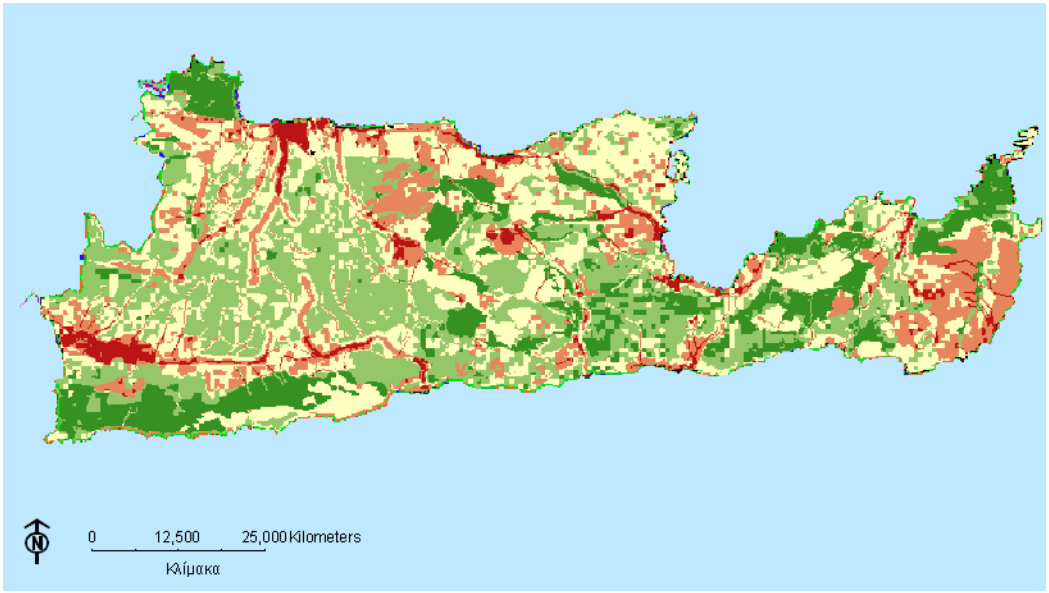
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Διαχειριστικό Σχέδιο Εκτίμησης του Κινδύνου Ρύπανσης (Τρωτότητα) Υπογείων Υδάτων Ανατολικής Κρήτης με την χρήση GIS»



ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΜΟΝΟΚΑΝΔΥΛΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Καρατζάς Γεώργιος (*Επιβλέπων*)

Νικολαϊδης Νικόλαος

Τσουχλαράκη Ανδρονίκη

Χανιά 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Καρατζά Γεώργιο, Καθηγητή και Πρόεδρο του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και Διευθυντή του Εργαστήριου Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, για την καθοδήγηση, την βοήθεια, την άριστη συνεργασία και τον πολύτιμο χρόνο που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας .

Ιδιαιτέρως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κουργιαλά Νεκτάριο διδακτορικό φοιτητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε τόσο κατά τη χρήση του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) όσο και για την συνεργασία του, στο χρονικό διάστημα που διήρκησε η εργασία.

Θερμά ευχαριστώ, στον κ. Μπουλουκάκη Ηρακλή Γενικό Γραμματέα της Υπηρεσίας Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης για τις σημαντικές πληροφορίες και τα δεδομένα της υπό μελέτη περιοχής που μου προσέφερε.

Ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Νικολαΐδη Νικόλαο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και την κ. Τσουχλαράκη Ανδρονίκη, Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και τον κ. Παρανυχιανάκη Νικόλαο Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος (αναπληρωματικό μέλος της επιτροπής).

Τέλος, θα ήθελα εγκαρδίως να ευχαριστώ τους γονείς μου Νικόλαο και Ελένη καθώς και τα αδέρφια μου Αλέξανδρο και Αφροδίτη που με στηρίζουν και είναι δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια.

Ένα ευχαριστώ στους φίλους μου και στην Χρύσα για την βοήθεια και την στήριξη τον τελευταίο καιρό.

Με εκτίμηση,

Ιωάννης Ν. Μονοκάνδυλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπογείων υδάτων στην Ανατολική Κρήτη, (Ν. Ηρακλείου, Ν. Λασιθίου) με χρήση GIS. Σκοπός της εργασίας είναι να καταλήξουμε στη δημιουργία ενός σχεδίου που θα αποτελέσει διαχειριστικό εργαλείου εκτίμησης της ρύπανσης των υπογείων υδάτων της περιοχής μελέτης.

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης ζωής, οπότε η μελέτη της κατάστασής τους, αποτελεί για τον άνθρωπο πολύτιμο εργαλείο , προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για τη διαχείριση και την αξιοποίησή τους.

Η εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια στα οποία παρουσιάζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία για το αντικείμενο μελέτης, χαρακτηριστικά στοιχεία της υπό μελέτη περιοχής, πληροφορίες για τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), εφαρμογή του GIS για εκτίμηση επικινδυνότητας στη ρύπανση υπογείων υδάτων, συνδυασμός χαρτών, προτάσεις και συμπεράσματα. Ειδικότερα:

- ✓ Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται αναφορά στους όρους των επιφανειακών και υπογείων νερών του πλανήτη μας καθώς στην σημαντικότητά τους. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο όρος της εκτίμησης της επικινδυνότητας της ρύπανσης στα υπόγεια ύδατα, καθώς και μια ανασκόπηση στις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για τον εντοπισμό περιοχών που είναι ευπαθείς στην ρύπανση. Το κεφάλαιο καταλήγει με τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής.

- ✓ Στο Κεφάλαιο 2, πραγματοποιείται η περιγραφή της υπό μελέτη περιοχής, όπου δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά: κλιματολογικά στοιχεία, πανίδα - χλωρίδα, κ.α. καθώς και σημαντικά στοιχεία που αφορούν τη γεωλογία της.

- ✓ Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφονται γενικά στοιχεία για τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, τα εργαλεία τους και οι δυνατότητες τους.

- ✓ Στο Κεφάλαιο 4, λαμβάνει χώρα η ανάλυση του κάθε παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει τη ρύπανση των υπογείων υδάτων. Οι παράγοντες αυτοί απεικονίζονται χωρικά σε χάρτες, όπου ο συνδυασμός τους έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία των τελικών χαρτών που περιγράφουν την τρωτότητα των υπογείων υδάτων.

- ✓ Στο Κεφάλαιο 5, πραγματοποιείται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την τρωτότητα ρύπανσης των υπογείων υδάτων της περιοχής, καθώς και προτάσεις αντιμετώπισης του προβλήματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ……i

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ……ii

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……iii

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ……...iv

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή……1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά……3

2.1.1 Νομός Ηρακλείου……...3

2.1.2 Νομός Λασιθίου ……4

2.2 Κλιματολογικά στοιχειά ……...5

2.2.1 Θερμοκρασία……..5

2.2.2 Υγρασία……5

2.2.3 Βροχόπτωση……..5

2.3 Χλωρίδα – Πανίδα……6

2.4 Γεωλογία – Στρωματογραφία……7

2.4.1 Γεωλογικά στοιχεία……7

2.4.2 Στρωματογραφία……7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

3.1 Ορισμός Γ.Σ.Π……10

3.2 Συστατικά ενός Γ.Σ.Π……12

3.2.1 Άνθρωποι……..12

3.2.2 Δεδομένα……...13

3.2.3 Υπολογιστικό Σύστημα και τα Περιφερειακά του……13

3.2.4 Λογισμικό……..13

3.3 Βασικές αρχές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών……..…..13

3.3.1 Αρχή της αλληλεπίδρασης των επιπέδων……...13

3.4 Χαρτογραφικά Δεδομένα……...14

3.4.1 Χωρικά δεδομένα…….15

3.4.2 Μη χωρικά δεδομένα……...…17

3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Γ.Σ.Π…….……..18

3.5.1 Πλεονεκτήματα…….18

3.5.2 Μειονεκτήματα…….……..19

3.6 Πληροφορίες για το πρόγραμμα εφαρμογής ArcView GIS 9.3……...19

3.7 Εισαγωγή στην εφαρμογή ArcMap……..20

3.7.1 Εκκίνηση ArcMap…….20

3.7.2 Εργαλειοθήκες…….……..22

3.7.3 Εισαγωγή δεδομένων (χαρτών-εικόνων)…….24

3.7.3.1 Με την χρήση συντεταγμένων……..……..…….25

3.7.3.2 Γεωαναφορά χάρτη με την χρήση άλλου……27

3.8 Γεωγραφικά δεδομένα που υποστηρίζει το ArcGIS……..28

3.8.1 Εισαγωγή δεδομένων…….……..….29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ GIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

4.1 Δημιουργία αρχείου shape file…….……31

4.2 Γενική αναφορά στην μεθοδολογία……..33

4.3 Ανάλυση κάθε παράγοντα…….34

4.3.1 Γεωλογία……34

4.3.2 Χρήσεις Γης……..36

4.3.3 Βάθος Υδροφορέα……...41

4.3.4 Οδικό Δίκτυο……42

4.3.5 Ποτάμια…….…… 44

4.3.6 Οικισμοί ……46

4.3.7 Περιοχές NATURA ……..……47

4.3.8 Περιοχές Υφαλμύρινσης…….……48

4.3.9 Περιοχές Νιτρορύπανσης…….……..50

4.4 Ταξινόμηση των αρχείων σε κλάσεις……..……51

4.4.1 Πρότυπα προγράμματα ταξινόμησης (Classification)…….……...54

4.4.2 Μετατροπή αρχείων shape file κάθε παράγοντα σε αρχεία raster……..55

4.5 Περιγραφή μεθοδολογίας…….……64

4.5.1 Σενάριο 1^{ο} ……67

4.5.2 Σενάριο 2^{ο}……70

4.6 Εργαλείο συνδυασμού θεματικών επιπέδων…….……..73

4.6.1 Raster Calculator ……73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα……76

Βιβλιογραφία…….……...81

ΟΔΗΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνες

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 2.1: Χάρτης Ν. Ηρακλείου

Εικόνα 2.2: Χάρτης Ν. Λασιθίου

Κεφάλαιο 3

Εικόνα 3.1: Σχηματική απόδοση της διαδικασίας σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων με την βοήθεια ΓΠΣ

Εικόνα 3.2: Σχηματική απόδοση των συστατικών ενός ΓΠΣ

Εικόνα 3.3 : Σχηματική περιγραφή δεδομένων που μπορούν να εισαχθούν από διαφορετικές πηγές σε ένα ΓΠΣ

Εικόνα 3.4: Παραδείγματα από τις τρεις κατηγορίες Χωρικών Δεδομένων

Εικόνα 3.5: Παρουσίαση δεδομένων σε μορφή διανύσματος (πάνω) και σε μορφή κανάβου (κάτω)

Εικόνα 3.6: Παράδειγμα μη χωρικών δεδομένων για γραμμικά δεδομένα

Εικόνα 3.7: Εκκίνηση της εφαρμογής ArcMap

Εικόνα 3.8: Αρχική εμφάνιση κατά την έναρξη

Εικόνα 3.9: Εργαλειοθήκες της εφαρμογής ArcMap

Εικόνα 3.10: Πλαϊνές Εργαλειοθήκες της εφαρμογής ArcMap

Εικόνα 3.11: Εισαγωγή Χάρτη στην επιφάνεια εργασίας

Εικόνα 3.12: Γεωαναφορά εισαγμένου χάρτη

Εικόνα 3.13: Επιλογή σημείου στον Χάρτη

Εικόνα 3.14: Εισαγωγή συντεταγμένων σημείου

Εικόνα 3.15: Εμφάνιση πίνακα Link Table

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 4.1: Δημιουργία shapefile αρχείου

Εικόνα 4.2: Σχεδιασμός στο περιβάλλον του προγράμματος ArcGIS

Εικόνα 4.3: Table shapefile αρχείου

Εικόνα 4.4: Το shapefile αρχείο της γεωλογίας Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.5: Το shapefile αρχείο των χρήσεων γης της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.6: Το shapefile αρχείο του βάθους του υδροφορέα της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.7: Το shapefile αρχείο του οδικού δικτύου της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.8: Το shapefile αρχείο των ποταμών της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.9: Το shapefile αρχείο των οικισμών της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.10: Το shapefile αρχείο των περιοχών Natura της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.11: Το shapefile αρχείο των περιοχών υφαλμύρινσης της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.12: Το shape file αρχείο των περιοχών νιτρορύπανσης της Ανατολικής Κρήτης

Εικόνα 4.13: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με την γεωλογία

Εικόνα 4.14: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις χρήσεις γης

Εικόνα 4.15: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με το βάθος του υδροφορέα

Εικόνα 4.16: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με το οδικό δίκτυο

Εικόνα 4.17: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τους ποταμούς

Εικόνα 4.18: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τους οικισμούς

Εικόνα 4.19: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές Natura

Εικόνα 4.20: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές υφαλμύρινσης

Εικόνα 4.21: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές νιτρορύπανσης

Εικόνα 4.22: Διάγραμμα αλληλεξάρτησης μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την τρωτότητα των υπογείων υδάτων

Εικόνα 4.23: Σχέση αλληλεπίδρασης ενός παράγοντα σε σχέση με τους άλλους παράγοντες

Εικόνα 4.24: Το εργαλείο Raster Calculator από το πρόγραμμα ArcMap για τη δημιουργία των τελικών χαρτών

Εικόνα 4.25: Τρωτότητα υπογείων υδάτων για το 1^{ο} σενάριο

Εικόνα 4.26: Τρωτότητα υπογείων υδάτων για το 2^{ο} σενάριο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εικόνα 5.1: Τελικός χάρτης 1^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ υψηλή και υψηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Εικόνα 5.2: Τελικός χάρτης 2^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ υψηλή και υψηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Εικόνα 5.3: Τελικός χάρτης 1^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ χαμηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Εικόνα 5.4: Τελικός χάρτης 2^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ χαμηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Πίνακες

Κεφάλαιο 3

Πίνακας 3.1**:** Μέθοδοι Εισαγωγής Γεωγραφικών Δεδομένων

Κεφάλαιο 4

Πίνακας 4.1**:** Ποσοτικά δεδομένα (τιμές) και περιγραφικά δεδομένα των 9 παραγόντων

Πίνακας 4.2**: 1^{0} ΣΕΝΑΡΙΟ** *(σταθερές τιμές βαρών για κάθε μια κλάση)*

Πίνακας 4.3**: 2° ΣΕΝΑΡΙΟ** *(Κυμαινόμενες τιμές βαρών για κάθε μια κλάση)*

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Το νερό είτε αντιμετωπίζεται ως «φυσικός πόρος», είτε ως «οικονομικό αγαθό», είτε ως «κοινωνικό αγαθό», είτε ως «περιβαλλοντικό στοιχείο» είναι βασικό και αναντικατάστατο στοιχείο, απαραίτητο όχι μόνο για την ανάπτυξη, αλλά και για την επιβίωση της ανθρωπότητας. Όμως είναι το πλέον «ευαίσθητο» και το πρώτο «θιγόμενο» περιβαλλοντικό συστατικό από τα δύο σύνδρομα της σύγχρονης κοινωνίας: την υπερκατανάλωση και τη ρύπανση. Εντούτοις στη χώρα μας μια σχεδίαση ορθής «Υδατικής Πολιτικής» θα μπορούσε και να το προστατεύει από αυτά και να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες ποσότητές του στην κατάλληλη ποιότητα υπό συνθήκες αειφόρου ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Με τον όρο «υδάτινοι πόροι» εννοούμε τις θάλασσες, τους πάγους, τα υπόγεια νερά, το νερό των φυσικών λιμνών, τα ποτάμια και τις βροχοπτώσεις. Μια διάκριση των υδάτινων πόρων που μπορεί να πραγματοποιηθεί, είναι μεταξύ επιφανειακών και υπογείων υδάτων. Στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους ανήκουν τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, τα έλη, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες, ενώ στους υπόγειους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται τα νερά των γεωτρήσεων, των πηγαδιών, των πηγών και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων (Taub, 1984, CEC, 1992, Boon et al., 1992). Καθένας υδροφόρος μπορεί να έχει διαφορετικά χημικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά, να έχει διαφορετική πηγή ή περιοχή εμπλουτισμού και διαφορετική περιοχή εκφόρτισης, (Καλλέργης). Όσον αφορά τις πηγές ρύπανσής τους μπορεί να είναι είτε σημειακές (βιομηχανίες, αστικά λύματα, χωματερές) είτε μη σημειακές (αγροτικές δραστηριότητες, εισροή θαλασσινού νερού), (Φυτιανός, 2008).

Οι υδάτινοι πόροι στον πλανήτη μας κατανέμονται κυρίως στις φυσικές λίμνες που συγκεντρώνουν γύρω στα 200.000 Km^3 νερό, στις τεχνητές λίμνες και στα ποτάμια που υπολογίζεται ότι έχουν 1200-1300 Km^3 νερό και στα υπόγεια νερά που υπολογίζεται ότι έχουν 8.4 x 10^6 Km^3 αποθηκευμένο ή μετακινούμενο νερό στα ανώτερα 1000 μέτρα του φλοιού της γης, ενώ άλλα τόσα κυβικά χιλιόμετρα νερό βρίσκονται βαθύτερα. Αυτό τα καθιστά βασική πηγή νερού και σημαίνει ότι είναι επιτακτική ανάγκη να διαχειρίζονται με μεγάλη προσοχή, να προστατεύονται και να εκτιμάται ο κίνδυνος ευπάθειας τη ρύπανσης τους (Alberta Government site, 1995-2007).

Στην Ελλάδα, οι φυσικές και τεχνητές λίμνες καλύπτουν σε έκταση περίπου 956 Km^2, οι λιμνοθάλασσες περίπου 288 Km^2, οι ποταμοί έχουν μήκος περίπου 4268 Km, τα έλη περίπου 58 Km^2 και οι εκβολές και τα δέλτα των ποταμών περίπου 723 Km^2 (N.A., 1970-1996, ΕΚΒΥ, 1994).

Η εκτίμηση επικινδυνότητας (ή εκτίμηση κινδύνου), είναι ένα από τα βασικά μεθοδολογικά εργαλεία που διαπραγματεύονται θέματα εντοπισμού ευπαθών περιοχών στη ρύπανση. Σε επίπεδο στρατηγικής, η εκτίμηση κινδύνου χρησιμοποιείται στη διαμόρφωση αποφάσεων κατά τη διαδικασία σχεδιασμού μέτρων αντιμετώπισης της ρύπανσης. Η εκτίμηση περιβαλλοντικού κινδύνου των υπογείων

υδάτων χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των εναλλακτικών επιλογών διαχείρισης κινδύνου ή και των μέτρων που απαιτούνται για την αποτροπή, τον έλεγχο ή την ελαχιστοποίηση των κινδύνων προς το περιβάλλον. Θεμελιώδης αρχή της προσέγγισης εκτίμησης κινδύνου, είναι η ακολουθία: «Πηγή - Μονοπάτι - Αποδέκτης», (Source - Pathway - Receptor), που είναι και η πλέον εφαρμοζόμενη μεθοδολογία. Συγκεκριμένα, «Πηγή» είναι κάθε παράμετρος που θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. «Αποδέκτης» είναι κάθε παράγοντας του περιβάλλοντος που θα μπορούσε να υποστεί επιπτώσεις από την «Πηγή», και «Μονοπάτι» είναι η διαδρομή μέσω της οποίας η «Πηγή» μπορεί να επιδράσει στον «Αποδέκτη». Παράλληλα, η μεθοδολογία έχει ως στόχο να παρέχει μια καλή προσέγγιση της τάξης μεγέθους των κινδύνων και να αποτελεί ένα γρήγορο και εύχρηστο εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησής τους. Έτσι, γίνεται εύκολος ο εντοπισμός των περισσότερο επικίνδυνων περιοχών, οι οποίοι χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης (www.grapsas.blogspot.com).

Η εκτίμηση επικινδυνότητας όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα αποτελεί αντικείμενο με εξαιρετικό ενδιαφέρον, μιας και επικεντρώνεται σε περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στην προστασία των υπογείων υδάτων τους. Ο όρος τρωτότητα υπογείων υδάτων περιλαμβάνει δύο βασικές παραμέτρους: φυσική (εγγενής) τρωτότητα και ειδική τρωτότητα (Gogu and Dassagues 2000). Το αντικείμενο της έρευνας είναι ο καθορισμός της τρωτότητας των υπογείων υδάτων, όπου οι ρυπαντές τους προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και επηρεάζουν τα εγγενή υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Μέχρι τώρα, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι (τεχνικές) ανάλυσης επικινδυνότητας των υδάτων. Ακολουθεί αναφορά των πιο διαδεδομένων από αυτών: η DRASTIC μέθοδος (Aller et al. 1987), η GOD μέθοδος (Foster 1987), το AVI πρόγραμμα εκτίμησης (Van Stempvoort et al. 1993), η SINTACS μέθοδος (Civita 1994), η ISIS μέθοδος (Civita and De Regibus 1995), η ιρλανδική άποψη (Daly et al. 2002), η γερμανική μέθοδος (Von Hoyer και Sofner 1998) και η EPIK (Doerfiger et al.1999). Η σύγκριση μεταξύ των τεχνικών που αναπτυχτήκαν για την εκτίμηση επικινδυνότητας των υπογείων υδάτων πραγματοποιήθηκε από τους Gogu και Dassargues (2000) και από τον Gogu et al. (2003), οι οποίοι κατέληξαν στο γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση στα αποτελέσματα που εξήγαγε η κάθε μέθοδος και σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει διαφωνία μεταξύ των τεχνικών. Ο λόγος της μη συμφωνίας των αποτελεσμάτων έγκειται στο γεγονός ότι η τρωτότητα των υπογείων υδάτων δεν αποτελεί μετρήσιμη ποσότητα και αυτό έχει ως συνέπεια τις περισσότερες φορές, την εξαγωγή αμφιλεγόμενων αποτελεσμάτων. Σε πρόσφατες έρευνες (Dixon et al.2002, Dixon 2005) ωστόσο, έγινε προσπάθεια να συγκριθούν τα αποτελέσματα που εξήγαγε η κάθε μέθοδος ερμηνεύοντας τα με την βοήθεια μεθόδων ευαισθησίας.

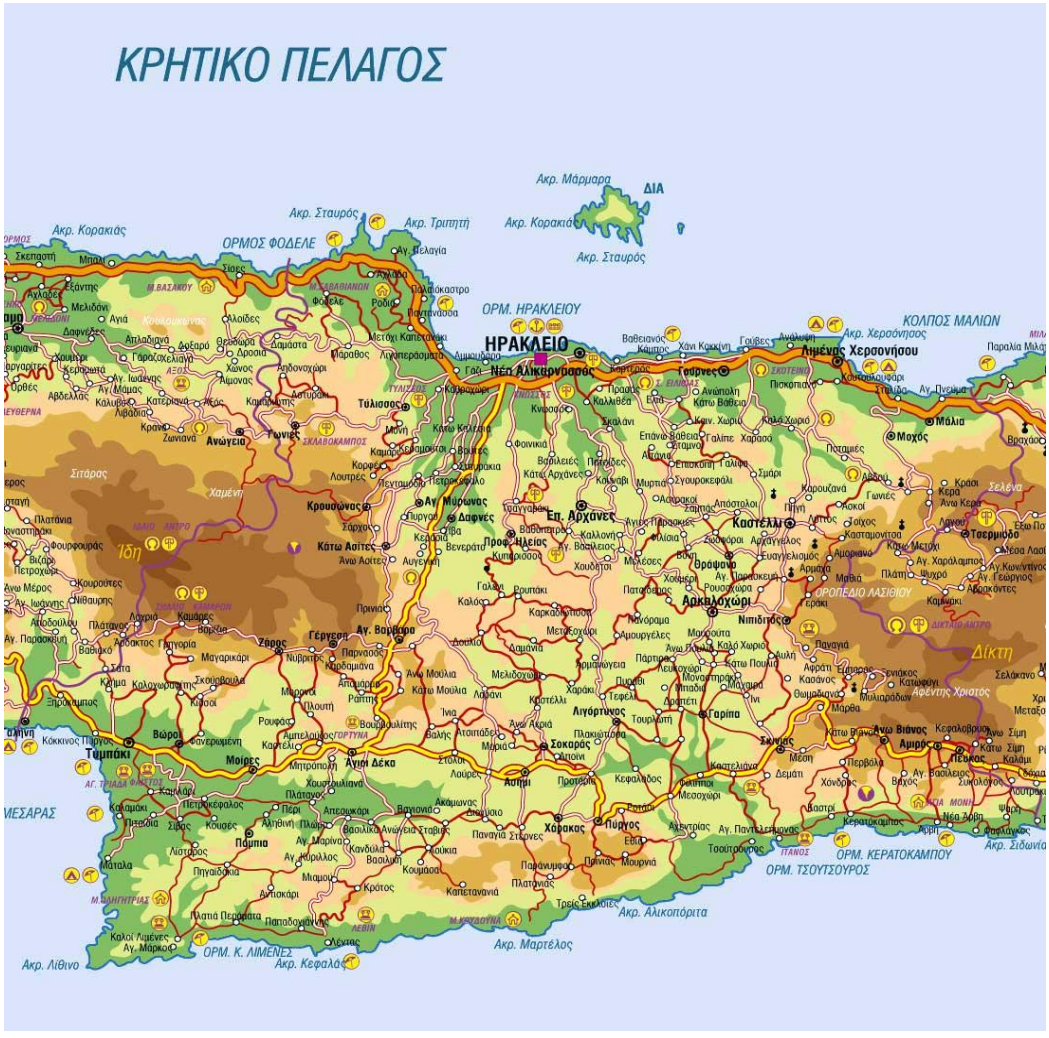
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναπτυχθεί μια μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου ρύπανσης των υπογείων υδάτων της Ανατολικής Κρήτης. Κατά την προσπάθεια μας αυτή λήφθηκαν υπόψη μια σειρά από παράγοντες, που επηρεάζουν την τρωτότητα των υπογείων υδάτων ,οι οποίοι συνδυαζόμενοι μεταξύ τους και με τους κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας που τους προσδώσαμε εξήγαγαν έναν τελικό χάρτη περιγραφής του κινδύνου.

Κεφάλαιο 2 Περιοχή μελέτης

2.1 Γενικά

2.1.1 Νομός Ηρακλείου

Ο νομός Ηρακλείου (Εικόνα 2.1) είναι ο μεγαλύτερος της Κρήτης, έχει το μεγαλύτερο πληθυσμό (292.489 κάτοικοι), ενώ είναι και η πλουσιότερη περιοχή της έχοντας το μεγαλύτερο κατά κεφαλή εισόδημα. Ο νομός έχει έκταση 2.641 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το έδαφος του νομού είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος του πεδινό και ημιορεινό (www.nah.gr). Ο νομός Ηρακλείου υποδιαιρείται σε 7 επαρχίες. Οι επαρχίες Μαλεβιζίου, Τεμένους και Πεδιάδος βρίσκονται στα βόρεια παράλια και οι επαρχίες Πυργιώτισσας, Καινουρίου, Μονοφατσίου και Βιάννου στο κέντρο και στα νότια παράλια. Οι κυριότερες πόλεις της περιοχής είναι ο Τυμπάκι, οι Μοίρες, και η Άνω Βιάννος (www.creteonthe.net).



Εικόνα 2.1: Χάρτης Ν. Ηρακλείου (www.4crete.gr)

Παράγει το 2,47% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της χώρας, αναλογία σχεδόν σταθερή από το 1994, από το οποίο το 77% προέρχεται από τις υπηρεσίες, με σημαντική τη συμβολή του τουρισμού (13,6% από ξενοδοχεία

και εστιατόρια). Στη γεωργία αναλογεί 9% του προϊόντος του νομού και εκεί παράγεται 3,4 του συνολικού γεωργικού προϊόντος της χώρας .

2.1.2 Νομός Λασιθίου

Ο νομός Λασιθίου (Εικόνα 2.2) καλύπτει το ανατολικό άκρο του νησιού και έχει έκταση 1.823 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Χωρίζεται στις επαρχίες Μιραμπέλλου, Λασιθίου, Ιεράπετρας και Σητείας. Οι κυριότερες πόλεις είναι ο Άγιος Νικόλαος , η Ιεράπετρα και η Σητεία. Στο νομό συγκεντρώνεται περίπου το 0,7% του πληθυσμού της Ελλάδος (76.319 κάτοικοι). Μεταξύ των απογραφών 1991 και 2001 ο πληθυσμός του νομού αυξήθηκε κατά 7,1% (ΕΣΥΕ).(el.wikipedia.org)

Εικόνα 2.2: Χάρτης Ν. Λασιθίου (www.4crete.gr)

Έχει το μικρότερο πληθυσμό και ταυτόχρονα το μεγαλύτερο ΑΕΠ κατά κεφαλή (14,8 χιλ. ευρώ) από τους άλλους νομούς της Κρήτης και αυτό τον κατατάσσει 8ο στην Ελλάδα ως προς το κριτήριο αυτό (115% του Μ.Ο της Ελλάδας και 90% του Μ.Ο της ΕΕ-25). Στο νομό Λασιθίου παράγεται το 0,8% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της Ελλάδος. Το 75% του προϊόντος του προέρχονται από τις υπηρεσίες, με σημαντική τη συμβολή του τουρισμού (16% από υπηρεσίες ξενοδοχείων και εστιατορίων). Το 14% του προϊόντος του προέρχεται από τη γεωργία το 2002 (από 16% το 1997). Στο Λασίθι παράγεται το

1,5% του συνολικού γεωργικού προϊόντος της χώρας. Είναι η 6η παραγωγός περιοχή ελαιολάδου στη χώρα με 4,8% το 2004 , η 6η στην παραγωγή πατάτας με 5% το 2004 και 7η στην παραγωγή ντομάτας.

2.2 Κλιματολογικά στοιχεία

Γενικά το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό, στους ορεινούς όγκους της όμως τείνει προς τον ηπειρωτικό τύπο. Ο ετήσιος μέσος όρος θερμοκρασίας είναι 14-15^{0}C . Ο χειμώνας είναι ήπιος με ψυχρότερους μήνες τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο. Η πεδινή Κρήτη και ιδιαίτερα οι νοτιοανατολικές περιοχές είναι από τις θερμότερες της Ελλάδας. Η ηλιοφάνεια διαρκεί όλους τους μήνες του έτους ενώ οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, αν και λόγω της θαλάσσιας αύρας και των ετήσιων ανέμων , το θέρος είναι σχετικά δροσερό. Η εμφάνιση νεφώσεων είναι μικρή και μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

2.2.1 Θερμοκρασία

Το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και αυτό οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει η νήσος στην Ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας είναι ήπιος, ενώ ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Φεβρουάριος. Θερμότερος μήνας του έτους είναι ο Ιούλιος με μέση υπερετήσια θερμοκρασία περίπου 25 ^{0}C. Η θερμοκρασιακή εικόνα διαφοροποιείται σημαντικά στα ορεινά όπου οι μέσες θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις εντονότερες και οι θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες σημαντικά χαμηλότερες. Με βάσει τα παραπάνω μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα: Η πεδινή ζώνη των νομών αποτελεί κλιματικά μια μετάβαση από το Μεσογειακό προς το ημιερημικό κλίμα. Χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος βροχοπτώσεων, ήπιο χειμώνα και ξηρή περίοδο μεγάλης διάρκειας. Το θέρος λόγω θαλάσσιας αύρας και των ετήσιων ανέμων είναι σχετικά δροσερό (Καρτεράκης, 2005).

2.2.2 Υγρασία

Η μέση ατμοσφαιρική σχετική υγρασία είναι σε ολόκληρο το βόρειο τμήμα των νομών ελάχιστη τον Ιούνιο και μέγιστη το Δεκέμβριο. Η μέση ελάχιστη μηνιαία σχετική υγρασία μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι χαμηλές τιμές υγρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα, καθιστούν το θέρος ευχάριστο και δε δημιουργούν συνθήκες δυσφορίας (Καρτεράκης, 2005).

