



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ

DRASTIC-LU

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Βασίλειος Τσιχριντζής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2020



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

**LABORATORY OF RECLAMATION WORKS AND WATER RESOURCES
MANAGEMENT**

DIPLOMA THESIS

**EVALUATION OF GROUNDWATER VULNERABILITY USING THE DRASTIC-LU METHOD IN EAST
ATTICA**

DIMITROPOULOS GEORGIOS

Supervisor: V.A Tsihrintzis, Professor N.T.U.A

Athens, March 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ
DRASTIC-LU**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
Δημητρόπουλου Γεώργιου**

Επιβλέπων: Βασίλειος Τσιχριντζής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....

Βασίλειος Τσιχριντζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ιωάννης Ναλπάντης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π

Ελένη Βασιλείου
Ε.ΔΙ.Π Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε ορισμένους ανθρώπους που συνέβαλαν τα μέγιστα για να φτάσω στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Βασίλειο Τσιχριντζή, καθηγητή του Ε.Μ.Π, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την ευθύνη μου δέχτηκε να είναι ο επιβλέπων της εργασίας. Ακόμα, καθοριστική ήταν η συμβολή του δίνοντάς μου καίριες συμβουλές και κατευθύνσεις, μέσα από τις δυσκολίες που αντιμετώπισα για την ολοκλήρωση του έργου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, στην Ινώ Παπαγεωργάκη, υποψήφια διδάκτορα του Ε.Μ.Π, η οποία με βοήθησε σημαντικά με θέματα που αφορούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου των Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων για όλες τις γνώσεις που μου παρείχαν όλα τα χρόνια φοίτησής μου στο Ε.Μ.Π.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διεύθυνση Περιφέρειας Υδάτων και συγκεκριμένα τον κύριο Νίκο Χειλά, Μ.Sc Γεωλόγο, για τις συμβουλές του και την παροχή σημαντικών δεδομένων για την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και το κ. Ζόραπα Βασίλειο και το Ι.Γ.Μ.Ε για όλα τα δεδομένα που μου παρείχε.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην κυρία Βασιλείου Ελένη, Δρ. ΕΔΙΠ του Ε.Μ.Π, για την πολύτιμη συμβολή της. Την ευχαριστώ για τον χρόνο που μου αφιέρωσε, λύνοντας μου σημαντικές απορίες και υποδεικνύοντας τις κατευθύνσεις για την ολοκλήρωση της εργασίας που μου είχε ανατεθεί. Χωρίς την δική της συμβολή δεν θα είχα βγάλει εις πέρας τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών της Σχολής των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και έχει θέμα την αξιολόγηση της τρωτότητας των υπογείων νερών της Ανατολικής Αττικής με την δημιουργία χαρτών τρωτότητας.

Η ορθολογική διαχείριση των υπογείων νερών, ειδικά σε χώρες όπου τα υδατικά αποθέματα ολοένα συρρικνώνονται ποσοτικά ή ποιοτικά κρίνονται ακατάλληλα, αποτελεί μια σύγχρονη αναγκαιότητα για όλους τους φορείς που εμπλέκονται άμεσα ή έμμεσα στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η αύξηση της αστικοποίησης, οι εκτεταμένες αγροτικές δραστηριότητες, η επερχόμενη κλιματική αλλαγή (μείωση βροχοπτώσεων κλπ) συμβάλλουν στην περαιτέρω μείωση των διαθέσιμων αποθεμάτων υπογείων νερών.

Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DRASTIC-LU, η οποία εκτιμά την τρωτότητα των υπογείων νερών χρησιμοποιώντας 8 παράγοντες. Με την βοήθεια των GIS (συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών) δημιουργήθηκαν χάρτες τρωτότητας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι: βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (D), του εμπλουτισμού (R), του υλικού του υδροφορέα (A), του εδαφικού υλικού (S), της κλίσης του αναγλύφου (T), της επίδρασης της ακόρεστης ζώνης (I) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (C) και η παράμετρος των χρήσεων γης (LU).

Στη συγκεκριμένη διπλωματική ο γενικός δείκτης τρωτότητας κυμαίνονταν από 77- 206, ενώ ο ειδικός ήταν υψηλότερος και ξεκίναγε από 92- 222. Η εφαρμογή της μεθόδου υπέδειξε την περιοχή των Μεσογείων ως εκείνη που είναι πιο ευάλωτη ή “τρωτή” στη νιτρορρύπανση, γεγονός που επαληθεύτηκε από τις πραγματικές μετρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή έρευνας.

Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθόδου DRASTIC- LU πραγματοποιήθηκε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των χαρτών τρωτότητας με το χάρτη χωρικής κατανομής νιτρικών ιόντων (mg/L) στην περιοχή, , όπου επιβεβαιώνονται οι ζώνες επικινδυνότητας που

προέκυψαν από το χάρτη τρωτότητας. Οι υπόγειοι υδροφορείς στην περιοχή των Μεσογείων, έχουν χαρακτηριστεί ότι βρίσκονται σε κακή χημική κατάσταση, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων, πράγμα που αποδεικνύει και την ορθότητα της εφαρμογής της μεθόδου DRASTIC (LU) στην περιοχή μελέτης.

Abstract

This thesis was prepared as part of the Diploma studies of the Department of Rural and Surveying Engineers of the National Technical University of Athens. The aim is to assess the vulnerability of groundwater in eastern Attica by creating vulnerability maps.

Rational groundwater management, especially in countries where water reserves are increasingly shrinking or are deemed inadequate, is a contemporary necessity for all stakeholders directly or indirectly involved in water resources management. Increased urbanization, widespread agricultural activities, upcoming climate change (reduction of rainfall, etc.) are contributing to the further reduction of available groundwater reserves.

The DRASTIC-LU method was used for the evaluation of vulnerability, which assesses the vulnerability of groundwater using 8 factors. Vulnerability maps were created with the help of GIS (Geographic Information Systems). Specifically, the following parameters were used: depth of aquifer (D), recharge (R), aquifer material (A), soil material (S), slope of relief (T), effect of unsaturated zone (I), hydraulic conductivity (C) and parameter of land use (LU).

In this thesis, the general vulnerability index ranged from 77 to 206, while that of the expert was higher, ranging from 92 to 222. The study showed the region of Mesogeia to be the most vulnerable to nitrate pollution, which was verified by the actual measurements made in the research area.

The results of the DRASTIC-LU method were verified by comparing the results of the vulnerability maps with the nitrate spatial distribution map (mg / L) in the region, where the risk zones resulting from the vulnerability map are confirmed. Underground aquifers in the Mediterranean region have been characterized as being in poor chemical condition due to the increased concentrations of nitrate ions, which also demonstrates the correctness of the DRASTIC (LU) method in the study area.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Εικόνων	15
Κατάλογος Πινάκων	17
Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή	19
1.1 Εισαγωγή.....	19
1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	20
Κεφάλαιο 2: Η ρύπανση των υπογείων νερών και η αντιμετώπισή της	21
2.1 Υδρολογικός Κύκλος	21
2.2 Υπόγεια Ύδατα.....	23
2.3 Ρύπανση των υπογείων νερών	25
2.4 Αντιμετώπιση ρύπανσης υπογείων νερών	26
2.5 Κριτήρια ποιότητας υπογείων νερών.....	28
Κεφάλαιο 3: Τρωτότητα υπογείων νερών - Μέθοδος DRASTIC-LU	31
3.1 Η έννοια της τρωτότητας.....	31
3.2 Μέθοδοι εκτίμησης τρωτότητας.....	35
3.2.1 Στατιστικές μέθοδοι.....	35
3.2.2 Μέθοδοι προσομοίωσης	36
3.2.3 Μέθοδοι βαθμονόμησης και δεικτών	36
3.3 Μέθοδος DRASTIC-LU.....	36
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου DRASTIC	39
3.5 Επεξήγηση των παραμέτρων	41
3.6 Χρήση της μεθόδου από ερευνητές στην Ελλάδα και στο εξωτερικό	43
Κεφάλαιο 4: Αναγνώριση της περιοχής της Ανατολικής Αττικής	47
4.1 Περιοχή έρευνας	47
4.2 Δημογραφικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	48
4.3 Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης	51
4.4 Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	53
4.5 Υδρογεωλογία	58
4.6 Κλίμα περιοχής.....	60
4.6.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά	60
Κεφάλαιο 5: Εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής μελέτης με την μέθοδο DRASTIC-LU	63
5.1 Πρακτική εφαρμογή της μεθόδου	63
5.1.1 Εκτίμηση παράγοντα D	63
5.1.2 Εκτίμηση παράγοντα R	70
5.1.3 Εκτίμηση παράγοντα A	76
5.1.4 Εκτίμηση παράγοντα S.....	79
5.1.5 Εκτίμηση παράγοντα T.....	83
5.1.6 Εκτίμηση παράγοντα I.....	86

5.1.7 Εκτίμηση παράγοντα C	89
5.1.8 Εκτίμηση παράγοντα LU	93
5.2 Υπολογισμός τελικού δείκτη τρωτότητας DRASTIC (DI)	95
Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση της μεθόδου και εξαγωγή συμπερασμάτων	103
6.1 Αξιολόγηση της μεθόδου με καταμέτρηση των νιτρικών ιόντων.....	103
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα της μελέτης.....	113
Βιβλιογραφία	115

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Υδρολογικός κύκλος (Evans J. 1996)	22
Εικόνα 2: Περιοχή κίνησης υπογείου νερού- Υδροφόροι ορίζοντες (Wikipedia Freeware)	25
Εικόνα 3: Ακρωνύμια μεθόδου DRASTIC (http://frakturmedia.net/oswp/drastic/).....	37
Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης και θέση της στην Ελλάδα	47
Εικόνα 5: Πληθυσμός δήμων περιοχής μελέτης 2011	49
Εικόνα 6: Γράφημα χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.....	51
Εικόνα 7: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης.....	52
Εικόνα 8: Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Μουντράκης 2010)	54
Εικόνα 9: Στρωματογραφική στήλη Αττικο- Κυκλαδικής μάζας (Σπανός 2012)	55
Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης σε μορφή raster (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)	56
Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής (Ι.Γ.Μ.Ε 2010).....	57
Εικόνα 12: Υπόγεια υδροφόρα συστήματα Αττικής	58
Εικόνα 13: Χάρτης υδραυλικής αγωγιμότητας σχηματισμών σε μορφή raster (Ι.Γ.Μ.Ε 2010).....	59
Εικόνα 14: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό των Σπάτων.....	61
Εικόνα 15: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάντζας.....	61
Εικόνα 16: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό του Λαυρίου	62
Εικόνα 17: Θέσεις όλων των σταθμημετρήσεων.....	66
Εικόνα 18: Πίνακας βαθμολόγησης τιμών παράγοντα D.....	67
Εικόνα 19: Χάρτης βαθών της περιοχής μελέτης	68
Εικόνα 20: Χάρτης D.....	69
Εικόνα 21: Θέσεις μετεωρολογικών σταθμων.....	73
Εικόνα 22: Χάρτης ενεργής κατείδυσης.....	74
Εικόνα 23: Χάρτης R	75
Εικόνα 24: Χάρτης A	78
Εικόνα 25: Εδαφολογικός χάρτης	81
Εικόνα 26: Χάρτης S.....	82
Εικόνα 27: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους περιοχής	84
Εικόνα 28: Χάρτης κλίσεων εδάφους περιοχής.....	85
Εικόνα 29: Χάρτης T	87
Εικόνα 30: Χάρτης ακόρεστης ζώνης	88
Εικόνα 31: Χάρτης I	91
Εικόνα 32: Χάρτης C	92
Εικόνα 33: Χάρτης LU	94

Εικόνα 34: Γενική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής.....	96
Εικόνα 35: Ειδική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής	98
Εικόνα 36: Περιοχές νιτρορρύπανσης Ανατολικής Αττικής σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβερνήσεως	104
Εικόνα 37: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Μεσογαίας (Ι.Γ.Μ.Ε 2010) ..	106
Εικόνα 38: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα του Υμηττού (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)	107
Εικόνα 39: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Λαυρεωτικής (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)	109
Εικόνα 40: Συγκέντρωση των νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Αναβύσσου (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)	110

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κύριες χημικές παράμετροι ποιότητας υπογείων νερών	28
Πίνακας 2: Αξιολόγηση ανιόντων - κατιόντων στα υπόγεια νερά.....	29
Πίνακας 3: Κατηγορίες τρωτότητας (Κατσιφάρακης 1992).....	34
Πίνακας 4: Βαρύτητα παραμέτρων (Aller 1987).....	38
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση τρωτότητας βάση των τιμών του δείκτη DRASTIC.....	39
Πίνακας 6: Πληθυσμός δήμων της περιοχής μελέτης το 2011.....	49
Πίνακας 7: Μεταβολή πληθυσμού στους δήμους από το 1991-2011.....	50
Πίνακας 8: Έκταση δήμων	50
Πίνακας 9: Πηγάδια περιοχής μελέτης (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε 2010).....	64
Πίνακας 10: Γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε 2010).....	65
Πίνακας 11: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του Λαυρίου.....	71
Πίνακας 12: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της Κάντζας	71
Πίνακας 13: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στα Σπάτα	72
Πίνακας 14: Ξηρή και υγρή περίοδος μετεωρολογικών σταθμών	72
Πίνακας 15: Συντεταγμένες μετεωρολογικών σταθμών και ενεργή κατεύθυνση (R).....	73
Πίνακας 16: Βαθμολόγηση κατεύθυνσης	74
Πίνακας 17: Βαθμολόγηση υδροφορέα.....	77
Πίνακας 18: Βαθμολόγηση εδάφους	80
Πίνακας 19: Βαθμολόγηση κλίσεων.....	86
Πίνακας 20: Πίνακας βαθμολόγηση παράγοντα I	89
Πίνακας 21: Πηγή κατηγοριοποίησης υδραυλικής αγωγιμότητας.....	90
Πίνακας 22: Βαθμολόγηση υδραυλικής αγωγιμότητας.....	90
Πίνακας 23: Βαθμολόγηση χρήσεων γης (Aller 1987)	93
Πίνακας 24: Διαβάθμιση Γενικής τρωτότητας.....	97
Πίνακας 25: Διαβάθμιση Ειδικής τρωτότητας.....	97

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτίμηση της τρωτότητας των υπογείων νερών της Ανατολικής Αττικής. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από 3 υπόγεια υδροφόρα συστήματα τα οποία δέχονται μεγάλες πιέσεις λόγω των μεγάλων γεωργικών εκτάσεων και των συνεχών αλλαγών των χρήσεων γης.

Για την εκτίμηση της τρωτότητας χρησιμοποιήθηκε η ευρέως γνωστή μέθοδος DRASTIC τροποποιημένη, καθώς χρησιμοποιήθηκαν και οι χρήσεις γης, σε περιβάλλον GIS και συγκεκριμένα στο πρόγραμμα ArcMap. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές στο παρελθόν και εκτιμά τον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών του κάθε υδροφορέα χρησιμοποιώντας δεδομένα υδρογεωλογικά, εδαφολογικά και υδραυλικά. Λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής και των πολλών υδροφορέων η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση ζωνών επικινδυνότητας ρύπανσης. Με βάση τις τελικές τιμές του δείκτη DRASTIC αναπτύχθηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας ο οποίος χαρακτηρίζει τις ζώνες επικινδυνότητας που δημιουργήθηκαν. Προκειμένου να ελεγχθεί το αποτέλεσμα της μεθόδου, πραγματοποιήθηκε σύγκριση του χάρτη τρωτότητας με τους χάρτες χωρικής κατανομής συγκέντρωσης νιτρικών του κάθε υπόγειου υδροφορέα. Ο χάρτης εκτίμησης της τρωτότητας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τη χάραξη ζωνών προστασίας, το σχεδιασμό χρήσεων γης και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Είναι ένα εργαλείο που δεν μπορεί αντικαταστήσει σε καμία περίπτωση την έρευνα πεδίου, αλλά είναι ένας γενικός οδηγός για τους επιστήμονες και όλων των εμπλεκόμενων σχετικά με τη λήψη αποφάσεων για την ορθολογική διαχείριση των νερών, τους λήπτες αποφάσεων και τους διαχειριστές νερών.

Για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ενέργειες-εργασίες:

- Συλλογή και μελέτη διεθνών αλλά και ελληνικών εργασιών οι οποίες σχετίζονται με την τρωτότητα των υπογείων νερών. Ακόμα, συλλογή προγενέστερων εργασιών οι οποίες πραγματεύονται τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της Ανατολικής Αττικής.

- Συλλογή γεωλογικών δεδομένων, βροχομετρικών δεδομένων αλλά και δεδομένων που αφορούν σε γεωτρήσεις και πηγάδια στην περιοχή μελέτης. Τέλος, συλλέχθηκαν τα δεδομένα χρήσεων γης της περιοχής μελέτης σε ηλεκτρονική μορφή.
- Ανάκτηση του ψηφιακού μοντέλου τους εδάφους της περιοχής από το σύνολο δεδομένων GMTED2010 ακρίβειας 7.5 arcseconds σε μορφή tiff.
- Ψηφιοποίηση όλων των δεδομένων με τα παρακάτω προγράμματα. ArcMap για την παραγωγή των θεματικών χαρτών και Excel για την επεξεργασία των βροχομετρικών αλλά και των δεδομένων από γεωτρήσεις.
- Παραγωγή των θεματικών χαρτών, δηλαδή των χαρτών των παραμέτρων της μεθόδου, αλλά και του τελικού χάρτη τρωτότητας.
- Συλλογή χαρτών συγκέντρωσης νιτρικών της περιοχής της Ανατολικής Αττικής και σύγκριση με τον τελικό χάρτη τρωτότητας, για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο βασικό θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο ήταν αναγκαίο για την ολοκλήρωση της εργασίας, αλλά και σε χρήσιμες έννοιες σχετικά με τα υπόγεια νερά και την ποιότητά τους. Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό κομμάτι της μεθόδου DRASTIC-LU η οποία χρησιμοποιήθηκε, καθώς και επεξήγηση της έννοιας της τρωτότητας και διάφορες μεθόδους υπολογισμού της πέρα από την συγκεκριμένη. Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει την περιοχή μελέτης και την υπάρχουσα κατάσταση. Αναφέρονται κλιματικά, γεωλογικά, υδρογεωλογικά στοιχεία και υπάρχουσα κατάσταση των χρήσεων γης καθώς και δημογραφικά χαρακτηριστικά της Ανατολικής Αττικής. Στο κεφάλαιο πέντε γίνεται η πρακτική εφαρμογή της μεθόδου, με την δημιουργία των θεματικών χαρτών κάθε παραμέτρου αλλά και των τελικών χαρτών που παρουσιάζουν την ειδική και γενική τρωτότητα της περιοχής έρευνας. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και η πλήρης αξιολόγηση της μεθόδου με την σύγκριση των χαρτών τρωτότητας με χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.

Κεφάλαιο 2: Η ρύπανση των υπογείων νερών και η αντιμετώπισή της

2.1 Υδρολογικός Κύκλος

Το νερό είναι το μεγαλύτερο και πολυτιμότερο αγαθό που προσφέρει η φύση και είναι απαραίτητο στοιχείο ζωής στον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Από μια πρώτη εκτίμηση, η συνολική ποσότητα νερού ίση με $1370 \times 10^{15} \text{ m}^3$ που υπάρχει στη γη φαίνεται να είναι υπεραρκετή και ουσιαστικά ανεξάντλητη, όμως λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα εκμετάλλευσης των υδατικών αυτών πόρων η εικόνα γίνεται τελείως διαφορετική (Λατινόπουλος 1986). Αυτό γιατί αρχικά το 97.3% της συνολικής αυτής ποσότητας είναι αλμυρό νερό, δηλαδή ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για οικιακή, αγροτική και βιομηχανική χρήση. Επίσης το 2.1% αφορά χιόνια και πάγους και αφαιρώντας ένα πολύ μικρό ποσοστό νερού που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε μορφή υδρατμών, καταλήγει κανείς σε ένα τελικό ποσό $8.5 \times 10^{15} \text{ m}^3$, περίπου 0.6% δηλαδή του συνόλου, που αποτελεί τον εκμεταλλεύσιμο πόρο σε υγρή κατάσταση. Από το νερό αυτό το 98% είναι υπόγειο νερό, νερό δηλαδή το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο ή κινείται στο έδαφος (Λατινόπουλος 1986). Δυστυχώς σχεδόν η μισή ποσότητα των αποθεμάτων αυτών είναι αποθηκευμένη σε πολύ μεγάλα βάθη από την επιφάνεια της γης (> 800 m), όπου η ποσότητα των περιεχομένων αλάτων είναι πολύ μεγάλη και η άντληση του είναι υπερβολικά δαπανηρή. Γίνεται λοιπόν φανερό από τα παραπάνω ότι το διαθέσιμο για εκμετάλλευση νερό είναι πράγματι ένα πολύτιμο αγαθό και η χρήση του θα πρέπει να είναι μετρημένη και όπου καθίσταται αναγκαία (Λατινόπουλος 1986).

Τα υπόγεια νερά αποτελούν τμήμα μιας τεράστιας ποσότητας νερού σε διάφορες καταστάσεις η οποία όμως δεν παραμένει στάσιμη αλλά βρίσκεται σε μια διαρκή μετατροπή και κυκλοφορία περιοδικού χαρακτήρα. Η ποσότητα αυτή αλλά και οι διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτή ονομάζεται Υδρολογικός κύκλος. Στον Υδρολογικό κύκλο το νερό βρίσκεται σε όλες τις πιθανές καταστάσεις, δηλαδή υγρό, στερεό (χιόνι/ χαλάζι), αέριο (υδρατμοί), κυκλοφορώντας στη φύση μεταξύ θάλασσας, ξηράς και ατμόσφαιρας. Σαν αρχή αυτού του κύκλου θα μπορούσαμε να πάρουμε την κατάσταση του νερού στην ατμόσφαιρα σε μορφή υδρατμών που προέρχονται από την εξάτμιση του νερού από τις θάλασσες, τις λίμνες, τους ποταμούς, το έδαφος κ.α, η οποία προκαλείται από τον ήλιο ή και από την διαπνοή των φυτών. Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι

2.2 Υπόγεια Ύδατα

Τα υπόγεια ύδατα παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτόν τον κύκλο καθώς εμφανίζονται έντονα σε δύο περιπτώσεις: 1) Κατά την διήθηση επιφανειακών νερών από την επιφάνεια του εδάφους προς τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα (Λατινόπουλος 1986) και 2) Κατά την κίνηση του υπόγειου νερού κοντά στην επιφάνεια και την γρήγορη έξοδό του με την μορφή απορροής προς τα υδατορεύματα, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Αυτός ο κύκλος του υπογείου νερού γίνεται στα υδροφόρα στρώματα τα οποία ονομάζονται υδροφορείς. Τα υδροφόρα στρώματα είναι σχηματισμοί οι οποίοι τα κενά τους είναι πληρωμένα με νερό, ώστε να έχουν την δυνατότητα τροφοδοσίας πηγών ή γεωτρήσεων με μεγάλες ποσότητες νερού. Ένας υδροφορέας μπορεί να είναι είτε ελεύθερος (μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας και της επιφάνειας του εδάφους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατος σχηματισμός), είτε υπό πίεση ή περιορισμένος (όταν ο υδροφορέας περιορίζεται ανάμεσα σε δύο αδιαπέρατα στρώματα). Χαρακτηριστικό των υδροφορέων είναι η ικανότητα που έχουν να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό (Τσακίρης 2013). Είναι φανερό ότι τα υπόγεια ύδατα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς λόγω των υδροφορέων, είναι εύκολη η αξιοποίηση τους. Οι υδροφορείς διακρίνονται σε 3 κατηγορίες: τους κοκκώδεις, τους ρηγματωμένους και τους καρστικούς.

Κοκκώδεις Υδροφορείς

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι προσχωσιγενείς υδροφορείς. Το εδαφικό υλικό των σχηματισμών είναι σύνθετο καθώς αποτελείται από κόκκους με ακανόνιστο σχήμα. Κατά την απόθεση των κόκκων αυτών παραμένουν κενοί χώροι που επιτρέπουν την αποθήκευση και την κίνηση νερού

Ρηγματωμένοι Υδροφορείς

Εδώ η υδροπερατότητα οφείλεται στην παρουσία ρηγμάτων δηλαδή κενών χώρων με μήκος μεγαλύτερο από το πλάτος τους. Αυτά τα ρήγματα δημιουργούνται από τεκτονική δραστηριότητα, την συστολή πετρωμάτων λόγω ψύξης καθώς και λόγω διάφορων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Καρστικοί Υδροφορείς

Εμφανίζονται σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι κενοί χώροι είναι παρόμοιοι με αυτούς των ρηγματωμένων και οφείλονται σε χημική διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου. Εδώ η κίνηση του νερού μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα την μεταφορά ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις. Συχνά χρησιμοποιούνται κοινά μαθηματικά ομοιώματα με τους ρηγματωμένους για να τους μελετήσουμε, εκτός από την περίπτωση που η καρστικοποίηση είναι έντονη (Κατσιφάρακης 1992).

Το νερό διεισδύει στο έδαφος περνώντας από πολλά εδαφικά στρώματα πριν φτάσει στους υδροφόρους ορίζοντες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κατείσδυση, δηλαδή η είσοδος του νερού από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους κινούμενο προς τα βαθύτερα στρώματα. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σημαντικό ρόλο στην εκμετάλλευση του υπογείου νερού καθώς και στην ποιότητα του, παίζει το έδαφος και οι κατώτερες ζώνες που περιλαμβάνει. Υπάρχουν πολλοί τύποι εδαφών, ανάλογα με τα πετρώματα που περιλαμβάνουν, στα οποία δεν επιτρέπεται η κατείσδυση του νερού. Το κατά πόσο εύκολη είναι η κίνηση του νερού στα εδάφη λόγω των πετρωμάτων το ορίζει η έννοια της υδροπερατότητας και της υδραυλικής αγωγιμότητας (Λατινόπουλος 1986). Τα πετρώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα Υδροπερατά, στα οποία το νερό κυκλοφορεί μέσα τους με ευκολία, τα αδιαπέρατα στα οποία το νερό δεν διεισδύει και τέλος υπάρχουν κάποια πετρώματα στα οποία το νερό διεισδύει αλλά το δεσμεύουν και δεν επιτρέπουν εύκολα την κυκλοφορία του. Υδροπερατοί σχηματισμοί είναι οι κοκκώδεις: άμμος, χάλικες, κροκάλες, ψαμμίτες κ.α και οι μακροπερατικοί-καρστικοί: ασβεστόλιθοι, μάρμαρα. Αδιαπέρατοι είναι σχηματισμοί όπως: ο πηλός, ο άργιλος, μάργες, ο φλύσχος, οι σχιστόλιθοι κ.α. (Βουδούρης 2005). Η υδραυλική αγωγιμότητα έχει διαστάσεις ταχύτητας [L/T] και περιγράφεται από το νόμο Darcy. Γενικά, οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως:

- Πολύ υδροπερατοί όταν $K \geq 10^{-1} \text{ m / s}$
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} < K < 10^{-1} \text{ m / s}$
- Λίγο υδροπερατοί όταν $10^{-9} < K < 10^{-6} \text{ m / s}$
- Πρακτικά στεγανοί όταν $K \leq 10^{-9} \text{ m / s}$

Η Εικόνα 2 παρουσιάζει την περιοχή την οποία κινείται το νερό καθώς και σχηματική επεξήγηση των υδροφόρων οριζόντων.



Εικόνα 2: Περιοχή κίνησης υπογείου νερού- Υδροφόροι ορίζοντες (Wikipedia Freeware)

2.3 Ρύπανση των υπογείων νερών

Η ποιότητα των νερών, και των υπογείων και των επιφανειακών, είναι από τα πιο σημαντικά θέματα τα οποία επηρεάζουν τόσο το περιβάλλον όσο και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Συγκεκριμένα τα υπόγεια νερά, τα οποία δεν είναι τόσο εκτεθειμένα στην ρύπανση όσο τα επιφανειακά, αποτελούν βασική πηγή νερού καθώς λόγω των κατακρημνίσεων θεωρούνται ανανεώσιμοι πόροι. Είναι φανερό ότι σε περίπτωση εντοπισμού ρύπου στα υπόγεια νερά η διαδικασία εξυγίανσης είναι πολύ δύσκολη και δαπανηρή. Ακόμα, λόγω της μικρής ταχύτητας των υπογείων νερών ο ρύπος που έχει εισχωρήσει σε αυτά, λόγω της δυσκολίας να αφαιρεθεί, παραμένει στο έδαφος για μεγάλο διάστημα ρυπαίνοντας έτσι και αυτό (Λατινόπουλος 1986).

Τα υπόγεια νερά και γενικά οι υδατικοί πόροι ρυπαίνονται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Οι κυριότερες πηγές ρύπων των υπογείων νερών προέρχονται από τις παρακάτω δραστηριότητες (Κούγκολος 2007):

- Απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων (στερεά απορρίμματα, λύματα, κ.α)
- Χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων
- Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων
- Απόρριψη προϊόντων μεταλλευτικής δραστηριότητας
- Διάθεση πυρηνικών αποβλήτων
- Διαρροή πετρελαιοειδών

Η ρύπανση μπορεί επίσης να οφείλεται και σε φυσικά αίτια, δηλαδή σε αίτια τα οποία δεν έχει επέμβει ο άνθρωπος. Αυτά μπορεί να είναι (Κούγκολος 2007):

- Επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.α)
- Στην έντονη εξάτμιση που προκαλεί ανύψωση του υπογείου νερού και απόθεση αλάτων
- Στην οξείδωση πετρωμάτων
- Στην διείδυση της θάλασσας

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες προκαλούν διαφορετικές επιπτώσεις η κάθε μία στην ποιότητα των υπογείων νερών. Η ρύπανση προκαλείται από ανόργανες και οργανικές ουσίες αλλά και από μικροοργανισμούς. Οι πιο συχνά παρατηρούμενες ανόργανες ουσίες που μπορούν να εμφανιστούν είναι τα νιτρικά, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα, τα οξέα και τα βαρέα μέταλλα. Οι οργανικοί ρύποι είναι ενώσεις από φυτά, ζώα αλλά και ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελούνται συνήθως από άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο και άζωτο. Προέρχονται κυρίως από τα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα, αλλά και από τα απόβλητα, τόσο τα αστικά όσο και τα βιομηχανικά (Κούγκουλος 2007).

2.4 Αντιμετώπιση ρύπανσης υπογείων νερών

Είναι φανερό πως η ρύπανση των υπογείων υδάτων με οποιοδήποτε ρύπο προκαλεί πολύ σοβαρές ζημιές στους υπόγειους υδροφορείς που πολλές φορές είναι ανεπανόρθωτες. Η πρόληψη της είναι η αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη μέθοδος αντιμετώπιση της ρύπανσης αποφεύγοντας έτσι ανεπανόρθωτες βλάβες. Η απορρύπανση ή εξυγίανση αποσκοπεί στην ανάληψη ενεργειών και δράσεων για την αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων ή τον περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης σε άλλες περιοχές, μέσω της κίνησης του νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλήρης αποκατάσταση των υπογείων υδροφορέων και του εδάφους είναι αδύνατο να επιτευχθεί (Καλλέργης 2000).

Υπάρχουν πολλοί τρόποι απορρύπανσης των υδάτων και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι ένα αποτέλεσμα πολλών μεταβλητών που είναι οι εξής: η φύση, η ποσότητα και το είδος του ρύπου (σημειακή ή διάχυτη, συνεχής η παροδική), το πάχος της ακόρεστης και της κορεσμένης ζώνης, το κόστος και η διαθέσιμη τεχνολογία και η μελλοντική χρήση γης (Κατσιφάρακης 1992). Πρώτο βήμα για την επιλογή της μεθόδου αποτελεί η επιτόπια

παρακολούθηση που περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού και αερίων με σκοπό να καθοριστούν φυσιοχημικές ιδιότητες των ρύπων. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό και δεν πρέπει να γίνει με βιασύνη κάτι που σημαίνει ότι για σοβαρές καταστάσεις μπορεί να διαρκέσει και πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (έως και 3 δεκαετίες).

