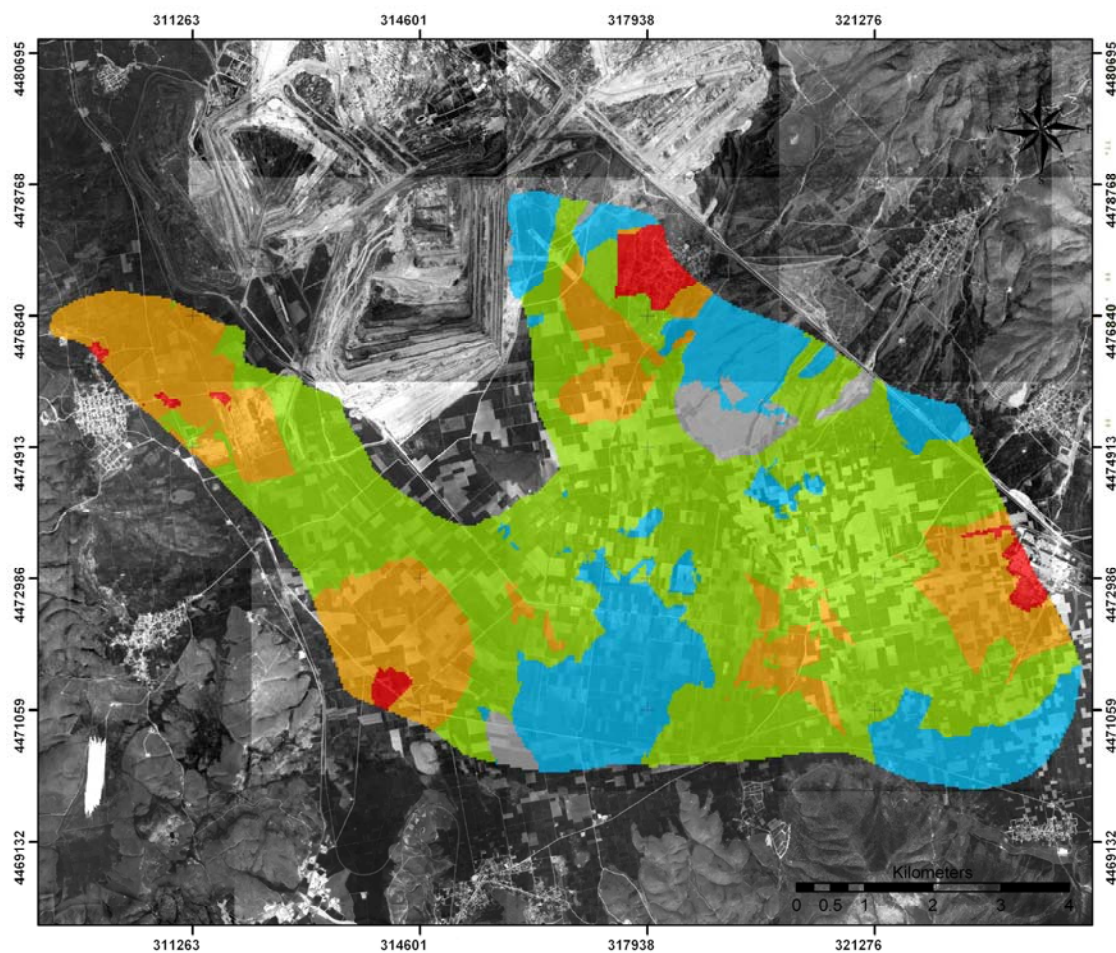




Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
“Εφαρμοσμένη & Περιβαλλοντική Γεωλογία”

Διατριβή Ειδίκευσης

**«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ
ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ
ΚΟΖΑΝΗΣ - ΓΡΕΒΕΝΩΝ»**



ΠΑΤΣΙΟΣ ΑΘ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Γεωλόγος
Υπότροφος Ι.Κ.Υ.

Θεσσαλονίκη, 2006



Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
“Εφαρμοσμένη & Περιβαλλοντική Γεωλογία”

Διατριβή Ειδίκευσης

**«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ
ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ
ΚΟΖΑΝΗΣ - ΓΡΕΒΕΝΩΝ»**

ΠΑΤΣΙΟΣ ΑΘ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Γεωλόγος
Υπότροφος Ι.Κ.Υ.

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

κ. Βουδούρης Κων/νος, Λέκτορας (επιβλέπων καθηγητής)
κ. Δημόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής
κ. Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης ανατέθηκε από το Τμήμα Γεωλογίας, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, της κατεύθυνσης «Εφαρμοσμένη & Περιβαλλοντική Γεωλογία», του Τομέα Γεωλογίας και έχει ως τίτλο: *«Εφαρμογή μεθόδων βαθμονόμησης για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Εφαρμογή στους Νομούς Κοζάνης-Γρεβενών».*

Ως Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή ορίστηκαν οι κ.κ. Κων/νος Βουδούρης, λέκτορας, Γεώργιος Δημόπουλος, καθηγητής και Βασίλειος Χρηστάρας, καθηγητής, με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Κ. Βουδούρη.

Οι περιοχές στις οποίες επιλέχθηκε να γίνει η εφαρμογή των μεθόδων βαθμονόμησης είναι ο υδροφορέας της λεκάνης Σαριγκιόλ, Ν. Κοζάνης, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του στη ρύπανση και η ευρύτερη περιοχή του οδικού άξονα Σαμαρίνας - Φιλιππαιών - Αλατόπετρας, Ν. Γρεβενών, για την εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Στην παρούσα Διατριβή γίνεται, κατά το δυνατόν, διεξοδική ανάλυση όλων των συλλεχθέντων στοιχείων και επιχειρείται, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.), να γίνει μία αρχική βαθμονόμηση των προαναφερθέντων περιοχών, καθώς γίνεται και μία προσέγγιση των μεθοδολογιών που εφαρμόζονται διεθνώς.

Η παρούσα Διατριβή αποτελείται από τα επί μέρους κεφάλαια:

1. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται μερικά γενικά στοιχεία, όσων αφορά το σκοπό της Διατριβής και τη μεθοδολογία εκπόνησης αυτής.

2. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η ευρεία εφαρμογή των μεθόδων βαθμονόμησης στις γεωεπιστήμες και δίνεται μια διεξοδική περιγραφή μεθόδων βαθμονόμησης για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, καθώς αποσαφηνίζονται και οι βασικές έννοιες που συνδέονται με τα αντικείμενα αυτά.

3. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ και δίνονται όλα τα γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, γεωλογικά, τεκτονικά, υδρολογικά και υδρογεωλογικά του στοιχεία, ενώ γίνεται και μια συνοπτική παρουσίαση των υδρογεωλογικών συνθηκών του Νομού Κοζάνης. Επίσης, γίνεται μία εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα στη ρύπανση, από επιφανειακά επιβαλλόμενα ρυπαντικά φορτία, βάσει της διεθνώς

χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας DRASTIC, καθώς και μερικών τροποποιημένων μεθόδων της αρχικά προτεινόμενης μεθοδολογίας.

4. Το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών της ευρύτερης περιοχής του οδικού άξονα Σαμαρίνας – Φιλιππίων – Αλατόπετρας, Ν. Γρεβενών. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται όλα τα γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρολογικά στοιχεία, που αφορούν την υπό εξέταση περιοχή, καθώς γίνεται και μια αρχική εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες παραμέτρους.

5. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης και επισημαίνονται ορισμένα σημεία, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη ή/και να συμπεριληφθούν σε μελλοντικές παρόμοιες προσπάθειες.

6. Στο Παράρτημα δίνεται Πίνακας με όλες τις γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά, κατά την εκπόνηση της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης. Επίσης, παρατίθεται φωτογραφικό υλικό και επιπλέον χάρτες, μια τυπική γεωλογική τομή της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ και ένα φωτομωσαϊκό γεωγραφικά αναφερόμενων ορθοφωτοχάρτων της ευρύτερης περιοχής του υδροφορέα. Για την ευρύτερη περιοχή Σαμαρίνας-Φιλιππίων, δεν υπήρχαν διαθέσιμοι ορθοφωτοχάρτες.

Σε κάθε σχήμα, χάρτη, διάγραμμα και φωτογραφία, αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Εκείνα για τα οποία δεν αναφέρεται πηγή προέλευσης, είναι του συγγραφέα. Οι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, από τους οποίους προέκυψε το φωτομωσαϊκό που δίνεται στο Παράρτημα, παραχωρήθηκαν από την Τοπογραφική Διεύθυνση της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης.

Παρακάτω δίνονται οι κυριότερες συντομογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης:

α.ε.ε. = από επιφάνεια εδάφους

Α.Η.Σ. = Ατμό-Ηλεκτρικός Σταθμός

Γ.Υ.Σ. = Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού

Δ.Ε.Υ.Α.Κ. = Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κοζάνης

Δ.Ε.Η. = Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΕΓΣΑ '87 = Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987

Ε.Σ.Υ.Ε. = Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας

Ι.Γ.Μ.Ε. = Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

Α.Κ.Π.-Α. = Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου

O.N.II. = Ορυχείο Νοτίου Πεδίου

X.Y.T.A. = Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

A.H.P. (Analytical Hierarchy Process) = Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας

D.E.M. (*Digital Elevation Model*) = Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου

ED 50 = European Datum 1950

G.I.S. (*Geographic Information Systems*) = Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

I.S.I.R. (*Individual-Specific Individual Risk*) = Εξατομικευμένος Ειδικός Κίνδυνος

L.S.I. (*Landslide Susceptibility Index*) = Δείκτης Επιδεκτικότητας προς Κατολίσθηση

L.S.I.R. (*Location-Specific Individual Risk*) = Χωροθετημένος Ειδικός Ατομικός Κίνδυνος

N.A.S.A. (National Aeronautics and Space Administration) = Διεύθυνση Εθνικής Αεροναυτικής και Διαστήματος

R.M.S.E. (*Root Mean Square Error*) = Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα

S.R.I. (*Scaled Risk Index*) = Βαθμονομημένος Δείκτης Κινδύνου

S.R.T.M. (*Shuttle Radar Topography Mission*) = Αποστολή Τακτικής Τοπογραφίας Παντάρ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν, είτε λίγο είτε πολύ, στην εκπόνηση της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης.

Αρχικά, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Βουδούρη Κων/νο, λέκτορα, για την ανάθεση του παρόντος θέματος, για την άψογη συνεργασία που είχαμε, καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του και τις κατατοπιστικές συζητήσεις που κάναμε, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διατριβής. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές κ. Δημόπουλο Γεώργιο και κ. Χρηστάρα Βασίλειο για τις διορθώσεις που κάνανε στο αρχικό κείμενο και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ένα μεγάλο και ειλικρινές ευχαριστώ στους γεωλόγους της Δ.Ε.Η., του Τομέα Μεταλλευτικών Ερευνών, του Ο.Ν.Π., Δρ. κ. Κολοβό Νέστορα, κ. Μήτρου Πασχάλη και κ. Σταμούλη Κων/νο, για την καταλυτική τους συμβολή, όσων αφορά τη συλλογή και αξιολόγηση των γεωτρητικών δεδομένων του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, την κατανόηση των γεωλογικών, τεκτονικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, καθώς και για τις αμέτρητες και πολύτιμες ώρες που θυσίασαν, για τη συμβολή τους στη συλλογή των δεδομένων υπαίθρου, για την άμεση εξυπηρέτησή μου, καθώς και για τη μετάδοση των γνώσεων και της πολυετούς τους εμπειρίας. Ευχαριστώ θερμά τους γεωλόγους της Δ.Ε.Η. κ. Σαχανίδη Χρήστο, για την παροχή περαιτέρω στοιχείων, που αφορούν τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και για τις πολύτιμες διευκρινίσεις του σε θέματα που σχετίζονται με τις υδρογεωλογικές συνθήκες του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, κ. Τσακίρη Νικόλαο, κ. Σίσκο Δημήτριο, κ. Συμεωνίδη Συμεών και κ. Μπάρμπα Τρύφων για την παροχή επιπλέον γεωτρητικών δεδομένων και πληροφοριών που συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή.

Ευχαριστώ θερμά το γεωλόγο της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. κ. Λάπο Σωκράτη, για την παροχή δεδομένων που αφορούσαν τις υδρευτικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. στη λεκάνη Σαριγκιόλ και σε γειτονικές αυτής λεκάνες και το γεωλόγο του Ι.Γ.Μ.Ε. κ. Στάμο Αλκιβιάδη για την παροχή μελετών που αφορούσαν τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ και για τις πολύτιμες του διευκρινίσεις. Ευχαριστώ πολύ τον διευθυντή της Γενικής Διεύθυνσης Ορυχείων της Δ.Ε.Η. Α.Ε., Δρ. Υδρογεωλογίας κ. Δημητρακόπουλο Δημήτριο για την παροχή στοιχείων στάθμεων, που αφορούσαν τις γεωτρήσεις του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ» και την υποψήφια διδάκτωρ Υδρογεωλογίας του Ε.Μ.Π. κα. Βασιλείου Ελένη, για την παροχή επιπλέον δεδομένων που αφορούν την υδροχημεία των υπόγειων νερών του υδροφορέα της Σαριγκιόλ.

Ευχαριστώ πολύ τον Τεχνολόγο Γεωπόνο κ. Μουρτσέκα Ιωάννη και τον Γεωπόνο κ. Διαμαντόπουλο Παύλο, της Διεύθυνσης Αγροτικής Ανάπτυξης της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης, για την παροχή γεωτρητικών δεδομένων ιδιωτικών υδρογεωτρήσεων στη λεκάνη Σαριγκιόλ και την Τοπογράφο Μηχανικό κα. Παπανικολάου Ευαγγελία, της Τοπογραφικής Διεύθυνσης της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης, για την παροχή τοπογραφικών δεδομένων της λεκάνης και τις κατατοπιστικές της πληροφορίες στην επεξεργασία των παραχωρούμενων ορθοφωτοχαρτών.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες οφείλουν να δοθούν στο διευθυντή του γεωλογικού τομέα της Αναπτυξιακής Εταιρείας Δυτικής Μακεδονίας ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., γεωλόγο κ. Νικολαΐδη Κων/νο, καθώς και στο γεωλόγο της ίδιας εταιρείας κ. Τσαταλμπασίδη Ιωάννη, για τη σημαντικότητα συμβολή τους στην παρούσα Διατριβή, με την παροχή άφθονων βιβλιογραφικών πηγών, για τις πολύτιμες ώρες που θυσίασαν για την αποσαφήνιση και διευκρίνιση όλων μου των αποριών, για τις κατατοπιστικές και ακριβείς τους διευκρινίσεις, για την καταλυτική τους συμβολή στις εργασίες υπαίθρου, κατά την επίσκεψη των υπό κατολίσθηση περιοχών στους οικισμούς Σαμαρίνας-Φιλιππαιών, καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Διατριβής. Ευχαριστώ θερμά, τους εργαζόμενους της ίδιας εταιρείας, κ. Καραγιάννη Γιάννη, υπεύθυνο τμήματος G.I.S., για την παροχή χαρτών, υδρομετεωρολογικών και ψηφιακών δεδομένων και για την άμεση εξυπηρέτηση, κ. Πτωχούλη Παναγιώτη, Τοπογράφο Μηχανικό, για την παροχή περαιτέρω υλικού και για την ηθική του υποστήριξη, καθώς και τον κ. Παλαμά Θεόδωρο, Δασολόγο, για την κατατοπιστική του πληροφόρηση, όσων αφορά τη βλάστηση του Ν. Γρεβενών.

Θερμότερες και ειλικρινείς ευχαριστίες στους συναδέλφους και φίλους, υποψήφιους διδάκτορες του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., Βαλκανιώτη Σωτήρη και Μυριούνη Χρήστο, για τις πολύτιμες συμβουλές τους, για την ηθική τους υποστήριξη και για την καταλυτική τους συμβολή στη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συναδέλφους, Προγκάκη Βασιλική, Σιουμουρέκη Στέργιο και Τσιρογιάννη Μαίρη, για την ηθική τους υποστήριξη και τη συνεχή τους συμπαράσταση.

Ευχαριστώ επίσης τη συνάδελφο, υποψήφια διδάκτωρ του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., Ζερβοπούλου Άννα για την παροχή γεωτρητικών δεδομένων, που αφορούν το δυτικό τμήμα του υδροφορέα της Σαριγκιόλ.

Ευχαριστώ θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.), για την παροχή υποτροφίας, η οποία αποδείχθηκε καταλυτική για την έγκαιρη και ομαλή διεξαγωγή των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ένα πολύ μεγάλο και εκ βάθους καρδιάς ευχαριστώ, στους γονείς μου, οι οποίοι με στήριξαν ηθικά και οικονομικά, όλα αυτά τα χρόνια και στους οποίους πραγματικά οφείλω, τόσο τις προπτυχιακές, όσο και τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

«Είναι γνώρισμα ενός εκπαιδευμένου μυαλού, να ικανοποιείται με το βαθμό της ακρίβειας, που η φύση ενός θέματος επιτρέπει και να μην αναζητά μια ακρίβεια, εκεί που μόνο με μια προσέγγιση της αλήθειας είναι εφικτή».

Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.)

Στους γονείς μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΓΕΝΙΚΑ	1
1.1	ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ	1
1.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ & ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ	3
1.3	ΑΠΟΔΕΛΤΙΩΣΗ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ	4
2.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ & ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	9
2.1	ΓΕΝΙΚΑ	10
2.2	ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	10
2.2.1	Έννοιες και ορισμοί	10
2.2.2	Βασικές αρχές της τρωτότητας	13
2.2.2.1	Γενικά	13
2.2.2.2	Κατηγοριοποίηση της Τρωτότητας	15
2.2.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	16
2.2.3.1	Γενικά	16
2.2.3.2	Κατηγοριοποίηση μεθόδων	17
2.2.3.3	Αβεβαιότητες και Σφάλματα στην εκτίμηση της τρωτότητας	22
2.2.3.4	Συμπληρωματικές έννοιες	24
2.2.3.5	Κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας	26
2.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	51
2.3.1	Ταξινόμηση κατολισθήσεων	51
2.3.2	Παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων	58
2.3.3	Παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων, που λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών	63
2.3.4	Βασικές έννοιες και ορισμοί	69
2.3.5	Εκτίμηση της επικινδυνότητας και της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση	76
2.3.6	Εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση	79
3.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ-Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ	82
3.1	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	82
3.1.1	Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ	82
3.1.2	Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ	88
3.2	ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΧΩΡΑ ΣΤΗΝ ΕΓΓΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ	94
3.3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	97
3.3.1	Γενικά	97
3.3.2	Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής	97
3.3.3	Γεωλογία της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα	107
3.3.4	Τεκτονική της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα	109
3.4	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	112
3.4.1	Γενικά κλιματικά στοιχεία	112
3.4.2	Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης Σαριγκιόλ	113
3.5	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ	117
3.5.1	Εισαγωγή	117
3.5.2	Υδρογεωλογικές συνθήκες Νομού Κοζάνης	117
3.6	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ	123
3.6.1	Εισαγωγή	123
3.6.2	Γενικά στοιχεία	123
3.6.3	Στοιχεία πιεζομετρίας και τροφοδοσία του υδροφορέα	126
3.6.4	Ισοζύγιο νερού του υδροφορέα	132

3.7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ “DRASTIC”	
	ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ	142
3.7.1	Εισαγωγή	142
3.7.2	Βάθος υπόγειου νερού (D)	143
3.7.3	Εμπλουτισμός (R)	149
3.7.4	Υλικό του υδροφορέα (A)	151
3.7.5	Εδαφικό υλικό (S)	157
3.7.6	Κλίση αναγλύφου (T)	161
3.7.7	Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)	163
3.7.8	Υδραυλική αγωγιμότητα (C)	166
3.7.9	Τελικός δείκτης τρωτότητας DRASTIC (DRASTIC Index)	166
3.7.10	Τροποποιημένη μέθοδος DRASTIC (Modified DRASTIC)	168
3.7.11	Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της Σαρινγκιόλ, με τροποποιημένη παραμετροποίηση	171
4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΑΜΑΡΙΝΑΣ - ΦΙΛΙΠΠΑΙΩΝ - ΑΛΑΤΟΠΕΤΡΑΣ, Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ	176
4.1	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	176
4.1.1	Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία εξεταζόμενης περιοχής	176
4.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	184
4.2.1	Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής	184
4.2.2	Γεωλογία της εξεταζόμενης περιοχής	188
4.3	ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	191
4.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ, ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ & ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ	193
4.4.1	Γενικά	193
4.4.2	Λιθολογία	194
4.4.3	Μορφολογία-κλίσεις πρανών	197
4.4.4	Βλάστηση – Εδαφική κάλυψη	199
4.4.5	Βροχόπτωση	202
4.4.6	Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, με τη χρήση της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (Analytical Hierarchy Process)	207
4.4.7	Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, με τη χρήση μιας απλουστευμένης παραμετροποίησης	211
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	213
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Η παρούσα Διατριβής Ειδίκευσης, έχει ως άμεσο στόχο την εφαρμογή επιλεγμένων μεθόδων βαθμονόμησης, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Η τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση, εκτιμήθηκε για τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, Ν. Κοζάνης και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, την κατανομή γης και καλλιεργειών, των κλιματικών συνθηκών, των υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών, καθώς και στοιχεία για τις πηγές ρύπανσης, που προέρχονται από ανθρώπινες παρεμβάσεις.