2.2.3 Βροχόπτωση

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στους νομούς παρουσιάζει αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από νότια προς βόρεια. Η Κρήτη γενικά παρουσιάζει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά όσο και φυσιογραφικά, εμφανίζοντας βροχοβαθμίδα από τις μεγαλύτερες στην Ελλάδα. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη (www.meteo.gr)

2.3 Χλωρίδα – Πανίδα

Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν τα οικοσυστήματα της πεδινής και ημιορεινής ζώνης ενώ επικρατεί κυρίως αυτοφυής υποβαθμισμένη βλάστηση. Η σημασία της χλωρίδας της φυσικής βλάστησης και γενικά των φυτών είναι τεράστια, πρωταρχικής και καθοριστικής σημασίας, αφού τα φυτά είναι οι μόνοι αυτότροφοι οργανισμοί, παράγουν από ανόργανα στοιχεία οργανική ουσία, είναι η βάση της τροφικής αλυσίδας και χωρίς τα φυτά η ζωή στη γη είναι αδύνατη. Η χλωρίδα της υπό μελέτης περιοχής αναπτύσσεται από δέντρα, θάμνους και από ποώδη βλάστηση. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από:

Φρύγανα	Ασπαλάθους
Αστιβίδες	Θρύμινα
Θυμάρια	Αφάνες

Επίσης η περιοχή παρουσιάζει ένα μωσαϊκό βλάστησης από τα προαναφερθέντα βλαστικά είδη και ελαιόδεντρα που καλλιεργούνται στην περιοχή καθώς και από αραιές στοιβάδες από ξυλώδη βλάστηση σκληρόφυλλων και αείφυλλων:

Σχοίνος	Χαρουπιά
Ερείκη	Πρίνος

Η πληθυσμιακή ισορροπία των άλλοτε ευρέως διαδεδομένων ειδών πανίδας της περιοχής σήμερα έχει διαταραχθεί. Οι οικοκλιματικές συνθήκες της Κρήτης, είναι μεν ευνοϊκές για την ανάπτυξη της πανίδας (ζωοκοινότητας) ιδιαίτερα στα αρθρόποδα, τα έντομα, τα αραχνοειδή και τα μαλάκια (σαλιγκάρια), όμως λόγω της αλόγιστης εκμετάλλευσης των οικοσυστημάτων από τον άνθρωπο , της σημαντικής υποβάθμισης των φυτικής βλάστησης, της παράνομης θήρευσης και της τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής ο αριθμός των ζώων στις ανώτερες τάξεις, πτηνά και θηλαστικά, είναι περιορισμένος. Επίσης δεν υπάρχουν σπάνια ή προστατευόμενα είδη ενώ τα κύρια είδη της πανίδας είναι:

- Ο λαγός
- Η ζουρίδα ή το κουνάβι
- Η κουκουβάγια
- Οι σαύρες, και
- Διάφορα είδη πουλιών

2.4 Γεωλογία – Στρωματογραφία

2.4.1 Γεωλογικά στοιχεία

Το μεγαλύτερο τμήμα της Κρήτης (3/4 της επιφάνειας περίπου) είναι ορεινό. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα ου νησιού είναι προς τα δυτικά τα Λευκά όρη (2.454 μ.), στο κεντρικό τμήμα ο Ψηλορείτης (ή Ίδη, 2.456 μ.) και προς τα ανατολικά το όρος Δίκτη (2.147 μ.) και τα όρη Σητείας (1.476 μ.). Προς τα δυτικά και νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φθάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια του νησιού το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο και λοφώδες (πεδιάδες Χανίων, Ρεθύμνου και Μαλίων). Η μεγαλύτερη πεδιάδα του νησιού βρίσκεται στο νότιο-κεντρικό τμήμα του (πεδιάδα Μεσσαράς), ενώ στο νότιο ανατολικό αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Υπάρχουν τέλος αρκετά οροπέδια τα κυριότερα των οποίων είναι του Λασιθίου και του Ομαλού.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό στο δυτικό τμήμα του νησιού, ενώ στο ανατολικό δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένο. Το απότομο ανάγλυφο και η συχνή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπέραστων γεωλογικών σχηματισμών σε συνδυασμό με το μικρό εύρος του νησιού έχει ευνοήσει το σχηματισμό χειμάρρων και την εμφάνιση πηγών και όχι το σχηματισμό μεγάλων ποταμών.

2.4.2 Στρωματογραφία

Η Κρήτη αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων, ένα αλλόχθονο σύστημα αποτελούμενο από διάφορα επιμέρους καλύμματα επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

Αυτόχθονη σειρά- ιόνιος ζώνη

Περιλαμβάνει την ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων που χαρακτηρίζεται από τη λεπτοστρωματώδη ανάπτυξη ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων - μαρμάρων, στους οποίους παρεμβάλλονται πυριτόλιθοι με μορφή λεπτών στρώσεων, κονδύλων ή φακών, σχιστόλιθους κυρίως πυριτικούς που βρίσκονται με μορφή ένστρωσης στη βάση των πλακωδών κρυσταλλικών ασβεστόλιθων, και παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους έως μάρμαρα και δολομίτες. Τα ανθρακικά της Ιονίου ζώνης αναπτύσσονται κυρίως στα κεντρικά τμήματα των ορεινών όγκων (Λευκά όρη, Ψηλορείτης, Ταλαία Όρη, Δίκτη, Σελένα και Θριπτή) και σποραδικά σε άλλα τμήματα ιδιαίτερα στο Νομό Ρεθύμνου.

Τεκτονικό κάλυμμα φυλλιτών - χαλαζιτών

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή, ποικίλης σύστασης. Συχνά παρεμβάλλονται μαύροι λεπτοστρωματώδεις και κατακερματισμένοι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, χαλαζιτικές φλέβες, δολομίτες

Τεκτονικό κάλυμμα ζώνης Τρίπολης

Το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης συναντάται επωθημένο είτε απευθείας πάνω στους Πλακώδεις ασβεστολίθους της Ιονίου ζώνης, είτε και κυρίως πάνω σε υπολείμματα της φυλλιτικής - χαλαζιτικής σειράς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονο κερματισμό στη βάση του. Περιλαμβάνει τους σχηματισμούς του φλύσχη και τους μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες που είναι έντονα τεκτονισμένοι. Τα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης παρουσιάζουν μεν μεγάλο πάχος, έχουν όμως εξαιτίας των επωθήσεων και των ρηγμάτων κατατμηθεί και συναντώνται πολλές φορές ως τεκτονικά ράκη πάνω στους υποκείμενους τεκτονικά σχηματισμούς. Εξαιτίας της θέσης τους ως υπερκείμενοι των φυλλιτών και λεπτοπλακωδών ασβεστόλιθων διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών λεκανών της Κρήτης.

Τεκτονικό κάλυμμα ζώνης Πίνδου

Το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου συναντάται με μικρές γενικά ανθρακικές εμφανίσεις λεπτοπλωδών ασβεστόλιθων με ενστρώσεις πυριτόλιθων, στρώματα κερατολίθων και μεγαλύτερα αναπτύγματα του φλύσχη. Η ενότητα της Πίνδου συναντάται κυρίως επωθημένη πάνω στην αντίστοιχη της Τρίπολης και τοπικά πάνω στους φυλλίτες.

Τεκτονικά καλύμματα εσωτερικών ζωνών.

Η ενότητα των οφιολίθων-κρυσταλλοσχιστωδών είναι ένα σύνθετο πολύμεικτο τεκτονικό κάλυμμα με μεγάλη ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών διαφόρου ηλικίας. Στην ενότητα αυτή συμμετέχουν οφιόλιθοι (σερπεντινίτες, βασάλτες, περιδοτίτες, γάβροι κ.α.), μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, αμφιβολίτες), ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Α. Τριαδικού έως Α. Κρητιδικού, φλυσχοειδή ιζήματα, γρανίτες κ.α. Στο σύνολο της ενότητας αυτής καταγράφονται διάφορες υποενότητες με χαρακτηριστικές ονομασίες όπως καλύμματα Άρβης, Βάτου, Αστερουσίων, Οφιολιθικό κάλυμμα.

Νεογενείς σχηματισμοί

Τα νεογενή και πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις στο σύνολο της Κρήτης. Επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία τόσο ως προς την ηλικία τους όσο και ως προς τη λιθολογία τους. Αποτελούνται από εκτεταμένες αποθέσεις μαργών, κροκάλων και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Βιβλιογραφικά, ανάλογα κυρίως από τη θέση εμφάνισης τους έχουν δοθεί διαφορετικές ονοματολογίες των διαφόρων φάσεων τους (π.χ. σχηματισμοί Αγ. Βαρβάρας, Φοινικιάς κλπ).

Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων και αποτελούνται από χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκάλων, αργίλων και χολικών ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων.

Κεφάλαιο 3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

3.1 Ορισμός

Γεωγραφικές πληροφορίες ορίζονται οι πληροφορίες που συνδέονται με μια συγκεκριμένη τοποθεσία πάνω, κάτω ή στην επιφάνεια της γης. Ο σύνδεσμος αυτός μπορεί να είναι οι συντεταγμένες ενός χάρτη, μια περιοχή ή μια οδός. Τα συστήματα αυτά είναι απαραίτητα για να γνωρίζουμε που βρισκόμαστε, προς τα πού κατευθυνόμαστε, σε τι απόσταση βρισκόμαστε και τι θα συναντήσουμε. Οι γεωγραφικές πληροφορίες προσφέρουν γνώσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος και για τον σχεδιασμό νέων στόχων.

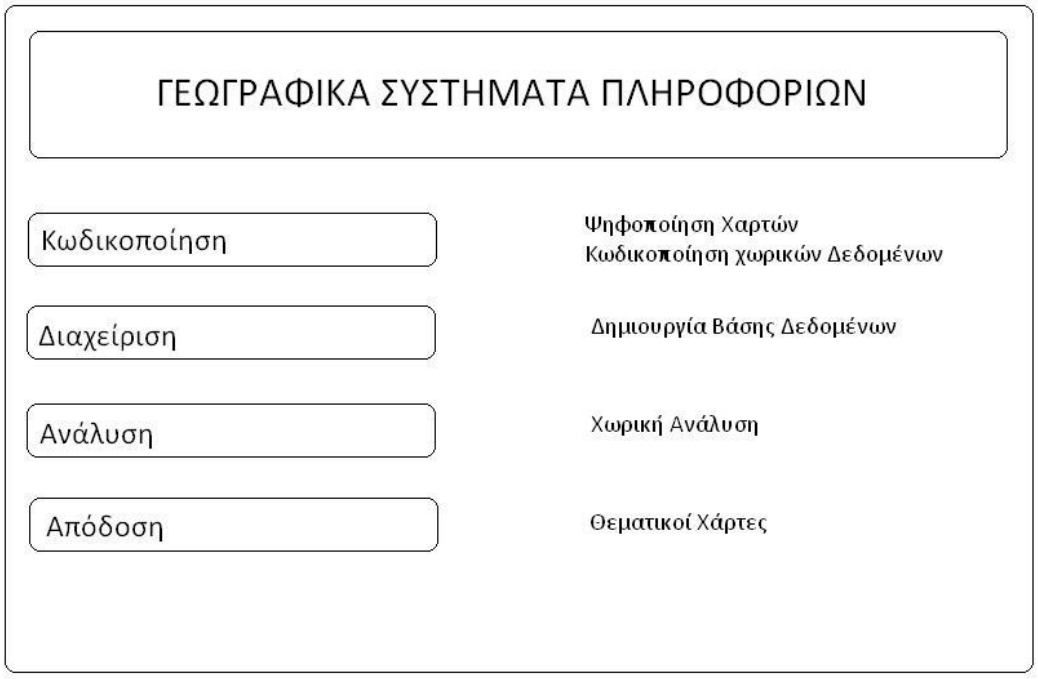
Η ύπαρξη μιας καινούργιας τεχνολογίας που ονομάζεται Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - ΓΠΣ (Geographic Information Systems (GIS)) έχει μεταβάλλει δραστικά τον τρόπο που δουλεύουμε με τις γεωγραφικές πληροφορίες. Ένα μεγάλο μέρος χωρικών δεδομένων σε ηλεκτρονική μορφή είναι αποθηκευμένο από διάφορους οργανισμούς σε όλο τον κόσμο. Τα ΓΠΣ είναι σχεδιασμένα ώστε να διαχειρίζονται πληροφορίες για την επίλυση απλών θεμάτων ή για ακριβή ανάλυση πιο πολύπλοκων. Είναι λοιπόν σημαντικά ως εργαλεία λήψεων αποφάσεων ή ως εργαλεία έρευνας. Για να ορίσουμε τα ΓΠΣ μπορούμε :

i. να εξηγήσουμε τη λειτουργία τους

ii. να εστιάσουμε στις συνιστώσες τους

Αναλύοντας τα αρχικά ΓΠΣ μπορούμε να έχουμε μία πλήρης εικόνα για τα συστήματα αυτά, έτσι:

- **Γ** (Γεωγραφικά) : Δηλώνει ενδιαφέρον για τη χωρική ταυτότητα ή την τοποθεσία αντικειμένων είτε στην κάτω, είτε στην πάνω, είτε στην επιφάνεια της γης.
- **Σ** (Συστήματα) : Δηλώνει την ανάγκη για καταρτισμένο προσωπικό, μονάδες υπολογιστών και λογισμικό ώστε να γίνει συλλογή δεδομένων, επεξεργασίας αυτών και παρουσίαση τους για τη λήψη αποφάσεων.
- **Π** (Πληροφοριών) : Ερμηνεύονται τα δεδομένα για να προκύψουν πληροφορίες και να παρθούν αποφάσεις (Μανιάτης Ι., 1996).



Εικόνα 3.1: Σχηματική απόδοση της διαδικασίας σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων με την βοήθεια ΓΠΣ (Μανιάτης, 1996)

Συνοπτικά τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών , είναι ένα σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και παρουσίασης δεδομένων όπου έχουν την ίδια γεωαναφορά. Το τελικό αποτέλεσμα των ΓΠΣ είναι οι θεματικοί χάρτες (Εικόνα 3.1). Τα ΓΠΣ αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τη διαχείριση φυσικών πόρων, τις επιστημονικές έρευνες, τον αναπτυξιακό σχεδιασμό καθώς και σε άλλες εφαρμογές .

3.2 Συστατικά ενός ΓΣΠ

Τα συστατικά ενός ΓΣΠ είναι το ανθρώπινο δυναμικό, τα δεδομένα, το υπολογιστικό σύστημα, τα περιφερειακά του και το λογισμικό (Εικόνα 3.2).

Εικόνα 3.2 : Σχηματική απόδοση των συστατικών ενός ΓΠΣ (Μανιάτης, 1996)

3.2.1 Άνθρωποι

Το προσωπικό που χειρίζεται αυτά τα συστήματα (ΓΠΣ) πρέπει να είναι καταρτισμένο. Μια σειρά ανθρώπων που ασχολούνται με τη διαχείριση αυτών των συστημάτων είναι:

- Οι τεχνικοί
- Οι επιστήμονες
- Οι σύμβουλοι
- Οι χαρτογράφοι
- Οι αναλυτές
- Οι υπεύθυνοι Βάσεων Δεδομένων

3.2.2 Δεδομένα

Τα δεδομένα που εισάγονται στα ΓΠΣ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Χωρικά Δεδομένα
- Μη χωρικά Δεδομένα

3.2.3 Υπολογιστικό Σύστημα και τα Περιφερειακά του

- Έναν προσωπικό υπολογιστή ή ένα σταθμό εργασίας
- Ένα σύστημα απεικόνισης ,το οποίο υποστηρίζει έγχρωμες και υψηλής ανάλυσης απεικονίσεις
- Ένα σύστημα αποθήκευσης μεγάλης χωρητικότητας
- Ένα σύστημα εισαγωγής δεδομένων
  - ✓ Ψηφιοποιητές
  - ✓ Σαρωτές
- Ένα σύστημα παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε έντυπη μορφή
  - ✓ Εκτυπωτές
  - ✓ Αυτόματους σχεδιαστές

3.2.4 Λογισμικό

Το λογισμικό των ΓΠΣ κρίνει απαραίτητο λογισμικό δημιουργίας Βάσης Δεδομένων, δυνατότητας ψηφιοποίησης, επεξεργασίας, ανάλυσης δεδομένων, αποθήκευσης και εξαγωγής δεδομένων.

3.3 Βασικές Αρχές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

3.3.1 Αρχή της αλληλεπίθεσης των επιπέδων

Η λειτουργία των ΓΠΣ βασίζεται σε μία βάση δεδομένων όπου αποτελείται από πληροφοριακά επίπεδα που αφορούν την ίδια περιοχή. Κάθε επίπεδο αποτελείται ή από τοπογραφικά, δορυφορικά δεδομένα ή από περιγραφικές πληροφορίες (π.χ είδος βλάστησης, είδος πετρωμάτων κ.τ.λ.). Τα επίπεδα είναι προσανατολισμένα με σκοπό να συνδυάζονται μεταξύ τους ανάλογα με τις

ανάγκες του χρήστη. Ο συνδυασμός των δεδομένων αποτελεί το σημαντικότερο σκοπό αυτών των συστημάτων. Τα βασικά επίπεδα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε υποεπίπεδα. Η σωστή κατηγοριοποίηση των επιπέδων κάνει πιο εύχρηστη τη διαχείριση τους και ο χρήστης ελέγχει πιο εύκολα τα αντικείμενα που θέλει να επεξεργαστεί. Έτσι λοιπόν τα ονόματα που δίνονται στα επίπεδα πρέπει να είναι εύκολα και να περιγράφουν αυτά που περιέχει το επίπεδο.

3.4 Χαρτογραφικά Δεδομένα

Ένας χάρτης αναπαριστά γεωγραφικά χαρακτηριστικά ή άλλα χωρικά φαινόμενα συνδυάζοντας τα χωρικά δεδομένα με τις ιδιότητες των χαρακτηριστικών. Πηγές προέλευσης των δεδομένων αποτελούν οι αισθητήρες οργάνων, οι ήδη υπάρχοντες αναλογικοί χάρτες και οι επί τόπου μετρήσεις. Τα χωρικά δεδομένα περιγράφουν τη θέση των αντικειμένων πάνω στη γη και τη μεταξύ των αντικειμένων χωρική σχέση (πχ τη μικρότερη ταχύτητα κ.τ.λ.). Οι μη χωρικές πληροφορίες περιγράφουν τις ιδιότητες των αντικειμένων (πχ το όνομα τους, το είδος τους, την περίμετρο τους κ.τ.λ.).

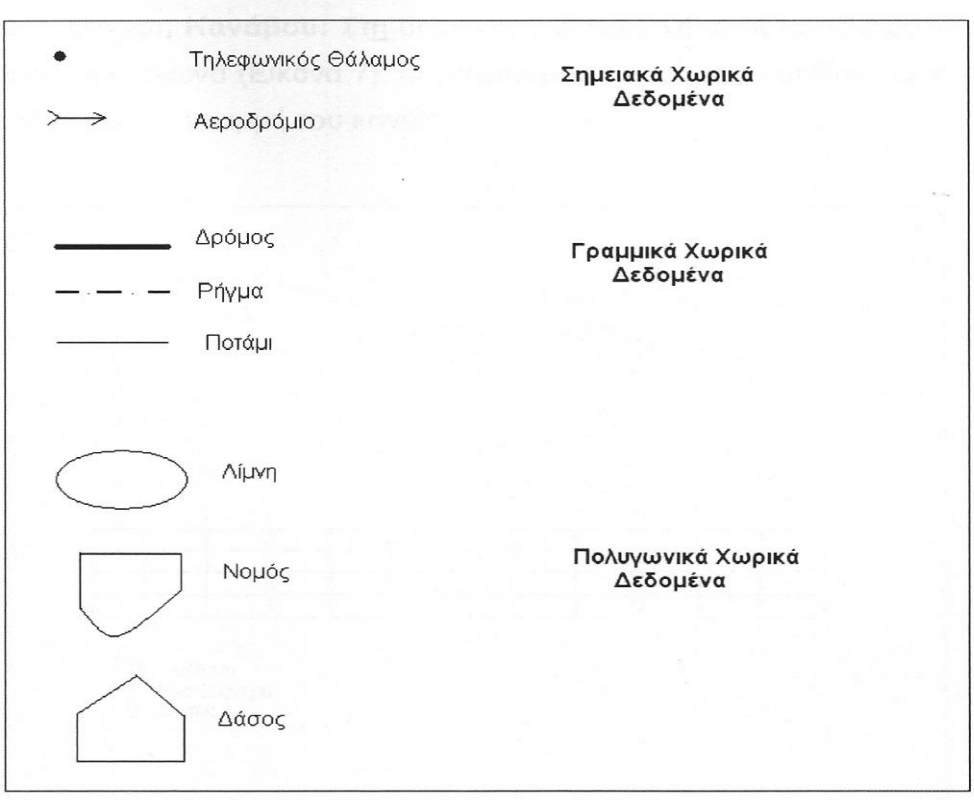
Εικόνα 3.3 : Σχηματική περιγραφή δεδομένων που μπορούν να εισαχθούν από διαφορετικές πηγές σε ένα ΓΠΣ (Μανιάτης, 1996)

Ανάλογα με το περιεχόμενο των δεδομένων που εισάγονται στα ΓΠΣ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

3.4.1 Χωρικά Δεδομένα

Τα χωρικά δεδομένα διατίθενται όλο και περισσότερο σε ψηφιακή μορφή. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από κυβερνητικές υπηρεσίες και άλλες πηγές (πχ Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), καθώς επίσης και από δορυφορικές εικόνες που προέρχονται από δορυφόρους όπως Spot και LandSat. Τα δεδομένα αυτά αναπαρίστανται από σημεία όταν πρόκειται για παράδειγμα για γεωτρήσεις, δέντρα, ταχυδρομεία, κ.τ.λ. και από γραμμές όταν πρόκειται για χαρακτηριστικά όπως ποτάμια, δρόμοι, κ.τ.λ. (Εικόνα 3.4). Πιο ειδικά:

- **Σημειακά Χαρακτηριστικά**: Το σημειακό χαρακτηριστικό αντιπροσωπεύει μια μόνο χωρική τοποθεσία.
- **Γραμμικά Χαρακτηριστικά**: Ένα γραμμικό χαρακτηριστικό αποτελείται από μια ομάδα ενωμένων συντεταγμένων και αντιπροσωπεύει ένα γραμμικό σχήμα ενός χαρακτηριστικού.
- **Πολυγωνικά Χαρακτηριστικά**: Ένα πολυγωνικό χαρακτηριστικό αποτελείται από μία κλειστή ομοιογενή περιοχή.

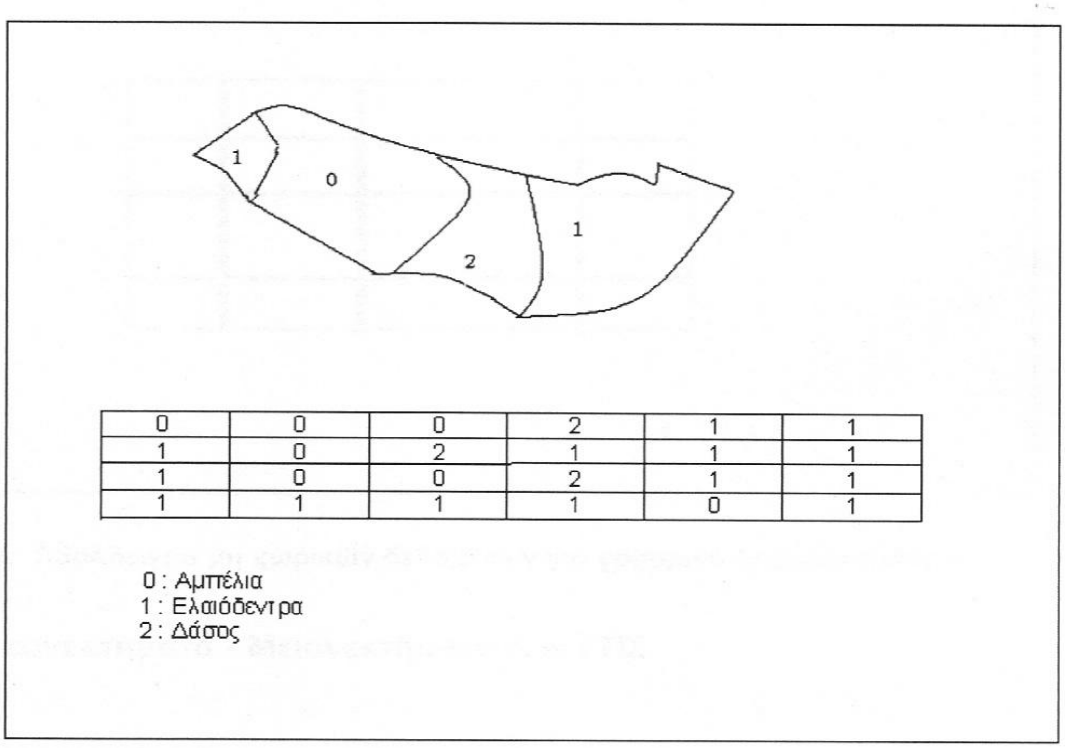


Εικόνα 3.4: Παραδείγματα από τις τρεις κατηγορίες Χωρικών Δεδομένων (Μανιάτης, 1996)

Τα χωρικά δεδομένα μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και μπορούν να έχουν δύο μορφές:

- ✓ **Μορφή Διανύσματος ή Πολυγώνου:** Η δομή αυτή έχει ως βασική μονάδα το διάνυσμα και είναι κατάλληλη για την περίπτωση που τα χωρικά δεδομένα μπορούν να οριστούν με τη χρήση γραμμών και όταν απαιτείται ο εντοπισμός των αντικειμένων στο χώρο (Εικόνα 3.5). Το πλεονέκτημα αυτής της μορφής είναι ότι απαιτείται λιγότερος χώρος στον υπολογιστή και μπορούμε με ευκολία μεμονωμένα να ανακτήσουμε, να επεξεργαστούμε και να εντοπίσουμε τα δεδομένα.

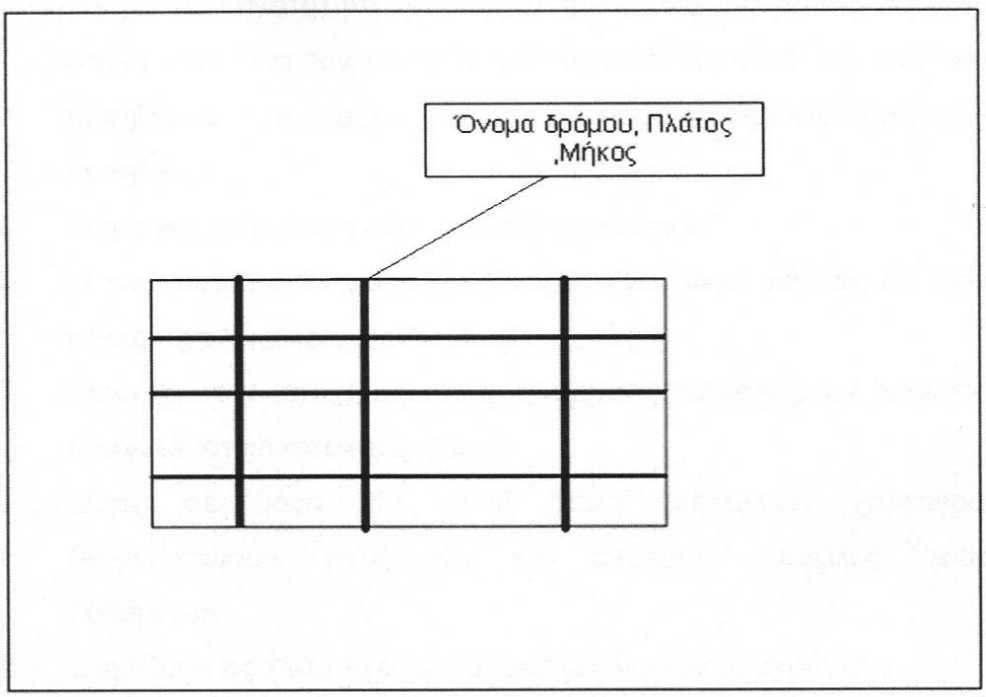
- ✓ **Μορφή Κανάβου:** Στη δομή αυτή η περιοχή αυτή υποδιαιρείται σε όμοια τετράγωνα (Εικόνα). Ο εντοπισμός του σημείου ορίζεται από μία στήλη και μία γραμμή του κανάβου.



Εικόνα3.5: Παρουσίαση δεδομένων σε μορφή διανύσματος (πάνω) και σε μορφή κανάβου (κάτω) (Μανιάτης, 1996)

3.4.2 Μη Χωρικά Δεδομένα

Τα μη χωρικά δεδομένα περιγράφουν τις ιδιότητες των αντικειμένων. Παραδείγματος χάριν ένα μη χωρικό δεδομένο που σχετίζεται με έναν δρόμο μπορεί να είναι το όνομα του, το πλάτος του, το μήκος του, κ.τ.λ. (Εικόνα 3.6). Τα μη χωρικά δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων ξέχωρα από το γραφικό τμήμα του χάρτη. Τα λογισμικά πακέτα του GIS διατηρούν εσωτερικούς δεσμούς κάθε γραφικής οντότητας του χάρτη με τη γραφική πληροφορία. Η φύση των δεσμών ποικίλει ανάλογα με το λογισμικό πακέτο.



Εικόνα 3.6 : Παράδειγμα μη χωρικών δεδομένων για γραμμικά δεδομένα (Μανιάτης, 1996)

3.5 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των ΓΠΣ

3.5.1 Πλεονεκτήματα

- Τα δεδομένα καταλαμβάνουν μικρό χώρο αφού διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή.
- Είναι ικανά να διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες χωρικών πληροφοριών
- Είναι ικανά να διαχωρίζουν τις πληροφορίες σε επίπεδα και να τις συνδυάζουν με άλλα επίπεδα πληροφοριών.
- Αναπτύχθηκαν μετά το συνδυασμό πολλών και διαφορετικών τεχνικών.
- Το τελικό προϊόν είναι θεματικοί χάρτες.
- Παρέχουν νέους τρόπους ανάλυσης και μοντελοποίησης δεδομένων.
- Έχουν τη δυνατότητα εύκολης ενημέρωσης της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και την ανάλυση των μεταβολών που έλαβαν χώρα μεταξύ δύο ή περισσοτέρων χρονικών μεταβολών.
- Η ανάγκη χειρωνακτικών μεθόδων μειώνεται,
- Η ανάλυση τις περισσότερες φορές έχει μικρό κόστος σε σχέση με άλλες προγενέστερες μεθόδους.
- Ζώντας στην εποχή της πληροφόρησης προσφέρουν ικανοποιητική επαγγελματική αποκατάσταση.
- Μέσα σε μόνο μία απλή βάση δεδομένων χαρτογραφούν, μοντελοποιούν, αναζητούν και αναλύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων.
- Στηρίζουν τις κλασσικές μεθόδους γεωγραφικής ανάλυσης.

3.5.2 Μειονεκτήματα

- Το κόστος απόκτησης τέτοιων συστημάτων είναι υψηλό.
- Η σωστή χρήση του συστήματος απαιτεί άρτια κατάρτιση από το ανθρώπινο δυναμικό.
- Προκύπτουν προβλήματα κατά την καταχώρηση και τη μετατροπή προϋπαρχόντων δεδομένων.

3.6 Πληροφορίες για το πρόγραμμα εφαρμογής Arc View GIS 9.3

Η τελευταία έκδοση του Arc View GIS 9.3 , αποτελεί ένα συνδυασμό πολλών λογισμικών για μικρότερες εφαρμογές, όπου ένα από αυτά είναι και το Arc View GIS Desktop. Το οποίο είναι διαθέσιμο σε τρεις εκδόσεις όπου η κάθε μία καλύπτει ανάγκες διαφορετικών χρηστών :

- Arc View: Επικεντρώνεται στην αναλυτική χρήση, στη χαρτογράφηση και στην ανάλυση δεδομένων.
- Arc Editor: Προσφέρει ότι ακριβώς και το Arc View και επιπλέον χωρικές επεξεργασίες και επιτρέπει την δημιουργία δεδομένων.
- Arc Info: Περιέχει τα περισσότερα εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και επαγγελματικό πακέτο.