Η απλούστερη και οικονομικότερη μέθοδος είναι η μηδενική. Σε αυτή την μέθοδο η εξασθένιση ή απομάκρυνση του ρύπου οφείλεται στους φυσικούς μηχανισμούς οι οποίοι μπορεί να είναι η προσρόφηση στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών, η βιολογική αποδόμηση, η αραίωση. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι αυτή η μέθοδος επιφέρει αποτελέσματα με πολύ αργούς ρυθμούς οπότε δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις στις οποίες ο ρύπος έχει ήδη επιφέρει επιβάρυνση στα υπόγεια ύδατα (Βουδούρης 2005). Μια αποτελεσματική μέθοδος είναι η εκσκαφή και απομάκρυνση του εδάφους και μαζί και του ρύπου αλλά το κόστος της είναι μεγάλο και είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί καθώς η εξεύρεση κατάλληλης θέσης για το ρυπασμένο χώμα είναι πρόβλημα. Ένας άλλος τρόπος είναι αυτός με τους φραγμούς (στεγανούς). Τέτοιοι είναι πασσαλοσανίδες, οι κουρτίνες στεγανοποίησης και τα διαφράγματα από υδαρές υλικό. Αυτό γίνεται λόγω της χαμηλής τους υδροπερατότητας. Άλλη μια αποτελεσματική μέθοδος, αλλά και με μεγάλες οικονομικές απαιτήσεις, είναι αυτή της επιτόπιας επεξεργασίας είτε χημικής ή βιολογικής. Η επεξεργασία πραγματοποιείται με την εισαγωγή στο υπέδαφος υλικών που προκαλούν ή ενισχύουν το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων, που ακινητοποιούν ή απομακρύνουν το ρύπο ή δημιουργούν περιβάλλον ευνοϊκό για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, που χρησιμοποιούν το ρύπο ως πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα, η επεξεργασία του υπογείου νερού στην επιφάνεια ή το υπέδαφος γίνεται με Αερο-διαχωρισμό οργανικών ρύπων, αερο-διασπορά, βιοαπορρύπανση, προσρόφηση με ενεργό άνθρακα. Για την αφαίρεση των μετάλλων και των ανόργανων ρύπων χρησιμοποιείται η χημική καθίζηση. Τέλος, αποτελεσματική λύση είναι και ο έλεγχος των επιφανειακών νερών με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αφίξεων ρύπων μέσω των επιφανειακών νερών και της κατείδυσης, μέσω αποχέτευσης, επένδυσης-στεγανοποίησης ή/και εξουδετέρωση του ρύπου με προσρόφηση (Καλλέργης 2000). Όλες οι μέθοδοι απορρύπανσης αποσκοπούν στην απομάκρυνση των ρύπων ή στην επιτόπου επεξεργασία αυτών και ονομάζονται μέθοδοι ενεργητικής απορρύπανσης.

2.5 Κριτήρια ποιότητας υπογείων νερών

Υπάρχουν πολλές παράμετροι που υποδεικνύουν την ποιότητα των νερών, στην περίπτωση μας των υπογείων νερών, και χωρίζονται σε φυσικές και χημικές. Οι φυσικές είναι οι: θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια, ενώ οι χημικές είναι οι: pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα και Δυναμικό Οξειδωαναγωγής. Ακολουθεί ο Πίνακας 1 με τις κυριότερες παραμέτρους των υπογείων νερών αλλά και ο Πίνακας 2 με κάποιες μέσες αποδεκτές τιμές ανιόντων και κατιόντων.

Πίνακας 1: Κύριες χημικές παράμετροι ποιότητας υπογείων νερών

Παράμετροι	Περιγραφή
pH	Συνήθως η τιμή του στο υπόγειο νερό κυμαίνεται από 7,2 - 7,7
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας
Σκληρότητα	Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{++} και το Mg^{++} .

Πίνακας 2: Αξιολόγηση ανιόντων - κατιόντων στα υπόγεια νερά

Ιόντα-Κατιόντα	Περιγραφή
Ασβέστιο	Η περιεκτικότητα στα υπόγεια νερά κυμαίνεται από 10 έως 100 mg/L
Μαγνήσιο	Η περιεκτικότητα στα υπόγεια νερά είναι 50 mg/L
Κάλιο	Η περιεκτικότητα στα υπόγεια νερά είναι μικρότερη από 10 mg/L
Νάτριο	Η μέση συγκέντρωση στα υπόγεια νερά είναι μικρότερη των 200 mg/L
Θειικά	Η συγκέντρωσή τους στα υπόγεια νερά δεν υπερβαίνει τα 300 mg/L
Όξινα ανθρακικά	Συνήθως οι συγκεντρώσεις δεν ξεπερνάνε τα 500 mg/L

Κεφάλαιο 3: Τρωτότητα υπογείων νερών - Μέθοδος DRASTIC-LU

3.1 Η έννοια της τρωτότητας

Η έννοια της τρωτότητας έχει ερμηνευθεί από πολλούς επιστήμονες όπου ο καθένας έδωσε και τον δικό του ορισμό. Η πρώτη ερμηνεία δόθηκε από τον Margat (1968) στην Γαλλία με σκοπό να εκφράσει και να υπολογίσει το μέγεθος της προστασίας του υπογείου νερού από το περιβάλλον. Οι παράγοντες στους οποίους βασίστηκε ώστε να βγάλει τα συμπεράσματα είναι το βάθος του υπογείου νερού, η διαπερατότητα, η ταχύτητα του υπογείου νερού και η σχέση υπογείων και επιφανειακών νερών. Οι Olmer and Rezac (1974) ορίζουν την τρωτότητα ως “τον βαθμό έκθεσης των υπογείων νερών σε κίνδυνο υποβάθμισης από φυσικές ουσίες”. Άλλος ένας ορισμός δόθηκε από τους Villamsenet (1983) οι οποίοι θεώρησαν την ποιότητα των υπογείων νερών ως δείκτη τρωτότητας και έδωσαν έμφαση στους παράγοντες που επηρεάζουν αυτή. Τέλος, οι Bachmat and Collin (1987) όρισαν την τρωτότητα ως την “ευαισθησία της ποιότητας των υπογείων νερών στις επιπτώσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως καταδεικνύεται από τις αλλαγές της ποιότητας των υπογείων νερών”.

Είναι φανερό ότι η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει το υπόγειο νερό ως ένα βαθμό. Αυτό σημαίνει ότι κάποιες περιοχές είναι πιο ευάλωτες από κάποιες άλλες ανάλογα με το φυσικό περιβάλλον που τις περικλείει (Κατσιφαράκης 1992). Επειδή η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία που έχει ένας ρύπος να φτάσει στον υδροφορέα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μία περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφορέα, αποδεικνύεται ότι είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί πιθανά να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου αποδέκτη.

Η τρωτότητα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν υπάρχει εξειδίκευση σε κάποιο ρύπο. Έτσι έχουμε :

1. Την ειδική τρωτότητα η οποία αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρύπο ή ομάδα ρύπων

2. Την γενική τρωτότητα που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρύπο.

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι η τρωτότητα δεν ταυτίζεται με την ευαισθησία του υδροφορέα καθώς η δεύτερη είναι η ευκολία με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα και είναι χαρακτηριστικό των γεωλογικών συνθηκών, της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης και ανεξάρτητη των χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών του ρύπου. Οι Rao and Alley (1996) ταύτισαν την ευαισθησία του υδροφορέα με την γενική τρωτότητα.

Η τρωτότητα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε τρία στάδια (Στουρνάρας 1977):

1. Την είσοδο του ρύπου στο υδατικό σύστημα το οποίο συνδέεται με τις υδρολογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά του ρύπου.
2. Την παραμονή του ρύπου στο υδατικό σύστημα το οποίο συνδέεται με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου και τις υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες του υδροφορέα.
3. Το τελευταίο στάδιο υπάρχει μόνο αν γίνεται εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα και ερμηνεύεται ως η άφιξη του ρύπου στο υδροληπτικό έργο.

Ένας τρόπος ο οποίος αποτυπώνει τις περιοχές με αυξημένο ή όχι τον κίνδυνο ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων είναι οι χάρτες τρωτότητας. Οι χάρτες αυτοί είναι σε κλίμακα νομού ή περιφέρειας αλλά ακόμα και ολόκληρης της χώρας. Ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των υδρογεωλογικών χαρτών και επειδή τα αποτελέσματα της κάθε έρευνας μπορεί να αλλάξουν πολύ συχνά απαιτούν ενημέρωση σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το αποτέλεσμα του χάρτη είναι ένας συνδυασμός διαφόρων πληροφοριών οι οποίες είναι (Καλλέργης 2000):

- ◆ Μορφολογία η οποία περιλαμβάνει υψόμετρα, μεταβολές μορφολογικών κλίσεων, κ.α
- ◆ Βλάστηση στην οποία ανήκουν οι χρήσεις γης, διαδρομές υπεδάφικου νερού, περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης, ρυπογόνα συστατικά
- ◆ Κλιματολογία (βροχομετρικά δεδομένα, μέση θερμοκρασία αέρα, υγρασία, κ.α.)
- ◆ Έδαφος δηλαδή το πάχος του, τον ιστό του, την δομή, την ορυκτολογική σύσταση κ.α.
- ◆ Χρήσεις νερού που επικρατούν εκεί. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιούμε τα σημεία υδροληψίας (γεωτρήσεις, πηγές) και τις θέσεις των υδροληπτικών έργων

- ◆ Χημεία με την οποία εννοούμε τις φυσικές και χημικές ιδιότητες επιφανειακών και υπόγειων νερών, τους χημικούς δείκτες, την ηλικία του υπογείου νερού και τον χρόνο παραμονής του στον υδροφορέα και φυσικά την παρουσία ρύπων και τα χαρακτηριστικά τους
- ◆ Ανθρώπινες επεμβάσεις στο περιβάλλον
- ◆ Και τελευταίο και ίσως με την μεγαλύτερη βαρύτητα η υδρογεωλογία. Για να αντλήσουμε πληροφορίες βασιζόμαστε στην ακόρεστη και την κορεσμένη ζώνη όπου υπολογίζουμε το βάθος του υπογείου νερού, το πάχος, την λιθοστρωματογραφία, την ορυκτολογία, τον τύπο του υδροφορέα (ελεύθερος ή υπό πίεση), κ.α

Πέρα από την προφανή χρησιμοποίησή τους οι χάρτες αυτοί αν συνδυαστούν με χάρτες χρήσεων γης, ποιότητας νερού και πυκνότητας πληθυσμού αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στην λήψη αποφάσεων, την διαχείριση και την νομοθεσία σε όλα τα επίπεδα δημόσιας διοίκησης. Ο καλύτερος και πιο σύγχρονος τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι με τα GIS (συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών) στα οποία οι χάρτες αποτελούν layers (θεματικά επίπεδα). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χαρτογράφησης με βάση το GIS είναι ο συνδυασμός των επιπέδων δεδομένων και η ταχεία μεταβολή των παραμέτρων των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση της τρωτότητας (Wang et al. 2007).

Σε έναν "ιδανικό κόσμο" ο κίνδυνος για τα υπόγεια νερά από κάθε δραστηριότητα που δυνητικά ρυπαίνει θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ατομικής έρευνας - αλλά αυτό δεν είναι ρεαλιστικό, οικονομικά αποδοτικό, ούτε επαρκές για τις ανησυχίες στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων. Η έκφραση τρωτότητα του υδροφόρου σε ρύπανση άρχισε να χρησιμοποιείται διαισθητικά για να μεταφέρει τις ανησυχίες σχετικά με τη ρύπανση από την επιφάνεια της γης κατά γενικό τρόπο από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 - στη Γαλλία αρχικά (Albinet and Margat 1970). Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, υπήρχαν διάφορες προσπάθειες για να επισημοποιηθεί ο ορισμός της έκφρασης και για την ανάπτυξη των σχετικών συστημάτων χαρτογράφησης (DRASTIC, GOD, SINTACS, etc.) (Aller et al. 1987, Foster 1987, Foster and Hirata 1988, Civita 1994). Αυτά όλα προσπάθησαν να απεικονίσουν πολύπλοκες διεργασίες με απλό τρόπο, οι οποίες είχαν επιστημονική βάση, αλλά περιλάμβαναν διαφορετικού εύρους παράγοντες που μπορούσαν να συμβάλουν, ποικίλους βαθμούς απλοποίησης και υποκειμενική επαγγελματική κρίση. Το κρίσιμο ερώτημα που αντιμετωπίζει η εν λόγω απόπειρα απλοποίησης είναι η εγκυρότητα της χρήσης ενός ενιαίου

"ολοκληρωμένου δείκτη τρωτότητας", λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι (στην επιστημονική πραγματικότητα) κάθε κατηγορία των πιθανών ρύπων των υπόγειων υδάτων επηρεάζεται σε διαφορετικό βαθμό από διάφορες διεργασίες εξασθένησης που λειτουργούν φυσικά στο έδαφος και στην ακόρεστη ζώνη (Foster and Hirata 1988). Ωστόσο, αν περιορίσουμε τη χρήση του όρου "τρωτότητα" στη θεώρηση μόνο δυνητικά ρυπογόνων δραστηριοτήτων στην αμέσως-υπερκείμενη επιφάνεια της γης και γίνει χρήση "έξυπνων ορισμών" για τις διάφορες κατηγορίες τρωτότητας, τότε αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί σε μεγάλο βαθμό και η χρήση του ολοκληρωμένου δείκτη να είναι αιτιολογημένη. Αυτό στη συνέχεια ευνοεί σε μεγάλο βαθμό, την πρακτική εφαρμογή της έννοιας. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κατηγορίες τρωτότητας.

Πίνακας 3: Κατηγορίες τρωτότητας (Κατσιφάρাকης 1992)

Κατηγορία τρωτότητας	Αντίστοιχος Ορισμός
Ακραία	Τρωτότητα στους περισσότερους ρύπους στο νερό με σχετικά ραγδαίες επιπτώσεις, σε πολλά σενάρια ρύπανσης
Υψηλή	Τρωτότητα σε πολλούς ρύπους, εκτός από αυτούς που απορροφώνται πλήρως ή μετασχηματίζονται, σε πολλά σενάρια ρύπανσης
Μέτρια	Τρωτότητα σε ορισμένους ρύπους, αλλά μόνον όταν συνεχώς εκφορτίζονται ή αποπλέκονται
Χαμηλή	Τρωτότητα μόνο σε συντηρητικούς ρύπους μακροπρόθεσμα όταν συνεχώς και ευρέως εκφορτίζονται ή αποπλέκονται
Αμελητέα	Παρουσία περιοριστικών στρώσεων χωρίς σημαντική κατακόρυφη ροή υπόγειου νερού (διαρροή)

3.2 Μέθοδοι εκτίμησης τρωτότητας

Η ποσοτικοποίηση της τρωτότητας ξεκίνησε από τον LeGrand (1964) ο οποίος εισήγαγε την έννοια του δυναμικού ρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων. Χρησιμοποίησε υδρογεωλογικά κριτήρια όπως την υδροπερατότητα, πάχος της ακόρεστης ζώνης καθώς και την απορρόφηση και προσφόρηση στην συγκεκριμένη ζώνη, καθώς και άλλα χαρακτηριστικά και με βάση την βαθμολογία της περιοχής κατηγοριοποίησε την περιοχή ως προς την τρωτότητα σε 4 κατηγορίες με μεγαλύτερη εκείνη με τρωτότητα <4 και μικρότερη εκείνη με >12 . Δύο εξίσου σημαντικά πρότυπα για την εκτίμηση της τρωτότητας είναι εκείνα του (Evans 1987) και του Dienemann (1956). Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι ο Evans (1987) εισήγαγε τη χρήση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Η διαφορά σε αυτή την μέθοδο είναι ότι ο κάθε παράγοντας θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με έναν συντελεστή βαρύτητας, ο οποίος θα εξαρτάται από τον ερευνητή, και έτσι θα προκύψει ο τελικός δείκτης δραστηριότητας. Όσο μεγαλύτερες τιμές έχει ο δείκτης δραστηριότητας τόσο υψηλότερο είναι το δυναμικό ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Υπάρχουν 3 κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι μέθοδοι εκτίμησης και είναι οι εξής:

1. Μέθοδοι βαθμονόμησης και δεικτών, οι οποίοι περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών και υβριδικές μεθόδους που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους.
2. Στατιστικές μέθοδοι
3. Μέθοδοι προσομοίωσης

3.2.1 Στατιστικές μέθοδοι

Οι στατιστικές μέθοδοι είναι και οι πιο απλές καθώς αποτελούνται από μια περιγραφική στατιστική των συγκεντρώσεων διαφόρων ρύπων, καθώς και ανάλυση συσχέτισης (π.χ. συγκέντρωση νιτρικών ιόντων με το βάθος). Στην πιο σύνθετη μορφή της μια στατιστική μέθοδος μπορεί να εφαρμόσει μια σύνθετη ανάλυση συσχέτισης που ενσωματώνει τα αποτελέσματα μερικών παραμέτρων και προβλέπει τις πιθανότητες εμφάνισης της ρύπανσης. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται σπάνια καθώς τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο αξιόπιστα όσο είναι με άλλες μεθόδους.

3.2.2 Μέθοδοι προσομοίωσης

Δύο αρκετά δημοφιλείς μέθοδοι, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των μεθόδων προσομοίωσης είναι το MODFLOW και το MT3D. Η ευρύτερη κατηγορία επιλύει αριθμητικά τις εξισώσεις κίνησης του υπογείου νερού. Συγκεκριμένα το MODFLOW επιλύει την εξίσωση ροής ενώ το MT3D την εξίσωση εξέλιξης των ρύπων. Είναι φανερό ότι οι μέθοδοι προσομοίωσης δίνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και χρησιμοποιούνται πιο συχνά από ότι οι στατιστικές μέθοδοι.

3.2.3 Μέθοδοι βαθμονόμησης και δεικτών

Είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνικές εκτίμησης κινδύνου ρύπανσης τόσο στη χώρα μας αλλά και γενικά σε όλο τον κόσμο. Οι κυριότερες τεχνικές είναι οι: DRASTIC (Aller et al. 1987), GOD (Foster 1987), AVI (Vanstempvoort 1992), SINTACS (Civita 1994), ISIS (Civita and Regibus 1995), DASTI (Ben Kabbour 2004). Η σύγκριση των μεθόδων έδειξε μεγάλη διαφορά στα παραγόμενα αποτελέσματα και αυτό γιατί η κάθε μέθοδος χρησιμοποιεί διαφορετικό αριθμό παραμέτρων, από 2 έως 7.

3.3 Μέθοδος DRASTIC-LU

Η μέθοδος DRASTIC αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος και εφαρμόστηκε πολλές φορές και από πολλούς ερευνητές εκεί (Dunford 1990, Evans and Meyers 1990, Shukla 2000, Maliday and Wolfie 1991), αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Ακόμα και σήμερα συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε όλα τα μέρη του κόσμου δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Η μεθοδολογία DRASTIC ανήκει στις μεθόδους δεικτών και βασίζεται σε 3 θεωρίες :

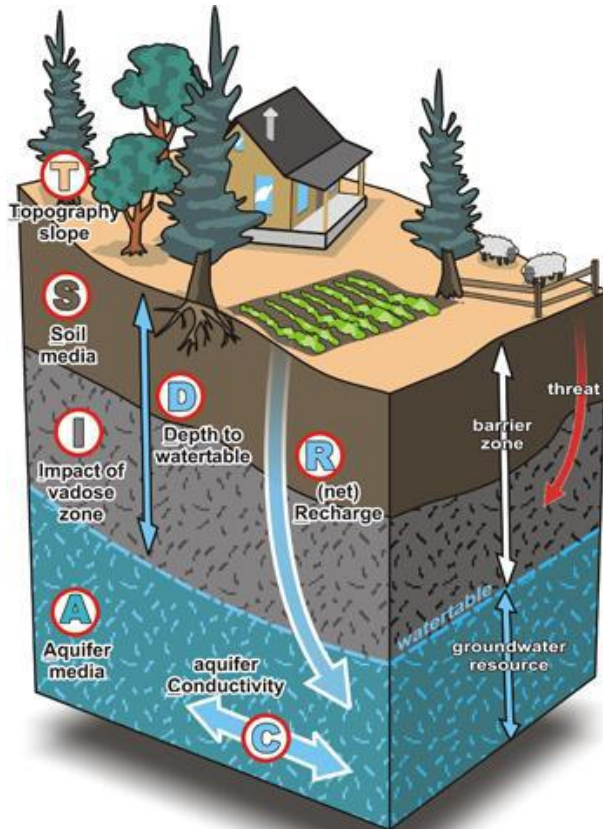
1. Κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους
2. Ο ρύπος εισάγεται στο υπόγειο νερό από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης
3. Ο ρύπος έχει την ταχύτητα του νερού

Η λέξη DRASTIC προέρχεται από τα αρχικά γράμματα 7 παραμέτρων :

- D (Depth): Βάθος της στάθμης υπογείου νερού
- R (Recharge): Ενεργή κατείσδυση
- A (Aquifer): Υδροφορέας

- S (Soil): Έδαφος
- T (Topography): Τοπογραφία
- I (Impact of vadose zone): επίδραση της ακόρεστης ζώνης
- C (Hydraulic Conductivity of the aquifer): Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας.

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει τα ακρωνύμια της μεθόδου DRASTIC ως προς τα εδαφικά στρώματα.



Εικόνα 3: Ακρωνύμια μεθόδου DRASTIC (<http://frakturmedia.net/oswp/drastic/>)

Η μέθοδος DRASTIC-LU αποτελεί μία τροποποιημένη μέθοδο και συμπεριλαμβάνει και μία όγδοη παράμετρο το LU, το οποίο περιλαμβάνει τις χρήσεις γης (Land Use). Η τροποποιημένη μέθοδος ξεκίνησε από την θεωρία ότι οι υδροφόροι και τα υπόγεια νερά είναι εγγενώς ευπαθή στη ρύπανση από τη χρήση της γης και άλλες ανθρωπογενείς επιπτώσεις (Thirumalaivasan 2003). Η τροποποιημένη μέθοδος πέρα από πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο έχει χρησιμοποιηθεί και στην Ελλάδα (Βουδούρης και Μανδηλαράς 2005, Γκεμιτζή 2005, Παναγόπουλος 2005).

Για κάθε παράμετρο δημιουργούνται διαβαθμίσεις που παίρνουν τιμές από 1 έως 10 με βάση την επίδραση της καθεμίας στην επικινδυνότητα των υπογείων υδάτων. Επόμενο βήμα είναι η προσθήκη βαρών της κάθε παραμέτρου, με το οποίο κάθε βάρος αντανακλά την σχετική σημασία τους. Ο τελικός δείκτης DI τρωτότητας είναι το γινόμενο των βαρών και των βαθμίδων των 7 παραμέτρων και στην τροποποιημένη μέθοδο των 8.

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w + LU_r LU_w \quad (1)$$

Ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της διαβάθμισης και ο δείκτης w το βάρος της κάθε παραμέτρου. Κάθε τιμή έχει δύο τιμές βαρύτητας. Η πρώτη είναι για την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση οικιακών και βιομηχανικών ρύπων (γενική), και η δεύτερη είναι για τη χρήση φυτοφαρμάκων σε αρδευόμενες περιοχές (ειδική). Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 4 με τις τιμές της βαρύτητας των παραμέτρων στην γενική και την ειδική αντίστοιχα. Από τον πίνακα προκύπτει, στην γενική, ότι το βάθος της στάθμης του υπογείου νερού και η επίδραση της ακόρεστης ζώνης έχουν την μεγαλύτερη επίδραση γι' αυτό παίρνουν και την τιμή 5. Στην ειδική περίπτωση, πέρα από το βάθος, σπουδαίο ρόλο παίζει ακόμα και το έδαφος παίρνοντας και αυτό την τιμή 5.

Πίνακας 4: Βαρύτητα παραμέτρων (Aller 1987)

Παράμετρος	Βαρύτητα (Γενική)	Βαρύτητα (Ειδική)
D Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού	5	5
R Ενεργή κατείσδυση	4	4
A Υδροφορέας	3	3
S Έδαφος	2	5
T Κλίση ανάγλυφου	1	3
I Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	5	3
C Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας	3	2

Οι τιμές των διαβαθμίσεων παίρνουν τιμές από 1 έως 10 με την τιμή 1 να δηλώνει το ελάχιστο δυναμικό ρύπανσης και το 10 το μέγιστο δυναμικό ρύπανσης. Ο Aller (1987) ο

οποίος δημιούργησε αυτή τη μέθοδο, έδωσε συγκεκριμένες τιμές στις 7 παραμέτρους. Με το πέρασμα των χρόνων όμως και όντας μια ευέλικτη μέθοδος, ο χρήστης μπορεί να δώσει δικές του τιμές βαρύτητας αλλά και να προσθέσει παραμέτρους σύμφωνα με τις συνθήκες της περιοχής μελέτης και την προσωπική του κρίση. Η επιλογή των παραμέτρων βασίζεται σε ποιοτικά κριτήρια και όχι σε ποσοτικές έρευνες (Garrett 1989).

Ο Aller et al. (1987) προτείνει κάποιες τιμές κατηγοριοποίησης τρωτότητας της περιοχής, ανάλογα με την τελική τιμή του δείκτη DRASTIC, οι οποίες όμως δεν είναι οι μόνες που μπορεί να βασιστεί ο ερευνητής χάρη στην ευελιξία που του δίνεται. Οι τιμές παρουσιάζονται παρακάτω στο Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση τρωτότητας βάση των τιμών του δείκτη DRASTIC

Τιμή δείκτη DRASTIC	Χρώμα	Τρωτότητα
> 200	Κόκκινο	Πολύ υψηλή
180 - 199	Κίτρινο-κόκκινο	Υψηλή
160 - 179	Κίτρινο	
140 - 159	Πράσινο	Ενδιάμεση
120 - 139	Σκούρο πράσινο	
100 - 119	Σκούρο μπλε	Χαμηλή
80 - 99	Κυανό	
> 79	Πορτοκαλί	Πολύ χαμηλή

Σύμφωνα με τον πίνακα γίνεται αντιληπτό πως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη DRASTIC τόσο μεγαλύτερη είναι η τρωτότητα μια περιοχής .

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου DRASTIC

Η μέθοδος DRASTIC είναι ευρέως γνωστή και έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά σχόλια που αφορούν πλεονεκτήματα ή μειονεκτημάτά της. Η μέθοδος θα πρέπει να χρησιμοποιείται με γνώμονα την εκτίμηση της επικρατούσας κατάστασης σε μια περιοχή και όχι την εκ του ασφαλούς «πρόγνωση». Πριν την εφαρμογή της μεθόδου κάθε μελετητής θα πρέπει να συμβουλευτεί ορισμένα σημεία τα οποία αναφέρονται στο βιβλίο του Aller et al. (1987) και τα οποία είναι:

- ✓ Η μέθοδος δεν θα πρέπει να αντικαταστήσει τις επί τόπου εργασίες στην ύπαιθρο, καθώς δεν είναι αυτός ο λόγος δημιουργίας της.
- ✓ Για την λήψη αποφάσεων και περαιτέρω μέτρων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται και άλλα στοιχεία και μέθοδοι που αφορούν την περιοχή μελέτης, καθώς η μέθοδος δίνει μόνο ένα μέτρο σχετικής τρωτότητας ενός υδροφορέα προς την ρύπανση και όχι το μοναδικό.
- ✓ Μπορεί να εφαρμοστεί για την κατηγοριοποίηση περιοχών όπου η διασφάλιση των υπόγειων συστημάτων έχει μείζονα σημασία και μπορεί να συνδυαστεί με άλλους παράγοντες για τον προσδιορισμό περιοχών, που απαιτούνται άμεσα προστατευτικά μέτρα.
- ✓ Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και όταν τα δεδομένα είναι ελλιπή, με χαμηλότερου επιπέδου αποτελέσματα, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στο χρήστη να έχει μία σημαντική εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος.
- ✓ Πέρα από το γεγονός ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλης έκτασης περιοχές, έχει και σχετικά χαμηλό κόστος το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα.
- ✓ Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εισαγωγή των δεδομένων αλλά και την αξιοπιστία τους, καθώς εσφαλμένα δεδομένα θα επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.
- ✓ Δίνεται η ευκαιρία στον ερευνητή να χρησιμοποιήσει παράγοντες που αφορούν τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής (ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβάσεις), καθώς και η βαθμονόμηση τους ανάλογα με την σημαντικότητά τους.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως έχουν εκφραστεί από διάφορους ερευνητές οι οποίοι χρησιμοποίησαν και μελέτησαν την συγκεκριμένη μέθοδο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης πολλών μεταβλητών για το τελικό αποτέλεσμα, καθώς και ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και εξασφάλιση στατιστικής ακρίβειας της μεθόδου λόγω της συσχέτισης που γίνεται όσον αφορά τη σημαντικότητα κάθε παράγοντα σε σχέση με τους υπόλοιπους (Rosen 1994).

- Πολύ καλά αποτελέσματα σε μεγάλες περιοχές με πολύπλοκη γεωλογική δομή, παρά την έλλειψη μετρήσεων που είναι απαραίτητες για άλλες μεθόδους (Kalinski 1994).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Λόγω των πολλών μεταβλητών υπάρχει περίπτωση υποτίμησης ορισμένων παραγόντων έναντι κάποιων άλλων οδηγώντας έτσι σε εσφαλμένα αποτελέσματα (Παναγόπουλος 2005).
- Η επιλογή των παραμέτρων που συμμετέχουν στην εκτίμηση της τρωτότητας, βασίζεται σε ποιοτικά και όχι σε ποσοτικά δεδομένα (Garrett 1989).
- Η μέθοδος έχει την τάση να υπερεκτιμά την τρωτότητα των πορωδών υδροφορέων, σε σύγκριση με τους ρηγματωμένους υδροφορείς (Rosen 1994).
- Τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι δύσκολο να ελεγχθούν, καθώς η μέθοδος υποθέτει ότι ένας συγκεκριμένος ρύπος με συγκεκριμένες ιδιότητες εφαρμόζεται σε όλη την έκταση της περιοχής ομοιόμορφα και για ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

3.5 Επεξήγηση των παραμέτρων

Βάθος της στάθμης του υπογείου νερού (D)

Ο συγκεκριμένος παράγοντας καθορίζει το πάχος του υλικού μέσω του οποίου κινείται το νερό άρα και το μέσο που πρέπει να μετακινηθεί ένας ρυπαντικός παράγοντας πριν φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα και μπορεί να συμβάλει στον προσδιορισμό του χρόνου κατά τον οποίο διατηρείται η επαφή με το περιβάλλον. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα ρύπανσης. Τα δεδομένα τα οποία χρειάζονται για τον υπολογισμό του τα λαμβάνουμε από τις γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης.

Ενεργή κατείσδυση (R)

Αναφέρεται στη συνολική ποσότητα του νερού που διεισδύει και εμπλουτίζει το υδροφόρο σύστημα. Μέσω της κατείσδυσης μεταφέρονται οι ρύποι στο υπέδαφος. Αποτελεί μια συνάρτηση του ύψους βροχής, της κλίσης του ανάγλυφου και της περατότητας του εδάφους. Η κατείσδυση υπολογίζεται από την μέση ετήσια βροχόπτωση.

Υδροφόρο μέσο (A)

Αναφέρεται στο ενοποιημένο ή μη ενοποιημένο μέσο που χρησιμεύει ως υδροφόρος ορίζοντας. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κόκκων μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα, τόσο μικρότερη είναι η εξασθένιση και κατά συνέπεια μεγαλύτερο το δυναμικό ρύπανσης. Στοιχεία για τον προσδιορισμό της παραμέτρου λαμβάνουμε από γεωλογικούς χάρτες.