Σημειώνεται ότι στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης, επιλέχθηκε να μελετηθεί η υδροφορία που αναπτύσσεται στη λεκάνη Σαριγκιόλ ή Νοτίου λιγνιτικού Πεδίου Νομού Κοζάνης, για τους εξής λόγους:

- 1) Η λεκάνη Σαριγκιόλ φιλοξενεί έναν από τους σημαντικότερους υδροφορείς του Νομού, η σημασία του οποίου για την πόλη της Κοζάνης (αλλά και για άλλους οικισμούς) είναι πρωταρχική.
- 2) Ο υδροφορέας βρίσκεται σε δυναμική κατάσταση, λόγω των συνεχών αντλήσεων που υφίσταται, για αρδευτικές και υδρευτικές χρήσεις, καθώς και για την αποστράγγιση των ορυχείων λιγνίτη.
- 3) Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτόν είναι ιδιάζουσες, κάτι στο οποίο συμβάλλει η γεωλογία και η τεκτονική της περιοχής μελέτης.
- 4) Δεν έχει γίνει μέχρι στιγμής καμία παρόμοια μελέτη, τόσο για τον συγκεκριμένο υδροφορέα, όσο και για ολόκληρο το Νομό Κοζάνης.
- 5) Παρόλο που οι εργασίες στο λιγνιτικό Πεδίο του Νότιου Τομέα συνεχίζονται, καταστρέφοντας τμηματικά τον υδροφορέα, μέχρι πλήρους εξάντλησης του υποκείμενου λιγνιτικού κοιτάσματος, ο υδροφορέας θα συνεχίσει να υφίσταται για τα επόμενα 40 χρόνια (σύμφωνα με τις εκτιμήσεις τις Δ.Ε.Η.).
- 6) Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στην ευρύτερη περιοχή είναι δυσμενείς και αποτελούν άμεση απειλή για τα υδατικά αποθέματα, καθώς και για την ποιότητα του νερού στον υδροφορέα.

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης αποτελεί μια περιβαλλοντική προσέγγιση του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, από την πλευρά της Υδρογεωλογίας, με βασικό στόχο την ευαισθητοποίηση των αρμόδιων φορέων για τη συνεχή, κατά το μέλλον, παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών του συγκεκριμένου υδροφορέα.

Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία χάρτη τρωτότητας για την εξεταζόμενη περιοχή, ο οποίος πρακτικά θα δίνει μια εποπτική εικόνα για την επιδεκτικότητα που παρουσιάζει ο υδροφορέας της Σαριγκιόλ στη ρύπανση. Τονίζεται δε η σημαντικότητα και η χρησιμότητα των χαρτών τρωτότητας για τους υδροφορείς, μιας και με τη χρήση τους μπορούν να προβλεφθούν και αποφευχθούν δυσμενείς καταστάσεις ρύπανσης του υπόγειου νερού, λαμβάνοντας υπόψη όλες εκείνες τις παραμέτρους που συμβάλλουν σ' αυτό, δίνοντας ταυτόχρονα στους αρμόδιους φορείς την ευχέρεια της λήψης προστατευτικών μέτρων.

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης συμπληρώνει προηγούμενες εκτεταμένες μελέτες και επιστημονικές εργασίες που αφορούν την ευρύτερη υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ και πιο συγκεκριμένα τον υδροφορέα αυτής, οι οποίες εκπονήθηκαν με γνώμονα:

- Την αποφυγή υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού και την εξασφάλιση πόσιμου νερού για τους κατοίκους της περιοχής.
- Την οικονομική και πολιτιστική ανάπτυξη της περιοχής έχοντας ως πρωταρχικό μέλημα τη διατήρηση του περιβάλλοντος και την προστασία του οικοσυστήματος.
- Την ορθολογική χρήση των υπόγειων και επιφανειακών υδατικών πόρων για τη βέλτιστη ανάπτυξη της περιοχής, εξασφαλίζοντας όμως τη μακροπρόθεσμη σταθερά αναπτυξιακή πορεία αυτής.
- Την αποφυγή αλόγιστης σπατάλης των υδατικών αποθεμάτων του υδροφορέα, ώστε να εξασφαλίζεται, στο δυνατό, θετικό υδατικό ισοζύγιο.
- Την κατασκευή έργων, όπως για παράδειγμα λιμνοδεξαμενών ή έργων τεχνητού εμπλουτισμού, τα οποία θα δίνουν τη βέλτιστη περιβαλλοντική λύση για την περιοχή, με το μικρότερο δυνατό κόστος, εξετάζοντας τη δυνατότητα διάθεσης οικονομικών πόρων από τους αρμόδιους τοπικούς φορείς.

Η εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, εφαρμόστηκε στην ευρύτερη περιοχή του οδικού άξονα Σαμαρίνας – Φιλιππαίων – Αλατόπετρας, Ν. Γρεβενών και βασίστηκε σε γεωλογικά, μορφολογικά, υδρολογικά δεδομένα και δεδομένα κατανομής της βλάστησης. Η οριοθέτηση της περιοχής βασίστηκε στο δοκίμιο τεχνικογεωλογικό χάρτη, της ενότητας φλύσχη της ζώνης Πίνδου Ν. Γρεβενών, κλίμακας

1:20.000, έτσι όπως δίνεται από τους Κωνσταντοπούλου & Βακονδιό – Ι.Γ.Μ.Ε., ο οποίος παραχωρήθηκε από την εταιρεία ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. Συγκεκριμένα, η περιοχή που εξετάζεται, ταυτίζεται στο μεγαλύτερό της μέρος με τα όρια χαρτογράφησης, έτσι όπως αυτά δίνονται στο συγκεκριμένο χάρτη.

Ελλείπει επαρκών δεδομένων, για την ολοκληρωμένη εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου εκτίμησης των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, σημειώνεται ότι ο τελικός χάρτης που προτείνεται για την εγγύτερη περιοχή Σαμαρίνας - Φιλιππαίων – Αλατόπετρας, είναι πρόδρομος και επιδέχεται βελτίωσης, με την εισαγωγή περισσότερων παραμέτρων και ακριβών μετρήσεων, αποτέλεσμα εκτεταμένων εργασιών υπαίθρου (π.χ. γεωτεχνικών εργασιών, υδρογεωλογικών δεδομένων κ.λπ.). Η επιλογή της περιοχής αυτής, έγκειται στην πληθώρα των κατολισθητικών φαινομένων που παρουσιάζει και στην ανάγκη για μια πιο σαφή άποψη, όσον αφορά την εκτίμηση των περιοχών που είναι περισσότερο επιδεκτικές προς κατολίσθηση, καθώς και περιοχών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα προς κατολίσθηση, απειλώντας ανθρώπινες περιουσίες και ζωές. Η ύπαρξη του προαναφερθέντος χάρτη για την περιοχή, με τη λεπτομερή αποτύπωση των γεωλογικών σχηματισμών, αποτέλεσε το εφελτήριο για την επιλογή της, καθώς επέτρεψε την καλύτερη κατάταξη των λιθολογικών σχηματισμών, ως προς την επιδεκτικότητά τους στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ & ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης, εκτελέστηκαν οι κάτωθι εργασίες:

- Εύρεση και αποδελτίωση διεθνών και ελληνικών εργασιών, προγενεστέρων μελετών, ερευνητικών προγραμμάτων, συγγραμμάτων και αναφορών, εργασιών και συναφών ηλεκτρονικών αρχείων (από το διαδίκτυο), που αφορούσαν την τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση και την εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών.

- Συλλογή ψηφιακού υλικού (δορυφορικών εικόνων LANDSAT 7 ETM+, ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου [από την αποστολή SRTM της NASA], αεροφωτογραφιών των εξεταζόμενων περιοχών).

- Συλλογή γεωλογικών δεδομένων και χαρτών, γεωτρητικών δεδομένων, δεδομένων στάθμεων υπόγειου νερού, τοπογραφικών δεδομένων και χαρτών,

υδρολογικών δεδομένων και δεδομένων κατανομής γης και εδαφικής κάλυψης από τους εκάστοτε αρμόδιους φορείς, υπηρεσίες και εταιρείες (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., Δ.Ε.Η. - Ο.Ν.Π. - ΤΟΜΕΑΣ 6 - ΠΕΔΙΟ ΚΑΡΔΙΑΣ, Δ.Ε.Υ.Α.Κ., Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης-Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης, Ι.Γ.Μ.Ε. (παράρτημα Κοζάνης), Διεύθυνση Τοπογραφικής-Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης).

- Επεξεργασία και αξιολόγηση των συλλεχθέντων δεδομένων (341 λιθολογικών γεωτρήσεων, υδρογεωτρήσεων και πιεζόμετρων από τη Δ.Ε.Η., τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ., τη Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης και από ερευνητικά προγράμματα, γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών, βιβλιογραφικών αναφορών, υφιστάμενων μελετών κ.λπ.).

- Συνεχείς επισκέψεις στις εξεταζόμενες περιοχές και λήψη πρωτογενών δεδομένων (λήψη στάθμεων υπόγειου νερού από τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ και χαρτογράφηση ασβεστολιθικών όγκων στην εγγύτερη περιοχή, χαρτογράφηση κατολισθητικών φαινομένων στους οικισμούς Φιλιππίων και Σαμαρίνας, Ν. Γρεβενών, λήψη του απαραίτητου φωτογραφικού υλικού).

- Ψηφιοποίηση γεωλογικών-λιθολογικών, τοπογραφικών, γεωτρητικών δεδομένων, δεδομένων χρήσεων γης και χρήση των προγραμμάτων: Map Info v. 7.5, Arc Map v. 8.3 και Global Mapper v. 7.4, για την παραγωγή των τελικών χαρτών. Χρήση του προγράμματος Microsoft Excel για την παραγωγή πινάκων και διαγραμμάτων. Για τη μετατροπή των συντεταγμένων από τα γεωδαιτικά συστήματα European Datum 1950 [ED 50] και Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), στο προβολικό σύστημα HATT και αντίστροφα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COORD_GR 1.6.

- Παραγωγή τελικών χαρτών για την τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών.

- Σύνοψη συμπερασμάτων και προτάσεων για τη λήψη προστατευτικών μέτρων, την επισήμανση των απαραίτητων μελλοντικών εργασιών, για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

1.3 ΑΠΟΔΕΛΤΙΩΣΗ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Οι κυριότερες μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης, είναι οι κάτωθι:

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ (ΝΟΤΙΟΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ)» (Παπακωνσταντίνου Α., 1983). Στη μελέτη αυτή περιγράφονται τα γεωγραφικά, γεωμορφολογικά και γεωλογικά στοιχεία της εγγύτερης περιοχής της λεκάνης Σαριγκιόλ, ενώ υπάρχουν αναφορές στην υδρομετεωρολογία και υδρολογία της λεκάνης. Γίνεται μια προσέγγιση στην υδροχημεία των υπόγειων νερών του υδροφορέα της λεκάνης Σαριγκιόλ, τα οποία χαρακτηρίζονται ως καλής ποιότητας νερά, καθώς και των επιφανειακών νερών του ρέματος Σουλού. Αναφέρονται οι πιεζομετρικές συνθήκες που επικρατούν στον υδροφορέα και τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά, ενώ γίνεται υπολογισμός των μονίμων αποθεμάτων του υδροφορέα, καθώς και μια εκτίμηση της μελλοντικής φθίνουσας πορείας της υδροοικονομίας της λεκάνης, λόγω της εξόρυξης του λιγνιτοφόρου κοιτάσματος.

«ΕΙΔΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΝΟΤΙΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ» (Λουλούδης Γ., 1990). Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η προστασία του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου (Ο.Ν.Π.) από τα υπόγεια νερά για τη δεκαετία 1990-2000. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων 32 δοκιμαστικών αντλήσεων σε υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Η., στο χώρο του Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίο Πτολεμαΐδας, ενώ δίνεται και η χωρική κατανομή των τιμών της μεταβιβαστικότητας (Τ) στην περιοχή έρευνας. Επίσης, παρουσιάζεται η κατασκευή ενός υδρογεωλογικού ομοιώματος (μοντέλου), μέσω του οποίου υπολογίζονται οι ποσότητες του υπόγειου νερού που εισρέουν στην περιοχή του Ο.Ν.Π., καθώς και η απόκριση του υδροφορέα υπό το καθεστώς των απαιτούμενων αντλήσεων, για την αποστράγγιση του ορυχείου, κατά τη δεκαετία 1990-2000.

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ» (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Στη μελέτη αυτή γίνεται μια γενική επισκόπηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στο Νομό Κοζάνης, με άμεσο αντικείμενο την αξιολόγηση των υδατικών πόρων. Αναφέρονται στοιχεία πληθυσμιακής εξέλιξης, γεωμορφολογίας, γεωλογίας, υδρολιθολογίας, καθώς και κλιματικά στοιχεία σε επίπεδο Νομού. Γίνεται καταγραφή των φυσικών πηγών με τις αντίστοιχες παροχές τους και κατατάσσονται οι

γεωλογικοί σχηματισμοί ανάλογα με την υπόγεια υδροφορία που παρουσιάζουν. Τέλος, αναφέρεται η υδρευτική κατάσταση όλων των οικισμών του Ν. Κοζάνης, τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των πηγών υδροληψίας, η κατάσταση των τεχνικών έργων, καθώς προτείνονται και μέτρα βελτίωσης της λειτουργίας τους. Η μελέτη χωρίζεται σε δύο τόμους: Ι) Επαρχίας Κοζάνης και Εορδαίας και ΙΙ) Επαρχίας Βοΐου.

«ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΛΙΜΕΙΑ. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ. ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΚΠ-Α ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΖΑΝΗΣ – ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ» (Επιστημονικώς υπεύθυνος, καθηγητής Ε.Μ.Π. Κουμαντάκης Ε.Ι., 1997-1999). Στο πρόγραμμα αυτό γίνεται μια εκτεταμένη υδρογεωλογική επισκόπηση της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ. Αναφέρονται όλες οι υδρογεωτρήσεις και τα πιεζόμετρα που απογράφηκαν στα πλαίσια του προγράμματος, ενώ γίνονται και συστηματικές σταθμιμετρήσεις, καθ' όλη την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας. Αναλύονται διεξοδικά οι υδρογεωλογικές, υδρολογικές και πιεζομετρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, ενώ γίνεται και υδροχημική έρευνα στην έκταση του υδροφορέα. Αποδελτιώνεται πλήθος μελετών για την περιοχή και γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων του προγράμματος με αυτά προγενέστερων μελετών. Κατασκευάζονται πέντε πιλοτικές υδρογεωτρήσεις τεχνητού εμπλουτισμού και δύο πιεζόμετρα για την παρακολούθηση της πορείας της στάθμης του υπόγειου νερού.

«ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ» (Επιστημονικώς υπεύθυνος καθηγητής Ε.Μ.Π. Κουμαντάκης Ε.Ι., 1999). Σ' αυτό το πρόγραμμα γίνεται μια εκτενής αποτύπωση των υδροληπτικών έργων στη λεκάνη Σαριγκιόλ, χρησιμοποιώντας τα απογραφέντα στοιχεία του ερευνητικού προγράμματος ΕΛΙΜΕΙΑ και τα στοιχεία της απογραφής, που διεξήχθη στα πλαίσια του προγράμματος αυτού. Γίνεται μια εκτίμηση των υδατικών αναγκών άρδευσης και ύδρευσης της λεκάνης και παρουσιάζονται διεξοδικά η υπόγεια υδροδυναμική των υπερκείμενων του λιγνίτη ιζημάτων, διενεργείται υδροχημική έρευνα στον εξεταζόμενο υδροφορέα και εκτιμάται το υδατικό του ισοζύγιο για το έτος 1997, το οποίο υπολογίζεται ελλειμματικό κατά $6,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ Ή ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ» (Στάμος Α., 2001). Στη μελέτη αυτή

ερευνώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στον προσχωματικό υδροφορέα της Σαριγκιόλ.. Γίνεται εκτενής αναφορά της υπόγειας και επιφανειακής υδρολογίας της λεκάνης Σαριγκιόλ, ενώ αναφέρονται συνολικά οι τιμές που λαμβάνουν οι υδραυλικές παράμετροι στον υδροφορέα. Υπολογίζεται το υδατικό ισοζύγιο του υδροφορέα, το οποίο εκτιμάται ελλειμματικό κατά $6,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Αναφέρονται στοιχεία τροφοδοσίας του υδροφορέα, ενώ γίνεται και υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου του ποταμού Σουλού. Επίσης παρατίθενται υδροχημικά στοιχεία, που αφορούν τόσο τον υδροφορέα, όσο και τον ποταμό Σουλού.

«ΕΙΔΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ» (Τσουφλίδου Σ. & Δημητρακόπουλος Δ., 2005). Η μελέτη αυτή έχει ως αντικείμενο τις επιπτώσεις της εκμετάλλευσης του λιγνίτη στο υδατικό σύστημα της περιοχής ανάπτυξης των ορυχείων. Παρουσιάζονται τα γενικά γεωγραφικά και γεωλογικά στοιχεία της περιοχής, ενώ γίνεται μια εποπτική παρουσίαση των υδροφόρων συστημάτων που αναπτύσσονται τόσο στα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης, στα οποία φιλοξενείται ο λιγνίτης, όσο και στους περιβάλλοντες ορεινούς όγκους. Γίνεται ανάλυση των επικρατούντων πιεζομετρικών συνθηκών, εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης, ενώ αναπτύσσεται και χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης των εργασιών στα ορυχεία έως και το 2050. Σημειώνονται οι επιπτώσεις από την εξόρυξη του λιγνίτη και προτείνονται μέτρα για την άμβλυνση των επιπτώσεων της εκμετάλλευσης του λιγνίτη στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Επίσης, αναφέρεται και ένα μοντέλο διαχείρισης υδατικών πόρων της λεκάνης, με την εγκατάσταση τηλεμετρικού συστήματος συνεχούς παρακολούθησης, ενώ διερευνάται και η δυνατότητα δημιουργίας μόνιμων ταμιευτήρων νερού στα τελικά κενά των ορυχείων, μετά το πέρας της εκμετάλλευσης του λιγνίτη.

«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ – ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ» (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2001). Στη μελέτη αυτή γίνεται εντοπισμός και καταγραφή των πλημμυρικών και κατολισθητικών φαινομένων, που εντοπίζονται στους τέσσερις νομούς της Δυτικής Μακεδονίας και γίνεται περιγραφή τους για κάθε νομό ξεχωριστά. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και προτείνονται μέτρα αντιπλημμυρικής προστασίας και αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων, καθιζήσεων, βραχωδών καταπτώσεων και λοιπών καταστροφικών γεωλογικών

φαινομένων. Σε κάθε περίπτωση δίνεται και ο εκτιμώμενος προϋπολογισμός για την εκτέλεση των έργων.

«ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΦΙΛΙΠΠΑΙΩΝ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ» (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2006). Η μελέτη αυτή έχει ως αντικείμενο την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ερευνητικών εργασιών της γεωλογικής χαρτογράφησης, που έγινε από τους γεωλόγους της εταιρείας (κ.κ. Νικολαΐδης Κ. & Τσαταλμπασιδής Ι.). Αναλύονται τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά, υδρολιθολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής, ενώ γίνεται αναλυτική περιγραφή των κατολισθητικών φαινομένων στην εγγύτερη περιοχή του οικισμού των Φιλιππαίων.

«ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΑΜΑΡΙΝΑΣ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ» (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2006). Το αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι παρόμοιο με αυτό της προαναφερθείσας μελέτης, που αφορά τον οικισμό των Φιλιππαίων.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ & ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εφαρμογή μεθόδων βαθμονόμησης, έχει βρει ευρέα χρήση, σε όλους σχεδόν τους κλάδους των γεωεπιστημών. Οι μέθοδοι βαθμονόμησης για την εκτίμηση των επί μέρους επικινδύνων ή/και καταστροφικών φυσικών φαινομένων, αλλά και των τεχνητών κινδύνων που προκύπτουν από εκτεταμένες ή μεμονωμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό σύστημα, αποτελούν τα τελευταία χρόνια αντικείμενο εκτεταμένης επιστημονικής έρευνας. Οι επιστήμονες ανά τον κόσμο (γεωλόγοι, μαθηματικοί, σεισμολόγοι, μηχανικοί κ.λπ.), στην προσπάθειά τους να ποσοτικοποιήσουν τις επί μέρους παραμέτρους που συμβάλλουν στην εκδήλωση ενός επικίνδυνου φυσικού φαινομένου, καθώς και στην πρόκληση δυσμενών για τον άνθρωπο καταστάσεων, απόρροια των παρεμβάσεών του, ανέπτυξαν μαθηματικά μοντέλα, εμπειρικές και στατιστικές μεθόδους. Ανώτερος στόχος αυτών, είναι η κατηγοριοποίηση και η τελική βαθμονόμηση μιας εξεταζόμενης περιοχής, όσον αφορά την επιδεκτικότητά της ή την τρωτότητά της ή την επικινδυνότητά της, ως προς την εκδήλωση ενός δυσμενούς φαινομένου. Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα μεθόδων, οι οποίες αναφέρονται στη εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας ή/και του σεισμικού κινδύνου, της εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης, της εκδήλωσης καταστροφικών φαινομένων, μέσω ακραίων σεναρίων (καταστροφικά tsunamí, πτώση μετεωριτών, κατακλυσμιαίων πλημμυρικών επεισοδίων, κ.λπ.), της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα, της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών και της εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθούν οι σημαντικότερες μέθοδοι βαθμονόμησης για τον καθορισμό της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση, καθώς και οι μέθοδοι βαθμονόμησης των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, βάσει της αποδελτίωσης που έγινε, στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης.

2.2 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.2.1 Έννοιες και ορισμοί

Στην προσπάθεια που έχει καταβληθεί από διάφορους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια να εδραιωθεί μια πολιτική προστασίας των υδατικών πόρων από τη ρύπανση, εντάσσονται και οι έρευνες που κατά καιρούς έχουν διεξαχθεί στο χώρο της Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας. Πολλές από τις έρευνες των επιστημόνων στράφηκαν στην ανακάλυψη τεχνικών, που θα στόχευαν στην εκτίμηση των πιθανότερων προς ρύπανση περιοχών ενός υδροφόρου συστήματος, για περιπτώσεις μη σημειακών ή αλλιώς διάχυτων ρυπαντών, προσπαθώντας να βελτιώσουν τις εφαρμοζόμενες μεθόδους. Η μεθοδολογία εφαρμογής προσαρμόζεται τις περισσότερες φορές με τις επικρατούσες συνθήκες της κάθε περιοχής, για την εξαγωγή κατά το δυνατό ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Η άποψη ότι κάποιες περιοχές που ανήκουν σε ένα υδροφόρο σύστημα είναι περισσότερο επιδεκτικές στη ρύπανση από κάποιες άλλες, οδήγησε στη γένεση της ορολογίας **«τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση»**.

Η έννοια της τρωτότητας γίνεται αντιληπτή με διαφορετικούς τρόπους από διαφορετικούς ανθρώπους. Είτε ταυτίζεται με τις ιδιαίτερες ιδιότητες του υδροφορέα και των σχηματισμών της ακόρεστης ζώνης, είτε με τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τους πιθανούς ρυπαντές, ανεξάρτητα από τις χρήσεις γης. Κάποιοι συσχετίζουν την τρωτότητα αποκλειστικά με τις χρήσεις γης και τις ανθρώπινες δραστηριότητες, που λαμβάνουν χώρα επιφανειακά. Η έννοια της τρωτότητας εισήχθη για πρώτη φορά από τον Margat (1968) στη Γαλλία.

Παρακάτω δίνονται κάποιες προσεγγίσεις και κάποιοι ορισμοί που έχουν δοθεί από διάφορους ερευνητές, στην προσπάθειά τους να προσεγγίσουν, όσο το δυνατόν καλύτερα την έννοια της τρωτότητας και των συναφών αυτής εννοιών (National Research Council, 1993):

Margat (1968)

Τρωτότητα υδροφορέα στη ρύπανση: «Εκφράζει το βαθμό προστασίας που προσφέρει το φυσικό περιβάλλον, ενάντια στη ρύπανση του υπόγειου νερού».

Olmer & Rezac (1974)

Τρωτότητα υπόγειου νερού στη ρύπανση: «Ο βαθμός έκθεσης των υπόγειων νερών σε κίνδυνο υποβάθμισης από φυσικές ουσίες».

Villumsen (1983)

Τρωτότητα υπόγειου νερού: «Δείκτη τρωτότητας αποτελεί η ποιότητα του υπόγειου νερού, δίνοντας έμφαση στη δυναμική των διαφόρων παραγόντων που την επηρεάζουν».

Bachmat & Collin (1987)

Τρωτότητα υπόγειου νερού στη ρύπανση: «Η ευαισθησία της ποιότητας των υπόγειων νερών σε επιπτώσεις που προκύπτουν από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως καταδεικνύεται από τις αλλαγές της ποιότητας των υπόγειων νερών».

Foster (1987)

Τρωτότητα υδροφορέα στη ρύπανση: «Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, που καθορίζουν την ευαισθησία που παρουσιάζουν διάφορα τμήματά του, στη δυσμενή προσβολή του από ένα επιβαλλόμενο ρυπαντικό φορτίο».

Κίνδυνος ρύπανσης Υπόγειου Νερού: «Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στη φυσική τρωτότητα του υδροφορέα (στην επιδεκτικότητα δηλαδή του υδροφορέα στη ρύπανση, απόρροια των φυσικών του χαρακτηριστικών) και στο ρυπαντικό φορτίο που έχει ή πρόκειται να εφαρμοστεί επιφανειακά ή υπόγεια, ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων».

U.S. General Account Office (1991)

Υδρογεωλογική Τρωτότητα: «Μια συνάρτηση γεωλογικών παραμέτρων, όπως η υφή του εδάφους και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα»

Ολική Τρωτότητα: «Μια συνάρτηση των επί μέρους υδρογεωλογικών παραμέτρων και των ιδιοτήτων των ρυπαντών (λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων), που επηρεάζουν την επιδεκτικότητα προς ρύπανση μιας περιοχής».

Ολικός Κίνδυνος: «Ο ορισμός αυτός είναι ακόμη πιο ευρύς, διότι ενσωματώνει τον πληθυσμό που διακινδυνεύει από μια ενδεχόμενη μόλυνση του υπόγειου νερού, τον πληθυσμό δηλαδή που χρησιμοποιεί προς πόση το υπόγειο νερό της περιοχής».

Pettyjohn et al. (1991)

Τρωτότητα Υδροφορέα: «Η τρωτότητα καθορίζεται από τη γεωλογία του φυσικού συστήματος».

Ευαισθησία Υδροφορέα: «Η ευαισθησία του υδροφορέα σχετίζεται με το ρυπαντικό δυναμικό. Δηλαδή, οι υδροφορείς που παρουσιάζουν υψηλή τρωτότητα και βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, θεωρούνται οι πιο ευαίσθητοι...».

U.S. Environmental Protection Agency (1993)

Ευαισθησία Υδροφορέα: «Η σχετική ευκολία με την οποία ένας ρυπαντής (στη συγκεκριμένη περίπτωση τα παρασιτοκτόνα) που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους ή κοντά σ' αυτή μπορεί να μεταφερθεί σε συγκεκριμένο υδροφορέα. Η ευαισθησία του υδροφορέα αποτελεί συνάρτηση των φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών που τον αποτελούν και των υλικών της υπερκείμενης ακόρεστης ζώνης. Η ευαισθησία δεν εξαρτάται από τις εκάστοτε γεωργικές εφαρμογές και τις ιδιότητες των παρασιτοκτόνων».

Τρωτότητα Υπόγειου Νερού: «Η σχετική ευκολία με την οποία ένας ρυπαντής (στη συγκεκριμένη περίπτωση τα παρασιτοκτόνα) που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους ή κοντά σ' αυτή μπορεί να μεταφερθεί σε συγκεκριμένο υδροφορέα, υπό ένα συγκεκριμένο καθεστώς γεωργικής πολιτικής, γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά των παρασιτοκτόνων που εφαρμόζονται και τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν».

U.S. National Research Council (1993)

Τρωτότητα Υπόγειου Νερού στη ρύπανση: «Η πιθανότητα ή η τάση που έχουν οι ρυπαντές να φτάσουν σε μια συγκεκριμένη θέση σε ένα υπόγειο υδροφόρο σύστημα, ύστερα από την εισαγωγή τους σε κάποιο σημείο πάνω από το ανώτερο τμήμα του υδροφορέα».

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η τρωτότητα των υπόγειων νερών αναφέρεται στη ρύπανση που προκαλείται από διάχυτες πηγές ρύπανσης ή χωρικά κατανεμημένες σημειακές πηγές ρύπανσης (π.χ. συστήματα σηπτικών βόθρων) και όχι από μεμονωμένες σημειακές πηγές ρύπανσης (π.χ. χωματερές, υπόγειες αποθήκες υγρών καυσίμων). Επίσης δεν αναφέρεται σε περιπτώσεις «εσκεμμένης» εισαγωγής ρυπαντών στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα (π.χ. τεχνητός εμπλουτισμός υδροφόρων), καθώς και στην υπόγεια εισαγωγή ρυπαντών (π.χ. υφαλμύριση λόγω υπεράντλησης ή κινητοποίηση ιχνοστοιχείων που εντοπίζονται στα ορυκτολογικά συστατικά των πετρωμάτων).

Η έννοιά της σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα που έχει το φυσικό περιβάλλον να προστατεύσει, σε κάποιο βαθμό, το υπόγειο νερό. Σημειώνεται όμως ότι η τρωτότητα δε συνδέεται αποκλειστικά με τη ρύπανση ή τη μόλυνση των υπόγειων νερών, αλλά και με την ποσότητά τους, καθώς και με την επίδραση δυσμενών καιρικών φαινομένων, όπως η επίδραση της ξηρασίας, στη δίαυτα των υδροφόρων (Βουδούρης, 2005).

Διαχωρίζεται η έννοια της ρύπανσης (pollution), από αυτήν της μόλυνσης (contamination). Ρύπανση θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού, ενώ η μόλυνση περιορίζεται στη ρύπανση που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου, έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Βουδούρης, 2005).

2.2.2 Βασικές αρχές της τρωτότητας

2.2.2.1 Γενικά

Η έννοια της τρωτότητας (για τις ανάγκες της εργασίας υιοθετούμε τον ορισμό του U.S.N.R.C. [1993] όπως αυτός διατυπώθηκε στην προηγούμενη ενότητα) συνοδεύεται από μια βασική αρχή, η οποία αναφέρεται και ως ο *πρώτος νόμος της τρωτότητας* των υπόγειων νερών:

«Όλα τα υπόγεια νερά είναι τρωτά ή αλλιώς επιδεκτικά στη ρύπανση».

Επακόλουθο του πρώτου αυτού νόμου είναι πως ο χρόνος που χρειάζεται ένας ρυπαντής να φτάσει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή ο χρόνος που θα διανύσει αυτός την ακόρεστη ζώνη, αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για το διαχωρισμό των περισσότερο από τις λιγότερο ευάλωτες περιοχές ενός υδροφορέα. Παρόλα αυτά όμως, πρέπει να γίνει ξεκάθαρο ότι από μόνο του ένα ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα δεν εγγυάται ότι ένας υδροφορέας έχει μικρή τρωτότητα. Αντιθέτως σημαντικό ρόλο παίζουν οι χημικές και μηχανικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σ' αυτήν (χημική και μηχανική διασπορά των ρυπαντών, διαδικασίες προσρόφησης, απορρόφησης και ιοντικής ανταλλαγής, διαδικασίες βιοδιάσπασης), στην ελάττωση της αρχικής συγκέντρωσης ή ακόμη και στη μετατροπή των αρχικών ρυπαντών σε άλλες ενώσεις λιγότερο επικίνδυνες. Κατά συνέπεια θεωρείται ελλιπής (αν όχι άστοχη) η εκτίμηση για χαμηλή τρωτότητα σε μια περιοχή που διαθέτει μεγάλο πάχος ακόρεστης ζώνης (λαμβάνοντας υπόψη μόνο αυτόν τον παράγοντα). Συγκεκριμένα, εάν οι ρυπαντές είναι ιδιαίτερα ευκίνητοι και η εφαρμογή τους στην επιφάνεια συνεχής, τότε εν τέλει θα φτάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Για παράδειγμα, αρκετοί ερευνητές (Pratt et al., 1972, Boulding, 1995, Canter, 1996) έδειξαν ότι τα νιτρικά ιόντα μπορεί να χρειαστούν δεκαετίες για να φτάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα, ενώ τα φυτοφάρμακα και τα ζιζανιοκτόνα, που είναι λιγότερο ευκίνητα από τα νιτρικά ιόντα, εξαιτίας των διαδικασιών ρόφησης, μπορεί να χρειαστούν ακόμη περισσότερο χρόνο.

Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι η έννοια της τρωτότητας δεν αποτελεί μια απόλυτη και μετρήσιμη ιδιότητα για τον υδροφορέα, αλλά μια σχετική ένδειξη για το που εκτιμάται ότι θα ρυπανθεί το υπόγειο νερό. Υπό αυτή την έννοια η εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση αποτελεί μια πρόβλεψη που θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την πρόβλεψη του καιρού, για διαδικασίες όμως που διαδραματίζονται υπογείως και απαιτούν σαφώς μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα για να συμβούν. Κανένα υπόγειο νερό, με πιθανές εξαιρέσεις (όπως των πολύ βαθιών εγκλωβισμένων σαλαμούρων σε ιζήματα), δεν είναι άτρωτο ή απρόσβλητο από ρυπαντικά φορτία.

Το δυναμικό που έχουν οι ρυπαντές να φτάσουν στον υδροφορέα, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η κοκκομετρία και η εδαφοχημική σύσταση των υλικών της ακόρεστης ζώνης, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, ο ρυθμός εμπλουτισμού του υπόγειου νερού, καθώς και από περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της βιοδιάσπασης.

Η σύσταση της ακόρεστης ζώνης παίζει καταλυτικό ρόλο στις χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σ' αυτήν. Για παράδειγμα, υψηλό ποσοστό οργανικής ύλης ή υψηλή περιεκτικότητα των εδαφών της ακόρεστης ζώνης σε ποσοστά αργίλου, ευνοεί τις διαδικασίες ρόφησης (sorption) και κατά συνέπεια ελαττώνει το ρυπαντικό φορτίο (Appelo & Postma, 1996).

Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί σημαντικό παράγοντα μιας και σύντομες διαδρομές του υπόγειου νερού κατά την κατείσδυση, περιορίζουν τη δράση των χημικών διεργασιών της ρόφησης και της βιοδιάσπασης, αυξάνοντας το δυναμικό για πολλούς ρυπαντές να φτάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Αντιθέτως, μεγάλες διαδρομές του υπόγειου νερού από την επιφάνεια του εδάφους έως και το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, ευνοούν τις προαναφερθείσες χημικές διεργασίες, ελαττώνοντας το ρυπαντικό δυναμικό των ρυπαντών που μπορούν να υποστούν βιοδιάσπαση και ρόφηση.

Ο ρυθμός εμπλουτισμού του υπόγειου νερού, σχετίζεται με τη μεταφορά των ρυπαντών στον υδροφόρο ορίζοντα και με την έκταση που λαμβάνει αυτή.

Από τη μεριά τους οι προαναφερθέντες περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία διάσπασης των ρυπαντών που οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών.

2.2.2.2 Κατηγοριοποίηση της Τρωτότητας

Η έννοια της τρωτότητας, όπως συμπεραίνεται από τα παραπάνω, αποτελεί συνάρτηση, τόσο των χαρακτηριστικών που παρουσιάζει ένας υδροφορέας, όσο και του ρυπαντικού φορτίου που αυτός δέχεται ή πιθανώς να δεχτεί. Δε νοείται τρωτότητα υπόγειων νερών στη ρύπανση, δίχως την ύπαρξη ρυπαντών, δίχως δηλαδή την ανθρώπινη παρέμβαση, καθώς δε νοείται και εκτίμηση της τρωτότητας, δίχως αυτή να αποβλέπει στην προστασία του υπόγειου νερού, με απώτερο στόχο τη χρήση του από τον άνθρωπο. Ειδικές περιπτώσεις ρύπανσης ενός υδροφόρου συστήματος από διεργασίες του φυσικού περιβάλλοντος (π.χ. ηφαιστειακή δραστηριότητα), δε συνυπολογίζονται στην έννοια αυτή.

Οι επιστήμονες, στην προσπάθειά τους να διαχωρίσουν την κατάσταση, πρότειναν την παρακάτω κατηγοριοποίηση της τρωτότητας (U.S.N.R.C., 1993, Gogu et al., 2000, COST ACTION 620, 2003):

- Ιδιοτρωτότητα (Intrinsic Vulnerability): Ο ορισμός αυτός αναφέρεται στην τρωτότητα που σχετίζεται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει κάθε υδροφόρο σύστημα ξεχωριστά (λιθολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά, βάθος υδροφόρου ορίζοντα, τύπος υδροφορέα, πάχος ακόρεστης ζώνης, καθώς και διάταξη κατακρημνισμάτων, ρυθμός εμπλουτισμού κ.λπ.). Σκοπός της εκτίμησης της ιδιοτρωτότητας είναι να προσεγγίσει κατά το δυνατό την ικανότητα του φυσικού συστήματος στην αυτοπροστασία του από πιθανούς ρυπαντές, δίχως να ενδιαφέρεται για το είδος και τις ιδιότητες των ρυπαντών.

Μια κατατοπιστική διευκρίνιση μπορεί να δοθεί αν παρομοιαστεί ο υδροφορέας με έναν ανθρώπινο οργανισμό και τους ρυπαντές με ιούς. Στην περίπτωση αυτή, η ιδιοτρωτότητα σχετίζεται με το ανοσοποιητικό σύστημα του κάθε οργανισμού, δηλ. του υδροφόρου συστήματος, το οποίο όπως είναι κατανοητό δεν είναι το ίδιο σε όλους, δίχως να υπολογίζει τον αντίκτυπο από την προσβολή κάθε ιού, δηλ. ρυπαντή, ξεχωριστά. Το ενδιαφέρον δηλαδή, έγκειται αποκλειστικά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ένας υδροφορέας.

- Ειδική Τρωτότητα (Specific Vulnerability): Αυτός ο ορισμός αναφέρεται στην τρωτότητα ενός υδροφορέα, σε σχέση με ένα συγκεκριμένο ρυπαντή, πλήθος ρυπαντών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Στην περίπτωση αυτή έχει σημασία η ιδιαίτερη συμπεριφορά κάποιου ρυπαντή κατά την εισαγωγή του στο συγκεκριμένο σύστημα, μέχρι και την κατάληξή του στον υδροφόρο ορίζοντα, συσχετιζόμενη πάντα με την ικανότητα του υδροφορέα να αυτό-απορυπανθεί. Αυτό λοιπόν που έχει σημασία είναι η

γνώση των ιδιοτήτων των συγκεκριμένων ρυπαντών (αρχικές συγκεντρώσεις, χρονικό διάστημα εφαρμογής, φυσικοχημικές ιδιότητες κ.λπ.), σε συνάρτηση με τις ιδιότητες του υδροφορέα, που σχετίζονται με την ικανότητά του να «αμυνθεί».