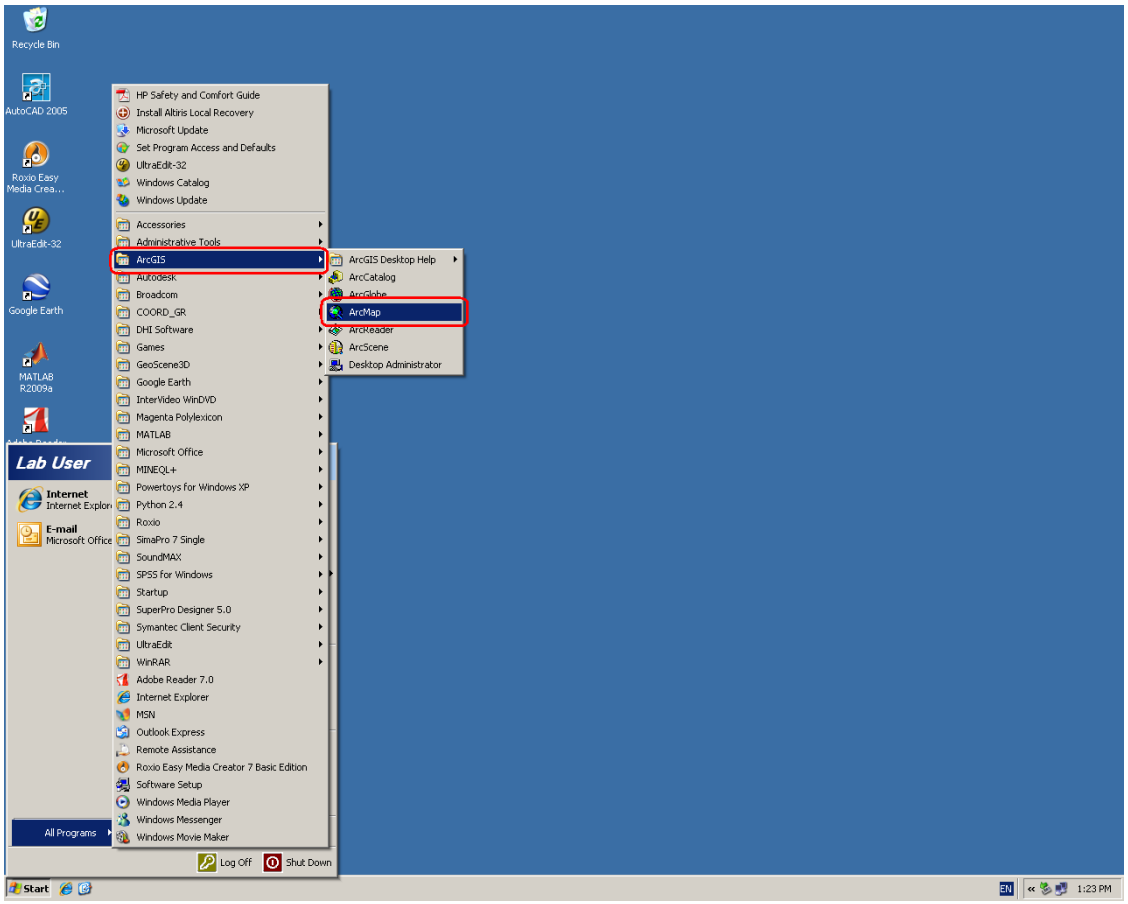
Το Arc View GIS Desktop αποτελείται από τα εξής υποσύνολα:

- Arc Catalog (Διαχείριση Δεδομένων)
- Arc Tool Box (Προγραμματισμός εξειδικευμένων εντολών)
- ***Arc Map (Σύνθεση και ανάλυση χαρτών)***
- Arc Scene (3D)

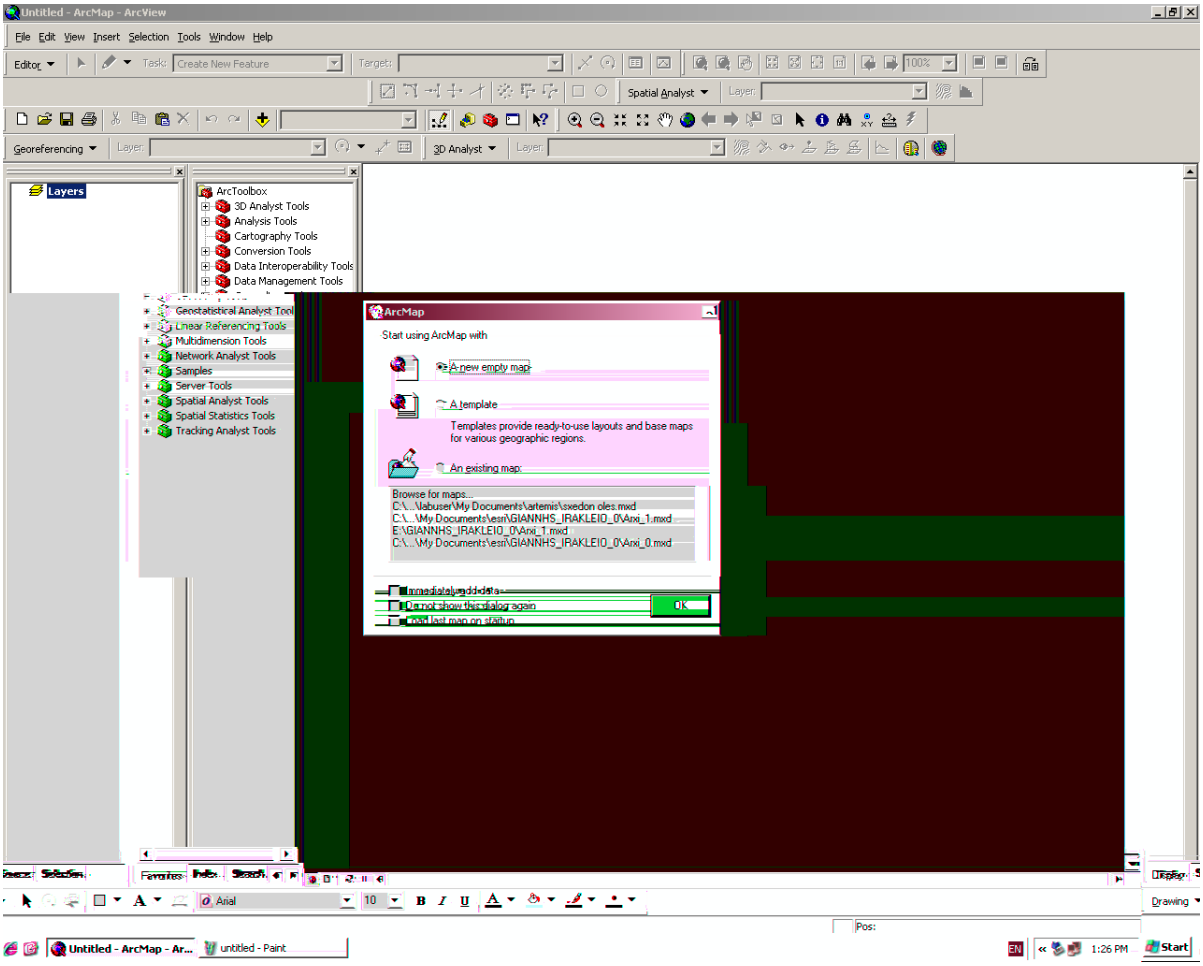
3.7 Εισαγωγή στην εφαρμογή Arc Map

3.7.1 Εκκίνηση Arc Map

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας και χρήσης του προγράμματος παρατίθενται εικόνες από το περιβάλλον του. Αρχικά παρουσιάζονται οι εικόνες όπου γίνεται η εκκίνηση του προγράμματος (Εικόνα 3.7, 3.8) και η εργαλειοθήκη που διαθέτει το πρόγραμμα (Εικόνα 3.9, 3.10).



Εικόνα 3.7 : Εκκίνηση της εφαρμογής ArcMap



Εικόνα 3.8 : Αρχική εμφάνιση κατά την έναρξη

Στις παραπάνω εικόνες μπορούμε να διακρίνουμε δύο τρόπους επιλογής των εργαλείων που θα χρειαστούμε ή θα χρησιμοποιήσουμε για οποιαδήποτε εργασία μας. Η Εικόνα 3.9 δείχνει τον κλασσικό τρόπο εμφάνισης των εργαλειοθηκών, όπως συμβαίνει και σε άλλες εφαρμογές, ενώ η Εικόνα 3.10 δείχνει τις «βιβλιοθήκες» των εργαλείων που θα χρειαστούμε και είναι πιο λεπτομερέστερη και πιο προσβάσιμη.

Κάποια από τα βασικά που χρησιμοποιήσαμε και εμείς είναι:

i. 3D Analyst Tools

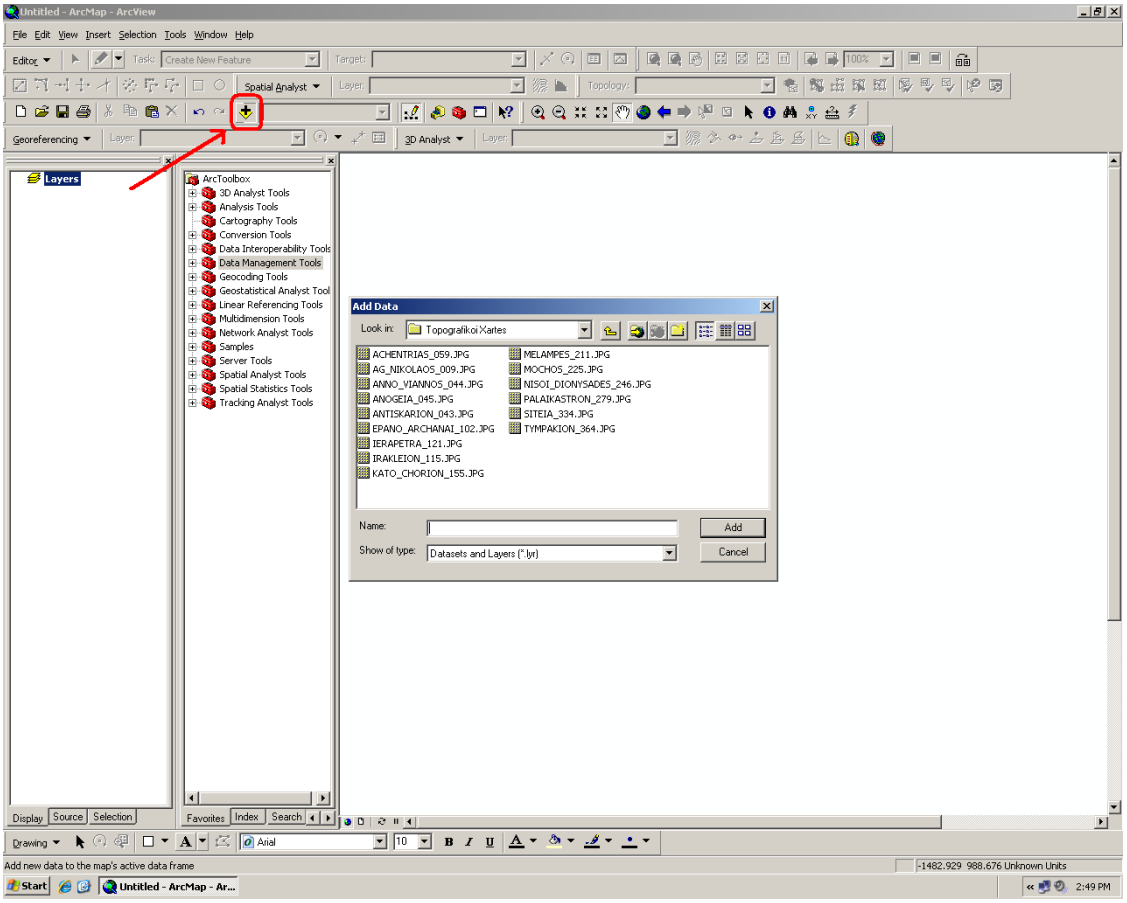
ii. Conversion Tools

iii. Data Management Tools

iv. Spatial Analyst Tools

Παρακάτω θα δούμε πως εισάγουμε τα δεδομένα μας στην εφαρμογή και πως μπορούμε να τα επεξεργαστούμε.

3.7.3 Εισαγωγή Δεδομένων (Χαρτών-Εικόνων)



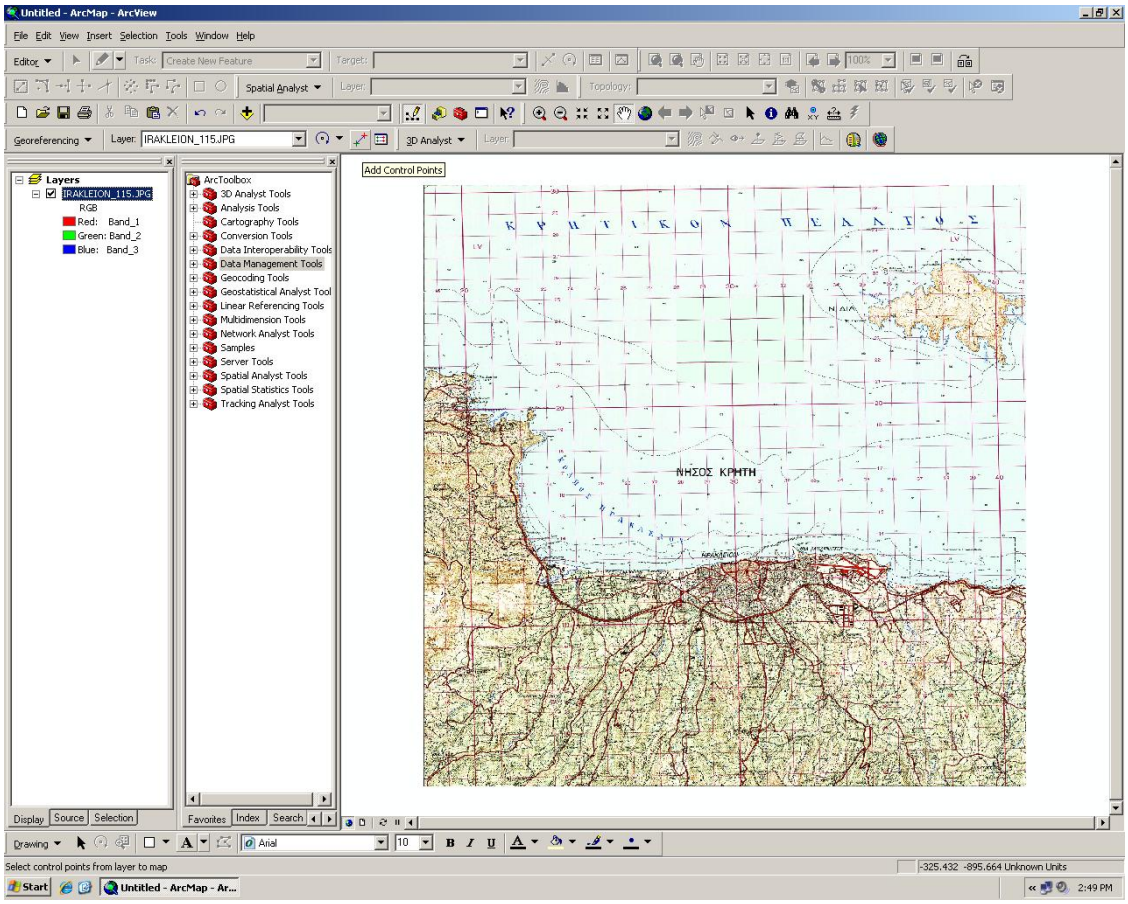
Εικόνα 3.11 : Εισαγωγή Χάρτη στην επιφάνεια εργασίας

Κάνοντας κλικ στο κουμπί με τον μαύρο σταυρό (βλέπε εικόνα 3.11) μας εμφανίζει το παράθυρο Add Data όπου ψάχνουμε το χάρτη και τον επιλέγουμε με ένα κλικ. Στην συνέχεια πατάμε το Add και ο χάρτης εμφανίζεται στην επιφάνεια εργασίας της εφαρμογής.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.12) βλέπουμε τον εισαγμένο χάρτη και επόμενη δουλειά μας είναι να το γεωαναφέρουμε. Υπάρχουν 2 τρόποι να γίνει η γεωαναφορά του χάρτη.

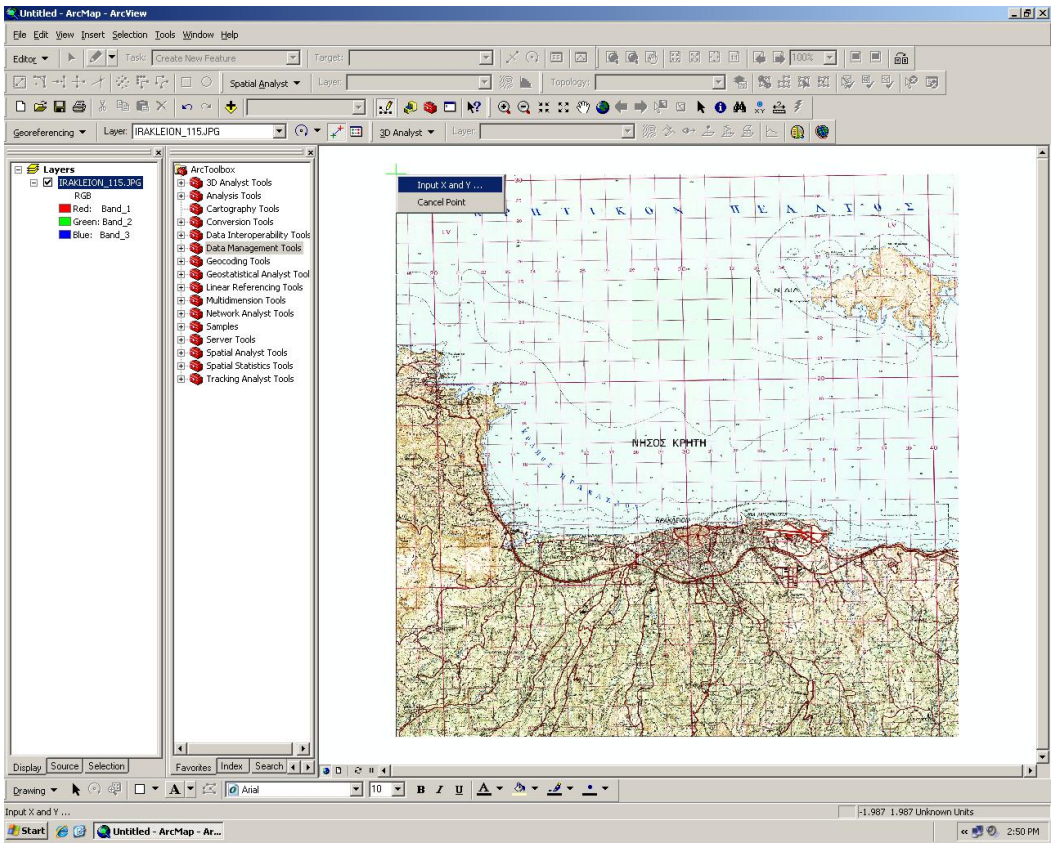
3.7.3.1 Με την χρήση συντεταγμένων

Αν γνωρίζουμε τις συντεταγμένες του χάρτη μας, (πρέπει να είναι τροποποιημένες σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα UTM E^0, N^0) και τις γράφουμε αντίστοιχα στις θέσεις X, Y.

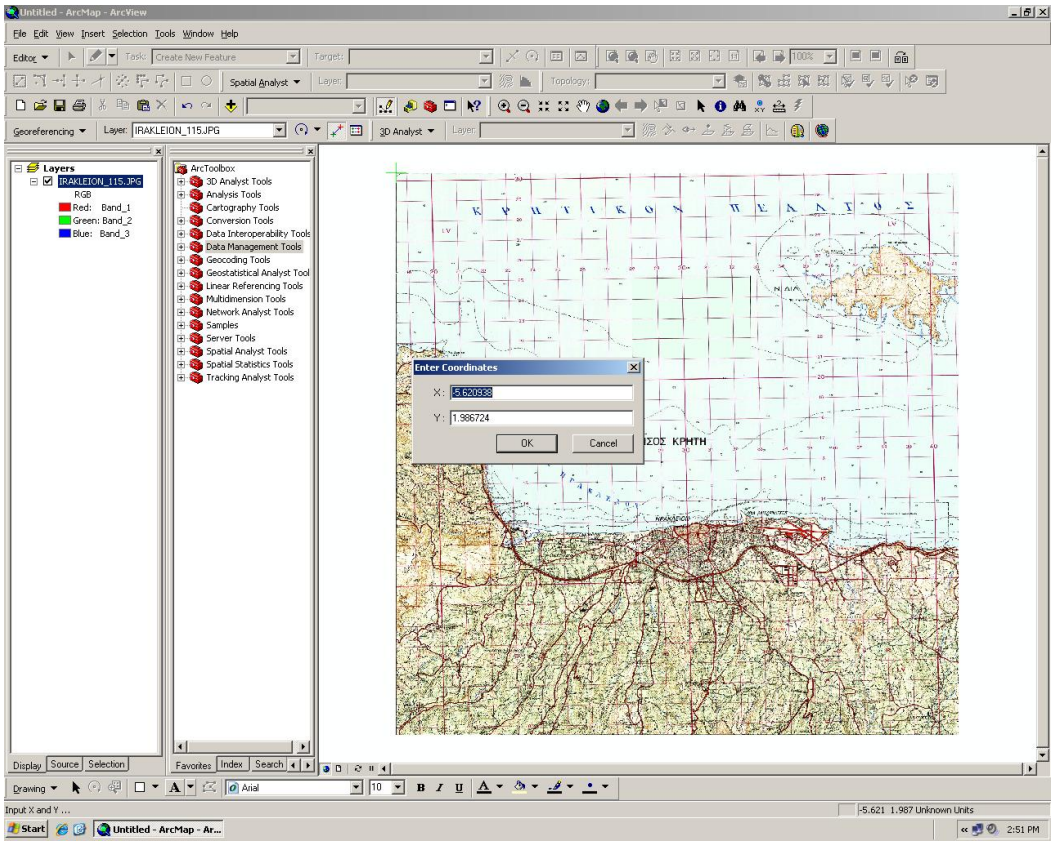


Εικόνα 3.12 : Γεωαναφορά εισαγμένου Χάρτη

Όπως μπορούμε να δούμε από την εικόνα κάνουμε κλικ στο Add Control Points και ο κέρσορας παίρνει τη μορφή σταυρού. Κάνοντας δεξί κλικ στο 1^o σημείο του χάρτη (δηλ. πάνω αριστερά) εμφανίζεται η επιλογή Input X and Y or Cancel Point. Επιλέγουμε το input και γράφουμε τις γνωστές μας συντεταγμένες. Το ίδιο κάνουμε και τα υπόλοιπα σημεία μας ακολουθώντας την εξής σειρά, 1^o πάνω αριστερά, 2^o πάνω δεξιά, 3^o κάτω δεξιά και 4^o κάτω αριστερά. Στη συνέχεια πηγαίνουμε στην εργαλειοθήκη Georeferencing και πατάμε την εντολή Rectify.



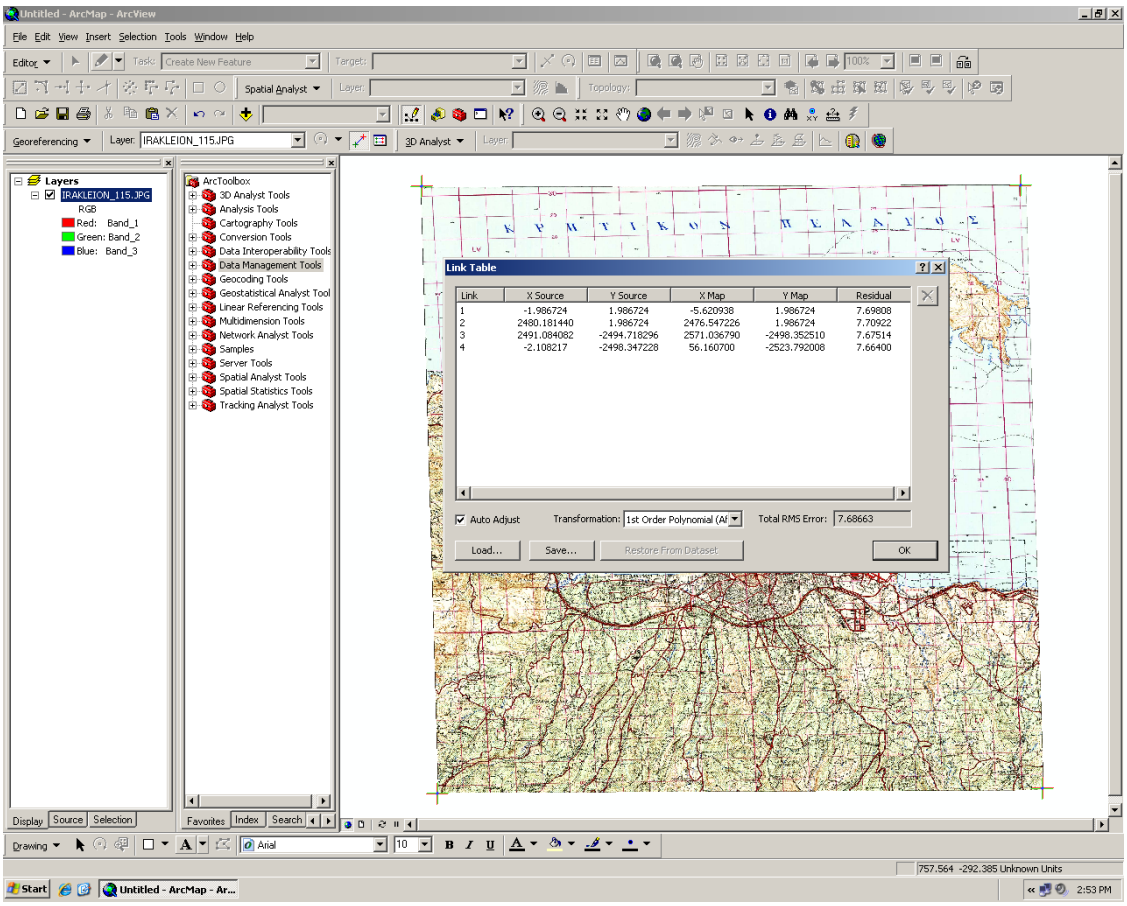
Εικόνα 3.13 : Επιλογή σημείου στον Χάρτη



Εικόνα 3.14 : Εισαγωγή συντεταγμένων σημείου

3.7.3.2 Γεωαναφορά χάρτη με την χρήση άλλου.

Αφού έχουμε εισάγει το χάρτη σύμφωνα με τις παραπάνω διαδικασίες εισάγουμε και ένα δεύτερο που είναι ήδη γεωαναφερμένος. Με τη χρήση του Add Control Points προσπαθούμε να τοποθετήσουμε τα διάφορα όμοια και αναγνωρίσιμα σημεία στον ήδη γεωαναφερμένο χάρτη. Όσα περισσότερα σημεία τόσο λιγότερα σφάλματα έχουμε. Για να επαληθεύσουμε τα σφάλματα ενεργοποιούμε το Link Table που βρίσκεται δίπλα από την εντολή Add Control Points.



Εικόνα 3.15 : Εμφάνιση πίνακα Link Table

Εκεί μπορούμε να δούμε συνολικά όλα τα σημεία που έχουμε τοποθετήσει. Συνολικά ένας χάρτης για να είναι γεωαναφερμένος πρέπει να έχει τουλάχιστον **4 σημεία**. Για τον έλεγχο των σφαλμάτων κοιτάζουμε το Total RMS Error, το οποίο θα πρέπει να τείνει προς το 0 για να είναι σωστά γεωαναφερμένος ο χάρτης μας. Και τέλος ξανά από την εργαλειοθήκη Georeferencing επιλέγουμε την εντολή Rectify. (ArcGIS 9, Redlands, CA ESRI, c2004).

3.8 Γεωγραφικά Δεδομένα που υποστηρίζει το Arc GIS

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των γεωγραφικών δεδομένων που υποστηρίζει το ArcGIS.

- Σχηματικά αρχεία (shapefiles) : Περιέχει γεωγραφικά και περιγραφικά δεδομένα τα οποία μας δίνουν τη δυνατότητα να τα διορθώσουμε μέσα από το περιβάλλον του Arc View. Περιέχει ή μόνο σημεία, ή μόνο γραμμές, ή μόνο πολύγωνα. Ένα shapefile αρχείο αποτελείται από 4 αρχεία με επεκτάσεις (shp, sbn, sbx, dbf) και προβολικό σύστημα (prj).

- Αρχεία θεματικών επιπέδων (ARC/INFO Coverage) : Ένα αρχείο θεματικών επιπέδων είναι μία βάση χωρικών δεδομένων που αποθηκεύει γεωγραφική και περιγραφική πληροφορία σε ένα σύνολο αρχείων. Περιέχει γραμμές και πολύγωνα, σημεία και πολύγωνα αλλά όχι ταυτόχρονα σημεία και πολύγωνα.

- Ψηφιδωτά αρχεία (ARC/INFO Grids) : Αυτά τα αρχεία αποτελούνται από ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, κατάλληλα για να περιγράψουν γεωγραφικά φαινόμενα τα οποία διαφέρουν στο χώρο. Ένα αρχείου τύπου grid αποτελείται από αρχεία που συνδέουν δύο υποφακέλους, ο ένας με μοναδικό όνομα επιπέδου πληροφορίας (grid name), ενώ στον υποφάκελο info συνδέονται επιπρόσθετες πληροφορίες ,που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλα grids αρχεία.

- Εικόνες (Images) : Με αυτά τα αρχεία μας δίνεται η δυνατότητα να προσθέσουμε αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες και σαρωμένα έντυπα μέσα στο Arc GIS. Οι εικόνες αυτές, αφού διορθωθούν γεωμετρικά μπορούν να δημιουργήσουν ένα ιδανικό υπόβαθρο για να παράγουμε σχηματικά αρχεία.

3.8.1 Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή χωρικών δεδομένων αποτελεί μια χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία στην εφαρμογή ενός ΓΠΣ. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πηγών γεωγραφικών δεδομένων, μεθόδων απόκτηση τους και διαδικασιών δημιουργίας και εισαγωγής δεδομένων στο ΓΠΣ.

Όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων ξεχωρίζουμε τις πρωτοταγείς και τις δευτεροταγείς μεθόδους, τόσο για τα διανυσματικά όσο και για τα ψηφιδωτά μοντέλα δεδομένων. Πρωτοταγείς πηγές δεδομένων είναι εκείνες που προέρχονται από άμεσες μετρήσεις. Για τα ψηφιδωτά δεδομένα οι άμεσες μετρήσεις είναι οι δορυφορικές εικόνες και οι ψηφιακές αεροφωτογραφίες και για τα διανυσματικά οι μετρήσεις υπαίθρου με τοπογραφικά όργανα ή GPS (όργανα δορυφορικού εντοπισμού θέσης). Δευτεροταγείς πηγές δεδομένων είναι εκείνες που αναφέρονται στη χρήση δεδομένων που είναι ήδη συλλεγμένα και βρίσκονται σε μορφή ακατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Παράδειγμα για τα ψηφιδωτά δεδομένα είναι η σάρωση αναλογικών χαρτών ή αεροφωτογραφιών και για τα διανυσματικά δεδομένα η ψηφιοποίηση των χαρτών αυτών ή η μετατροπή των ψηφιδωτών σε διανυσματικά δεδομένα (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 : Μέθοδοι Εισαγωγής Γεωγραφικών Δεδομένων

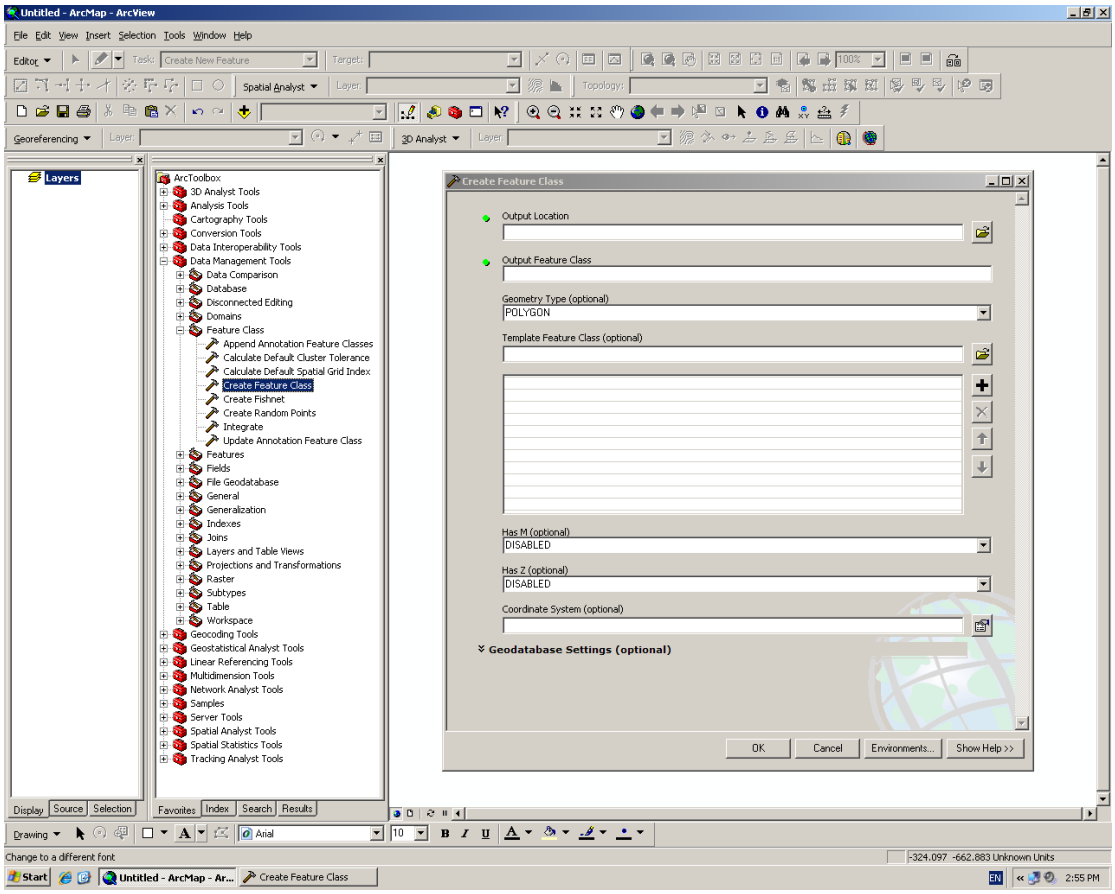
	Ψηφιδωτά Δεδομένα	Διανυσματικά δεδομένα
Πρωτογενή	Τηλεσκόπηση	Μετρήσεις Υπαίθρου
		Μετρήσεις GPS
Δευτερογενή	Σάρωση	Παραδοσιακή Ψηφιοποίηση
		Heads up Ψηφιοποίηση
		COGO
	Μετατροπή Διανυσμάτων σε Ψηφιδωτά Δεδομένα	Αυτόματη Μετατροπή Ψηφιδωτών σε Διανυσματικά Δεδομένα
		Ημιαυτόματη Μετατροπή

Βασικό εργαλείο για την εισαγωγή δευτερογενών δεδομένων και τη δημιουργία πρωτογενών δεδομένων καθώς και για τη διόρθωση τους είναι τα κύρια προϊόντα του ArcGIS. Συγκεκριμένα με το ArcMap και το Arc Catalog έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε, να δημιουργήσουμε ή να διορθώσουμε γεωγραφικά και περιγραφικά δεδομένα σε διανυσματική ή ψηφιδωτή μορφή. Με το ArcMap, το Arc Catalog και τη συνδρομή του Arc Toolbox μπορούμε να διαχειριστούμε οποιαδήποτε μορφή αρχείου, είτε αρχεία που καταλαμβάνει αυτόματα το ArcGIS (shapes), αρχεία θεματικών επιπέδων (coverages) και αρχεία γεωβάσεων (geodatabes) . Το λογισμικό ArcGIS έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί χαρακτηριστικά εύκολα και γρήγορα, διατηρώντας τη χωρική συνοχή της γεωγραφικής μας βάση (Μανιάτης, 1996).