Έδαφος (S)

Η παράμετρος αναφέρεται στην ακόρεστη επιφανειακή ζώνη διάβρωσης η οποία και ελέγχει το ποσό κατείδυσης. Το δυναμικό ρύπανσης του εδάφους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του υπάρχοντος στρώματος και το μέγεθος των κόκκων του εδάφους (Umar 2009). Δεδομένα για το έδαφος βρίσκουμε στους εδαφολογικούς χάρτες.

Τοπογραφία-Κλίση ανάγλυφου (T)

Η παράμετρος αναφέρεται στην κλίση του εδάφους η οποία ελέγχει την επιφανειακή απορροή και εμμέσως την κατείδυση. Οι περιοχές με χαμηλή κλίση τείνουν να συγκρατούν το νερό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτες καθώς το νερό μπορεί να συγκεντρωθεί και να εισχωρήσει στην υπόγεια επιφάνεια αυτών των περιοχών. Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμεύουν για την μελέτη της συγκεκριμένης παραμέτρου.

Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

Η παράμετρος αναφέρεται στην ακόρεστη ζώνη η οποία ελέγχει τη διέλευση και αποδυνάμωση των ρύπων. Ο βαθμός αποδυνάμωσης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από την λιθολογία, την κοκκομετρία και το πάχος. Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι πολύπλοκη και χρειάζονται δεδομένα κοκκομετρίας καθώς και γεωλογικών και λιθολογικών χαρτών

Υδραυλική αγωγιμότητα (C)

Υδραυλική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα του υδροφορέα να μεταφέρει νερό (και ρύπους) και άρα ελέγχει το ρυθμό με τον οποίο τα υπόγεια ύδατα θα ρέουν κάτω από ένα δεδομένο

υδραυλικό υπόστρωμα. Υψηλή αγωγιμότητα σημαίνει ότι ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ευάλωτος σε ρύπανση. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούμε γεωτρήσεις και δοκιμαστικές αντλήσεις.

Χρήσεις γης (LU)

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα των υπογείων νερών γι' αυτό και οι χρήσεις γης προστέθηκαν σαν παράμετρος στην μέθοδο. Μεγαλύτερο βάρος παίρνουν οι αστικές περιοχές λόγω βιομηχανικής ρύπανσης και οικιακών αποβλήτων και λιγότερο η άγονη γη και η φυσική βλάστηση. Επιπρόσθετα, σημαντικό βάρος παίρνουν και οι γεωργικές εκτάσεις καθώς η άντληση υπογείου νερού είναι πολύ μεγάλη και επίσης η χρήση φυτοφαρμάκων έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα.

3.6 Χρήση της μεθόδου από ερευνητές στην Ελλάδα και στο εξωτερικό

Όπως έχει αναφερθεί η μέθοδος DRASTIC είναι ευρέως γνωστή και έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές τόσο στη χώρα μας όσο και σε άλλες χώρες. Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά σε έξι παραδείγματα με τα πέντε να αφορούν την Ελλάδα και ένα την λεκάνη απορροής Sana'a η οποία βρίσκεται στη Νοτιοδυτική Ασία, στο νότιο άκρο της Αραβικής Χερσονήσου, μεταξύ Ομάν και Σαουδικής Αραβίας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ο Λάμπας και ο Ματιάτος (2016) αξιολόγησαν την τρωτότητα των υπογείων νερών με την μέθοδο DRASTIC, βασισμένη στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών για την δημιουργία των επιμέρους χαρτών, της περιοχής του Άργους. Το Άργος έχει έκταση 320.5 km² και περίμετρο 115.6 km. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η βασική μέθοδος προσθέτοντας και δεδομένα χρήσεων γης ώστε να υπολογισθεί ο τελικός παράγοντας DRASTIC. Τα αποτελέσματα έδειξαν στο χάρτη τις τοποθεσίες όπου θα πρέπει να δοθεί περισσότερη προσοχή και όπου το ρίσκο ρύπανσης είναι μεγαλύτερο. Στην συνέχεια παρουσιάστηκε η συγκέντρωση από νιτρικά ιόντα στα υπόγεια νερά ως παράμετρος αξιολόγησης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ο Παπαθεοδώρου (2010) αξιολόγησε την τρωτότητα των υπόγειων νερών της πεδινής ζώνης του Νομού Ημαθίας με την εφαρμογή της τροποποιημένης μεθοδολογίας DRASTIC. Η περιοχή μελέτης διακρίνεται σε τρία τμήματα: Πεδινό με έκταση 767km², ημιορεινό με έκταση 85km² και ορεινό με έκταση 857km².

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 115 υδρογεωτρήσεων που αφορούν λιθολογικές τομές, σταθμημετρήσεις και αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων. Τα αποτελέσματα της μεθόδου έδειξαν ότι το Δυτικό τμήμα της πεδιάδας το οποίο δομείται κυρίως από μικροπερατούς γεωλογικούς σχηματισμούς μέσης δυναμικότητας παρουσιάζει υψηλή έως πολύ υψηλή τρωτότητα με τιμές του δείκτη τρωτότητας να κυμαίνονται από 164-256. Για το υπόλοιπο τμήμα το οποίο δομείται από γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλής δυναμικότητας, εκτιμάται ότι αυτό εμφανίζει μέτρια ως χαμηλή τρωτότητα 81-165. Τα αποτελέσματα χαρακτηρίστηκαν ορθά καθώς έδειξαν ότι οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή τρωτότητα εμφανίζουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Ο Βουδούρης με τον Μανδηλαρά (2005) εκτίμησαν την τρωτότητα των υπογείων νερών με την μέθοδο DRASTIC στον αλλουβιακού δροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου. Η λεκάνη έχει έκταση 102 km² και αποτελεί την κύρια πηγή για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της περιοχής. Στη μέθοδο πέρα από τις 7 παραμέτρους χρησιμοποιήθηκε και η παράμετρος που αφορά τις χρήσεις γης λόγω των έντονων αλλαγών που έχουν γίνει στην περιοχή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης κυμαίνεται από 118-164 και διαχωρίζει τον υδροφορέα σε δύο τομείς με μέση διακινδύνευση τρωτότητας 118-140 και με υψηλή 141-164. Με μέση χαρακτηρίστηκε το Ανατολικό τμήμα της λεκάνης ενώ με υψηλή το Δυτικό. Η μέθοδος ερμηνεύτηκε ορθά καθώς η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων, με βάση τις χημικές αναλύσεις, είναι υψηλή στους τομείς με υψηλή βαθμονόμηση τρωτότητας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Ο Yahin Alwathaf (2011) αξιολόγησε την τρωτότητα των υπογείων νερών στη λεκάνη απορροής της Sana'a με τη μέθοδο DRASTIC στο ARCGIS. Η έκταση είναι 3.200 km².

Χρησιμοποιήθηκαν 7 παράμετροι χωρίς τις χρήσεις γης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης επικινδυνότητας κυμαίνεται από 74-163. Οι περιοχές που έχουν μεγάλη επικινδυνότητα καλύπτουν το 6.4% της συνολικής έκτασης και βρίσκονται Βόρεια. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με την εμφάνιση νιτρικών ιόντων στις περιοχές. Η μέθοδος θεωρήθηκε ορθή καθώς οι έρευνες έδειξαν ότι οι περιοχές με αυξημένη επικινδυνότητα έχουν μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών, ενώ εκείνες με ελάχιστη μικρή συγκέντρωση νιτρικών αντίστοιχα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Η Χρυσάφη Α. (2012) αξιολόγησε την τρωτότητα των υπογείων νερών στον προσχωματικό υδροφόρο ορίζοντα της Μυγδονίας λεκάνης απορροής με την μέθοδο DRASTIC-LU στο ARCGIS. Η έκταση της περιοχής μελέτης ήταν 689 km². Ο γενικός δείκτης τρωτότητας κυμαίνεται από 75- 168, ενώ η περιοχή με την μεγαλύτερη τρωτότητα είναι η παραλίμνια περιοχή της λίμνης Βόλβης και ακολουθεί η περιοχή μεριμετρικά της λίμνης Κορώνειας. Η μέθοδος θεωρήθηκε ορθή καθώς υπήρχε μία σχετική συσχέτιση των περιοχών με υψηλή τρωτότητα και αυτών με υψηλές τιμές συγκέντρωσης ιόντων.

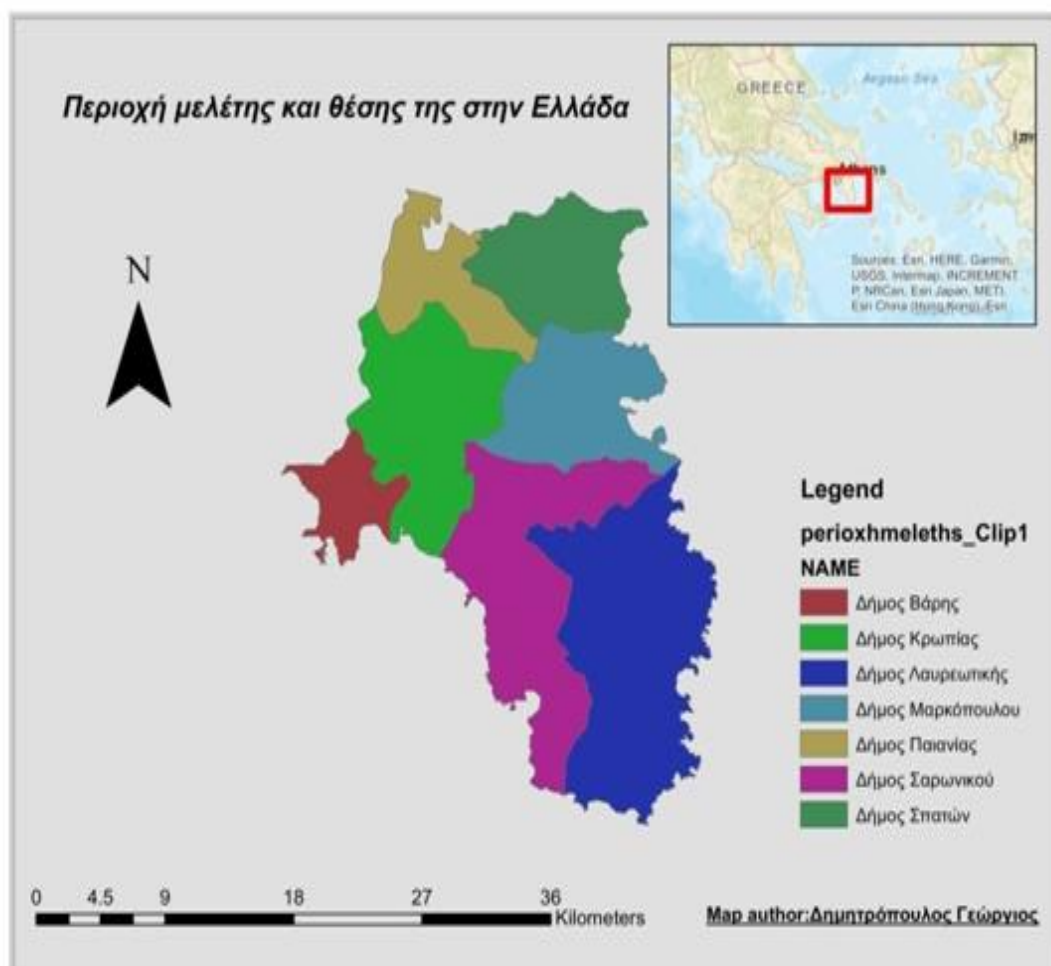
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Η Καλαϊτζάκη Ε (2018), χρησιμοποίησε την μέθοδο DRASTIC για να αξιολογήσει των τρωτότητα των υπογείων νερών στον υδροφορέα της λεκάνη των Μοιρών, Ηρακλείου Κρήτης. Η έκταση της περιοχής έρευνας ήταν 389 km². Ο γενικός δείκτης τρωτότητας ξεκινούσε από την τιμή 120 και έφτανε έως 187, ενώ ο ειδικός δείκτης από 144 έως 209. Η αξιολόγηση της μεθόδου πραγματοποιήθηκε με την σύγκριση των τελικών χαρτών τρωτότητας με χάρτες χωρικής κατανομής συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος ήταν ορθή, καθώς η περιοχή γύρω από τον Γεροπόταμο εμφανίζει τον υψηλότερο δείκτη τρωτότητας αλλά και τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.

Κεφάλαιο 4: Αναγνώριση της περιοχής της Ανατολικής Αττικής

4.1 Περιοχή έρευνας

Η περιοχή έρευνας η οποία επιλέχθηκε αποτελείται από το μεγαλύτερο μέρος της περιφερειακής ενότητας της Ανατολικής Αττικής. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από τους δήμους: Βάρης, Κρωπίας, Λαυρεωτικής, Μαρκόπουλου, Παιανίας, Σαρωνικού, Σπάτων. Η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτει έκταση 662,8 km². Ακολουθεί η Εικόνα 4 με την θέση της περιοχής έρευνας σε σχέση με την Ελλάδα. Για την δημιουργία της περιοχής έρευνας και την διαχώρισης της σε δήμους, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια δήμου του Καλλικράτη που αποκτήθηκαν από την ανοιχτή βάση δεδομένων (<http://geodata.gov.gr/>)



Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης και θέση της στην Ελλάδα

Στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής ανήκει και η λεκάνη των Μεσογείων με αποτέλεσμα οι γύρω περιοχές από αυτή να παρουσιάζουν έντονη δραστηριότητα κτηνοτροφικών μονάδων και μεγάλη συγκέντρωση καλλιεργήσιμων εκτάσεων ασκώντας έτσι μια αυξημένη πίεση προς το περιβάλλον δημιουργώντας ανησυχία για την ποιότητα των υπογείων νερών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2012). Πρόκειται για μια περιοχή με έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα καθώς και εμφανή την οικιστική δραστηριότητα. Η γεωργική καλλιέργεια, ιδιαίτερα των κηπευτικών, αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του κεντρικού τμήματος της λεκάνης. Η ύπαρξη εγκαταστάσεων διαφόρων βιοτεχνιών και μεγάλων βιομηχανικών μονάδων, η οικοδόμηση νέων βιομηχανικών μονάδων και εμπορικών αποθηκών, η εγκατάσταση και η λειτουργία του Διεθνούς Αερολιμένα «Ελευθέριος Βενιζέλος», το πυκνό οδικό δίκτυο με αντίστοιχη έντονη κυκλοφορία οχημάτων καθώς και η λειτουργία των ΧΥΤΑ Παιανίας, Κορωπίου, Μαρκόπουλου και Καλυβιών, αποτελούν δείκτες έντονης δραστηριότητας που επικρατεί στην περιοχή. Είναι φανερό από το σύνολο όλων των δραστηριοτήτων ότι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού για την κάλυψη των αναγκών. Το νερό που χρησιμοποιείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό είναι το υπόγειο, γι' αυτό η ποιότητα του είναι πολύ σημαντική και θα πρέπει να παρακολουθείται συστηματικά. Η υπερβολική άντληση έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υπογείου νερού (Βαρουχάκης 2012).

4.2 Δημογραφικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Η περιοχή έρευνας ανήκει στην περιφερειακή ενότητα της Ανατολικής Αττικής και μάλιστα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της, αποτελούμενη από 7 από τους 13 συνολικά δήμους της Ανατολικής περιφέρειας. Ολόκληρη η περιφέρεια της Αττικής είναι πυκνοκατοικημένη σε μεγάλο βαθμό και συγκεκριμένα η Ανατολική. Περιλαμβάνει 502.348 κατοίκους όπως προκύπτει από την δημογραφική έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ. ΣΤΑΤ) που πραγματοποιήθηκε το 2011.

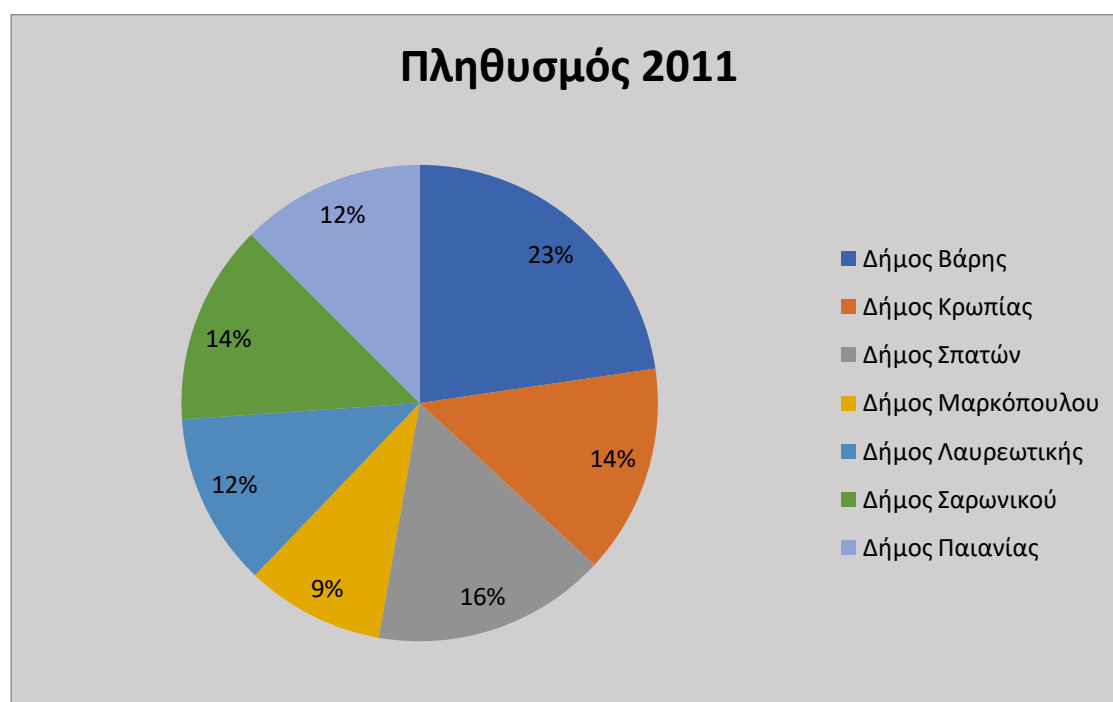
Από την ίδια έρευνα στην συνέχεια, επισυνάπτεται ο Πίνακας 6 που αναφέρει τον πληθυσμό κάθε δήμου το έτος 2011. Ακόμα στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ο πληθυσμός κάθε δήμου της περιοχής μελέτης την ίδια χρονολογία σε ποσοστιαία μορφή.

Μελετώντας τα δημογραφικά στοιχεία των προηγούμενων ετών παρατηρούμε ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στους δήμους που μας ενδιαφέρουν. Συγκεκριμένα από το έτος

1991 παρατηρείται αύξηση τουλάχιστον της τάξης του 15%, ενώ σε κάποιους δήμους πλησιάζει το 45%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7 το οποίο παρουσιάζει την απογραφή των ίδιων δήμων για τα έτη 2001 και 1991.

Πίνακας 6: Πληθυσμός δήμων της περιοχής μελέτης το 2011

Δήμος	Πληθυσμός 2011
Βάρης	48.399
Κρωπίας	30.307
Σπάτων	33.821
Μαρκόπουλου	20.040
Λαυρεωτικής	25.102
Σαρωνικού	29.002
Παιανίας	26.668



Εικόνα 5: Πληθυσμός δήμων περιοχής μελέτης 2011

Πίνακας 7: Μεταβολή πληθυσμού στους δήμους από το 1991-2011

Δήμος	Πληθυσμός 2011	Πληθυσμός 2001	Πληθυσμός 1991
Βάρης	48.399	42.127	28.928
Κρωπίας	30.307	24.453	16.239
Σπάτων	33.821	25.138	19.785
Μαρκόπουλου	20.040	13.644	9.356
Λαυρεωτικής	25.102	22.261	18.866
Σαρωνικού	29.002	22.866	13.008
Παιανίας	26.668	19.767	15.518

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού οφείλεται κυρίως στην κατασκευή του διεθνή αερολιμένα Ελευθέριος Βενιζέλος στα Σπάτα. Κατά την ίδια περίοδο, ο πληθυσμός της Δυτικής Αττικής είναι σχετικά σταθερός και αντίθετα της κεντρικής Αττικής μειώθηκε κατά 19% περίπου, γεγονός που συμβολίζει ότι η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού στην Ανατολική Αττική μπορεί να χαρακτηριστεί εσωτερική. Φυσικά αυτή η μεγάλη αύξηση έχει μεγάλες επιπτώσεις στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα της περιοχής λόγω πλέον της αυξημένης ζήτησης για την κάλυψη των αναγκών (ΕΛ. ΣΤΑΤ 2010).

Τέλος ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τις εκτάσεις κάθε δήμου ξεχωριστά σε km² όπως προέκυψαν από την ίδια έρευνα, αλλά και επαληθεύτηκαν από τον ArcMap.

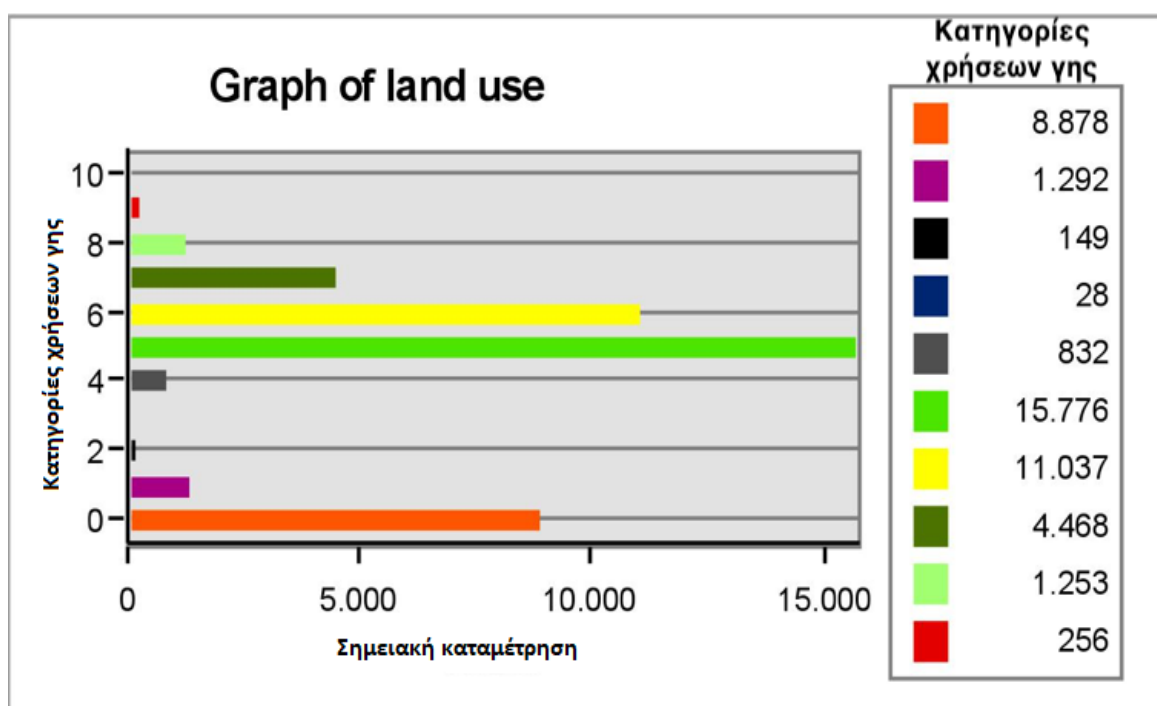
Πίνακας 8: Έκταση δήμων

Δήμος	Έκταση km ²
Βάρης	37,20
Κρωπίας	53,20
Σπάτων	73,70
Μαρκόπουλου	81,80
Λαυρεωτικής	139,10
Σαρωνικού	175,80
Παιανίας	102,00

4.3 Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης

Για την μελέτη των χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον διαδικτυακό ιστότοπο (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) για την χρονολογία 2012. Τα δεδομένα κατέβηκαν σε μορφή .shp και παρουσιάζονται στην Εικόνα 7, όπου φαίνονται αναλυτικά οι χρήσεις γης της περιοχής έρευνας σε μορφή raster.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, η οποία παρουσιάζει ένα γράφημα στο οποίο φαίνεται η σημειακή εμφάνιση κάθε κατηγορίας χρήσεων γης, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης καλύπτεται από καλλιέργειες, οι οποίες είναι κυρίως ελαιώνες και αμπελώνες. Ο αστικός ιστός καλύπτει επίσης μεγάλο μέρος της επιφάνειας και εμφανίζεται κυρίως στα άκρα. Νοτιοδυτικά και συγκεκριμένα στον δήμο Λαυρεωτικής είναι εμφανής η φυσική βλάστηση σε συνδυασμό με δάσος και λίγο πιο πάνω και ανατολικά στον δήμο Σαρωνικού υπάρχει ένα μέρος καμένης έκτασης. Ακόμα εκτός από το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος που εμφανίζεται στον δήμο Μαρκόπουλου υπάρχουν και διάσπαρτα βιομηχανικές μονάδες και μία μονάδα εξόρυξης ορυκτών. Είναι φανερό πως με τις μεγάλες εκτάσεις καλλιέργειας, αστικού ιστού (κυρίως σπιτιών) και μεγάλων βιομηχανιών η ανάγκη νερού και η εκμετάλλευση του γίνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό ο οποίος οδηγεί στην υπεράντλυσή του.



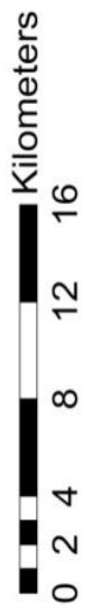
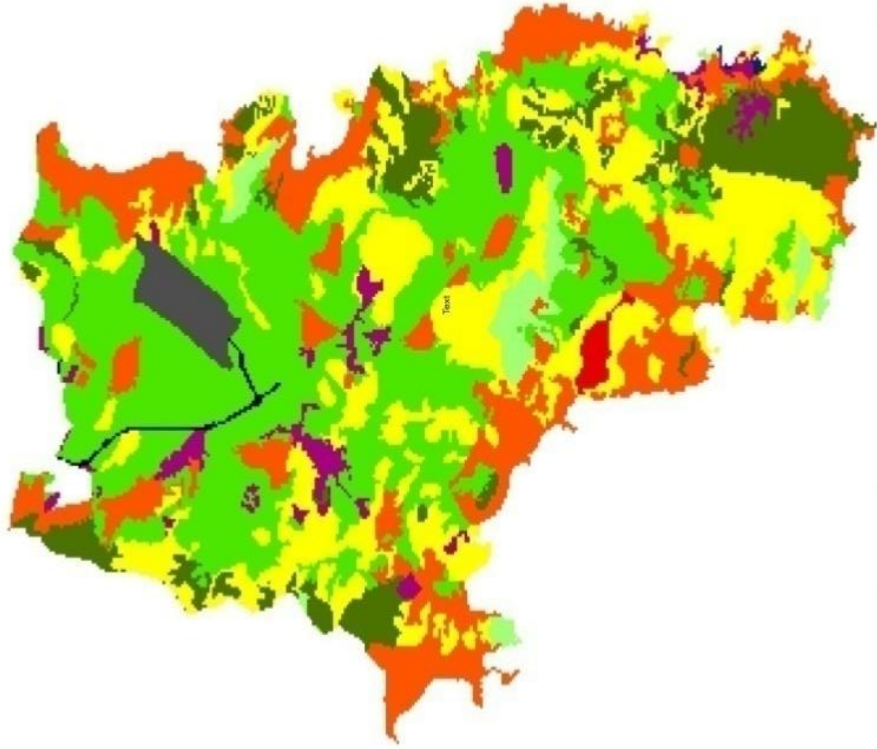
Εικόνα 6: Γράφημα χρήσεων γης της περιοχής μελέτης

Χρήσεις γης



Legend

- Χρήσεις γης**
- Αστικός ιστός
 - Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες
 - Οδικό ή σιδηροδρομικό δίκτυο
 - Λιμάνια
 - Αεροδρόμια
 - Καλλιέργειες
 - Φυσική βλάστηση
 - Δάση
 - Αραιή βλάστηση
 - Καμένες εκτάσεις



map author: Δημητρίπουλος Γεώργιος

Εικόνα 7: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης

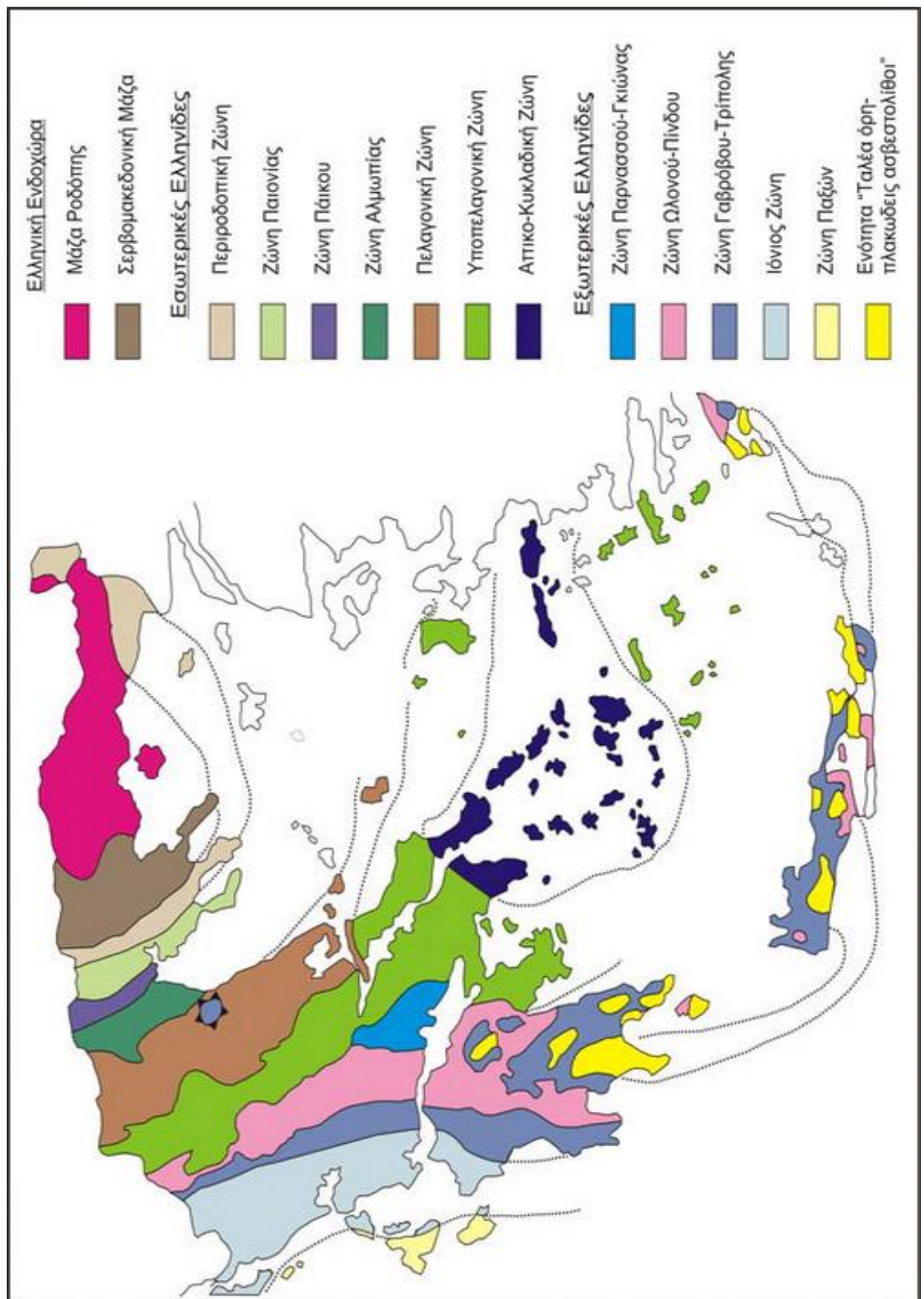
4.4 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα όσο αφορά την γεωλογική της ένταξη και μέχρι και σήμερα οι μελέτες συνεχίζονται. Το εύρος των μελετών ξεκινά από τον Woods (1822), περιλαμβάνει αποσπασματικές μελέτες ερευνητών που επισκέπτονταν τον Ελλαδικό χώρο και μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει συμφωνία ως προς την λιθοστρωματογραφική ακολουθία των γεωλογικών σχηματισμών και την γεωτεκτονική ένταξη αυτών. Οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η Αττική ανήκει σε μια ζώνη η οποία είναι προέκταση της Πελαγονικής και ονομάζεται Αττικοκυκλαδύτικη ζώνη. Από γεωτεκτονικής άποψης η Αττική ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και στην Ενδιάμεση Τεκτονομεταμορφική Ζώνη των Ελληνίδων (Brunn 1956, Παπανικολάου 1986). Στην Εικόνα 8 φαίνονται αναλυτικά οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος όπως αναφέρονται από τον Μουντράκη (2010).

