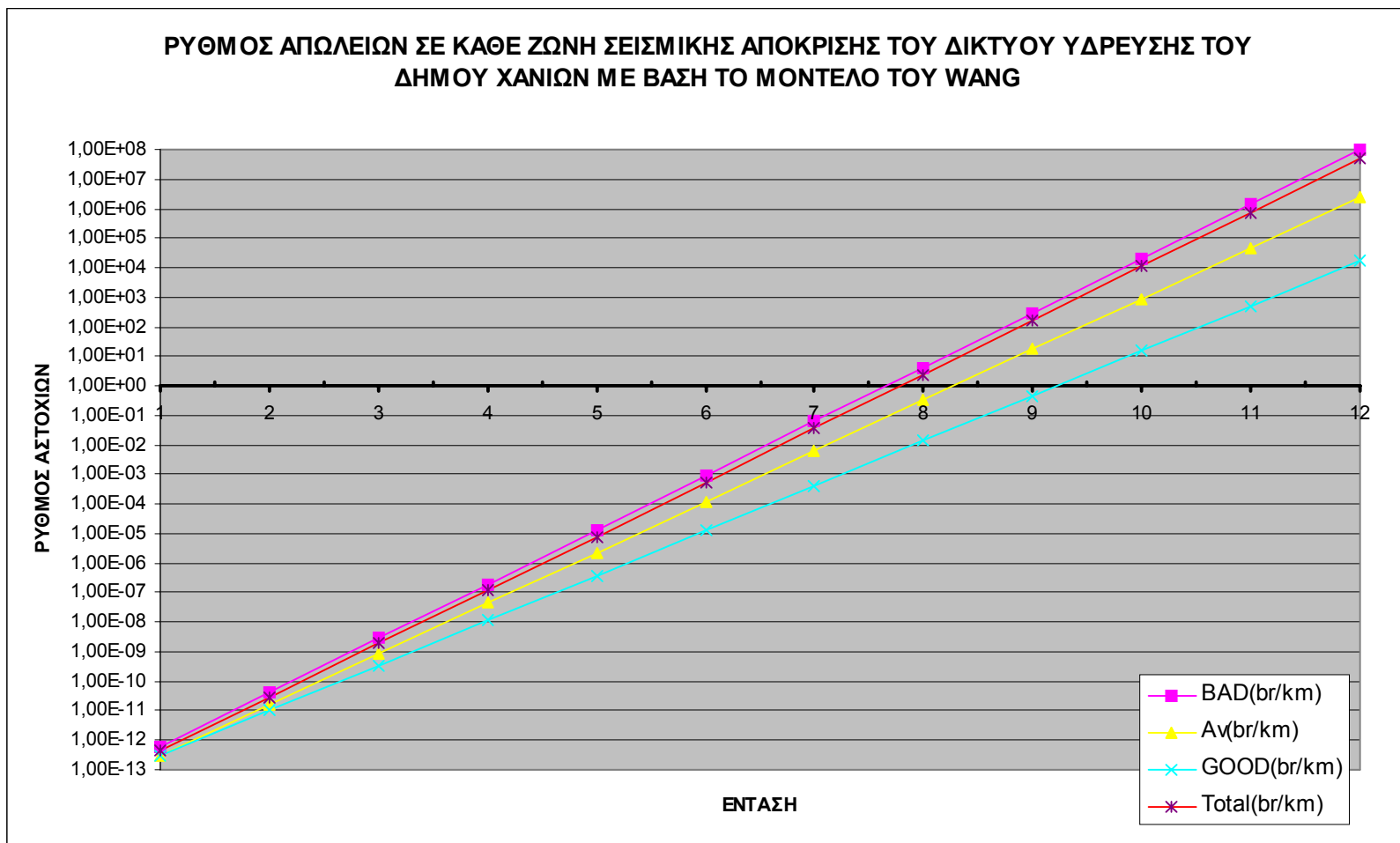
Εικόνα 6.14 Ποσοστό εδάφους σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης και μήκος δικτύου Ύδρευσης σε κάθε ζώνη

Πίνακας 6.15 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΤΟΥ WANG ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

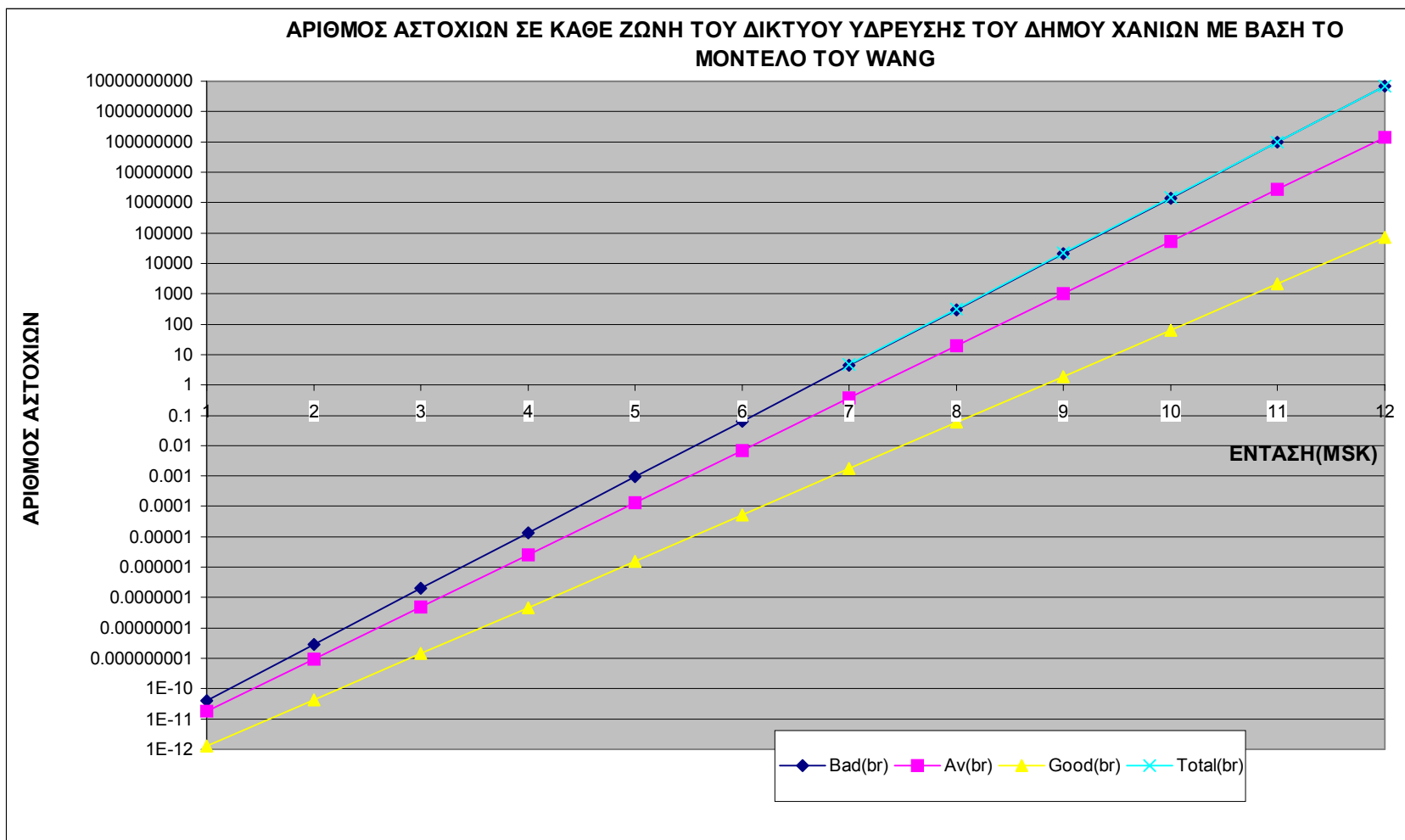
ΕΝΤΑΣΗ	ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΚΑΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR/KM)	ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR/KM)	ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΚΑΛΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR/KM)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΚΑΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΚΑΛΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (BR)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ (BR/KM)	ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΤΑ- ΣΤΡΟΦΗΣ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΣΤΩ ΚΑΙ ΜΙΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ
1	5.92E-13	3.13E-13	3.00E-13	4.17E-11	1.83E-11	1.29E-12	6.13E-11	4.60786E-13	NO DAMAGE	0.000000006128%
2	4.06E-11	1.63E-11	9.98E-12	2.87E-09	9.52E-10	4.29E-11	3.86E-09	2.90389E-11	NO DAMAGE	0.000000386217%
3	2.79E-09	8.51E-10	3.32E-10	1.97E-07	4.96E-08	1.43E-09	2.48E-07	1.86508E-09	NO DAMAGE	0.000024805500%
4	1.92E-07	4.44E-08	1.10E-08	1.35E-05	2.58E-06	4.74E-08	1.62E-05	1.21578E-07	NO DAMAGE	0.001616970000%
5	1.32E-05	2.31E-06	3.67E-07	0.00093	0.000134724	1.58E-06	0.001066424	8.01823E-06	NO DAMAGE	0.106585500000%
6	0.0009057	0.000121	1.22E-05	0.063906	0.007021744	5.25E-05	0.070979996	0.000533684	NO DAMAGE	6.851947500000%
7	0.06223	0.006281	0.000406	4.390764	0.365969606	0.001745674	4.758479402	0.035778041	MODERATE	99.142135600000%
8	4.2756289	0.327341	0.013521	301.6755	19.07414229	0.058071517	320.8077594	2.412088417	MAJOR	100.000000000000%
9	293.76497	17.06082	0.44978	20727.17	994.1342081	1.931804477	21723.24066	163.3326365	MAJOR	100.000000000000%
10	20183.664	889.2011	14.96236	1424099	51813.74914	64.26332143	1475976.768	11097.56968	MAJOR	100.000000000000%
11	1386755.8	46344.69	497.7371	97845331	2700505.201	2137.78078	100547974	755999.8045	MAJOR	100.000000000000%
12	95279616	2415461	16557.7	6.72E+09	140748902.8	71115.31993	6863463913	51604991.83	MAJOR	100.000000000000%



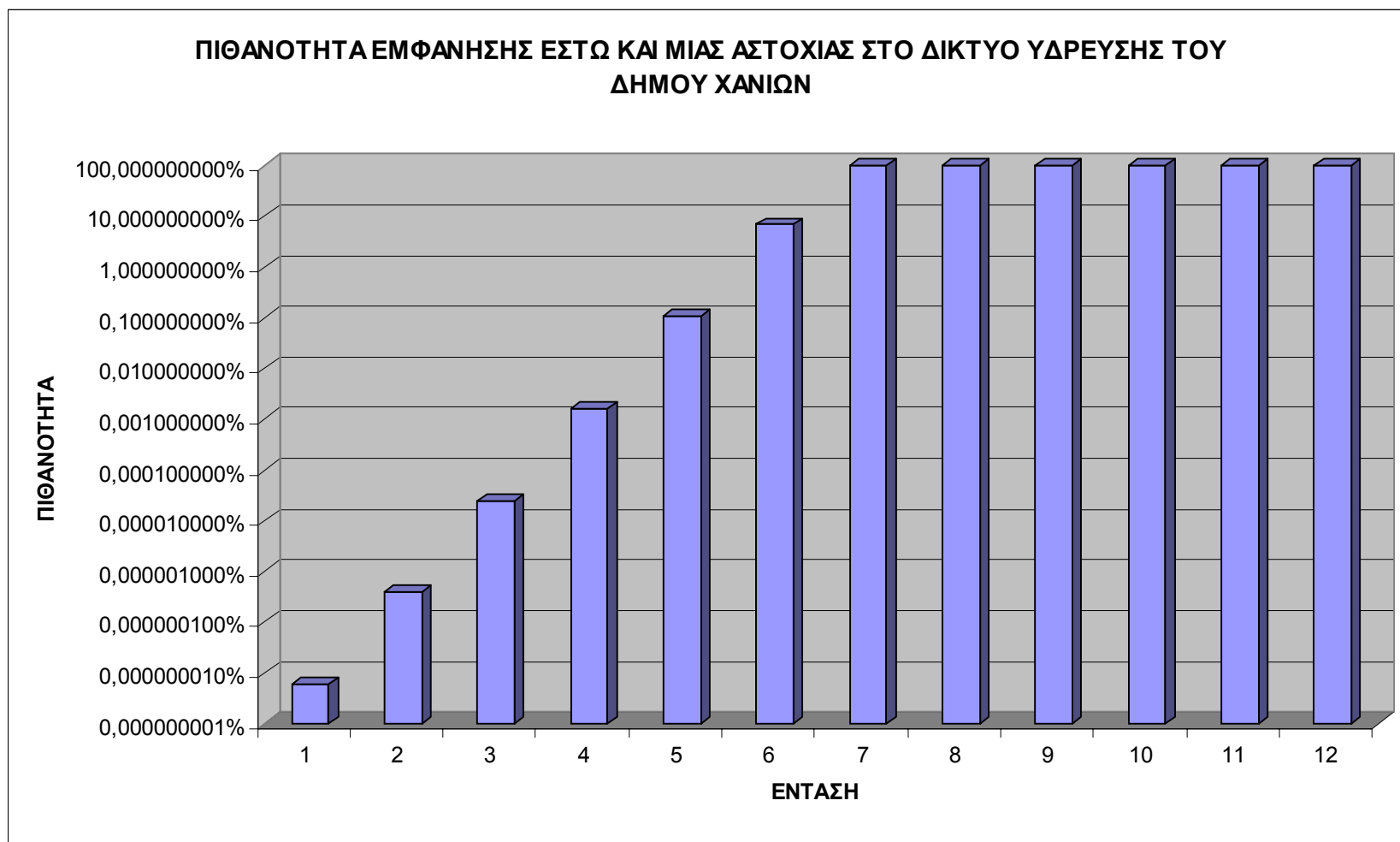
Διάγραμμα 6.16 Γραφική παράσταση του αριθμού των αστοχιών στο δίκτυο του Δήμου Χανίων συναρτήσει της έντασης με βάση το μοντέλο του Wang



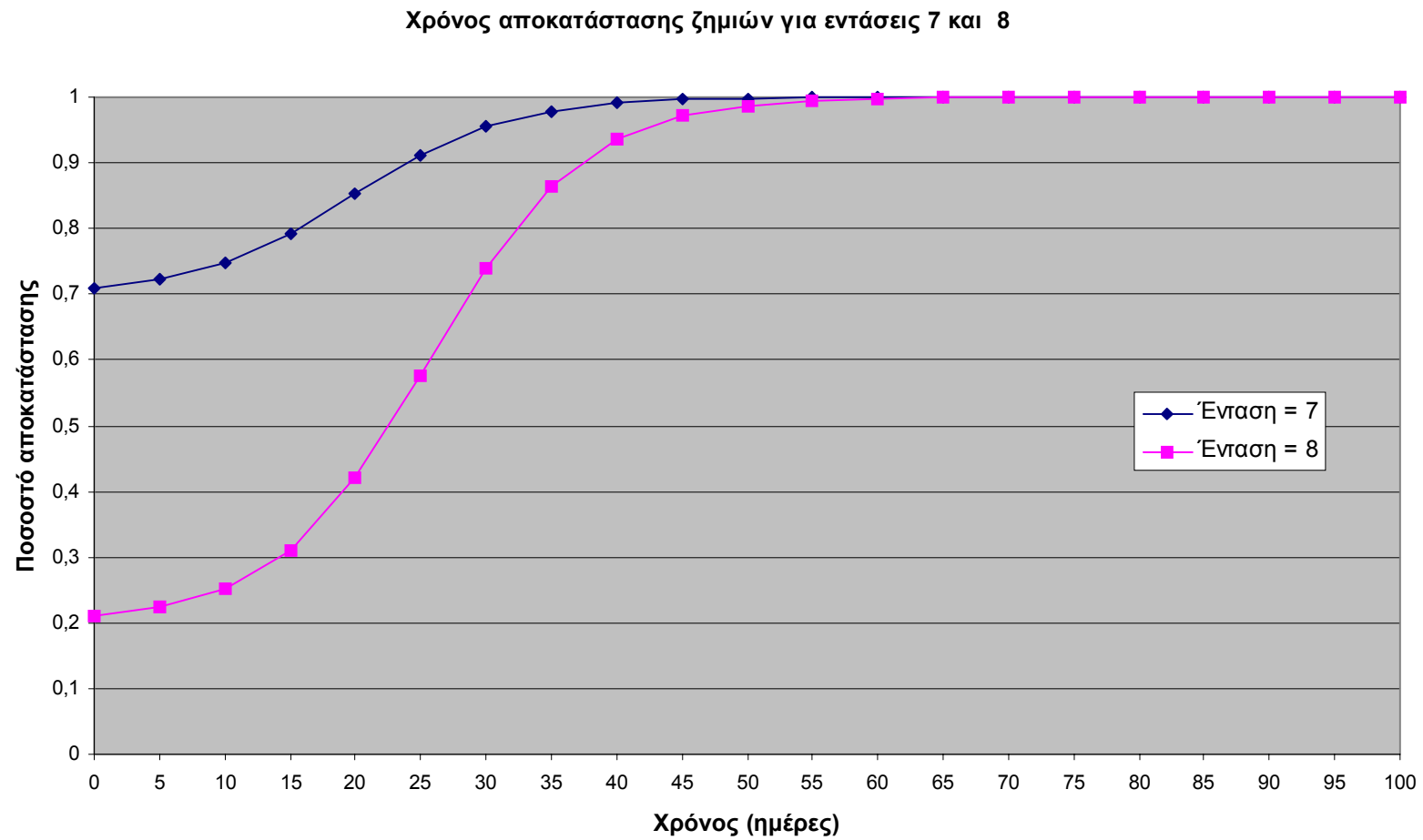
Διάγραμμα 6.17 Γραφική παράσταση του ρυθμού των αστοχιών στο δίκτυο του Δήμου Χανίων σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης συναρτήσει της έντασης με βάση το μοντέλο του Wang