Κεφάλαιο 4 Εφαρμογή του GIS για την εκτίμηση κινδύνου ρύπανσης του υπογείου υδροφορέα

4.1 Δημιουργία αρχείου shapefile (περιοχή μελέτης)

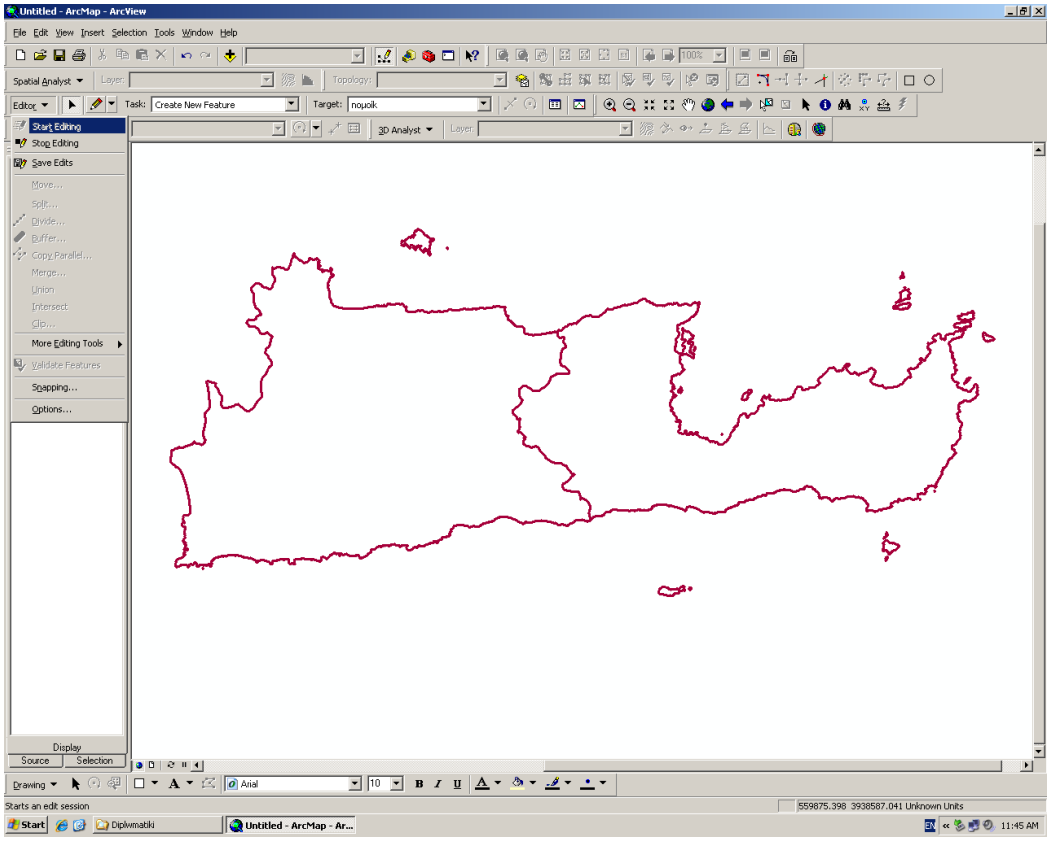
Για να δημιουργήσουμε ένα αρχείο shapefile επιλέγουμε από το μενού Feature Class → Create Feature Class και επιλέγουμε κάθε φορά το γεωμετρικό τύπο που θέλουμε να έχει το shapefile αρχείο μας.



Εικόνα 4.1 : Δημιουργία shapefile αρχείου

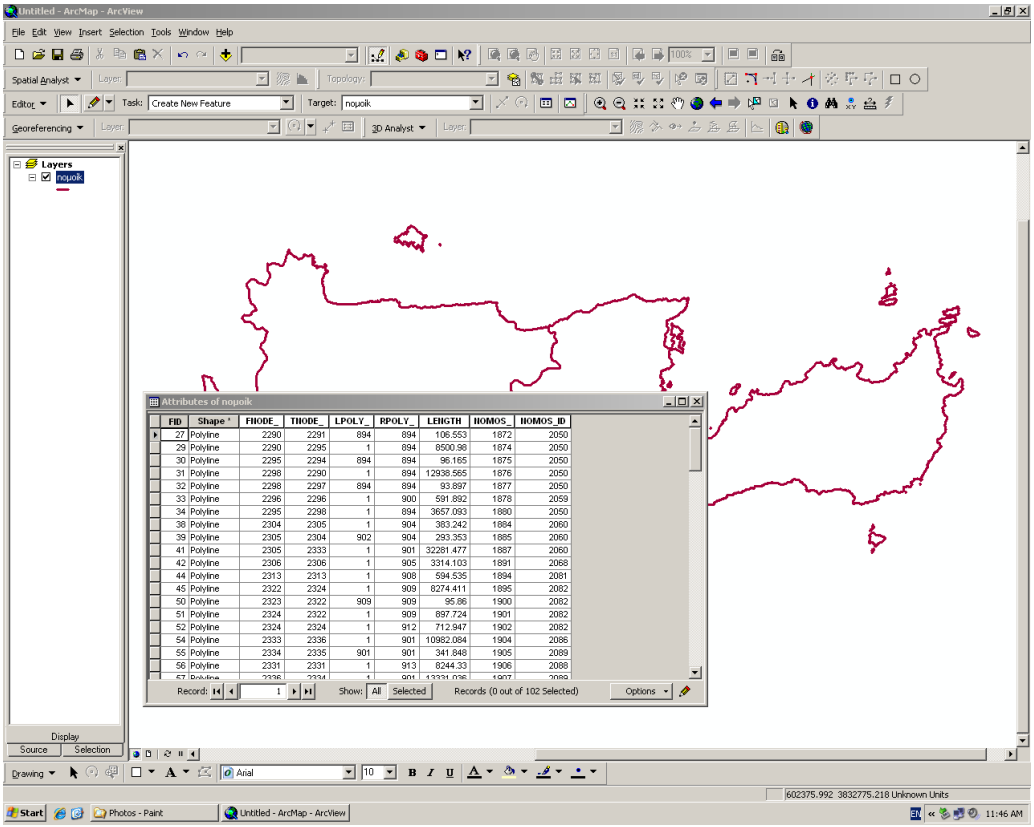
Έτσι δημιουργείται ένα νέο shapefile αρχείο πολυγώνου (Polygon). Στη συνέχεια στο δημιουργημένο αρχείο shapefile σχεδιάζουμε την περιοχή μελέτης μας. Αυτό πραγματοποιείται με την παρακάτω διαδικασία:

Εργαλείο σχεδιασμού (editor) → σχεδιάζω (editing) → παύση σχεδιασμού (stop editing) → αποθήκευση (save edits).



Εικόνα 4.2 Σχεδιασμός στο περιβάλλον του προγράμματος ArcGIS

Συγχρόνως τα δεδομένα που εισάγουμε καταγράφονται στον πίνακα (table) κάθε shapefile αρχείου.



Εικόνα 4.3 : Table shapefile αρχείου

4.2 Γενική αναφορά στην μεθοδολογία

Στη συγκεκριμένη έρευνα εξετάστηκε ένας αριθμός παραγόντων (9 παράγοντες) για την εκτίμηση του μεγέθους ευπάθειας ρύπανσης των υπογείων υδάτων για την περιοχή μελέτης. Οι 9 παράγοντες που χρησιμοποιήσαμε για την εκτίμηση κινδύνου στη ρύπανση μπορούν να χωριστούν σε ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει παράγοντες 1, 6 σχετίζονται με τις υδραυλικές ιδιότητες του υδροφόρου ορίζοντα, που δεν εξαρτώνται από εξωτερικούς παράγοντες. Έτσι χαρακτηρίζουν την εγγενή ευπάθεια του υδροφόρου ορίζοντα. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από 2,3,4,5,7,9 παράγοντες που σχετίζονται με την κοινωνικοοικονομική κατάσταση και την ανάπτυξη της περιοχής μελέτης, λόγω της επίπτωσης εξωτερικών ανθρωπογενών δυνάμεων. Έτσι περιγράφει τη συγκεκριμένη ευπάθεια του υδροφόρου ορίζοντα. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τον τελευταίο παράγοντα 8, ο οποίος σχετίζεται ιδιαίτερα με τις γεωλογικές συνθήκες, όπως οι περιοχές που επηρεάζονται από τη διείσδυση αλμυρού. Οι 9 παράγοντες:

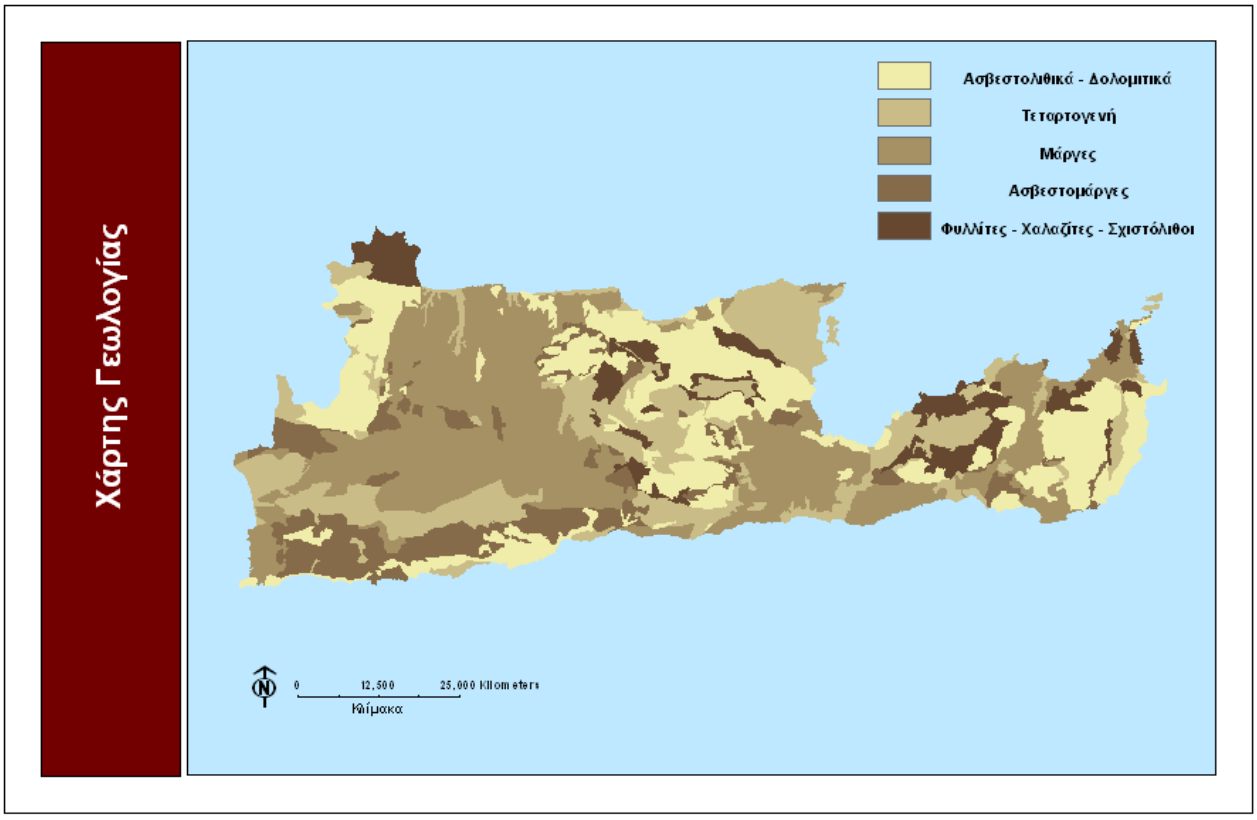
1) Η γεωλογία
2) Οι χρήσεις γης
3) Οι οικισμοί
4) Το οδικό δίκτυο
5) Τα ποτάμια
6) Το βάθος του υδροφορέα
7) Οι περιοχές Natura
8) Οι περιοχές που εμφανίζουν το φαινόμενο της υφαλμύρινσης
9) Οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλό δείκτη νιτρορύπανσης

Αρχικά δημιουργήσαμε shapefile αρχεία για κάθε έναν από τους παράγοντες και στη συνέχεια μετατρέψαμε τα αρχεία shapefile σε αρχεία raster για τη δημιουργία 9 τελικών χαρτών (κάθε χάρτης αντιστοιχεί σε έναν παράγοντα). Έπειτα κατασκευάσαμε δύο σενάρια , όπου σε κάθε ένα τοποθετήσαμε διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας για τον κάθε παράγοντα. Κάθε ένας από τους 9 χάρτες (αρχεία raster) ταξινομήθηκε σε 5 κοινές κλάσεις για όλους τους χάρτες ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να τους συνδυάσουμε σε μια κοινή κλίμακα. Μετά από το συνδυασμό των 9 χαρτών και σύμφωνα με τα δύο σενάρια καταλήξαμε σε δύο τελικούς χάρτες (έναν για κάθε σενάριο) που απεικονίζουν την εκτίμηση κινδύνου ρύπανσης των υπογείων υδάτων της υπό μελέτη περιοχής.

4.3 Ανάλυση κάθε παράγοντα

4.3.1 Παράγοντας : Γεωλογία

Η περιοχή που μελετήσαμε, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αποτελείται από πέντε γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι οποίοι είναι: α) τα ασβεστολιθικά - δολομιτικά πετρώματα, β) οι ασβεστομάργες, γ) φυλλίτες - χαλαζίτες- σχιστόλιθοι, δ) οι μάργες, ε) τεταρτογενείς σχηματισμοί. Η κατηγοριοποίηση αυτού του παράγοντα έγινε με βάση την διαπερατότητα που εμφανίζουν οι γεωλογικοί αυτοί σχηματισμοί. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα του γεωλογικού σχηματισμούς τόσο πιο μεγάλος είναι ο κίνδυνος ρύπανσης των υπογείων στις αντίστοιχες περιοχές. Όπως θα δούμε και παρακάτω τα ασβεστολιθικά - δολομιτικά πετρώματα είναι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζουν και τη μεγαλύτερη διαπερατότητα (Gemitzi A., et al 2006), τα πετρώματα αυτά ονομάζονται και καρστικοί σχηματισμοί. Οι καρστικοί σχηματισμοί θεωρούνται αρκετά ευπαθή περιβάλλοντα στη ρύπανση, εξαιτίας της ανομοιογενής τους δομής. Το είδος αυτών των σχηματισμών θεωρείται σαν ένα δίκτυο αγωγών υψηλής διαπερατότητας όπου περιέχει μεγάλους όγκους βράχων υψηλής διαπερατότητας. Εξαιτίας της μεγάλης διαπερατότητας των καρστικών σχηματισμών το επίπεδο νερού στα εδάφη αυτά είναι χαμηλό (Doerfiger, Jeammin, Zwahlen, 1999).



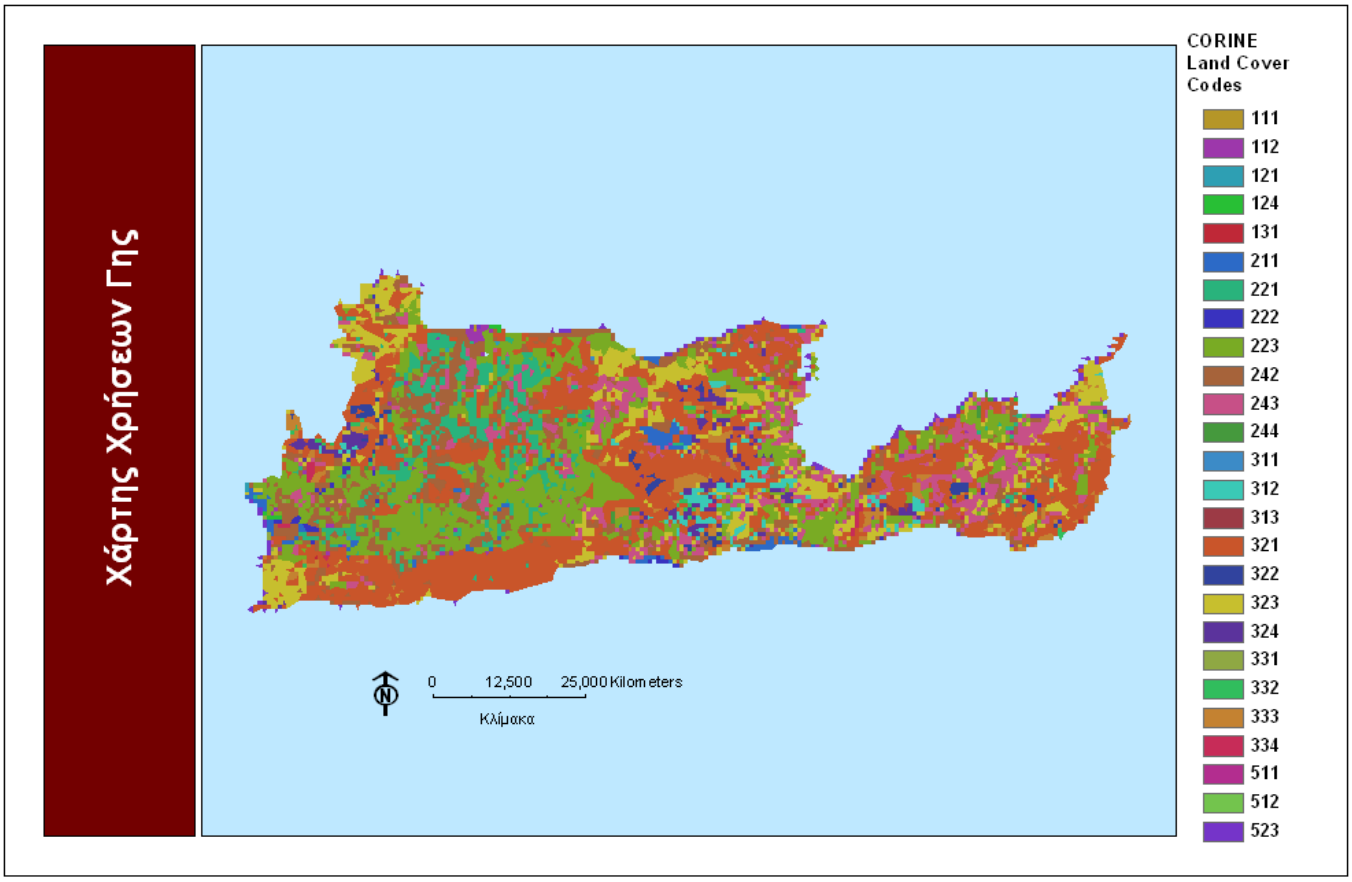
Εικόνα 4.4 : Το shapefile αρχείο της γεωλογίας Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του αρχείου shapefile γεωλογία, όσον αφορά την περιοχή μελέτης (Εικόνα 4.4) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του γεωλογικού χάρτη στο πρόγραμμα (Arc Map GIS), στη συνέχεια γεωαναφέραμε το χάρτη μας και μέσω της ψηφιοποίησης αυτού δημιουργήσαμε το αρχείο shapefile (με τη διαδικασία που προαναφέραμε) των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης μας.

4.3.2 Παράγοντας: Χρήσεις γης

Αυτός ο παράγοντας περιλαμβάνει όλους τους τύπους των χρήσεων γης που συναντάμε στη υπό μελέτη περιοχή μας. Τα δεδομένα για τις χρήσεις γης τα συλλέξαμε με τη βοήθεια του προγράμματος Corine Land Cover 2000.

Στις χρήσεις γης περιλαμβάνονται περιοχές, (Εικόνα 4.5), με πυκνά δάση, αραιά δάση, λιβάδια, αγροτικές και αστικές, περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, κ.τ.λ. Ο διαχωρισμός αυτών των περιοχών σε 5 κλάσεις έγινε με βάση το ποσοστό της φυτοκάλυψης καθώς επίσης και βάση του βαθμού επιβάρυνσης της κάθε χρήσης Γης ξεχωριστά στον υπόγειο υδροφορέα. Συγκεκριμένα όσο μεγάλη έκταση ριζικού συστήματος έχουμε τόσο αυξάνεται η συγκράτηση ρύπων στην ακόρεστη ζώνη. Επομένως όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της φυτοκάλυψης τόσο πιο μικρός είναι ο κίνδυνος ευπάθειας στη ρύπανση των υδάτων. Για παράδειγμα οι περιοχές όπου οι χρήσεις γης προέκυψαν μετά από έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα - επέμβαση στη φυτοκάλυψη - παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο στη ρύπανση των υπογείων υδάτων.



Εικόνα 4.5 : Το shapefile αρχείο των χρήσεων γης της Ανατολικής Κρήτης

Αναλυτικά παρουσιάζονται οι χρήσεις γης για την περιοχή μελέτης (Εικόνα 4.5):

Συνεχής Αστική Περιοχή (Κωδικός111):

Το μεγαλύτερο ποσοστό της στεριάς καλύπτεται από οικοδομήματα και από δίκτυα μεταφοράς. Τα κέντρα των αστικών περιοχών μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν πάνω στις δορυφορικές εικόνες με τη συμβολή των τοπογραφικών χαρτών. Σε μερικές περιπτώσεις , η διάκριση μεταξύ συνεχών και μη συνεχών αστικών περιοχών είναι αρκετά δύσκολη. Τα όρια της περιοχής ορίζονται κυρίως από την ήδη οριοθετημένη περιοχή και το μέγεθος της βλάστησης. Αν η αστική περιοχή διασχίζεται από ποταμό ή δρόμο μικρότερο από 100m πλάτος τότε αυτοί αγνοούνται.

Μη Συνεχής Αστική Περιοχή (Κωδικός 112):

Οι μη συνεχείς αστικές περιοχές περιλαμβάνουν κατοικήσιμες εκτάσεις γύρω από τα όρια των περιοχών των αστικών κέντρων και είναι κυρίως αστικές περιοχές της υπαίθρου. Αυτές οι περιοχές αποτελούνται από συγκροτήματα διαμερισμάτων, μονοκατοικίες, κήπους, δρόμους και πάρκα.

Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες(Κωδικός 121):

Τεχνητές επιφάνειες - περιοχές (τσιμέντο, άσφαλτος) που δεν καταλαμβάνουν πλέον βλάστηση, η οποία περιλαμβάνει επίσης κτίρια ή και ελάχιστη βλάστηση.

Λιμάνια (Κωδικός 123):

Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν αποβάθρες, ναυπηγεία και μαρίνες. Για τη σκιαγράφηση τέτοιων περιοχών απαιτείται η γεωγραφική αποτύπωση της περιοχής. Η χρήση τοπογραφικών χαρτών και φωτογραφιών αποτελούν σημαντικό εργαλείο.

Αεροδρόμια (Κωδικός 124):

Οι περιοχές αεροδρομίων περιλαμβάνουν τους αεροδιάδρομους, τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου και όλες τις περιοχές που χρησιμοποιεί το αεροδρόμιο. Οι αεροδιάδρομοι που βρίσκονται κοντά σε χόρτο-λιβαδικές εκτάσεις είναι εύκολο να εντοπιστούν από αεροφωτογραφίες. Στη έκταση του αεροδρομίου περιλαμβάνονται επίσης τα γραφεία, τα υπόστεγα, οι χώροι επισκευής των αεροσκαφών, οι χώροι αποθήκευσης, οι δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων και οι χώροι στάθμευσης.

Περιοχές εξόρυξης μεταλλευμάτων (Κωδικός 131):

Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν ορυχεία ή άλλες εγκαταστάσεις εξόρυξης μεταλλευμάτων. Αποκλείονται οι περιοχές που έχουμε εξορύξεις από τις κοίτες ποταμών. Τα ορυχεία είναι εύκολο να αναγνωριστούν από αεροφωτογραφίες αφού η εικόνα τους διαφέρει από τις περιοχές που είναι πλησίον σε αυτά.

Μη αρδευόμενες καλλιεργήσιμες περιοχές (Κωδικός 211):

Οι περιοχές αναφέρονται σε εκτάσεις σπαρμένες με δημητριακά, όσπρια, φυτά με βρώσιμες ρίζες και εδάφη αγρανάπαυσης. Περιλαμβάνουν περιοχές με λουλούδια, δέντρα καθώς επίσης αρωματικά φυτά, βότανα και φυτά κατάλληλα για μαγείρεμα. Αποκλείονται οι μόνιμοι βοσκότοποι.

Μόνιμα αρδευόμενες περιοχές (Κωδικός 212):

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις απαιτούν μόνιμο ή περιοδικό σύστημα άρδευσης (κανάλια άρδευσης, δίκτυο αποστράγγισης). Οι περισσότερες καλλιεργήσιμες εκτάσεις δεν αναπτύσσονται χωρίς την ύπαρξη ενός άρτια εγκαταστημένου δικτύου άρδευσης. Αποκλείονται οι περιοδικά αρδευόμενες περιοχές.

Αμπελώνες (Κωδικός 221):

Περιοχές σπαρμένες με αμπέλια. Για τον εντοπισμό τέτοιων περιοχών δεν απαιτείται μόνο οι χρήση αεροφωτογραφιών αλλά και πεδολογικών χαρτών. Ένα σημαντικό στοιχείο ύπαρξης αμπελιών είναι οι περιοχές αυτές να είναι κατηφορικές.

Περιοχές με βλάστηση καρποφόρων δέντρων και μούρα (Κωδικός 222):

Περιοχές με καρποφόρα δέντρα (καστανιές, καρυδιές) και θάμνους. Οι αεροφωτογραφίες για τον εντοπισμό τέτοιων περιοχών δε αποτελούν σημαντικό εργαλείο. Απαιτούνται συμπληρωματικά δεδομένα όπως τοπογραφικοί χάρτες και μεγάλης ποικιλίας θεματικοί χάρτες.

Ελαιώνες (Κωδικός 223):

Περιοχές σπαρμένες με ελιές αλλά και ανάμεικτα σπαρμένες με ελιές και αμπέλια.

Σύνθετες πρότυπες καλλιέργειες (Κωδικός 242):

Περιλαμβάνει καλλιεργήσιμες εκτάσεις που σπέρνονται για ένα έτος, βοσκότοπους και γενικά καλλιεργήσιμες περιοχές μη σταθερής διάρκειας. Η χρήση αεροφωτογραφιών αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό αυτών των περιοχών καθώς επίσης και οι τοπογραφικοί χάρτες βοηθούν στην αποκάλυψη του βιοφυσικού περιεχομένου αυτών των περιοχών.

Αγροτικές εκτάσεις με σημαντική φυσική βλάστηση (Κωδικός 243):

Περιοχές με σημαντική φυσική βλάστηση.

Αγρό - δασικές περιοχές (Κωδικός 244):

Ετήσιες καλλιέργειες και κτηνοτροφικές εκτάσεις υπό τη δασική κάλυψη διαφόρων δασικών ειδών.

Δάση με πλατύ φύλλωμα (Κωδικός 311):

Περιλαμβάνει εκτάσεις με βλάστηση κυρίως δέντρων, ημίθαμνων και θάμνων με πλατύ φύλλωμα. Η δυσκολία που συναντάται για τον εντοπισμό τέτοιων περιοχών είναι η σκιά που προέρχεται από τα δέντρα.

Κωνοφόρα Δάση (Κωδικός 312):

Περιλαμβάνει εκτάσεις με βλάστηση κυρίως κωνοφόρων δέντρων, ημίθαμνων και θάμνων.

Μεικτά Δάση (Κωδικός 313):

Περιλαμβάνει εκτάσεις με βλάστηση που συνδυάζει πλατύ φύλλωμα και κυρίως κωνοφόρα δέντρα, ημίθαμνους και θάμνους.

Φυσικά λιβάδια (Κωδικός 321):

Χαμηλής παραγωγικότητας λιβάδια. Συχνά βρίσκονται σε ανώμαλα και ανομοιογενή εδάφη. Πολλές φορές τέτοιες περιοχές τις συναντάμε σε βραχώδης και δενδρώδης εκτάσεις. Αυτή η κατηγορία χρήσης γης συναντάται σε περιοχές με έντονη αγροτική δραστηριότητα.

Άγονες περιοχές και χερσότοποι (Κωδικός 322):

Βλάστηση με μικρή και περιορισμένη κάλυψη όπου κυριαρχούν οι θάμνοι, οι ημίθαμνοι και οι πόες. Όπως για παράδειγμα ψυχανθή, ακανθώδεις θάμνοι, ρείκι, κ.τ.λ.

Σκληρόφυλλη Βλάστηση (Κωδικός 323):

Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση (μακί). Τα μακί είναι πυκνή βλάστηση που αποτελούνται από πολυάριθμους θάμνους που φυτρώνουν συνήθως σε πυρολιθικά εδάφη στην περιοχή της Μεσογείου.

Μεταβατικές δασώδεις εκτάσεις / θάμνοι (Κωδικός 324):

Περιοχές με θαμνώδη και ποώδη βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα.

Ακροθαλασσιές, αμμόλοφοι και αμμουδιές (Κωδικός 331):

Παραλιακές περιοχές από άμμο και βότσαλα σε αμμουδιές ή ηπειρωτικές εκτάσεις, περιλαμβάνει κοίτες και κανάλια ροής με χειμαρρώδη συστήματα. Οι παραλιακές περιοχές πρέπει να έχουν λιγότερο από 100 m πλάτος για να συμπεριληφθούν σε αυτή την κατηγορία χρήσης γης.

Βραχώδεις περιοχές (Κωδικός 332):

Περιλαμβάνει απότομες περιοχές καλυμμένες με λίθους, γκρεμνούς, σημεία συνάντησης κοιτάσματος με την επιφάνεια του εδάφους, περιοχές που έχουν υποστεί διαβρώσεις, βράχους και ξέρες.

Περιοχές με αραιή βλάστηση (Κωδικός 333):

Περιοχές με τούνδρες, στέπες και έρημους καθώς και διάσπαρτες περιοχές με μεγάλο ύψος βλάστηση.