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου (1986) στην περιοχή της Αττικής υπάρχουν:

- Μεταλικοί σχηματισμοί
- Αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί
- Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί οι οποίοι διακρίνονται σε δύο αλπικές ενότητες την ενότητα Αττικής και την ενότητα Λαυρίου.

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής τέμνεται από δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων (BA-ND και A-Δ). Η σημερινή φυσιογραφική εικόνα του διαμερίσματος, στην οποία διακρίνονται διάφορες γεωμορφολογικές μονάδες, όπως η οροσειρά Πατέρας-Πάρνηθα στα δυτικά, οι ορεινοί όγκοι Υμηττός-Πεντελικό στα ανατολικά και το τεκτονικό βύθισμα του λεκανοπεδίου Αττικής μεταξύ των ορεινών συγκροτημάτων, είναι αποτέλεσμα ενδογενούς και εξωγενούς δράσης. Το ανατολικότερο τμήμα του διαμερίσματος καταλαμβάνεται από τη λεκάνη Μεσογείων και την ομαλή παράκτια ζώνη Ραφήνας Μαραθώνα. Το Θριάσιο Πεδίο καλύπτει σχετικά μικρή έκταση μεταξύ των ορίων Αιγάλεω, Πάρνηθας και όρους Πατέρας, και του Σαρωνικού Κόλπου. Στο δυτικό τμήμα εντοπίζεται το τεκτονικό βύθισμα των Μεγάρων και η λεκάνη του Λουτρακίου, επίσης με ομαλό ανάγλυφο εδάφους (Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων 2000).



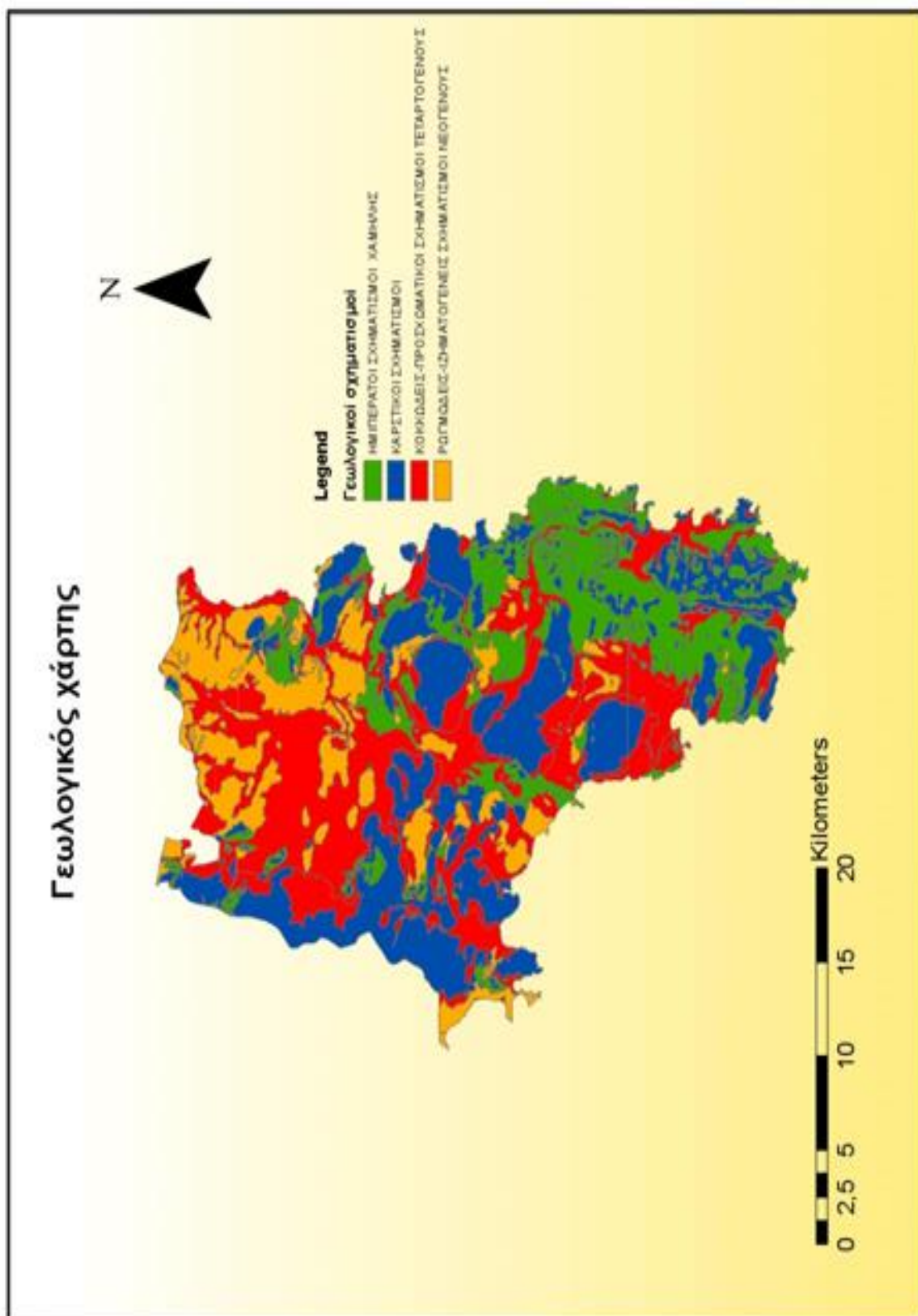
Εικόνα 8: Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Μουντράκης 2010)

Η ενότητα της Αττικής αποτελείται από μεγάλο πάχους σειρά Μεσοζωικών μαρμάρων με παρεμβολές σχιστόλιθων, η οποία προς τα πάνω κλείνει με σχιστολιθικούς σχηματισμούς οι οποίοι συνιστούν μεταμορφωμένο φλύσχη. Η περιοχή μελέτης μας πέρα από την ενότητα Αττικής (Αλπικούς σχηματισμούς) περιλαμβάνει και τεταρτογενείς σχηματισμούς και αποθέσεις αλλά και ένα μέρος Νεογενών σχηματισμών οι οποίοι αποτελούν τους Μεταλπικούς σχηματισμούς. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται είναι: νότια γνεύσιοι σε εναλλαγή με σχιστόλιθους, βόρεια χαλίκια και άμμος, διάσπαρτα στην περιοχή μάρμαρα και τέλος μαργόλιθοι, ψαμμίτες, πηλοί και αμμόπετρες. Στην Εικόνα 10 φαίνεται ο γεωλογικός χάρτης σε μορφή raster ο οποίος δημιουργήθηκε βάση του πρωτότυπου γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε.

Για την περιοχή της Λαυρεωτικής παρατίθεται στρωματογραφική στήλη, η οποία εμφανίζεται στην Εικόνα 9 (Ι.Γ.Μ.Ε 2009).

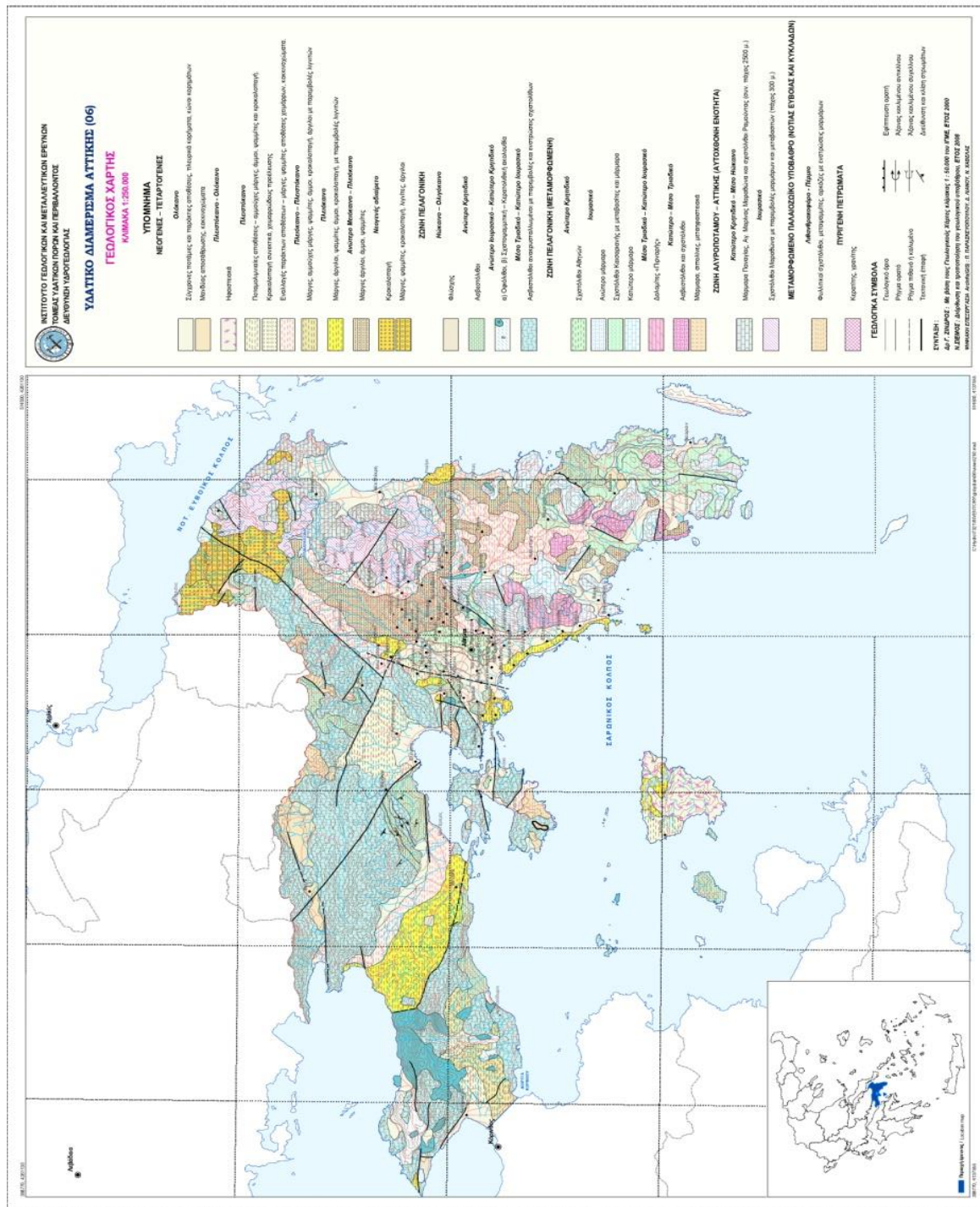


Εικόνα 9: Στρωματογραφική στήλη Αττικο-Κυκλαδικής μάζας (Σπανός 2012)



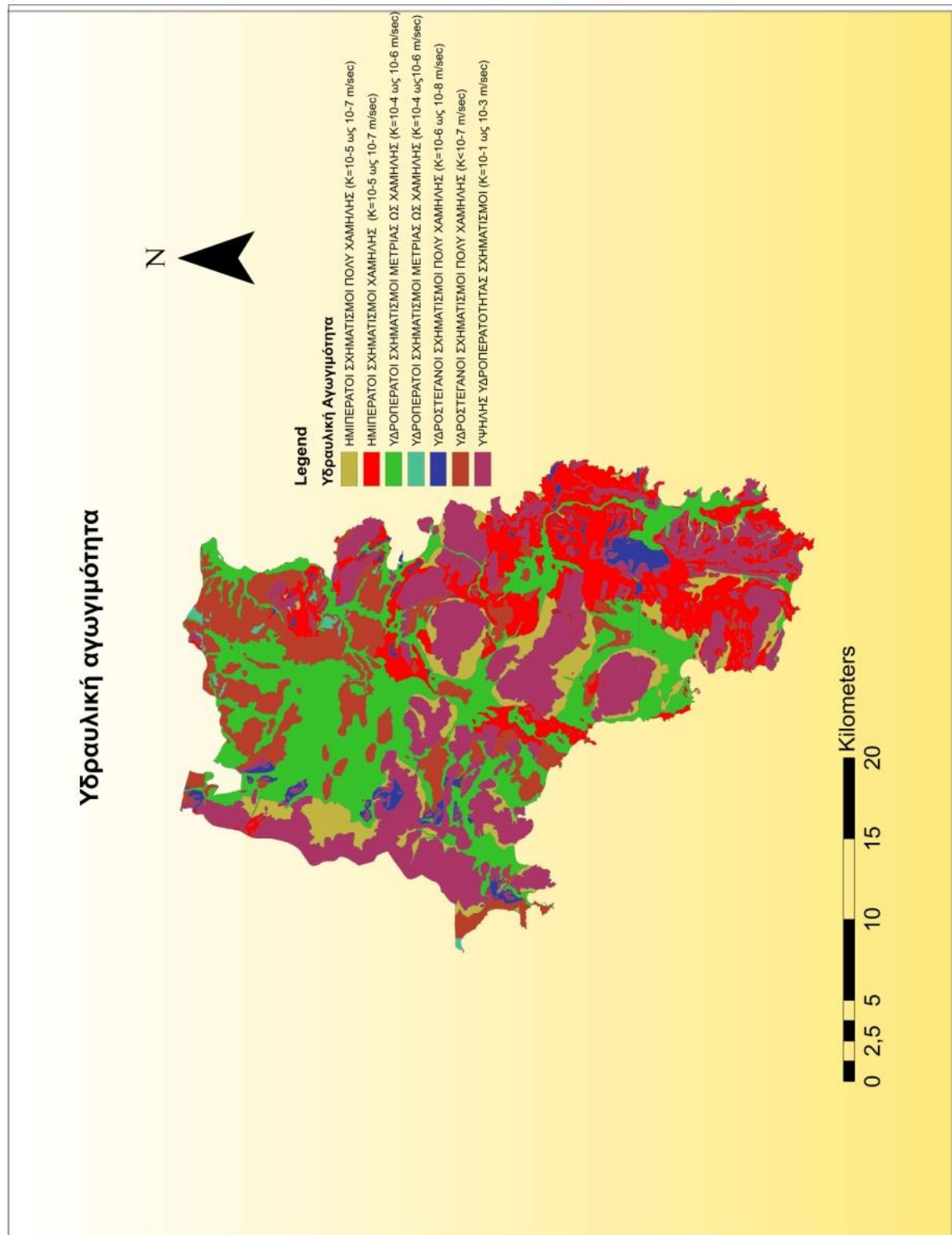
Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης σε μορφή raster (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

Ακόμα η Εικόνα 11 παρουσιάζει ένα γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Αττικής από το Ι.Γ.Μ.Ε (2010).



Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

Ακόμα, η Εικόνα 13 παρουσιάζει την υδραυλική αγωγιμότητα της Ανατολικής Αττικής σε μορφή raster στο προγραμματιστικό περιβάλλον ArcMap, όπως εκείνη διατυπώθηκε από την υδρογεωλογική μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε .



Εικόνα 13: Χάρτης υδραυλικής αγωγιμότητας σχηματισμών σε μορφή raster (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

4.6 Κλίμα περιοχής

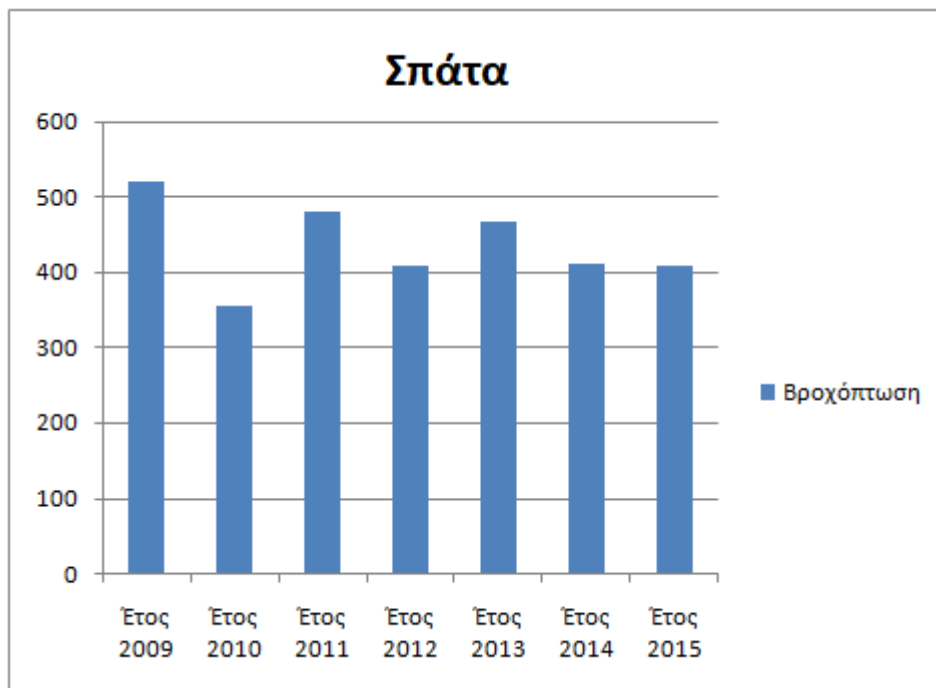
Το κλίμα της Αττικής είναι εύκρατο και εντάσσεται στον μεσογειακό τύπο κλίματος. Γενικά οι ηλιόλουστες ημέρες αποτελούν πολύ συνηθισμένο φαινόμενο ακόμα και τον χειμώνα κατά τις αλκυονίδες ημέρες. Βροχές σημειώνονται κυρίως από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο αλλά συνολικά ολόκληρο τον χρόνο τα ύψη βροχής είναι πολύ χαμηλά και δεν ξεπερνούν τα 400-450 mm. Περισσότερες βροχές σημειώνονται στα ανατολικά και στα βόρεια διαμερίσματα του νομού. Χιονοπτώσεις σημειώνονται σχεδόν κάθε χρόνο στα γύρω ορεινά της Αττικής, πιο σπάνια στα βόρεια προάστια των Αθηνών και ακόμα πιο σπάνια στο κέντρο της πόλης. Βεβαίως τα τελευταία χρόνια τα χιόνια έχουν κάνει πολλές φορές αισθητή την παρουσία τους στην πόλη (2002-2004-2006-2008) (Ε.Μ.Υ 2018). Η θερμοκρασία ακόμα και τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα με την μέση του Ιανουαρίου να κυμαίνεται από 8 -10 °C. Τους καλοκαιρινούς μήνες οι θερμοκρασίες φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα και για λίγες ημέρες εμφανίζεται καύσωνας με θερμοκρασίες που ξεπερνούν ακόμα και τους 40 °C σε πολλές περιοχές της Ανατολικής Αττικής. Στο λεκανοπέδιο και στις πυκνοδομημένες περιοχές επικρατούν συνθήκες που επιβαρύνουν σημαντικά το ήδη θερμό φυσικό κλίμα της Αττικής. Εξαιτίας των μεγάλων πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια καταστράφηκαν μεγάλες ποσότητες «πράσινων» εκτάσεων, με αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και της ξηρότητας με το πέρασμα των χρόνων.

4.6.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά

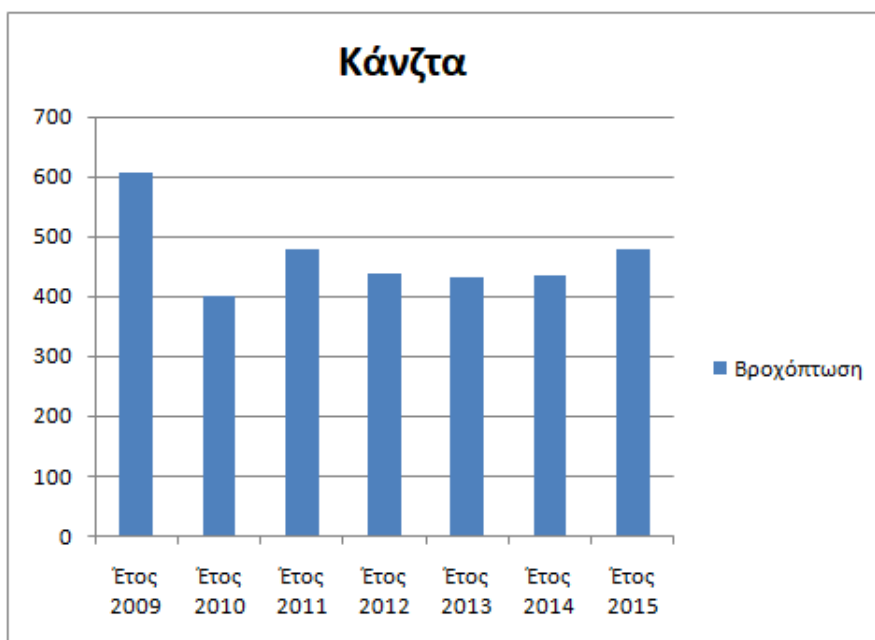
Για τα βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης συλλέχθηκαν μετρήσεις από τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς, του Λαυρίου, της Κάντζας και των Σπάτων. Τα στοιχεία αφορούν χρονολογίες από το 2009-2015 και αποκτήθηκαν από την Ε.Μ.Υ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία). Με την βοήθεια του Excel δημιουργήθηκαν γραφήματα τα οποία απεικονίζουν την συνολική βροχόπτωση κατά έτος στους τρεις σταθμούς. Συγκεκριμένα, η Εικόνα 14 παρουσιάζει την μέση ετήσια βροχόπτωση του μετεωρολογικού σταθμού Σπάτων, η Εικόνα 15 του σταθμού της Κάντζας και η Εικόνα 16 του σταθμού του Λαυρίου. Παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς σε πολλές περιπτώσεις δεν υπήρχαν βροχοπτώσεις κάποιους μήνες. Παράλληλα παρατηρείται μείωση του ύψους των βροχοπτώσεων με το πέρασμα των χρόνων κάτι το οποίο είναι πολύ αρνητικό για τα υπόγεια νερά, καθώς, όπως έχει αναφερθεί στα εισαγωγικά οι κατακρημνίσεις παίζουν πολύ

σημαντικό ρόλο καθώς είναι αναπόσπαστο μέρος του υδρολογικού κύκλου και της φόρτισης των υπογείων νερών.

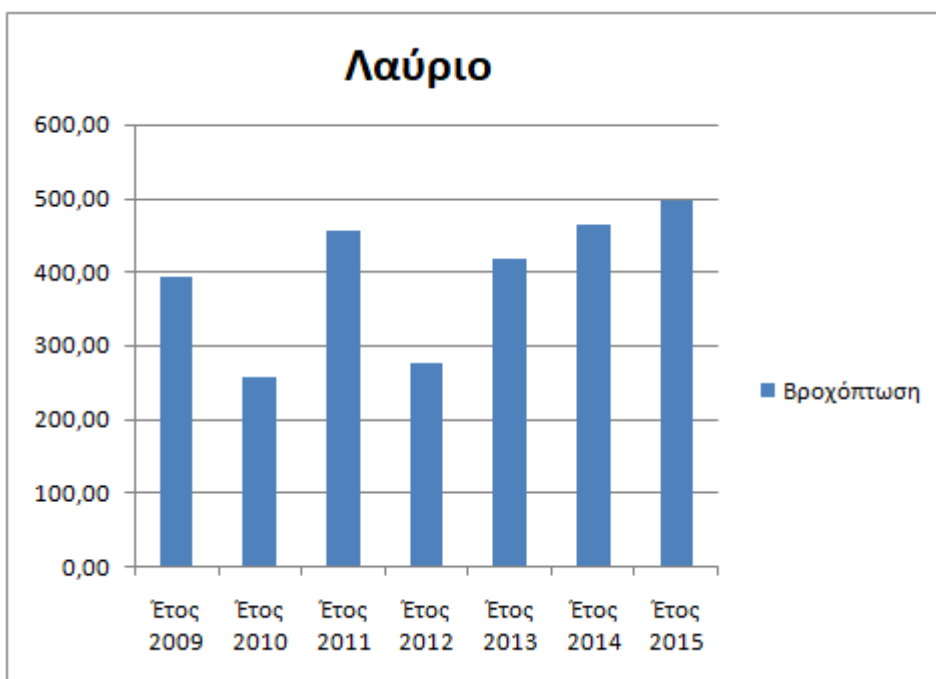
Από τα γραφήματα βλέπουμε ότι το πιο υγρό έτος για τα Σπάτα και την Κάντζα ήταν το 2009 και το πιο ξηρό το επόμενο, δηλαδή το 2010. Για το Λαύριο το πιο ξηρό έτος ήταν πάλι το 2010 αλλά το πιο υγρό το 2011.



Εικόνα 14: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό των Σπάτων



Εικόνα 15: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάντζας



Εικόνα 16: Ετήσιο ύψος βροχής στον μετεωρολογικό σταθμό του Λαυρίου

Κεφάλαιο 5: Εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής μελέτης με την μέθοδο DRASTIC-LU

5.1 Πρακτική εφαρμογή της μεθόδου

Όπως έχει αναφερθεί η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η DRASTIC-LU καθώς εξετάζει σαν παράγοντα, πέρα από τους 7 κλασσικούς, και τον παράγοντα χρήσεις γης, ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο στην Ελλάδα λόγω της μεγάλης ιδιομορφίας. Ακόμα, η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό με πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά στο κομμάτι των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, στα οποία βασίστηκε η συγκεκριμένη έρευνα. Συγκεκριμένα για την δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε η γεωστατική μέθοδος kriging (ordinary kriging), του εργαλείου Geostatistical Analyst-Geostatistical wizard του ArcMap. Η μέθοδος αυτή ανήκει στις μεθόδους, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως μέθοδοι **BLUE** (**B**est **L**inear **U**nbiased **E**stimation) και βρίσκει ευρεία εφαρμογή στις γεωεπιστήμες. Αποτελεί μια αμερόληπτη μέθοδο γραμμικής παρεμβολής, στην οποία το μέσο σφάλμα, για όλη την περιοχή που εφαρμόζεται, είναι ελάχιστο. Η μέθοδος δεν απαιτεί ομαλά κατανεμημένο δίκτυο παρατηρήσεων στην περιοχή που εφαρμόζεται (Πάτσιος 2006).

5.1.1 Εκτίμηση παράγοντα D

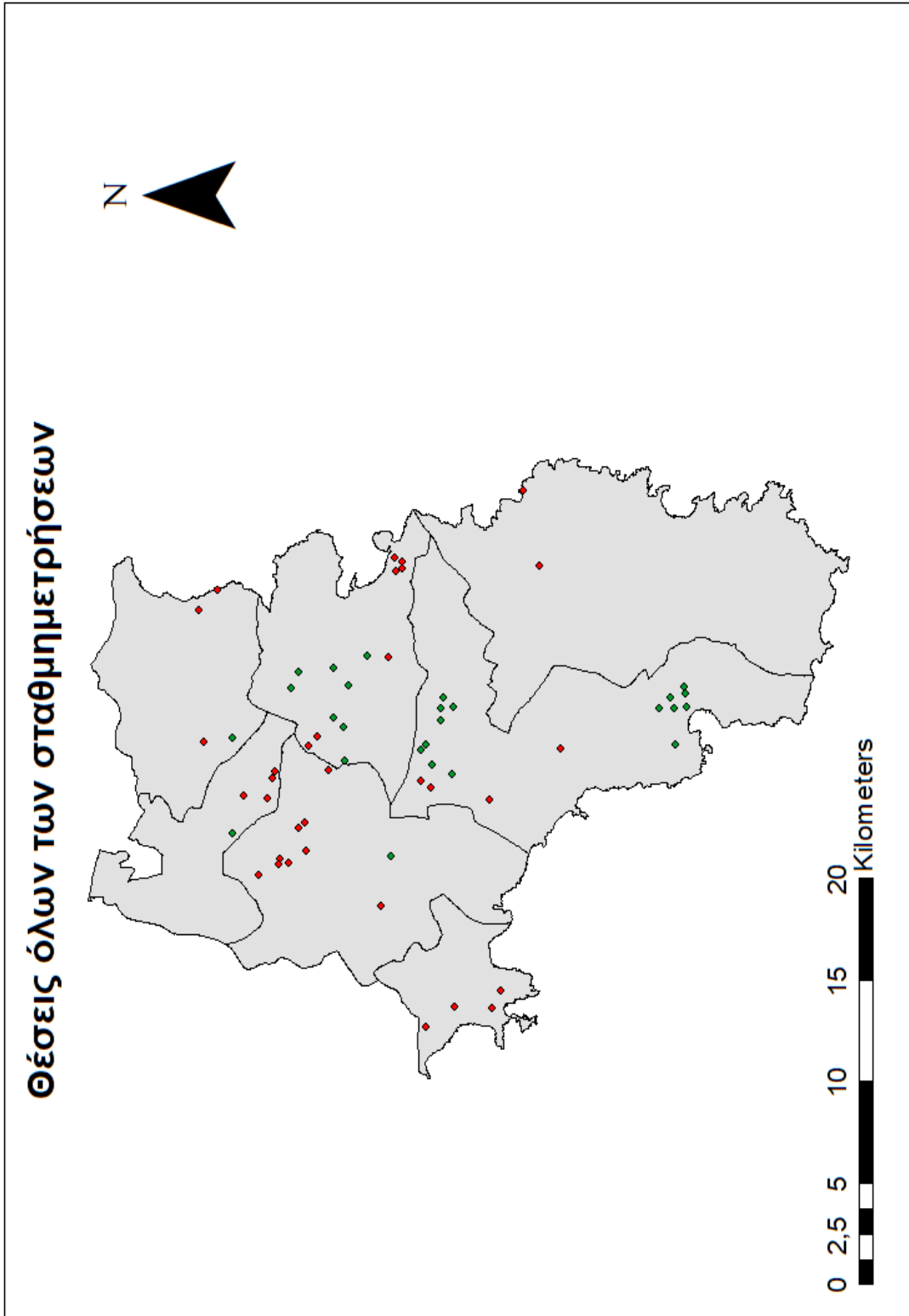
Ο παράγοντας D είναι πολύ σημαντικός καθώς, όπως έχει αναφερθεί ήδη, καθορίζει το χρόνο που ταξιδεύει ένας ρύπος για να φτάσει στον υδροφόρο. Για τον υπολογισμό της παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν 33 και 26 σταθμημετρήσεις γεωτρήσεων και πηγαδιών αντίστοιχα, διάσπαρτων σε όλους τους δήμους της περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα αποκτήθηκαν από την Διεύθυνση Υδάτων και το Ι.Γ.Μ.Ε. Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει την κωδική ονομασία των πηγαδιών, τις συντεταγμένες (X,Y) στο σύστημα Ε.Γ.Σ.Α '87 και τις μετρήσεις των σταθμών ηρεμίας για κάθε πηγάδι ξεχωριστά. Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει την κωδική ονομασία, τις συντεταγμένες (X, Y) και τις μετρήσεις των σταθμών ηρεμίας για όλες τις γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας και η Εικόνα 17 τις θέσεις όλων των σταθμημετρήσεων.