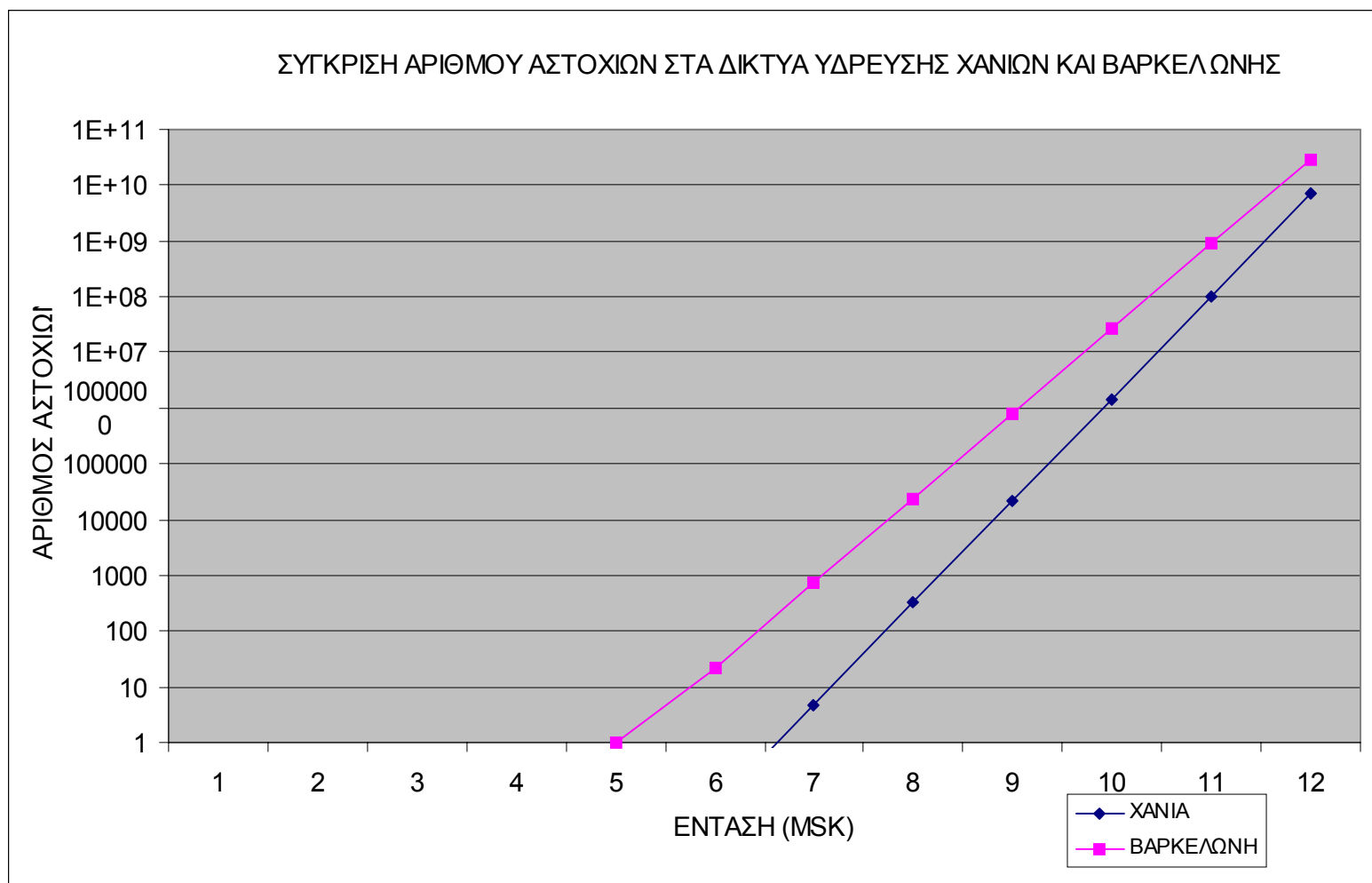
Διάγραμμα 6.18 Γραφική παράσταση του αριθμού των αστοχιών στο δίκτυο του Δήμου Χανίων συναρτήσει της έντασης με βάση το μοντέλο του Wang



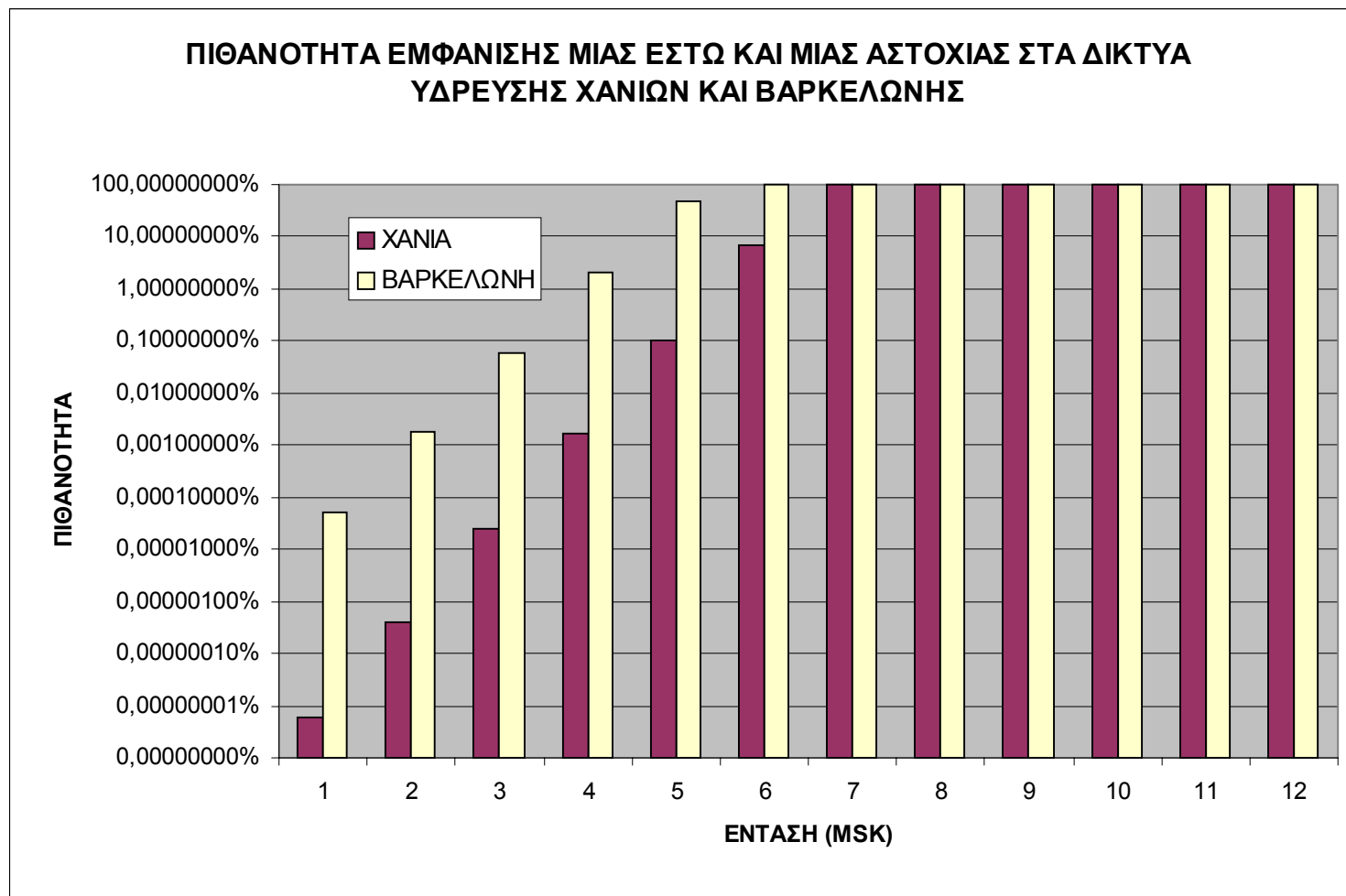
Διάγραμμα 6.19. Πιθανότητα έστω και μίας αστοχίας στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων με βάση το μοντέλο του Wang.



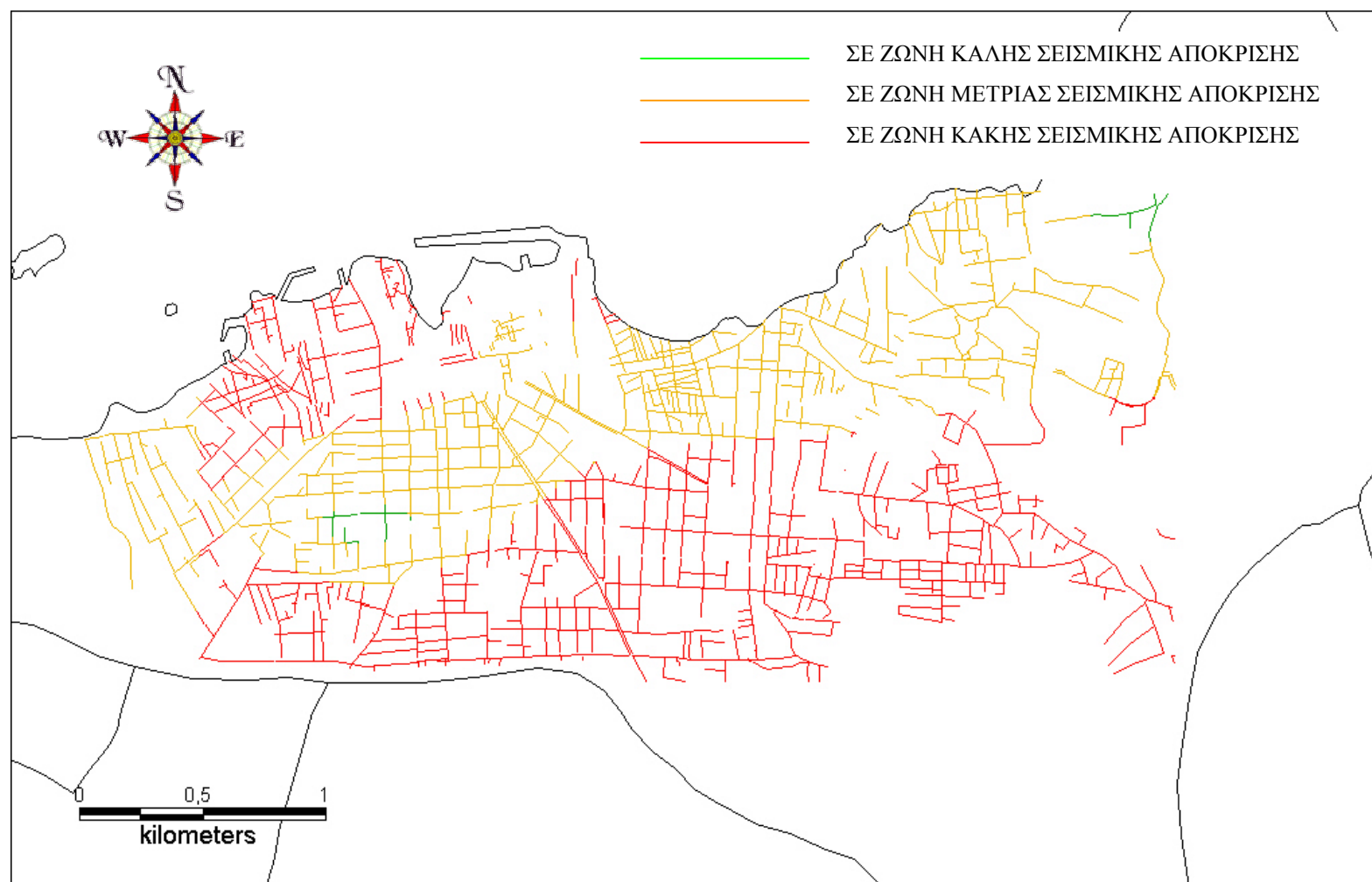
Διάγραμμα 6.20 Χρόνος αποκατάστασης αστοχιών στο Δίκτυο Ύδρευσης του Δήμου Χανίων για τις καταστροφές που προκλήθηκαν από σεισμούς εντάσεως 7 και 8 (στον Δήμο Χανίων)



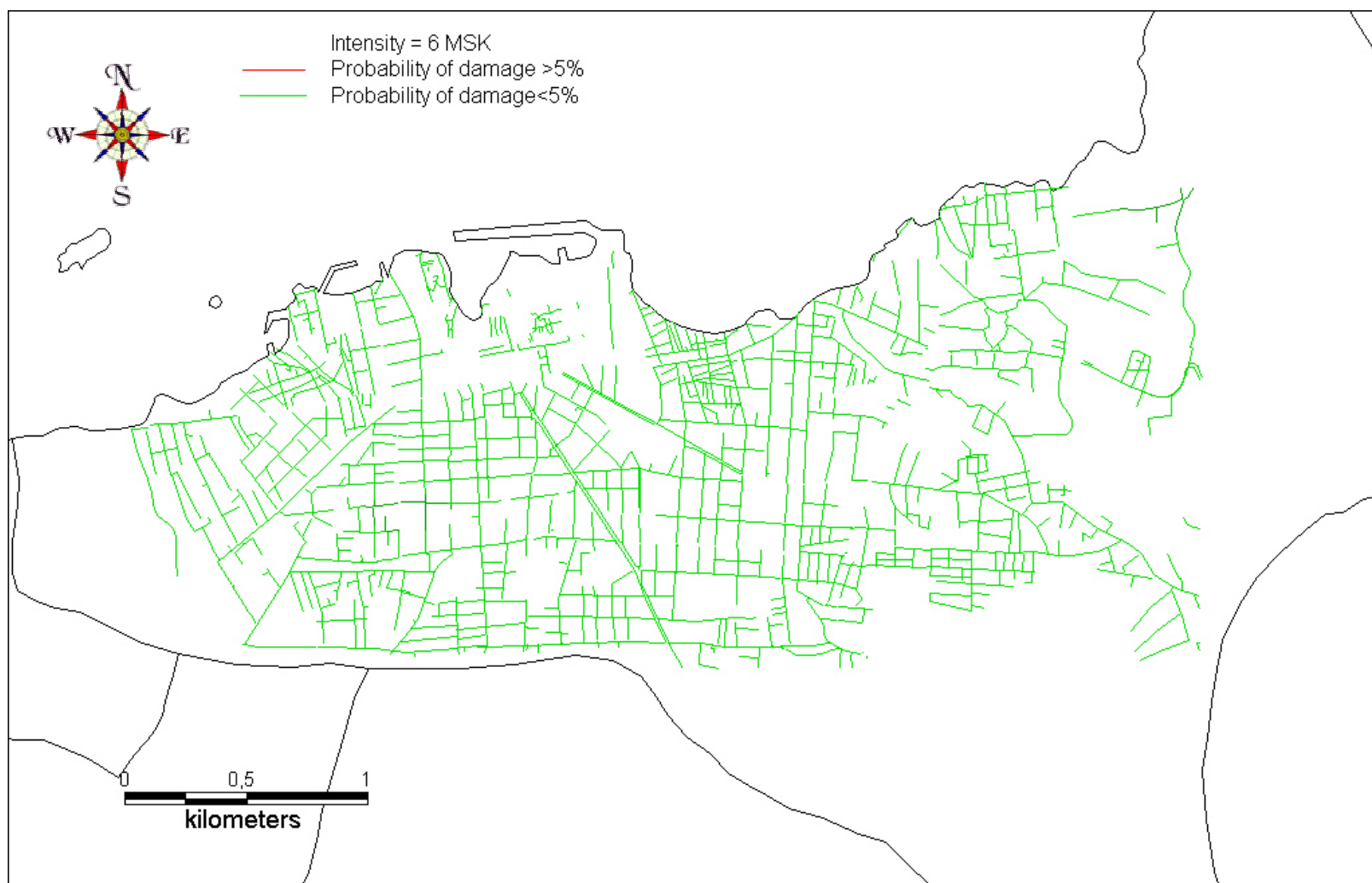
Διάγραμμα 6.21. Σύγκριση του αριθμού αστοχιών στα Δίκτυα Ύδρευσης του Δήμου Χανίων και της πόλης της Βαρκελώνης μετά την εφαρμογή του μοντέλου του Wang



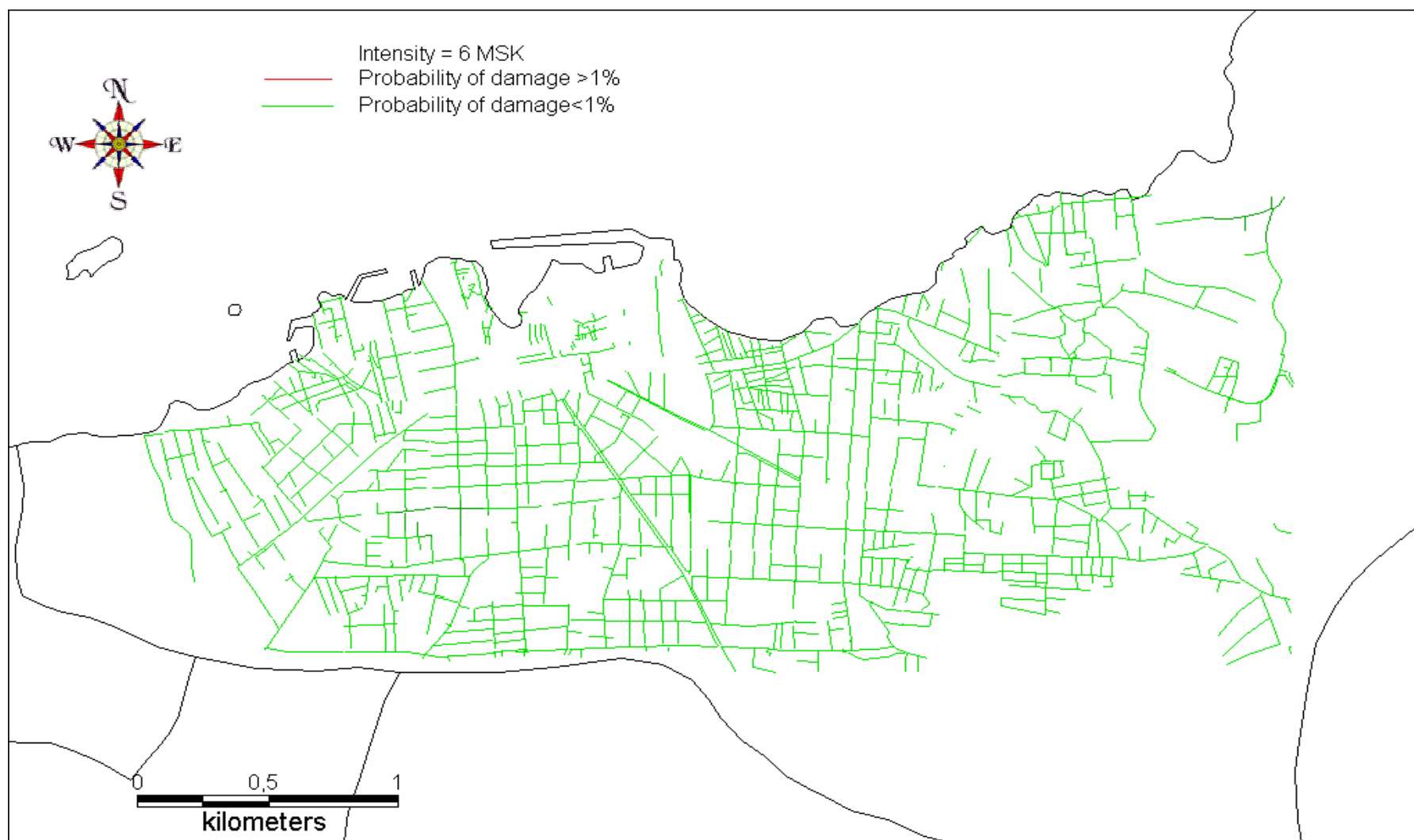
Διάγραμμα 6.22 Σύγκριση της πιθανότητας εμφάνισης έστω και μίας αστοχίας στα δίκτυα ύδρευσης του Δήμου Χανίων και της πόλης της Βαρκελώνης μετά την εφαρμογή του μοντέλου του Wang