Καμένες περιοχές (Κωδικός 334):

Περιοχές που προσβλήθηκαν από πρόσφατες πυρκαγιές και παραμένουν ακόμα μαύρες. Περιλαμβάνει δασικές εκτάσεις που προσβλήθηκαν από φωτιές. Ο εντοπισμός αυτών των περιοχών είναι εύκολος με τη χρήση μεγάλης ποικιλίας φωτογραφιών.

Ποταμοί (Κωδικός 511):

Φυσικά ή τεχνητά υδάτινα ρεύματα που χρησιμεύουν ως κανάλια αποστράγγισης των υδάτων. Περιλαμβάνει κανάλια. Ελάχιστο πλάτος: 100 μ.

Υδάτινες Περιοχές (Κωδικός 512):

Φυσικά ή τεχνητά τμήματα νερού

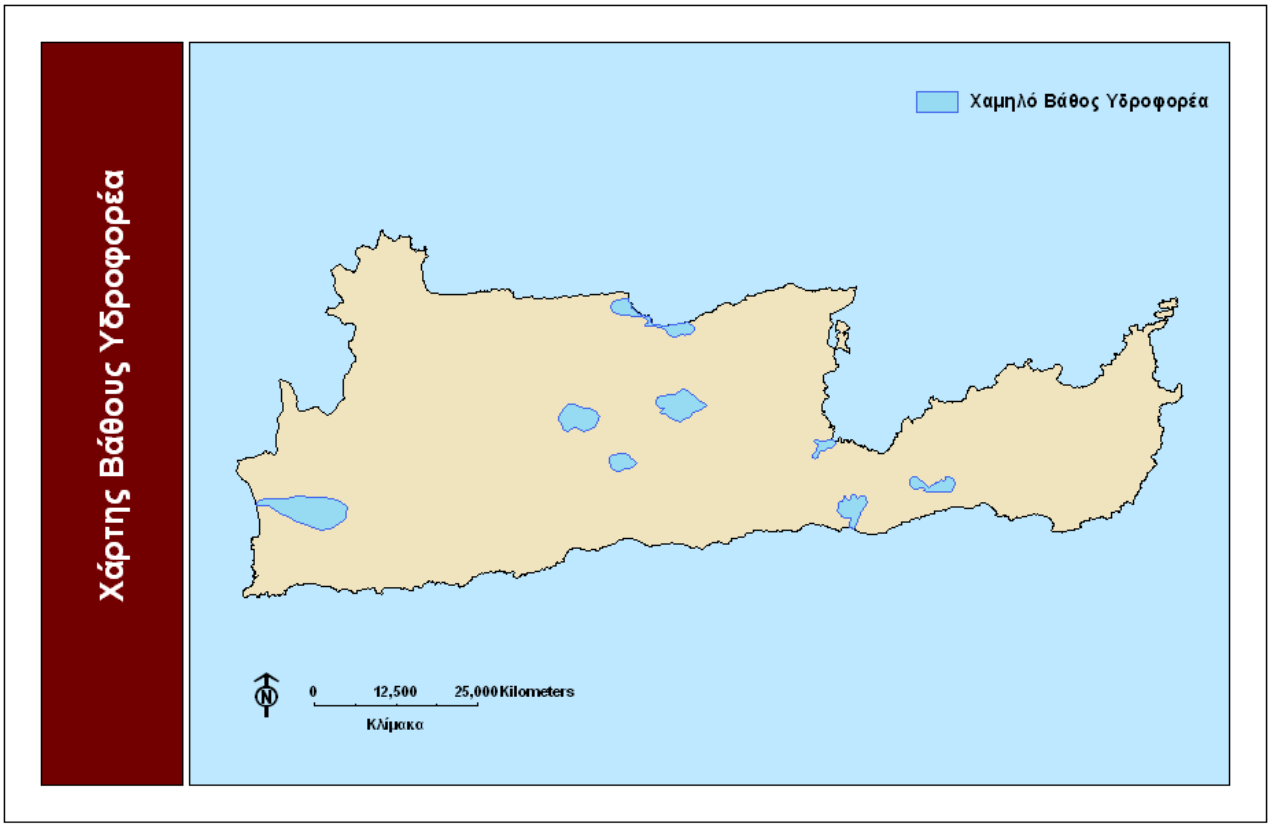
Θάλασσα - Ωκεανοί (Κωδικός 523):

Θαλάσσιες ζώνες που χαρακτηρίζονται με το χαμηλότερο όριο παλίρροιας

Η δημιουργία του shapefile αρχείου των χρήσεων γης έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη, από το πρόγραμμα Corine Land Cover 2000 στο πρόγραμμα (Arc Map GIS), στη συνέχεια γεωαναφέραμε το χάρτη μας και καταλήξαμε στη μετατροπή του χάρτη σε αρχείο shapefile.

4.3.3 Παράγοντας: Βάθος του υδροφορέα σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους

Τα ύψη του υδροφορέα της περιοχής εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια του Γενικού Γραμματέα της Υπηρεσίας Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης κ. Μπουλουκάκη Ηρακλή. Συγκεκριμένα σύμφωνα με τις πληροφορίες του κ. Μπουλουκάκη πήραμε ενδεικτικά τιμές των βαθών του υδροφορέα της περιοχής μας. Έτσι για παράδειγμα οι περιοχές πλησίον της ακτογραμμής παρουσιάζουν μηδενικό βάθος ενώ οι περιοχές στα κεντρικά του νομού παρουσιάζουν μεγαλύτερο βάθος υδροφορέα. Η κατηγοριοποίηση λοιπόν αυτού του παράγοντα έγινε με βάση το χαμηλό βάθος όλων των σημείων αναφοράς του υδροφορέα. Επομένως όσο πιο χαμηλό βάθος συναντάμε τόσο αυξάνεται η ευπάθεια στην ρύπανση. Οι περιοχές λοιπόν με μηδενικό βάθος εμφανίζουν και το μεγαλύτερο κίνδυνο στη ρύπανση.

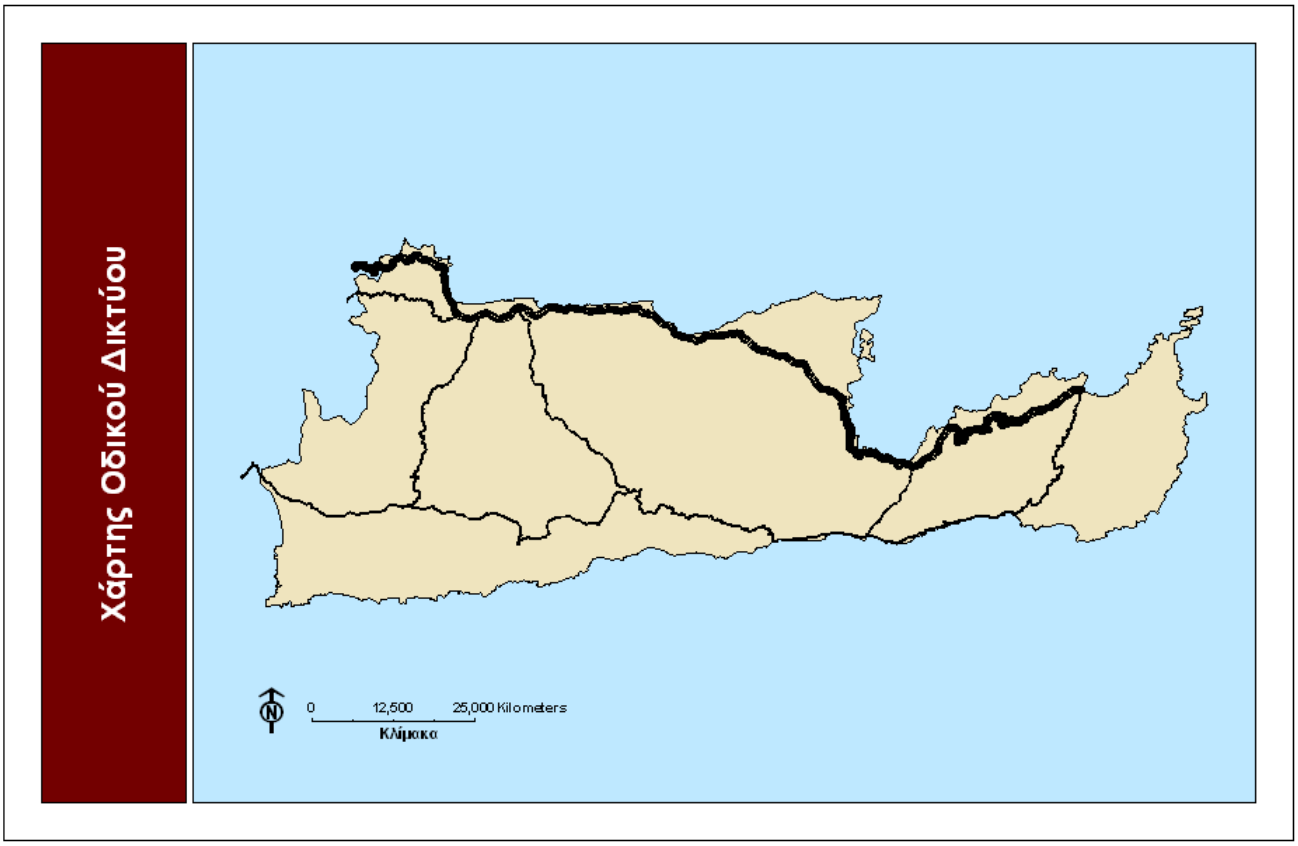


Εικόνα 4.6 : Το shapefile αρχείο του βάθους του υδροφορέα της Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του shapefile αρχείου του βάθους του υδροφορέα (Εικόνα 4.6) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη του με τα όρια της περιοχής, στη συνέχεια με τη βοήθεια της δυνατότητας που μας προσφέρει το πρόγραμμα GIS σχεδιάσαμε τις περιοχές που ήταν γνωστό (δηλ. 5-10m) το βάθος του υδροφορέα και καταλήξαμε στη μετατροπή του χάρτη σε αρχείο shapefile .

4.3.4 Παράγοντας: Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο αποτελεί πηγή εκπομπών βλαβερών χημικών και προκαλεί ρύπανση των υπογείων υδάτων σε περίπτωση ατυχήματος. Το οδικό δίκτυο χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις κεντρικές αρτηρίες της περιοχής οι οποίες χωρίζονται σε πέντε ζώνες (buffer) των 100, 200, 300, 400, 500 m. Αντίστοιχα οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στην κεντρική αρτηρία παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο τρωτότητας υπογείων υδάτων. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις μη κεντρικές αρτηρίες του οδικού δικτύου. Και αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πέντε ζώνες με μικρότερες αποστάσεις όμως αφού ο κίνδυνος τρωτότητας ελαττώνεται. Οι πέντε αυτές ζώνες είναι : 20, 40, 60, 80, 100 m. Έτσι η ζώνη επίδρασης από το οδικό δίκτυο φθάνει σε απόσταση 500 m και 100 m αντίστοιχα (Gemitzi et al 2006).



Εικόνα 4.7 : Το shapefile αρχείο του οδικού δικτύου της Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του shapefile αρχείου του οδικού δικτύου (Εικόνα 4.7) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη της Ανατολικής Κρήτης με τα όρια της περιοχής, στη συνέχεια με τη βοήθεια της δυνατότητας που μας προσφέρει το πρόγραμμα GIS σχεδιάσαμε τις κύριες κεντρικές και περιφερειακές αρτηρίες του οδικού δικτύου των νομών και καταλήξαμε στη μετατροπή του χάρτη σε αρχείο shapefile. Στην περίπτωση του οδικού δικτύου όπως και για τα ποτάμια της περιοχής θα πρέπει να δημιουργήσουμε στο shapefile αρχείο μας ζώνες επιρροής (buffer). Η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

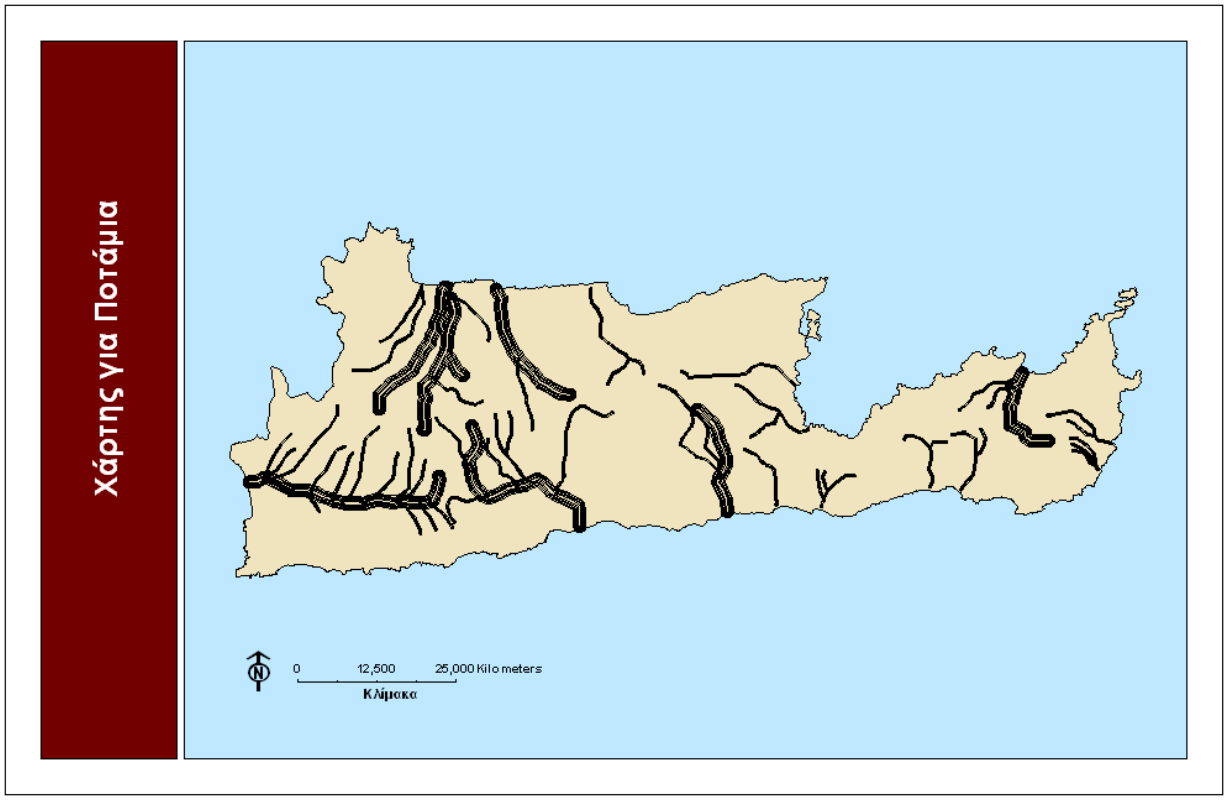
Ζώνες επιρροής/περιμετρικές ζώνες (buffer zones)

Δημιουργία δακτυλίων (περιμετρικών ζωνών) γύρω από τα στοιχεία ενός επιπέδου. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την εύρεση στοιχείων που βρίσκονται εντός συγκεκριμένων περιοχών (εντός των ζωνών που δημιουργούνται). Ζώνες επιρροής κατασκευάσαμε για τους δρόμους και τους επτά κυριότερους ποταμούς της Ανατολικής Κρήτης. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε είναι η εξής:

Εισάγουμε το shapefile όπου στην δεδομένη περίπτωση είναι οι δρόμοι, ενεργοποιούμε την κατάσταση editor για το συγκεκριμένο shapefile που θέλω να δημιουργήσω ζώνες επιρροής (buffer) .Με τη βοήθεια του εργαλείου Multiple Ring Buffer του προγράμματος GIS έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε τις 5 ζώνες επιρροής για τις αντίστοιχες αποστάσεις (ESRI, 2006. Arc View 9.2 User Manuals).

4.3.5 Παράγοντας: Ποτάμια

Οι νομοί Ηρακλείου – Λασιθίου έχουν επτά κύρια ποτάμια. Οι ποταμοί αυτοί είναι ο Ξεροπόταμος, ο Γεροπόταμος, ο Καρτερός, ο Γιόφυρος, ο Αναποδάρης, ο Μύρτος και το Βαθύ Ποτάμι. Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια στοιχεία για τους προαναφερθέντες ποταμούς. Κάθε ποτάμι αποτελεί αποδέκτη αποβλήτων που πιθανόν να μην έχουν υποστεί επεξεργασία, ως εκ τούτο περιοχές που βρίσκονται κοντά στις κοίτες των ποταμών αναμένεται να εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο ως αναφορά την ευπάθεια στην ρύπανση των υπογείων υδάτων. Οι περιοχές που βρίσκονται πλησίον των ποταμών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στο κύριο κομμάτι του ποταμού και η δεύτερη στις περιοχές πλησίον των παραποτάμων. Η πρώτη κατηγορία χωρίζεται σε πέντε ζώνες με αποστάσεις 200, 400, 600, 800, 1000 m αντίστοιχα από τις όχθες των ποταμών, ενώ η δεύτερη κατηγορία σε πέντε ζώνες με αποστάσεις 40, 80, 120, 160, 200 m αντίστοιχα από τις όχθες των παραποτάμων. Έτσι οι ζώνες επίδρασης για τους ποταμούς φθάνει σε απόσταση 1000 m και 200 m αντίστοιχα (Gemitzi et al 2006).

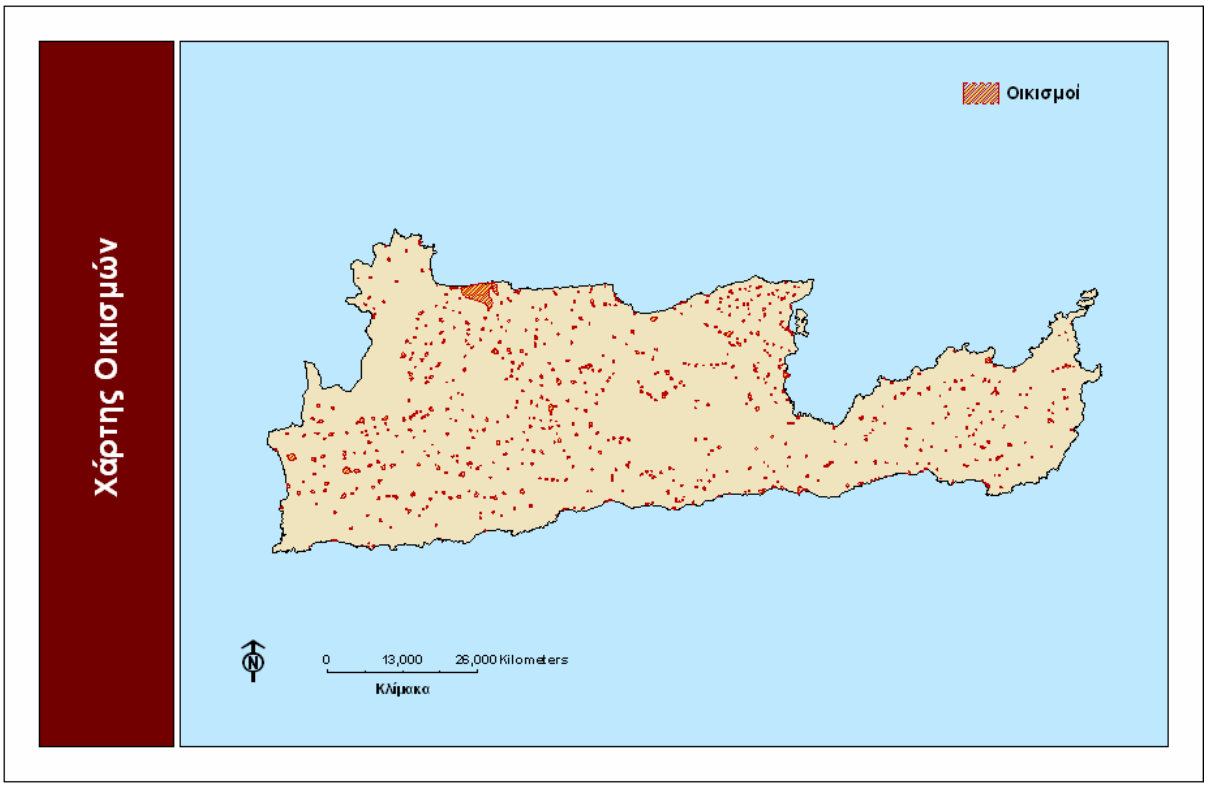


Εικόνα 4.8 : Το shapefile αρχείο των ποταμών της Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του shapefile αρχείου των ποταμών (Εικόνα 4.8) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη της Ανατολικής Κρήτης με τα όρια της περιοχής, στη συνέχεια με τη βοήθεια που μας προσφέρει το πρόγραμμα σχεδιάσαμε τους επτά κύριους ποταμούς των νομών και καταλήξαμε στη μετατροπή του χάρτη σε αρχείο shapefile. Στην περίπτωση των ποταμιών της περιοχής θα πρέπει να δημιουργήσουμε στο shapefile αρχείο μας ζώνες επιρροής σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράψαμε προηγουμένως.

4.3.6 Παράγοντας: Οικισμοί

Εκτός από την παρουσία αστικών κέντρων η ευπάθεια των υπογείων υδάτων στην ρύπανση επηρεάζεται και από την έκταση που καταλαμβάνει ο κάθε οικισμός. Αυτοί οι δύο παράμετροι δεν ενσωματώνονται στον παράγοντα της χρήσης γης. Η ζώνη επίδρασης γύρω από κάθε οικισμό δημιουργείται με βάση την έκταση (m^2). Επομένως όσο μεγαλύτερη έκταση έχει ο κάθε οικισμός τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος ρύπανσης (Gemitzi et al 2006). Έτσι για παράδειγμα όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω η πόλη του Ηρακλείου, ως η μεγαλύτερη πόλη σε έκταση μεταξύ των νομών Ηρακλείου - Λασιθίου παρουσιάζει των μεγαλύτερο κίνδυνο ρύπανσης στα υπόγεια ύδατα.

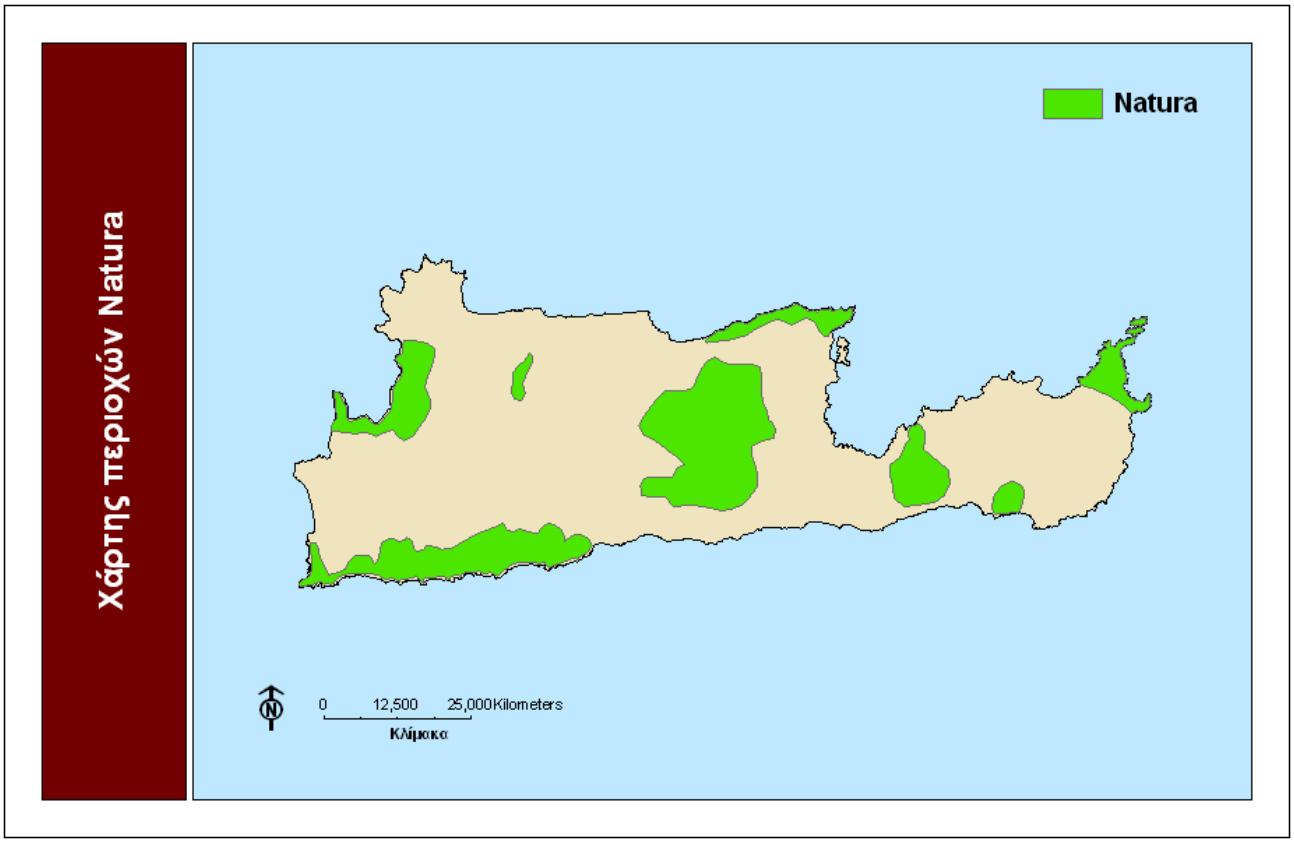


Εικόνα 4.9 : Το shapefile αρχείο των οικισμών της Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του shapefile αρχείου των οικισμών (Εικόνα 4.9) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη των οικισμών στο πρόγραμμα (Arc Map GIS) και στη συνέχεια μετατρέπουμε τον χάρτη σε αρχείο shapefile .

4.3.7 Παράγοντας: Περιοχές Natura

Η περιοχή που ερευνάται περιλαμβάνει περιοχές που ανήκουν στα ευρωπαϊκά δίκτυα Natura τα οποία προστατεύονται από την ελληνική νομοθεσία, τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή άλλες παγκόσμιες συνθήκες όπως τη συνθήκη του Ramsar (1971). Βιομηχανικές ή αγροτικές δραστηριότητες απαγορεύονται στις περιοχές αυτές, έτσι η παρουσία τέτοιων περιοχών που προστατεύονται από διεθνείς οργανισμούς δεν συμβάλλουν στην αύξηση της στην ρύπανση των υπογείων υδάτων στην περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση οι συγκεκριμένες περιοχές παρουσιάζουν χαμηλό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων αφού προστατεύονται από διεθνής συνθήκες (Gemitzi et al 2006).



Εικόνα 4.10 : Το shapefile αρχείο των περιοχών Natura της Ανατολικής Κρήτης

Η δημιουργία του shapefile αρχείου των περιοχών Natura (Εικόνα 4.10) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη των περιοχών Natura στο πρόγραμμα (Arc Map GIS) και στη συνέχεια μετατρέπουμε τον χάρτη σε αρχείο shapefile με την γνωστή διαδικασία.

4.3.8 Παράγοντας: Περιοχές Υφαλμύρινσης

Με τον όρο διείσδυση του αλμυρού νερού εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού σε συγκεκριμένη τοποθεσία και βάθος. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε παράκτιους υδροφορείς και προκαλεί προβλήματα στην ποιότητα των υπογείων υδάτων. Η μελέτη του φαινομένου είναι σημαντική αφού αποτελεί την συνηθέστερη ρύπανση του γλυκού νερού. Το αλμυρό νερό που παρατηρείται στους υδροφορείς προέρχεται από:

- Θαλασσινό νερό σε παράκτιες περιοχές
- Θαλασσινό νερό που διείσδυσε σε υδροφορείς κατά το παρελθόν
- Αλάτι από δρόμους αλατιού ή λεπτές στρώσεις αλατιού ή από διασπορά σε γεωλογικούς σχηματισμούς
- Υπολείμματα εξάτμισης νερού σε παλιρροιακές λίμνες, κοιλάδες, κ.τ.λ.
- Νερό από αρδευόμενη γη που καταλήγει σε ρυάκια
- Λύματα υψηλής αλατότητας ανθρώπινης προέλευσης

Η υφαλμύρινση των υδάτων των υπόγειων υδροφορέων σε περιοχές που είναι κοντά με τη θάλασσα οφείλεται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς παράγοντες:

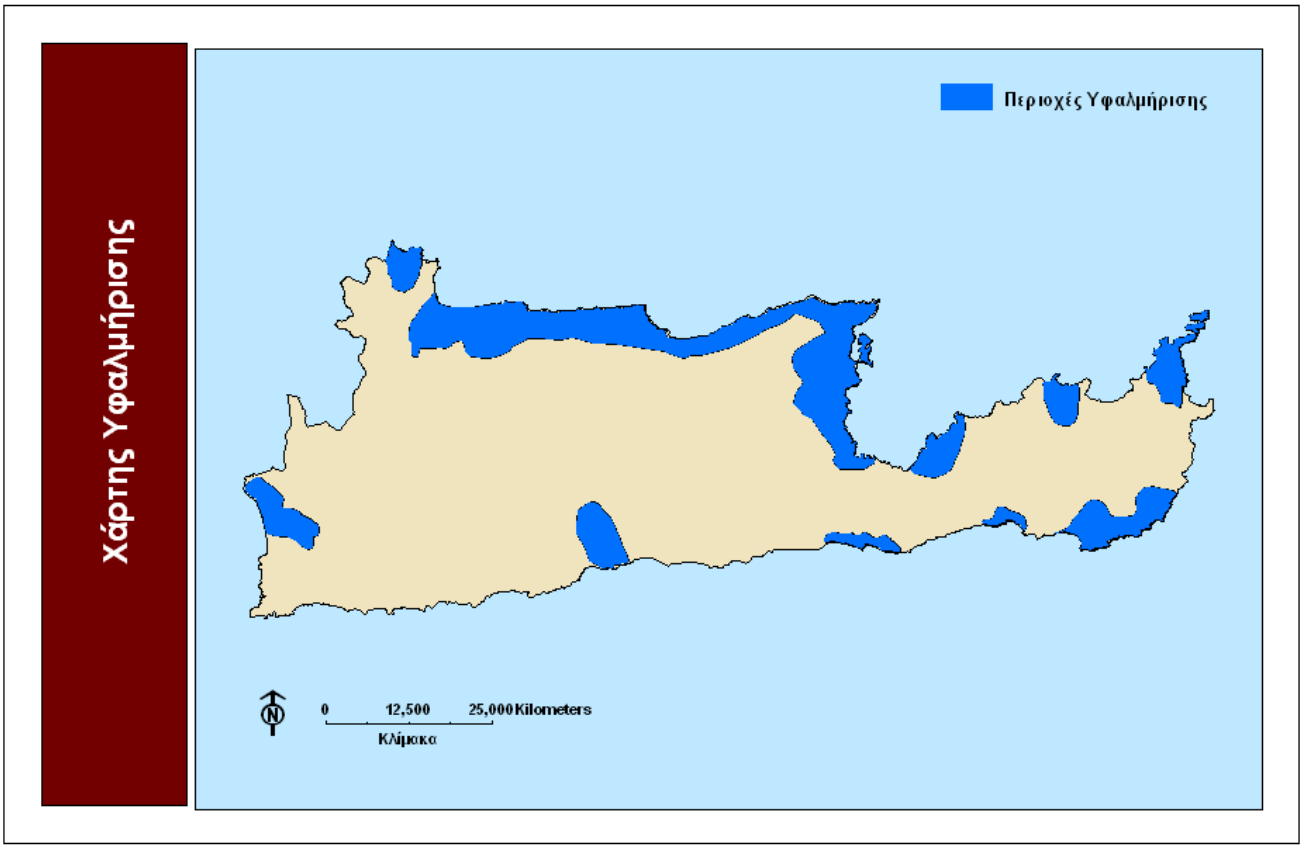
- Οι πρωτογενείς παράγοντες σχετίζονται με την μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και συνήθως συνδέεται με την ελάττωση των ποσοτήτων υδάτων που φθάνουν στους υδροφορείς. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν καρστικούς υδροφορείς και πρόκειται για περιοδική αλμυρότητα που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις.
- Οι δευτερογενείς παράγοντες συνδέονται με την υπερβολική άντληση. Τέτοια φαινόμενα είναι συνήθη σε εντατικά καλλιεργούμενες παράκτιες πεδινές εκτάσεις και λαμβάνουν χώρα σε ελεύθερους και περιορισμένους υδροφορείς.

Η αλμύρινση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων λαμβάνει χώρα υπό τα εξής σενάρια:

- Όταν οι καρστικοί αγωγοί βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε όλο το μήκος.