Πίνακας 9: Πηγάδια περιοχής μελέτης (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

α/α	Κωδικός	X (m)	Y (m)	Βάθος από επιφάνεια εδάφους(m)
1	Φ367	494597	4188116	4.08
2	Φ373	492597	4193264	9.75
3	Φ390	487879	4190804	6.35
4	Φ401	493415	4188903	9.57
5	Φ402	493154	4189215	9.19
6	Φ403	492428	4188588	2.7
7	Φ404	491947	4187519	5.54
8	Φ407	495266	4187491	10
9	Φ408	495208	4188112	10
10	Φ409	495690	4187978	5.18
11	Φ414	489014	4199216	8.45
12	Φ416	493720	4199216	3.7
13	Φ420	494257	4193293	5.2
14	Φ421	494746	4193817	3.67
15	Φ422	496333	4193046	2.6
16	Φ423	497725	4192028	3.2
17	Φ426	496164	4196066	1.75
18	Φ427	497185	4193806	5.13
19	Φ428	496958	4195667	9.75
20	Φ442	493413	4175727	4.36
21	Φ443	495151	4175788	2.37
22	Φ444	495201	4176558	6.1
23	Φ445	495249	4175140	2.88
24	Φ446	496252	4175263	7.5
25	Φ447	495885	4175171	7.5
26	Φ448	495739	4175972	6.52

Πίνακας 10: Γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

α/α	Κωδικός	X (m)	Y (m)	Βάθος από επιφάνεια εδάφους (m)
1	Β05	479520.67	4188929.55	11.3
2	Β06	480509.78	4187409.7	19.3
3	ΒΛ2	480429.09	4185410.4	10.3
4	ΒΛ4	481308.62	4184950.24	76.95
5	826	491723	4197063	25
6	1763	492100	4196906	60
7	1187	490880	4198565	25
8	1788	490768	4197312	38
9	476	500010	4200995	14
10	2565	500983	4199955	6
11	1164	493324	4195138	55
12	2999	485455	4191295	170
13	26	489284	4195662	15
14	69	489573	4195363	12
15	77	487753	4196687	11
16	455	488152	4195260	10
17	771	493792	4194692	20
18	1879	490684	4185594	110
19	2773	493541	4200719	15
20	126	502614	4190560	9
21	309	502055	4190175	19
22	2454	501928	4190498	8
23	2804	502355	4190206	22
24	242	493178	4181817	65
25	1058	505889	4183759	25
26	512	502167	4182942	40
27	0	497663	4190906	14
28	207	487553	4196186	7
29	643	487477	4196761	8
30	Γ400	491615	4189197	78.84
31	Γ406	491290	4188649	97.65
32	Γ412	486986	4197801	76.4
33	Γ417	492158	4194066	74.3



Εικόνα 17: Θέσεις όλων των σταθμημετρήσεων

Για την βαθμονόμηση του παράγοντα, αρχικά περάστηκαν όλα τα σημεία στο ArcMap όπως φαίνεται και στη συνέχεια δημιουργήθηκε μία συνεχής επιφάνεια χρησιμοποιώντας αυτά τα σημεία μέσω του Geostatistical Analyst στο προγραμματικό περιβάλλον. Ο σκοπός ήταν να δημιουργηθεί ένας χάρτης με τις στάθμες των σημείων. Η επίτευξη πραγματοποιήθηκε με την παρακάτω διαδικασία :

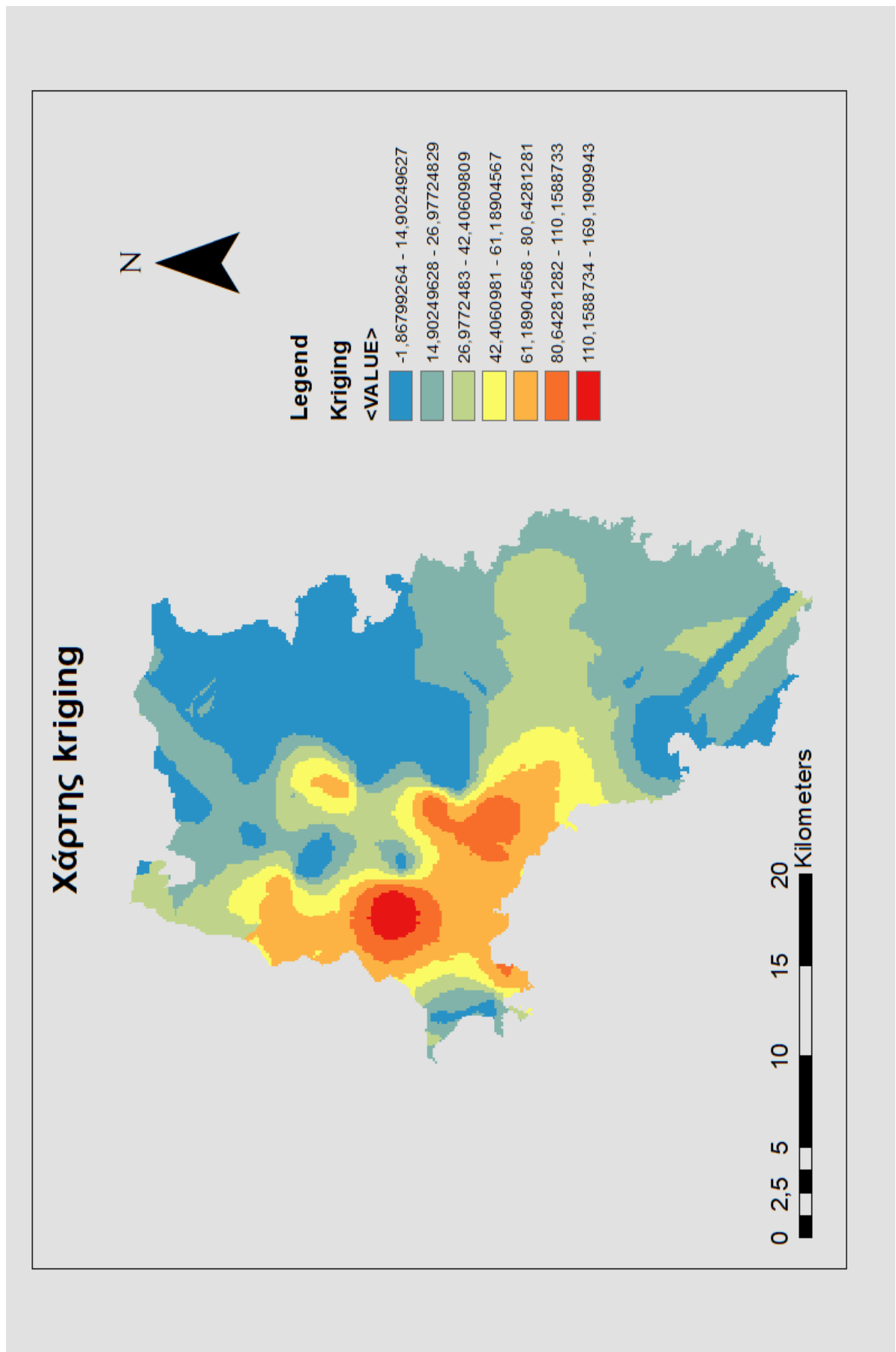
1. Geostatistical Analyst-> Geostatistical Wizard-> Geostatistical methods-> Geostatistical Kriging/Co- Kriging
2. Kriging Type ->Ordinary, Output Surface Type ->Prediction
3. Model #1 ->Gaussian, καθώς το μέσο σφάλμα βγαίνει κοντά στο 0 και πιο μικρό συγκριτικά με τα άλλα μοντέλα τα οποία και ελέγχθηκαν. Επίσης , show points ->Averaged
4. Finish ->τελικός χάρτης

Για την προσαρμογή του kriging στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η εντολή extent και τέλος μετατράπηκε το αρχείο σε raster. Η Εικόνα 19 δείχνει το χάρτη που προέκυψε από την διαδικασία kriging, δηλαδή ένα χάρτη μορφής Raster όπου φαίνονται τα βάθη υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

Όπως φαίνεται υπάρχουν 7 διαβαθμίσεις στα βάθη, με τα μεγαλύτερα βάθη να εντοπίζονται ανατολικά της περιοχής και τα μικρότερα βορειοδυτικά. Στη συνέχεια έγινε Reclass βάση της Εικόνας 18 όπου δείχνει την κατηγοριοποίηση με βάθη το βάθος D όπως παρουσιάζεται από τον Aller et al. (1987).

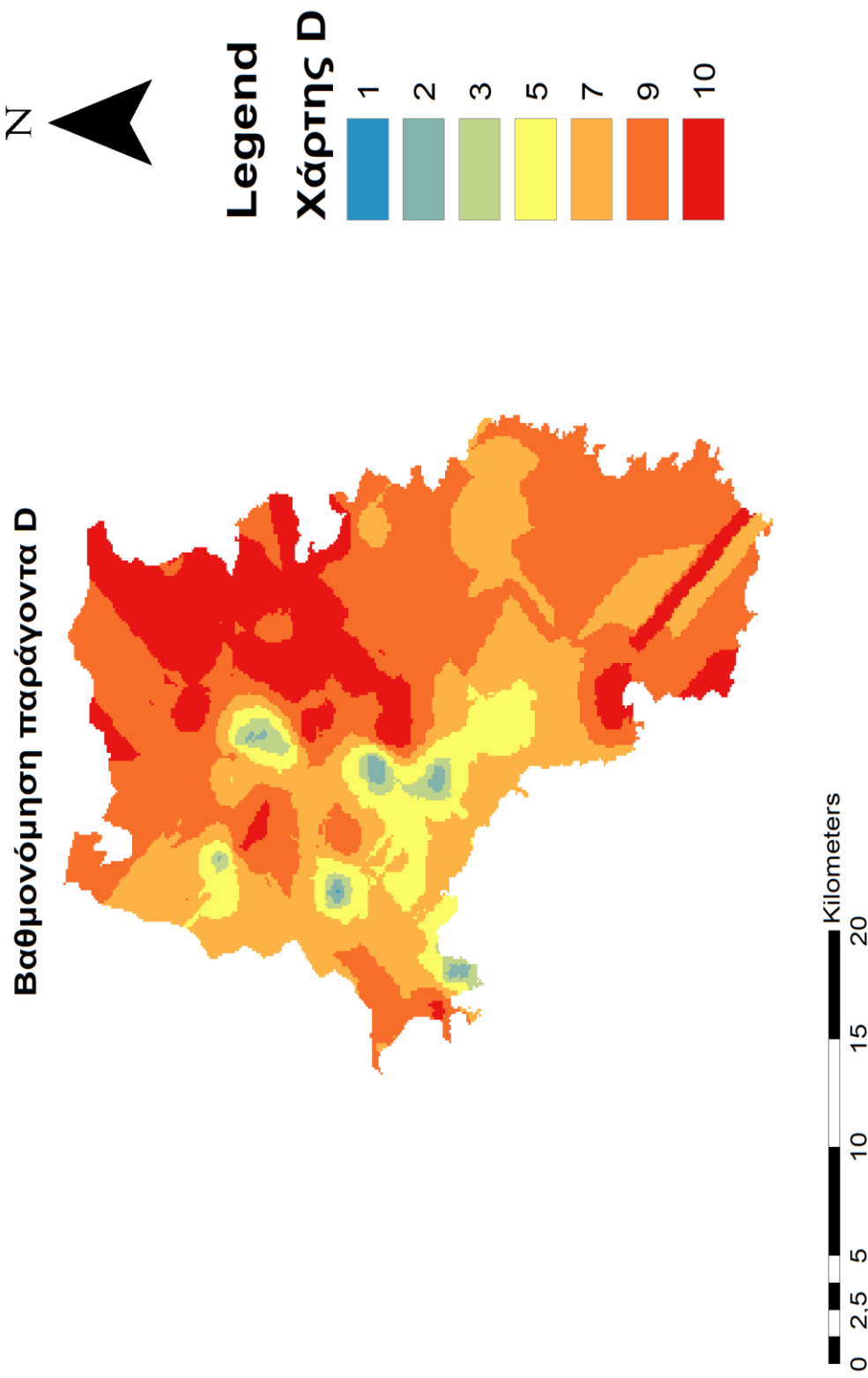
Depth to water (D) (feet)	0-5	10
	5-15	9
	15-30	7
	30-50	5
	50-75	3
	75-100	2
	>100	1

Εικόνα 18: Πίνακας βαθμολόγησης τιμών παράγοντα D



Εικόνα 19: Χάρτης βαθών της περιοχής μελέτης

Η Εικόνας 20 παρουσιάζει τον τελικό χάρτη παράγοντα D της μεθόδου DRASTIC-LU



Εικόνα 20: Χάρτης D

5.1.2 Εκτίμηση παράγοντα R

Ο εμπλουτισμός R (Aquifer recharge) αντιπροσωπεύει την ετήσια ποσότητα του νερού σε mm, που κατείσδυει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφόρο. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν είναι από 3 σταθμούς, όπως επισυνάπτονται και πιο πάνω, και είναι από την Ε.Μ.Υ. Οι μετεωρολογικές μετρήσεις στους σταθμούς αφορούν τα έτη από το 2009-2015. Στη συνέχεια τα δεδομένα χωρίστηκαν σε υγρή και ξηρή περίοδο κάθε έτους και στο τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος κάθε σταθμού.

Ο συντελεστής κατείσδυσης είναι συνάρτηση του ύψους βροχής, της κλίσης του ανάγλυφου και της περατότητας του εδάφους. Λαμβάνοντας υπόψιν τον γεωλογικό χάρτη από την υδρογεωλογική μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε (2010) της εικόνας 11, καθώς οι μετεωρολογικοί σταθμοί βρίσκονται πάνω σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, επιλέχθηκε για τον σταθμό του Λαυρίου συντελεστής κατείσδυσης 30%, καθώς υπάρχει αρκετά μεγάλη υδροπερατότητα στους γεωλογικούς σχηματισμούς, και για τους σταθμούς στα Σπάτα και την Κάντζα 10% επειδή η υδροπερατότητα είναι μέτρια λόγω των τεταρτογενών σχηματισμών. Στη συνέχεια ο συντελεστής κατείσδυσης πολλαπλασιάστηκε με τον μέσο όρο των βροχοπτώσεων του κάθε σταθμού για να προκύψει η τελική κατείσδυση. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία κάθε σταθμού ξεχωριστά καθώς και οι υγρές και ξηρές περιόδους τους καθώς και η κατείσδυση του κάθε σταθμού. Συγκεκριμένα ο Πίνακας 11 παρουσιάζει την μηνιαία βροχόπτωση του σταθμού του Λαυρίου για τα έτη 2009-2015, ο Πίνακας 12 του σταθμού της Κάντζας και ο Πίνακας 13 του σταθμού των Σπάτων.

Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει την υγρή και ξηρή περίοδο των μετεωρολογικών σταθμών για τα έτη 2009-2015.

Ο Πίνακας 15 δείχνει τις συντεταγμένες (X, Y) των σταθμών στο σύστημα Ε.Γ.Σ.Α '87 αλλά και την τελική κατείσδυση.

Η Εικόνα 21 δείχνει με μαύρα σημεία την τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών πάνω στην περιοχή έρευνας.

Πίνακας 11: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του Λαυρίου

Λαύριο	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	67,3	77,8	75,4	25,6	66,6	75,6	114,8
2	42,8	37,8	182,8	54,8	70,2	26,8	53,8
3	66	8	39,6	12,2	60,1	44,2	99,8
4	45,2	2,4	63,2	23,2	3	37	13
5	2	4,8	8,8	7,4	2	0,6	10,4
6	0	9,4	1,6	0	4,8	3	3,6
7	0,2	0,2	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0,8
9	16	3,2	18,6	0	0	31,4	73,2
10	47,2	78,8	29,2	19,4	24,4	19,8	103,2
11	38,2	9,6	0,8	42,1	106,2	63,2	21,8
12	68,2	15,2	36,6	91,4	79,2	162,2	2,2
Σύνολο	393,1	257,2	456,5	276,2	416,5	463,8	496,2

Πίνακας 12: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της Κάντζας

Κάντζα	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	84,5	58,8	62	33,4	55,2	93,6	58,3
2	58,8	87,2	136,2	95,6	93,4	34,2	65,4
3	82,4	17,2	36	26,4	26,2	61,6	153,8
4	30,2	3,2	53,4	44	11	39,8	12,4
5	8	16	34,2	8,2	25,6	1,6	26,5
6	1,4	0	28	0	17,6	9,4	22,4
7	8,8	9,2	0	0	1,8	8	0,2
8	0	0	0	0	0	2,8	0,2
9	38	30,4	3	0	0	46,8	59,6
10	141,8	98,9	33,8	21,2	13,6	9	44,6
11	58,6	51	0,4	102,8	118,6	12,6	32
12	124,6	27,2	91,8	105,6	69,6	114,6	3,2
Σύνολο	607,1	399,1	478,8	437,2	432,6	434	478,6

Πίνακας 13: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στα Σπάτα

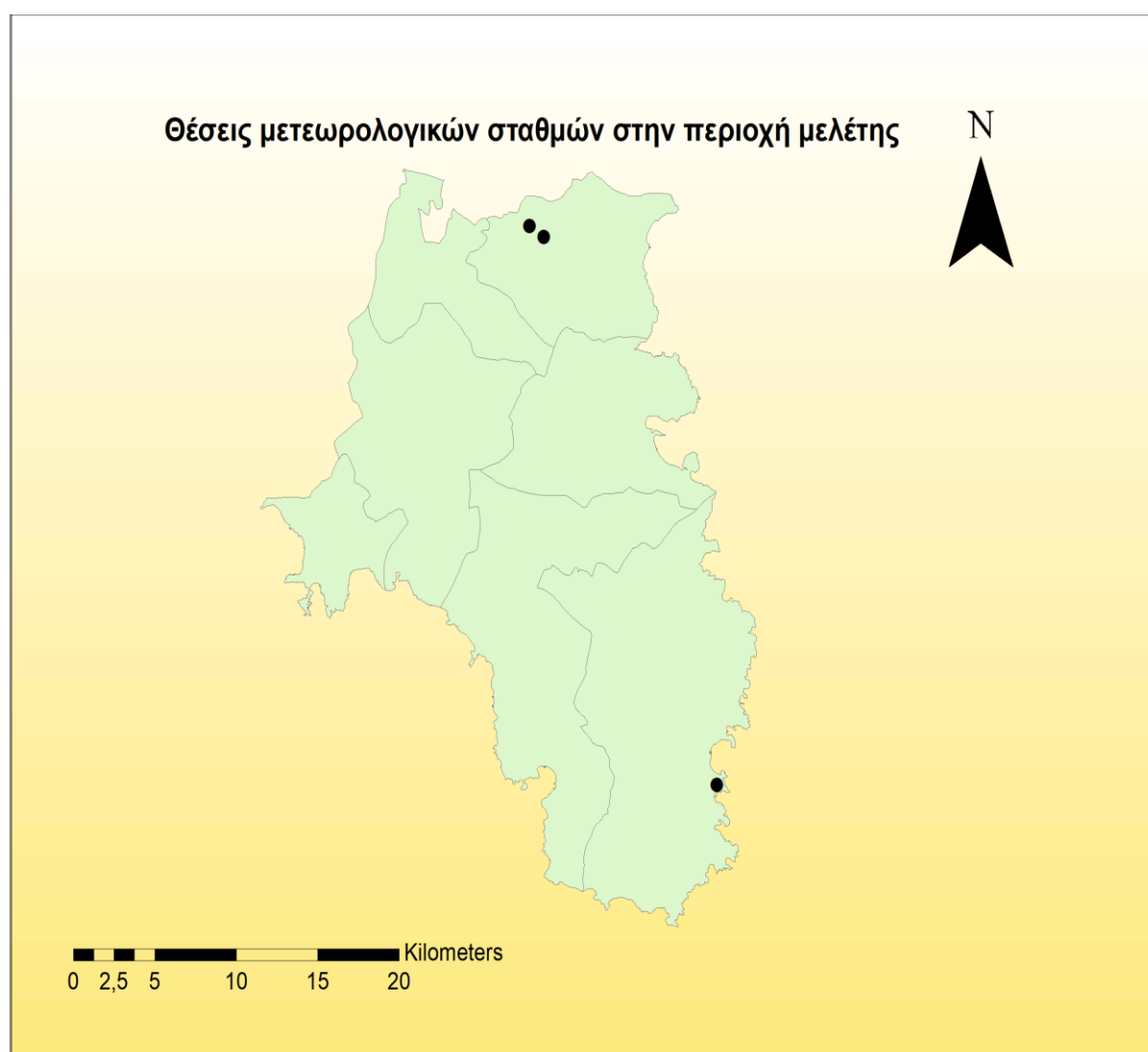
Σπάτα	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	61,8	61,4	67,8	25	69,6	60	61
2	47	39,8	164,8	61	104	18	59
3	92,6	11,6	40,4	18	26	73	99,2
4	31,8	2	59,4	17	4	34	10
5	3,4	12,8	30,6	33,8	15	0,2	8,8
6	9,3	17,4	11,2	9,3	14	1,8	2,2
7	6,4	3,4	5,4	5,4	5,4	6,4	5,4
8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	26,6	24,2	3,6	13,5	26,4	20	70,4
10	105	116,8	34,8	26,8	22	14	69
11	52,2	33,4	0,6	94,6	104	79	20
12	82	32	60	103,2	74,6	104	2
Σύνολο	518,9	355,6	479,4	408,4	465,8	411,2	407,8

Πίνακας 14: Ξηρή και υγρή περίοδος μετεωρολογικών σταθμών

Σταθμός	Λαύριο	Κάντζα	Σπάτα
Ξηρή 2009	65.4	198	151.5
Υγρή 2009	327.7	439.1	367.4
Ξηρή 2010	96.4	154.5	175.4
Υγρή 2010	150.8	244.6	181.2
Ξηρή 2011	58.2	99	86.4
Υγρή 2011	398.4	379.8	393
Ξηρή 2012	26.8	29.4	89.6
Υγρή 2012	249.4	407.8	318.8
Ξηρή 2013	31.2	58.6	83.6
Υγρή 2013	285.3	374	382.2
Ξηρή 2014	54.8	77.6	43.2
Υγρή 2014	409	356.4	368
Ξηρή 2015	191.2	153.5	156.6
Υγρή 2015	305.4	325.1	249.4

Πίνακας 15: Συντεταγμένες μετεωρολογικών σταθμών και ενεργή κατεύθυνση (R)

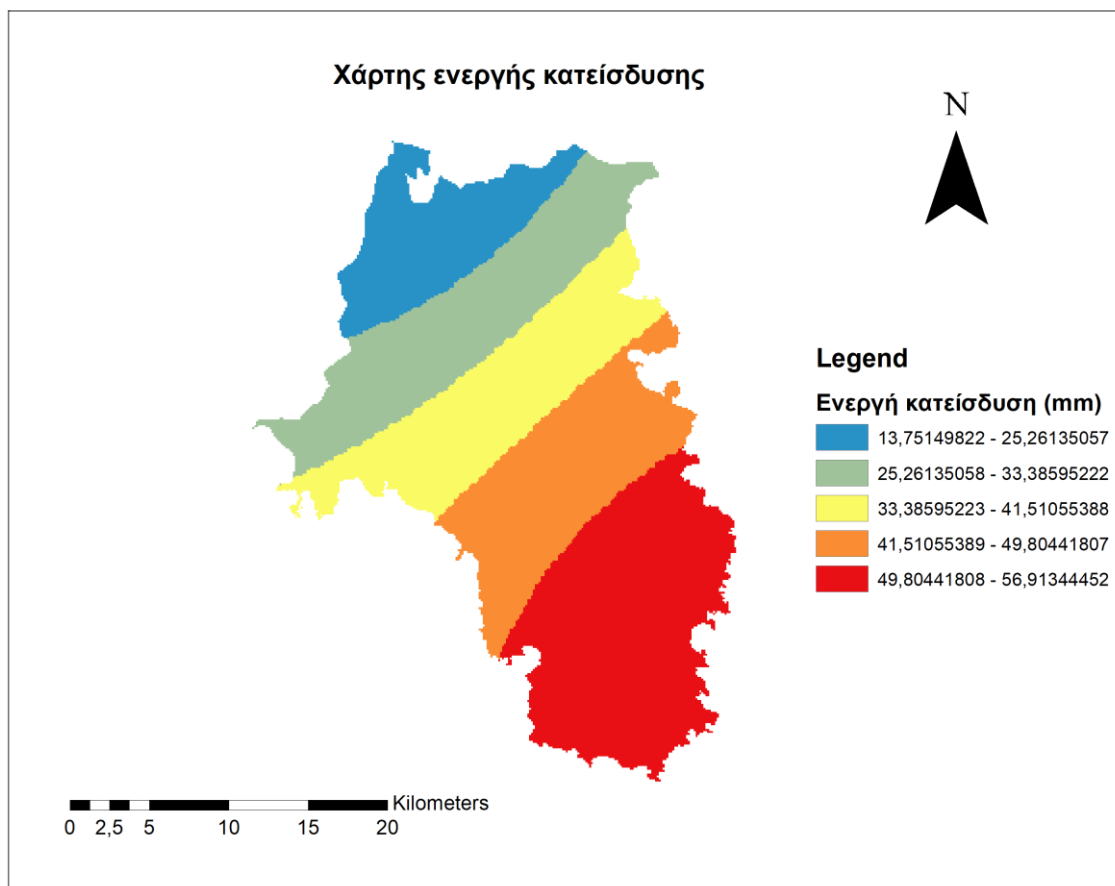
Σταθμός	x	y	z	M_O	R
Λαύριο	504963	4174086	20	189,2857	56,79
Κάντζα	494318,4	4203233	221	235,5286	23,55
Σπάτα	493449,4	4203828	144	217,5929	21,76



Εικόνα 21: Θέσεις μετεωρολογικών σταθμων

Για την δημιουργία του χάρτη R χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος όπως και με τον παράγοντα D με την μόνη διαφορά ότι στο trend type του kriging χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο K-Bessel.

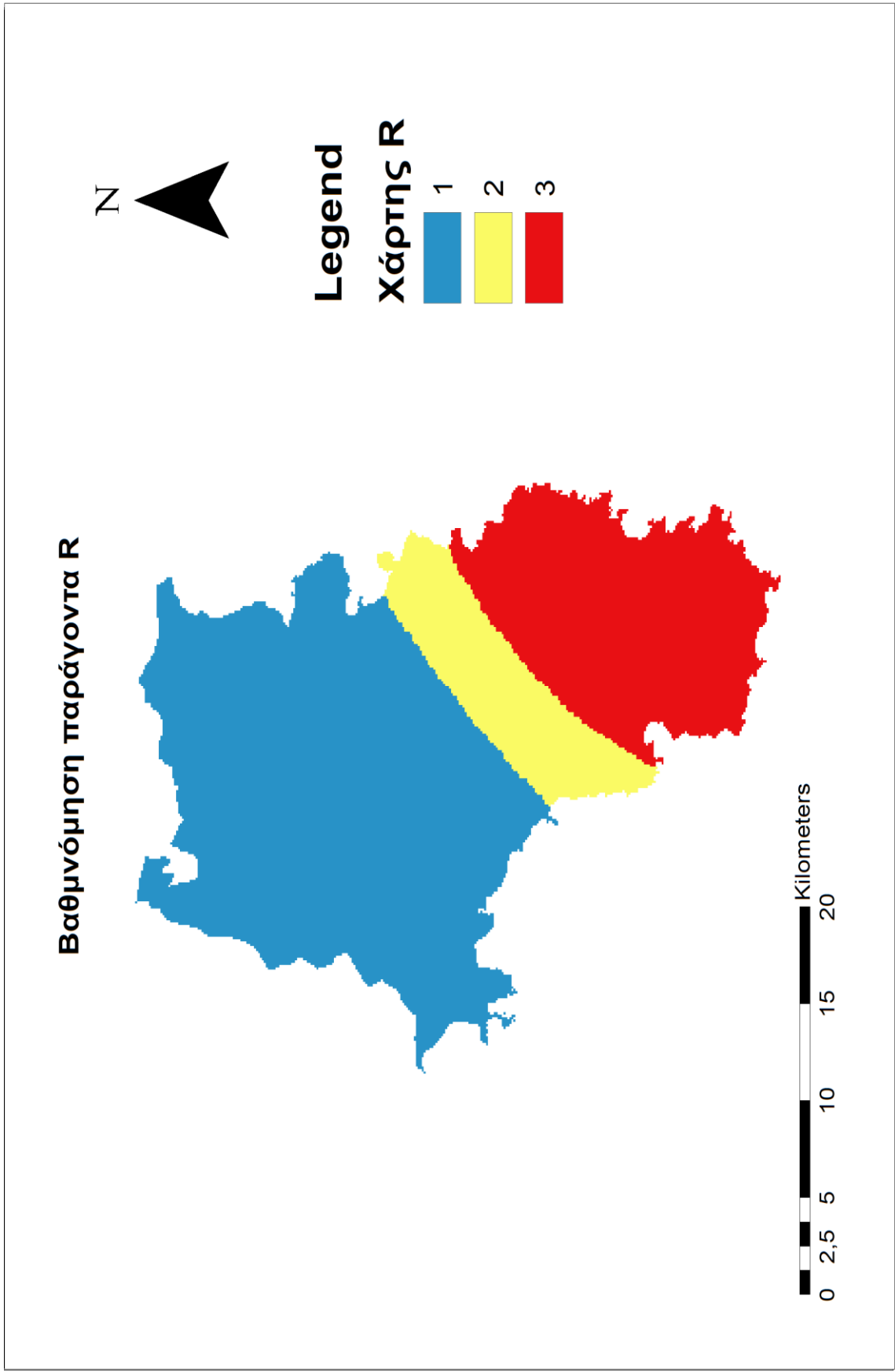
Η Εικόνα 22 παρουσιάζει τον χάρτη ενεργής κατεΐσδυσης της Ανατολικής Αττικής. Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες τιμές ενεργής κατεΐσδυσης παρατηρούνται στο νότιο μέρος της περιοχής μελέτης και στα κεντρικά, ενώ οι μικρότερες εμφανίζονται στα βόρεια αλλά όχι με πολύ μεγάλες διαφορές καθώς οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές κατακρημνίσεων δεν διαφέρουν και πάρα πολύ.



Εικόνα 22: Χάρτης ενεργής κατεΐσδυσης
Οι βαθμοί στις τιμές δόθηκαν βάση την βαθμολόγηση του Ιμάμ (2011) και επισυνάπτονται στον Πίνακα 16. Η Εικόνα 23 παρουσιάζει τον τελικό χάρτη του παράγοντα R της μεθόδου DRASTIC-LU σε μορφή raster.

Πίνακας 16: Βαθμολόγηση κατεΐσδυσης

Εμπλουτισμός (R) mm	Βαθμονόμηση
<45	1
45-50	2
>50	3



Εικόνα 23: Χάρτης R

Όπως φαίνεται και στον χάρτη, λόγω των μεγαλύτερων τιμών των βροχοπτώσεων αλλά και της κατείδυσης, η τρωτότητα στο νότιο μέρος είναι μεγαλύτερη καθώς ο ρύπος περνάει πιο εύκολα στο υπόγειο νερό, από ότι στο βόρειο μέρος της περιοχής όπου οι βροχοπτώσεις και ο συντελεστής κατείδυσης είναι μικρότεροι.

5.1.3 Εκτίμηση παράγοντα A

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η περιοχή μελέτης περιέχει 3 υπόγεια υδροφόρα συστήματα. Αυτά της Μεσογαίας, του Υμηττού και της Αναβύσσου, με κωδικές ονομασίες 0609, 0610 και 0612, αντίστοιχα.

Κοκκώδες υδροφόρο σύστημα Μεσογαίας (0609)

Αναπτύσσεται στη λεκάνη Μεσογαίας στην Ανατολική Αττική μεταξύ Κορωπίου-Καλυβίων και Σπάτων, με έκταση 206 km². Πρόκειται για εκτεταμένο κοκκώδες υδροφόρο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται για αρδευτικούς, βιοτεχνικούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Η γεωλογική του δομή αποτελείται από σύγχρονες αποθέσεις (Τεταρτογενές) σαν ριπίδια και υποκείμενους Νεογενείς σχηματισμούς συνιστάμενους από εναλλαγές μαργών, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Υπόστρωμα του όλου κοκκώδους συστήματος αποτελούν μάρμαρα και σχιστόλιθοι του αυτόχθονου μεταμορφωμένου υποβάθρου (Ι.Γ.Μ.Ε 2010). Η υδροπερατότητα όπως προκύπτει από τον υδρογεωλογικό χάρτη του υδατικού διαμερίσματος της Αττικής (Ι.Γ.Μ.Ε 2010) χαρακτηρίζεται μέτρια και η υδροφορία ως περιορισμένη.