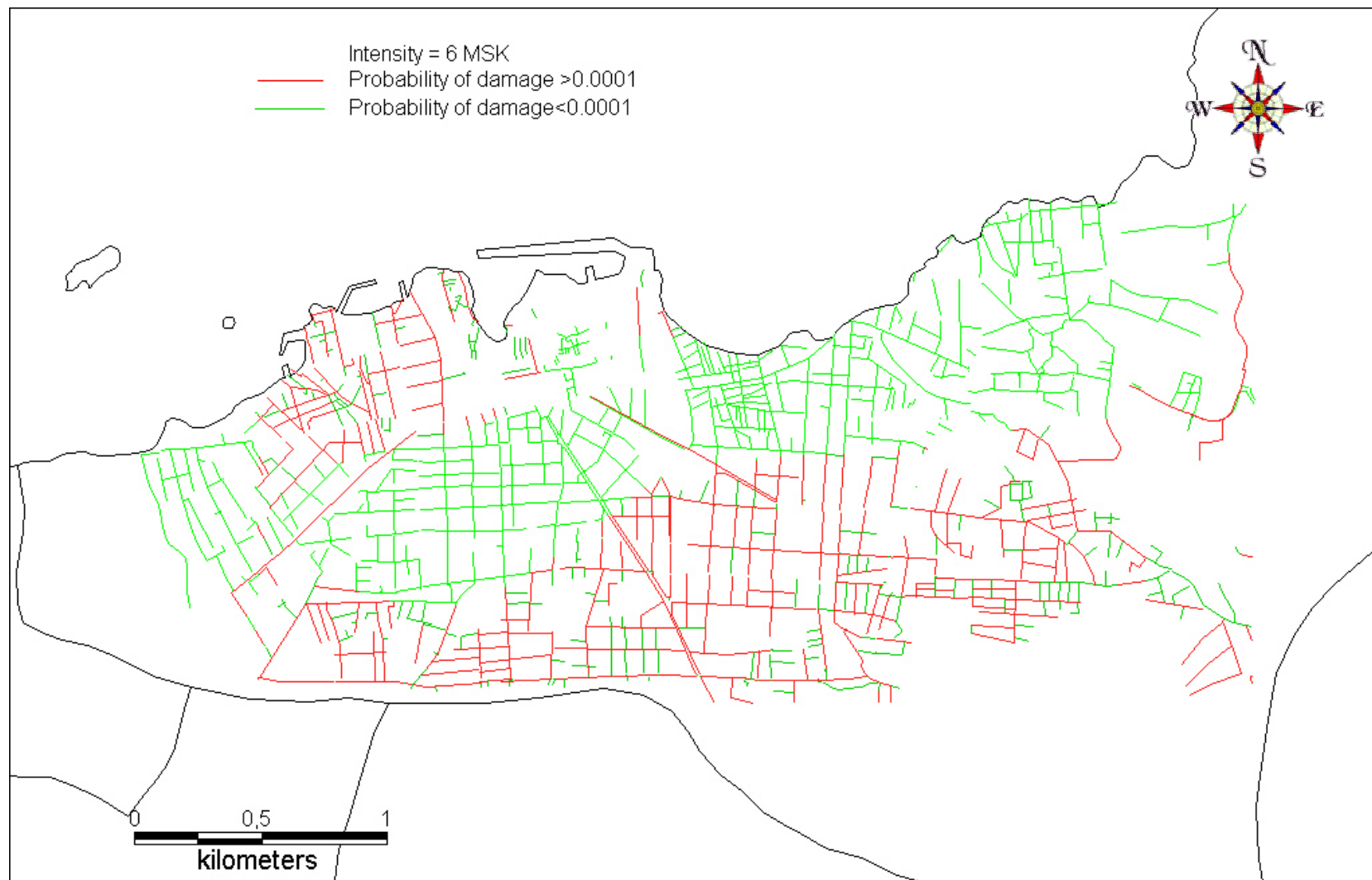
Εικόνα 6.23 Η θέση κάθε αγωγού του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Χανίων σε σχέση με τις ζώνες σεισμικής απόκρισης



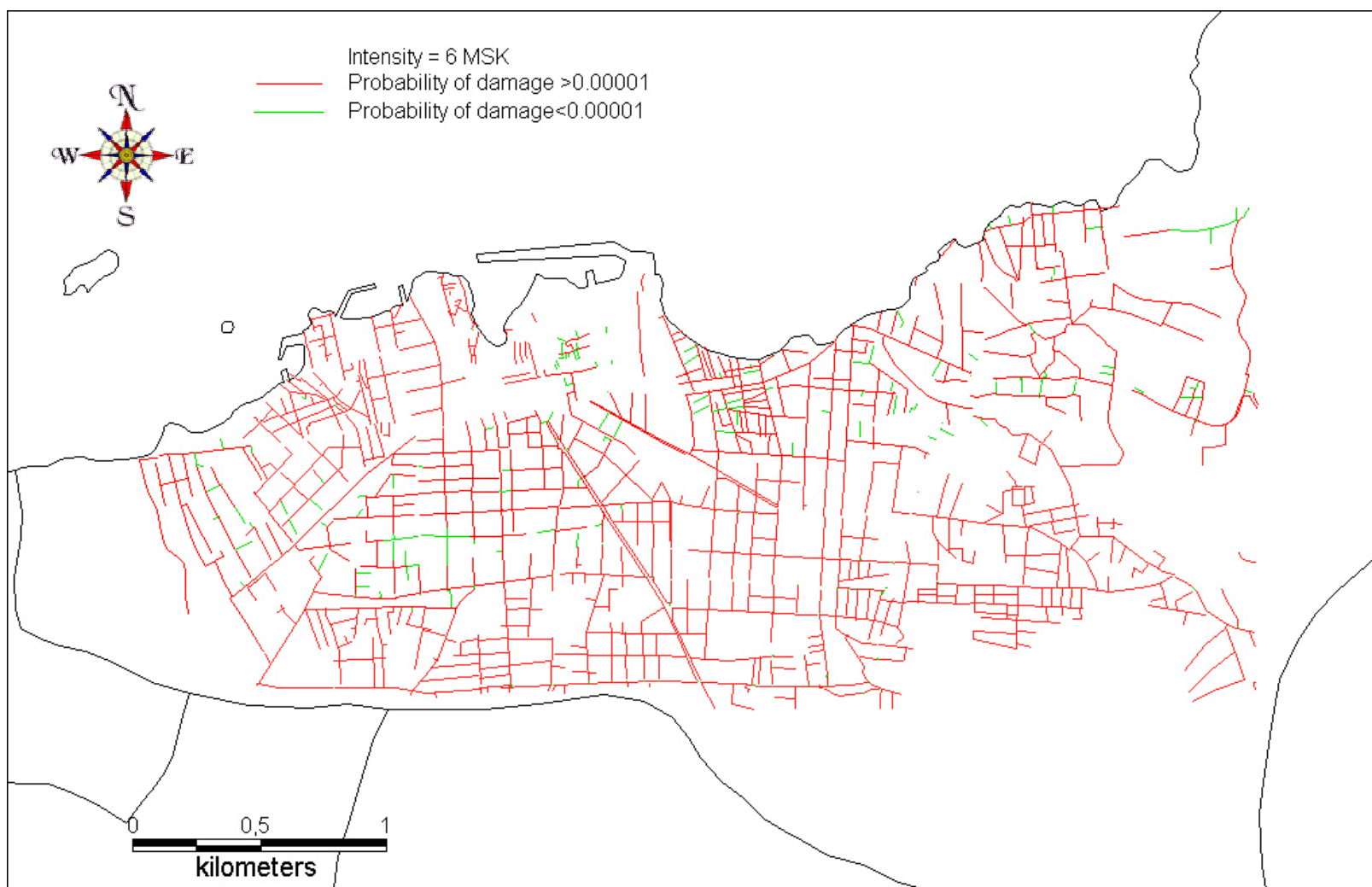
Εικόνα 6.24 Αγωγοί με πιθανότητα αστοχίας μικρότερη ή μεγαλύτερη του 5% στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων για ένταση σεισμού 6



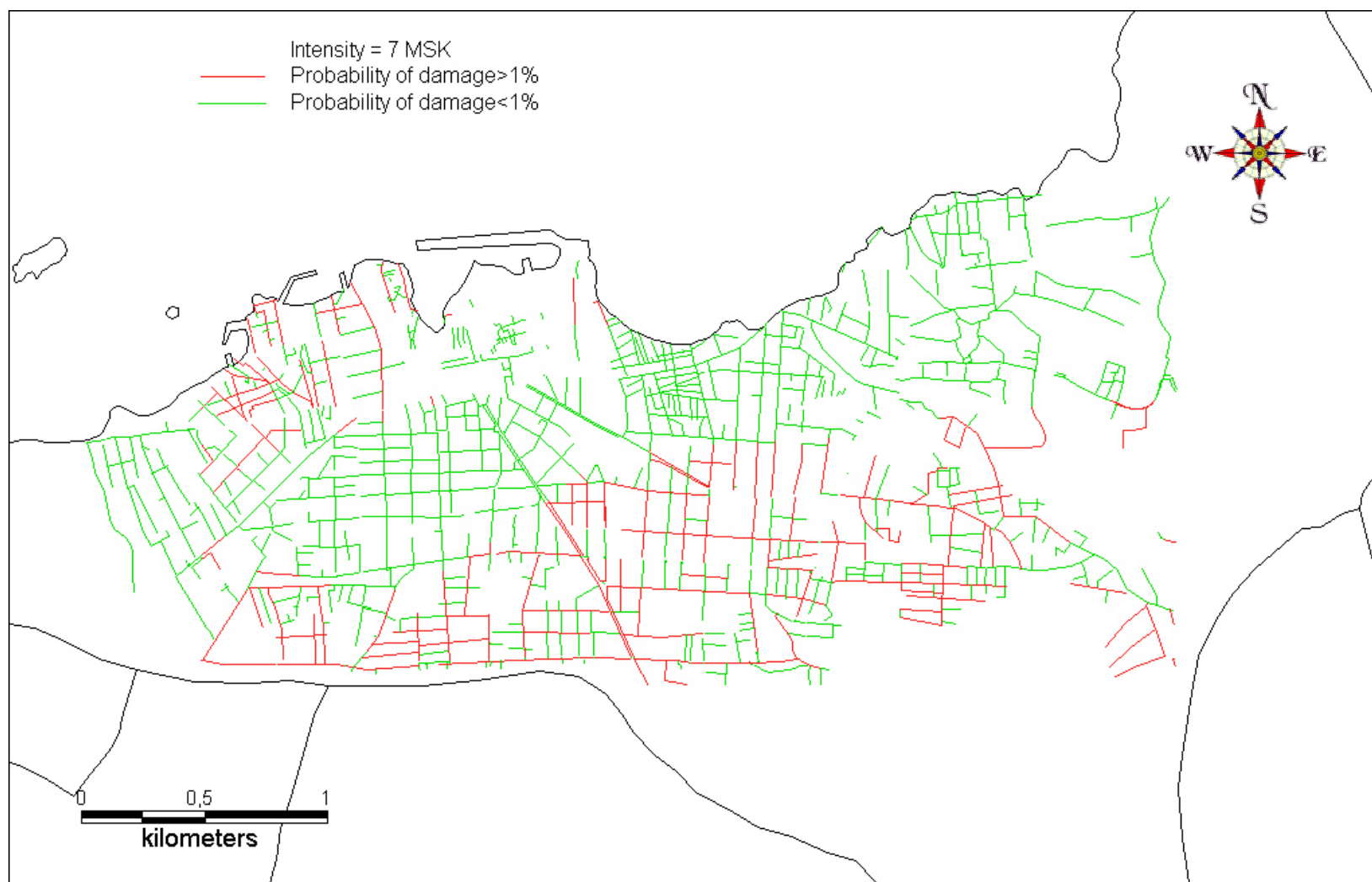
Εικόνα 6.25 Πιθανότητα αστοχίας μικρότερη η μεγαλύτερη του 1% για ένταση 6



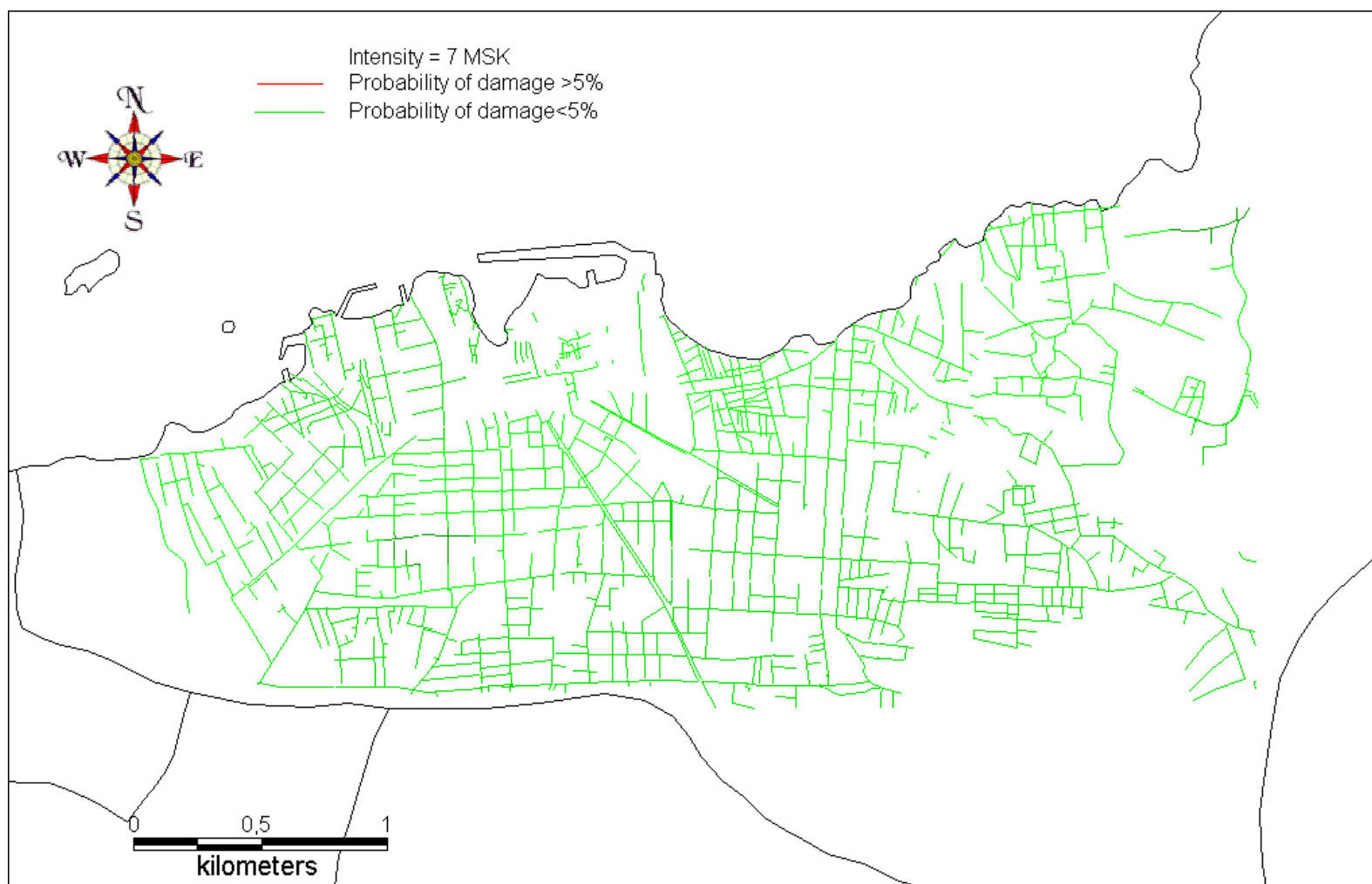
Εικόνα 6.26 Πιθανότητα αστοχίας μικρότερη ή μεγαλύτερη του 0.0001 για ένταση σεισμού 6.



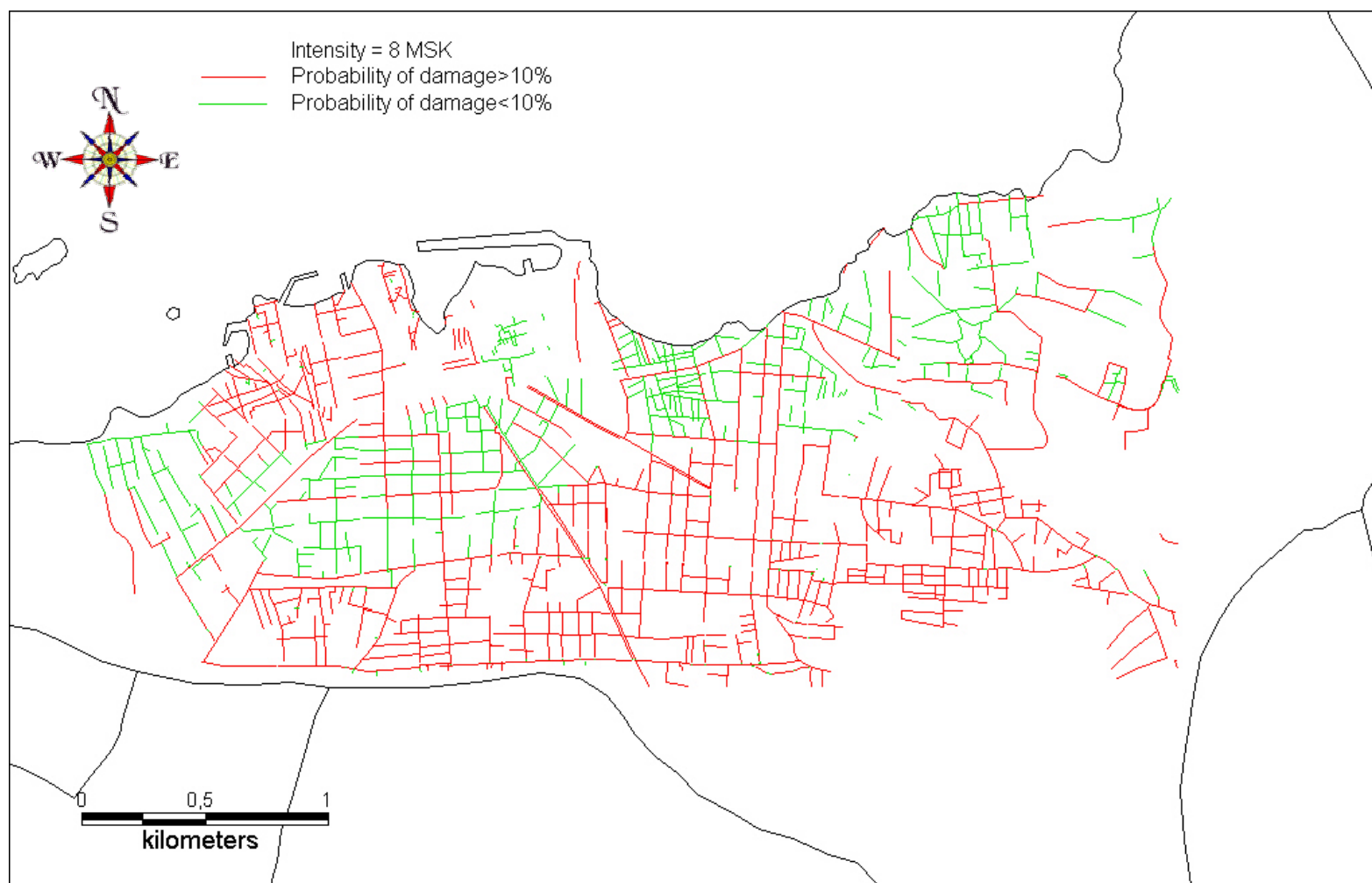
Εικόνα 6.27 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη από 0.00001 για ένταση σεισμού 6