- Όταν το στεγανό διάφραγμα ανάμεσα στο καρστικό σύστημα και τη θάλασσα διαταραχθεί κατά θέσεις από τη διάβρωση ή τον τεκτονισμό.
- Όταν το στεγανό διάφραγμα είναι πολύ ρηχό, οπότε η κυκλοφορία γίνεται κάτω από αυτό.

Οι μηχανισμοί αυτοί οδηγούν και σε αυτογενή υφαλμύρινση, χωρίς την ύπαρξη ανθρώπινης δραστηριότητας.

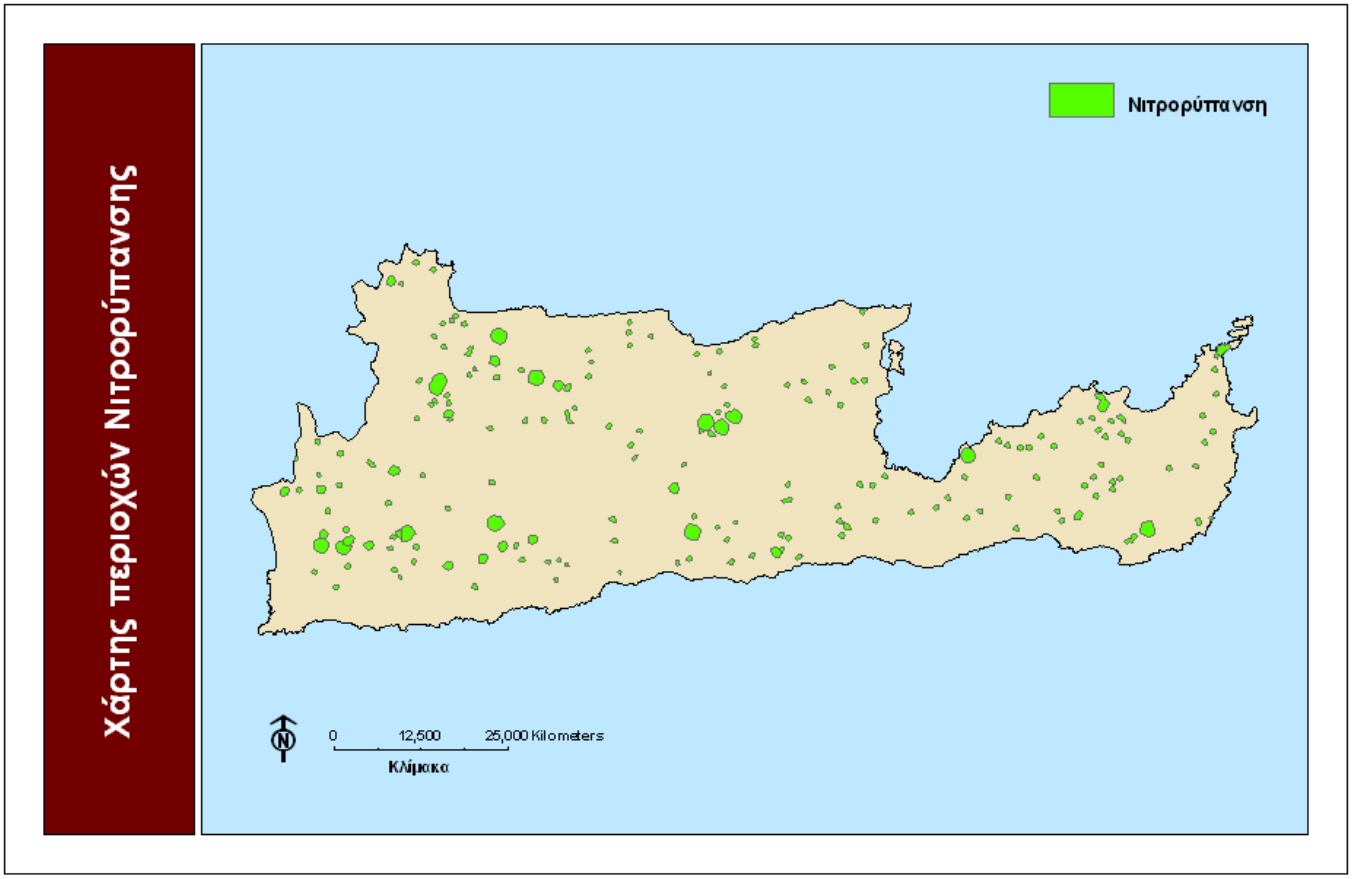


Εικόνα 4.11 : Το shapefile αρχείο των περιοχών υφαλμύρινσης της Ανατολικής Κρήτης

Στις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ακτές και όπου οι γεωλογικοί σχηματισμοί το επιτρέπουν, εντοπίζεται αλμυρό νερό σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Στις περιοχές που εξετάζουμε έχουμε εισχώρηση αλμυρών υδάτων σύμφωνα από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί. Ωστόσο φαινόμενα υφαλμύρινσης συναντάμε πιο έντονα σε περιοχές κοντά στις ακτές. Οι περιοχές αυτές εμφανίζουν μεγάλο κίνδυνο στην ρύπανση των υδάτων. (Βροντάκη, 2001). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι περιοχές που εμφανίζουν το φαινόμενο της υφαλμύρινσης (Εικόνα 4.11).

4.3.9 Παράγοντας: Περιοχές με υψηλή συγκέντρωση νιτρικών

Η ΥΑ 161/1997/Β-519, που αφορά την «Προστασία των υδάτων από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης», ορίζει ως νιτρορύπανση την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων γεωργικής προέλευσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται για την ανθρώπινη υγεία, βλάβες στους ζώντες οργανισμούς και στα υδατικά οικοσυστήματα ή ζημιές στις εγκαταστάσεις αναψυχής ή να παρακωλύονται άλλες θεμιτές χρήσεις των υδάτων. Η κύρια πηγή αζωτούχων ενώσεων είναι τα γεωργικά λιπάσματα, τα οποία χρησιμοποιούνται με σκοπό την τόνωση της ανάπτυξης των φυτών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται σύμφωνα με την παραπάνω απόφαση η ζωική κοπριά, τα κατάλοιπα ιχθυοτροφείων και η λυματολάσπη.



Εικόνα 4.12 : Το shape file αρχείο των περιοχών νιτρορύπανσης της Ανατολικής Κρήτης

Η εμφάνιση μεγάλων συγκεντρώσεων νιτρικών παρατηρείται σε αγροτικές περιοχές όπως σε πεδινές (κάμπος Μεσσαράς, κάμπος Καστελίου, κάμπος Έμπαρου, οροπέδιο Λασιθίου), αλλά και σε ημιορεινές-παραθαλάσσιες περιοχές όπου επικρατούν τα θερμοκήπια (Τυμπάκι, Μοίρες, Κερατόκαμπος, Άρβη, Ιεράπετρα, Μακρύς Γιαλός).

Η δημιουργία του shapefile αρχείου των περιοχών νιτρορύπανσης (Εικόνα 4.12) έγινε αρχικά με την εισαγωγή του χάρτη των περιοχών

νιτρορύπανσης στο πρόγραμμα (Arc Map GIS) και στη συνέχεια μετατρέπουμε τον χάρτη σε αρχείο shapefile με την γνωστή διαδικασία.

4.4 Ταξινόμηση των αρχείων raster σε κλάσεις

Σύμφωνα με τα παραπάνω δημιουργήσαμε 9 χάρτες σε μορφή shapefile, όπου ο κάθε χάρτης αντιστοιχεί σε κάθε ένα παράγοντα ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Για να καταλήξουμε στη δημιουργία του τελικού μας χάρτη, που συνδυάζει τους 9 τελικούς χάρτες, θα πρέπει να ταξινομήσουμε τα 9 αρχεία raster σε κλάσεις. Κατατάξαμε λοιπόν τα αρχεία shapefile σε 5 τάξεις με σκοπό να επιτύχουμε ομοιόμορφο προσδιορισμό των 9 χαρτών για να είμαστε σε θέση να τους συνδυάσουμε. Οι 5 κλάσεις που χρησιμοποιήσαμε στην ταξινόμηση είναι οι ακόλουθες:

i. Very high (πολύ υψηλός κίνδυνος ρύπανσης)

ii. High (υψηλός κίνδυνος ρύπανσης)

iii. Moderate (μέσος κίνδυνος ρύπανσης)

iv. Low (χαμηλός κίνδυνος ρύπανσης)

v. Very low (πολύ χαμηλός κίνδυνος ρύπανσης)

Οπότε όλα τα ποσοτικά δεδομένα (τιμές) ή περιγραφικά δεδομένα των 9 παραγόντων (χαρτών) καταγράφηκαν σε 5 κλάσεις σύμφωνα με τον πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1 : Ποσοτικά δεδομένα (τιμές) και περιγραφικά δεδομένα των 9 παραγόντων

Παράγοντες	**Περιγραφική Κλίμακα**	**Ποσοτικά ή Περιγραφικά Δεδομένα**	
Γεωλογία	Very High	Ασβεστολιθικά – Δολομιτικά	
	High	Τεταρτογενή	
	Moderate	Μάργες	
	Low	Ασβεστομάργες	
	Very Low	Φύλλιτες – Χαλαζίτες – Σχιστόλιθοι	
Χρήσεις Γης	Very High	111, 121, 123, 124, 131, 332, 334	
	High	112, 211, 242, 244, 322	
	Moderate	212, 221, 222, 223, 321, 331, 333, 511, 512, 523	
	Low	243, 324	
	Very Low	311, 312, 313, 323	
Βάθος Υδροφορέα	Very High	<15 m	
	Very Low	>15 m	
Οδικό Δίκτυο	Very High	100 m	20 m
	High	200 m	40 m
	Moderate	300 m	60 m
	Low	400 m	80 m

	Very Low	500 m	100 m
Ποτάμια	Very High	200 m	40 m
	High	400 m	80 m
	Moderate	600 m	120 m
	Low	800 m	160 m
	Very Low	1000 m	200 m

Οικισμοί	Very High	747.707 – 14.097.891 m^2
	High	479.428 – 719.058 m^2
	Moderate	201.592 – 457.270 m^2
	Low	100.034 - 198.324 m^2
	Very Low	2.852 - 99515 m^2
Περιοχές Natura	Very High	Μη προστατευόμενες Περιοχές
	Very Low	Προστατευόμενες Περιοχές
Υφαλμύρινση	Very High	Εμφάνιση Φαινομένου Υφαλμύρινσης
	Very Low	Μη εμφάνιση Φαινομένου Υφαλμύρινσης
Νιτρορύπανση	Very High	Πολύ μεγάλη συγκέντρωση
	High	Μεγάλη συγκέντρωση
	Moderate	Μέτρια συγκέντρωση
	Very Low	Πολύ μικρή συγκέντρωση

4.4.1 Πρότυπα προγράμματα ταξινόμησης (CLASSIFICATION)

Η ταξινόμηση των ποσοτικών δεδομένων μπορεί να γίνει είτε με δικιά μας επιλογή των κλάσεων είτε μέσω του ArcMap επιλέγοντας ένα από τα έξι πρότυπα προγράμματα ταξινόμησης (ESRI, 2006. Arc View 9.2 User Manuals.)

1) Natural breaks (Jenks): Η ταξινόμηση βασίζεται στους φυσικούς συνδυασμούς που ενυπάρχουν στα δεδομένα μας. Το πρόγραμμα ταυτοποιεί τα σημεία που συναθροίζονται στις κλάσεις και τα τακτοποιεί σε ομάδες με ίδιες τιμές αυξάνοντας τις διαφορές μεταξύ της κάθε κλάσης.

2) Quantile: Κάθε κλάση εμπεριέχει έναν ίσο αριθμό από χαρακτηριστικά στοιχεία. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη σε γραμμικά κατανεμημένα δεδομένα. Επειδή τα χαρακτηριστικά στοιχεία ομαδοποιούνται με βάση των αριθμό τους, ο τελικός χάρτης που θα προκύψει μπορεί να είναι παραπλανητικός.

3) Equal Interval: Αυτό το πρόγραμμα ταξινόμησης χωρίζει μία σειρά από χαρακτηριστικές τιμές σε ισομεγέθης υποσειρές, επιτρέποντας μας να καθορίσουμε τον αριθμό των διαστημάτων μέσω του ArcMap. Για παράδειγμα, αν οι χαρακτηριστικές μας τιμές έχουν έκταση από 0-300 και έχουμε τρεις κλάσης, κάθε κλάση θα έχει έκταση 100 τιμών, δηλ. 0-100, 101-200, 201-300. Αυτή η μέθοδος δίνει έμφαση στο σύνολο κάθε μιας χαρακτηριστικής τιμής σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές. Είναι η καλύτερη μέθοδος για να εφαρμοστεί σε στενά συνδεδεμένα δεδομένα, όπως η θερμοκρασίες.

4) Defined Interval: Αυτή η μέθοδος μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το διάστημα ανάμεσα από ίσες χωρισμένες χαρακτηριστικές τιμές. Επιπλέον προσδιορίζει τον αριθμό των διαστημάτων σε ίσα διαστήματα ταξινόμησης. Το ArcMap αυτόματα προσδιορίζει τον αριθμό των διαστημάτων.

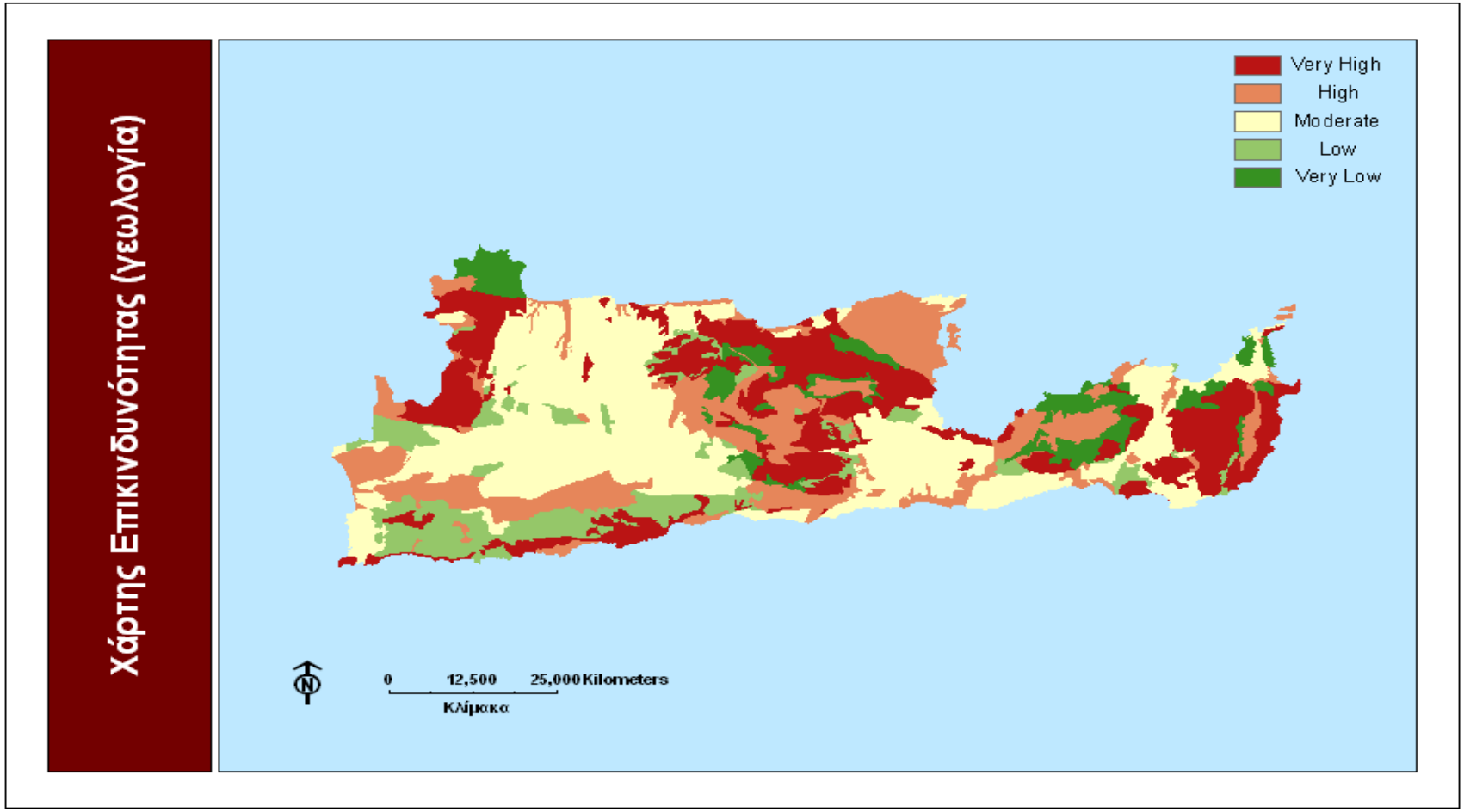
5) Standard Deviation: Αυτή η μέθοδος παρουσιάζει πόσο μία χαρακτηριστική τιμή διαφέρει από το μέσο όρο. Το ArcMap υπολογίζει το μέσο όρο των τιμών και την πρότυπη απόκλιση από το μέσο όρο.

6) Geometrical Interval: Αυτή η μέθοδος ταξινομεί τα διαστήματα των κλάσεων με βάση γεωμετρικές σειρές. Ο γεωμετρικός συντελεστής μπορεί να αλλάζει βελτιστοποιώντας κάθε φορά την έκταση της κλάσης. Ο αλγόριθμος δημιουργεί γεωμετρικά διαστήματα που ελαχιστοποιούν το τετράγωνο του αθροίσματος του στοιχείου κάθε κλάσης.

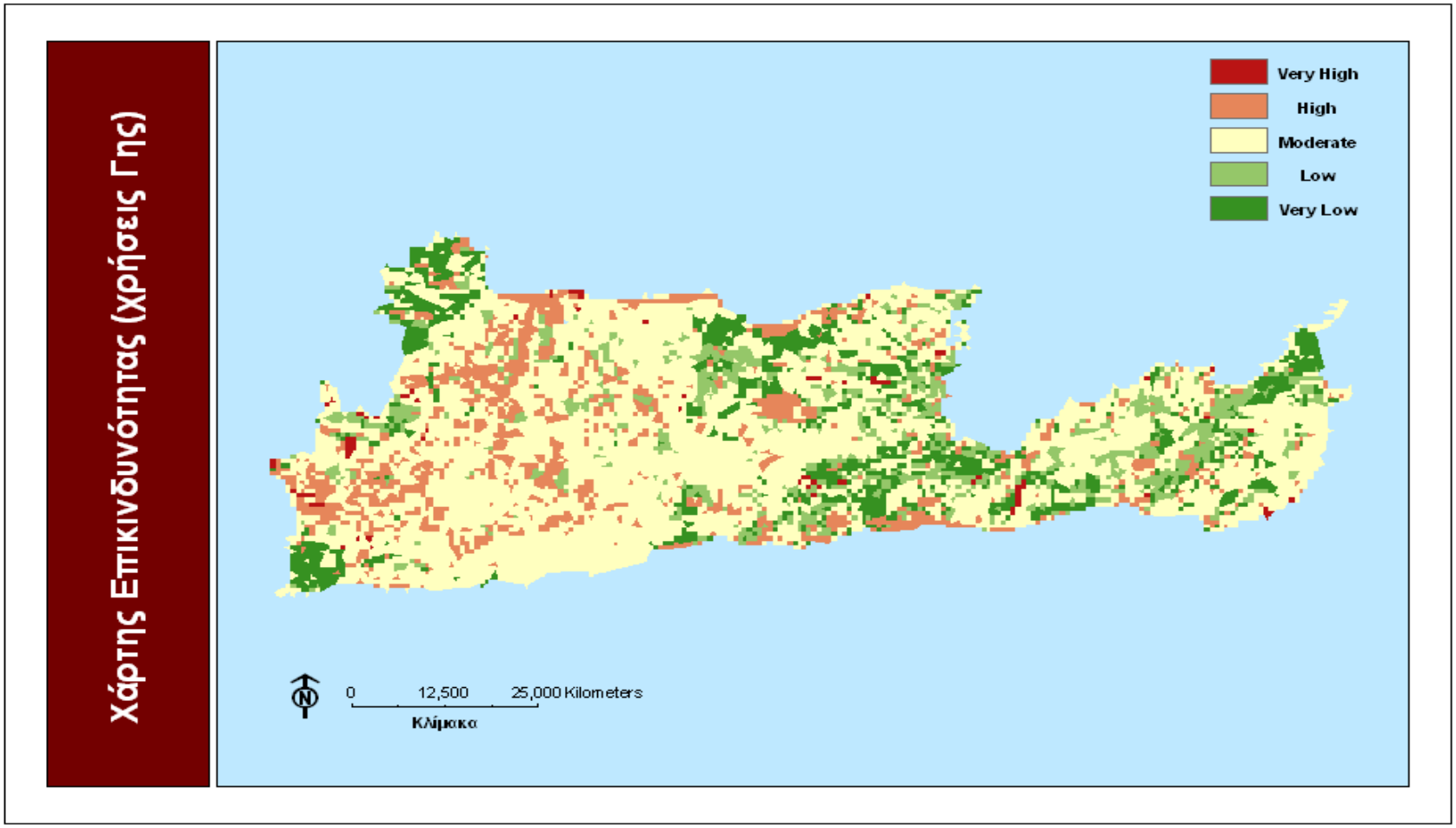
Η ταξινόμηση που εμείς χρησιμοποιήσαμε για την δημιουργία των 5 κλάσεων έγινε με την βοήθεια του πρώτου πρότυπου προγράμματος ταξινόμησης Natural breaks (Jenks).

4.4.2 Μετατροπή αρχείων shapefile κάθε παράγοντα σε αρχεία raster

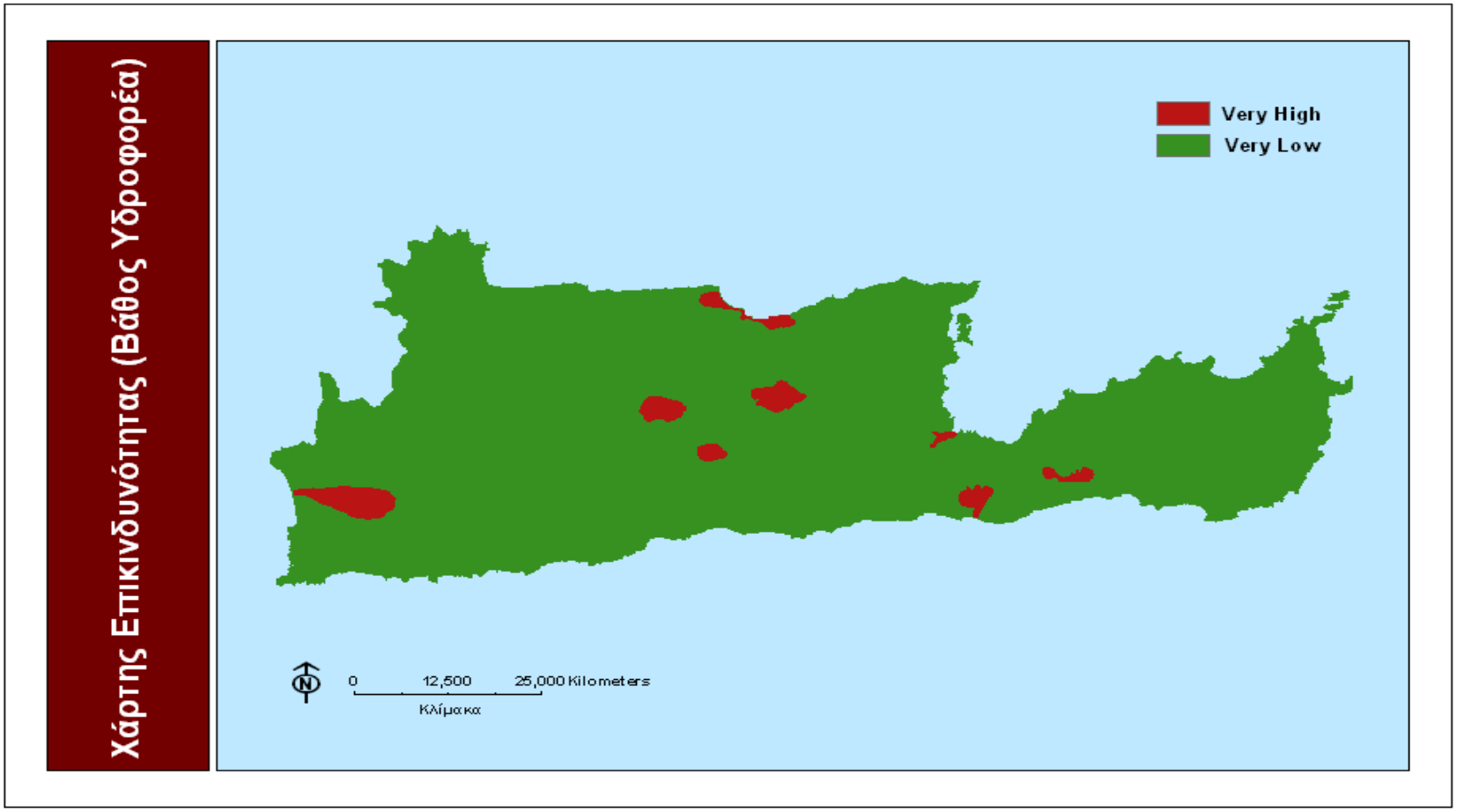
Στη συνέχεια παρατίθενται οι 9 χάρτες για κάθε παράγοντα μετά την μετατροπή τους σε αρχεία raster (Εικόνα 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21). Μετά την κατηγοριοποίηση των 9 παραγόντων (χαρτών) σε 5 κλάσεις προκειμένου να γίνει ο συνδυασμός τους σε έναν τελικό χάρτη, απαραίτητη είναι η μετατροπή αυτών των χαρτών σε χάρτη τύπου κανάβου (raster). Προκειμένου να μετατρέψουμε τους 9 χάρτες τύπου shapefile σε αρχεία raster εφαρμόζουμε την ακόλουθη διαδικασία:



Εικόνα 4.13 : Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με την γεωλογία

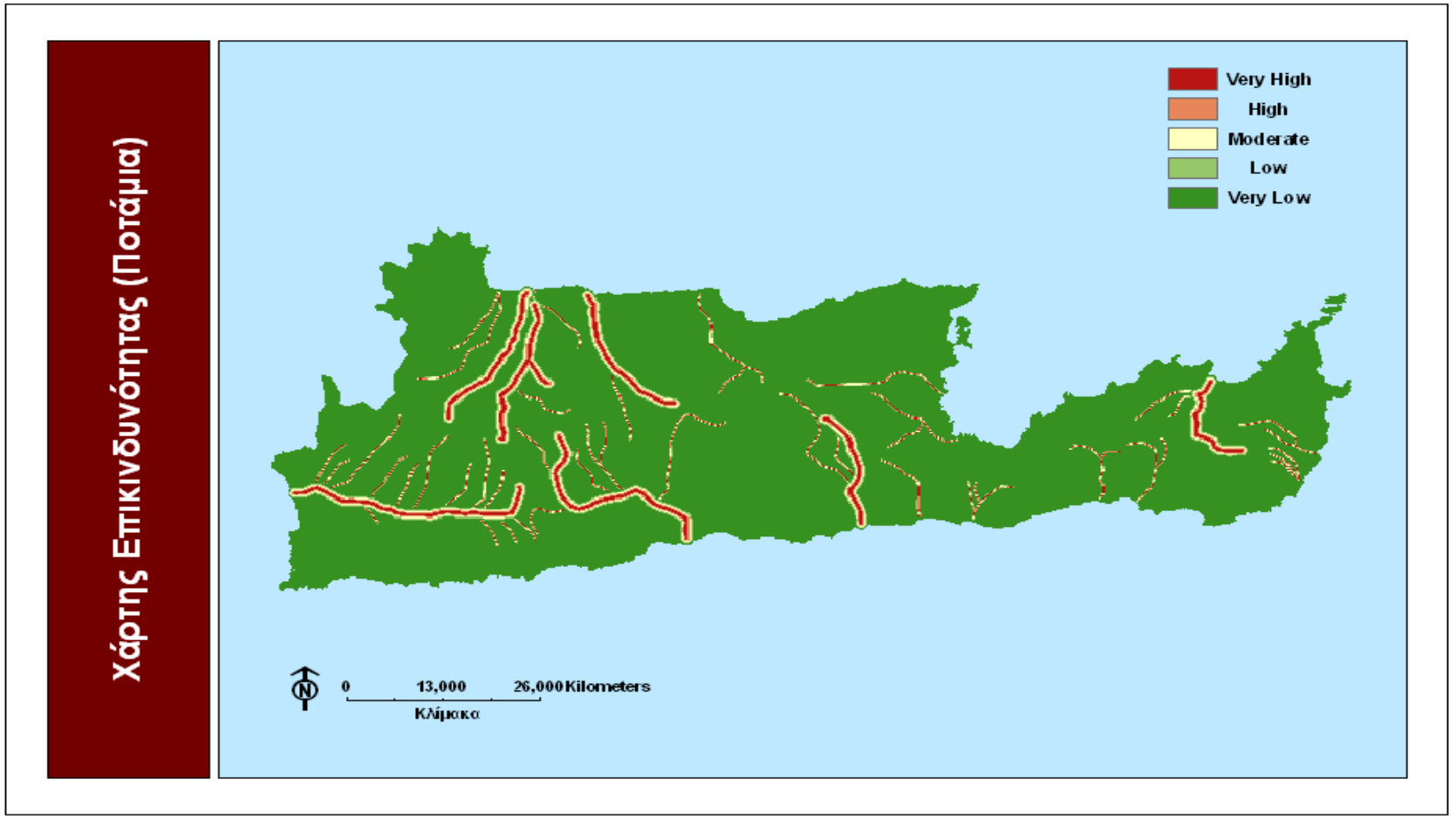


Εικόνα 4.14: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις χρήσεις γης

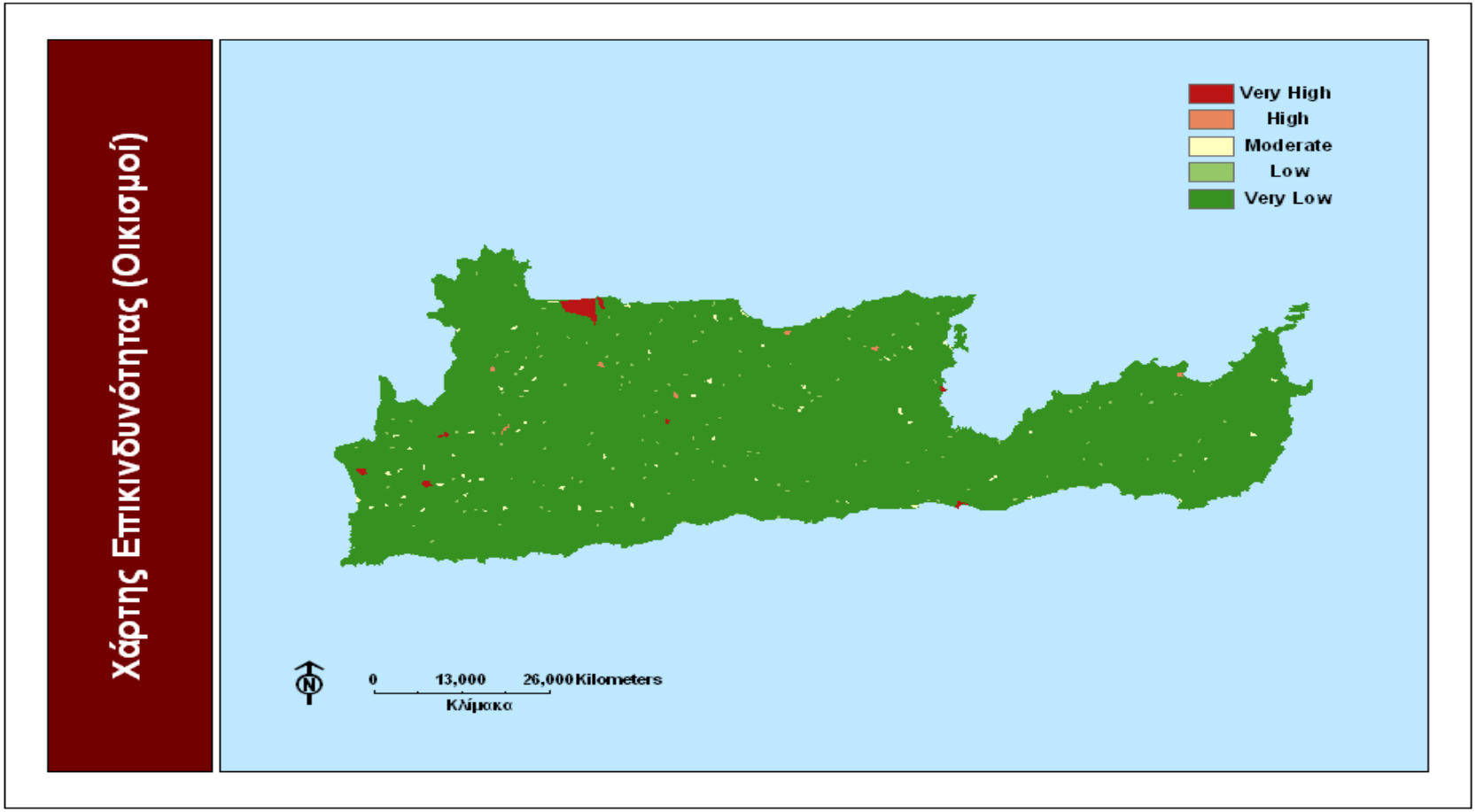


Εικόνα 4.15: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με το βάθος του υδροφορέα