Καρστικό υδροφόρο σύστημα Υμηττού (0610)

Αναπτύσσεται στον ορεινό όγκο του Υμηττού, το νότιο τμήμα του οποίου εκτίθεται απ' ευθείας στο θαλάσσιο μέτωπο και έχει έκταση 130 km². Πρόκειται για καρστικό υδροφόρο αξιόλογης δυναμικότητας που χρησιμοποιείται για αρδευτικούς και βιομηχανικούς σκοπούς και δευτερευόντως για οικιακή χρήση. Ο υδροφορέας συνίσταται από παχιά σειρά μαρμάρων και δολομιτών με μικρές ενστρώσεις σχιστολίθων. Το όλο σύστημα εντάσσεται στην αυτόχθονη μεταμορφωμένη Ενότητα Αττικής και λόγω μεγάλου πάχους το δάπεδό του ευρίσκεται σε αρνητικά υψόμετρα σε σχέση με τη θαλάσσια στάθμη («Κατώτερο μάρμαρο») (Ι.Γ.Μ.Ε 2010).

Κοκκώδες υδροφόρο σύστημα Αναβύσσου (0612)

Αναπτύσσεται στο παράκτιο πεδινό τοπίο μεταξύ Αναβύσσου – Φωκαίας και έχει έκταση 14 km². Δομείται από προσχωσιγενείς αποθέσεις και χρησιμοποιείται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς. Ο υδροφορέας συνίσταται από προσχώσεις (Τεταρτογενές) ως πληρώματα του πεδινού τοπίου και ως κώνος κορημάτων ή ριπίδια της περιφέρειας αυτού. Επίκεινται κυρίως σχιστολίθων και μαρμάρων. Είναι εν γένει λεπτομερείς στην περιοχή Φώκαιας ενώ καθίστανται αδρομερείς στα ριπίδια Ολύμπου. Οι αποθέσεις της χαμηλής πεδινής περιοχής Αναβύσσου – Φώκαιας είναι γενικά αμμούχοι, χαλαρές και έχουν προέλθει κυρίως εκ του νεογενούς και σχιστολιθικού περιβάλλοντος. Το πάχος τους δεν φαίνεται να υπερβαίνει τα 30 m (Ι.Γ.Μ.Ε 2010).

Ακολουθεί ο Πίνακας 17 με την κατηγοριοποίηση του παράγοντα Α όπως επιλέχθηκαν βάση του υδρογεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε που παρουσιάζεται.

Πίνακας 17: Βαθμολόγηση υδροφορέα

Υλικό Υδροφορέα Α	Βαθμοί
Εναλλαγές μαργών, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών και Τεταρτογενείς αποθέσεις σαν ριπίδια, κορήματα πλευρών, πληρώματα κοιλάδων (0609)	5
Παχιά σειρά μαρμάρων και δολομιτών με μικρές ενστρώσεις σχιστολίθων (0610)	7
Σχιστόλιθοι και μάρμαρα (0612)	6

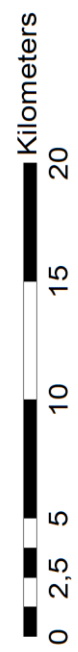
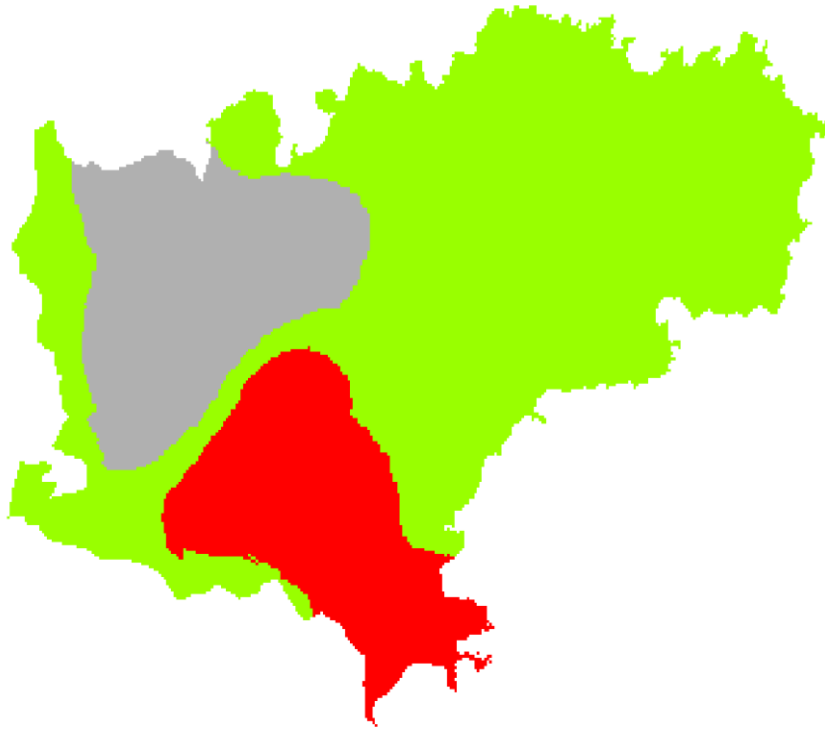
Για την δημιουργία του χάρτη προστέθηκαν τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις ανάλογα με τον υπόγειο υδροφορέα που βρίσκονται δημιουργώντας έτσι μια νέα στήλη στο Excel. Στη συνέχεια αφού τα σημεία προστέθηκαν στο χάρτη περιοχής μελέτης με την βοήθεια του Geostatistical Analyst του ArcMap και την επιλογή kriging δημιουργήθηκε η κατηγοριοποιημένη επιφάνεια. Στη συνέχεια η επιφάνεια μετατράπηκε σε μορφή raster και προέκυψε ο τελικός χάρτης Α. Ο τελικός χάρτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 24.

Βαθμονόμηση παράγοντα Α



Legend
Χάρτης Α

5
6
7



Εικόνα 24: Χάρτης Α

Από τον χάρτη συμπεραίνουμε ότι η τρωτότητα είναι μεγαλύτερη εκεί όπου η υδροπερατότητα είναι μεγαλύτερη, καθώς ο ρύπος διεισδύει πιο εύκολα λόγω των γεωλογικών σχηματισμών. Έτσι δημιουργήθηκαν 3 ζώνες τρωτότητας ανάλογα τον υδροφορέα και την υδροπερατότητά του.

5.1.4 Εκτίμηση παράγοντα S

Η εδαφολογική ζώνη είναι η ανώτερη ζώνη της γης, η οποία έχει βάθος κατά μέσο όρο έξι πόδια από την επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος έχει σημαντική επίδραση στην ποσότητα επαναφόρτισης που μπορεί να διεισδύσει στο έδαφος. Γενικά, όσο λιγότερο συρρικνώνεται και διογκώνεται ο πηλός και όσο μικρότερο είναι το μέγεθος κόκκων του εδάφους, τόσο πιθανόν λιγότεροι ρύποι θα φτάσουν στον υπόγειο υδροφορέα (Alwathaf Y. 2011).

Για την μελέτη της εδαφολογικής ζώνης της περιοχής μελέτης συμβουλευτήκαμε τον γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 11 (Ι.Γ.Μ.Ε 2010). Στην περιοχή εμφανίζονται 3 είδη εδαφικών στρωμάτων. Αυτά είναι :

- Ασβεστολιθικά πετρώματα σε συνδυασμό με σχιστόλιθους: Οι ασβεστόλιθοι είναι σκληρυνθείσες αποθέσεις (ιζήματα) αργίλου, άμμου και κρυπτοκρυσταλλικού πυριτίου, εμπλουτισμένες με ανθρακικό ασβέστιο και άλλα ορυκτά. Οι σχιστόλιθοι είναι μεταμορφωμένα πετρώματα των οποίων ο βαθμός μεταμόρφωσης διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Έχουν σχιστώδη ή φυλλοειδή δομή (διάταξη) και χαρακτηρίζονται, ανάλογα με το ορυκτό που κυριαρχεί στη σύνθεσή τους, ως μαρμαρυγιακοί, χλωριτικοί, ταλκικοί κ.λπ. Τα εδάφη αυτής της προέλευσης είναι αργιλοπηλώδη έως αργιλώδη, ελαφρά αλκαλικά έως ελαφρά όξινα ($pH = 7,5-6,5$) και καλά εφοδιασμένα με μεταλλικά κατιόντα και είναι μέτρια βαριά εδάφη (S1).
- Ασβεστολιθικά θραύσματα: Ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστολιθικών εδάφων και λόγω των κενών που δημιουργούνται από τα θραύσματα η τρωτότητα είναι αυξημένη καθώς η υδροπερατότητα είναι αυξημένη (S2).
- Άμμος-πηλός: Λέγονται και **εδάφη μέσης σύστασης**. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει εδάφη όπου οι αναλογίες σε άμμο, άργιλο και ιλύ είναι περίπου ίσες. Τα εδάφη της ομάδας αυτής εκδηλώνουν μόνο τις επιθυμητές ιδιότητες της άμμου και της αργίλου.

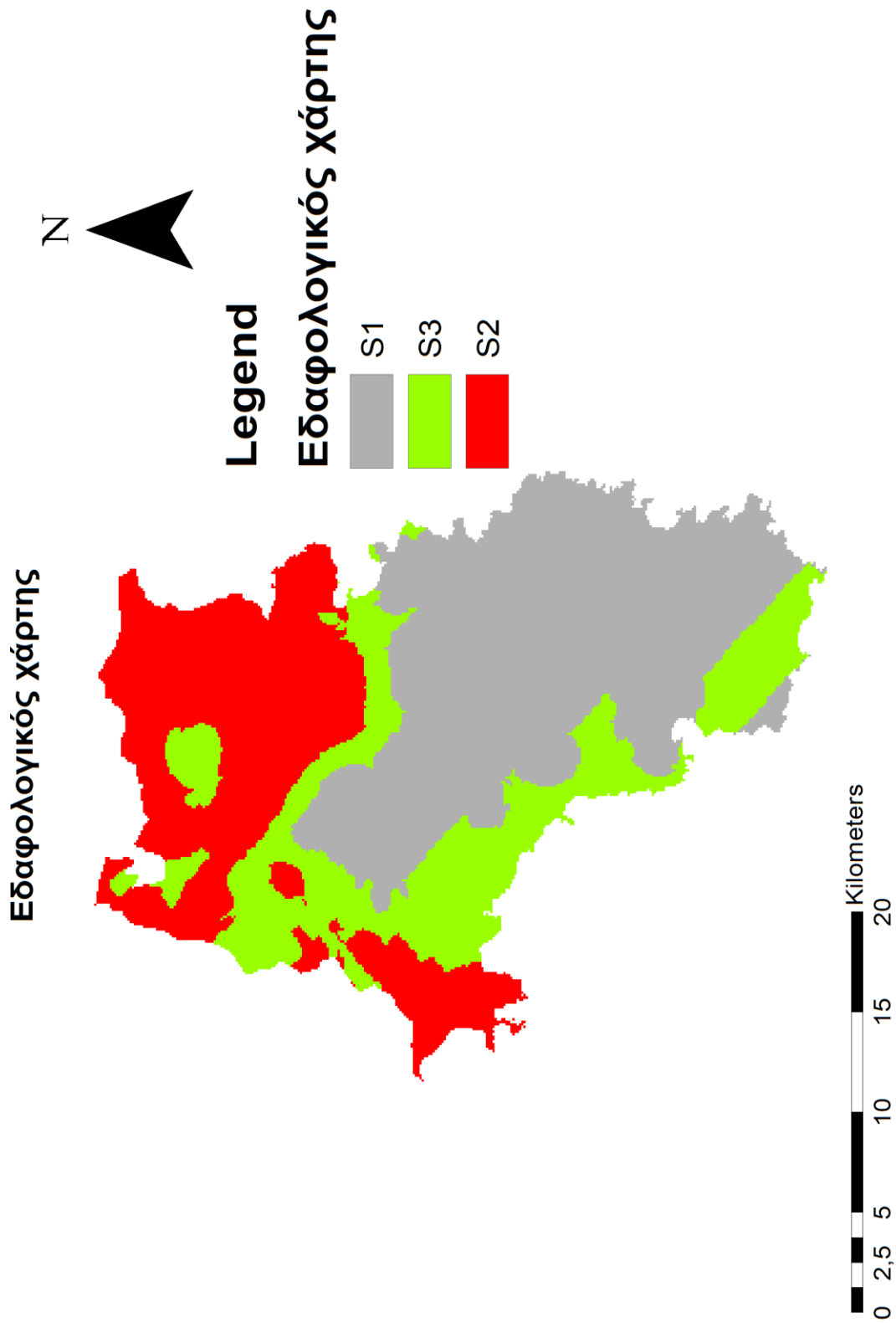
Στην περίπτωσή μας το ποσοστό της άμμου ξεπερνάει αυτό της αργίλου και της ιλύος, οπότε έχουμε πηλοαμμώδη έδαφος και χαρακτηρίζονται μεσαία ελαφρά εδάφη (S3).

Η κατηγοριοποίηση για τον παράγοντα S έγινε βάση τον πίνακα του Aller et al. (1987) και επισυνάπτεται παρακάτω. Έτσι για την κατηγορία S1 δόθηκε η τιμή 4, για την κατηγορία S2 η τιμή 7 και τέλος για την κατηγορία S3 η τιμή 6.

Για την δημιουργία του χάρτη δόθηκαν τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις ανάλογα με το εδαφικό στρώμα στο οποίο στεγάζονται και στη συνέχεια αφού περάστηκαν στο ArcMap με την μέθοδο kriging δημιουργήθηκε ο εδαφολογικός χάρτης που φαίνεται στην εικόνα 25. Τέλος, έγινε η βαθμολόγηση βάση του Πίνακα 18 ώστε να προκύψει ο τελικός χάρτης του παράγοντα S της μεθόδου DRASTIC-LU που απεικονίζεται στην Εικόνα 26.

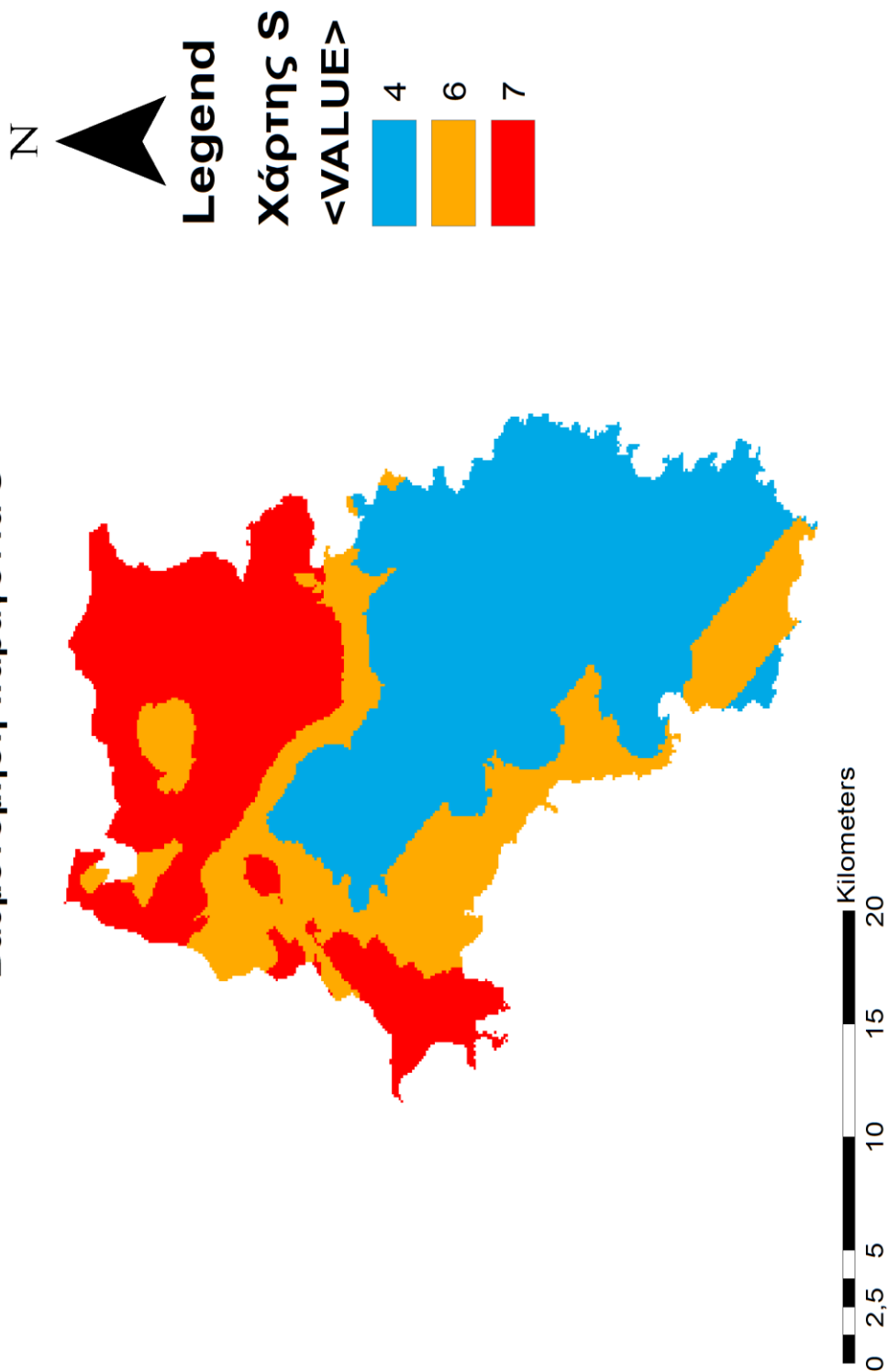
Πίνακας 18: Βαθμολόγηση εδάφους

Παράμετρος S (Aller et al. 1987)	
Χαρακτηρισμός	Βαθμονόμηση
Χαλίκια	10
Άμμος	9
Διογκούμενη άργιλος ή/και άργιλος με συσσωματώματα	7
Αμμώδης πηλός	6
Πηλός	5
Ιλυώδης πηλός	4
Αργιλωδης πηλός	3
Μη διογκούμενη άργιλος με ή χωρίς συσσωματώματα	1



Εικόνα 25: Εδαφολογικός χάρτης

Βαθμονόμηση παράγοντα S



Εικόνα 26: Χάρτης S

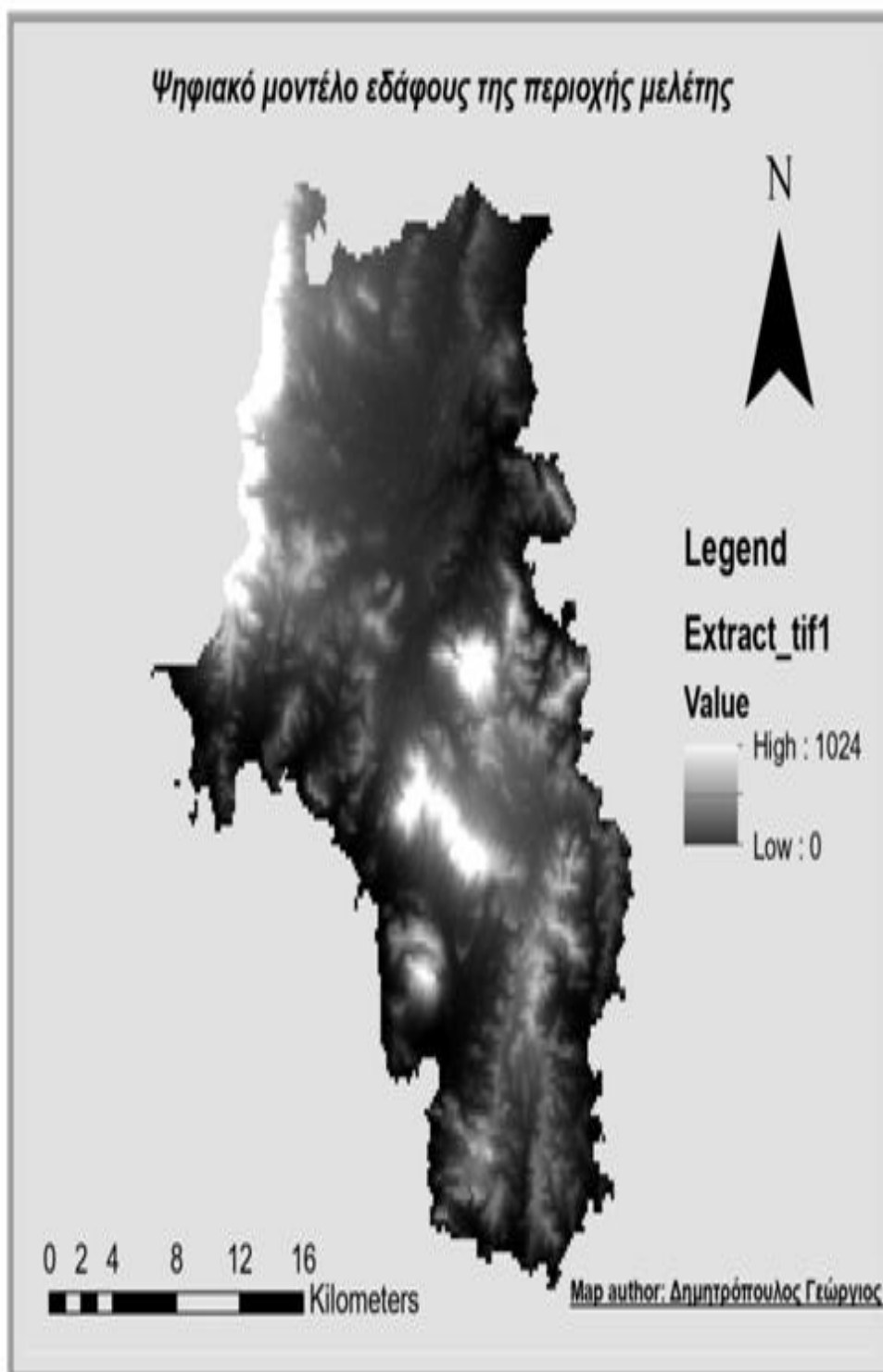
Η βαθμονόμηση έγινε με βάση την περατότητα του εδάφους. Έτσι την υψηλότερη τιμή την πήρε η εδαφολογική ζώνη η οποία αποτελείται από ασβεστολιθικά θραύσματα, καθώς υπάρχει αξιόλογη υδροπερατότητα, και στη συνέχεια ακολουθεί ο αμμώδης πηλός όπου και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει αρκετή υδροπερατότητα. Τέλος ασβεστολιθικά πετρώματα με τους σχιστόλιθους είναι σχετικά αδιαπέρατα οπότε η τιμή βαθμονόμησης είναι μικρότερη. Η περιοχή με την μεγαλύτερη τρωτότητα με βάση το έδαφος είναι η βόρεια περιοχή όπου εμφανίζονται κυρίως οι σχηματισμοί της κατηγορίας S3 καθώς και ανατολικά της περιοχής μελέτης, δηλαδή στο δήμο Σαρωνικού.

5.1.5 Εκτίμηση παράγοντα T

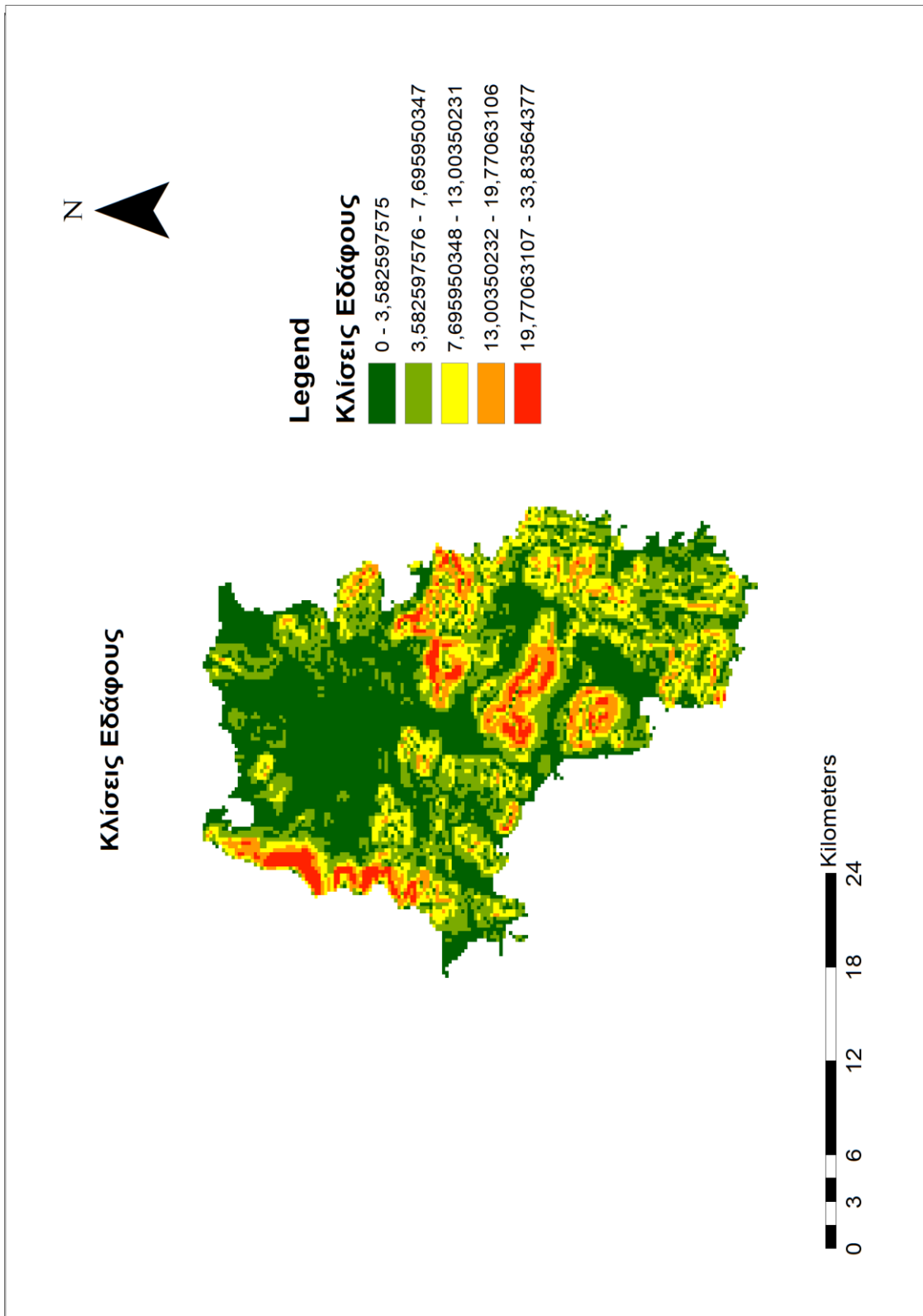
Για τον υπολογισμό του παράγοντα T δηλαδή της κλίσης του εδάφους, για τον έλεγχο της επιφανειακής απορροής και έτσι και της κατείσδυσης, χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), το οποίο είναι ένα σύνολο δεδομένων raster 3D με υψόμετρα που έχουν καταγραφεί περίπου κάθε 30 μέτρα. Στην περίπτωσή μας, χρησιμοποιείται DEM το οποίο αποκτήθηκε από το σύνολο δεδομένων GMTED2010 της ιστοσελίδα (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Η GMTED (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data) αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων εδάφους για όλο τον κόσμο και είναι νεότερη έκδοση του συνόλου δεδομένων GTOPO30. Η ακρίβεια των δεδομένων που αντλούνται αντιστοιχεί σε 7.5" (7.5 arcseconds), δηλαδή σε 225 m, ενώ κάνουμε λόγο για αρχεία τύπου Tiff.

Τα δεδομένα αναφέρονταν σε μεγαλύτερη έκταση και έτσι πραγματοποιήθηκε περικοπή στα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος χρησιμοποιώντας τη περιοχή μελέτης ως masklayer. Αξίζει να αναφερθεί ότι κάθε ρικελ στο πλέγμα εδάφους αντιπροσωπεύει το μέσο υψόμετρο σε μέτρα σε αυτή την τοποθεσία. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής έρευνας παρατίθεται στην Εικόνα 27.

Για την αξιοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην περίπτωση της συγκεκριμένης μεθόδου θα πρέπει να δημιουργήσουμε παράγωγο του θεματικού επιπέδου, αυτό της κλίσης. Με τον όρο κλίση αναφερόμαστε στο μέγιστο ρυθμό μεταβολής του υψομέτρου, μετρημένο σε μοίρες ή ποσοστό επί της εκατό (%). Η δημιουργία του χάρτη έγινε με την βοήθεια του εργαλείου slope (3D Analyst) του ArcGis όπου αρχικά υπολογίστηκαν οι κλίσεις σε βαθμούς και συνέχεια μετατράπηκαν σε ποσοστό επί τις 100. Η Εικόνα 28 δείχνει τις κλίσεις εδάφους της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 27: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους περιοχής



Εικόνα 28: Χάρτης κλίσεων εδάφους περιοχής

Για την βαθμολόγηση του παράγοντα T, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές όπως δίνονται από τον Aller et al. (1987) στο βιβλίο του και παρουσιάζονται στον Πίνακα 19. Άρα για τιμές από 0-2% δώθηκε η τιμή 10, από 2-6 % η τιμή 9, από 6-12 % η τιμή 5, από 12-18 % η τιμή 3 και για >18 % η τιμή 1.

Πίνακας 19: Βαθμολόγηση κλίσεων

Topography (T) (slope%)	0-2	10
	2-6	9
	6-12	5
	12-18	3
	>18	1

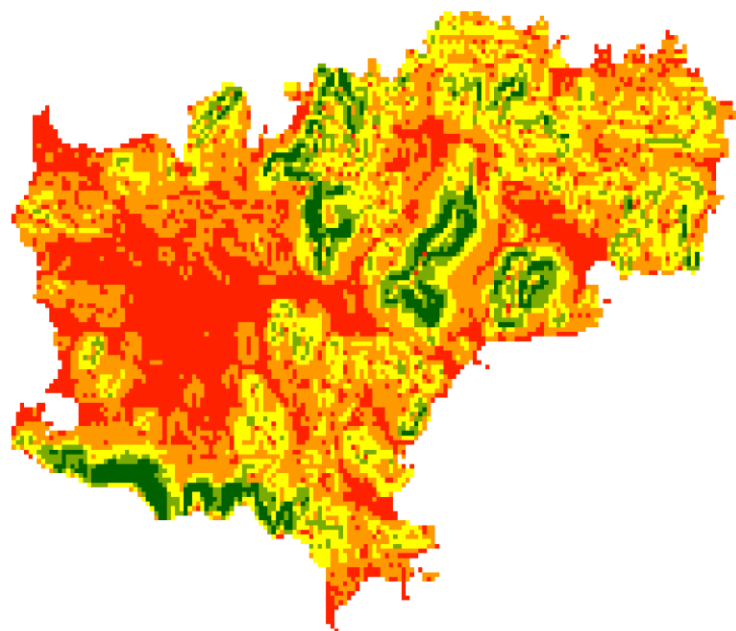
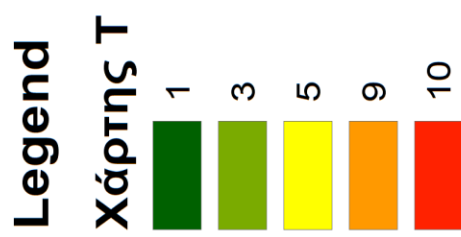
Η Εικόνα 29 δείχνει τον τελικό χάρτη της παραμέτρου T της μεθόδου DRASTIC-LU

5.1.6 Εκτίμηση παράγοντα I

Η επίδραση της ακόρεστης ζώνης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μέθοδο συγκεκριμένα, αλλά και γενικά για την ποιότητα των υπογείων νερών. Αυτό συμβαίνει καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης λόγω της βραδείας κίνησης του νερού καθώς και των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή οι οποίες είναι: προσφόρηση και ανταλλαγή ιόντων, χημικές αντιδράσεις καθώς και μείωση παθογόνων μικροοργανισμών (Rosen 1994).