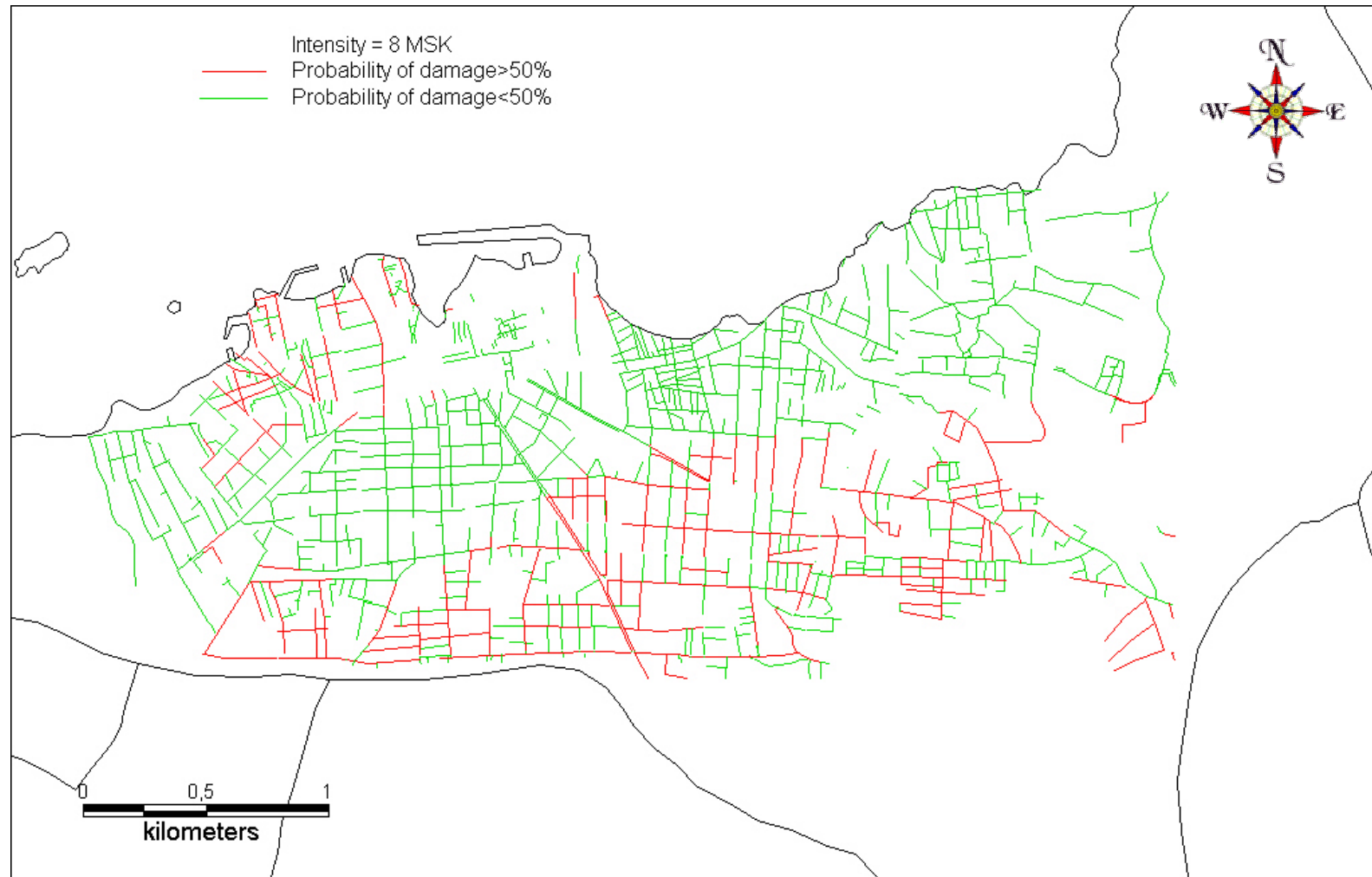
Εικόνα 6.28 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 1% στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων για ένταση σεισμού 7 (στον Δήμο Χανίων)



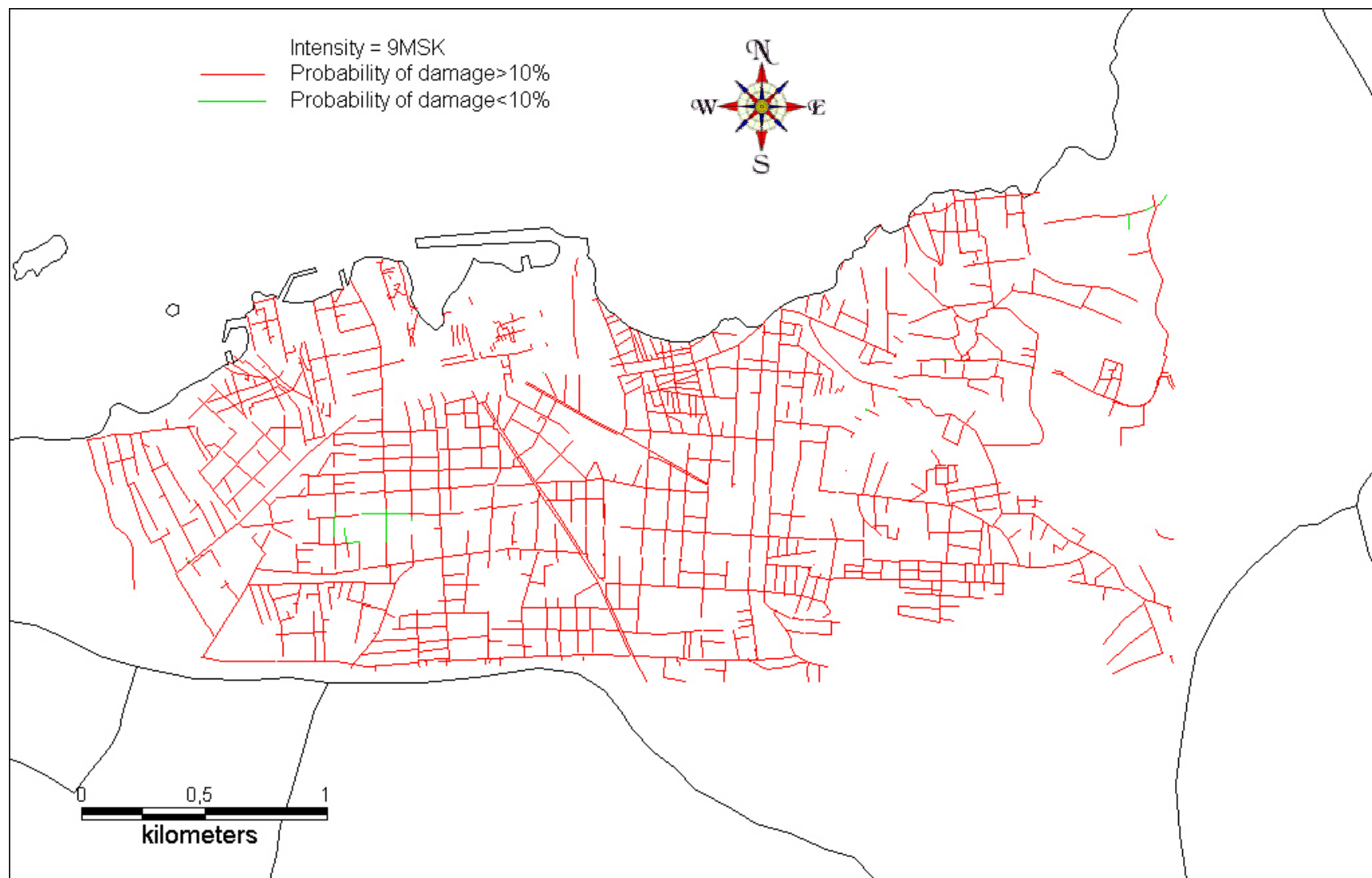
Εικόνα 6.29 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 5% για ένταση σεισμού 7



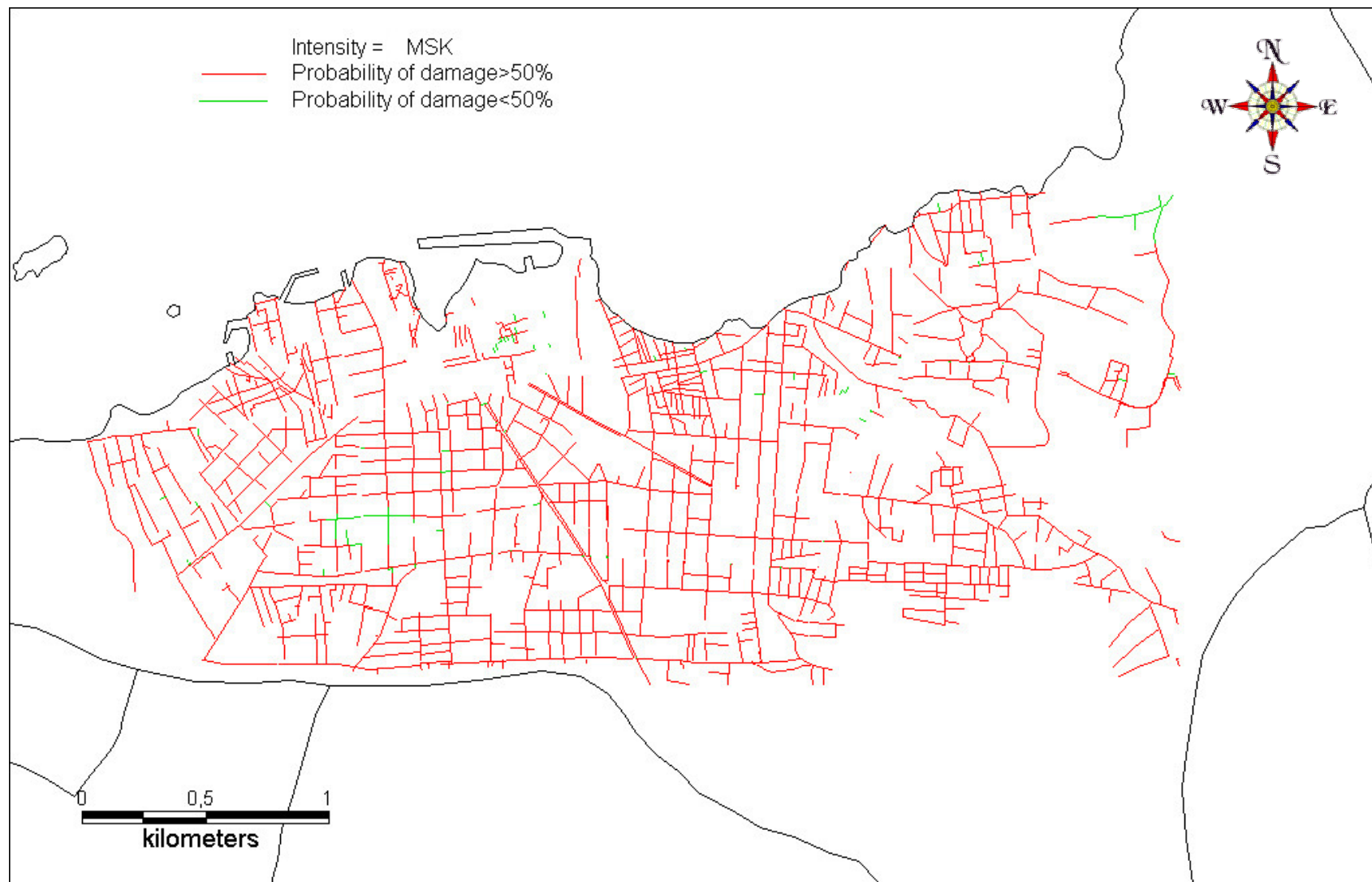
Εικόνα 6.30 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 10% για σεισμική ένταση 8



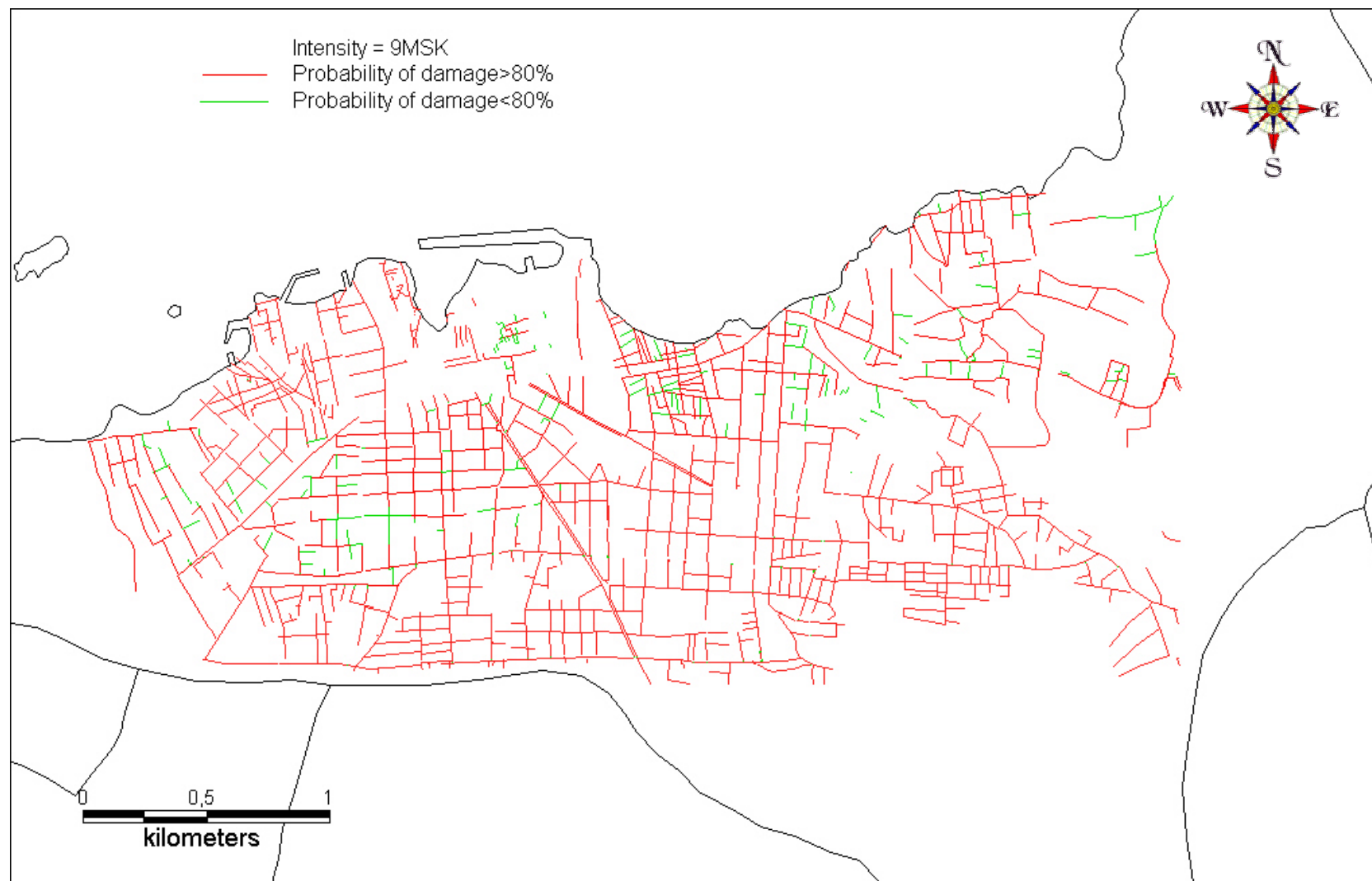
Εικόνα 6.31 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 50% στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων για σεισμική ένταση 8



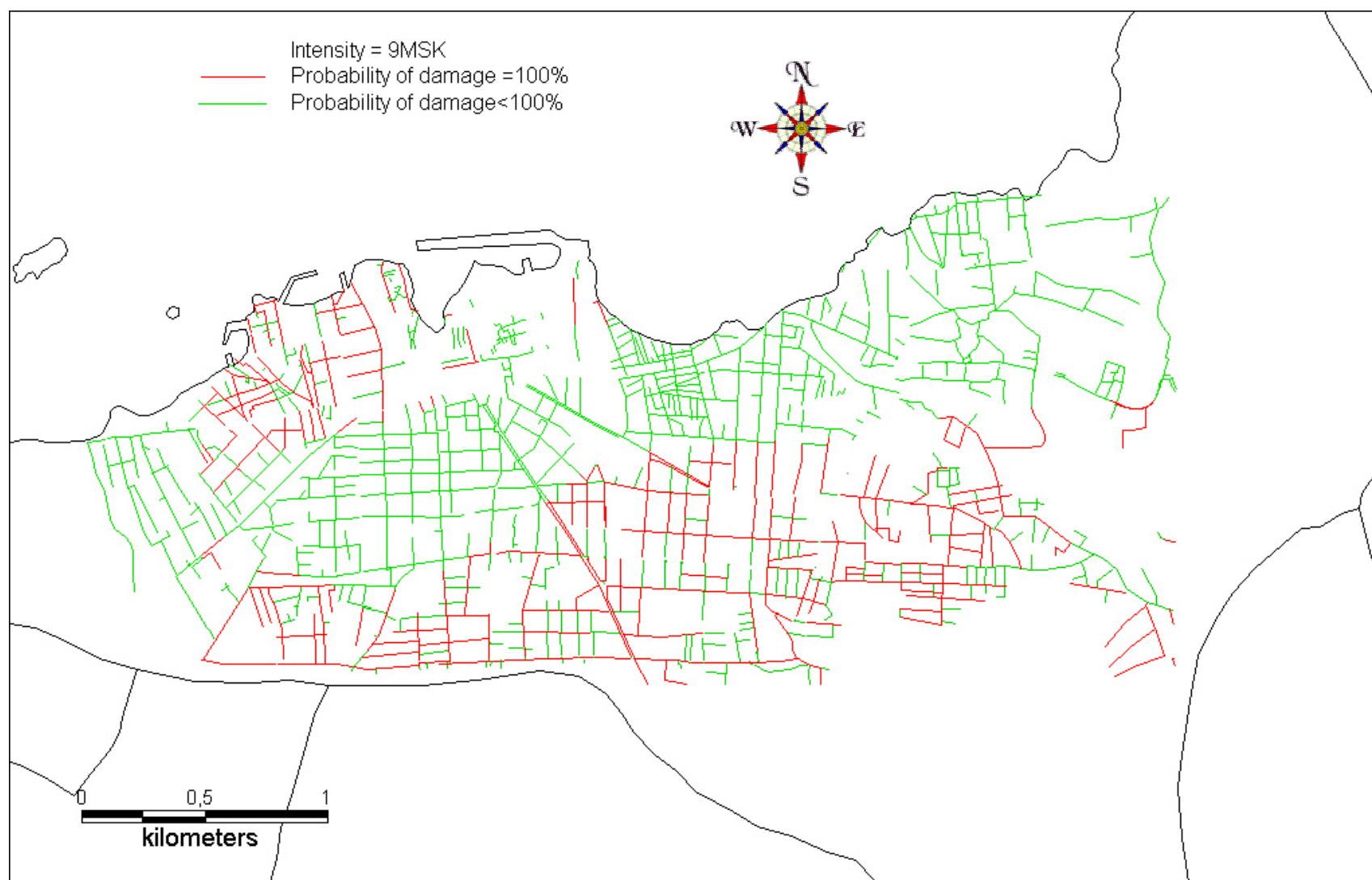
Εικόνα 6.32 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 10% για σεισμική ένταση 9