Χρησιμοποιώντας την ίδια παρομοίωση, όπως προηγούμενα, το ενδιαφέρον έγκειται στη γνώση των ιδιοτήτων ενός συγκεκριμένου ιού και στη συμπεριφορά του σε σχέση με το ανοσοποιητικό σύστημα του κάθε οργανισμού.

Πρακτικά, μία σαφής διάκριση ανάμεσα στην ιδιοτροπότητα και την ειδική τρωτότητα είναι αρκετά δύσκολη.

2.2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.2.3.1 Γενικά

Για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση, έχουν προταθεί κατά καιρούς αρκετές μεθοδολογίες οι οποίες κυμαίνονται από εξεζητημένα μοντέλα που αφορούν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη, μέχρι και μεθόδους που χρησιμοποιούν στατιστικά μοντέλα.

Η πληθώρα αυτών των μεθόδων είναι απόρροια της πολυπλοκότητας και της πολυπαραγοντικής προσέγγισης που παρουσιάζει η εκτίμηση της τρωτότητας. Μερικοί γεωλογικοί και υδρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση δίνονται στον Πίνακα 2.1, σε σχέση με μερικά από φυσικά τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ένα υδροφόρο σύστημα (*Johnston, 1988, από National Research Council, 1993*).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Κυριότεροι γεωλογικοί και υδρολογικοί παράγοντες, που επηρεάζουν την τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση (*Johnston, 1988, από National Research Council, 1993*).

<i>Χαρακτηριστικά Υδροφόρου Συστήματος</i>	<i>Χαμηλή Τρωτότητα</i>	<i>Υψηλή Τρωτότητα</i>
Ακόρεστη Ζώνη	Μεγάλου πάχους ακόρεστη ζώνη με υψηλά ποσοστά αργίλου και οργανικού υλικού	Μικρού πάχους ακόρεστη ζώνη με υψηλά ποσοστά άμμου, κροκάλων ή αποτελούμενη από ασβεστόλιθο
Προστατευτικό στρώμα	Μεγάλου πάχους αδιαπέρατο στρώμα, αποτελούμενο από άργιλο, υπερκείμενο του υδροφορέα	Απουσία αδιαπέρατου προστατευτικού στρώματος
Υδροφορέας	Ιλυώδης ψαμμίτης ή μαργαϊκός ασβεστόλιθος, χαμηλής υδροπερατότητας	Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος, άμμος και χαλίκια
Ρυθμός Εμπλουτισμού	Μηδαμινός ρυθμός εμπλουτισμού, όπως π.χ. σε περιοχές με ξηρό κλίμα	Υψηλός ρυθμός εμπλουτισμού, όπως π.χ. σε περιοχές με υγρό κλίμα
Θέση στο υδροφόρο σύστημα	Θέση στο βαθύτερο τμήμα του υδροφορέα	Θέση κοντά στη ζώνη εμπλουτισμού ή κοντά στον κώνο πτώσης στάθμης μιας αντλούμενης γεώτρησης

Παρόλο που οι παραπάνω παράγοντες φαίνονται αρκετά απλοί με μια πρώτη ματιά, αρκετοί απ' αυτούς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους στη φύση, για να δώσουν εν τέλει μια πιο πολύπλοκη εικόνα και να δυσκολέψουν τη διάκριση της τρωτότητας, σε σχέση με την απλοποιημένη της μορφή, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.1. Πλην αυτού, αρκετοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την τρωτότητα ενός υδροφόρου συστήματος είναι ιδιαίτερα κυμαινόμενοι και δύσκολα προσεγγίζονται με μεγάλη ακρίβεια, σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

2.2.3.2 Κατηγοριοποίηση μεθόδων

Οι διάφορες μέθοδοι που έχουν επινοηθεί για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών, αποτελούν συνδυασμούς παραγόντων που σχετίζονται με τις ιδιότητες του υδροφόρου συστήματος, τις ιδιότητες των ρυπαντών, τη γεωργική πολιτική που εφαρμόζεται στην υπό εξέταση περιοχή (όταν πρόκειται για γεωργικής προέλευσης ρύπανση), σε σχέση με το είδος των καλλιεργειών και τα χρησιμοποιούμενα φυτοφάρμακα και λιπάσματα.

Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει κάποια μέθοδος που να θεωρείται κατάλληλη για όλες τις περιπτώσεις και να βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους τύπους υδροφόρων, υπό οποιεσδήποτε συνθήκες του φυσικού συστήματος και για οποιοδήποτε ρυπαντή. Η επιλογή μιας μεθόδου για την εκτίμηση της τρωτότητας, πρέπει να γίνεται ύστερα από εκτενή μελέτη των υπάρχοντων στοιχείων και καλή γνώση των συνθηκών που επικρατούν στο υδροφόρο σύστημα.

Οι γενικότερες κατηγορίες στις οποίες αναφέρεται η ξένη βιβλιογραφία για τις μεθόδους εκτίμησης της τρωτότητας είναι οι παρακάτω:

- 1) Μέθοδοι υπέρθεσης και δεικτών (overlay and index methods).
- 2) Μέθοδοι που χρησιμοποιούν μοντέλα προσομοίωσης διαδικασιών (process-based simulation models).
- 3) Στατιστικές μέθοδοι (statistical methods).

Μέθοδοι υπέρθεσης και δεικτών (overlay & index methods)

Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στο συνδυασμό θεματικών χαρτών που απεικονίζουν βαθμονομημένες τις επί μέρους φυσιογραφικές ιδιότητες του υπό μελέτη υδροφόρου συστήματος, βαθμονομώντας ξεχωριστά και με συγκεκριμένα κριτήρια κάθε ιδιότητα. Στην απλούστερη περίπτωση, όλες οι ιδιότητες βαθμονομούνται με την ίδια βαρύτητα, δίχως να λαμβάνεται υπόψη η σχετική σπουδαιότητα που παρουσιάζουν κάποιοι

παράγοντες, σε σχέση με κάποιους άλλους. Οι κυριότερες ιδιότητες που χρησιμοποιούνται σ' αυτές τις μεθόδους, υπό μορφή μεταβλητών, είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού και οι ιδιότητες των υλικών που απαρτίζουν την ακόρεστη ζώνη και τον υδροφορέα.

- *Βάθος υδροφόρου ορίζοντα:* Όσο μικρότερη είναι η διαδρομή που διανύει το υπόγειο νερό από την επιφάνεια έως και το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, τόσο λιγότερα εδαφικά υλικά και γενικότερα γεωυλικά που αποτελούν την ακόρεστη ζώνη, ενεργούν ως φίλτρα και ροφητές και τόσο λιγότερο ευνοούνται οι αβιοτικές και βιοτικές χημικές διεργασίες. Το βάθος του υπόγειου νερού βέβαια, δεν αποτελεί μια στατική παράμετρο του υδροφόρου συστήματος, αλλά χαρακτηρίζεται από τη δυναμική του, λόγω της εποχικής διακύμανσής του, αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών (κλιματικές συνθήκες, ύψος βροχόπτωσης, υδατικό ισοζύγιο κ.λπ.), καθώς και ανθρώπινων παρεμβάσεων (αντλήσεων, αποστραγγίσεων, εκμεταλλεύσεων υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, τεχνητών εμπλουτισμών κ.ά.). Κατά την εφαρμογή των μεθόδων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η χαμηλότερη παρατηρούμενη στάθμη ηρεμίας του υπόγειου νερού για συγκεκριμένο ή πλήθος υδρολογικών ετών, για την εξαγωγή πιο συντηρητικών αποτελεσμάτων ή η υψηλότερη παρατηρούμενη στάθμη ηρεμίας, για την εξαγωγή συμπερασμάτων υπό το πρίσμα μιας αιτιοκρατικής ανάλυσης (Deterministic Analysis), για τον προσδιορισμό του δυσμενέστερου δυνατού σεναρίου (Worst Case Scenario). Η ιδανικότερη βέβαια εφαρμογή θα ήταν αυτή της γνώσης δεδομένων στάθμεων για έναν υπό μελέτη υδροφορέα, καθ' όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους και της εξαγωγής δύο τουλάχιστον πιεζομετρικών χαρτών (ενός για την υγρή και ενός για την ξηρή περίοδο). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης του υδροφορέα και σωστότερης εκτίμησης της τρωτότητάς του.

- *Εμπλουτισμός του υπόγειου νερού:* Οι υπολογισμοί του εμπλουτισμού του υπόγειου νερού, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις εισροές νερού στο υδροφόρο σύστημα (π.χ. βροχόπτωση, άρδευση, τεχνητός εμπλουτισμός, φυσικός εμπλουτισμός από πλευρική διήθηση ρεμάτων και ποταμών) και όλες τις εκροές απ' αυτό (π.χ. υποδερμική απορροή, εξατμισιοδιαπνοή). Τυπικά σ' αυτές τις μεθόδους χρησιμοποιούνται οι μέσες ετήσιες τιμές κατείδδυσης, θεωρώντας την κατανομή της, σε μεγάλης έκτασης περιοχές, ομοιόμορφη. Στην πραγματικότητα η κατείδδυση αποτελεί χρονικά κυμαινόμενη παράμετρο (τόσο

εποχιακά, όσο και ετήσια) και οι τιμές της σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να κυμαίνονται αισθητά.

Ο καθορισμός των περιοχών εισροής και εκροής νερού σε ένα υδροφόρο σύστημα, θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμη πληροφορία για τον τελικό καθορισμό του δυναμικού που έχουν οι ρυπαντές να κινηθούν βαθύτερα μέσα στον υδροφορέα, από τη στιγμή που φτάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα.

-Ιδιότητες ακόρεστης ζώνης και υδροφορέα

Πολλές από τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το υδροφόρο σύστημα στο σύνολό του μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία αυτών των μεθόδων. Σε μια ιδανική περίπτωση θα χρησιμοποιούνταν στοιχεία που αφορούν την ακόρεστη ζώνη, καθώς αυτή καθορίζει το δυναμικό των ρυπαντών να κινηθούν κατακόρυφα μέσα σε αυτή και να καταλήξουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα δε θα μας ενδιέφεραν ιδιαίτερα, μιας και αυτά καθορίζουν την πλευρική μεταφορά των ρυπαντών. Μια τόσο απλή διάκριση όμως δε μπορεί να γίνει, διότι τα υλικά της ακόρεστης ζώνης αποτελούν συνήθως τμήμα του υδροφορέα

Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η γνώση των ακριβών ιδιοτήτων που παρουσιάζει ο υδροφορέας στο σύνολό του, είτε λόγω έλλειψης γεωτρήσεων σε κάποιες περιοχές, είτε λόγω αραιού δικτύου γεωτρήσεων, είτε ακόμη λόγω ανισοκατανεμημένου δικτύου (με αποτέλεσμα σε κάποιες περιοχές να έχουμε πολύ καλή γνώση των ιδιοτήτων του και σε κάποιες άλλες όχι), οι μέθοδοι υπέρθεσης και δεικτών, έχουν την ευχέρεια να χρησιμοποιήσουν δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής.

Οι μέθοδοι αυτές βρίσκουν ευρεία εφαρμογή και έχουν υιοθετηθεί περισσότερο από τις άλλες μεθόδους, από τους επιστήμονες ανά τον κόσμο. Στον Πίνακα 2.2, που ακολουθεί, δίνονται κάποιες επιλεγμένες μέθοδοι, μαζί με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούν, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: Κυριότερες μέθοδοι υπέρθεσης και δεικτών και παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών.

Μέθοδοι	Συγγραφείς	Χαρακτηριστικές παράμετροι			
		Βάθος υδροφόρου ορίζοντα	Κατείσδυση	Ακόρεστη ζώνη και υλικό υδροφορέα	Λοιπές
<i>DRASTIC</i>	Aller et al., 1985 Aller et al., 1987	+	+	Εδαφικό υλικό Υλικό ακόρεστης ζώνης Υλικό υδροφορέα Υδραυλική Αγωγιμότητα (<i>k</i>)	Τοπογραφία
<i>Wisconsin Ground Water Contamination Susceptibility</i>	Wisconsin Department of Natural Resources, Wisconsin Geological & Natural History Survey, 1987	+	-	Εδαφικά χαρακτηριστικά (4 κλάσεις, βασισμένες στην υφή) Επιφανειακές αποθέσεις Τύπος πετρώματος υποβάθρου Βάθος μέχρι το υπόβαθρο	-
<i>Potential for Contamination of Shallow Aquifers in Illinois by Agricultural Chemicals</i>	Berg & Kempton, 1988 McKenna & Keefer, 1991	-	-	Εδαφικά υλικά και γεωυλικά ταξινομημένα με βάση το πάχος, την υφή, την περατότητα και τη στρωματογραφική τους θέση	-
<i>Ground Water Vulnerability Regions of Iowa</i>	Hoyer & Hallberg, 1991	Στοιχεία στάθμων από ιδιωτικές γεωτρήσεις	-	Τύπος υδροφορέα και πάχος υπερκείμενου αδιαπέρατου στρώματος (για υπό πίεση υδροφορείς)	Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων
<i>State-by-State Assessment of Aquifer Vulnerability and Sensitivity for the Conterminous U.S.</i>	Pettyjohn et al., 1991	-	-	Ταξινόμηση με βάση τη γεωλογία των επιφανειακών και βαθύτερων υδροφορέων	-

Μέθοδοι που χρησιμοποιούν μοντέλα προσομοίωσης (process-based simulation models)

Οι μέθοδοι αυτοί ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες διότι επιχειρούν να προβλέψουν τη μεταφορά και διασπορά των ρυπαντών, τόσο χωρικά, όσο και χρονικά. Για παράδειγμα, προσομοιάσεις που αφορούν τη μονοδιάστατη μεταφορά σε ακόρεστα εδάφη, μπορούν να εκτιμήσουν τις συγκεντρώσεις των ρυπαντών με το βάθος σε ασυνεχή χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια και ύστερα από την εφαρμογή ενός ρυπαντή στην επιφάνεια του εδάφους. Ομοίως, υπολογιστικοί αλγόριθμοι μπορούν να προβλέψουν την κατακόρυφη και χωρική κατανομή των ρυπαντών με το χρόνο, ενσωματώνοντας με μαθηματικό τρόπο, πολλές από τις φυσικές, χημικές και μικροβιακές διαδικασίες, που συμβαίνουν στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη.

Κάποια επιλεγμένα μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των παρασιτοκτόνων στην ακόρεστη ζώνη είναι (Lindström, 2005):

CMLS, (Nofziger & Hornsby, 1987), **GLEAMS** (Knisel et al., 1989), **LEACHM** (Wagenet & Hutson, 1987) και **PRZM** (Carsel et al., 1989).

Τα μοντέλα αυτά διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν. Το μοντέλο LEACHM (Leaching Estimation and Chemistry Model) είναι το πιο περίπλοκο όσων αφορά το πλήθος των διεργασιών που περιλαμβάνει και το πιο εξελιγμένο αναφορικά με τα λεπτομερέστερα αποτελέσματα που εξάγει. Τα μοντέλα CMLS (Chemical Movement through Layered Soils), GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems) και PRZM (Pesticide Root Zone Model) περιλαμβάνουν κάποιες από τις σημαντικότερες διεργασίες, αλλά κάποιες διεργασίες παρουσιάζονται με λιγότερο σύνθετο τρόπο.

Όλα τα πιο πάνω μοντέλα μοιάζουν στο ότι είναι αιτιοκρατικά. Στην ουσία δηλαδή θεωρούν ότι οι χρησιμοποιούμενοι παράμετροι (π.χ. ροή υπόγειου νερού, επιφανειακή απορροή, μεταφορά, διάχυση και διασπορά μεταφερόμενων διαλυμένων ουσιών, ύπαρξη αποσθρωμένου ή εδαφικού μανδύα, εξατμισιδιαπνοή, ύπαρξη φυτικών ριζών), είναι αμετάβλητοι. Επομένως, δίνοντας ένα συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών για κάθε παράμετρο, εξάγουν μοναδικά συμπεράσματα κάθε φορά, δίχως όμως αυτά να αποτελούν απαραίτητα τις επί μέρους μέσες τιμές.

Τα στοχαστικά μοντέλα, από την άλλη μεριά, έχουν ως προϋπόθεση πως όλες οι παράμετροι που εισάγονται, καθώς και η διαδικασία που χρησιμοποιείται είναι μεταβλητά. Παρέχουν έτσι αποτελέσματα υπό μορφή μέσων τιμών, διακυμάνσεων, καθώς και των συνοδών πιθανοτικών κατανομών.

Στατιστικές μέθοδοι (statistical methods)

Παρόλο που οι μέθοδοι αυτοί δεν έτυχαν της ευρείας εφαρμογής των προηγούμενων μεθόδων, θεωρείται ότι έχουν ενδιαφέρουσες εφαρμογές στην εκτίμηση της τρωτότητας. Οι στατιστικές μέθοδοι μπορούν να εκτιμήσουν και να ποσοτικοποιήσουν τη σχέση ανάμεσα στην εκτίμηση της τρωτότητας και πληροφοριών που σχετίζονται με αυτήν, όπως π.χ. σχέση περιοχών υψηλής τρωτότητας με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις ρυπαντών στο υπόγειο νερό, από δείγματα νερού που προέρχονται από γεωτρήσεις εκείνης της περιοχής. Η μεθοδολογία τους βασίζεται στην έννοια της αβεβαιότητας που ενέχει η διαδικασία από μόνη της, η οποία και περιγράφεται με συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για τις εκάστοτε μεταβλητές.

Παραδείγματα στατιστικών μεθόδων περιλαμβάνουν διαδικασίες απλής και πολλαπλής παλινδρόμησης (simple and multiple regression), διακριτική ανάλυση

(discriminant analysis) και ανάλυση σε ομάδες (cluster analysis), γεωστατιστικές αναλύσεις (περιλαμβάνοντας και το kriging) και χρονοσειρές (time series).

Απώτερος στόχος των μεθόδων αυτών είναι να εκφράσουν με μαθηματικό τρόπο (με τη μορφή συναρτήσεων ή μαθηματικών μοντέλων), τη σχέση ανάμεσα στην ποιότητα του υπόγειου νερού και τις φυσικές διεργασίες ή ανθρώπινες παρεμβάσεις αντίστοιχα, που καθορίζουν την ποιότητα αυτή, με τη χρήση ανεξάρτητων μεταβλητών.

Οι Riley et al. (1990) διατύπωσαν την άποψη ότι «η ποιότητα του υπόγειου νερού αποτελεί πολυπαραγοντική έννοια, που δε μπορεί να εκφρασθεί σαφώς από μία μονάχα συνιστώσα». Κατά συνέπεια οι πολυμεταβλητές στατιστικές μέθοδοι θεωρούνται κατάλληλες για την ανάλυση ποιοτικών δεδομένων νερού, συμπεριλαμβάνοντας δεδομένα που αφορούν τη λιθολογία της περιοχής και τη γεωργική πολιτική που εφαρμόζεται σ' αυτήν (κατανομή χρήσεων γης, είδη καλλιεργειών κ.λπ.). Οι στατιστικές μέθοδοι μπορούν να συγκριθούν μερικώς με τις μεθόδους δεικτών, μιας και οι δύο έχουν έντονο το στοιχείο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, με τη διαφορά ότι οι δεύτερες δεν περιέχουν πιθανολογικούς υπολογισμούς.

Όλες οι στατιστικές μέθοδοι απαιτούν πολύ καλά δεδομένα για τη σωστή εφαρμογή τους. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχει ένα πολύ καλό δίκτυο καταγραφής δεδομένων (ποιότητας νερού, υδρολογικών δεδομένων, κλιματικών συνθηκών, δραστηριοτήτων στην επιφάνεια του εδάφους, τροφοδοσίας του υπόγειου νερού κ.λπ.), καθώς και σε γειτονικές αυτών περιοχές, όπου τα δεδομένα είναι λιγότερα, αλλά είναι παρόμοια με αυτά της περιοχής στην οποία εφαρμόζεται το συγκεκριμένο στατιστικό μοντέλο.