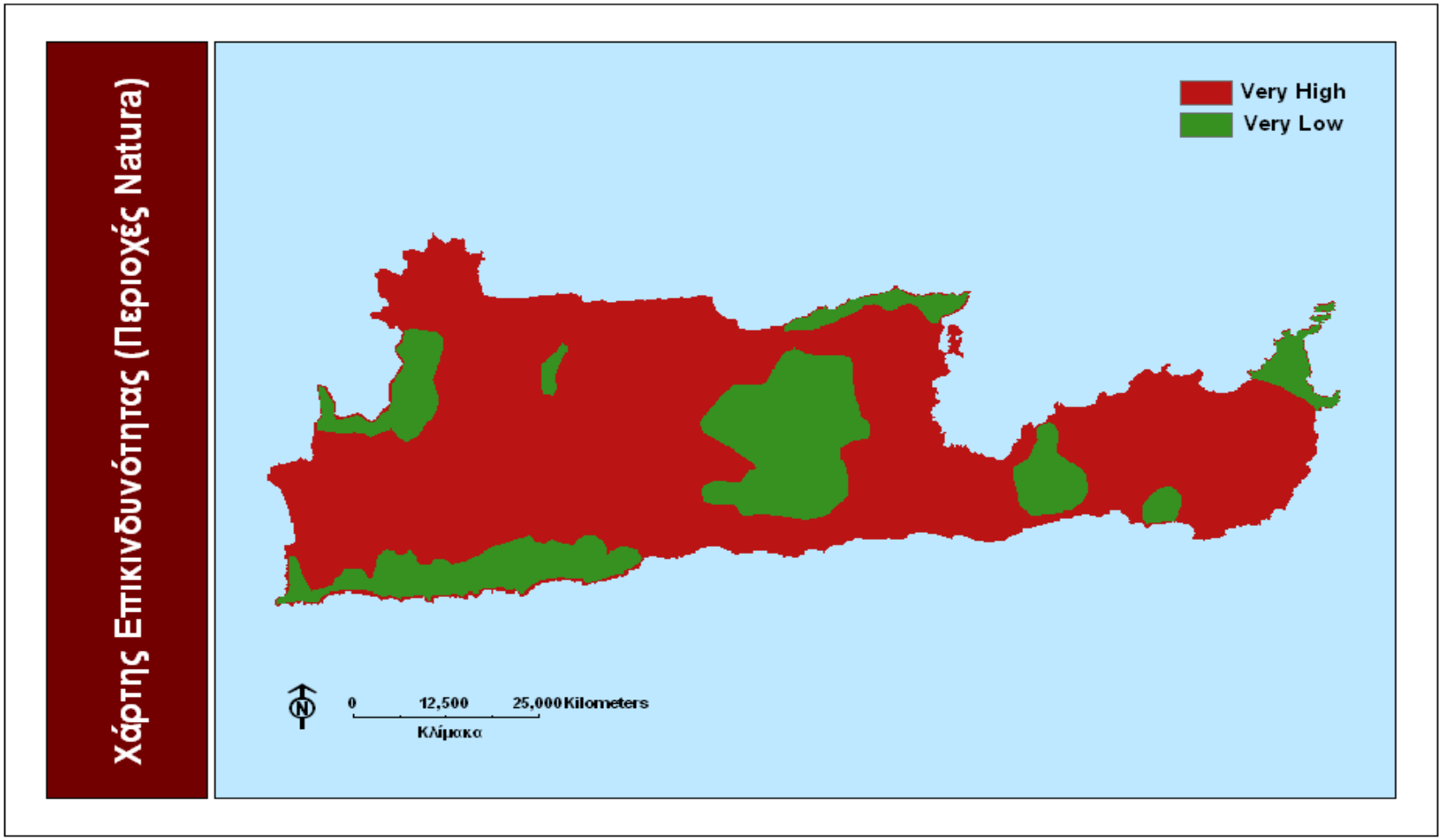
Εικόνα 4.16 : Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με το οδικό δίκτυο



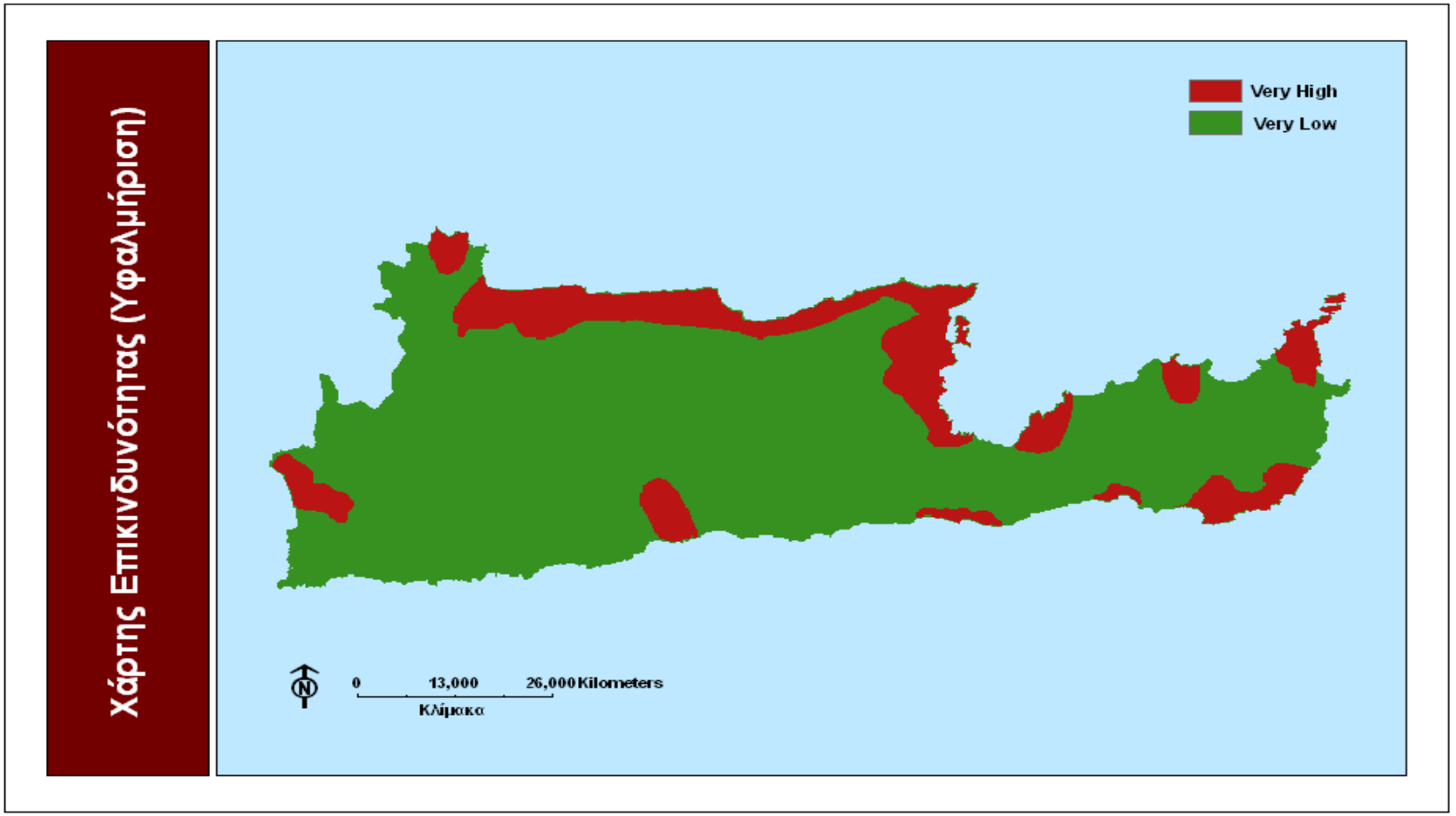
Εικόνα 4.17 : Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τους ποταμούς



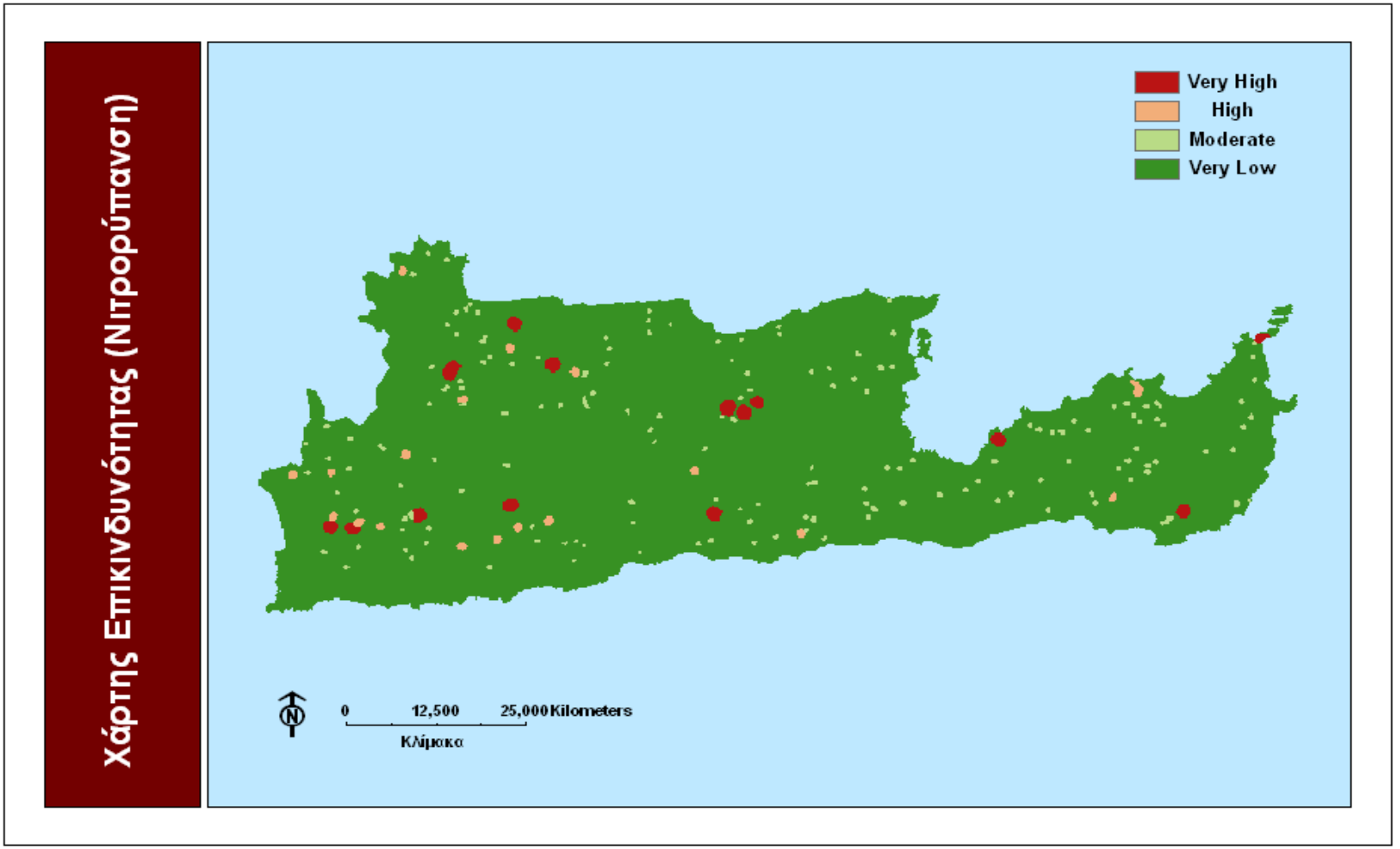
Εικόνα 4.18: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τους οικισμούς



Εικόνα 4.19: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές Natura



Εικόνα 4.20: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές υφαλμύρινσης



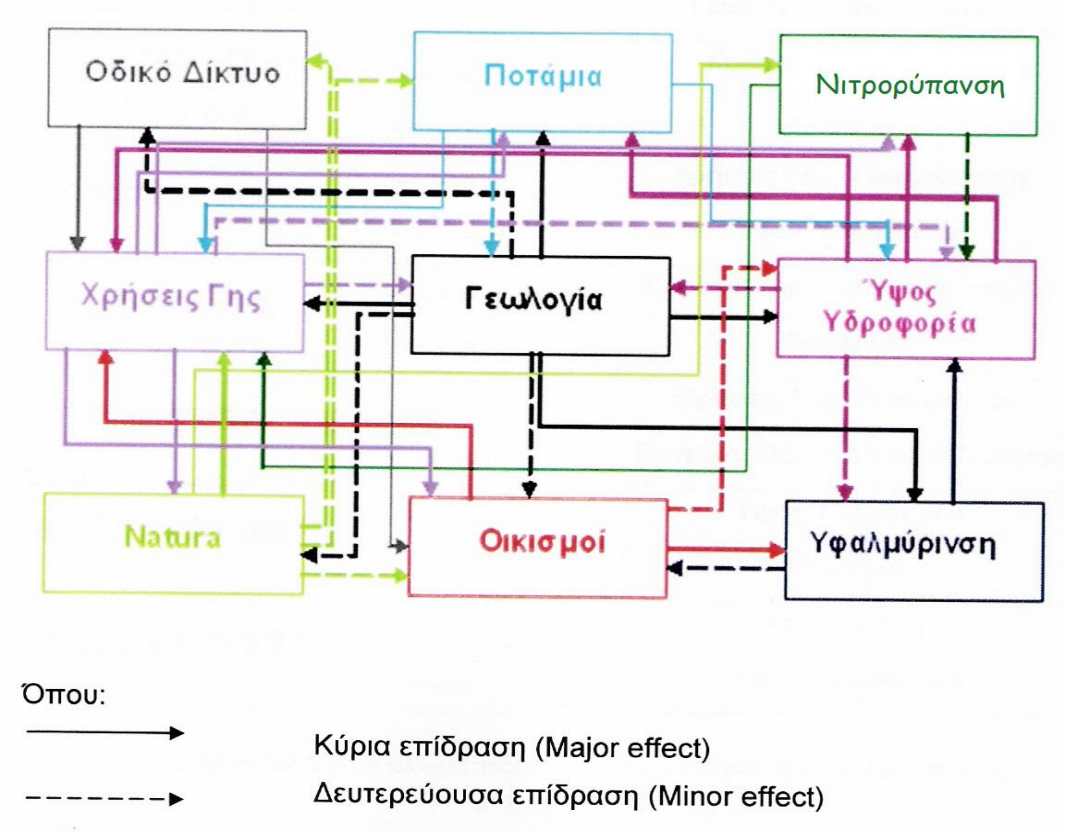
Εικόνα 4.21: Το raster αρχείο που περιγράφει την τρωτότητα των υπογείων υδάτων σε σχέση με τις περιοχές νιτρορύπανσης

4.5 Περιγραφή μεθοδολογίας

Προκειμένου να συνδυαστούν οι 9 χάρτες raster θα πρέπει να υπολογιστεί ο βαθμός επίδρασης που έχει ο κάθε παράγοντας στην ευπάθεια ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Αυτή η επίδραση εκφράζεται με βάση τον συντελεστή βαρύτητας που δίνουμε στο κάθε περιγραφικό επίπεδο.

Ο συντελεστής βαρύτητας παίρνει τιμές από (0-10 points). Υπάρχουν πέντε κύρια περιγραφικά επίπεδα για να υποδηλώσουμε τον βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα. Τα πέντε επίπεδα είναι : very high, high, moderate, low, very low. Το επίπεδο very high μπορεί να πάρει μέχρι συντελεστή βαρύτητας με τιμή 10 pts, ενώ το επίπεδο very low μπορεί να πάρει μέχρι και την ελάχιστη τιμή 1 pt. Τα ενδιάμεσα επίπεδα (high, moderate, low) παίρνουν τιμές μικρότερες από 10 pts και μεγαλύτερες από 1 pt.

Ο υπολογισμός του βαθμού επίδρασης για κάθε παράγοντα ξεχωριστά δεν εξάγει μία ολοκληρωμένη εικόνα για την τρωτότητα στην ρύπανση. Είναι αναγκαίος λοιπόν, ο συνδυασμός όλων των παραγόντων μεταξύ τους με σκοπό να καταλήξουμε σε έναν ολοκληρωμένο-τελικό χάρτη. Κάθε ένας από τους παράγοντες δεν έχει τον ίδιο βαθμό επίδρασης στην ρύπανση των υπογείων υδάτων (Shaban,



Kwalie, Abdallah, 2006).

Εικόνα 4.22 : Διάγραμμα αλληλεξάρτησης μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την τρωτότητα των υπογείων υδάτων

Για αυτό το λόγο απαραίτητη είναι η αλληλεπίδραση του κάθε παράγοντα σε σχέση με τον άλλον. Με σκοπό να υπολογίσουμε τον βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα κατασκευάζουμε το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.22).

Σύμφωνα με το διάγραμμα όταν η επίδραση μεταξύ δύο παραγόντων είναι σημαντική (κύρια) παίρνει την τιμή 1, ενώ όταν η επίδραση είναι δευτερευούσης σημασίας παίρνει την τιμή ½.

1.ΓΕΩΛΟΓΙΑ	→	**Χρήσεις γης, Υφαλμύρινση, Ύψος Υδροφορέα, Ποτάμια**
	- - - →	**Οικισμοί ,Natura, Οδικό Δίκτυο**
2.ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	→	**Οικισμοί, Natura, Ποτάμια, Θερμοκήπια**
	- - - →	**Γεωλογία, Ύψος Υδροφορέα**
3.ΒΑΘΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ	→	**Χρήσεις Γης , Ποτάμια, Θερμοκήπια**
	- - - →	**Γεωλογία, Υφαλμύρινση**
4.ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	→	**Χρήσεις Γης, Οικισμοί**
	- - - →	
5.ΟΙΚΙΣΜΟΙ	→	**Χρήσεις Γης, Υφαλμύρινση**
	- - - →	**Ύψος Υδροφορέα**
6.ΠΟΤΑΜΙΑ	→	**Χρήσεις Γης, Ύψος Υδροφορέα**
	- - - →	**Γεωλογία**
7.NATURA	→	**Χρήσεις Γης, Θερμοκήπια**
	- - - →	**Ποτάμια, Οδικό Δίκτυο, Οικισμοί**
8.ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ	→	**Ύψος Υδροφορέα**
	- - - →	**Οικισμοί**
9.ΝΙΤΡΟΡΥΠΑΝΣΗ	→	**Χρήσεις Γης**
	- - - →	**Ύψος Υδροφορέα**

Εικόνα 4.23 : Σχέση αλληλεπίδρασης ενός παράγοντα σε σχέση με τους άλλους παράγοντες

Το διάγραμμα δείχνει ότι η γεωλογία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας επίδρασης στην ρύπανση των υπογείων υδάτων . Έτσι για παράδειγμα η γεωλογία επηρεάζει άμεσα της χρήσεις γης της περιοχή, το φαινόμενο της υφαλμύρινσης, το ύψος του υδροφορέα και τη ροή των ποταμών και έμμεσα τις προστατευόμενες περιοχές (Natura), το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς

Ο παράγοντας χρήσεις γης όπως διαπιστώνουμε και από το διάγραμμα παρουσιάζει σημαντική επίδραση στην ρύπανση των υπογείων υδάτων. Συγκεκριμένα εμφανίζει μείζονα επίδραση στους οικισμούς, στα ποτάμια, στη νιτρορύπανση και στις περιοχές Natura και δευτερεύουσα επίδραση στη γεωλογία και στο βάθος του υδροφορέα.

Το βάθος του υδροφορέα με τη σειρά του επηρεάζει σημαντικά τους παράγοντες χρήσεις γης, ποτάμια και νιτρορύπανση και δευτερευόντως τη γεωλογία και το φαινόμενο υφαλμύρινσης που εμφανίζεται στην περιοχή.

Οι παράγοντες ποτάμια και οικισμοί επιδρούν και αυτοί στην ευπάθεια ρύπανσης των υδάτων αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Έτσι, οι οικισμοί επιδρούν σημαντικά στο φαινόμενο της υφαλμύρινσης και στις χρήσεις γης και υποδεέστερα στο βάθος του υδροφορέα. Τα ποτάμια επηρεάζουν σημαντικά το βάθος του υδροφορέα και τις χρήσεις γης και λιγότερο τη γεωλογία.

Παρόμοια επίδραση εμφανίζουν και οι περιοχές Natura με κύρια επίδραση στις χρήσεις γης και στη νιτρορύπανση και δευτερεύουσα επίδραση στα ποτάμια, το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς.

Ο παράγοντας οδικό δίκτυο εμφανίζει μόνο κύρια επίδραση στους παράγοντες χρήσεις γης και οικισμούς.

Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης και της νιτρορύπανσης της περιοχής σύμφωνα με το σκαρίφημα προκύπτει ότι εμφανίζουν την μικρότερη επίδραση στη ρύπανση. Η νιτρορύπανση για παράδειγμα επηρεάζει άμεσα τις χρήσεις γης και έμμεσα το βάθος του υδροφορέα ενώ το φαινόμενο υφαλμύρινσης εμφανίζει κύρια επίδραση στο βάθος του υδροφορέα και δευτερεύουσα στους οικισμούς.

4.5.1 Σενάριο 1^{ο}

Μέσω της αλληλεπίδρασης αυτής μεταξύ των διαφόρων παραγόντων προκύπτει το τελικό άθροισμα των points για τον κάθε παράγοντα.

- Γεωλογία : 4 major + 3 minor = 4(1) +3 (0,5) = 5,5 pts
- Χρήσεις γης : 3 major + 2 minor = 3(1) +2 (0,5) = 4 pts
- Βάθος υδροφορέα : 3 major + 2 minor = 3(1) +2 (0,5) = 4 pts
- Οδικό δίκτυο : 2 major = 2(1) = 2 pts
- Οικισμοί: 2 major + 1 minor = 2(1) +1 (0,5) = 2,5 pts
- Ποτάμια : 2 major + 1 minor = 2(1) +1 (0,5) = 2,5 pts
- Natura : 2 major + 3 minor = 2(1) +3(0,5) = 3,5 pts
- Υφαλμύρινση : 1 major + 1 minor = 1(1) +1(0,5) = 1,5 pts
- Νιτρικά: 1 major + 1 minor = 1(1) +1(0,5) = 1,5 pts

Ωστόσο για να πραγματοποιηθεί μία πλήρης εκτίμηση για το βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα θα πρέπει να συνδυαστεί ο βαθμός επίδρασης με τα βάρη κάθε παράγοντα που έχουμε δώσει.

Για να την εξαγωγή τελικών αποτελεσμάτων και κατά συνέπεια τελικού χάρτη πραγματοποιήσαμε δύο σενάρια (Πίνακες 4.2 και 4.3) όπου αλλάξαμε τα βάρη σε κάποιους από τους παράγοντες.

Πίνακας 4.2 : 1^0 ΣΕΝΑΡΙΟ *(σταθερές τιμές βαρών για κάθε μια κλάση)*

Factor	Descriptive Scale	Weight (a)	Rate (b)	Weighted rating(a*b)	Total	Percentages (%)
Γεωλογία	Very High	10	5,5	55	167,75	25,76
	High	8		44		
	Moderate	6,5		35,75		
	Low	4		22		
	Very Low	2		11		
Χρήσεις Γης	Very High	10	4	40	122	18,74
	High	8		32		
	Moderate	6,5		26		
	Low	4		16		
	Very Low	2		8		
Βάθος Υδροφορέα	Very High	10	4	40	48	7,38
	Very Low	2		8		
Οδικό Δίκτυο	Very High	10	2	20	61	9,37
	High	8		16		
	Moderate	6,5		13		
	Low	4		8		
	Very Low	2		4		
Ποτάμια	Very High	10	2,5	25	76,25	11,72
	High	8		20		
	Moderate	6,5		16,25		
	Low	4		10		
	Very Low	2		5		
Οικισμοί	Very High	10	2,5	25	76,25	11,72

	High	8		20		
	Moderate	6,5		16,25		
	Low	4		10		
	Very Low	2		5		
Natura	Very High	10	3,5	35	42	6,45
	Very Low	2		7		
Υφαλμύρινση	Very High	10	1,5	15	18	2,76
	Very Low	2		3		
Νιτρικά	Very High	10	1,5	15	39,75	6,1
	High	8		12		
	Moderate	6,5		9,75		
	Very Low	2		3		
Total					651	100

Συνεπώς το ποσοστό επίδρασης κάθε παράγοντα είναι:

- Γεωλογία : (167,75/651)*100 = 25,76 %
- Χρήσεις γης : (122/651)*100 = 18,74 %
- Ύψος υδροφορέα : (48/651)*100 = 7,38 %
- Οδικό δίκτυο : (61/651)*100 = 9,37 %
- Οικισμοί: (76,25/651)*100 = 11,72 %
- Ποτάμια : (76,25/651)*100 = 11,72 %
- Natura : (42/651)*100 = 6,45 %
- Υφαλμύρινση : (18/651)*100 = 2,76 %
- Νιτρικά: (39,75/651)*100 = 6,1 %

Ο ολικός συντελεστής βαρύτητας όλων των παραγόντων ισούται με :

= 167,75 + 122 + 48 + 61 + 76,25 + 76,25 + 42 + 18 + 39,75 = 651

4.5.2 Σενάριο 2^{ο}

Όσον αφορά το 2^{ο} σενάριο δεν αλλάξαμε τους βαθμούς επίδρασης μεταξύ των παραγόντων παρά μόνο τα βάρη των παραγόντων

i. χρήσεων γης,

ii. οδικού δικτύου

iii. οικισμών.

Συγκεκριμένα ενώ στο 1° σενάριο η αντιστοιχία μεταξύ χαρακτηρισμού επίδρασης και βαρών ήταν ίδια για όλους τους παράγοντες, δηλαδή :

Very High	10
High	8
Moderate	6,5
Low	4
Very Low	2

Στο 2° σενάριο η αντιστοιχία στους τρεις προαναφερθέντες παράγοντες άλλαξε και πήρε την μορφή :

Very High	8
High	6
Moderate	4
Low	2
Very Low	1

Οι υπόλοιποι 6 παράγοντες διατήρησαν την αντιστοιχία του 1 σεναρίου. Επομένως:

Πίνακας 4.3 : 2° ΣΕΝΑΡΙΟ *(Κυμαινόμενες τιμές βαρών για κάθε μια κλάση)*

Factor	Descriptive Scale	Weight (a)	Rate (b)	Weighted rating(a*b)	Total	Percentages (%)
Γεωλογία	Very High	10	5,5	55	167,75	29,41
	High	8		44		
	Moderate	6,5		35,75		
	Low	4		22		
	Very Low	2		11		
Χρήσεις Γης	Very High	8	4	32	84	14,73
	High	6		24		
	Moderate	4		16		
	Low	2		8		
	Very Low	1		4		
Βάθος Υδροφορέα	Very High	10	4	40	48	8,42
	Very Low	2		8		
Οδικό Δίκτυο	Very High	8	2	16	42	7,37
	High	6		12		
	Moderate	4		8		
	Low	2		4		
	Very Low	1		2		
Ποτάμια	Very High	10	2,5	25	76,25	13,37
	High	8		20		
	Moderate	6,5		16,25		
	Low	4		10		
	Very Low	2		5		
Οικισμοί	Very High	8	2,5	20	52,5	9,2

	High	6		15		
	Moderate	4		10		
	Low	2		5		
	Very Low	1		2,5		
Natura	Very High	10	3,5	35	42	7,37
	Very Low	2		7		
Υφαλμύρινση	Very High	10	1,5	15	18	3,16
	Very Low	2		3		
Νιτρικά	Very High	10	1,5	15	39,75	6,97
	High	8		12		
	Moderate	6,5		9,75		
	Very Low	2		3		
Total					570,25	100

Συνεπώς το ποσοστό επίδρασης κάθε παράγοντα είναι:

- Γεωλογία : (167,75/570,25)*100 = 29,41 %
- Χρήσεις γης : (84/570,25)*100 = 14,73 %
- Ύψος υδροφορέα : (48/570,25)*100 = 8,42 %
- Οδικό δίκτυο : (42/570,25)*100 = 7,37 %
- Οικισμοί: (52,5/570,25)*100 = 9,2 %
- Ποτάμια : (76,25/570,25)*100 = 13,37 %
- Natura : (42/570,25)*100 = 7,37 %
- Υφαλμύρινση : (18/570,25)*100 = 3,16 %
- Νιτρικά : (39,75/570,25)* 100 = 6,97 %

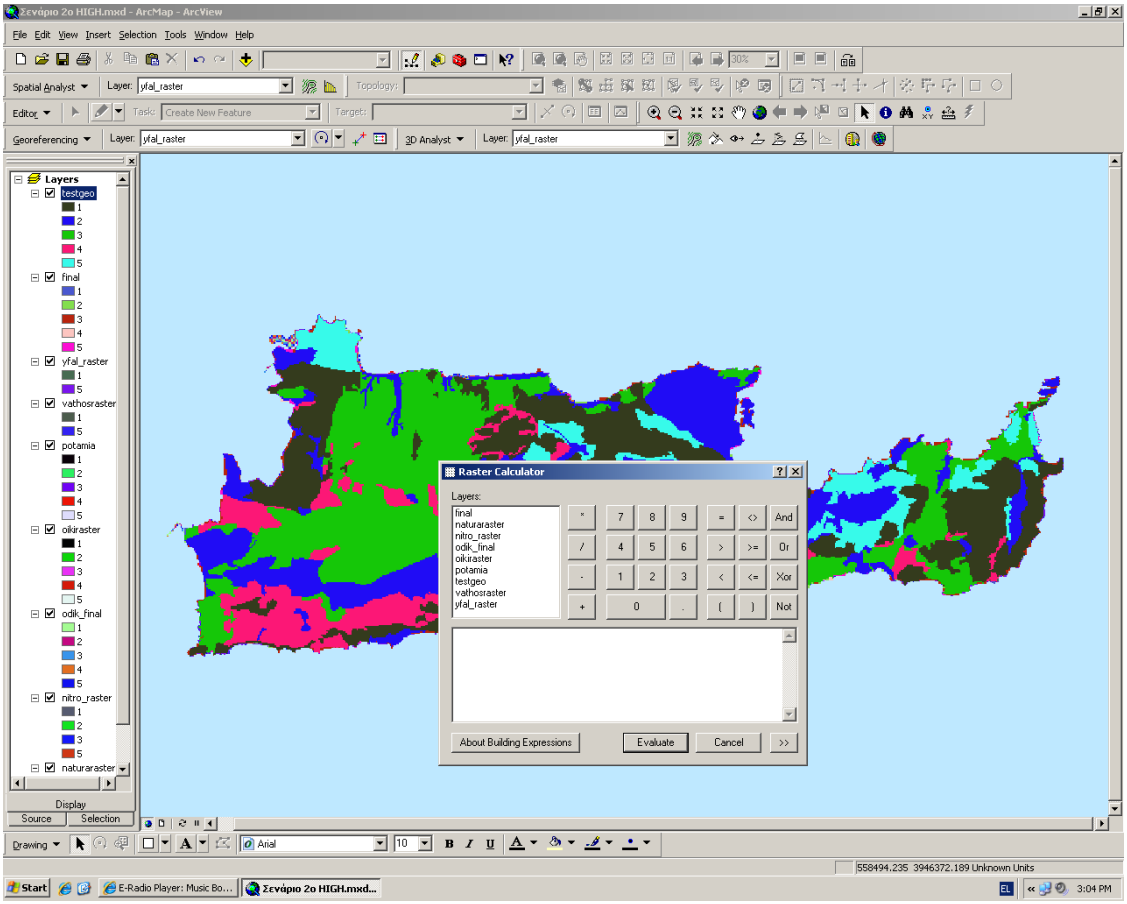
Ο ολικός συντελεστής βαρύτητας όλων των παραγόντων ισούται με :

= 167,75 + 84 + 48 + 42 + 52,5 + 76,25 + 42 + 18 + 39,75 = 570,25

4.6 Εργαλείο συνδυασμού θεματικών επιπέδων

4.6.1 Raster Calculator

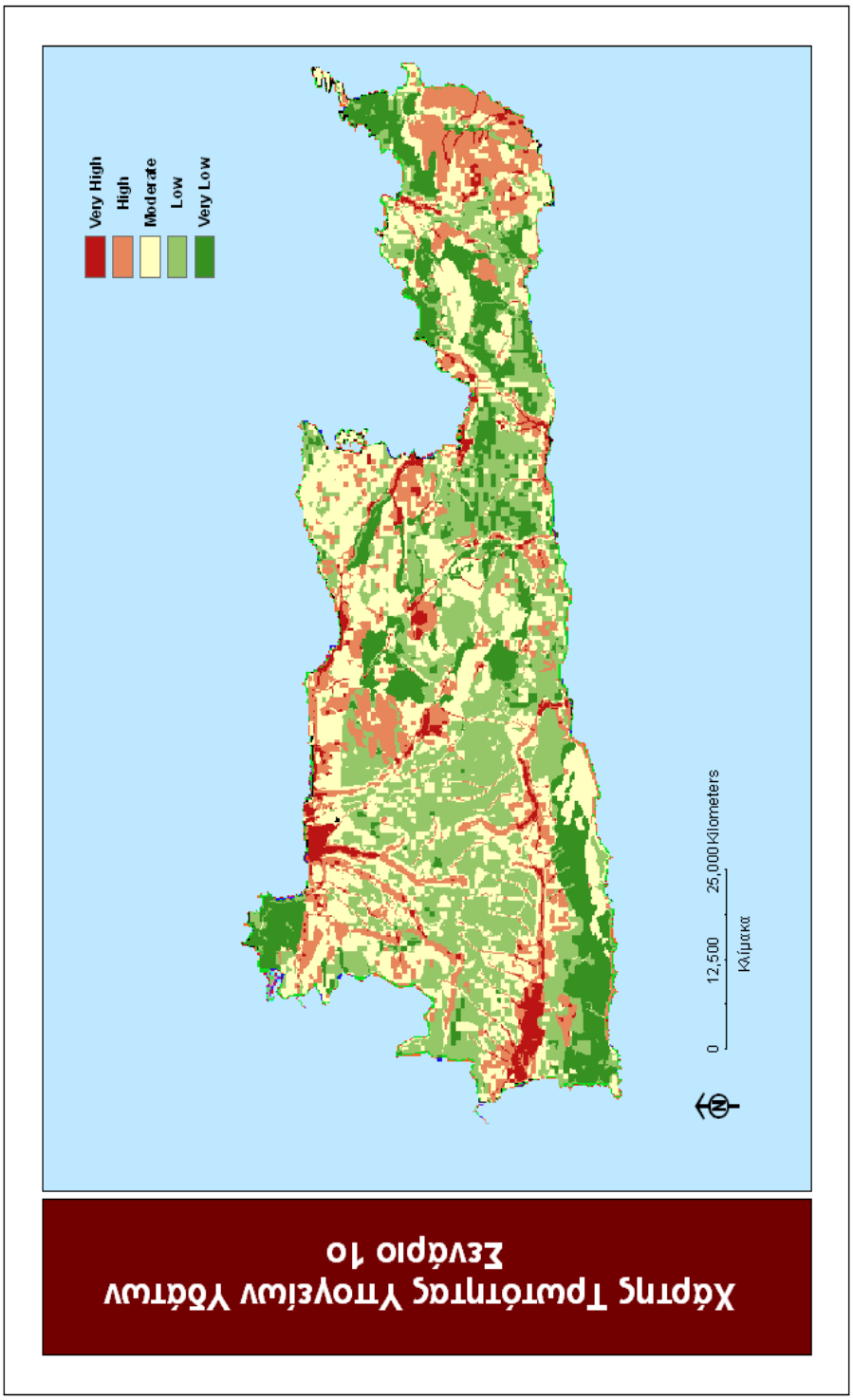
Για τη δημιουργία των τελικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Raster Calculator από το ArcMap πρόγραμμα του GIS (Εικόνα 4.24) το οποίο συνδυάζει τα θεματικά επίπεδα τύπου raster των 9 χαρτών με βάση τους συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν για τον κάθε χάρτη.