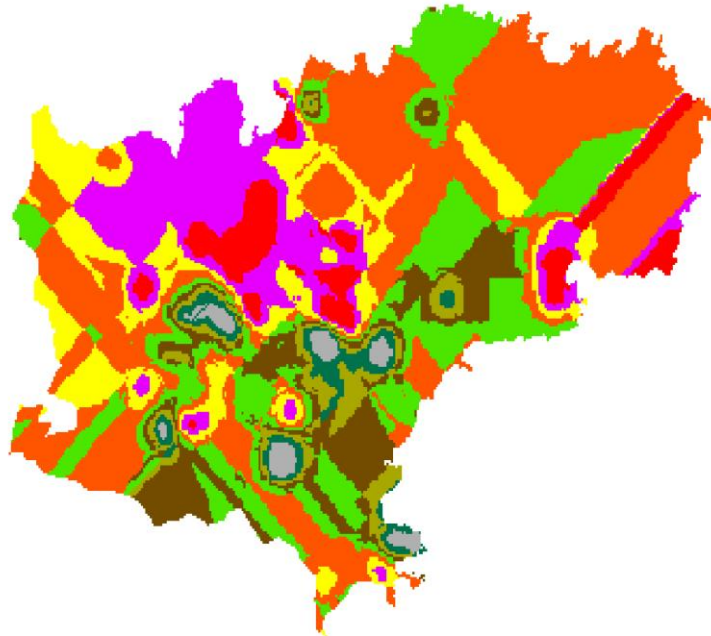
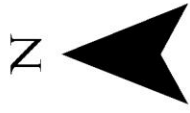
Για την μελέτη της ακόρεστης ζώνης τα πράγματα είναι πολύπλοκα καθώς για να αποφασισθεί ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων πρέπει να διαθέτουμε δεδομένα της λιθολογίας της, της κοκκομετρίας της, του πάχους της καθώς και τα χαρακτηριστικά και την συγκέντρωση του ρύπου. Βάση των παραπάνω στοιχείων που διαθέτουμε και των υδρογεωλογικών δεδομένων από το Ι.Γ.Μ.Ε (2010), προέκυψαν οι παρακάτω χαρακτηρισμοί του υλικού της ακόρεστης ζώνης και παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη της Εικόνας 30 στο προγραμματικό περιβάλλον του ArcMap.

Βαθμονόμηση παράγοντα T



Εικόνα 29: Χάρτης T

Χάρτης ακόρεστης ζώνης



Legend

Χάρτης ακόρεστης ζώνης

- Άργιλοι
- Μάργες άργιλοι
- Άργιλοι-άμμοι-ίλυες
- Άργιλοι άμμοι
- Ίλυες ψαμμίτες
- Ίλυες άμμοι
- Άμμοι
- Αδρόκοκκα υλικά
- Κροκάλες χαλίκια



Εικόνα 30: Χάρτης ακόρεστης ζώνης

Για την δημιουργία του χάρτη I αρχικά έπρεπε να γίνει βαθμολόγηση στους παραπάνω σχηματισμούς. Βάση του πίνακα του Aller et al. (1987) έγινε η εν λόγω εργασία, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20: Πίνακας βαθμολόγηση παράγοντα I

Υλικό της ακόρεστης ζώνης	Βαθμονόμηση
Άργιλοι	2
Μάργες άργιλοι	3
Άργιλοι-μάργες-ίλυες	4
Άργιλοι άμμοι	5
Ίλυες ψαμμίτες	6
Ίλυες άμμοι	7
Άμμοι	8
Αδρόκοκα υλικά	9
Κρόκαλες- χαλίκια	10

Στη συνέχεια δόθηκαν τιμές σε όλες τις σταθμημετρήσεις ανάλογα στον σχηματισμό που βρίσκονταν και με την βοήθεια του εργαλείου kriging του geostatistical analyst του ArcMap δημιουργήθηκε ο θεματικός χάρτης του παράγοντα I της μεθόδου DRASTIC– LU που φαίνεται στην Εικόνα 31.

5.1.7 Εκτίμηση παράγοντα C

Η υδραυλική αγωγιμότητα αποτελεί καθοριστική παράμετρο που αφορά την κίνηση του υπόγειου νερού αλλά και τη διασπορά των ρύπων σ' ένα υπόγειο υδροφόρο σύστημα. Η τιμή της καθορίζεται από τις ιδιότητες του υδροφορέα (Larpras 2014). Όσο αυξάνει η υδραυλική αγωγιμότητα τόσο οι ρύποι κινούνται γρηγορότερα και αυξάνεται η τρωτότητα. Όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της βαθμονόμησης, ενώ όσο μικρότερη είναι η υδραυλική αγωγιμότητα, τόσο μικρότερη η τιμή της βαθμονόμησης. Τα δεδομένα υδραυλικής αγωγιμότητας αποκτήθηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε (2010). Στην περιοχή μελέτης κυριαρχούν οι σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας ($K=10^{-1}$ ως 10^{-3} m/sec) και υδροπερατοί σχηματισμοί μέτριας ως χαμηλής ($K=10^{-4}$ ως 10^{-6} m/sec). Νοτιοδυτικά της περιοχής υπάρχουν κάποιοι ημιπερατοί σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας ($K=10^{-5}$ ως 10^{-7} m/sec) και τέλος υπάρχουν ελάχιστοι ημιπερατοί

σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας και κάποιοι υδροστεγανοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας και αυτοί. Ο χάρτης υδραυλικής αγωγιμότητας εμφανίζεται στα προηγούμενα κεφάλαια. Για να δοθούν οι τιμές της βαθμολόγησης βασιστήκαμε στη κατηγοριοποίηση της Βασιλείου (2011) η οποία φαίνεται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21: Πηγή κατηγοριοποίησης υδραυλικής αγωγιμότητας

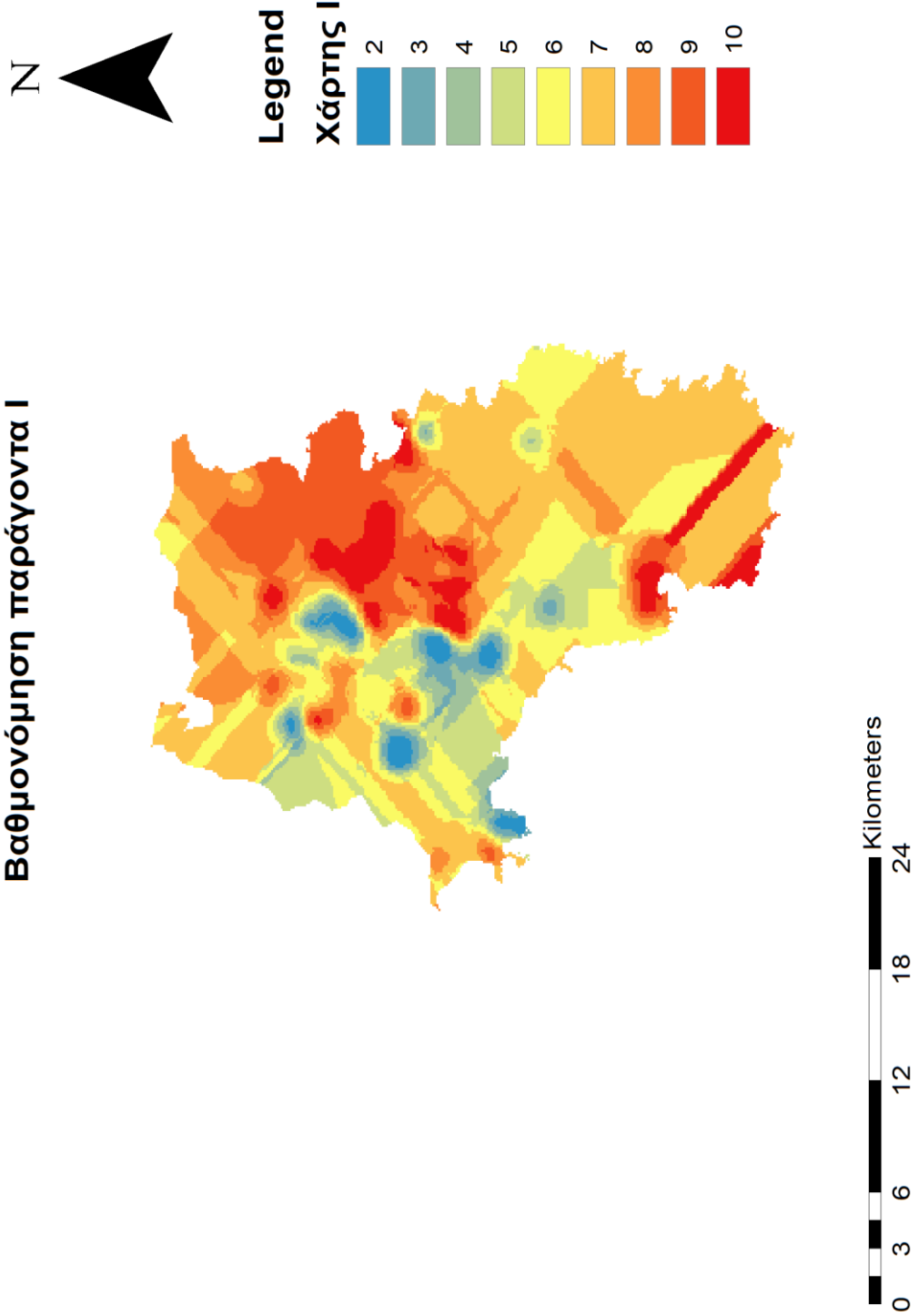
Υδραυλική αγωγιμότητα	Βαθμονόμηση
10^0 m/s	10
10^{-1} m/s	9
10^{-2} m/s	8
10^{-3} m/s	7

Η βαθμολόγηση που χρησιμοποιήθηκε στο χάρτη μας και ο τελικός χάρτης της παραμέτρου C της μεθόδου DRASTIC-LU επισυνάπτονται παρακάτω στον Πίνακα 22 και στην Εικόνα 32 αντίστοιχα.

Πίνακας 22: Βαθμολόγηση υδραυλικής αγωγιμότητας

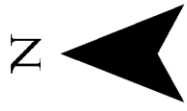
Υδραυλική αγωγιμότητα	Βαθμονόμηση
$10^{-1} - 10^{-3}$ m/s	8
$10^{-4} - 10^{-6}$ m/s	5
$10^{-5} - 10^{-7}$ m/s	4
$< 10^{-7}$ m/s	3

Βαθμονόμηση παράγοντα Ι







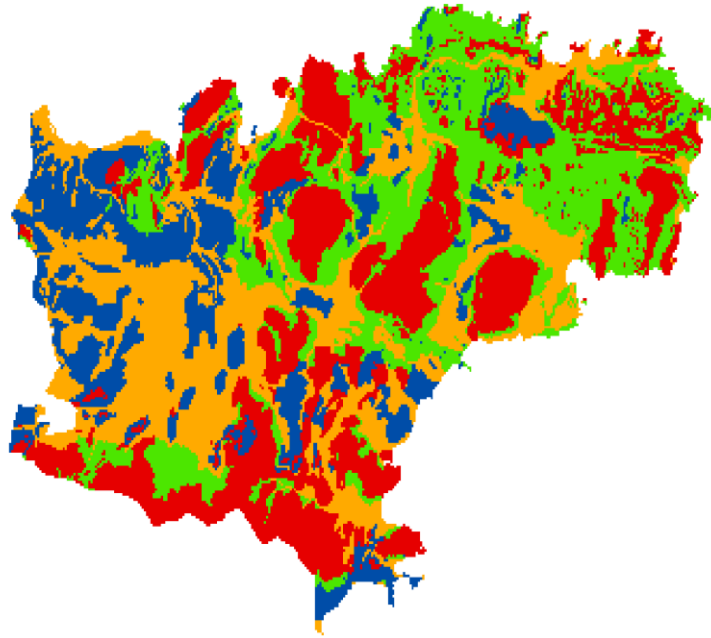
Εικόνα 31: Χάρτης Ι

Βαθμονόμηση παράγοντα C



Legend
Χάρτης C

	4
	5
	3
	8



Εικόνα 32: Χάρτης C

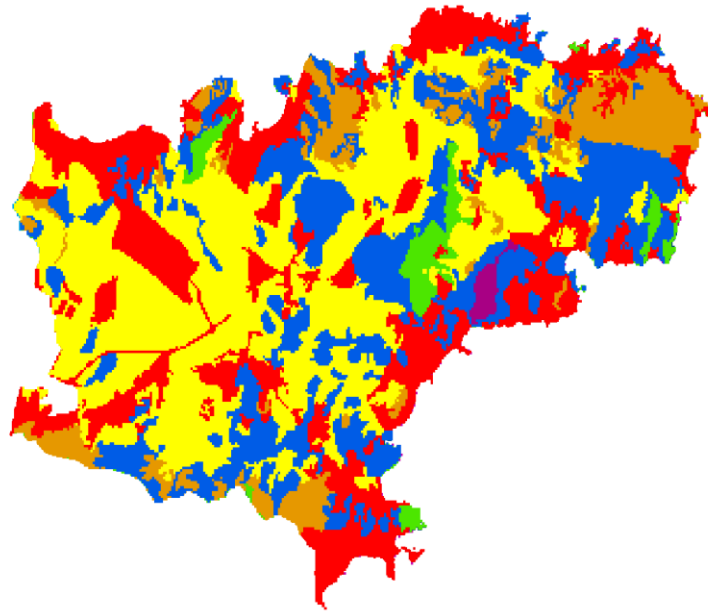
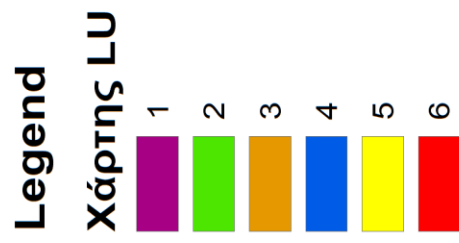
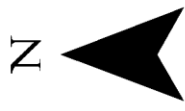
5.1.8 Εκτίμηση παράγοντα LU

Από τον χάρτη μορφής raster της Εικόνας 6 που έχει εισαχθεί παραπάνω έγινε η βαθμονόμηση των χρήσεων γης βάσει συγκεκριμένων κανόνων. Αρχικά, ο αστικός ιστός παίρνει τον μεγαλύτερο βαθμό λόγω των βιομηχανικών και των οικιακών αποβλήτων καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των υπογείων νερών. Ακολουθούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς τα φυτοφάρμακα και άλλες τεχνικές καλλιέργειας εντείνουν την ρύπανση. Ένα βήμα μετά ακολουθούν οι δασικές εκτάσεις και τέλος οι άγονες περιοχές και οι καμένες εκτάσεις. Βάσει αυτών των κανόνων παρουσιάζεται πίνακας ο οποίος δείχνει την κατηγοριοποίηση που επιλέχθηκε. Τέλος, επισυνάπτεται ο πίνακας βαθμολόγησης του παράγοντα LU ο οποίος έγινε στο ArcMap και κατηγοριοποιήθηκε με την εντολή reclassify βάσει τον Πίνακα 23. Ο τελικός χάρτης της παραμέτρου LU της μεθόδου DRASTIC-LU φαίνεται στην Εικόνα 33.

Πίνακας 23: Βαθμολόγηση χρήσεων γης (Aller 1987)

Βάρος	Χρήσεις γης
1	Καμένες εκτάσεις
2	Αραιή βλάστηση
3	Φυσική βλάστηση
4	Δάση
5	Καλλιέργειες
6	Αστικός ιστός, Οδικό ή σιδηροδρομικό δίκτυο, Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες, Λιμάνια, Αεροδρόμια

Βαθμονόμηση παράγοντα LU



Εικόνα 33: Χάρτης LU

5.2 Υπολογισμός τελικού δείκτη τρωτότητας DRASTIC (DI)

Ο δείκτης DI είναι ένας δείκτης τρωτότητας και υπολογίζεται από την Εξ. (1).

Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιήσαμε και μία όγδοη παράμετρο, τις χρήσεις γης (LU). Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας, κάθε παράμετρος στην Εξ. (1) έχει και διαφορετική βαρύτητα. Για τις τιμές βαρύτητας κάθε παραμέτρου συμβουλευτήκαμε το βιβλίο του Aller et al. (1987), στο οποίο οι τιμές είναι ως εξής:

Γενικός δείκτης (Typical)

Βάσει του πίνακα 4 ο γενικός δείκτης προκύπτει:

$$DL=5D_r + 4R_r + 3A_r + 2S_r + T_r + 5I_r + 3C_r + 5LU_r \text{ (2)}$$

Ειδικός δείκτης (Pesticide)

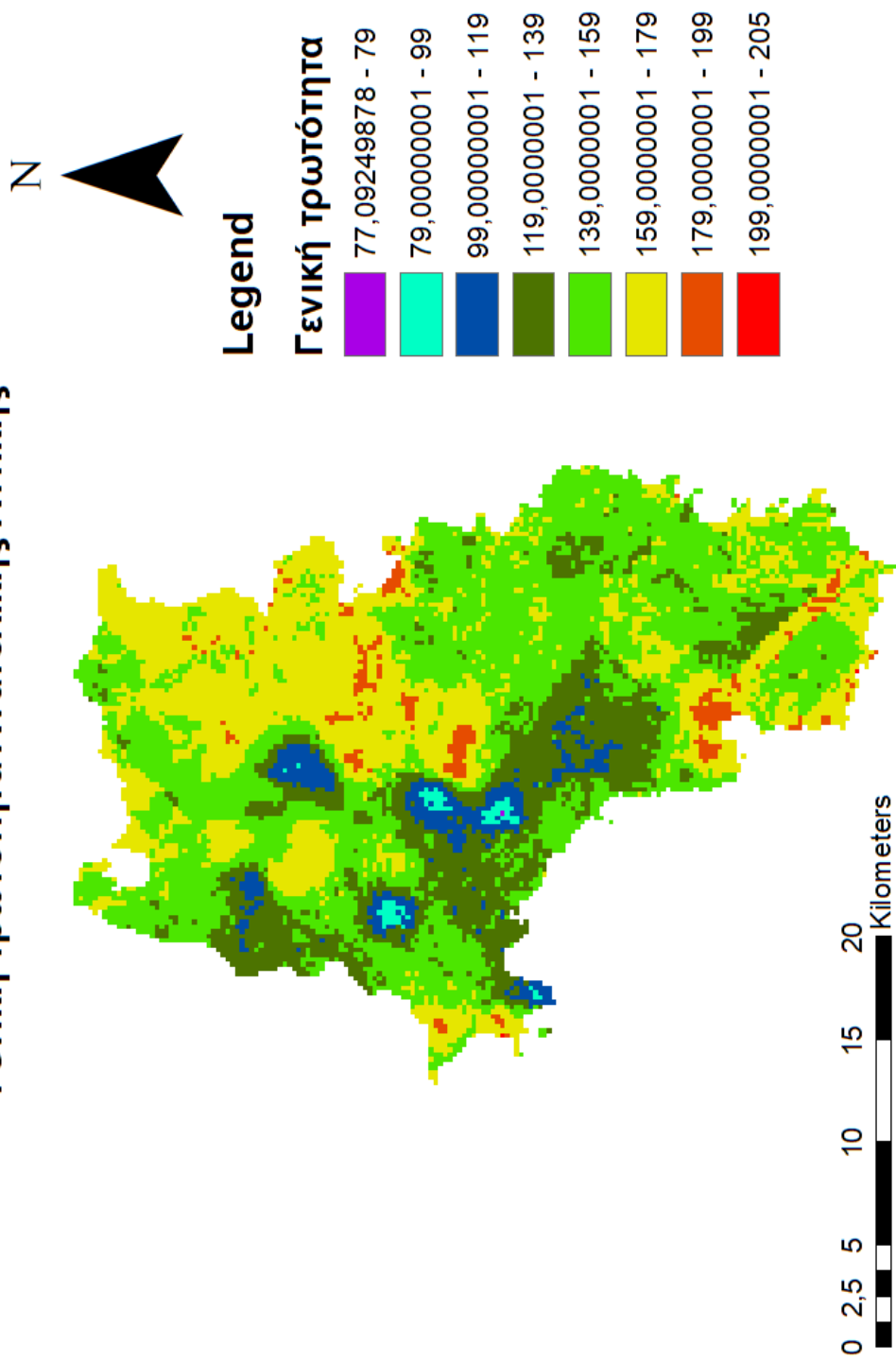
Βάσει του πίνακα 4 ο ειδικός δείκτης προκύπτει:

$$DL=5D_r + 4R_r + 3A_r + 5S_r + 3T_r + 3I_r + 2C_r + 5LU_r \text{ (3)}$$

Και στις δύο περιπτώσεις, για τον υπολογισμό του τελικού χάρτη τρωτότητας χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία “Raster calculator” του Map algebra που ανήκει στην κατηγορία Spatial Analyst Tools. Παρακάτω επισυνάπτονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Συγκεκριμένα η Εικόνα 35 παρουσιάζει τον χάρτη ειδικής τρωτότητας της Ανατολικής Αττικής, ενώ η Εικόνα 34 τον χάρτη γενικής τρωτότητας της Ανατολικής Αττικής.

Στον χάρτη που προέκυψε παρατηρούνται 5 διαβαθμίσεις όπως φαίνεται στον πίνακα 24 τρωτότητας με την πιο χαμηλή τιμή να είναι 77 και την πιο υψηλή 205. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται κατά κύριο λόγο βορειοδυτικά, στην περιοχή των Μεσογείων. Ακόμα υπάρχουν και κατά τόπους υψηλές τιμές τόσο στην περιοχή της Αναβύσσου-Λαυρίου αλλά και στην περιοχή της Βάρης. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται κυρίως κεντρικά της περιοχής έρευνας και στον Δήμο Βάρης.

Γενική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής



Εικόνα 34: Γενική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής

Πίνακας 24: Διαβάθμιση Γενικής τρωτότητας

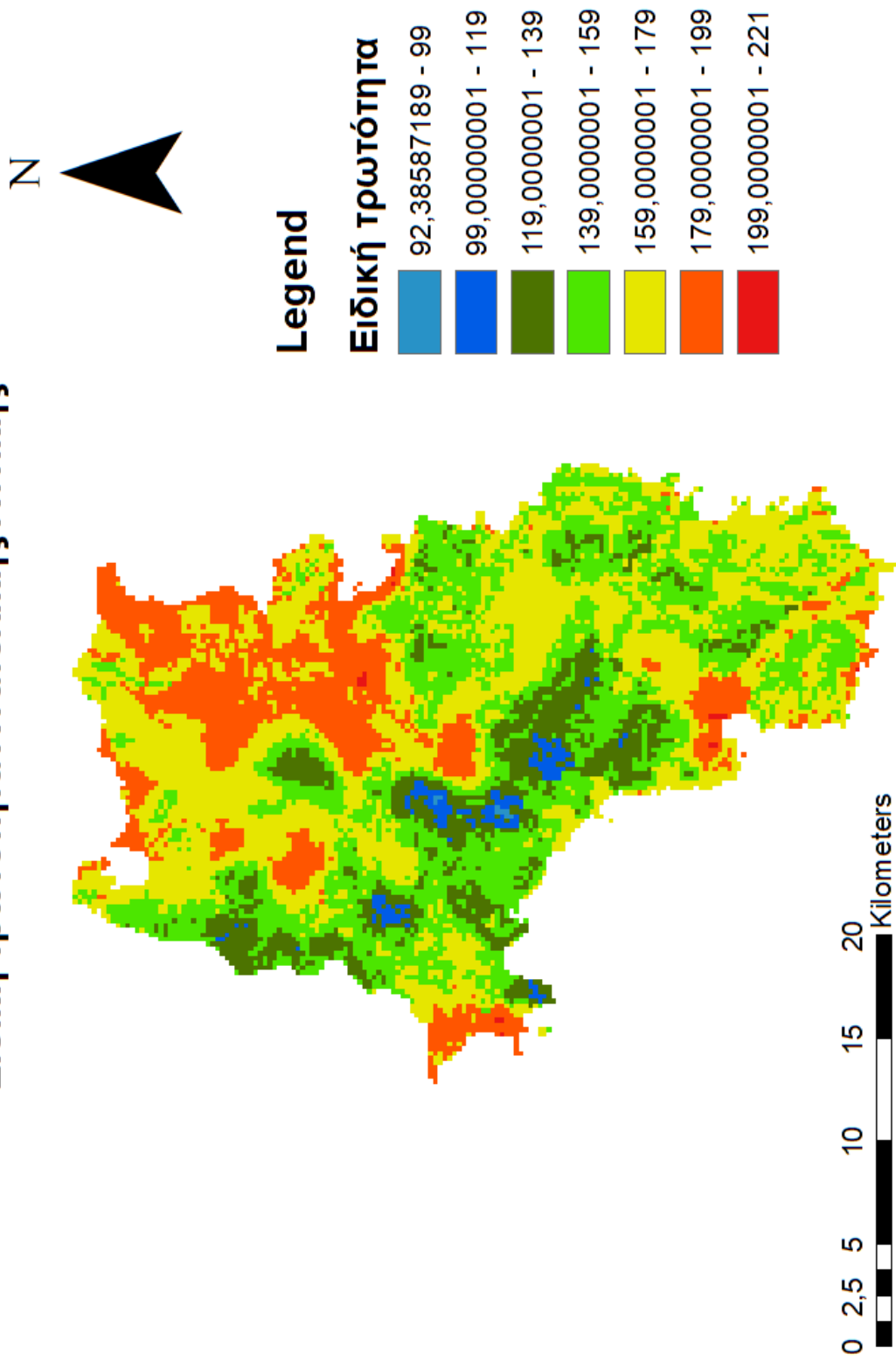
Αξιολόγηση τρωτότητας	Διαβάθμιση δείκτη
Πολύ Χαμηλή	77-79
Χαμηλή	79-99 99-119
Ενδιάμεση	119-139 139-159
Υψηλή	159-179 179-199
Πολύ υψηλή	199-205

Και στον χάρτη Ειδικής τρωτότητας τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με αυτόν της γενικής. Δημιουργήθηκαν 4 διαβαθμίσεις με πιο χαμηλή τιμή 92 και με πιο υψηλή 222 όπως γίνεται αντιληπτό από τον Πίνακα 25. Όπως γίνεται φανερό οι τιμές τρωτότητας είναι ελάχιστα αυξημένες στην ειδική από ότι στην γενική περίπτωση. Ως προς τις ζώνες επικινδυνότητας, τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν καθώς οι πιο υψηλές τιμές εμφανίζονται στα Μεσόγεια αλλά και μεμονωμένα τόσο στη περιοχή της Βάρης, αλλά και στην περιοχή της Αναβύσσου. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται κυρίως κεντρικά της περιοχής αλλά και βόρεια του δήμου Λαυρεωτικής και του δήμου Σαρωνικού.

Πίνακας 25: Διαβάθμιση Ειδικής τρωτότητας

Αξιολόγηση τρωτότητας	Διαβάθμιση δείκτη
Χαμηλή	92-99 99-119
Ενδιάμεση	119-139 139-159
Υψηλή	159-179 179-199
Πολύ Υψηλή	199-221

Ειδική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής



Εικόνα 35: Ειδική τρωτότητα Ανατολικής Αττικής

Αναλύοντας τις παραμέτρους που παρακολουθήσαμε και τα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων της περιοχής έρευνας με τα τελικά αποτελέσματα των χαρτών τρωτότητας (Ειδική-Γενική) παρατηρούμε ότι:

Για περιοχές με χαμηλή τρωτότητα

- Το βάθος του υπογείου νερού (D) είναι πολύ μεγάλο με τιμές από 40m οι μικρότερες και οι μεγαλύτερες να φτάνουν τα 170 m. Αυτό έχει ως συνέπεια ο ρύπος να δυσκολεύεται να φτάσει στο νερό.
- Η κατείσδυση (R) στην περιοχή με χαμηλή τρωτότητα να μην ξεπερνάει τα 45 mm και πολλές φορές να είναι και χαμηλότερη από 20mm, με αποτέλεσμα η εν δυνάμει ποσότητα των ρύπων που μεταφέρεται στο υπόγειο νερό να είναι μικρότεροι.
- Το υλικό του υδροφορέα (A) αποτελείται κυρίως από μάρμαρα και σχιστόλιθους στην περιοχή με την χαμηλότερη τρωτότητα. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν υδροπερατότητα, αλλά όχι τόσο μεγάλη όσο άλλοι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης και έτσι ο ρύπος δεν διεισδύει όσο σε άλλες περιπτώσεις.
- Το εδαφικό υλικό (S) αποτελείται από σχηματισμούς οι οποίοι είναι ασβεστολιθικά πετρώματα σε συνδυασμό με σχιστόλιθους μικρής σχετικά υδροπερατότητας.
- Η κλίση του εδάφους (T) χαρακτηρίζεται σχετικά μεγάλη καθώς ξεπερνάει το 6% σε σχεδόν όλη την έκταση της περιοχής. Σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνάει ακόμα και το 10%, παράγοντας ο οποίος καθιστά το έδαφος κεκλιμένο με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η κατείσδυση.
- Εμφανίζονται σχηματισμοί οι οποίοι έχουν από χαμηλή έως πολύ χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα (C) και με ελάχιστες εξαιρέσεις κάποιοι σχηματισμοί υψηλής.
- Οι χρήσεις γης (LU) στην περιοχή όπου η τρωτότητα είναι χαμηλή αποτελούνται από καλλιέργειες (σε μικρότερο βαθμό από ότι σε άλλες εκτάσεις) αλλά και από δάση και φυσική βλάστηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υπόγειο νερό να χρησιμοποιείται λιγότερο.
- Τέλος η ακόρεστη ζώνη περιλαμβάνει σχηματισμούς όπως άργιλοι, μάργες άργιλοι, άργιλοι-άμμοι-ιλύες και άργιλοι άμμοι οι οποίοι αποτελούν αδιαπέρατους η ημιπερατούς σχηματισμούς εμποδίζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τον ρύπο να εισέλθει στο έδαφος και να ρυπαίνει το υπόγειο νερό.

Για περιοχές με υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα

- Παρατηρούνται τα χαμηλότερα βάθη υπογείου νερού τα οποία δεν ξεπερνούν τα 30 m και σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ χαμηλότερα από 10 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρύπος να μπορεί να φτάσει με σχετική ευκολία το υπόγειο νερό. Ο παράγοντας D αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες της μεθόδου DRASTIC με αποτέλεσμα να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα.
- Η κατείσδυση στα νότια στην περιοχή της Αναβύσσου όπου εμφανίζεται η υψηλή τρωτότητα παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές της οι οποίες κυμαίνονται από 35 mm και φτάνουν τα 57 mm. Η κατείσδυση σε όλη την έκταση της περιοχή έρευνας δεν είναι μεγάλη με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη παράμετρος να μην επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την υψηλή τρωτότητα.
- Το εδαφικό υλικό αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά θραύσματα τα οποία έχουν μεγάλη υδροπερατότητα με αποτέλεσμα να επιτρέπουν τον ρύπο να διεισδύει στο έδαφος με σχετική ευκολία.
- Η κλίση του εδάφους τόσο βόρεια προς τα Μεσόγεια αλλά και νότια, δηλαδή εκεί όπου η τρωτότητα παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές, είναι πολύ μικρή και δεν ξεπερνάει σχεδόν ποτέ το 6%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρύπος να μένει περισσότερο χρόνο στο έδαφος και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα ρύπανσής του.
- Οι χρήσεις γης καλύπτονται κυρίως από καλλιέργειες, σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ότι στις περιοχές με χαμηλή τρωτότητα, αλλά και από αστικό ιστό, βιομηχανικό ιστό και μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές μονάδες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη χρήση φυτοφαρμάκων αλλά και την υπεράντληση του υπογείου νερού προκαλώντας έτσι προβλήματα.
- Τέλος, η ακόρεστη ζώνη καλύπτεται κυρίως από σχηματισμούς οι οποίοι είναι άμμος, αδρόκοκκα υλικά και κροκαλές-χαλίκια, γεγονός που ευνοεί σε μεγάλο βαθμό τον κατά δύναμη ρύπο καθώς η περατότητα είναι αρκετά υψηλή με αποτέλεσμα την εύκολη διείσδυση του ρύπου.