2.2.3.3 Αβεβαιότητες και Σφάλματα στην εκτίμηση της τρωτότητας

Οι αβεβαιότητες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εκτίμησης τρωτότητας των υπόγειων νερών και προκύπτουν από:

1) Σφάλματα που σχετίζονται με την αδυναμία ενός μοντέλου να περιγράψει με ικανοποιητική ακρίβεια τις επικρατούσες συνθήκες στην υπό εξέταση περιοχή.

2) Σφάλματα που σχετίζονται με τα δεδομένα, που οφείλονται στην κακή διαχείριση των δεδομένων, ακόμη και αν η εφαρμοζόμενη μέθοδος για την περιοχή είναι σωστή (Loague & Green, 1991). Κατά συνέπεια οι αβεβαιότητες είναι παρούσες στην όλη διαδικασία ακόμη και όταν τα δεδομένα μας είναι πλήρη και η διαδικασία προσέγγισης σωστή. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στη διατύπωση του *δεύτερου νόμου της τρωτότητας* των υπόγειων νερών:

«Η αβεβαιότητα είναι συνυφασμένη με όλες τις εκτιμήσεις της τρωτότητας».

Παρακάτω δίνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα είδη σφαλμάτων, κατά την εκτίμηση της τρωτότητας:

- Σφάλματα σχετιζόμενα με τα αποκτούμενα δεδομένα

Προέρχονται από εσφαλμένες παρατηρήσεις κατά τη συλλογή δεδομένων, κατά τη μεταφορά τους, κατά την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων πεδίου, καθώς και σφάλματα που οφείλονται σε λαθεμένες μετρήσεις και εργαστηριακούς υπολογισμούς, κατά τον προσδιορισμό μιας συγκεκριμένης ιδιότητας.

- Σφάλματα σχετιζόμενα με τη χωρική και χρονική διακύμανση τιμών

Πολλά από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της τρωτότητας παρουσιάζουν έντονη εποχική διακύμανση [π.χ. βάθος υδροφόρου ορίζοντα, κλιματικές συνθήκες, υδατικό ισοζύγιο, εφαρμογή λιπασμάτων (fertilizers), φυτοφαρμάκων (herbicides) και παρασιτοκτόνων (pesticides) στην επιφάνεια, είδος καλλιεργειών]. Επομένως, σφάλματα προκύπτουν κατά τη γενικοποίηση στοιχείων που αφορούν μετρήσεις τιμών κάποιων παραμέτρων σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε συγκεκριμένη τοποθεσία.

Σημαντικά επίσης σφάλματα μπορούν να προκύψουν από τη μη εκτενή μελέτη μιας περιοχής, αποτέλεσμα υπερβολικής σιγουριάς του ερευνητή και προδιάθεσής του ως προς το αποτέλεσμα. Αρκετά σημαντικά είναι και τα σφάλματα κατά την επεξεργασία των δεδομένων, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η διάθεση δεδομένων είναι ελλιπής. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανομοιόμορφη κατανομή στο χώρο των χαρακτηριστικών του φυσικού συστήματος. Για τις ανάγκες όμως της εκτίμησης, αναγκαστικά θα πρέπει να γίνουν κάποιες προσεγγίσεις και εικασίες, με την προσθήκη και παρεμβολή στοιχείων τα οποία δεν είναι πρωτογενή, αλλά προέκυψαν από αριθμητικές διαδικασίες. Χαρακτηριστική είναι η χρησιμοποίηση γεωστατιστικών μεθόδων, όπως η μέθοδος kriging, κατά την οποία αναπτύσσεται ένα μοντέλο χωρικής συσχέτισης και κατανομής μεταξύ των υπαρχόντων δεδομένων, για τον υπολογισμό των ενδιάμεσων τιμών και εκτίμησης της διακύμανσης αυτών. Μέθοδοι στατιστικών χρονοσειρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση της χρονικής διακύμανσης κάποιων παραμέτρων. Σε κάθε περίπτωση, όλες οι πιο πάνω μέθοδοι παρεμβολής και προσέγγισης κάποιων τιμών, εμπεριέχουν σφάλματα ή/και αβεβαιότητες.

- Σφάλματα κατά τη μηχανοργάνωση, ψηφιοποίηση, αποθήκευση και τελική επεξεργασία των δεδομένων

Αυτού του είδους τα σφάλματα προκύπτουν από λαθεμένους χειρισμούς, κατά την επεξεργασία των δεδομένων, κυρίως με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.). Πολλά από αυτά τα λάθη μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με κατάλληλες εντολές ελέγχου της ποιότητας των δεδομένων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων λαθών είναι η εσφαλμένη εισαγωγή δεδομένων, η εσφαλμένη αντιστοίχιση των δεδομένων με τα γεωγραφικά αναφερόμενα σημεία, αλλαγές στον τύπο των αρχείων, αλλαγές στην κλίμακα και στις μονάδες μέτρησης, λαθεμένη παρεμβολή δεδομένων, λάθη που σχετίζονται με την ακρίβεια καταχώρησης των δεδομένων κ.ά.

- Σφάλματα κατά την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Η ολοκληρωμένη εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση, έχει ως στόχο την κατασκευή του τελικού χάρτη τρωτότητας. Τα σφάλματα που πιθανά μπορούν να προκύψουν σ' αυτό το σημείο, έχουν σχέση με την κατηγοριοποίηση της τρωτότητας (υψηλή, μέση, χαμηλή τρωτότητα), με τη χάραξη των ορίων ανάμεσα στις επί μέρους κατηγορίες και την πιθανή παρερμηνεία των απεικονίσεων, που σχετίζεται με τη δυσκολία διάκρισης των χρωμάτων απεικόνισης.

2.2.3.4 Συμπληρωματικές έννοιες

Συμπληρώνοντας αυτά που αναφέρθηκαν για τις μεθόδους εκτίμησης της τρωτότητας, πρέπει να γίνει μια διάκριση ανάμεσα στην ικανότητα να εξηγηθούν οι παράγοντες και οι διαδικασίες που οδηγούν στη ρύπανση του υπόγειου νερού και στην ικανότητα να προβλεφθεί χωρικά και χρονικά μια ενδεχόμενη ρύπανση αυτού.

Παρόλο που η τεχνογνωσία για την αναγνώριση πολλών από τους παράγοντες που ευθύνονται για τη ρύπανση του υπόγειου νερού είναι γνωστή, υπάρχει μια σαφής δυσκολία στην ακριβή αποτύπωση των συνθηκών που επικρατούν και των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν το φυσικό σύστημα, λόγω της πολυπλοκότητας που αυτό παρουσιάζει. Μπορεί να ειπωθεί ότι οι μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας, προβλέπουν τη ρύπανση του υπόγειου νερού κατά μια σχετική και όχι απόλυτη έννοια, δηλαδή η εκτίμηση που γίνεται, κατατάσσει τις διάφορες περιοχές ενός υδροφόρου συστήματος σε λιγότερο ή περισσότερο τρωτές, σε σχέση με κάποιες άλλες του ίδιου συστήματος.

Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι αυτές μπορούν να εκτιμήσουν περιοχές όπου το υπόγειο νερό έχει μεγάλες πιθανότητες να ρυπανθεί, δίχως όμως να μπορούν να προσδιορίσουν

με μεγάλη σιγουριά τις περιοχές όπου η τρωτότητα του υπόγειου νερού στη ρύπανση είναι μικρή. Για παράδειγμα, είναι αρκετά εύκολο να προσδιοριστεί η υψηλή τρωτότητα του υπόγειου νερού ενός ώριμου καρστικού υδροφορέα ή ενός αλλουβιακού υδροφορέα με υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, αποτελούμενου από κροκάλες και άμμους. Αντιθέτως, μπορεί να είναι πολύ πιο δύσκολο ναδειχθεί ότι το υπόγειο νερό που υπόκειται μιας αργιλικής ακόρεστης ζώνης έχει πράγματι χαμηλή τρωτότητα στη ρύπανση, λόγω του πλήθους των παραμέτρων που δύσκολα ποσοτικοποιούνται, όπως για παράδειγμα οι επιλεκτικές διαδρομές του υπόγειου νερού (ρίζες φυτών, σκουληκότρυπες, ρωγμές). Συγκρίνοντας όμως τις προαναφερθείσες περιπτώσεις μεταξύ τους, η τελευταία παρουσιάζει πράγματι τη μικρότερη επιδεκτικότητα στη ρύπανση, είναι δηλαδή λιγότερο τρωτή σε σχέση με τις δύο πρώτες. Επιπρόσθετα, η διαφοροποίηση περιοχών που δεν παρουσιάζουν υψηλή τρωτότητα, σε πιο λεπτομερείς διακρίσεις είναι αρκετά δύσκολη. Το συμπέρασμα αυτό εκφράζεται ως ο *τρίτος νόμος της τρωτότητας* των υπόγειων νερών, σύμφωνα με τον οποίο (*National Research Council, 1993*):

«Το προφανές μπορεί να είναι ασαφές και το περίπλοκο να είναι δυσδιάκριτο».

Οι εκτιμήσεις της τρωτότητας αποτελούν διαδικασίες που πρέπει να τροποποιούνται και να βελτιώνονται συνεχώς, χρησιμοποιώντας καινούργια δεδομένα και παραμέτρους. Η εγκυρότητα των μεθόδων αυτών δεν μπορεί να ελεγχθεί με παραδοσιακούς τρόπους. Η χρήση δεδομένων ποιότητας νερού για τον καθορισμό της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων (δηλαδή η συσχέτιση της κατηγοριοποίησης της τρωτότητας σε έναν υδροφορέα, με την ποιότητα του υπόγειου νερού που αυτός φιλοξενεί) δεν ενδείκνυνται, για τους εξής λόγους:

- Ύπαρξη αβεβαιότητας όσον αφορά την ταύτιση των περιοχών που περιγράφουν οι μέθοδοι, με αυτές από τις οποίες έγινε η δειγματοληψία του υπόγειου νερού.

- Ύπαρξη αβεβαιότητας όσον αφορά τη χωρική και χρονική κατανομή των συγκεντρώσεων των ρυπαντών.

- Ύπαρξη αβεβαιότητας όσον αφορά τη χωρική και χρονική εφαρμογή των ρυπαντών στην επιφάνεια.

- Ύπαρξη αβεβαιότητας που σχετίζεται με τη μη αντιπροσωπευτική δειγματοληψία υπόγειου νερού από υδρογεωτρήσεις.

Συμπερασματικά, όλες οι μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας εμπεριέχουν αβεβαιότητες και υπόκεινται σε περιορισμούς. Καμία, μέχρι σήμερα, μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για όλες τις περιπτώσεις. Η σωστή θεώρηση και αξιολόγηση των συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή, καθώς και η καλή γνώση των εφαρμογών και ιδιοτήτων

που παρουσιάζουν οι μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας, οδηγούν κάθε φορά στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου.

2.2.3.5 Κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή των κυριότερων μεθόδων που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση.

- GOD

Η μέθοδος GOD αναπτύχθηκε από τον Foster (1987). Αποτελεί μια εμπειρική μέθοδο βαθμονόμησης με απλή και πρακτική δομή, για τη γρήγορη εκτίμηση της τρωτότητας των υδροφορέων στη ρύπανση. Τρεις κύριες παράμετροι λαμβάνονται υπόψη: η εμφάνιση υπόγειου νερού (**G**roundwater Occurrence), η λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων (**O**verlying Lithology) και το βάθος του υπόγειου νερού (**D**epth to water), τόσο για συνθήκες ελεύθερης, όσο και υπό πίεσης υδροφορίας. Η τελική τιμή της τρωτότητας προκύπτει από τη βαθμονόμηση των τριών αυτών παραμέτρων. Στο Σχήμα 2.1, που ακολουθεί, δίνεται η αναλυτική περιγραφή της μεθόδου (Gogu & Dassargues, 2000).

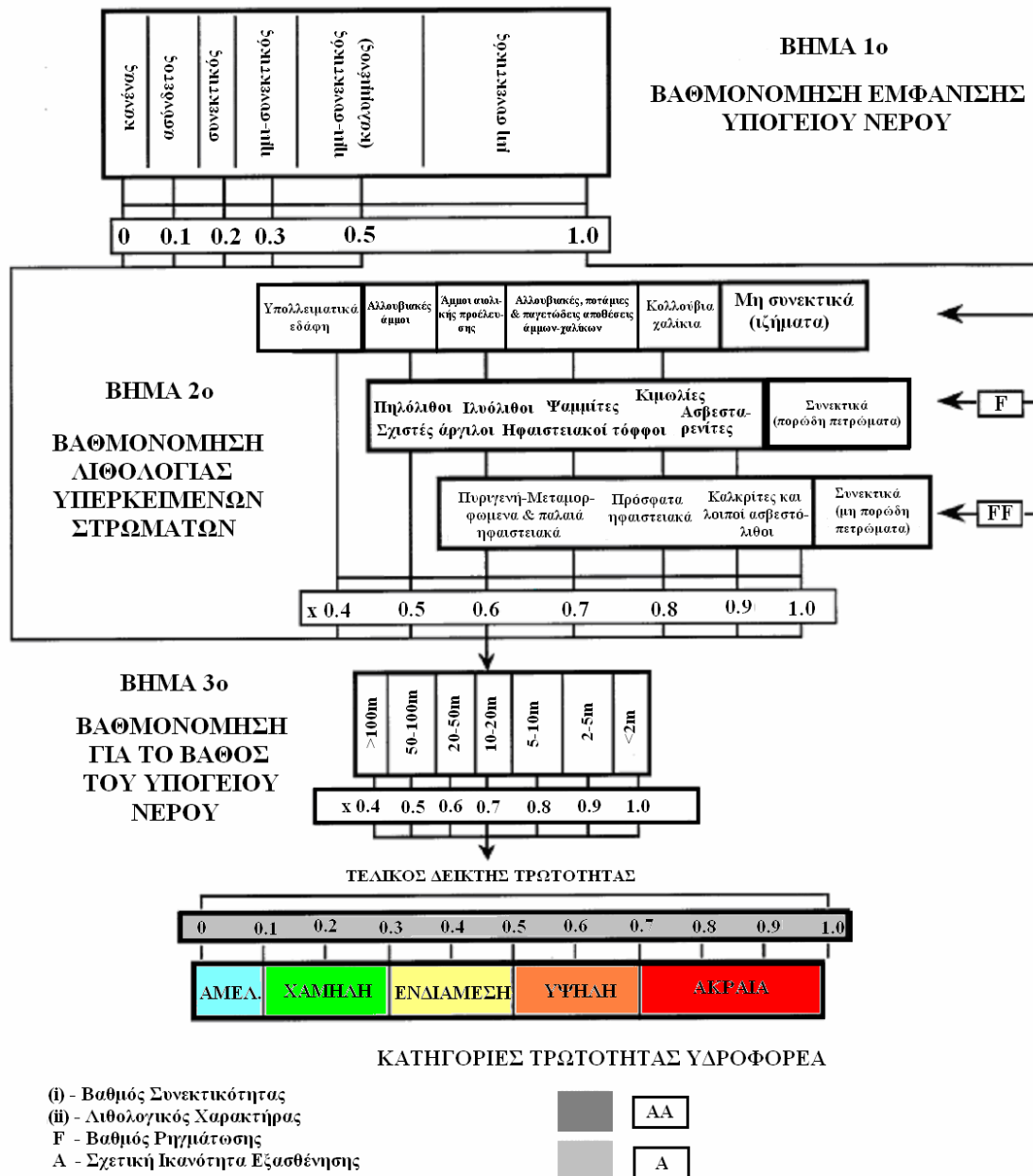
Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος αυτού, η τελική τιμή τρωτότητας για μια περιοχή, προκύπτει επιλέγοντας αρχικά την τιμή που αντιστοιχεί στην εμφάνιση του υπόγειου νερού και πολλαπλασιάζοντας έπειτα με αυτές που προκύπτουν για τις επόμενες δύο παραμέτρους, δηλαδή:

$$I = G \cdot O \cdot D$$

Η παράμετρος της λιθολογίας των υπερκείμενων στρωμάτων συμβάλλει στον δείκτη τρωτότητας μόνο στην περίπτωση ελεύθερων υδροφορέων.

Επειδή οι παράμετροι μπορούν να λάβουν τιμές από 0 έως και 1, τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι κατά κανόνα μικρότερα από τις τιμές που δίνονται σε κάθε παράμετρο ξεχωριστά (λόγω πολλαπλασιασμού τιμών μικρότερων της μονάδας). Κατά συνέπεια, σε περίπτωση που δύο από τις τρεις παραμέτρους λάβουν τιμή 1, το τελικό αποτέλεσμα της τιμής της τρωτότητας, θα είναι το ίδιο με την τιμή βαθμονόμησης της τρίτης ιδιότητας.

Η μέθοδος αυτή ταξινομεί την τρωτότητα σε 5 κατηγορίες, ανάλογα με την τιμή που προκύπτει για το I [αμελητέα (0-0,1), χαμηλή (0,1-0,3), μέτρια (0,3-0,5), υψηλή (0,5-0,7) και πολύ υψηλή (0,7-1)].



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου GOD (Foster, 1987) με τα επί μέρους βήματα εργασίας (τροποποιημένο από Gogu & Dassargues, 2000).

- AVI

Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τους Van Stempvoort et al. (1993). Η μέθοδος AVI (Aquifer Vulnerability Index) εκτιμά την τρωτότητα χρησιμοποιώντας δύο παραμέτρους: το πάχος των ιζημάτων πάνω από τον υδροφόρα (d) και την υπολογιζόμενη υδραυλική αγωγιμότητα (k), για κάθε ένα από τα υπερκείμενα στρώματα. Σε αυτή τη μέθοδο δε χρησιμοποιούνται βαθμονομήσεις και συντελεστές βαρύτητας. Ο τελικός δείκτης τρωτότητας καθορίζεται από τη σχέση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους:

$$AVI = \sum_{i=1}^n \frac{d}{k}$$

όπου n το πλήθος των στρωμάτων που υπέρκειται του υδροφορέα. Η εφαρμογή της προβλέπει τον υπολογισμό των παραμέτρων d και k για ένα πλήθος γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης και τη μετέπειτα κατασκευή ισο-καμπύλων για τον δείκτη AVI, ύστερα από παρεμβολή δεδομένων ανάμεσα στις επί μέρους γεωτρήσεις. Όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο των γεωτρήσεων, τόσο πιο ασφαλή και ακριβή είναι τα αποτελέσματα. Ύστερα από αυτό, γίνεται μια ταξινόμηση της εξεταζόμενης περιοχής σε ζώνες τρωτότητας. Η μέθοδος διαθέτει πέντε ταξινομήσεις ανάλογες με αυτές της μεθόδου GOD (Gogu & Dassargues, 2000).

- SEEPAGE

Η μέθοδος SEEPAGE (System for Early Evaluation of Pollution Potential of Agricultural Groundwater Environments) αναπτύχθηκε από τους Navulur K.C.S. & Engel B.A. (1998). Λαμβάνει υπόψη αρκετούς παράγοντες που αφορούν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής και τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών, όπως: τοπογραφικές κλίσεις, βάθος υπόγειου νερού, υλικό ακόρεστης ζώνης, υλικό υδροφορέα, πάχος εδαφικού καλύμματος και το δυναμικό εξασθένισης της ρύπανσης. Ο τελευταίος παράγοντας λαμβάνει υπόψη του την υφή του εδαφικού καλύμματος, την υφή του υπεδάφους, το pH του επιφανειακού στρώματος, το ποσοστό του οργανικού υλικού στην επιφάνεια, την κοκκομετρική διαβάθμιση των εδαφών και την υδραυλική τους αγωγιμότητα.

Σε κάθε έναν από τους προαναφερθέντες παράγοντες δίνεται ένας συντελεστής βαρύτητας από το 1 έως το 50. Η τιμή 50 δίνεται στον παράγοντα με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα για την ποιότητα του υπόγειου νερού, ενώ η τιμή 1 δίνεται για τον λιγότερο σημαντικό παράγοντα. Τα βάρη αυτά διαφέρουν για σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης. Η βαθμονόμηση για την ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη είναι υποκειμενική και εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες. Η τελική τιμή του δείκτη SEEPAGE προκύπτει από την άθροιση των τιμών κάθε παραμέτρου και η τελική κατάταξη της τρωτότητας γίνεται σε τέσσερις κατηγορίες: i) χαμηλή, ii) ενδιάμεση, iii) υψηλή και iv) πολύ υψηλή τρωτότητα.