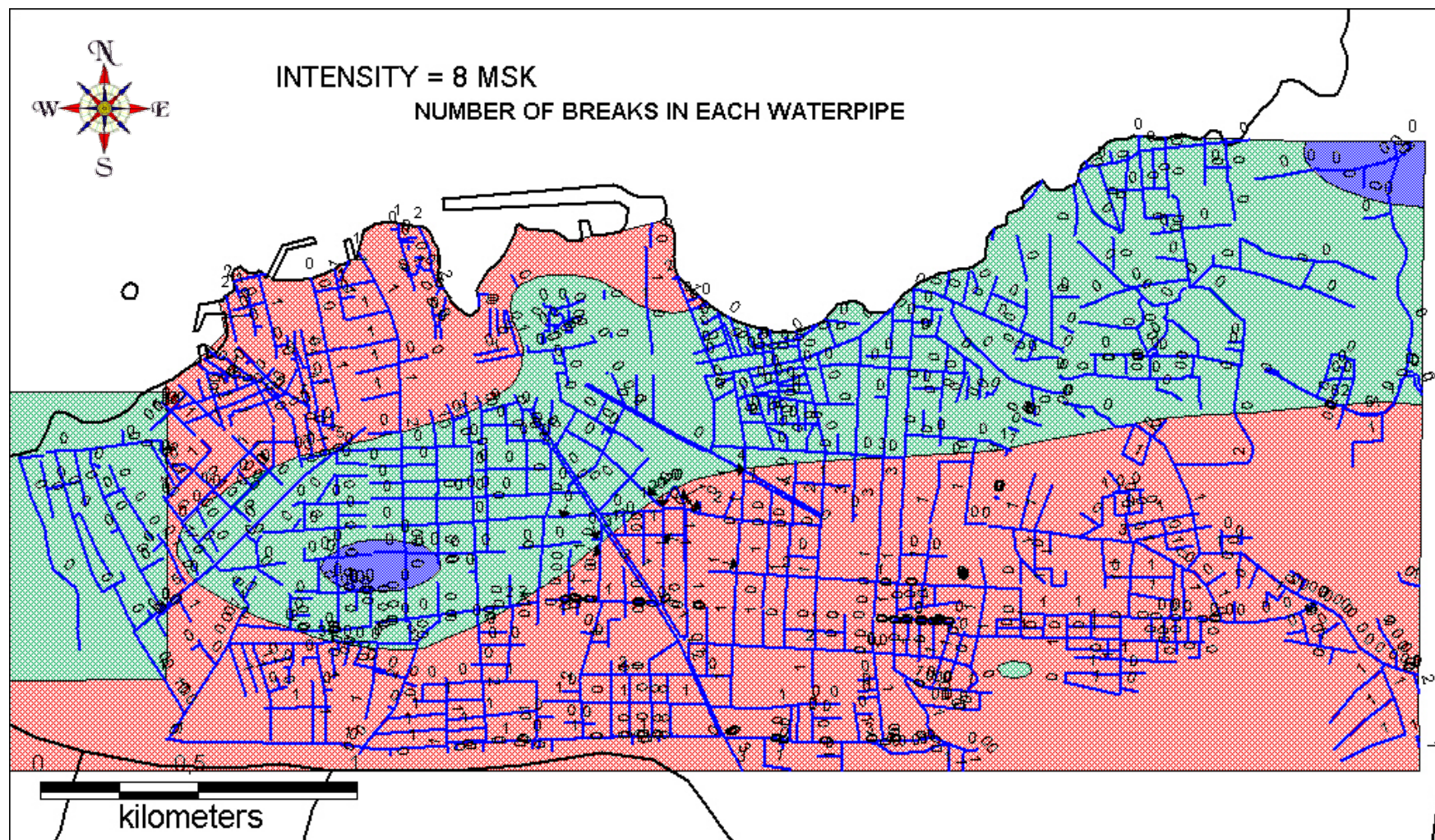
Εικόνα 6.33 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη του 50% για σεισμική ένταση 9



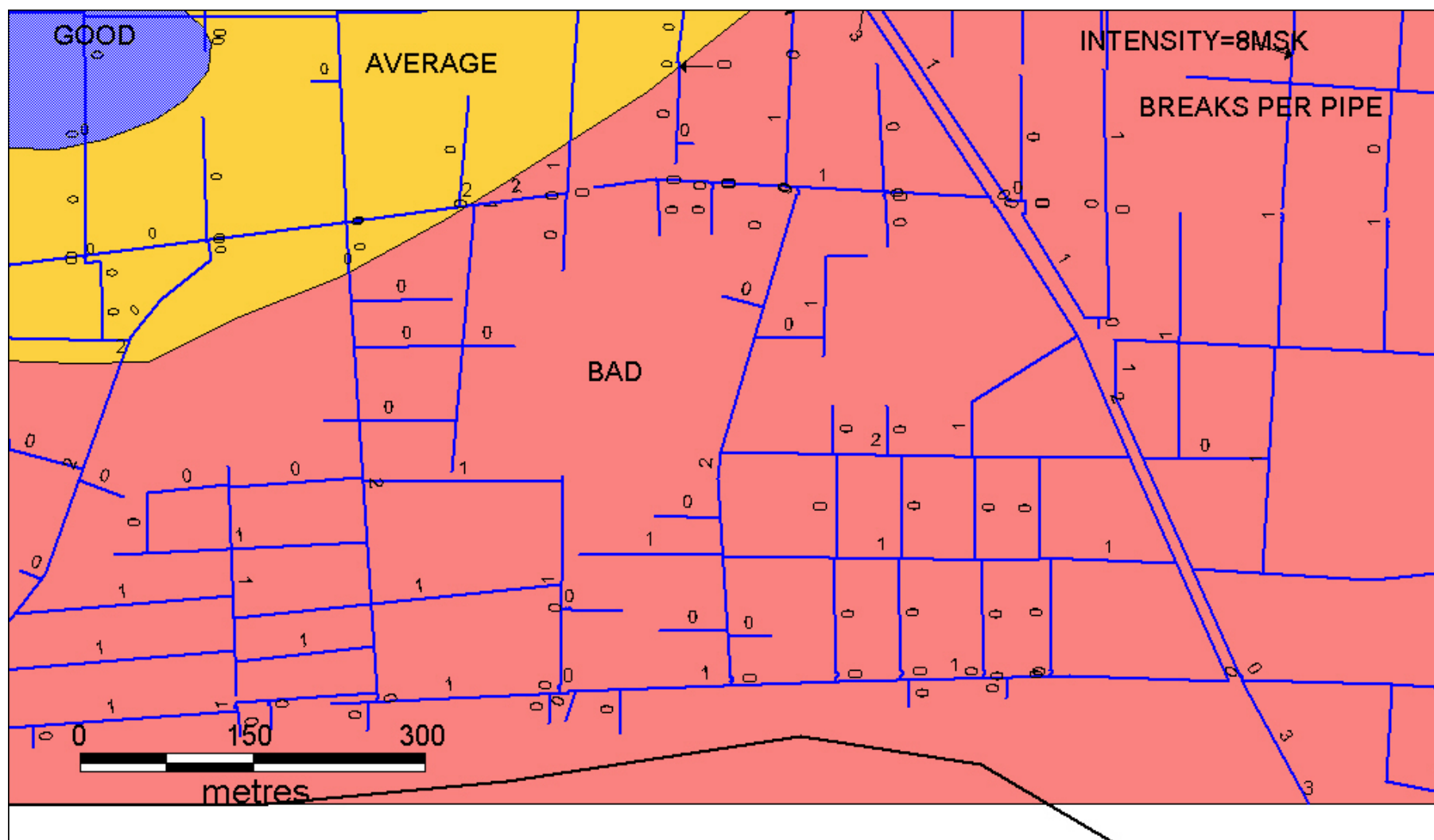
Εικόνα 6.34 Πιθανότητα αστοχίας μεγαλύτερη ή μικρότερη από 80% για σεισμική ένταση 9



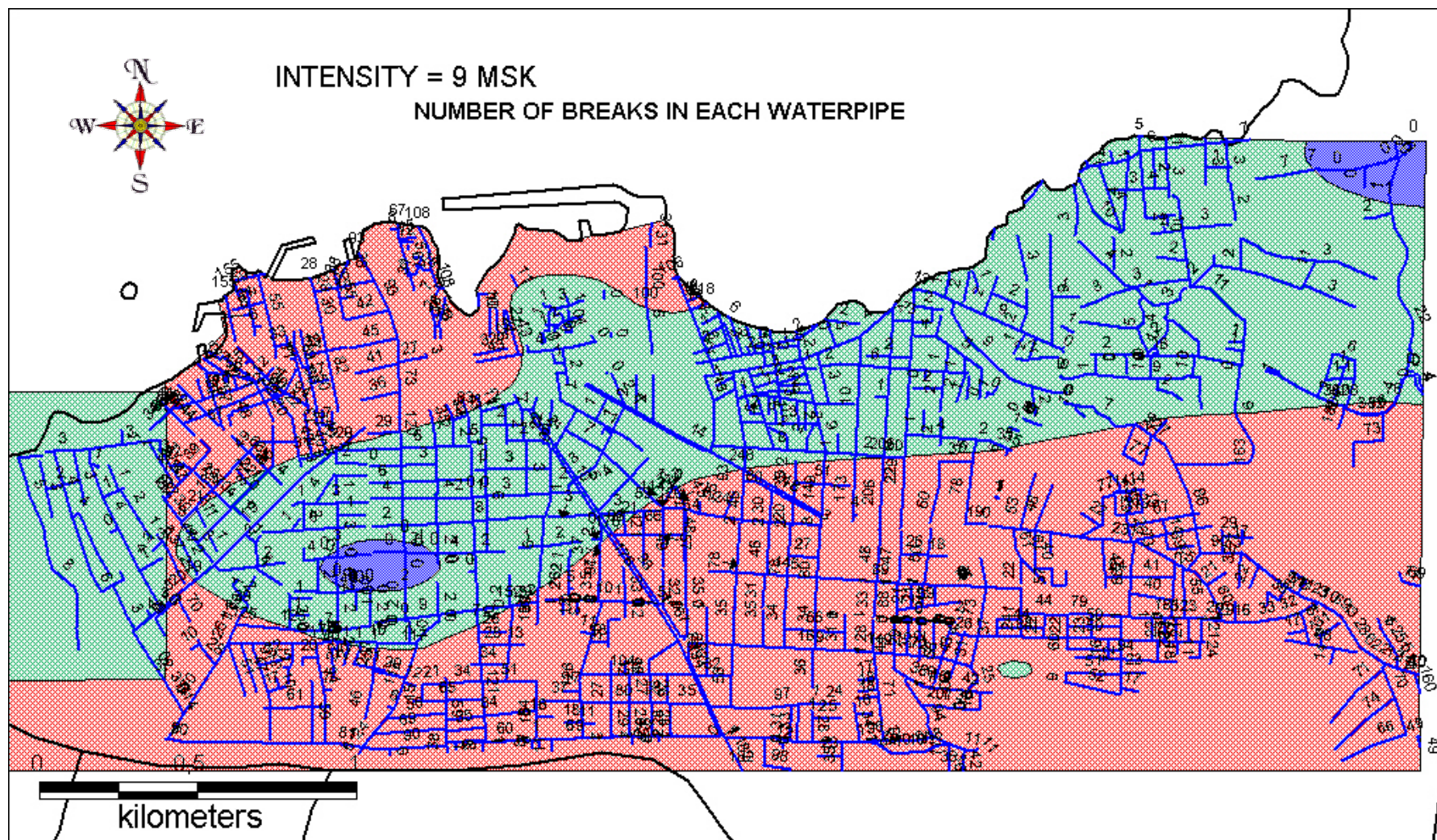
Εικόνα 6.35 Πιθανότητα αστοχίας ίση ή μικρότερη από 100% για σεισμική ένταση 9



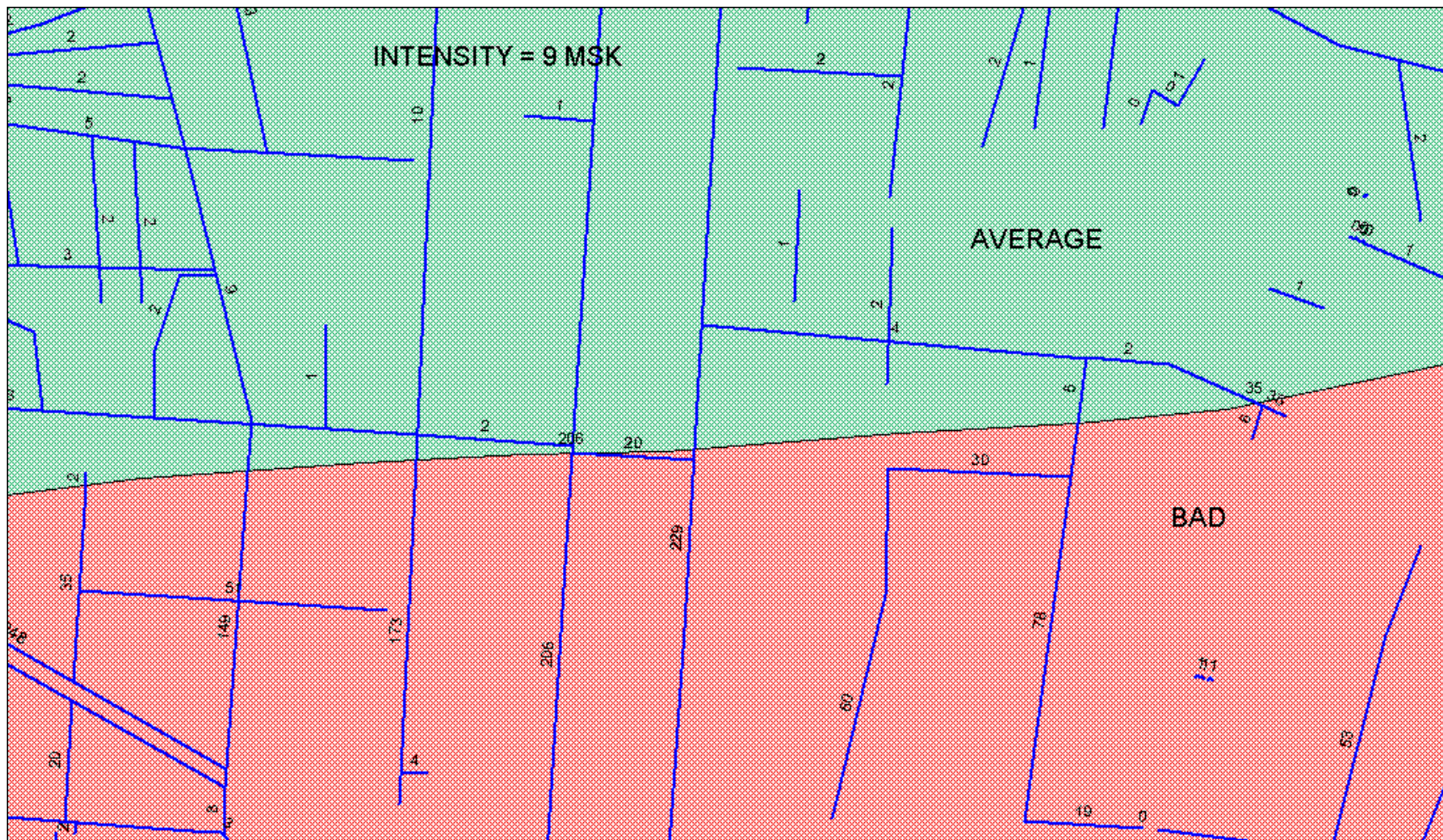
Εικόνα 6.36 Αριθμός αστοχιών σε κάθε αγωγό του Δήμου Χανίων για σεισμική ένταση 8



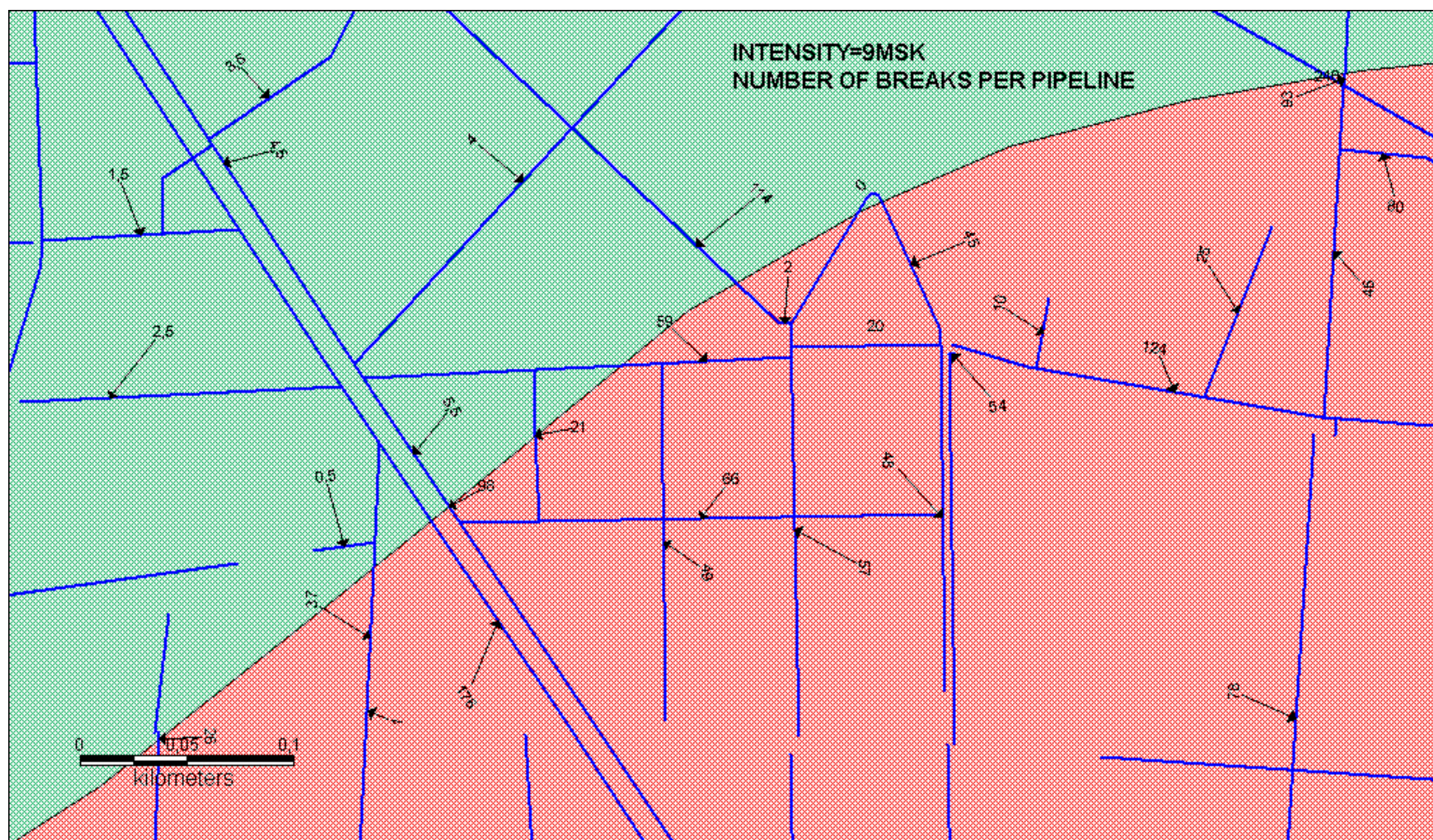
Εικόνα 6.37 Αριθμός αστοχιών σε κάθε αγωγό του Δικτύου Ύδρευσης σε συγκεκριμένη περιοχή του Δήμου Χανίων για σεισμική ένταση