Περιοχές με μέτρια τρωτότητα

Και στους δύο χάρτες οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι συγκεκριμένες περιοχές επικεντρώνονται κυρίως στα νοτιοδυτικά της περιοχής έρευνας, καλύπτοντας σχετικά μεγάλο μέρος. Στις περιοχές αυτές υπάρχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η υδραυλική αγωγιμότητα των σχηματισμών κυμαίνεται από 10^{-5} έως 10^{-7} με κάποιες εξαιρέσεις πράγμα που ευνοεί την διείσδυση των ρύπων σε ένα βαθμό αλλά όχι μεγάλο.
- Οι χρήσεις γης είναι είτε καλλιέργειες είτε φυσική βλάστηση και υπάρχει και αστικός ιστός σε κάποια μέρη. Αυτό σημαίνει ότι είτε υπάρχει μία μικρή υπεράντληση είτε η χρήση των φυτοφαρμάκων είναι φανερή σε επιτρεπτό βαθμό ώστε να μην την καταστήσει επίφοβη.
- Η κλίση του εδάφους κατά κύριο λόγο είναι από 6%-12% πράγμα που φανερώνει ότι το έδαφος είναι ελαφρά κεκλιμένο με αποτέλεσμα να ευνοείται λιγότερο η κατείδυση από ότι στις περιοχές με αυξημένη τρωτότητα, αλλά και περισσότερο από αυτές με χαμηλότερη.
- Τέλος το βάθος του υπογείου νερού χαρακτηρίζεται μέτριας τιμής καθώς οι τιμές δεν ξεπερνούν τα 45 m και κυρίως είναι από 15-30 m.

Ακόμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο χάρτης ειδικής τρωτότητας έχει μεγαλύτερες τιμές δείκτη από ότι αυτός της γενικής. Αυτό συμβαίνει γιατί στην ειδική τρωτότητα οι βαρύτητες των παραγόντων είναι διαφορετικές από ότι στην γενική κατηγοριοποίηση. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα τα δύο χαρτών είναι παρόμοια με μικρές διαφορές. Η πιο αισθητή διαφοροποίηση είναι ότι στον χάρτη ειδικής τρωτότητας οι περιοχές χαμηλής έως μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση από ότι στον χάρτη γενικής τρωτότητας.

Ένα φανερό συμπέρασμα από τους χάρτες είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής της Ανατολικής Αττικής καταλαμβάνεται από εκτάσεις από μέτρια έως πολύ υψηλής τρωτότητας. Αυτό υποδηλώνει ότι η παρακολούθηση πρέπει να είναι συνεχής και με παραμέτρους, οι οποίοι ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση της μεθόδου και εξαγωγή συμπερασμάτων

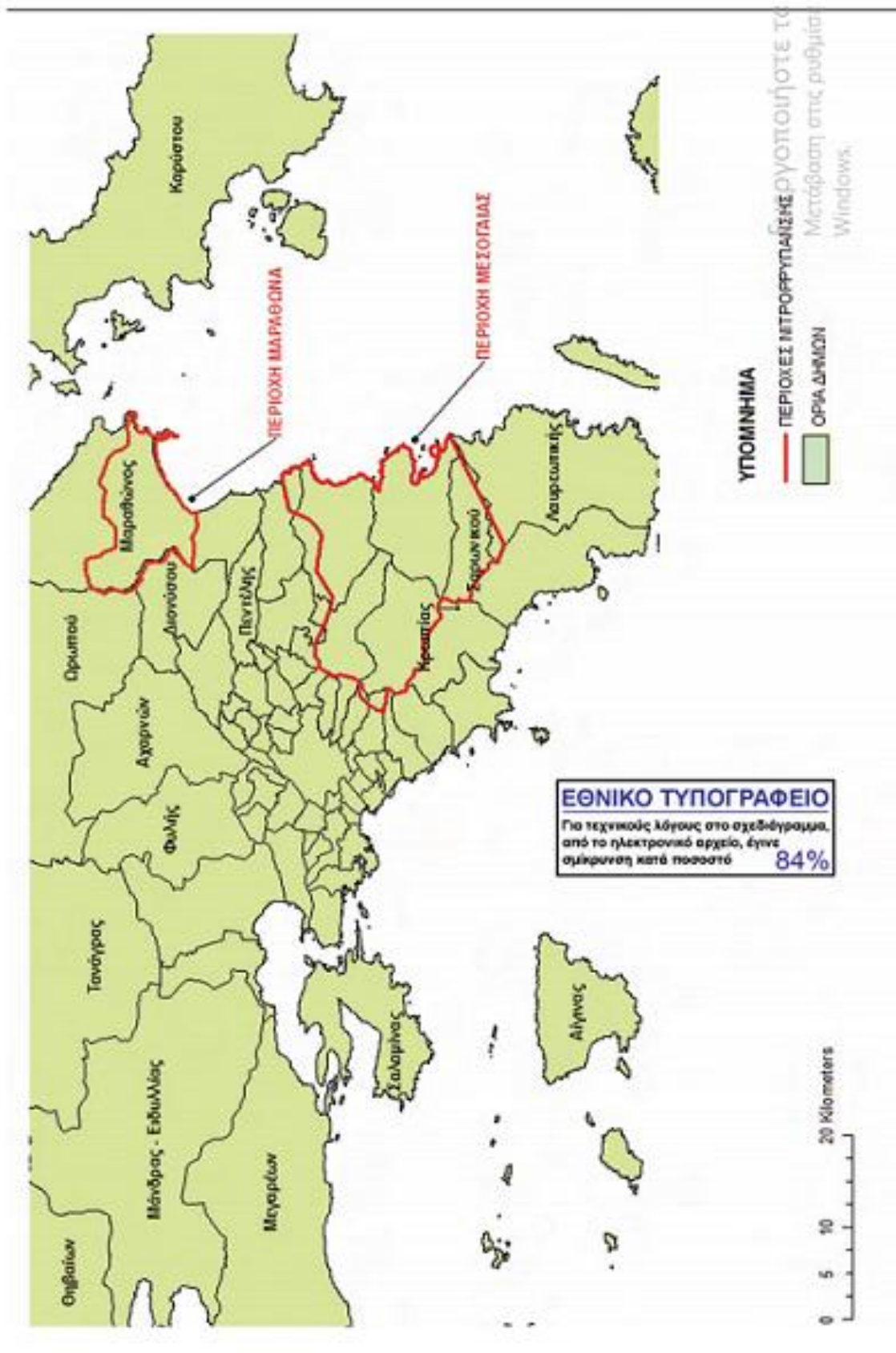
6.1 Αξιολόγηση της μεθόδου με καταμέτρηση των νιτρικών ιόντων

Μία από τις πιο διαδεδομένες ρύπανσης των υπογείων υδάτων αλλά και των επιφανειακών είναι η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων, η οποία ονομάζεται νιτρορρύπανση (Canter 1997). Οι γεωργικές διεργασίες με αζωτούχα λιπάσματα, η απρογραμμάτιστη άρδευση των καλλιεργειών καθώς και τα περιττώματα των διάφορων οικόσιτων ζώων αποτελούν τις κύριες εστίες νιτρορρύπανσης του υπόγειου νερού (Canter 1997). Η Ν-ούχος ρύπανση απαντά επίσης με τη μορφή του αμμωνίου (NH_4^+), της αμμωνίας (NH_3), νιτρωδών (NO_2^-), του υποξειδίου αζώτου (N_2O) και του αζώτου (N_2) οργανικής ή ανόργανης προέλευσης.

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθόδου DRASTIC στο βιβλίο του Aller (1987) προτείνεται η συσχέτιση του χάρτη τρωτότητας που δημιουργήθηκε παραπάνω με τον χάρτη κατανομής νιτρικών ιόντων της περιοχής. Οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων η οποίες καθιστούν το νερό πόσιμο πρέπει να είναι χαμηλότερες από 50 mg/l. Ενδεικτικά, οι τιμές οι οποίες ξεπερνούν τα 30 mg/L πρέπει να θεωρούνται υψηλές και είναι ένας παράγοντας ο οποίος δείχνει ρύπανση του υπογείου νερού (Κούγκολος 2007). Για να υπάρχει επιτυχία της μεθόδου θα πρέπει να υπάρχει μία μερική συσχέτιση έστω στις περιοχές όπου τα νιτρικά ιόντα είναι αυξημένα με αυτές όπου η τρωτότητα είναι αυξημένη.

Παρακάτω παρατίθεται η Εικόνα 36 που παρουσιάζει ένα χάρτη από την εφημερίδα της κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (2013), ο οποίος υποδηλώνει ότι η περιοχή της Μεσογαίας είναι μια περιοχή η οποία είναι ενδεικτική της νιτρορρύπανσης και γι' αυτό είναι οριοθετημένη με την κόκκινη γραμμή όπου το υπόμνημα του χάρτη συμβολίζει ως περιοχές νιτρορρύπανσης.

Στη συνέχεια, από την μελέτη της Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2012), όπου έχουν μελετηθεί όλα τα υπόγεια συστήματα του διαμερίσματος της Αττικής, θα απομονώσουμε τα υδατικά διαμερίσματα της Μεσογαίας, του Υμηττού, της Λαυρεωτικής και της Αναβύσσου τα οποία αποτελούν την περιοχή μελέτης μας.



Εικόνα 36: Περιοχές νιτρορύπανσης Ανατολικής Αττικής σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβέρνησης

GR0600150: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Μεσογαίας

Για τις χημικές αναλύσεις της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν 44 υδροσημεία στα οποία έγιναν μετρήσεις από το 2000-2008. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών προσεγγίζουν τοπικά τα 340 mg/L και οφείλονται: α) στην έντονη γεωργική δραστηριότητα με χρήση λιπασμάτων, β) στις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις και γ) στη ρύπανση από αστικά απόβλητα. Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από γεωργικές εκτάσεις και κάποιες κατοικίες, ενώ παρατηρούνται εκτεταμένες χρήσεις του δευτερογενούς τομέα που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και περιλαμβάνουν κάθε μορφής μονάδες μεταποίησης και εμπορίας, και πέντε ελαιοτριβεία.

Το συγκεκριμένο υδατικό σύστημα, όπως και στην εικόνα 36, εκτιμάται σε κακή χημική κατάσταση αφού τα 34 από τα 44 υδροσημεία που μελετήθηκαν βρέθηκαν σε κακή κατάσταση λόγω ανθρωπογενούς ρύπανσης. Η Εικόνα 37 δείχνει το χάρτη συγκέντρωσης νιτρικών του υδατικού διαμερίσματος της Μεσογαίας.

GR0600160: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Υμηττού

Για τις χημικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από 4 υδροσημεία για την περίοδο 2006-2007 και άλλο ένα για την περίοδο 2004-2008. Στην περιοχή του συστήματος κυριαρχούν οι εκτάσεις με φυσική βλάστηση, ενώ στις χρήσεις γης περιλαμβάνονται οι αγροτικές χρήσεις, οι χρήσεις του δευτερογενή τομέα και οι χρήσεις κατοικίας. Στις χρήσεις του δευτερογενούς τομέα περιλαμβάνονται μονάδες πετρελαιοειδών, αρωμάτων, τροφίμων και δύο ελαιοτριβεία. Στην παράκτια ζώνη έχουν καταγραφεί και φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης λόγω των αντλήσεων για τις γεωργικές και άλλες δραστηριότητες.

Οι υπερβάσεις των τιμών των νιτρικών εμφανίζονται τοπικά στις γεωτρήσεις που μελετήθηκαν και αυτό συμβαίνει λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας. Στην περιοχή τα 3 από τα 4 υδροσημεία βρίσκονται σε κακή κατάσταση αλλά λόγω έλλειψης υδροσημείων αλλά και βάση της χρήσης του νερού και της γεωγραφικής κατανομής των υδροσημείων το σύστημα εκτιμάται σε καλή κατάσταση με τοπικές αυξήσεις συγκεντρώσεων νιτρικών. Η Εικόνα 38 δείχνει το χάρτη συγκέντρωσης νιτρικών του υδατικού διαμερίσματος του Υμηττού.



Εικόνα 37: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Μεσογαίας (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)



Εικόνα 38: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα του Υμηττού (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

GR0600170: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Λαυρεωτικής

Για τις χημικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από τα 7 υδροσημεία για την περίοδο 2002-2007 και ενός υδροσημείου για την περίοδο 2004-2008. Στην περιοχή του συστήματος κυριαρχούν οι εκτάσεις με φυσική βλάστηση, ενώ στις χρήσεις γης περιλαμβάνονται οι αγροτικές χρήσεις και οι χρήσεις κατοικίας. Παράλληλα υπάρχουν χρήσεις του δευτερογενούς τομέα που αφορούν μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, μία μονάδα της ναυπηγικής βιομηχανίας στο Λαύριο, καθώς επίσης μονάδες μετάλλου, αρωμάτων, τροφίμων και δύο ελαιοτριβεία. Στην περιοχή προγραμματίζεται επίσης και η κατασκευή του ΧΥΤΑ νοτιοανατολικής Αττικής στην περιοχή της Κερατέας.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι υψηλές τιμές συγκέντρωσης εμφανίζονται τοπικά και παρόλο που τα 3 υδροσημεία από τα 7 έδειξαν αρνητικά αποτελέσματα (υψηλή συγκέντρωση νιτρικών), λόγω της γεωγραφικής κατανομής των σημείων το υδατικό σύστημα βρίσκεται σε καλή κατάσταση και εμφανίζει τοπικά αυξημένες τιμές νιτρικών. Η Εικόνα 39 δείχνει το χάρτη συγκέντρωσης νιτρικών του υδατικού διαμερίσματος της Λαυρεωτικής.

GR0600180: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Αναβύσσου

Για τις χημικές αναλύσεις της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από 2 υδροσημεία για την περίοδο 2007-2008. Στην περιοχή επικρατούν περιορισμένες αγροτικές χρήσεις, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί οι αστικές χρήσεις, μόνιμης και εποχιακής κατοικίας. Επίσης λειτουργεί μία μονάδα τροφίμων (κρασιά) και ένα ελαιοτριβείο. Παράλληλα, στην περιοχή υπάρχουν και εκτάσεις με φυσική βλάστηση. Το υπόγειο υδατικό σύστημα αντλείται κυρίως για αρδευτική χρήση και σπανιότερα για ύδρευση.

Η αύξηση τιμών των νιτρικών γίνεται κυρίως εξαιτίας της χρήσης λιπασμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ποιοτική κατάσταση του συστήματος είναι σε καλή κατάσταση και οι τοπικές αυξήσεις των νιτρικών δεν αφορούν όλη την έκταση του διαμερίσματος. Ωστόσο λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού της περιοχής προτείνεται συνεχής παρακολούθηση του συστήματος με συστηματικές μετρήσεις. Η Εικόνα 40 δείχνει το χάρτη συγκέντρωσης νιτρικών του υπόγειου υδατικού διαμερίσματος της Αναβύσσου.



Εικόνα 39: Συγκέντρωση νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Λαυρεωτικής (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)



Εικόνα 40: Συγκέντρωση των νιτρικών στο υπόγειο υδατικό διαμέρισμα της Αναβύσσου (Ι.Γ.Μ.Ε 2010)

Από την καταμέτρηση ιόντων που φαίνεται παραπάνω μπορούμε να εξάγουμε εύλογα συμπεράσματα για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου DRASTIC που χρησιμοποιήθηκε. Από την μελέτη της διοίκησης των υδάτων παρατηρούμε ότι για τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα ανάλογα με τις σταθμημετρήσεις που διέθεταν τα νιτρικά ιόντα κατανεμήθηκαν σε 3 κλάσεις. Η πρώτη αφορά τις συγκεντρώσεις <37,5mg/L, η δεύτερη δεν ξεπερνάει τα 50mg/L ενώ η τρίτη αφορά συγκεντρώσεις $\geq 50\text{mg/L}$.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των χαρτών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με αυτά των χαρτών τρωτότητας παρατηρούμε αντιστοίχιση σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό.

Πιο αναλυτικά:

- Η μεγαλύτερη αντιστοίχιση που πετυχαίνουμε με την μελέτη είναι εκείνη στα Μεσόγεια. Στα Μεσόγεια και από τις δύο μελέτες συγκέντρωσης νιτρικών παρατηρούμε ότι χαρακτηρίζεται ως το υδροφόρο σύστημα με την πιο κακή χημική κατάσταση. Είναι ενδεικτικό ότι οι συγκεντρώσεις φτάνουν τοπικά και τα 340 mg/L πράγμα που φανερώνει την μεγάλη εκμετάλλευση της περιοχής είτε από καλλιέργειες είτε από αστικό ιστό και βιομηχανίες. Στους χάρτες δείκτη DRASTIC στην περιοχή των Μεσογείων, δηλαδή βορειοδυτικά, εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές τρωτότητας με τις τιμές να φτάνουν τις τελικές τιμές σε κάθε περίπτωση, δηλαδή είτε 222 είτε 205, αλλά και καλύπτουν σχεδόν όλη την έκταση της περιοχής αυτής. Οι πολύ υψηλές τιμές τρωτότητας συνεχίζονται σε όλη την έκταση των Μεσογείων και δεν γίνονται μικρότερες από 150 γεγονός που δείχνει ότι η επικινδυνότητα, ή ακόμα και η ποιότητα ήδη των υπογείων νερών, έχει ή μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό και με σχετική ευκολία λόγω των συνθηκών που ισχύουν εκεί.
- Πολύ καλά αποτελέσματα έδειξαν και τα στοιχεία στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα Λαυρεωτικής που περιλαμβάνει τον δήμο Λαυρεωτικής και σχεδόν όλο τον δήμο Σαρωνικού. Σύμφωνα με την μελέτη συγκέντρωσης νιτρικών, η περιοχή χαρακτηρίζεται σε αρκετά καλή κατάσταση, καθώς παρόλο που 3 γεωτρήσεις έδειξαν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ($>50\text{mg/L}$) λόγω έλλειψης σημείων και γεωγραφικής κατανομής το υπόγειο σύστημα δεν έχει προβλήματα. Είναι φανερό κιόλας ότι από τον χάρτη, τα υδροσημεία που έχουν αυξημένες τιμές νιτρικών εμφανίζονται στα όρια με το υδροφόρο σύστημα των Μεσογείων όπου είναι στη

χειρότερη κατάσταση. Οι χάρτες τρωτότητας στην εν λόγω περιοχή φανερώνουν τις χαμηλότερες τιμές τρωτότητας γεγονός που δείχνει ότι οι συνθήκες που λαμβάνουν χώρα δεν αποτελούν τόσο μεγάλη απειλή στα υπόγεια νερά. Αυτό φυσικά δεν αναιρεί το γεγονός ότι η συνεχής παρακολούθηση είναι αναγκαία σε κάθε περίπτωση.

- Τέλος, για την περιοχή της Βάρης αλλά και της Αναβύσσου για τις οποίες διαθέτουμε χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα. Από την πρώτη μελέτη καμία από τις δύο περιοχές δεν διατρέχει κίνδυνο νιτρορρύπανσης, ενώ από την δεύτερη η έλλειψη υδροσημείων δεν εξασφαλίζει τόσο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα σημεία είναι μοιρασμένα καθώς δίνουν είτε πολύ μεγάλες τιμές είτε πολύ μικρές. Το συμπέρασμα που δείχνει η συγκεκριμένη μελέτη είναι ότι λόγω της έλλειψης υδροσημείων και της γεωγραφικής κατανομής, η χημική κατάσταση είναι σχετικά καλή. Από του χάρτες τρωτότητας αποτυπώνεται η συγκεκριμένη κατάσταση καθώς και στην περιοχή της Αναβύσσου και της Βάρης φανερώνονται και υψηλές και χαμηλές τιμές τρωτότητας. Αυτό φανερώνει μια μερική αντιστοιχία των αποτελεσμάτων και δηλώνει ότι η κατάσταση στην περιοχή είναι πολύπλοκη και θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω έρευνες και μετρήσεις πεδίου ώστε να εκτιμηθεί καλύτερα η κατάσταση και να βγουν καλύτερα συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα της μελέτης

Από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για την περιοχή της Ανατολικής Αττικής τα οποία ανακεφαλαιώνοντας παρουσιάζονται παρακάτω:

1.Αναφορικά με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά

- Ανήκει στο 6^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, αυτό της Αττικής.
- Έχει έκταση 655131428.7171 m²
- Περιλαμβάνει 7 δήμους οι οποίοι είναι οι: Βάρης, Κρωπίας, Λαυρεωτικής, Μαρκόπουλου, Παιανίας, Σαρωνικού και Σπάτων.

2.Αναφορικά με τα υδρολογικά χαρακτηριστικά

- Οι σταθμοί Κάντζα και Σπάτων εμφανίζουν την μέγιστη τιμή βροχόπτωσης το έτος 2009, ενώ ο σταθμός του Λαυρίου το έτος 2015.
- Οι μέγιστες τιμές των βροχοπτώσεων σε όλους τους σταθμούς δεν χαρακτηρίζονται μεγάλες καθώς δεν ξεπερνούν τα 600 mm σε καμία περίπτωση.
- Οι ελάχιστες τιμές χαρακτηρίζονται πολύ χαμηλές καθώς για την Κάντζα και τα Σπάτα είναι κάτω από 400 mm, ενώ για το Λαύριο κάτω από 300 mm
- Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν στοιχεία κατά τα έτη 2009-2015 και κυρίως για τους σταθμούς Κάντζα και Σπάτων εμφανίζεται μία σχετική μείωση ως προς τις βροχοπτώσεις.

3.Αναφορικά με τα πιεζομετρικά στοιχεία

- Τα βάθη υπογείου νερού ποικίλουν στην περιοχή και παίρνουν τιμές από 1,7 m έως 170 m.
- Τα μεγαλύτερα βάθη παρουσιάζονται κυρίως στον δήμο Βάρης και τον δήμο Κρωπίας.
- Τα μικρότερα βάθη εμφανίζονται στην περιοχή των Μεσογείων στου δήμους Σπάτων και Μαρκόπουλου.

4.Αναφορικά με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά

- Ανήκει σε μία ζώνη που είναι η προέκταση της Πελαγονικής ζώνης και ονομάζεται Αττικοκυκλαδίτικη.
- Ως προς την γεωτεκτονική άποψη ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και στην Ενδιάμεση Τεκτονομεταμορφική Ζώνη των Ελληνίδων.
- Η περιοχή τέμνεται από δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων (BA-NΔ και A-Δ).

- Εμφανίζεται μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών, λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής έρευνας, οι οποίοι είναι μεταλλικοί σχηματισμοί, Αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί και μεταμορφωμένοι σχηματισμοί οι οποίοι διακρίνονται σε δύο αλπικές ενότητες, την ενότητα Αττικής και την ενότητα Λαυρίου.
- Η κλίση του εδάφους χαρακτηρίζεται ελαφρώς κεκλιμένη και οι μικρότερες κλίσεις τις εμφανίζουν βορειοδυτικά, οι οποίες δεν ξεπερνούν τα 3%. Οι μεγαλύτερες κλίσεις οι οποίες είναι μεγαλύτερες από 20 % εμφανίζονται τοπικά κυρίως βορειοανατολικά και κεντρικά της περιοχής.
- Η ακόρεστη ζώνη περιλαμβάνει αρκετούς σχηματισμούς οι οποίοι κατά κύριο λόγο είναι περατοί και βοηθούν την διείσδυση του εν δυνάμει ρύπου.

5. Αναφορικά με τις χρήσεις γης

- Στην περιοχή έρευνας παρατηρούμε μεγάλη αστικοποίηση με αποτέλεσμα μεγάλη ποικιλία στις χρήσεις γης.
- Η μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνεται από καλλιέργειες, στη συνέχεια από φυσική βλάστηση και τρίτη κατά σειρά από αστικό ιστό.

6. Αναφορικά με την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC-LU

- Ο γενικός δείκτης DRASTIC κυμαίνεται από 77-206 και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του στα βορειοδυτικά της περιοχής κυρίως και μικρότερες στα νοτιοανατολικά.
- Ο ειδικός δείκτης DRASTIC κυμαίνεται από 92-222 και είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον γενικό. Τα αποτελέσματα που δίνει ο χάρτης είναι παρόμοια καθώς οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται κυρίως βορειοδυτικά και λίγο περισσότερο από ότι στον γενικό στα νοτιοανατολικά.
- Οι ελάχιστες τιμές και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται στα κεντρικά της περιοχής στον δήμο Σαρωνικού
- Όσο αφορά τις συγκεντρώσεις στα νιτρικά ιόντα παρατηρείται ότι στις περιοχές με μεγάλη τρωτότητα οι συγκεντρώσεις είναι αυξημένες (>50mg/L). Για την περιοχή μελέτης βγαίνει ασφαλές το συμπέρασμα ότι η περιοχή των Μεσογείων έχει την μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε έναν ρύπο, καθώς και η τρωτότητα παίρνει τις μέγιστες τιμές της αλλά και οι μετρημένες συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων είναι οι μεγαλύτερες φτάνοντας τοπικά και τα 340 mg/L

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αντωνίου Β. και Μιγκίρος Β. *Η μορφοτεκτονική μορφή της Αττικής*, Αθήνα

Βαρουχάκης Ε. (2012) *Γεωστατιστική ανάλυση Υδρολογικών δεδομένων από την πεδιάδα της Μεσάρας της νήσου Κρήτης*, Κρήτη

Βασιλείου Ε. (2011) *Υδρογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής Ποταμιάς Ελασσόνας. Επιπτώσεις από την μελλοντική εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων στο υδατικό καθεστώς*, Διδακτορική διατριβή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Αθήνα

Βουδούρης Κ. (2005) *Υδρογεωλογία περιβάλλοντος*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, *Ενότητα 1, Θεσσαλονίκη*

Βουδούρης Κ. και Μανδηλαράς Δ (2004). *Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών με τη μέθοδο DRASTIC: Η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου (Ν. Αχαΐας)*

Γκεμιτζή Α., Πεταλάς, Χ., Τσιχριντζής Β., Πισινάρας Β., Γεωργιάδης Π., (2005). *Εκτίμηση της τρωτότητας στη ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης με τη χρήση GIS, πολυκριτηριακής ανάλυσης και ασαφούς λογικής*. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

Ειδικά Γραμματεία Υδάτων (2012). *ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΚ, ΚΑΤ' ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ Ν. 3199/2003 ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΔ 51/2007*, Αθήνα

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2012), Δελτίο τύπου. Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών για τον μόνιμο πληθυσμό της χώρας.

Ιμάμ Ο., (2011), Διερεύνηση της τρωτότητας υπογείου υδροφόρου συστήματος του πεδινού τμήματος Ξυλαγανής – Ιμέρου του Νομού Ροδόπης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΠΜΣ Υδραυλική Μηχανική, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (2010), Έργο: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ, Υποέργο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ ΑΡΓΟΣΑΡΩΝΙΚΟΥ. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (Υ.Δ. 06, τμ. 03), Υδρογεωλογική μελέτη Υδατικού διαμερίσματος Αττικής, Αθήνα

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (2010), Έργο: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ, Υποέργο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ ΑΡΓΟΣΑΡΩΝΙΚΟΥ. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (Υ.Δ. 06, τμ. 03), Χημικές Αναλύσεις Υπογείων νερών (Γενικές-Ειδικές-Ιχνοστοιχεία), Αθήνα

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (2010), Έργο: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ, Υποέργο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ ΑΡΓΟΣΑΡΩΝΙΚΟΥ. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (Υ.Δ. 06, τμ. 03), Απογραφή Υδροσημείων υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, Αθήνα

Καλλέργης Γ. (2000). Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Β' ΤΕΕ

Κατσιφάρακης Κ.Λ (1992). ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΥΠΝΑΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ, διδακτικές σημειώσεις, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη

Κούγκολος Α. (2007). ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα

Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων (2000). *Γενική περιγραφή Υδατικού διαμερίσματος Αττικής*, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, Αθήνα

Λατινόπουλου Π. (1985). *ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ*, εκδόσεις ΧΑΡΙΣ, Θεσσαλονίκη

Πάτσιος Ε. (2007): *Εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC για τον υπολογισμό της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση: Εφαρμογή στον Αλλουβιακό υδροφορέα της Σαριγκιόλ*. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Πλέσσας Σ. και Μαρίνος Π. *Θεματικοί χάρτες σχετικά με την εκτίμηση της επικινδυνότητας έναντι διαβρώσεων και παραγωγής φερτών υλών στην Αττική*, Αθήνα

Σπανός, Δ. (2012). *Γεωδυναμική εξέλιξη της Αττικής*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Τσακίρης Γ. (2013). *ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ : Ι. Τεχνική υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών πόρων*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Χρυσάφη Α. (2012), *Εκτίμηση της τρωτότητας των υπογείων υδάτων στη ρύπανση του προσχωματικού υδροφορέα της Μυγδονίας λεκάνης απορροής*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης τμημάτων Γεωλογίας, Βιολογίας και Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Aller, L., Bennet T., Lehr JH., Petty RJ., Hackett G. (1987) *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting*. EPA/600/2-87/035. US Environmental Protection Agency, 163 p.

Balal Oroji (2018). *Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC and GOD in the Asadabad plain, Iran*

Canter L., "Nitrates in Groundwater", Lewis Publishers CPC Press Inc., 1997

Civita M., (1994). *Le carte del la vulnerabilità degli acquiferi all' inquinamento. Teoria and practica. (Aquifer vulnerability maps to pollution)*. Pitarora Ed., Bologna (in Italian)

Foster D. and Hirata R. (1988) *Groundwater Pollution Risk Assessment*. Pan American Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, Lima

Garrett P., Williams J.S., Rossoll C.F., Tolman A.L., (1989). *Are ground water vulnerability classification systems workable?* National Ground Water Association Columbus Proceedings of the FOCUS Conference on Eastern Regional Ground-Water Issues, Kitchener, Ontario, Canada

Kalinski R.J., Kelly W.E., Bogardi I., Ehrman R.L., Yamamoto P.O., (1994). *Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska*.

Lappas I. and Matiatos I. (2014), *GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT MAPPING IN ARGOS ALLUVIAL BASIN USING GIS – BASED DRASTIC METHOD*, Athens

LeGrand H. F. (1964) *A Standard System for Evaluating Waste Disposal Sites*. National Water Well Assoc, Dublin, Ohio, USA

Panagopoulos G., Antonakos, A., Lambrakis N. (2005), *Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS*. Hydrogeology Journal (in press)

Rao P.S.C. and Alley W.M., (1993). *Pesticides*. In: Alley W.M., Editor 1993. *Regional Ground-water Quality*, Van Nostrand Reinhold, New York

Rosen L. (1994): *A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions.*

Sathees Kumar D. Thirumalaivasan, Nisha Radhakrishnan (2012). *GIS Based Assessment of Groundwater Vulnerability Using Drastic Model*

Thirumalaivasan D., Karmegam M., Venugopal K., (2003). *AHPDRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS*

Yahia Alwathaf, Bouabid El Mansouri, (2011). *Assessment of Aquifer Vulnerability Based on GIS and ARCGIS Methods: A Case Study of the Sana'a Basin (Yemen), Kénitram*

You-Hailin, Xu-Ligang, Ye-Chang, Xu-Jiaxing (2011). *Evaluation of Groundwater Vulnerability with Improved DRASTIC Method, Chin*

Διαδικτυακοί ιστότοποι

<http://earthexplorer.usgs.gov/>.

<http://geodata.gov.gr/>

<http://www.igme.gr/geoportal/>

https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/laufend/Beratung/Ihme1500/ihme1500_projektbeschr_en.html

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>

<https://water.usgs.gov/edu/watercyclegreeki.html>

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