- ISIS

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σύνθεση ποικίλων μελετών που έγιναν σε υδροφορείς, για την εκτίμηση της ιδιοτρωτότητας (Civita & De Regibus, 1995 από Gogu

& Dassargues, 2000). Αποτελεί μια υβριδική μέθοδο που βασίζεται στη συγκριτική εκτίμηση των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Ανήκει στις μεθόδους βαθμονόμησης και έχει επηρεαστεί από τις μεθόδους DRASTIC, SINTACS και GOD.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι: η μέση ετήσια κατείσδυση (μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στοιχεία βροχόπτωσης ή μέσης ετήσιας θερμοκρασίας), η τοπογραφία, το είδος των εδαφών και το πάχος τους, η λιθολογία και το πάχος της ακόρεστης ζώνης, το υλικό του υδροφορέα και το πάχος αυτού, καθώς επίσης και δεδομένα χρήσεων γης, αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η παράμετρος της χρήσης γης έχει διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες: i) περιοχές που διατηρούν τις φυσικές τους συνθήκες, ii) ισχυρά ρυπαινόμενες περιοχές και iii) περιοχές με υψηλή επιφανειακή απορροή. Ο παράγοντας αυτός εισάγεται στη μέθοδο για να τροποποιήσει τη σχετική σημαντικότητα των υπολοίπων παραγόντων, ώστε τα αποτελέσματα που θα εξάγονται, να αποτελούν κάθε φορά συνάρτηση των συνθηκών χρήσεων γης της εκάστοτε περιοχής. Ο τελικός δείκτης τρωτότητας που προκύπτει δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_v = p_{Inf} \times f_{Inf} + p_{Su} \times f_{Sus} \times f_{Su} + p_{Ins} \times f_{Si} \times f_{Ins} + p_{Sat} \times f_{Ss} \times f_{Sat}$$

όπου:

p_{Inf} = η βαθμονόμηση για την κατείσδυση

f_{Inf} = ο συντελεστής κατείσδυσης

p_{Su} = η βαθμονόμηση για το εδαφικό υλικό

f_{Sus} = ο εδαφικός συντελεστής, εξαρτώμενος από τις χρήσεις γης

f_{Su} = ο συντελεστής βαρύτητας, εξαρτώμενος από το πάχος του εδαφικού καλύμματος

p_{Ins} = η βαθμονόμηση της ακόρεστης ζώνης

f_{Si} = ο συντελεστής βαρύτητας που καθορίζεται από τη λιθολογία και το πάχος της ακόρεστης ζώνης

f_{Ins} = ο συντελεστής της ακόρεστης ζώνης που καθορίζεται από τις χρήσεις γης

p_{Sat} = η βαθμονόμηση για τον υδροφορέα

f_{Ss} = ο συντελεστής βαρύτητας που καθορίζεται από το πάχος του υδροφορέα

f_{Sat} = ο συντελεστής για τον υδροφορέα που εξαρτάται από τις χρήσεις γης

Η τελική τιμή της τρωτότητας κυμαίνεται από 24 έως 180 και υποδιαιρείται σε έξι κατηγορίες: i) ακραία (141-180), ii) πολύ υψηλή (124-180), iii) υψηλή (88-123), iv) μέση (64-87), v) χαμηλή (44-63) και vi) πολύ χαμηλή (24-43).

- SINTACS

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Ιταλό υδρογεωλόγο Civita (1990, 1993, 1994) και αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου DRASTIC (Gogu & Dassargues, 2000 - Mustafa, Ali & Nezar, 2006). Ανήκει στις μεθόδους σημειακής βαθμονόμησης (point count systems), παρόμοιας φιλοσοφίας με τις μεθόδους υπέρθεσης και δεικτών. Σε κάθε παράγοντα ξεχωριστά δίνεται μια τιμή και ένας συντελεστής βαρύτητας, για συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής μελέτης, για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Οι συντελεστές βαρύτητας κάθε φορά δίνονται με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως π.χ. φαινόμενα υψηλής διασποράς από το επιφανειακό στο υπόγειο νερό ή εκτεταμένων πηγών ρύπανσης.

Το μοντέλο κατά την εφαρμογή του λαμβάνει υπόψη του παρακάτω επτά παράγοντες:

S (Soggicenza): Βάθος στάθμης υπόγειου νερού

I (Infiltrazione): Ενεργή κατείσδυση

N (Non saturo): Συνθήκες ακόρεστης ζώνης

T (Tipologia della copertura): Εδαφικές συνθήκες (σχετικά με την ικανότητά τους για εξασθένηση της ρύπανσης)

A (Acquifero): Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά υδροφορέα

C (Conducibilità): Υδραυλική αγωγιμότητα

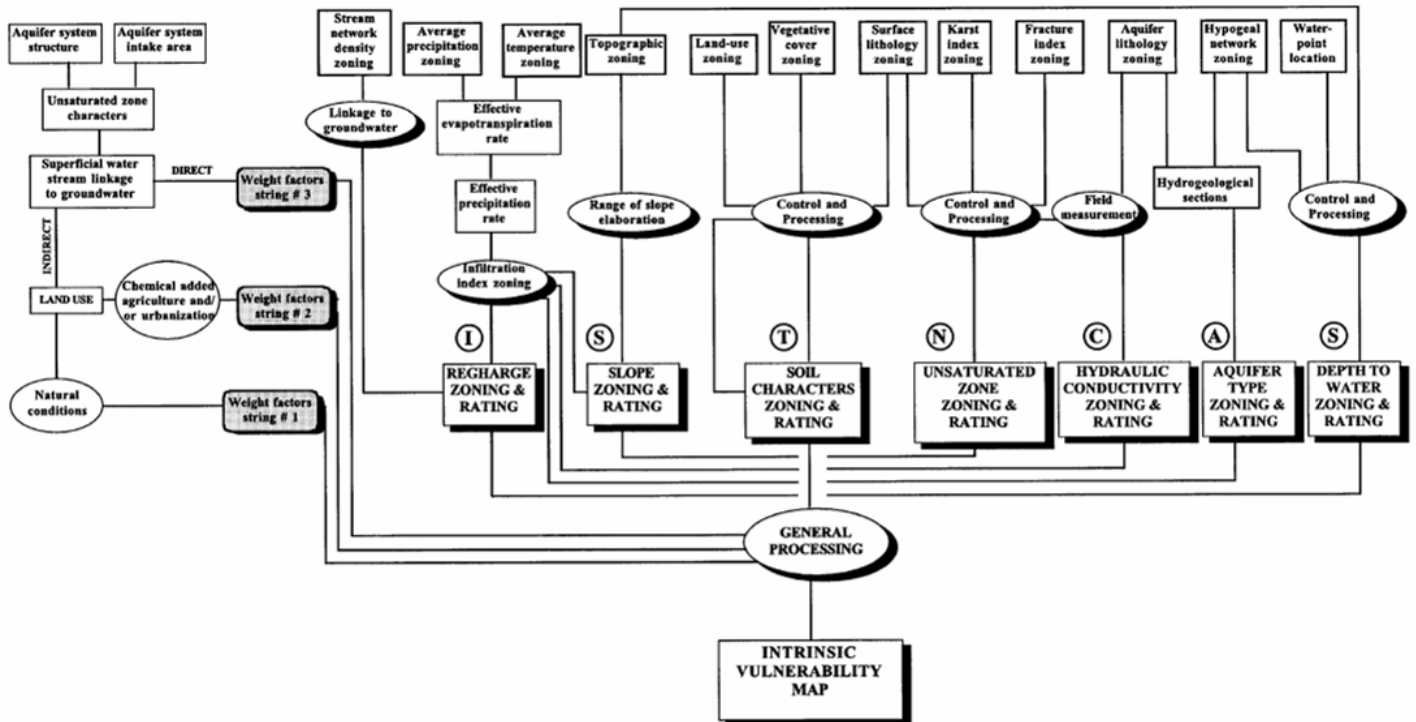
S (Superficie topografica): Τοπογραφικές κλίσεις

Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες λαμβάνει μια τιμή από το 0 έως το 10, ανάλογα με τη σημαντικότητα που παρουσιάζει στον καθορισμό της τρωτότητας. Οι τιμές αυτές έπειτα τροποποιούνται από τους συντελεστές βαρύτητας που δίνονται σε κάθε παράμετρο και σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εξεταζόμενη περιοχή. Συγκεκριμένα, η μέθοδος SINTACS λαμβάνει υπόψη τέσσερις πιθανές περιπτώσεις (Mustafa, Ali & Nezar, 2006):

1. Φυσιολογικές περιοχές
2. Περιοχές με εκτεταμένες πηγές ρύπανσης
3. Περιοχές που παρουσιάζουν καρστικά φαινόμενα
4. Περιοχές που παρουσιάζουν έντονο ρωγμάδες

Η τελική τιμή της τρωτότητας δίνεται από το άθροισμα των γινομένων των τιμών P_i επί των συντελεστών βαρύτητας W_i , για κάθε παράμετρο, δηλαδή:

$$I_{SINTACS} = \sum_{i=1}^n P_i \times W_i$$



Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου SINTACS (Civita, 1994) με τα επί μέρους βήματα εργασίας (Vrba & Zaporozec 1994, από Gogu & Dassargues, 2000).

Οι τιμές που προκύπτουν, ταξινομούνται σε έξι κατηγορίες:

- $I > 210$ → πολύ υψηλή τρωτότητα
- $186 < I < 210$ → υψηλή τρωτότητα
- $140 < I < 186$ → μετρίως υψηλή τρωτότητα
- $105 < I < 140$ → μέτρια τρωτότητα
- $80 < I < 105$ → χαμηλή τρωτότητα
- $I < 80$ → πολύ χαμηλή τρωτότητα

- EPIK

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Doerflinger (1996) και έχει ως άμεσο στόχο την εκτίμηση της τρωτότητας καρστικών υδροφορέων και της ρύπανση των πηγαίων τους νερών (Doerflinger et al., 1999). Ονομάστηκε EPIK από τα ακρονύμια των λέξεων **E**pikarst (Επικάρστ), **P**rotective cover (Προστατευτικό κάλυμμα), **I**nfiltration conditions (συνθήκες κατείσδυσης) και **K**arst network development (ανάπτυξη καρστικού δικτύου).

Αποτελεί μια μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης και ανήκει στη γενικότερη κατηγορία των μεθόδων υπέρθεσης και δεικτών. Κάθε μία παράμετρος πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή βαρύτητας και τα αποτελέσματα που προκύπτουν προσθέτονται, για να προκύψει η τελική τιμή βαθμονόμησης για την τρωτότητα.. Όσο

υψηλότερη είναι η προκύπτουσα τελική τιμή, τόσο υψηλότερη είναι η προστασία του φυσικού συστήματος, τόσο μικρότερη δηλαδή είναι η τρωτότητά του. Οι τελικές τιμές που προκύπτουν, ταξινομούνται σε κατηγορίες διαφορετικού δυναμικού τρωτότητας.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου ΕΡΙΚ πρέπει να γίνουν τα παρακάτω:

- Καθορισμός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης που τροφοδοτεί με υπόγειο νερό τον καρστικό υδροφορέα και κατά συνέπεια τις πηγές του (με βάση υδρογεωλογικά και γεωλογικά κριτήρια και αποτελέσματα ιχνηθετήσεων).

- Εκτίμηση των τεσσάρων παραμέτρων (E, P, I, K) και όπου είναι δυνατό, μέτρηση και χαρτογράφηση αυτών. Η εκτίμηση που γίνεται στο βήμα αυτό είναι ποσοτική.

- Επεξεργασία και αξιολόγηση των προκύπτοντων χαρτών για κάθε μία από τις παραμέτρους, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) για την σύνοψη αυτών στον τελικό χάρτη τρωτότητας.

- Αξιολόγηση του τελικού χάρτη τρωτότητας, για τον καθορισμό ζωνών προστασίας του καρστικού υδροφορέα.

Το δυσκολότερο βήμα της μεθόδου είναι το δεύτερο και για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν έπειτα υπό μορφή δεδομένων, μπορούν να εφαρμοστούν άμεσες και έμμεσες μέθοδοι, όπως ιχνηθετήσεις, γεωφυσικές μέθοδοι, γεωμορφολογικά κριτήρια, ανάλυση υδρογραφημάτων πηγών, γεωτρητικά δεδομένα, επεξεργασία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων κ.λπ.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επί μέρους παραμέτρων είναι (τροποποιημένα από Doerfliger, Jeannin & Zwahlen, 1999):

1) *Επικάρστ*

Πίνακας 2.3: Ταξινόμηση του επικάρστ (E), σύμφωνα με τη μέθοδο ΕΡΙΚ.

<i>Επικάρστ</i>		<i>Καρστική γεωμορφολογία</i>
Καλά ανεπτυγμένο	E ₁	Καρστικά φρέατα, καταβόθρες, δολίνες και έντονα τεκτονισμένες περιοχές (από παρατηρήσεις; σε τεχνητά πρηνή δρόμων ή λατομείων)
Μέτρια ανεπτυγμένο	E ₂	Ενδιάμεσα καρστικοποιημένες περιοχές, με διαδοχικές δολίνες, αποξηραμένες κοιλάδες και μέτριος τεκτονισμός των ανθρακικών πετρωμάτων
Ελάχιστα ανεπτυγμένο ή απουσία αυτού	E ₃	Απουσία καρστικών μορφολογικών φαινομένων και αραιός τεκτονισμός των ανθρακικών πετρωμάτων

Για τον χαρακτηρισμό των παραπάνω κατηγοριών E₁ - E₃, χρησιμοποιούνται αρχικά τοπογραφικοί χάρτες (κλίμακας 1:25.000, 1:10.000 ή 1:5.000), καθώς σημαντική κρίνεται και η μετέπειτα συμβολή αεροφωτογραφιών της περιοχής, για την επιβεβαίωση

των μορφολογικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζονται στο χάρτη, καθώς και η επεξεργασία δορυφορικών εικόνων LANDSAT, για τον καθορισμό ισχυρά τεκτονισμένων ζωνών.

2) Προστατευτικό κάλυμμα

Για τον υπολογισμό αυτής της παραμέτρου χρησιμοποιούνται εδαφολογικά στοιχεία και γεωλογικά δεδομένα, όπως Τεταρτογενείς αποθέσεις και τα λοιπά στρώματα (π.χ. άργιλοι, ψαμμίτες), που υπέρκεινται των ανθρακικών πετρωμάτων.

Πίνακας 2.4: Ταξινόμηση του προστατευτικού καλύμματος (P), σύμφωνα με τη μέθοδο ΕΡΙΚ.

<i>Προστατευτικό κάλυμμα</i>	<i>Χαρακτηρισμός</i>	
	A. Έδαφος που υπέρκειται απευθείας των ανθρακικών πετρωμάτων ή ενός στρώματος υψηλής περατότητας (το οποίο είναι υπερκείμενο των ανθρακικών πετρωμάτων), όπως π.χ. φερτά υλικά, κορήματα κ.λπ.	B. Έδαφος που υπέρκειται στρωμάτων με μικρή περατότητα, όπως ιλυώδεις αποθέσεις, άργιλοι κ.λπ.
P ₁	0-20 cm εδάφους	0-20 cm εδάφους υπερκείμενο στρωμάτων με πάχος μικρότερο από 1 m
P ₂	20-100 cm εδάφους	20-100 cm εδάφους υπερκείμενο στρωμάτων με πάχος μικρότερο από 1 m
P ₃	100-200 cm εδάφους	< 100 cm εδάφους ή > 100 cm εδάφους και > 100 cm στρωμάτων με μικρή περατότητα
P ₄	> 200 cm εδάφους	> 100 cm εδάφους και μεγάλου πάχους κορήματα πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας ή > 8 m αργίλου ή αργιλώδους ιλύος

Η ανώτερη μη συμπαγής ζώνη που υπέρκειται ενός καρστικού υδροφορέα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του στη ρύπανση. Τα εδαφικά υλικά που την απαρτίζουν, παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό εξασθένισης της ρύπανσης, λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους, όπως

είναι η υφή και γενικότερα η δομή τους, το πάχος, η περιεκτικότητά τους σε οργανική ύλη και αργιλικά ορυκτά, το βαθμό κορεσμού τους, την υδραυλική τους αγωγιμότητα κ.λπ. Οι παράμετροι αυτοί σχετίζονται με τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβάλλουν στην εξασθένιση της ρύπανσης. Για παράδειγμα, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του προστατευτικού καλύμματος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να κατεισδύσει και να φτάσει στον καρστικό υδροφορέα, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένιση της ρύπανσης (λόγω του ότι η οργανική ύλη είναι ιδιαίτερα ενεργή χημικά και λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας που παρουσιάζει). Για την κατηγοριοποίηση της παραμέτρου αυτής χρησιμοποιούνται τέσσερις κλάσεις, όπως δείχνεται στον Πίνακα 2.4.

Η χρησιμοποίηση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στη χαρτογράφηση των ορίων του εδαφικού καλύμματος και πιθανά και το πάχος του (σε κλίμακα μεγέθους), κάτι το οποίο πρέπει να επιβεβαιωθεί με δεδομένα υπαίθρου, από στοιχεία δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο των γεωτρήσεων, τόσο ασφαλέστερα είναι τα αποτελέσματα που εξάγονται, περιορίζοντας έτσι τα σφάλματα που προκύπτουν λόγω της χωρικής ετερογένειας που παρουσιάζει το προστατευτικό κάλυμμα.

3) Συνθήκες κατείσδυσης

Πίνακας 2.5: Ταξινόμηση των συνθηκών κατείσδυσης (I), σύμφωνα με τη μέθοδο EPIK.

<i>Συνθήκες κατείσδυσης</i>	<i>Χαρακτηρισμός</i>
I ₁	Μόνιμα ή εποχιακά υδρορέματα που τροφοδοτούν καταβόθρες ή δολίνες
I ₂	Περιοχές της λεκάνης απορροής με υδρορέματα που ανήκουν στην κατηγορία I ₁ , με τοπογραφική κλίση μεγαλύτερη από 10%, για καλλιεργούμενες περιοχές και 25% για περιοχές που αποτελούνται από λιβάδια και βοσκότοπους
I ₃	Περιοχές της λεκάνης απορροής με υδρορέματα που ανήκουν στην κατηγορία I ₁ , με τοπογραφική κλίση μικρότερη από 10%, για καλλιεργούμενες περιοχές και 25% για περιοχές που αποτελούνται από λιβάδια και βοσκότοπους. Περιοχές χαμηλού τοπογραφικού αναγλύφου στις οποίες καταλήγουν τα νερά της επιφανειακής απορροής και πλαγίες που τροφοδοτούν αυτές τις περιοχές (με κλίσεις υψηλότερες από: 10% για καλλιεργούμενες περιοχές και 25% για περιοχές που αποτελούνται από λιβάδια και βοσκότοπους)
I ₄	Οι υπόλοιπες περιοχές της λεκάνης απορροής

Η παράμετρος αυτή δεν αντιμετωπίζει ποσοτικά ή χωρικά την κατείσδυση. Η διάχυτη κατείσδυση έχει διαφορετικό αποτέλεσμα από τη συγκεντρωμένη. Για την κατείσδυση δίνονται στη μέθοδο αυτή τέσσερις κατατάξεις: i) Συγκεντρωμένη, ii) Διάχυτη, iii) Ενδιάμεση, όπου η επιφανειακή απορροή είναι σημαντική και iv) Κατείσδυση που αφορά την υπόλοιπη λεκάνη. Για την κατηγοριοποίηση της παραμέτρου αυτής χρησιμοποιούνται τέσσερις κλάσεις, όπως δείχνεται στον Πίνακα 2.5.