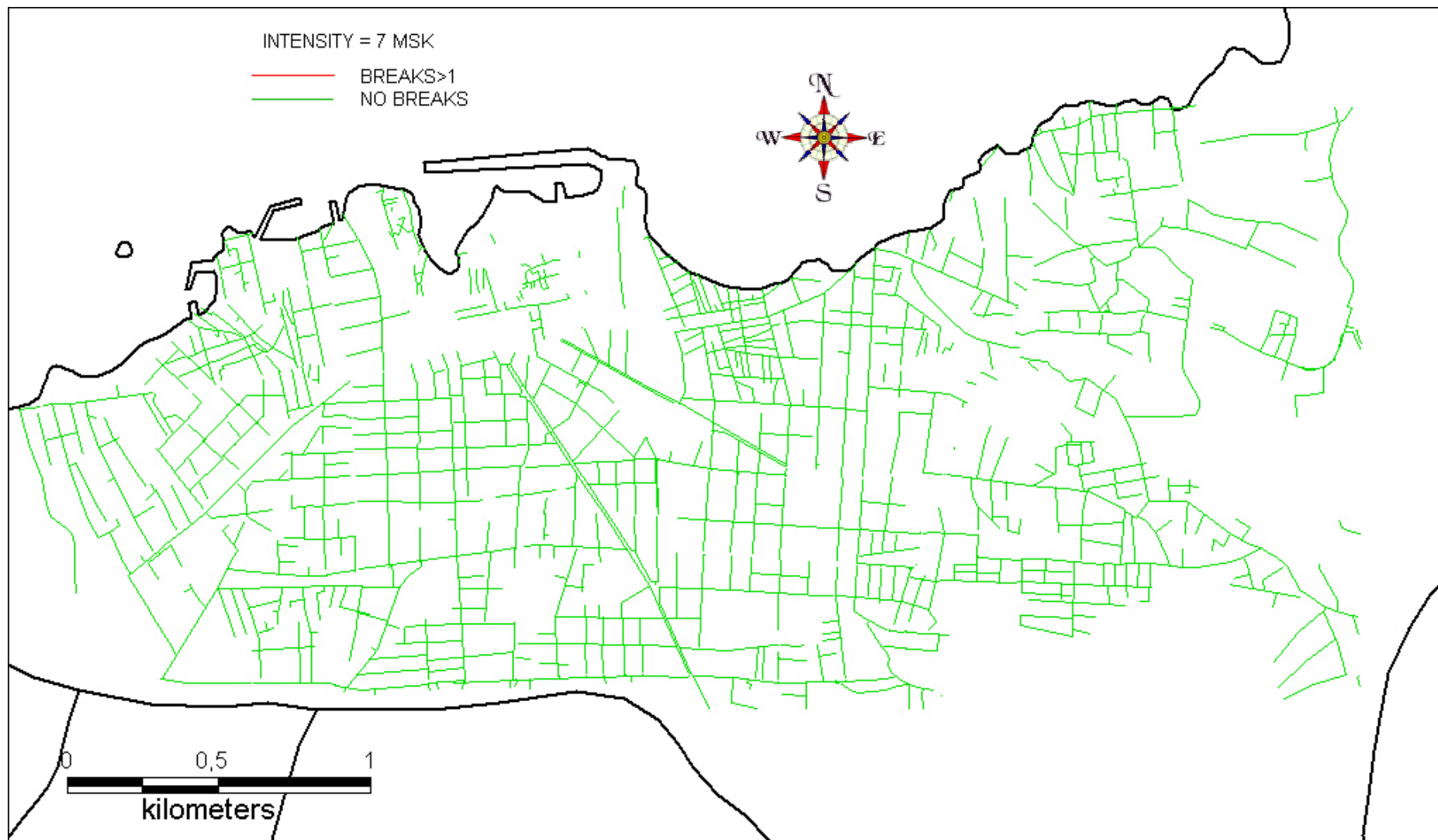
Εικόνα 6.38 Αριθμός αστοχιών σε κάθε αγωγό του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Χανίων για σεισμική ένταση 9



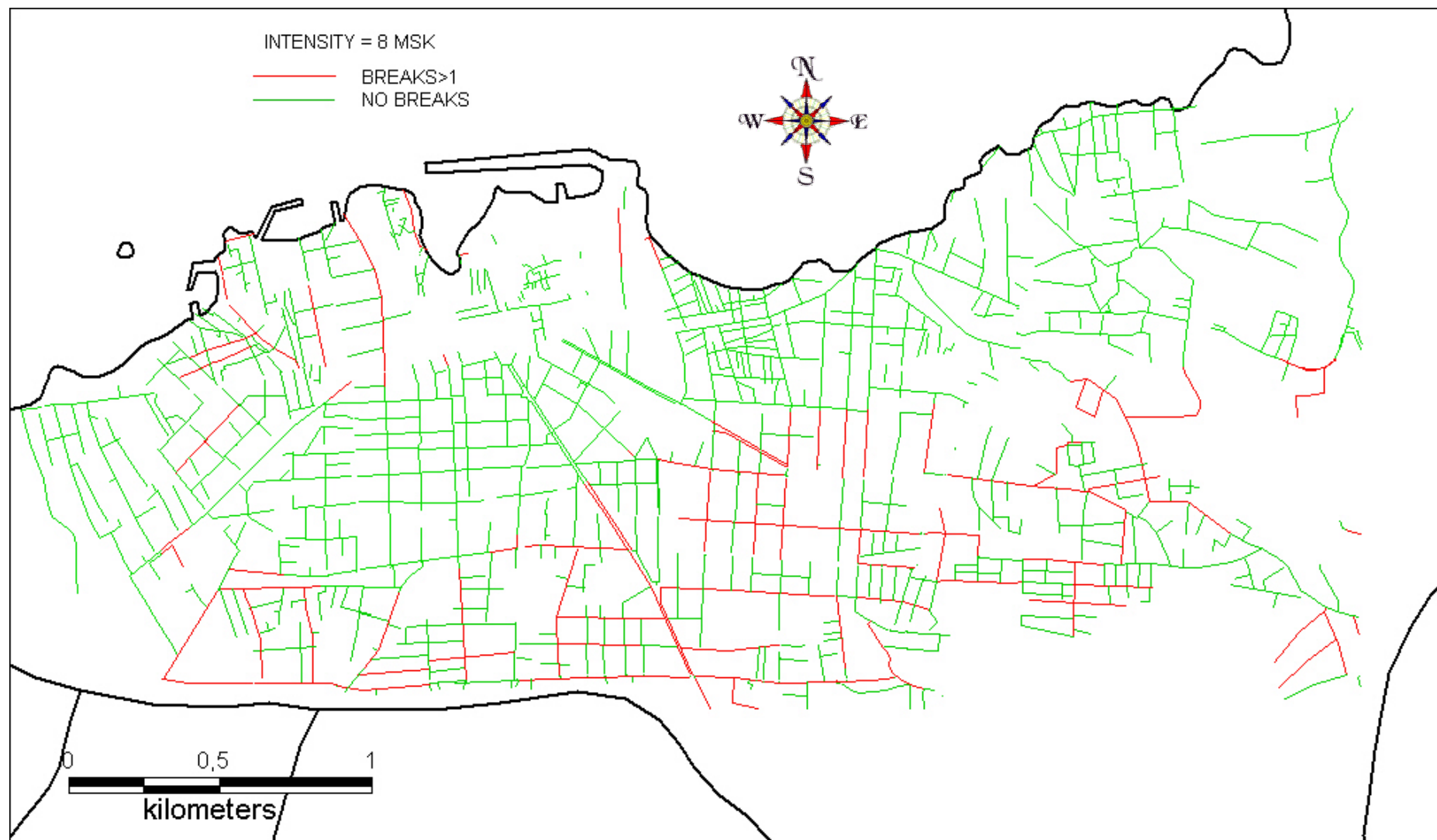
Εικόνα 6.39 Αριθμός αστοχιών στους σγωγούς συγκεκριμένης περιοχής του Δήμου Χανίων για σεισμική ένταση 9



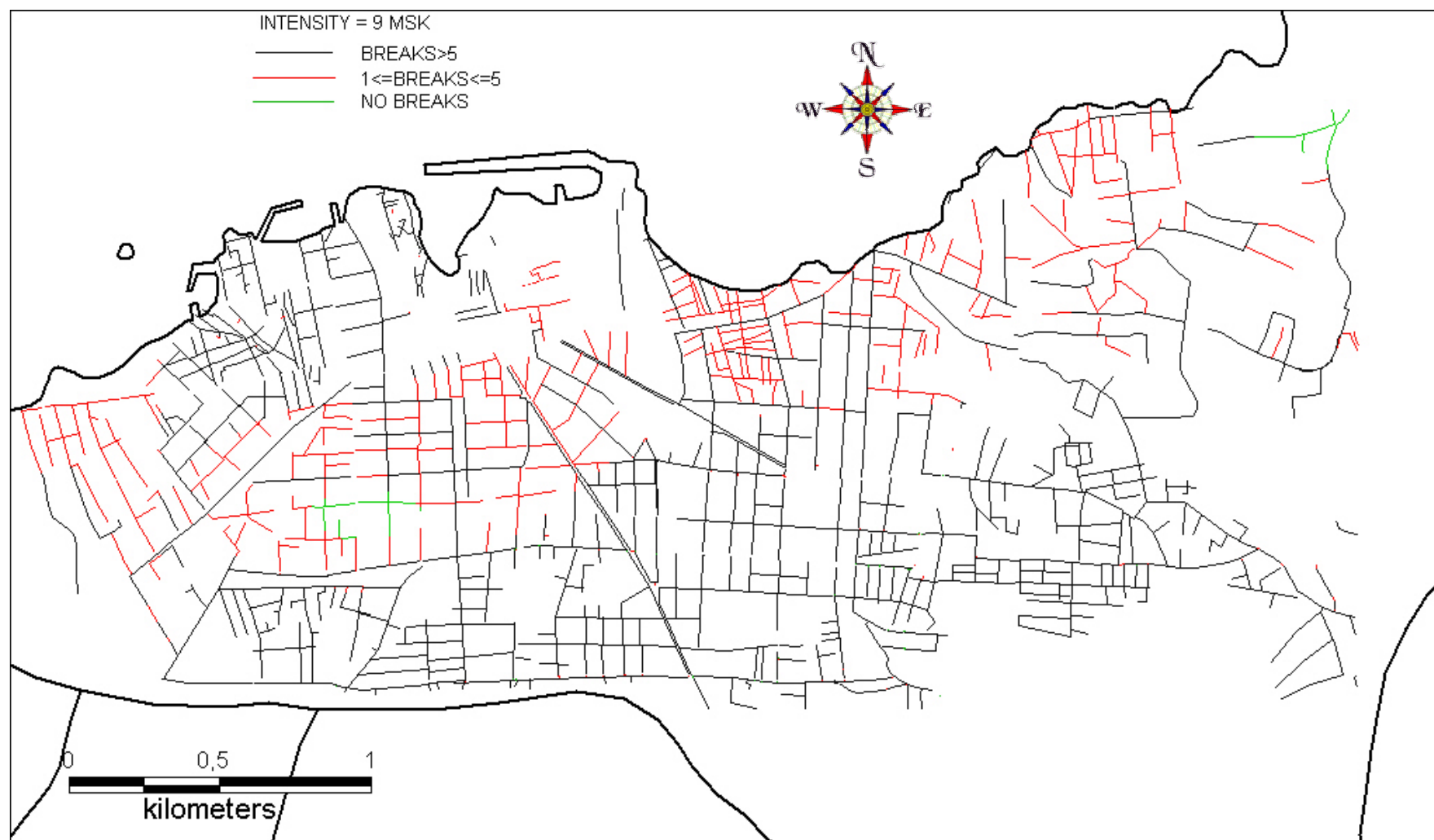
Εικόνα 6.40 Αριθμός αστοχιών σε κάθε αγωγό συγκεκριμένης περιοχής του Δήμου Χανίων για ένταση 9



Εικόνα 6.41 Αριθμός αστοχιών μεγαλύτερος ή μικρότερος της μονάδας στους αγωγούς του Δήμου Χανίων για ένταση 7



Εικόνα 6.42 Αριθμός αστοχιών μεγαλύτερος ή μικρότερος της μονάδας σε κάθε αγωγό του Δήμου Χανίων για ένταση 8



Εικόνα 6.43 Αριθμός αστοχιών μεγαλύτερος της μονάδας, μικρότερος της μονάδας ή μεγαλύτερος του 5 για κάθε αγωγό του Δήμου Χανίων.

6.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία και την διαχείριση των επιπέδων πληροφορίας του Δικτύου Ύδρευσης και των Ζωνών Σεισμικής Απόκρισης σε λογισμικό GIS, μπορούν να αξιολογηθούν ως λογικά αποτελέσματα ως προς τον βαθμό επικινδυνότητας του Δικτύου Ύδρευσης σε περίπτωση σεισμού, κρίνοντας από την σύγκριση των αποτελεσμάτων (α) με την περιγραφή της κλίμακας Mercalli, αλλά και (β) από την σύγκριση με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του ίδιου μοντέλου στην πόλη της Βαρκελώνης.

Ως προς την πρώτη σύγκριση, με βάση την περιγραφή της κλίμακας Mercalli από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας^[5] οι υπόγειοι αγωγοί αρχίζουν να αστοχούν (breaks) σε ένταση 9 της κλίμακας MM. Η ένταση στο μοντέλο αστοχιών που εφαρμόσαμε ωστόσο είναι στην κλίμακα MSK της οποίας ο βαθμός 8 αντιστοιχεί περίπου με τον βαθμό 9 της κλίμακας Mercalli ως προς τα μακροσεισμικά αποτελέσματα (υπάρχει πίνακας σύγκρισης των δύο κλιμάκων στο Παράρτημα Ι). Συνεπώς το γεγονός πως τις πρώτες σοβαρές και εκτεταμένες αστοχίες τις λαμβάνουμε σε ένταση 8, και συγκεκριμένα σε αυτήν την ένταση το μοντέλο υπολογίζει για το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων 321 αστοχίες και ρυθμό αστοχιών 2.4 breaks/km επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα. Σε ένταση 7 (κλίμακας MSK) οι αστοχίες που υπολογίζουμε είναι περίπου 5 στο σύνολο του δικτύου με ρυθμό αστοχιών 0.035 breaks/km. Σε ένταση 9 (κλίμακας MSK, περίπου 10 κλίμακας MM) έχουμε σχεδόν ολική καταστροφή στο δίκτυο ύδρευσης με 21723 αστοχίες και ρυθμό αστοχιών 163br/km, ποσά λογικά αν αναλογιστεί κανείς πως στην κλίμακα MM αυτή η ένταση περιγράφεται από αστοχίες ακόμα και σε φράγματα. Παρατηρούμε λοιπόν πως η εφαρμογή του μοντέλου συμπεριφέρεται «λογικά» για το κρίσιμο διάστημα εντάσεων 7 έως 9 της κλίμακας MSK. Ουσιαστικά, το μοντέλο του Wang δίνει αξιόπιστες τιμές μόνο για εκείνο το διάστημα καθώς είναι μοντέλο που έχει προκύψει από στατιστικές μελέτες. Αυτό σημαίνει πως στατιστικά δείγματα υπήρχαν μόνο για το διάστημα εντάσεων 7 έως 9 καθώς σε εντάσεις μικρότερες από το 7 δεν έχουμε ουσιαστικά απώλειες, ενώ για εντάσεις μεγαλύτερες του 9 οι καταστροφές είναι ολοκληρωτικές και μη μετρήσιμες. Άρα κρίνοντας με βάση την περιγραφή της κλίμακας Mercalli και MSK και τα εξαγόμενα αποτελέσματα,

συμπεραίνουμε πως το μοντέλο υπολογίζει μία σωστή τάξη μεγέθους των αναμενόμενων αστοχιών.

Η δεύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Wang στην Βαρκελώνη (Παράρτημα III), έγινε προκειμένου να επιβεβαιώσουμε την σωστή κατανομή των αποτελεσμάτων καθώς δεν διαθέταμε περισσότερα στοιχεία, ούτε για την έκταση του δικτύου ύδρευσης (καθώς τα αποτελέσματα που διαθέτουμε αφορούν τον αριθμό αστοχιών και όχι τον ρυθμό), ούτε όμως και για τις αντίστοιχες ζώνες σεισμικής απόκρισης στην πόλη της Ισπανίας. Μπορούμε ωστόσο να παρατηρήσουμε ότι και στην Βαρκελώνη τις πρώτες εκτεταμένες ζημιές τις λαμβάνουμε για ένταση 8 και είναι τις τάξης των 20000 αστοχιών περίπου, δηλαδή 62 φορές περισσότερες από ότι στο δίκτυο των Χανίων. Η μεγάλη διαφορά πιθανώς οφείλεται όχι μόνο στο μήκος του δικτύου της Βαρκελώνης, το οποίο είναι ασφαλώς πολλαπλάσιο του δικτύου των Χανίων, αλλά και από το γεγονός πως το από το δίκτυο των Χανίων υπολογίσαμε τις αστοχίες μόνο για τους κεντρικούς αγωγούς και όχι για μικρότερους αγωγούς παροχής. Επίσης διαφορές είναι λογικό να υπάρχουν και από τις διαφορετικές αναλογίες των ζωνών σεισμικής απόκρισης στις δύο πόλεις που επηρεάζουν καταλυτικά τα αποτελέσματα. Σε γενικές γραμμές πάντως με βάση την κατανομή των αποτελεσμάτων, μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι λογικά για τις κρίσιμες περιοχές εντάσεων, βαθμού 7, 8 και 9 της κλίμακας MM. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί πως η επικινδυνότητα του δικτύου ύδρευσης στα Χανιά είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του δικτύου της Βαρκελώνης καθώς ο Νομός Χανίων βρίσκεται σε μία από τις πιο σεισμογενείς περιοχές του πλανήτη, στα όρια του ελληνικού τόξου και αναμένεται πολύ πιο έντονη σεισμική δραστηριότητα απ' ότι στην πόλη της Βαρκελώνης.

Παρά το γεγονός πως τα αποτελέσματα μπορούν να χαρακτηριστούν αξιόπιστα, εμπεριέχουν **μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας** και σε καμία περίπτωση οι αριθμοί που λαμβάνουμε δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα με ακρίβεια, αλλά περιγράφουν την **τάξη μεγέθους** των αναμενόμενων μακροσεισμικών αποτελεσμάτων στο δίκτυο ύδρευσης. Η αβεβαιότητα οφείλεται κυρίως στο ότι το μοντέλο του Wang δεν εμπεριέχει συντελεστές που μπορεί να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τις αστοχίες σε ένα δίκτυο. Τέτοιοι, μπορεί να είναι: το υλικό κατασκευής ενός

αγωγού, η διάμετρός του και ο τύπος των συνδέσεων μεταξύ αγωγών. Ακόμα το μοντέλο του Wang κατηγοριοποιεί της ζώνες σεισμικής απόκρισης σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ενώ στην πραγματικότητα οι ζώνες αυτές είναι πολύ περισσότερες και η κάθε μία έχει συγκεκριμένη τιμή ρυθμού ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης, η οποία όμως μόνο κατά προσέγγιση λαμβάνεται υπ' όψιν από το μοντέλο.