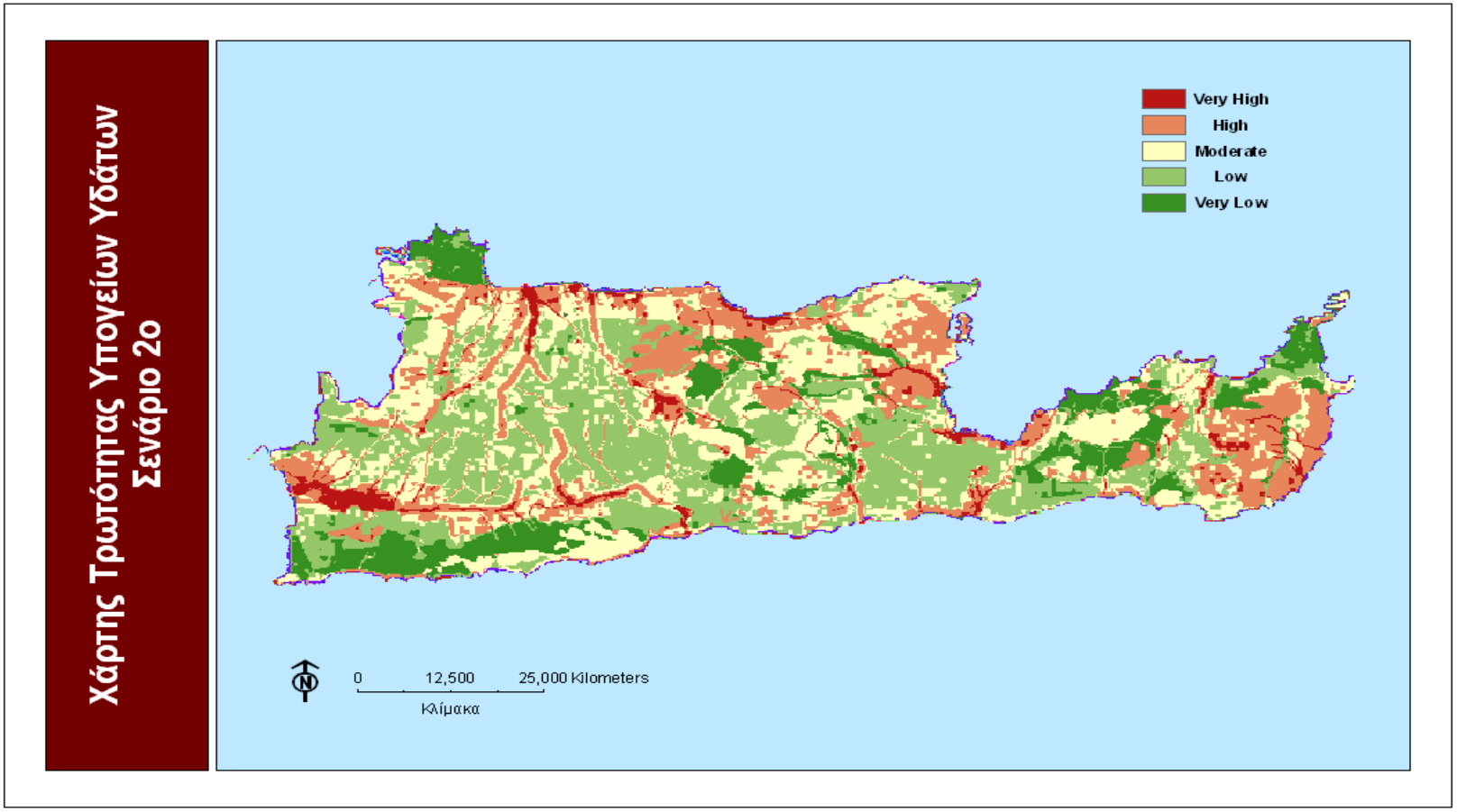
Εικόνα 4.24: Το εργαλείο Raster Calculator από το πρόγραμμα ArcMap για τη δημιουργία των τελικών χαρτών

Με τη βοήθεια λοιπόν του εργαλείου Raster Calculator καταλήξαμε στους 2 τελικούς χάρτες. Σύμφωνα με τα 2 διαφορετικά σενάρια που εφαρμόσαμε οι τελικοί μας χάρτες (Εικόνα 4.25, 4.26) όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι 2 εξαιτίας των 2

σεναρίων που δημιουργήσαμε για την επίτευξη μιας πιο σαφούς εικόνας της επικινδυνότητας των υπογείων υδάτων της περιοχής.



Εικόνα 4.25: Τρωτότητα υπογείων υδάτων για το 1ο σενάριο



Εικόνα 4.26 : Τρωτότητα υπογείων υδάτων για το σενάριο 2°

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

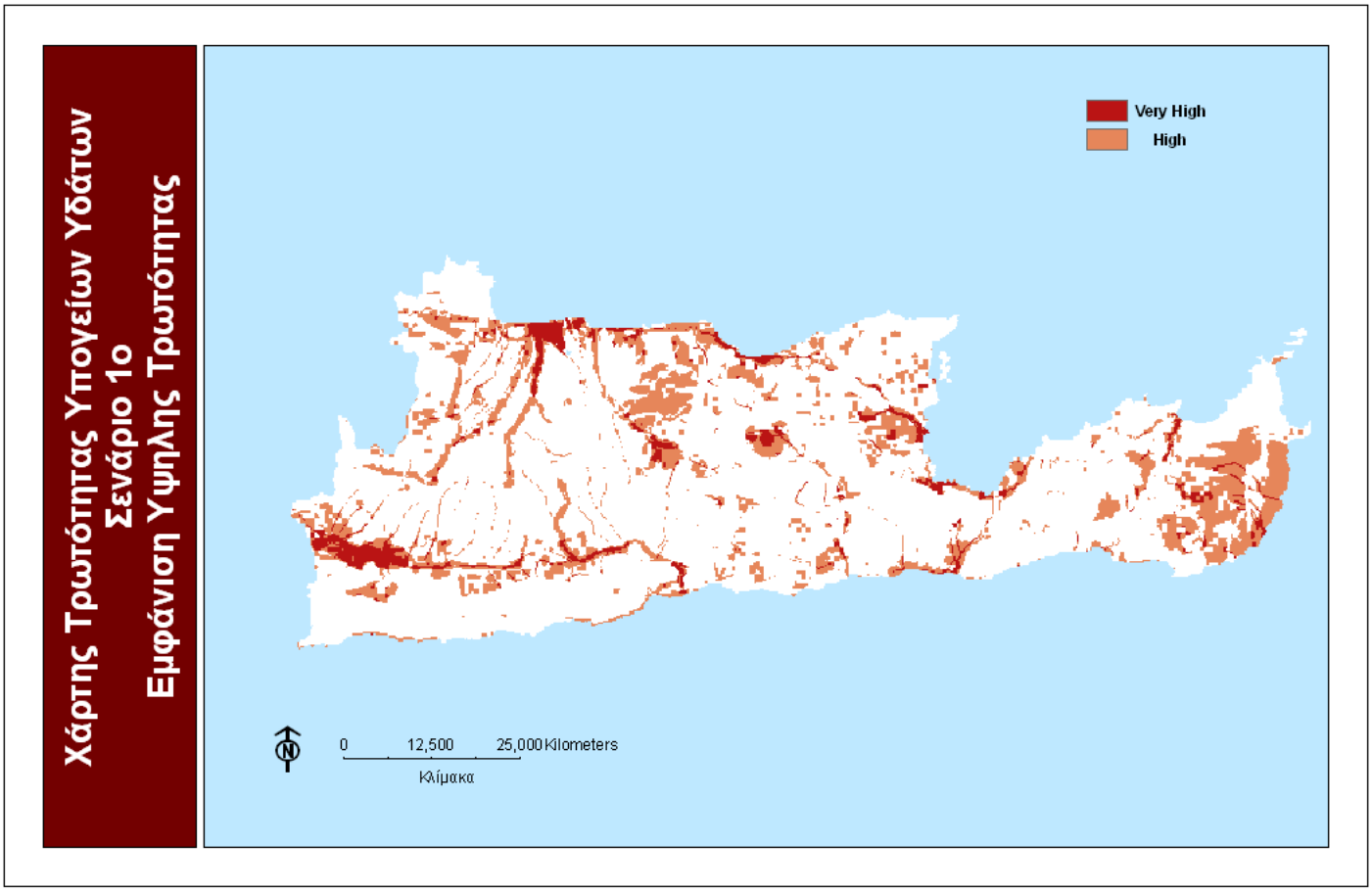
Μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας καταλήγουμε σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά τον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων που εμφανίζει η Ανατολική Κρήτη. Η περιοχή που μελετήθηκε εμφανίζει αυξημένη επικινδυνότητα ρύπανσης μετά το συνδυασμό των παραγόντων που συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου. Αυτό επιβεβαιώνεται μέσα από τους τελικούς χάρτες (Εικόνα 4.25, 4.26), οι οποίοι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το ποιες περιοχές χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και ορθής διαχείρισης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα ρύπανσης των υπογείων υδάτων των νομών Ηρακλείου - Λασιθίου, συνδυάζοντας παράγοντες που συμβάλλουν στην τρωτότητα των υπογείων υδάτων μέσω της χρήσης του GIS. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εξάγουμε χάρτες (Εικόνα 4.25, 4.26), που χωρίζουν ολόκληρη την περιοχή σε 5 ζώνες ανάλογα με την επικινδυνότητα που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες περιοχές στην ευπάθεια ρύπανσης. Όσον αφορά τους τελικούς χάρτες που εξήγαγε η μελέτη εμφανίζουν σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική κατάσταση του κινδύνου των υπογείων υδάτων.

Συγκεκριμένα, αν παρατηρήσουμε τους χάρτες που απεικονίζουν τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ υψηλή και υψηλή τρωτότητα (Εικόνες 5.1, 5.2) σε συνδυασμό με τους χάρτες των αρχείων raster (Εικόνα 4.13-4.21) κάθε παράγοντα καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

i. Οι διαφορές μεταξύ των ***δύο σεναρίων*** είναι ελάχιστες, αφού οι τελικοί χάρτες είναι σχεδόν ίδιοι (Εικόνα 4.25, 4.26).

ii. ***Η γεωλογία***, ως παράγοντας συμβολής στον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων παρουσιάζει αυξημένη σημαντικότητα και αυτό γίνεται αντιληπτό αν παρατηρήσουμε ότι περιοχές με διαπερατά εδάφη (καρστικοί σχηματισμοί) εμφανίζουν μεγάλη επικινδυνότητα.

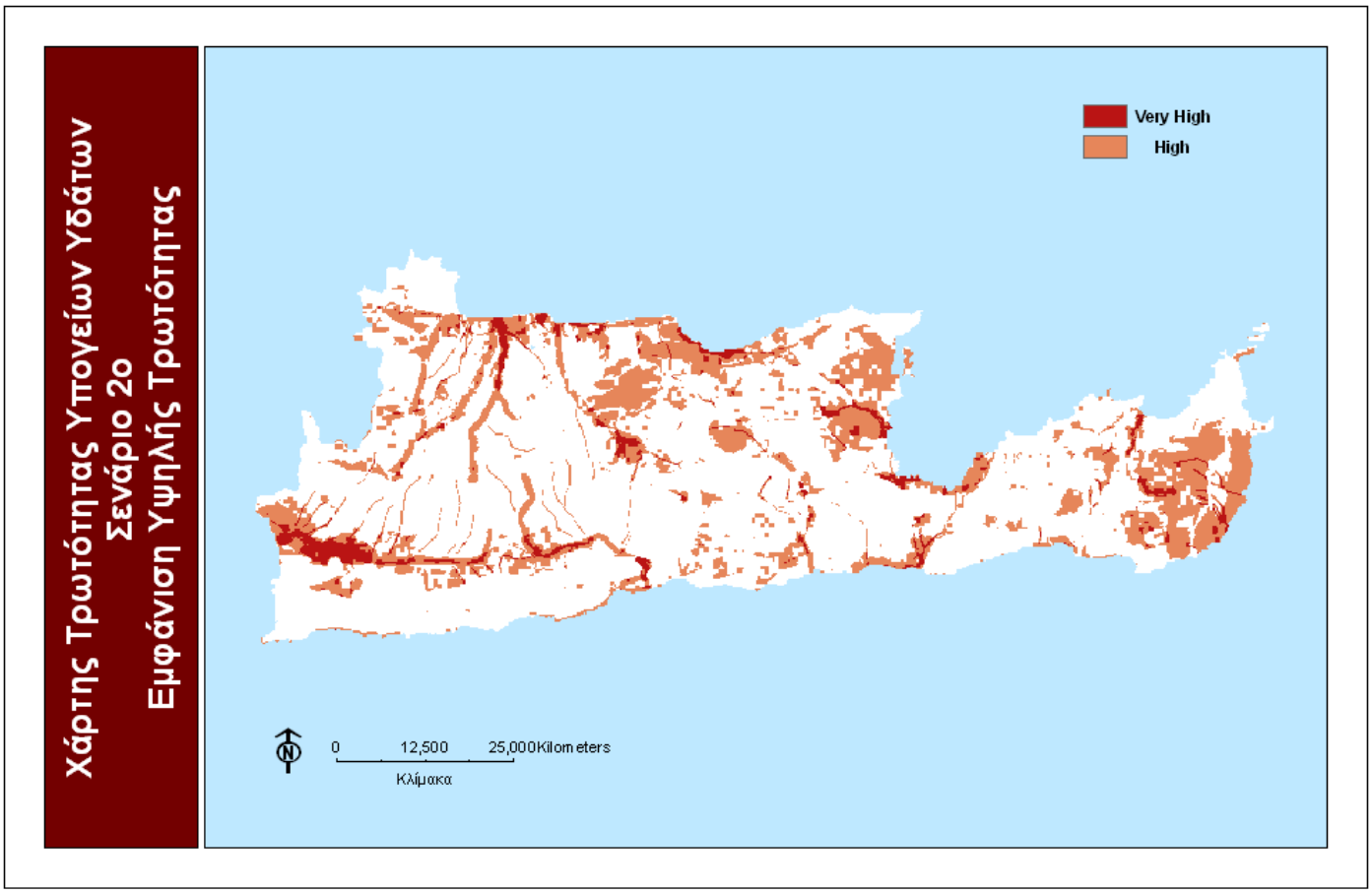
iii. Ο παράγοντας ***χρήσεις γης*** συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της επικινδυνότητας και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές που είναι έντονη η ανθρώπινη παρέμβαση (εγκαταστάσεις εξόρυξης μεταλλευμάτων ,κ.τ.λ.) ή σε περιοχές που έχουν καταστραφεί από πυρκαγιές.



Εικόνα 5.1 : Τελικός χάρτης 1^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ υψηλή και υψηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

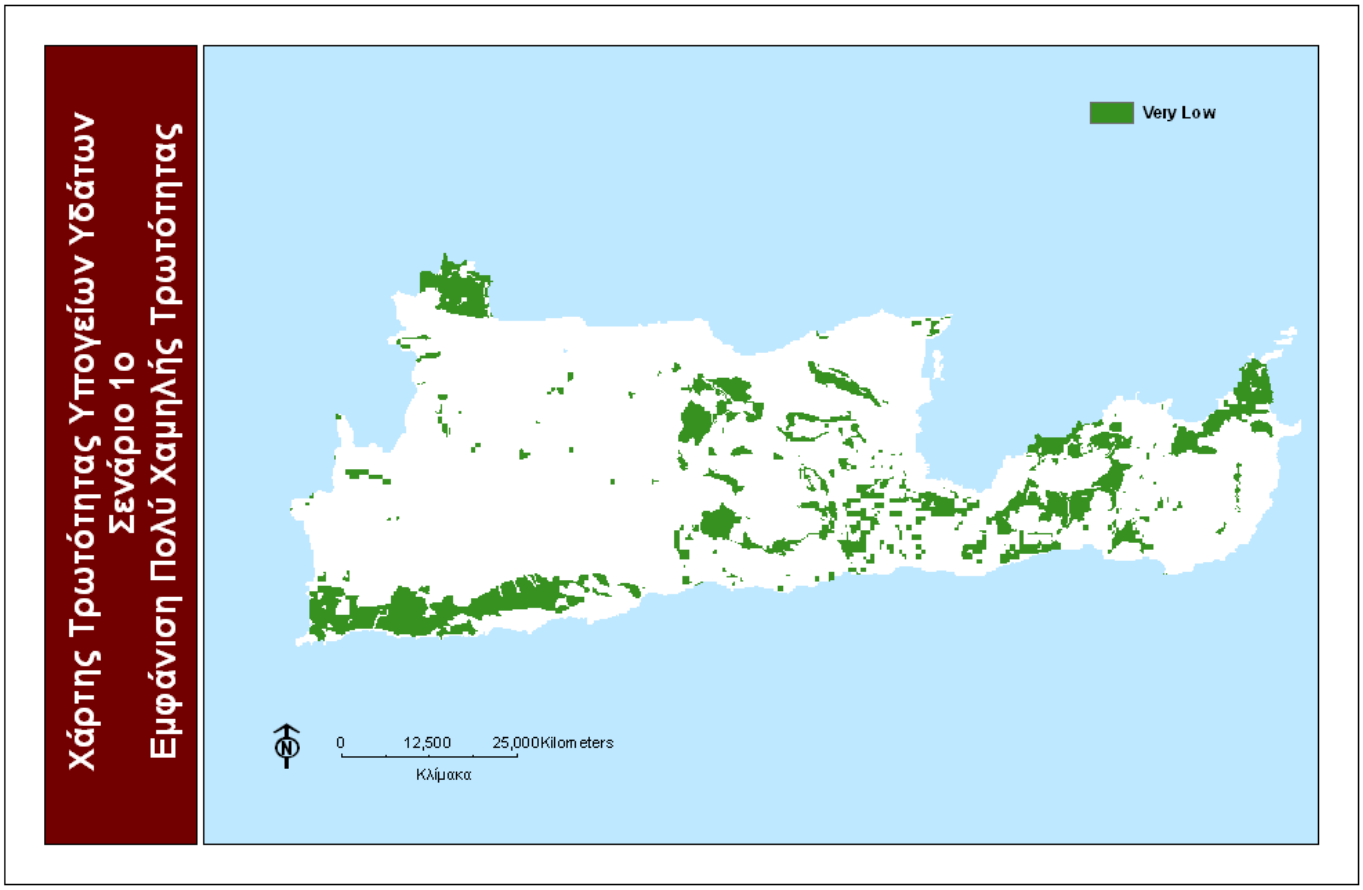
iv. Οι παράγοντες ***οδικό δίκτυο*** και ***ποταμοί*** των νομών, παρατηρούμε ότι επηρεάζουν σημαντικά τον κίνδυνο ρύπανσης στις περιοχές κοντά στην κεντρική αρτηρία του οδικού δικτύου και στις περιοχές πολύ κοντά στις όχθες των ποταμών (Ξεροπόταμος, Γεροπόταμος, Καρτερός, Γιόφυρος, Αναποδάρης, Μύρτος, Βαθύ Ποτάμι).

v. Εξίσου σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων παρουσιάζουν οι περιοχές με ***χαμηλό βάθος υδροφόρου ορίζοντα*** και οι περιοχές που εμφανίζουν το ***φαινόμενο υφαλμύρινσης***. Όπως είναι φανερό και από τους χάρτες (Εικόνα 5.1, 5.2) οι περιοχές είναι παραθαλάσσιες (Παραλιακή Ηρακλείου & Αγ.Νικολάου, Μάλια, Χερσόνησος, Ιεράπετρα, Σητεία, Ζάκρος.)



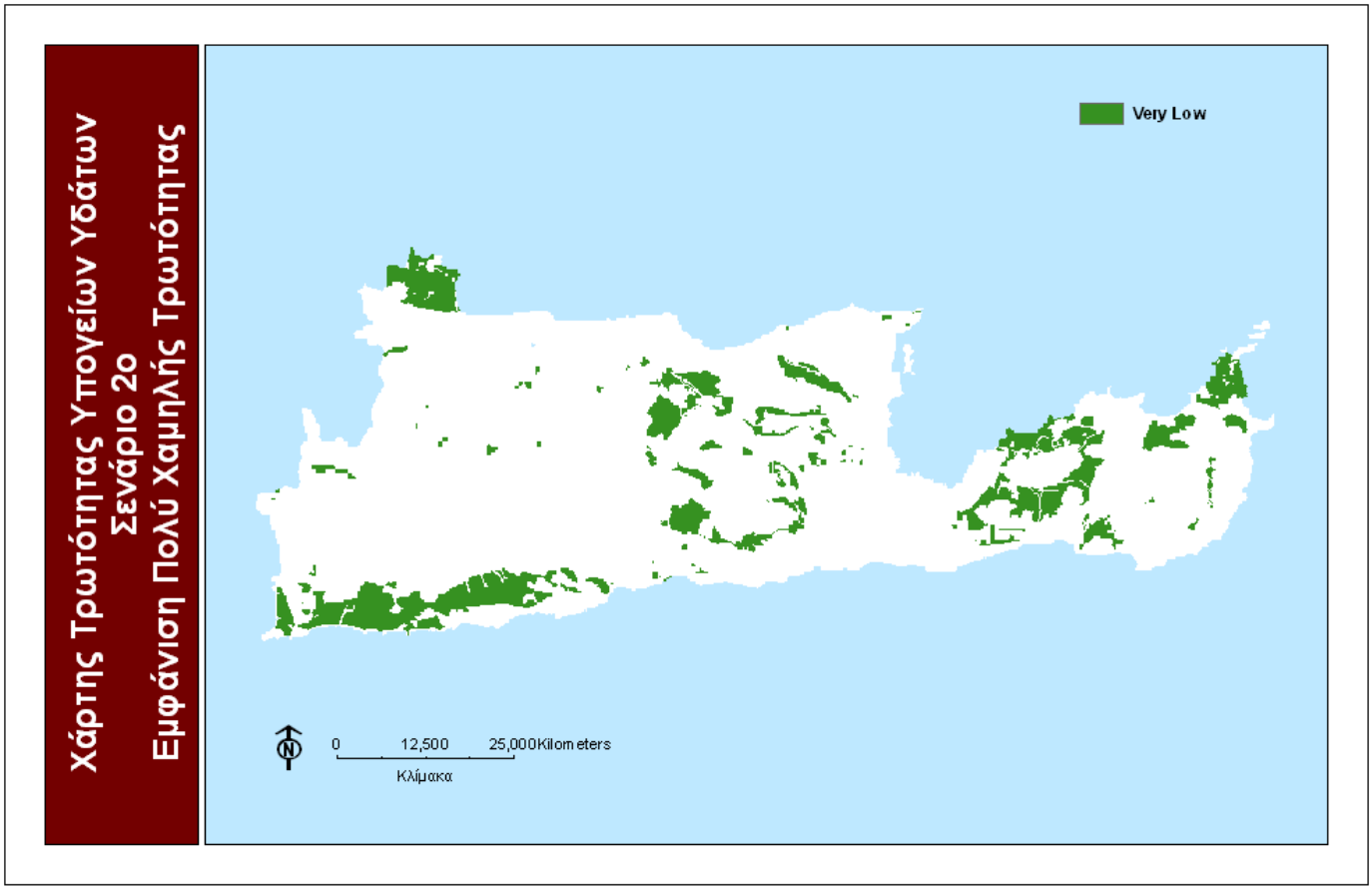
Εικόνα 5.2 : Τελικός χάρτης 2^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ υψηλή και υψηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Αξίζει να επισημανθούν οι περιοχές των νομών που κινδυνεύουν λιγότερο από τη ρύπανση των υπογείων υδάτων τους και τους λόγους που συντελούν σε αυτό.



Εικόνα 5.3 : Τελικός χάρτης 1^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ χαμηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Παρατηρώντας λοιπόν τους χάρτες που περιγράφουν τις λιγότερο επικίνδυνες περιοχές (Εικόνα 5.3, 5.4) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι περιοχές που βρίσκονται στη νοτιοδυτική και βορειοδυτική πλευρά του νομού Ηρακλείου και συγκεκριμένα οι ορεινές και ημιορεινές εμφανίζουν πολύ χαμηλή τρωτότητα ρύπανσης. Επίσης οι ορεινοί όγκοι που περιβάλλουν το Οροπέδιο του Λασιθίου, στο κέντρο του νομού Λασιθίου αλλά και βορειοανατολικά του νομού χαρακτηρίζονται ως χαμηλής τρωτότητας. Αυτό μπορεί εύκολα να κατανοηθεί αν λάβουμε υπόψη μας ότι η γεωλογία στις περιοχές αυτές αποτελείται από συμπαγής και βραχώδεις σχηματισμούς όπου αυτό καθιστά δύσκολο τη ροή των υπογείων υδάτων και κατά συνέπεια των επηρεασμό τους από εξωγενείς παράγοντες. Επιπλέον οι περιοχές χαμηλής τρωτότητας περιλαμβάνουν περιοχές Natura που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής τόσο από τις τοπικές Αρχές όσο και από διεθνής οργανισμούς.



Εικόνα 5.4: Τελικός χάρτης 2^{ου} σεναρίου με τις περιοχές που εμφανίζουν πολύ χαμηλή τρωτότητα υπογείων υδάτων

Η μελέτη του κινδύνου ρύπανσης των υπογείων υδάτων μιας περιοχής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού προσφέρει πληροφορίες οι οποίες με την κατάλληλη αξιοποίησης τους αποτελούν πολύτιμο διαχειριστικό εργαλείο. Οι πληροφορίες αυτές δίνουν τη δυνατότητα σε διάφορους φορείς (πολιτεία, τοπικούς δήμους, ιδιώτες) να κατανοήσουν την υπάρχουσα κατάσταση των υπογείων υδάτων τους να λάβουν μέτρα αποτροπής του τυχόν κινδύνου ρύπανσης τους και να βελτιώσουν την ποιότητά τους. Ειδικά όταν πρόκειται για άνυδρες νησιωτικές περιοχές όπως η Κρήτη. Καθώς οι γεωτρήσεις αποτελούν κύριο μέσο παροχής πόσιμου και αρδεύσιμου νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. ESRI, 2006. Arc View 9.2 User Manuals, Environmental System Reasearch, USA.

2. Gemitzi A., Petalas C, Tsihrintzis V., Pisinanaras V., 2006. Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques, Environ Geol 49:653-730.

3. Shaban A., Kwalie M., Abdallah C., 2006. Use of remote sensing an GIS to determine recharge potential dia zones : the case of Occidental Lebanon, Environmental Journal 14:433-443.

4. Dixon B., Scott HD., Dixon JC., Steele KF., 2002. Prediction of aquifer vulnerability to pesticides using fuzzy rule-based models at the regional scale, Phys Geogr 23:130-153.

5. Aller L, Bennet T., Petty JR., Hackett G., 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, Ada OK, Robert S(eds) Kerr Envionmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-87-035,pp 622.

6. Gogu RC., Dassargues A., 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods, Environ Geol 39:549-559.

Ελληνική Βιβλιογραφία

7. Τσακίρης Γ., 1966. Διαχείριση υδατικών πόρων μεγάλης κλίμακας. Διεθνείς εμπειρίες και προοπτικές. Πρακ.Δ. Συν. Διαχ. Υδατ. Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα

8. Βροντάκη Ε., 2001. Υφαλμύρινση σε Παράκτιους Υδροφορείς -Τρόποι Ανίχνευσης με τη χρήση Γεωφυσικών Μεθόδων, Διπλωματική εργασία, Χανιά.

9. Καλλέργης Γ. Διαχείριση ή Σοφή Χρήση των Υπόγειων Νερών, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας-Τεχνικής Γεωλογίας, Πάτρα.

10. Μανιάτης Ι., 1996. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Θεσσαλονίκη.

11. Φυτιανός Κ., 2008. Ρύπανση Υδάτινων Πόρων, παρουσίαση ημερίδας.

12. Αντωνόπουλος Β. (2001) .Σημειώσεις μαθήματος «Ρύπανση και προστασία του περιβάλλοντος» Τμήμα Γεωπονίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Βιβλιογραφικές αναφορές μέσω ιστοσελίδων

www.meteo.gr

wvwv.grapsas.blogspot.com

www.economis.gr

www.4crete.gr

www.crete-region.gr

www.dafermos.gr

www.creta-info.gr

www.heraklion.gr/

www.geo.auth.gr

www.lasithinet.gr