Οι συνθήκες επιφανειακής απορροής που επικρατούν σε μια λεκάνη αποτελούν σημαντική παράμετρο για τον καθορισμό των συνθηκών κατείσδυσης που επικρατούν σε αυτήν. Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής εξαρτάται από τις τοπογραφικές κλίσεις και από τη βλάστηση. Απότομες πλαγιές σε συνδυασμό με μικρή ανάπτυξη της βλάστησης, συνεπάγεται σε υψηλή τρωτότητα, διότι θεωρείται ότι μεγαλύτερη ποσότητα ύδατος θα κατεισδύσει στις περιοχές με χαμηλό τοπογραφικό ανάγλυφο.

4) Ανάπτυξη καρστικού δικτύου

Η ανάπτυξη του καρστικού δικτύου διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα κίνησης του νερού μέσα σε αυτό και κατά συνέπεια στην τρωτότητα του καρστικού υδροφορέα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, μια λεπτομερής χαρτογράφηση του δικτύου αυτού δεν είναι εύκολη, οπότε όταν εξετάζουμε μια συγκεκριμένη λεκάνη, βαθμονομούμε την καρστικότητα σε όλη τη λεκάνη με την ίδια τιμή. Για την κατηγοριοποίηση της παραμέτρου αυτής χρησιμοποιούνται τρεις κατηγορίες, όπως δείχνεται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Ταξινόμηση του καρστικού δικτύου (K), σύμφωνα με τη μέθοδο EPIK.

Καρστικό δίκτυο		Χαρακτηρισμός
Καλά ανεπτυγμένο	K ₁	Παρουσία καρστικών αγωγών διαστάσεων μερικών εκατοστών έως και κάποιων μέτρων, που επικοινωνούν καλά μεταξύ τους
Φτωχά ανεπτυγμένο	K ₂	Παρουσία καρστικών αγωγών διαστάσεων μερικών εκατοστών (έως 10 cm) και κάποιων μέτρων που δεν επικοινωνούν καλά μεταξύ τους
Σχετικά ανεπτυγμένο ή τεκτονισμένος υδροφορέας	K ₃	Μη καρστικοποιημένος, διερρηγμένος υδροφορέας. Ύπαρξη πηγής που εκδηλώνεται σε πορώδες έδαφος

Χαρακτηριστικές καρστικές εμφανίσεις (π.χ. δολίνες, καταβόθρες) δεν είναι πάντα παρούσες στα ανθρακικά πετρώματα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να εκτιμηθεί η

επικοινωνία των καρστικών αγωγών και κατά συνέπεια ο βαθμός καρστικότητας των ανθρακικών πετρωμάτων με έμμεσες μεθόδους, όπως με την ανάλυση υδρογραφημάτων και τη χρήση μεθόδων ιχνηθέτησης. Τρεις κύριες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της παραμέτρου αυτής και δίνονται παρακάτω. Η διάκριση ανάμεσα στην κλάση K_1 και K_2 είναι αρκετά δύσκολη, ακόμη και κατά την πολύ προσεκτική χρήση των μεθόδων.

- Ανάλυση βραχυπρόθεσμης εκφόρτισης

Ο καθορισμός του χρόνου που χρειάζεται το νερό των κατακρημνισμάτων να εκφορτιστεί από μια καρστική πηγή βασίζεται σε απλές παραδοχές. Θεωρείται ότι υπάρχει ανεπτυγμένο καρστικό δίκτυο όταν: Ι) ο χρόνος απόκρισης της πηγής είναι 2-24 ώρες, ύστερα από έντονη βροχόπτωση που κυμαίνεται από 15 έως 25 mm (Κάτι που βέβαια εξαρτάται και από την εποχή και την εκάστοτε περιοχή), ΙΙ) η μέγιστη παροχή, που είναι τουλάχιστον διπλάσια της παροχής πριν την εκδήλωση της βροχής, ακολουθείται από απότομη μείωση της τιμής της (απότομη καμπύλη πτώσης), που ακολουθείται από μία μακρόχρονη παροχή εκφόρτισης (σχετικά ομαλή καμπύλη στείρευσης). Η μέθοδος αυτή απαιτεί καταγραφές της παροχής της πηγής για μερικούς μήνες, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί και όταν οι τιμές της παροχής είναι κατ' εκτίμηση.

- Ανάλυση μακροπρόθεσμης εκφόρτισης

Η μέθοδος αυτή απαιτεί υδρογράμματα καρστικών πηγών για έναν τουλάχιστον υδρολογικό κύκλο. Τα τελικά αποτελέσματα για την ανάπτυξη του καρστικού δικτύου εξάγονται από τη μελέτη της καμπύλης υποχώρησης του υδρογράμματος και σύμφωνα με τη σχέση που πρότεινε ο Mangin (1975), εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την ετερογένεια και τις υδραυλικές παραμέτρους της μη κορεσμένης ζώνης του καρστ και κατά συνέπεια για την ανάπτυξη του καρστικού δικτύου. Οι Bakalowicz και Mangin (1980), έδειξαν πως η φαινόμενη ετερογένεια των καρστικών υδροφορέων δεν είναι αποτέλεσμα μιας τυχαίας παράθεσης διαφόρων καρστικών αγωγών και κενών, αλλά καθορίζεται από την κατανομή τους με κάποια συγκεκριμένη ιεράρχηση, γύρω από έναν αποστραγγιστικό άξονα. Η μέθοδος του Mangin δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα στις περισσότερες των περιπτώσεων. Η κατηγορία K_1 αντιστοιχεί στις κατατάξεις I έως III κατά Mangin (1982), η κατηγορία K_2 αντιστοιχεί στην κατάταξη IV και η κατηγορία K_3 αντιστοιχεί στην κατάταξη V.

- Μέθοδοι ιχνηθετήσεων

Με τις μεθόδους αυτές μπορούμε να εκτιμήσουμε την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού μέσα στο καρστ και κατά συνέπεια να εκτιμήσουμε την ανάπτυξη του καρστικού δικτύου.

Εάν η μέση ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού είναι μεγαλύτερη από 15 m/h, σε μικρά απόλυτα υψόμετρα της στάθμης του υπόγειου νερού και μεγαλύτερη από 75 m/h, σε μεγάλα απόλυτα υψόμετρα της στάθμης του υπόγειου νερού, αυτό υποδεικνύει την παρουσία καρστικού δικτύου. Παρόλα αυτά όμως, μικρότερες ταχύτητες κίνησης δεν υποδεικνύουν και την έλλειψη καρστικού δικτύου.

▪ *Εκτίμηση της τρωτότητας με τη μέθοδο EPIK*

Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει τη βαθμονόμηση μιας περιοχής με την επί μέρους κατηγοριοποίηση κάθε παραμέτρου. Η τελική βαθμονόμηση γίνεται για έναν επιλεγμένο κανάβο, που καθορίζεται από τη χωρική κατανομή των δεδομένων. Όσο πιο πυκνά είναι τα δεδομένα για μια περιοχή, τόσο μικρότερη είναι η κυψελίδα του κανάβου, στην οποία και δίνεται η τιμή της προκύπτουσας βαθμονόμησης. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου δίνεται μια τιμή για τη βαθμολογία (rating) της κάθε μεθόδου, η οποία πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή βαρύτητας (weighting coefficient). Η τελική τιμή του συντελεστή προστασίας του φυσικού συστήματος F_p , υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε κυψελίδα του κανάβου από τον παρακάτω τύπο:

$$F_p = \alpha \times E_i + \beta \times P_j + \gamma \times I_k + \delta \times K_l$$

Χαμηλή τιμή F_p αντιστοιχεί σε υψηλή τρωτότητα. Για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας α , β , γ , δ και την κατηγοριοποίηση των E_i , P_j , I_k , K_l , διεξήχθησαν αρκετά εμπειρικά πειράματα (Doerfliger, Jeannin & Zwahlen, 1999). Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των πιο πάνω παραμέτρων, οι περισσότεροι τρωτές περιπτώσεις υδροφορέων είναι αυτών που αποτελούνται από γυμνά καρστ με δολίνες, από περιοχές με συγκεντρωμένη τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα (π.χ. κατείσδυση του νερού ενός υδρορέματος απ' ευθείας σε μια καταβόθρα) και από καλά ανεπτυγμένο καρστικό δίκτυο.

Ο παρακάτω Πίνακας 2.7 δίνει τις βαθμονομήσεις για τις παραμέτρους E, P, I, K. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή, τόσο ψηλότερη η ευαισθησία του υδροφορέα στη ρύπανση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7: Βαθμονόμηση των παραμέτρων E, P, I, K.

Επικάρστ			Προστατευτικό κάλυμμα				Συνθήκες κατείσδυσης				Καρστικό δίκτυο		
E_1	E_2	E_3	P_1	P_2	P_3	P_4	I_1	I_2	I_k	I_4	K_1	K_2	K_3
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

Οι συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράμετρο δίνονται στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Συντελεστές βαρύτητας για κάθε μία από τις παραμέτρους E, P, I, K.

Επικάρστ	Προστατευτικό κάλυμμα	Συνθήκες κατείσδυσης	Καρστικό δίκτυο
α	β	γ	δ
3	1	3	2

Στον Πίνακα 2.9 δίνονται για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων και των συντελεστών βαρύτητας, οι αντίστοιχες τιμές του F_p που προκύπτουν.

Πίνακας 2.9: Υπολογισμός του συντελεστή προστασίας του φυσικού συστήματος F_p .

Καλά ανεπτυγμένο καρστικό δίκτυο: K = 1

Συνθήκες κατείσδυσης	$I_1=1$			$I_2=2$			$I_3=3$			$I_4=4$		
Επικάρστ →	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$
Προστατευτικό κάλυμμα												
P_1	9	15	18	12	18	21	15	21	24	18	24	27
P_2	10	16	19	13	19	22	16	22	25	19	25	28
P_3	-	17	20	14	20	23	17	23	26	20	26	29
P_4	-	18	21	15	21	24	18	24	27	21	27	30

Φτωχά ανεπτυγμένο καρστικό δίκτυο: K = 2

Συνθήκες κατείσδυσης	$I_1=1$			$I_2=2$			$I_3=3$			$I_4=4$		
Επικάρστ →	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$
Προστατευτικό κάλυμμα												
P_1	11	17	20	14	20	23	17	23	26	20	26	29
P_2	12	18	21	15	21	24	18	24	27	21	27	30
P_3	-	19	22	16	22	25	19	25	28	22	28	31
P_4	-	20	23	17	23	26	20	26	29	23	29	32

Απουσία καρστικού δικτύου: K = 3

Συνθήκες κατείσδυσης	$I_1=1$			$I_2=2$			$I_3=3$			$I_4=4$		
Επικάρστ →	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$	$E_1=1$	$E_2=3$	$E_3=4$
Προστατευτικό Κάλυμμα												
P_1	13	19	22	16	22	25	19	25	28	22	28	31
P_2	14	20	23	17	23	26	20	26	29	23	29	32
P_3	-	21	24	18	24	27	21	27	30	24	30	33
P_4	-	22	25	19	25	28	22	28	31	25	31	34

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 2.10 γίνεται και η τελική κατάταξη του υδροφορέα ως προς την τρωτότητά του:

Πίνακας 2.10: Τελική κατάταξη της τρωτότητας του καρστικού υδροφορέα.

Τρωτότητα	Συντελεστής προστασίας του φυσικού συστήματος F_p
Πολύ υψηλή	≤ 19
Υψηλή	20-25
Μέτρια	> 25
Χαμηλή	Παρουσία προστατευτικού καλύμματος P_4

- Πρότυπο Evans

Ο Evans (1987), θεώρησε ότι η πιθανότητα προς ρύπανση ενός υδροφόρου, εξαρτάται από μεγάλο αριθμό φυσικών και περιβαλλοντικών μεταβλητών, οι οποίες μεταξύ άλλων είναι: ο τύπος του εδάφους, το βάθος της κορεσμένης ζώνης του υδροφόρου, το μέγεθος του υδροφόρου κ.λπ. Για την επεξεργασία των δεδομένων ο Evans πρότεινε τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.), με τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων η οποία θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

- την υδροπερατότητα του εδάφους
- το βάθος της κορεσμένης ζώνης
- τη χρήση γης
- τη φυτική κάλυψη της γης
- την πυκνότητα του συστήματος αποχέτευσης
- τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου κ.λπ.

Για κάθε παράγοντα ξεχωριστά δίνεται και μια βαθμονόμηση της τιμής που αυτός λαμβάνει κάθε φορά, καθώς και ένας συντελεστής βαρύτητας. Με βάση ορισμένους αλγόριθμους, προκύπτει ένας τελικός «δείκτης» αλγόριθμος, που υποδηλώνει την τρωτότητα της εκάστοτε περιοχής στη ρύπανση (Καλλέργης, 2000). Στους Πίνακες 2.11 έως 2.17, που ακολουθούν, δίνονται οι βαθμονομήσεις κάθε παράγοντα, καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας, σύμφωνα με το πρότυπο Evans.

Πίνακας 2.11: Συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράγοντα που χρησιμοποιεί το πρότυπο Evans (από Καλλέργη, 2000).

<i>Παράγοντας</i>	<i>Συντελεστής βαρύτητας</i>
Βάθος ακόρεστης ζώνης	5
Εμπλουτισμός υδροφόρου	4
Υλικό υδροφόρου	3
Υλικό εδάφους	2
Τοπογραφία	2
Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	5
Υδροπερατότητα υδροφόρου	3

Πίνακας 2.12: Βαθμονόμηση βάθους κορεσμένης ζώνης και καθαρού εμπλουτισμού (από Καλλέργη, 2000).

<i>Βάθος κορεσμένης ζώνης σε m</i>	<i>Βαθμός</i>	<i>Καθαρός εμπλουτισμός σε mm</i>
0-1,5	10	-
1,5-3,0	9	> 254
-	8	254-178
3,0-9,0	7	-
-	6	178-102
9,0-15,2	5	-
15,2-22,9	3	102-51
22,9-30,5	2	-
> 30,5	1	51-0

Πίνακας 2.13: Βαθμονόμηση των λιθοφασικών χαρακτηριστικών των υλικών του υδροφόρου
(από Καλλέργη, 2000).

Λιθοφασικά χαρακτηριστικά	Βαθμός	Βαθμός τυπικής περίπτωσης
Συμπαγείς σχιστόλιθοι	1-3	2
Μεταμορφωμένα-Πυριγενή	2-5	3
Αποσθρωμένα Μεταμορφωμένα-Πυριγενή	3-5	4
Εναλλαγές ψαμμιτών, ασβεστολίθων και σχιστολίθων	5-9	6
Συμπαγείς ψαμμίτες-ασβεστόλιθοι	4-9	6
Άμμοι-χαλίκια	6-9	8
Βασάλτες	2-10	9
Καρστικοί ασβεστόλιθοι	9-10	10

Πίνακας 2.14: Βαθμονόμηση των λιθοφασικών χαρακτηριστικών των υλικών της ακόρεστης ζώνης
(από Καλλέργη, 2000).

Λιθοφασικά χαρακτηριστικά	Βαθμός	Βαθμός τυπικής περίπτωσης
Ιλύες-άργιλοι	1-3	2
Σχιστόλιθοι	2-5	3
Ασβεστόλιθοι	2-7	4
Ψαμμίτες	4-8	6
Στρωμένοι ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι	4-8	6
Άμμοι-χαλίκια με πολύ ιλύ και άργιλο	4-8	6
Μεταμορφωμένα-Πυριγενή	2-8	64
Άμμοι-χαλίκια	6-9	8
Βασάλτες	2-10	9
Καρστικοί ασβεστόλιθοι	8-10	10

Πίνακας 2.15: Βαθμονόμηση των λιθοφασικών χαρακτηριστικών του εδάφους και της πυκνότητας των
σηπτικών βόθρων (από Καλλέργη, 2000).

Χαρακτηριστικά εδάφους	Βαθμός	Πυκνότητα σηπτικών βόθρων (βόθροι/εκταριο)
Μικρό πάχος ή ανύπαρκτο έδαφος	10	-
Χαλίκια	10	-
Άμμος	9	-
Αργίλος με ρωγμές και συσσωματώματα	7	-
Αμμώχος πηλός	6	> 4
Πηλός	5	-
Ιλυώχος πηλός	4	-
Αργιλούχος πηλός	3	2-4
Αργίλος μη συρρικνούμενη ή συσσωματούμενη	1	0-2

Πίνακας 2.16: Βαθμονόμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας και της τοπογραφίας
(από Καλλέργη, 2000).

Υδραυλική αγωγιμότητα σε m/sec	Βαθμός	Τοπογραφία (% κλίση)
$1,4 \times 10^{-7} - 1,4 \times 10^{-5}$	1	> 18
$1,4 \times 10^{-5} - 4,3 \times 10^{-5}$	2	-
-	3	12-18
$4,3 \times 10^{-5} - 10^{-4}$	4	-
-	5	6-12
$10^{-4} - 1,4 \times 10^{-3}$	6	-
$1,4 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-3}$	8	-
-	9	2-6
$> 3,0 \times 10^{-3}$	10	0-2

Πίνακας 2.17: Βαθμονόμηση της χρήσης γης και της φυτοκάλυψης της γης
(από Καλλέργη, 2000).

<i>Χρήση</i>	<i>Βαθμός</i>
Σκουπιδότοπος, Χωματερή	10
Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων	10
Καλλιεργούμενη γη	9
Νεκροταφεία αυτοκινήτων και υλικών	9
Λατομεία - Δανειοθάλαμοι αδρανών	6
Επιφανειακές μεταλλευτικές εργασίες	6
Αρδευση με ψεκάσμο υγρών αποβλήτων	6
Περιορισμένοι βοσκότοποι	6
Ελεύθεροι βοσκότοποι	5
Αστικές δραστηριότητες	5
Γήπεδα γκολφ	3
Πυκνή κατοίκηση	3
Μέτρια από πλευράς πυκνότητας κατοίκηση	2
Εποχικό πάρκο για τροχόσπιτα	2
Αραιά κατοίκηση	1
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων	1
Άλλες χρήσεις	0

Ο τελικός «δείκτης δραστικότητας» (drastic index) προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων του αλγορίθμου κάθε παράγοντα, επί τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του «δείκτη δραστικότητας», τόσο υψηλότερο είναι και το δυναμικό προς ρύπανση του υδροφόρου. Με βάση τις προκύπτουσες τιμές, κατασκευάζεται και ο τελικός χάρτης, στον οποίο είναι δυνατός ο εντοπισμός των περιοχών μικρότερης ή μεγαλύτερης ευαισθησίας (τρωτότητας), στη ρύπανση των υπόγειων νερών. Ο χάρτης αυτός αποτελεί και χάρτη ρυπαντικής επικινδυνότητας (pollution hazard assessment map), ενός υδροφόρου συστήματος.

- DRASTIC

Η μέθοδος DRASTIC αναπτύχθηκε από τους Aller et al. (1985 & 1987) και ανήκει στις μεθόδους υπέρθεσης και δεικτών. Αποτελεί την ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο στη διεθνή βιβλιογραφία, λόγω του πολυπαραγοντικού χαρακτήρα που παρουσιάζει, καθώς και της ευχέρειας που δίνει στο μελετητή να συμπεριλάβει και άλλους παράγοντες στην εκτίμηση της τρωτότητας ή ακόμη να παραλείψει κάποιους σε περίπτωση ανασφαλών ή ελλιπών δεδομένων. Θεωρείται η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τις περισσότερες των παραμέτρων που συμμετέχουν σε ένα υδροφόρο σύστημα, περιγράφοντας όσο το δυνατόν καλύτερα τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες.

Η μέθοδος ονομάστηκε έτσι από τα ακρωνύμια των παραμέτρων τις οποίες λαμβάνει υπόψη της: **Depth** to groundwater (βάθος υπόγειου νερού), **Recharge** rate (τιμή ενεργής κατείσδυσης), **Aquifer** media (υλικό υδροφορέα), **Soil** media (εδαφικό υλικό),

Topography (κλίση αναγλύφου), Impact of the vadose zone (επίδραση της ακόρεστης ζώνης), hydraulic Conductivity of the aquifer (υδραυλική αγωγιμότητα υδροφορέα).