Χρήσιμες, πρέπει να τονιστεί είναι οι πληροφορίες που εξάγονται με βάση την εφαρμογή του μοντέλου αστοχιών για τον βαθμό που οι τοπικές εδαφολογικές συνθήκες επηρεάζουν την επικινδυνότητα. Από τα συγκριτικά διαγράμματα των ρυθμού αστοχίας σε κάθε ζώνη σεισμικής απόκρισης μπορεί κανείς εύκολα να διαπιστώσει πως υπάρχουν τεράστιες διαφορές στις αναμενόμενες αστοχίες σε κάθε ζώνη, ενώ η ζώνη κακής σεισμικής απόκρισης σχεδόν καθορίζει τις συνολικές απώλειες του δικτύου. Το γεγονός αυτό ενισχύει τα επιχειρήματα για την ανάγκη μελέτης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας περιοχής και την ανάλογη προσαρμογή του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του ρυθμού αποκατάστασης των αστοχιών για την πόλη των Χανίων δίνουν μία γενική εικόνα της απόκρισης των υπηρεσιών της αρμόδιας υπηρεσίας στο ενδεχόμενο καταστροφής των αγωγών του δικτύου ύδρευσης. Η αύξηση του ρυθμού αποκατάστασης που παρατηρείται για μεγαλύτερες εντάσεις πιθανολογούμε ότι οφείλεται στον διαφορετικό βαθμό κινητοποίησης των δυνάμεων πολιτικής προστασίας σε περίπτωση μεγαλύτερου σεισμού και άρα στον μεγαλύτερο ρυθμό αποκατάστασης των αστοχιών

Σε σχέση με την εφαρμογή του μοντέλου εξασθένησης και τους 6 σχετικούς χάρτες που δημιουργήσαμε σε περιβάλλον ΓΣΠ, τα αποτελέσματα περιέχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας καθώς το μοντέλο εξασθένησης μόνο κατά προσέγγιση μπορεί να υπολογίσει την ένταση σε κάθε απόσταση από το επίκεντρο. Στην πραγματικότητα οι ισόσεισμες καμπύλες μπορεί να διαφέρουν πολύ από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από μία σειρά παράγοντες όπως είναι το υλικό του μέσου διάδοσης και το βάθος του σεισμού. Επίσης η αβεβαιότητα ενισχύεται από το γεγονός πως η ένταση υπολογίζεται με βάση την απόσταση από το κέντρο του κάθε Δήμου με αποτέλεσμα κάθε περιοχή του Δήμου να θεωρείται ότι έχει την ίδια ένταση με το κέντρο της περιοχής. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα που λάβαμε συμφωνούν με τις

περιγραφές των ιστορικών σεισμών όπως τις δίνει το ΙΤΣΑΚ, ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν διαφορές, όπως για παράδειγμα για τον σεισμό του 1805, όπου οι περιγραφές κάνουν λόγο για ζημιές στην πόλη των Χανίων, ενώ από το μοντέλο υπολογίζεται ένταση περίπου 4. Σημαντικό ρόλο στο ζήτημα τέτοιων αποκλίσεων, παίζει και το γεγονός πως μικρότερες σεισμικές εντάσεις στο παρελθόν προκαλούσαν πολύ σημαντικότερες ζημιές. Συνεπώς οι καταστροφές που περιγράφονται σε ιστορικούς, μη καταγεγραμμένους σε επιστημονικά όργανα σεισμούς, δεν ανταποκρίνονται στην περιγραφή της σύγχρονης κλίμακας εντάσεων.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η εφαρμογή του απλού αυτού μαθηματικού μοντέλου απωλειών για δίκτυα ύδρευσης μέσω της χρήσης ΓΣΠ, μπορεί να αποτελέσει μία πρώτη εκτίμηση της τάξης μεγέθους των απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Χανίων, έτσι ώστε να ληφθούν κάποια πρώτα απαραίτητα μέτρα. Ο εντοπισμός μέσω των ΓΣΠ των συγκεκριμένων αγωγών που έχουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες αστοχίας στις κρίσιμες εντάσεις και ο προσδιορισμός των αστοχιών σε κάθε αγωγό για τις εντάσεις αυτές μπορούν να οδηγήσουν στην λήψη μέτρων που θα αφορούν συνολικά το δίκτυο ύδρευσης ή την κάθε περιοχή – συνοικία του Δήμου των Χανίων ανάλογα με τις ιδιαιτερότητές της και το βαθμό επικινδυνότητας που εμπεριείχε πιθανή αστοχία σε εκείνη την περιοχή. Τα άμεσα μέτρα τα οποία μπορούν να προταθούν είναι:

- Η τοποθέτηση επιπλέον βανών ασφαλείας στους κεντρικούς αγωγούς που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες αστοχίας, έτσι ώστε σε περίπτωση αστοχιών οι διαρροές να μην είναι εκτεταμένες και να μην επηρεάσουν ευρύτερες περιοχές.
- Ο έλεγχος του υλικού κατασκευής των αγωγών και αν χρειαστεί η αντικατάστασή τους με αγωγούς κατασκευασμένους από ανθεκτικότερο υλικό.
- Η εξασφάλιση ασφαλούς δικτύου παροχής σε κρίσιμες περιοχές, όπως είναι το νοσοκομείο της πόλης, αλλά και το δίκτυο πυροσβεστικών κρουστών, μέσω της χρήσης περισσότερο ανθεκτικών αγωγών.

- Ο σχεδιασμός της επέκτασης του δικτύου με βάση και τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, έτσι ώστε κάθε επιπλέον τομέας του δικτύου να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστερος απέναντι στον σεισμικό κίνδυνο.

Οι αγωγοί με την μεγαλύτερη επικινδυνότητα μπορούν να εντοπιστούν από τους σχετικούς χάρτες που παρουσιάζουν τόσο την πιθανότητα αστοχίας τους για κάθε σεισμική ένταση, όσο και τον αριθμό αστοχιών για κάθε αγωγό σε διαφορετικές σεισμικές εντάσεις.

Ωστόσο μία σωστή μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας του δικτύου ύδρευσης αλλά και όλων των υπολοίπων αντικειμένων που τίθενται υπό κίνδυνο, απαιτούν μία πιο λεπτομερή μελέτη της σεισμικής απόκρισης της περιοχής αλλά και μελέτη της αλληλεπίδρασης των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας. Μία πιθανή μεθοδολογία που θα μπορούσε να ακολουθηθεί για τον αντισεισμικό σχεδιασμό στην πόλη των Χανίων με την χρήση ΓΣΠ είναι η εξής:

1. Καθορισμός ζωνών σεισμικότητας και προσομοίωση μεγάλου αριθμού σεισμικών δονήσεων.
2. Χρήση κατάλληλων εξισώσεων εξασθένησης σεισμικής έντασης που ανταποκρίνονται στις συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της νήσου Κρήτης.
3. Καθορισμός της ακριβούς σεισμικής απόκρισης των εδαφών του Δήμου Χανίων με γεωτεχνικές και γεωφυσικές μεθόδους και επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την κατάρτιση χαρτών σεισμικής απόκρισης για τις διάφορες σεισμικές παραμέτρους (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση, βαθμός ενίσχυσης κλπ).
4. Συλλογή στοιχείων για τις κατασκευές στον Δήμο Χανίων που αφορούν την γεωγραφική τους θέση, το είδος της κατασκευής, τα υλικά κατασκευής και όλα τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευών.
5. Συλλογή επιπλέον στοιχείων για όλες τις κρίσιμες κατασκευές της πόλης, όπως είναι οι δημόσιες υπηρεσίες, η Νομαρχία, η Πυροσβεστική Υπηρεσία, σχολεία, το νοσοκομείο της πόλης, το Πολυτεχνείο, ο βιολογικός καθαρισμός, πολιτιστικά μνημεία, τα κτίρια της παλαιάς πόλης των Χανίων.

6. Συλλογή στοιχείων για όλα τα δίκτυα της πόλης, που θα αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (υλικό κατασκευής, διάμετρος κλπ) και την ακριβή γεωγραφική τους θέση.
7. Συλλογή πληθυσμιακών στοιχείων αλλά και κατανομής πληθυσμού στις κατασκευές της πόλης των Χανίων. Στον τομέα αυτό πολύτιμα μπορεί να φανούν τα στοιχεία της πρόσφατης απογραφής.
8. Χρήση αξιόπιστων μοντέλων αστοχίας των διαφορετικών κατασκευών και δικτύων ή ανάπτυξη νέων μοντέλων που να ανταποκρίνονται στα ιδιαίτερα δεδομένα των στοιχείων της πόλης των Χανίων.
9. Επεξεργασία, ταξινόμηση, αξιολόγηση, ψηφιοποίηση και εισαγωγή όλων των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας σε κατάλληλο λογισμικό ΓΣΠ.
10. Ταυτόχρονη επεξεργασία των επιπέδων πληροφορίας σε περιβάλλον ΓΣΠ και εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την επικινδυνότητα κάθε διαφορετικού στοιχείου σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή του Δήμου Χανίων. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας καθώς μπορεί να επιδράσει καταλυτικά στην επικινδυνότητα μιας περιοχής. Η αλληλεπίδραση αφορά στην απάντηση κρίσιμων ερωτημάτων όπως: σε μία περιοχή με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς υπάρχει ταυτόχρονα αυξημένος κίνδυνος αστοχίας στο δίκτυο ύδρευσης;
11. Αντισεισμικός σχεδιασμός και προστασία με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης:
 - προσαρμογή των σχεδίων έκτακτης ανάγκης στις ιδιαίτερες ανάγκες της περιοχής,
 - ενημέρωση της πολιτικής προστασίας για τον βαθμό επικινδυνότητας και τα πιθανά μακροσεισμικά αποτελέσματα σε κάθε περιοχή – γειτονιά του Δήμου Χανίων,
 - προληπτικός έλεγχος των κατασκευών σε κρίσιμες και επικίνδυνες περιοχές.
 - κατεδάφιση ή αναστήλωση κατασκευών που κινδυνεύουν με άμεση κατάρρευση σε περίπτωση σεισμού.
 - Προστασία των δικτύων κοινής ωφελείας της πόλης με κατάλληλα αντισεισμικά έργα στις κρίσιμες περιοχές.

- κατάρτιση χαρτών με τις προβλεπόμενες δράσεις σχεδιασμού που θα πρέπει να τηρούνται σε κάθε μελλοντική κατασκευή στις διάφορες περιοχές του Δήμου Χανίων.
- Εντοπισμός μη πολεοδομήσιμων περιοχών λόγω υψηλής επικινδυνότητας.
- εκτενής ενημέρωση του πληθυσμού για την επικινδυνότητα της κάθε περιοχής και υπόδειξη συγκεκριμένων χώρων διαφυγής και συγκέντρωσης σε επίπεδο γειτονιάς, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή και ψύχραιμη συμπεριφορά του πληθυσμού,

6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία αυτή στόχο είχε την ανάδειξη της αποτελεσματικότητας της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Διαχείριση Σεισμικού Κινδύνου, ιδιαίτερα σε μία περιοχή όπως η Δυτική Κρήτη όπου η Σεισμική Επικινδυνότητα είναι αυξημένη και η βελτίωση της αντισεισμικής προστασίας είναι ζητούμενο. Η εφαρμογή έγινε στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων.

Παρά τον μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας που όπως προαναφέρθηκε περιέχουν τα αποτελέσματα, κυρίως λόγω του μοντέλου αστοχιών του δικτύου Ύδρευσης που χρησιμοποιήθηκε, η εργασία ανταποκρίθηκε σε μεγάλο βαθμό στον στόχο που έθεσε καθώς τα αποτελέσματα έχουν όπως αναλύθηκε παραπάνω, λογική συνοχή, γεγονός που αναδεικνύει την αποτελεσματικότητα των αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων στην πρόβλεψη του βαθμού επικινδυνότητας μίας συγκεκριμένης κατάστασης και την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων, που σε περιπτώσεις όπως αυτή που εξετάζεται σε αυτή την εργασία μπορεί να αφορούν την ίδια την ανθρώπινη ζωή, ή την λειτουργία και την απόκριση μιας κοινωνίας σε καταστάσεις κινδύνου.

Η προσφορά των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην διαχείριση των πληροφοριών που αφορούν την σεισμική επικινδυνότητα αποδείχτηκε καταλυτική, καθώς πρόκειται για πληροφορίες που αφορούν τόσο την γεωγραφία (χωρικές πληροφορίες), όσο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (θεματικές πληροφορίες) μίας περιοχής. Συνεπώς μόνο μέσω της χρήσης μίας σωστά οργανωμένης, ενημερωμένης και λειτουργικής Βάσης Δεδομένων σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορεί

να επιτευχθεί η αξιόπιστη, άμεση και αποτελεσματική διαχείριση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Τέλος τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την τεράστια επίδραση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας συγκεκριμένης περιοχής, στα μακροσεισμικά αποτελέσματα στην περιοχή αυτή. Πρέπει συνεπώς να γίνει συνείδηση, η προσαρμογή του Αντισεισμικού Σχεδιασμού στις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής με σωστή προσέγγιση και διαχείριση των ζητημάτων που αφορούν την σεισμική επικινδυνότητα, μέσω εκπόνησης ολοκληρωμένων μελετών από ειδικούς φορείς σε συνεργασία με τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Η υψηλή σεισμικότητα της περιοχής της Κρήτης και ιδιαίτερα του Νομού Χανίων, θέτουν το ζήτημα της αντισεισμικής θωράκισης της κάθε περιοχής του Νομού σε πρώτη προτεραιότητα. Η χρήση ΓΣΠ για την αντισεισμική προστασία του δικτύου ύδρευσης της πόλης των Χανίων που εφαρμόσθηκε σε αυτήν την εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει έστω και στον ελάχιστο βαθμό, στις ολοκληρωμένες προσπάθειες που οφείλεται να γίνουν στο μέλλον για την αποτελεσματική προστασία των κατοίκων και των δημιουργημάτων τους, στο - πάντα πιθανό – ενδεχόμενο σεισμικού κινδύνου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Παρακάτω παρατίθεται η κλίμακα μέτρησης της έντασης μίας σεισμικής δόνησης Mercalli, όπως δίδεται από τον Οργανισμό Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ) καθώς και πίνακας συσχέτισης της κλίμακας MM με την κλίμακα MSK.

Συνοπτική περιγραφή της κλίμακας MM	
I	Δεν γίνεται αισθητός.
II	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους ψηλότερους ορόφους κτιρίων.
III	Αισθητός μέσα στα σπίτια. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. Δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό.
IV	Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες.
V	Αισθητός στην ύπαιθρο. Αυτοί που κοιμούνται ξυπνούν. Αιώρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
VI	Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μικρές καμπάνες ηχούν. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Βλάβες λίγες, ελαφρές.
VII	Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλούνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
VIII	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Λίγες βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών, και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δένδρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια.
IX	Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Σε περιοχές με αλλούβια αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
X	Καταστροφή μερικών καλά κατασκευασμένων ξύλινων κτιρίων και γεφυρών.

	Οι περισσότερες κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταστρέφονται μαζί με τα θεμέλια. Σοβαρές ζημιές σε φράγματα, υδροφράχτες και αναχώματα. Μεγάλες κατολισθήσεις. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται.
XI	Μεγάλες ρωγμές στο έδαφος. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Υπόγειοι αγωγοί καταστρέφονται εντελώς.
XII	Ολική καταστροφή. Αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Μεταβάλλεται η επιφάνεια του εδάφους και η γραμμή του ορίζοντα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ
ΤΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ MM ΚΑΙ MSK**

MSK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Παρατίθενται βασικά στοιχεία των πιθανοτήτων τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε μία περιοχή.

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

- **Η έννοια της πιθανότητας:** Έστω πως από το σύνολο n παρατηρήσεων μιας παραμέτρου A , η τιμή A_i εμφανίζεται n_i φορές, τότε η ποσότητα n_i/n ονομάζεται σχετική συχνότητα και εκφράζει την στατιστική πιθανότητα $P(A)$ της παραμέτρου A . Δηλαδή $P(A)=n_i/n$
- **Η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας:** Έστω M τυχαίο μέγεθος, m πραγματικός αριθμός που παίρνει τιμές από m_1 έως m_n και P η πιθανότητα το τυχαίο μέγεθος M να είναι μικρότερο από m . Έστω $F_M(m)$ η πιθανότητα το τυχαίο μέγεθος M να είναι μικρότερο του m . Αν το m παίρνει όλες τις δυνατές τιμές στο διάστημα στο οποίο το ορίσαμε, τότε η $F_M(\chi) = P(M < \chi)$ είναι η συνάρτηση κατανομής της τυχαίας μεταβλητής M και περιγράφει την πιθανότητα το M να είναι μικρότερο του m για μία συγκεκριμένη τιμή $m = \chi$.
- **Η κατανομή Poisson:** Αν δ ένας τυχαίος θετικός αριθμός και N μία τυχαία μεταβλητή που παίρνει τις τιμές $0, 1, 2, 3, \dots$. Αν η πιθανότητα $P(N = \kappa)$ παρέχεται από την σχέση :
$$P(N = \kappa) = e^{-\delta} \delta^\kappa / \kappa!$$
 τότε η αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας $F_M(N)$ ονομάζεται κατανομή Poisson και περιγράφει ικανοποιητικά την κατανομή των σεισμών στον χρόνο.
- **Η κατανομή της συχνότητας των μεγεθών:** δίδεται από την σχέση Gutenberg και Richter (1941) οι οποίοι βρήκαν πως ο αριθμός των σεισμών $n(M)$ με μέγεθος $M \pm \Delta M$ που συμβαίνουν σε καθορισμένο χώρο και σε καθορισμένη περίοδο t , εκφράζεται από την εμπειρική σχέση: $\log n(M) = a + b(8 - M) = A - bM$. Τα a και b είναι παράμετροι που εξαρτώνται από μία σειρά παραγόντες όπως είναι ο χρόνος παρατήρησης, η έκταση της περιοχής, η σεισμικότητα, το βάθος της εστίας, τη γεωλογική ηλικία της περιοχής κλπ. Ο Ιάπωνας σεισμολόγος Utsu υπολόγισε από την σχέση G-R την συσσωρευτική συχνότητα ενός σεισμού μεγέθους M , δηλαδή τον αριθμό των σεισμών με μέγεθος

μεγαλύτερο ή ίσο με M , $N_k(M)$, και έχουν την εστία τους εντός της περιοχής μελέτης εμβαδού S σε χρόνο k ετών: $\log N_k(M) = a_k - bM$.

- **Μέθοδος των ακραίων τιμών της πρώτης ασύμπτωτης του Gumbel:** Πρόκειται για μία μέθοδο προσδιορισμού των παραμέτρων a και b της σχέσης GR. Σύμφωνα με τον Gumbel, το μέγεθος ενός σεισμού θεωρείται μία τυχαία μεταβλητή και η συσσωρευτική συνάρτηση συχνότητας του μεγέθους αυτού είναι της μορφής: $F(x) = 1 - e^{-\beta x}$. Επίσης από την θεωρία των πιθανοτήτων προκύπτει πως η συσσωρευτικής συνάρτηση του μέγιστου ετήσιου μεγέθους έχει την μορφή: $G(M_j) = \exp(e^{-M_j})$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου αστοχιών του Wang στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρκελώνης που διαθέτουμε είναι τα εξής^[1]:

ΕΝΤΑΣΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
1	0	5,31859E-7
2	0	1,76926 ^E -5
3	0	0,000588396
4	0	0,019388835
5	1	0,478644389
6	22	1
7	721	1
8	23977	1
9	797621	1
10	26533611	1
11	888665918	1
12	29362725002	1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Στο Παράρτημα αυτό παρατίθενται οι μεγαλύτεροι και καταστροφικότεροι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης για τους οποίους υπάρχουν ιστορικές μαρτυρίες και οι οποίοι δεν έχουν καταγραφεί από επιστημονικά όργανα. Οι περιγραφές προέρχονται από έκθεση του ΙΤΣΑΚ^[11]

1246, 35.1⁰N, 24.0⁰E, M= 7.0, Χανιά (VII): Η σεισμική αυτή δόνηση γκρέμισε τα τείχη της πόλης των Χανίων.

1508, 35.05⁰N, 25.70⁰E, M = 7.5, Ιεράπετρα (X): Οι πληροφορίες για αυτή τη σεισμική δόνηση προέρχονται από το γράμμα του Δούκα της Κρήτης Ιερώνυμου Δονάτου, ηγέτη του νησιού την περίοδο εκείνη, στον φίλο του Πέτρου Κονταρινού, το οποίο στάλθηκε στις 15 Ιουλίου 1508, αλλά και από ένα σημείωμα σε μοναστήρι της Κύπρου. Του σεισμού προηγήθηκε ισχυρός θόρυβος, ενώ η διάρκειά του ήταν 15 με 20 δευτερόλεπτα. Στο Ηράκλειο μόνο 4 με 5 σπίτια ήταν κατοικήσιμα μετά τον σεισμό, ενώ 3 ή 4 σπίτια κατέρρευσαν εντελώς. Τρεις εκκλησίες και όλα τα καμπαναριά κατέρρευσαν. Τα τείχη της πόλης παρέμειναν ανέπαφα. 300 άνθρωποι σκοτώθηκαν. Τρεις ώρες μετά την ανατολή του ηλίου, ένας νέος σεισμός, ασθενέστερος από τον πρώτο έλαβε χώρα. Η πόλη της Ιεράπετρας ισοπεδώθηκε και δεν ξαναχτίστηκε, αλλά ένα χωριό με ένα μικρό πύργο χτίστηκε στην θέση της. Ο σεισμός κατέστρεψε το μεγαλύτερο μέρος της Σητείας και η Ανατολική Κρήτη υπέφερε από μεγάλες καταστροφές. Το Ρέθυμνο και η Κυδωνία ταρακουνήθηκαν αλλά δεν καταστράφηκαν. Η Πάρος, η Νάξος και η Χίος επίσης υπέφεραν από καταστροφές. Ο σεισμός έγινε αισθητός έως την Εύβοια και την Φρυγία. Δύο δονήσεις έγιναν αισθητές στην Κύπρο, χωρίς καταστροφές και ο δεύτερος ήταν πιο δυνατός (Schmidt, 1867a; Cayeux, 1904; Maravelakis, 1938; Simopoulos, 1972, Schreiner, 1975).

10 Ιανουαρίου 1681, 35.4⁰N, 25.2⁰E, M=6.3, Κρήτη (VIII, Ηράκλειο): Σεισμοί ταρακουνούσαν το νησί της Κρήτης για τρεις ημέρες και το ένα τρίτο της πόλης του Ηρακλείου καταστράφηκε. Στα Χανιά δύο δονήσεις έγιναν αισθητές από τα

ανατολικά προς τα δυτικά και έγιναν επίσης αισθητές στα πλοία στο λιμάνι των Χανίων (Stavrakes, 1890; Sieberg, 1932b).

Οκτώβριος 1780, 34.9⁰N, 25.8⁰E, M=7, Ιεράπετρα (X): Ο βίαιος σεισμός έλαβε χώρα στις αρχές Οκτωβρίου ενώ είχαν προηγηθεί και άλλες δονήσεις για κάποιο διάστημα της ώρας. Το κάστρο της Ιεράπετρας κατέρρευσε ενώ μέσα βρίσκονταν 300 Τούρκοι φρουροί. Με τον ίδιο τρόπο, 13 χωριά καταστράφηκαν. Στα Χανιά ο σεισμός είχε μέτρια ένταση. Πολλές δονήσεις δυνατές ή ασθενέστερες ακολούθησαν τον κύριο σεισμό (Mallet, 1854; Sieberg, 1932b).

3 Ιουλίου 1805, 04:00, 35.1⁰N, 23.9⁰E, M=7.2, Χανιά (VIII): Από την ανατολή του ηλίου, 4 δυνατές σεισμικές δονήσεις έγιναν αισθητές στα Χανιά ανά χρονικά διαστήματα 8 λεπτών. Οι μεγαλύτερες ζημιές προκλήθηκαν στα Χανιά και στο Ρέθυμνο. Σε ένα σημείωμα που γράφτηκε σε βιβλίο του Μητροπολίτη Θεσσαλονίκης Συμεών Μακαρίου, γράφτηκε πως ο σεισμός έλαβε χώρα σε όλη την Κρήτη και κατέστρεψε πολλές οικίες, τζαμιά και επαύλεις σε πόλεις και σε χωριά. Η γη δονούνταν ημέρα και νύχτα. Ο σεισμός έγινε αισθητός στην Σικελία και στην Νάπολη (Perrey, 1848; Mallet, 1854; Spyridakes, 1953; Karnik, 1971).

16 Φεβρουαρίου 1810, 22:15, 35.5⁰N, 25.6⁰E, h=90km, M=7.8, Ηράκλειο (IX): Ο ταξιδιώτης John Galt, σε μία επιστολή που έγραψε στην Χίο στις 10 Απριλίου, κατέγραψε πως σύμφωνα με τις πληροφορίες του ο σεισμός κατέστρεψε το 1/3 των σπιτιών στο Ηράκλειο και σκότωσε πολλές χιλιάδες ανθρώπους. Ο σεισμός προκάλεσε τρόμο σε αυτόν όταν ήταν στην Τριπολιτσά και είχε γίνει αισθητός σε όλες τις περιοχές που επισκέφτηκε αργότερα. Ο αριθμός των νεκρών υπολογίζεται σε δύο με τρεις χιλιάδες. Το μοναστήρι του Αγίου Ασώματου, ένα βαρύ Βενετσιάνικο κτίριο στα βορειοδυτικά του όρους Ίδε, καταστράφηκε από τον σεισμό. Έγινε έντονα αισθητός στην Μάλτα, όπου κράτησε για 2 λεπτά και πολύ έντονα αισθητός στην Νάπολη όπου διήρκεσε 1 λεπτό. Στο Οντάριο (Νότια Ιταλία) οι κάτοικοι έμειναν έξω από τα σπίτια τους όλη νύχτα γιατί τρομοκρατήθηκαν. Έγινε επίσης αισθητός στην Τριέστη, στην Βόρεια Αφρική και στην Κύπρο. (Perrey, 1846; Mallet, 1854; Stavrakes, 1890; Xanthoulides, 1925; Sieberg, 1932a; Maravelakis, 1938).

28 Μαρτίου 1846, 17:00, 35.8⁰N, 25.0⁰E, h=90km, Κρήτη (VII, Ηράκλειο): Ο σεισμός ταρακούνησε έντονα όλη την Κρήτη όπου προκάλεσε ζημιές αλλά δεν αναφέρθηκαν πουθενά θύματα. Στο Ηράκλειο σε περισσότερα από 100 σπίτια προκλήθηκαν ρωγμές. Σύμφωνα με την μαρτυρία ενός καπετάνιου, έγινε έντονα αισθητός στην θάλασσα αλλά δεν παρατηρήθηκαν θαλάσσιοι κυματισμοί. Στα Χανιά η δόνηση ήταν έντονη και είχε μεγάλη διάρκεια (περίπου ένα λεπτό) και προκάλεσε ρωγμές σε 20 σπίτια. Ένας μιναρές πήρε κλίση, αλλά η δεύτερη δόνηση τον επανέφερε στην αρχική του θέση. Στην Ζάκυνθο η δόνηση είχε διάρκεια 50 δευτερόλεπτα. Έγινε αισθητός στην Ρόδο (όπου ακολούθησε και δεύτερος σεισμός μεγάλης διάρκειας), στην Μυτιλήνη, στην Σμύρνη, στην Συρία, στην Αλεξάνδρεια, στην Σικελία και στην Μάλτα (Barbiani και Barbiani, 1864; Schmidt, 1879a; Cayeux, 1904).

12 Οκτωβρίου 1856, 02:45, 35.6⁰N, 26.0⁰E, M=8.2, Ηράκλειο (IX): Καταστροφικός σεισμός κυρίως στην Κρήτη και στην Ρόδο. Σε όλο το νησί της Κρήτης 11317 σπίτια υπέστησαν ζημιές, εκ των οποίων 6512 καταστράφηκαν ολοσχερώς. Μεταξύ αυτών και 48 καταστήματα στο Ηράκλειο τα οποία καταστράφηκαν από πυρκαγιά που ακολούθησε τον σεισμό. Στην Κρήτη 558 άνθρωποι σκοτώθηκαν και 637 τραυματίστηκαν πολύ σοβαρά. Το Ηράκλειο και η γύρω περιοχές υπέστησαν τις μεγαλύτερες καταστροφές. Από τα 3620 σπίτια που είχε η πόλη εκείνη την περίοδο, μόνο 18 ήταν κατοικήσιμα μετά τον σεισμό. Το παλάτι του Πασά Μουσταφά που ήταν ξύλινη κατασκευή δεν υπέστη ζημιές. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε σαν νοσοκομείο. Επίσης ένα μέρος από τα 1314 καταστήματα της πόλης δεν υπέστη ζημιές επειδή ήταν ξύλινες ισόγειες κατασκευές. Το Βεζίρ τζαμί, ένα Βενετσιάνικο κάστρο που μετατράπηκε σε ναό από τους Τούρκους, κατέρρευσε. Ο αριθμός των νεκρών ήταν μεγάλος σε σχέση με τον αριθμό των τραυματιών, καθώς οι βαριές οροφές εγκλώβισαν και καταπλάκωσαν πολλούς κατοίκους κατά την πτώση τους. Η πόλη μετατράπηκε σε μία άμορφη μάζα ερειπίων. Τα χωριά: Καλέσα, Πετροκέφαλο, Πενταμόδι, Άγιος Μύρος, Κιθαρίδα και Ασσίτες, τα οποία βρίσκονταν στους πρόποδες του όρους Ίδε, ισοπεδώθηκαν. Στο χωριό Βούτες, δεν έμεινε όρθιο ούτε ένα τοιχίο και από τους 400 κατοίκους οι 42 σκοτώθηκαν. Τα χωριά στις πεδιάδες Επισκοπή και Αίτανία, καθώς και οι επαρχίες του Μυραμπέλου και της Ιεράπετρας, υπέστησαν επίσης καταστροφές. 40 άνθρωποι σκοτώθηκαν στην Αίτανία και 16 στο Καμάρι. Στα ανατολικά του νησιού, η Σητεία

καταστράφηκε ολοσχερώς. Στα Χανιά, όλα τα σπίτια υπέστησαν ζημιές, αλλά μόνο μερικά κατέρρευσαν. Οι στρατώνες, το στρατιωτικό νοσοκομείο και ένας τούρκικος ναός υπέστησαν μεγάλες ζημιές. Στην πόλη των Χανίων κάποιοι τραυματίστηκαν ενώ στα προάστια αναφέρθηκαν και νεκροί. Η τοποθεσία Κίσσαμος βυθίστηκε και σχηματίστηκε λίμνη από την οποία αναδύοταν η οσμή θείου. Στο Ρέθυμνο όλα τα σπίτια υπέστησαν ζημιές αλλά δεν αναφέρθηκαν θύματα. Στην Ρόδο ο σεισμός είχε διάρκεια από 40 έως 90 δευτερόλεπτα και προκάλεσε καταστροφές σε 8 χωριά όπου 2000 σπίτια έγιναν μη κατοικήσιμα ενώ 60 άνθρωποι σκοτώθηκαν. Οι καταστροφές ήταν μεγάλες στο παλάτι, στα κάστρα, στους ναούς και στα σπίτια της πρωτεύουσας του νησιού, ιδιαίτερα στο ελληνικό τμήμα της πόλης. Στην Κάρπαθο, 8000 σπίτια καταστράφηκαν και 20 άνθρωποι σκοτώθηκαν. Στην Κάσο, 3 χωριά καταστράφηκαν. Στην Σύμη και το Καστελόριζο, μικρές ζημιές αναφέρθηκαν. Η δόνηση προκάλεσε μεγάλες καταστροφές στην Σαντορίνη όπου καταστράφηκαν πολλοί γνωστοί ναοί, σπίτια και παλάτια, ενώ σκοτώθηκαν 6 με 7 άνθρωποι. Μεγάλη καταστροφή προκλήθηκε επίσης στις κτίσεις του μοναστηριού της Αμοργού, όπου αρκετοί άνθρωποι καταπλακώθηκαν και σκοτώθηκαν. Ζημιές προκλήθηκαν επίσης και στην Πάτρα, όπως και στην Κύπρο και στις παραλιακές πόλεις της Συρίας. Δεν υπάρχουν μαρτυρίες για ασυνήθιστες κινήσεις των θαλάσσιων υδάτων. Η διάρκεια του σεισμού ήταν 25 δευτερόλεπτα στην Ζάκυνθο και 70 δευτερόλεπτα στην Κέρκυρα. Στην Σμύρνη, την Δαμασκό, το Κάιρο και την Αλεξάνδρεια η δόνηση είχε διάρκεια 90 δευτερόλεπτα. Ο σεισμός έγινε αισθητός στην Αυλώνα, το Μπουρút και την Χάιφα. Από τις 13-10 έως τις 12-11 δονήσεις αναφέρονταν σχεδόν καθημερινά στην Ρόδο (Barbiani and Barbiani, 1864; Schmitd, 1879a; Stavrakes, 1890; Xanthoulides, 1925; Sieberg, 1932a; Kyriazopoulos, 1979). Οι ισόσεισμες του σεισμού αυτού δίνονται από τον Sieberg (1932a).

17 Ιουλίου 1887, 07:45, 35.7⁰N, 26.0⁰E, h=100km, M=7.5, Ηράκλειο (VII): Στο Ηράκλειο η δόνηση ήταν πολύ ισχυρή και είχε διάρκεια περίπου 35 δευτερόλεπτα. Ο φόβος και ο τρόμος των κατοίκων ήταν απερίγραπτος, ιδιαίτερα στο γυμνάσιο θηλαίων, όπου εξετάσεις λάμβαναν μέρος εκείνη την ώρα και επικράτησε μεγάλη αναταραχή. Πολλά σπίτια υπέστησαν ρωγμές και ένας Τούρκος κάτοικος της περιοχής πέθανε από τον φόβο του. Στο λιμάνι του Ηρακλείου πολλοί πήδηξαν στην θάλασσα για να σωθούν. Ήταν η ισχυρότερη δόνηση μετά τον σεισμό του 1856. Στην Ρόδο πολλά σπίτια ρηγματώθηκαν. Στα Χανιά, η δόνηση ήταν πολύ βίαιη και στο

γυμνάσιο θηλαίων πολλές μαθήτριες λιποθύμησαν από φόβο. Η δόνηση ήταν πολύ ισχυρή και στις περιοχές της Ζακύνθου, της Καλαμάτας, της Τρίπολης, του Μεσσολογγίου, καθώς επίσης και στα Μέθανα, σε όλη την Ανατολική Πελοπόννησο και την Πάτρα. Τέλος ο σεισμός έγινε αισθητός στην Χίο, την Μύκονο, την Σμύρνη, την Αλεξάνδρεια και την Νάπολη της Ιταλίας (Stavrakes, 1890; Galanopoulos, 1953).

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] M. A. Torres-Vera. J.A.Canas, “**A lifeline vulnerability study in Barcelona, Spain**”, Reliability Engineering and System Safety 80, p. 205-210, 2003
- [2] C. Providakis, “Building and Lifelines Inventory in the city of Chania”, Final Report, SEISMOCARE PROJECT, Enviroment and Climate Programme, 2000
- [3] Trevor Dhu and Trevor Jones, “**Earthquake risk in Newcastle and Lake Macquarie**” Geoscience Australia, Department of Industry, Tourism and Resources, 2002.
- [4] Ι. Παπάζογλου, «Ποσοτικός Καθορισμός Επικινδυνότητας και Ορθολογική Διαχείριση της Ασφάλειας Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων», Ημερίδα ΤΕΕ, 1999
- [5] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), www.oasp.gr
- [6] Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών, www.gein.gr
- [7] Α. Τσελέντης, «Σύγχρονη Σεισμολογία», εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997
- [8] Γιάννης Μανιάτης, «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1996
- [9] Ε. Στεφανάκης, «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», σημειώσεις μαθήματος, 2000
- [10] Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), www.itsak.gr
- [11] “Seismic Hazard Assessment and Seismic Scenarios for the city of Chania, Greece, Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK), Final Report for the Seismocare Project, Thessaloniki 1997

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. C Proidakis, **“Building and Lifelines Inventory in the city of Chania”**, Final Report, SEISMOCARE PROJECT, Environment and Climate Programme, 2000.
2. C Proidakis and M Yeroyianni, **“Earthquake strong ground motion evaluation: Application for Earthquake Disaster Mitigation”**, DGXII Directorate General for Science, Research and Development, ISBN 960-9968-0-8, 1998.
3. SEISMOCARE PROJECT: **“Computer Aided Reduction of Seismic Risk with application in the city of Chania town planning and construction”**, Directorate General XII, ENV4-CT97-O588.
4. G.A. Athanasopoulos, P.C. Pelekis, **“Site effects on the seismic ground response of the city of Chania, Greece”**, Final Report for the SEISMOCARE PROJECT, 1999, Department of Civil Engineering, University of Patras.
5. **“Seismic Hazard Assessment and Seismic Scenarios for the city of Chania, Greece”**, Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK), Final Report for the Seismocare Project, Thessaloniki, Greece, 1997.
6. ReS-MiSeri Project: **“Performance based Rehabilitation Strategies for Mitigation of Seismic Risk”**, Final Proposal for the Development Programme, EVK4-2001-00175, 2001.
7. Άκης Τσελέντης, **«Σύγχρονη Σεισμολογία»** τόμος II, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997.
8. Γιάννης Μανιάτης, **«Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτηματολογίου»**, εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1996.
9. MapInfo Corporation, **“MapInfo Professional User’s Guide”**, Troy New York, May 2001.
10. Trevor Dhu and Trevor Jones, **“Earthquake risk in Newcastle and Lake Macquarie”** Geoscience Australia, Department of Industry, Tourism and Resources, 2002.

11. Ken Granger, Trevor Jones, Marion Leiba and Greg Scott, **“Community Risk in Cairns, a multi-Hazard risk assessment”**, Australian Geological Survey Organization, 1999.
12. **“Λειτουργία και Χρήση του GIS MapInfo Professional”**, AVMap GIS, Αθήνα 2003.
13. Walter W. Chen, Ban-jwu Shin, Yi-Chih Chen, Jui-Huang Hung, Howard H. Hwang. **“Seismic response of natural gas and water pipelines in the Ji-Ji earthquake”**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22, p. 1209-1214, 2002.
14. M. A. Torres-Vera. J.A.Canas, **“A lifeline vulnerability study in Barcelona, Spain”**, Reliability Engineering and System Safety 80, p. 205-210, 2003.
15. S. Menoni, F. Pergalani, M.P. Boni, V. Petrini, **“Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach”**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22, p. 1199-1208, 2002.
16. C. Scawthorn, G.S.Johnson, **“Preliminary report Kocaeli (Izmit) earthquake of 17 August 1999”**, Engineering Structures 22, p.727-745, 2000.
17. A. Sevtap Selduk, M.S. Yucemen, **“Reliability of lifeline networks under seismic hazard”**, Reliability Engineering and System Safety 65, p. 213-227, 1990.
18. S. Menoni, **“Chains of damages and failures in a metropolitan environment: some observations on the Kobe earthquake in 1995”**, Journal of Hazardous Materials 86, p.101-109, 2001.
19. Θ. Τσούτσος, **«Ανάλυση Επικινδυνότητας»**, Σημειώσεις Μαθήματος, 2000.
20. Ι. Παπάζογλου, **«Ποσοτικός καθορισμός επικινδυνότητας και ορθολογική διαχείριση της ασφάλειας βιομηχανικών εγκαταστάσεων»**, Ημερίδα ΤΕΕ, Ιανουάριος 1999.
21. Ε. Στεφανάκης, **«Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών»**, Σημειώσεις Μαθήματος, 2000
22. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), **«Γεωλογικά, Σεισμολογικά Θέματα»**, www.oasp.gr
23. Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, **«Αντισεισμικός Σχεδιασμός»**, www.gein.gr