Η μικρότερη έκταση στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί είναι αυτή των 100 acres, περίπου δηλαδή 0,4 km². Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για περιοχές που κατείχαν οριακά την ελάχιστη έκταση, έως και για πολύ μικρότερες κλίμακες, για περιοχές έκτασης χιλιάδων km². Ο καθορισμός του δείκτη DRASTIC σε μια περιοχή προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της βαθμολογίας που προκύπτει για κάθε παράμετρο, με ένα συντελεστή βαρύτητας που είναι συγκεκριμένος για κάθε παράμετρο. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του τελικού δείκτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η τρωτότητα του υδροφορέα. Κάθε μία παράμετρος βαθμολογείται σε μια κλίμακα από το 1 έως το 10, η οποία αντιπροσωπεύει το σχετικό δυναμικό κάθε παραμέτρου στη ρύπανση και οι συντελεστές βαρύτητας με τους οποίους πολλαπλασιάζονται κυμαίνονται από 1 έως 5. Η τελική τιμή του δείκτη DRASTIC (DI) προκύπτει από το άθροισμα των προκύπτοντων γινομένων, δηλαδή:

$$DRASTIC\ Index = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w$$

όπου:

r = η βαθμολογία (rating) για κάθε παράμετρο, χωρικά κατανεμημένη στην περιοχή μελέτης και

w = ο συντελεστής βαρύτητας (importance weight) για κάθε παράμετρο

Οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας καθορίζουν τη σχετική «σπουδαιότητα» κάθε παραμέτρου, σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε για να εκτιμήσει την ιδιοτρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση, έπειτα όμως εξελίχθηκε και τροποποιήθηκε, εκτιμώντας την ειδική τρωτότητα ενός υδροφορέα για συγκεκριμένο ρυπαντή (συγκεκριμένα για έρευνες σε περιοχές με νιτρορύπανση) και ονομάστηκε Pesticide DRASTIC. Παρακάτω δίνονται οι βαθμολογίες και τους συντελεστές βαρύτητας για τις επί μέρους παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη στη μέθοδο αυτή (Aller et al., 1987, από Canter, 1997).

- Depth to groundwater

Το βάθος του υπόγειου νερού αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο στην εκτίμηση της τρωτότητας, διότι αρχικά καθορίζει το πάχος του υλικού το οποίο πρέπει να διανύσει ένας ρύπος, για να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος για το οποίο το κατεισδύον νερό θα έρχεται σε επαφή με τα υλικά της ακόρεστης ζώνης του υδροφορέα.

(Aller et al., 1987 από Canter, 1997). Οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.18, προέκυψαν ύστερα από εκτεταμένες υδρογεωλογικές έρευνες, σε πολυάριθμους υδροφορείς των Η.Π.Α. και θεωρούνται ως τα βάθη στα οποία το δυναμικό των υπόγειων νερών προς ρύπανση αλλάζουν σημαντικά.

Πίνακας 2.18: Βαθμολογία για την παράμετρο D (βάθος υπόγειου νερού).

Παράμετρος D (βάθος υπόγειου νερού)		
<i>Τιμή (σε ft)</i>	<i>Τιμή (σε m)</i>	<i>Βαθμολογία</i>
0-5	0-1,524	10
5-15	1,524-4,572	9
15-30	4,572-9,144	7
30-50	9,144-15,24	5
50-75	15,24-22,86	3
75-100	22,86-30,48	2
> 100	> 30,48	1

- Recharge rate

Η τιμή της ενεργής κατείσδυσης αναφέρεται στη συνολική ποσότητα του νερού που εμπλουτίζει τα αποθέματα του υπόγειου υδροφορέα.

Πίνακας 2.19: Βαθμολογία για την παράμετρο R (τιμή ενεργής κατείσδυσης).

Παράμετρος R (τιμή ενεργής κατείσδυσης)		
<i>Τιμή (σε in)</i>	<i>Τιμή (σε mm)</i>	<i>Βαθμολογία</i>
0-2	50,8	1
2-4	50,8-101,6	3
4-7	101,6-177,8	6
7-10	177,8-254	8
> 10	> 254	9

- Aquifer media

Το υλικό του υδροφορέα αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της τρωτότητας, όσον αφορά την ικανότητά του να συμμετέχει στην εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου.

Πίνακας 2.20: Βαθμολογία για την παράμετρο A (υλικό υδροφορέα).

Παράμετρος A (υλικό υδροφορέα)		
<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>Βαθμολογία</i>	<i>Τυπική Βαθμολογία</i>
Μαζώδης σχιστή άργιλος	1-3	2
Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	2-5	3
Αποσαθρωμένα Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	3-5	4
Παγετώδεις αποθέσεις	4-6	5
Ενστρώσεις ψαμμιτών, ασβεστόλιθοι, ενστρώσεις σχιστής αργίλου	5-9	6
Μαζώδης ψαμμίτης	4-9	6
Μαζώδης ασβεστόλιθος	4-9	6
Άμμοι και κροκάλες	4-9	8
Βασάλτης	2-10	9
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	9-10	10

- Soil media

Το εδαφικό υλικό συμμετέχει κι αυτό με τη σειρά του στις διαδικασίες εξασθένισης των ρύπων, με τη δράση της οργανικής ύλης και των αργιλικών ορυκτών που πιθανά περιέχει.

Πίνακας 2.21: Βαθμολογία για την παράμετρο S (εδαφικό υλικό).

Παράμετρος S (εδαφικό υλικό)	
<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>Βαθμολογία</i>
Πολύ λεπτό εδαφικό κάλυμμα ή απών	10
Χαλίκια	10
Άμμος	9
Διογκούμενη άργιλος και/ή άργιλος με συσσωματώματα	7
Αμμώδης πηλός	6
Πηλός	5
Ιλυώδης πηλός	4
Αργιλώδης πηλός	3
Μη διογκούμενη και / ή άργιλος άνευ συσσωματωμάτων	1

- Topography

Η παράμετρος της τοπογραφίας στην εκτίμηση της τρωτότητας, σχετίζεται με την ικανότητα του νερού να κατεισδύει ευκολότερα σε περιοχές με ομαλή τοπογραφική κλίση και να απορρέει αντίστοιχα σε περιοχές με μεγάλη κλίση.

Πίνακας 2.22: Βαθμολογία για την παράμετρο T (κλίση αναγλύφου).

Παράμετρος T (κλίση αναγλύφου)		
<i>Τιμή (% κλίση)</i>	<i>Τιμή (°)</i>	<i>Βαθμολογία</i>
0-2	0 - 1,15°	10
2-6	1,15° - 3,43°	9
6-12	3,43° - 6,84°	5
12-18	6,84° - 10,2°	3
> 18	> 10,2°	1

- Impact of the vadose zone

Η ακόρεστη ζώνη ορίζεται σαν η ζώνη του υδροφορέα που υπέρκειται του υδροφόρου ορίζοντα. Το υλικό της ακόρεστης ζώνης διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα του υδροφορέα προς ρύπανση, διότι η κοκκομετρία του υλικού που την αποτελεί, η ορυκτολογία των εδαφικών υλικών της (κυρίως η περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά), καθώς και η περιεκτικότητά της σε οργανική ύλη, αποτελούν παραμέτρους που καθορίζουν την ικανότητά της να «προστατεύει» τον υπόγειο υδροφορέα από τους επιφανειακούς ρυπαντές. Γνωρίζοντας ότι για τους περισσότερους υδροφορείς η ταχύτητα του υπόγειου νερού στην ακόρεστη ζώνη είναι μικρότερη από αυτήν στην κορεσμένη (Boulding, 1995), κατανοείται η σημασία της ακόρεστης ζώνης, μιας και οι διάφοροι ρυπαντές θα κινηθούν αργότερα σε σχέση με την κορεσμένη ζώνη, έχοντας μεγαλύτερη δυνατότητα να συγκρατηθούν από αυτήν. Για παράδειγμα, στη ζώνη των ριζών των φυτών, διάφοροι ρυπαντές μπορούν να απομακρυνθούν από το έδαφος και να ενσωματωθούν στον φυτικό ιστό ή ακόμη να παραμείνουν στην εδαφική ζώνη, ύστερα από τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής του νερού, μέχρι την επόμενη κατείσδυση υπόγειου νερού, ευνοώντας με τον τρόπο αυτό τις χημικές διαδικασίες ρόφησης, συμβάλλοντας κατά συνέπεια στη φυσική απορρύπανση του υπόγειου νερού.

Η ταξινόμηση της ακόρεστης ζώνης στη μέθοδο DRASTIC, γίνεται βάσει της κοκκομετρίας, του ρωγμώδους που παρουσιάζει ο υδροφορέας ή του δευτερογενούς πορώδους και του δυναμικού ρόφησης που παρουσιάζουν τα υλικά που την αποτελούν.

Πίνακας 2.23: Βαθμολογία για την παράμετρο I (επίδραση της ακόρεστης ζώνης).

Παράμετρος I (επίδραση της ακόρεστης ζώνης)		
Χαρακτηρισμός	Βαθμολογία	Τυπική Βαθμολογία
Στρώμα υπό πίεση	1	1
Ιλύς / άργιλος	2-6	3
Σχιστή άργιλος	2-5	3
Ασβεστόλιθος	2-7	6
Ψαμμίτης	4-8	6
Στρωματώδης ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, σχιστή άργιλος	4-8	6
Άμμοι & χαλίκια με σημαντικό ποσοστό ιλύος και αργίλου	4-8	6
Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	2-8	4
Άμμοι & χαλίκια	6-9	8
Βασάλτης	2-10	9
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	8-10	10

- hydraulic Conductivity of the aquifer

Η υδραυλική αγωγιμότητα που παρουσιάζει ένα υδροφόρο σύστημα στο σύνολό του και η χωρική κατανομή αυτής (τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη έννοια), αποτελεί καθοριστική παράμετρο όσων αφορά την ικανότητα του υπόγειου νερού να μεταφέρει τους ρυπαντές. Οι τιμές της καθορίζονται από δοκιμαστικές αντλήσεις, σε όσο το δυνατό πυκνότερο δίκτυο γεωτρήσεων, για την καλύτερη και πιο αξιόπιστη απεικόνιση της κατανομής της στον υδροφορέα.

Πίνακας 2.24: Βαθμολογία για την παράμετρο C (υδραυλική αγωγιμότητα υδροφορέα). Η μονάδα gpd/ft^2 αντιστοιχεί σε γαλόνια ανά ημέρα ανά τετραγωνικό πόδι ($\text{U.S. gal}/\text{day}/\text{ft}^2$).

Παράμετρος C (υδραυλική αγωγιμότητα υδροφορέα)		
Τιμή (gpd/ft^2)	Τιμή (m/sec)	Βαθμολογία
1-100	$4,72 \times 10^{-7} - 4,72 \times 10^{-5}$	1
100-300	$4,72 \times 10^{-5} - 1,42 \times 10^{-4}$	2
300-700	$1,42 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-4}$	4
700-1000	$3,3 \times 10^{-4} - 4,72 \times 10^{-4}$	6
1000-2000	$4,72 \times 10^{-4} - 9,43 \times 10^{-4}$	8
> 2000	$> 9,43 \times 10^{-4}$	10

$$1 \text{ m/sec} = 2,12 \times 10^6 \text{ gal/day/ft}^2$$

Στους παρακάτω Πίνακες δίνονται οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας για κάθε μία από τις παραμέτρους, τόσο για την τυπική, όσο και για την “Pesticide DRASTIC”.

Πίνακας 2.25: Τιμές των συντελεστών βαρύτητας για την τυπική μέθοδο DRASTIC.

Παράγοντας	Συντελεστής βαρύτητας
D	5
R	4
A	3
S	2
T	1
I	5
C	3

Πίνακας 2.26: Τιμές των συντελεστών βαρύτητας για τη μέθοδο Pesticide DRASTIC.

Παράγοντας	Συντελεστές βαρύτητας
<i>D</i>	5
<i>R</i>	4
<i>A</i>	3
<i>S</i>	5
<i>T</i>	3
<i>I</i>	4
<i>C</i>	2

Από τους Πίνακες 2.25 & 2.26, προκύπτει ότι οι παράμετροι στους οποίους δίνεται η μεγαλύτερη βαρύτητα, είναι το βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού και η επίδραση της ακόρεστης ζώνης. Η μέθοδος DRASTIC, κατά την εφαρμογή της, κάνει τις εξής παραδοχές: i) ο κάθε είδους ρυπαντής εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους, ii) ο ρυπαντής φτάνει στο υπόγειο νερό παρασυρόμενος από το κατεισδύον νερό των κατακρημνισμάτων, iii) ο ρυπαντής έχει την ίδια ικανότητα κίνησης με αυτή του νερού.

Συνδυάζοντας τους πιο πάνω Πίνακες που σχετίζονται με τη βαθμονόμηση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά και την εφαρμογή των συντελεστών βαρύτητας, δίνονται οι τελικές τιμές για την εκτίμηση της τρωτότητας. Για την τυπική μέθοδο DRASTIC κυμαίνονται από 26 έως 226, ενώ για την Pesticide DRASTIC κυμαίνονται από 29 έως 256. Όσο μεγαλύτερη είναι η τελική τιμή της τρωτότητας για μια περιοχή, τόσο υψηλότερο είναι το δυναμικό προς ρύπανση στην περιοχή αυτή. Οι Aller et al. (1987), πρότειναν την παρακάτω κατηγοριοποίηση για τις επί μέρους τιμές της τρωτότητας, αν και αυτές δεν ορίζονται ως πρότυπες:

Πίνακας 2.27: Κατηγοριοποίηση της τρωτότητας για την τυπική μέθοδο DRASTIC.

Τιμή δείκτη DRASTIC	Χρώμα	Τρωτότητα
< 79	Βιολετί	Πολύ χαμηλή
80-99	Λουλακί	Χαμηλή
100-119	Μπλε	
120-139	Σκούρο πράσινο	Ενδιάμεση
140-159	Ανοιχτό πράσινο	
160-179	Κίτρινο	Υψηλή
180-199	Πορτοκαλί	
> 200	Κόκκινο	Πολύ υψηλή

Τα χρώματα που αναφέρονται στον Πίνακα 2.27 αντιστοιχούν στις απεικονίσεις των τιμών τρωτότητας, στον τελικό χάρτη τρωτότητας.

Η μέθοδος DRASTIC ύστερα από την πρώτη της εφαρμογή από τους Aller et al. (1985), βρήκε ευρεία εφαρμογή, μέχρι και σήμερα. Οι διάφοροι ερευνητές στην προσπάθειά τους να τροποποιήσουν τη μέθοδο και να την προσαρμόσουν στις συνθήκες της κάθε περιοχής, ανέπτυξαν διάφορες μεθοδολογίες προσέγγισης για τον προσδιορισμό των τιμών των επί μέρους παραμέτρων που λαμβάνει υπόψη η μέθοδος. Έτσι

αναπτύχθηκαν τεχνικές που συνδύαζαν τη μεθοδολογία της DRASTIC με την ασαφή λογική (fuzzy logic), με την αναλυτική διαδικασία ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process), που αναπτύχθηκε από τον Saaty, 1980 (Thirumalaivasan, 2001, Thirumalaivasan et al., 2003), καθώς η επεξεργασία των δεδομένων είναι ασφαλέστερη όταν γίνεται με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Η τυπική μέθοδος δε λαμβάνει υπόψη, τις διάφορες χρήσεις γης, αποτέλεσμα ανθρωπίνων παρεμβάσεων. Θεωρώντας ως κύρια αιτία ρύπανσης των υπόγειων νερών τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην επιφάνεια του εδάφους, οι διάφοροι ερευνητές κατέληξαν στην εφαρμογή μιας τροποποιημένης μεθόδου, η οποία θα συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς της και τις χρήσεις γης. Έτσι προέκυψε η τροποποιημένη μέθοδος DRASTIC (Modified DRASTIC), οι τιμές της οποίας υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση (Secunda et al., 1998, Al-Adamat et al., 2003, Thirumalaivasan et al., 2003, Βουδούρης & Μανδηλαράς, 2004):

$$MDI = DI + L_r \times L_w$$

όπου: DI είναι ο δείκτης DRASTIC (DI), L_r είναι η τιμή της παραμέτρου χρήσης γης και L_w είναι η βαρύτητα αυτής.

Κατά τους Secunda et al. (1998), η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης και η βαθμονόμηση αυτών, γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.28:

Πίνακας 2.28: Κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης και η αντίστοιχη βαθμονόμηση αυτών (Secunda, S., Collin, M.L. & Melloul, A.J., 1998).

Κατηγορία χρήσης γης	Βαθμολογία	Κατηγορία χρήσης γης	Βαθμολογία
<i>Χρήσεις περιορισμένης έκτασης</i>		<i>Χρήσεις ευρείας έκτασης</i>	
Απόθεση τοξικών αποβλήτων	9	Καλλιέργεια βάμβακος	10
Διαρροή καυσίμων	8	Οικοδομημένες περιοχές	8
Βιομηχανίες	7	Αρδευόμενες καλλιέργειες	8
Αποθέσεις στερεών αποβλήτων	6	Θερμοκήπια / Ντοματοκαλλιέργειες	8
Αποθέσεις οικιακών αποβλήτων	5	Τεχνητοί ταμιευτήρες	7
Απορροές αρδευόμενων περιοχών	4	Εσπεριδοειδή	7
Απορροές τεχνητών ταμιευτήρων	3	Οπωροφόρα λοιπών φρούτων	6
Κατηγορία χρήσης γης		Βαθμολογία	
<i>Χρήσεις ευρείας έκτασης</i>			
Βοσκότοποι και λοιπές εκτάσεις απρόσφορες για γεωργική χρήση		5	
Ακαλλιέργητες εκτάσεις		5	
Προσωρινά ακαλλιέργητες εκτάσεις		5	
Αμπελώνες		5	
Ελαιώνες		5	
Λατομεία		5	
Μη καλλιεργούμενα χωράφια		4	
Καλλιέργειες αβοκάντο		2	
Δασώδεις εκτάσεις		1	
Οικολογικά προστατευόμενες περιοχές / Βιότοποι		1	
Ανοικτές αμμώδεις περιοχές		1	

Ο συντελεστής βαρύτητας (L_w) που δίνεται στην παράμετρο αυτή δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο κανόνα, αλλά έναν απλοϊκό συλλογισμό, ο οποίος βασίζεται στις αλλαγές που υφίσταται μια περιοχή ως προς τη δόμησή της, στην έκταση των αρδευόμενων καλλιεργειών και των ακαλλιέργητων εκτάσεων, στην ύπαρξη ή μη σηπτικών βόθρων, καθώς και από την έντονη ή μη αστικοποίηση και την ύπαρξη βιοτεχνικών / βιομηχανικών μονάδων. Σε περιοχές με έντονη την ανθρώπινη δραστηριότητα, δίνεται συνήθως μια τιμή μεταξύ 4 και 5. Γίνεται κατανοητό ότι ο καθορισμός της τιμής του L_w είναι κατά μία έννοια υποκειμενικός και η τελική τιμή που θα προκύψει για το γινόμενο $L_r \times L_w$ είναι διαφορετική για διαφορετικές εκτιμήσεις του L_w . Κατά κανόνα, σημαντικά σφάλματα εξάγονται μόνο στην περίπτωση υπερεκτίμησης ή υποτίμησης των επί μέρους ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (π.χ. σε περιπτώσεις όπου σε μια περιοχή υπάρχει βαριά βιομηχανία, σηπτικοί βόθροι και έντονη καλλιέργεια, είναι λάθος να δοθεί μια τιμή για το $L_w = 1$, ενώ αντιστρόφως σε μια περιοχή με περιορισμένες σχετικά ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως βοσκότοποι και λιβάδια, να δοθεί μια τιμή του $L_w = 5$). Οι τιμές που μπορεί να λάβει ο MDI είναι 31 έως 276.

Η μέθοδος DRASTIC παρά της ευρείας εφαρμογής που βρήκε, πρέπει να χρησιμοποιείται με γνώμονα την εκτίμηση της επικρατούσας κατάστασης σε μια περιοχή και όχι την εκ του ασφαλούς «πρόγνωση». Οι Aller et al. (1987), τόνισαν τα εξής σημεία που αφορούν την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC και τα οποία πρέπει κάθε μελετητής να λαμβάνει υπόψη:

I) Η μεθοδολογία που ακολουθείται δεν έχει ως σκοπό, ούτε σχεδιάστηκε να αντικαταστήσει τις επί τόπου εργασίες υπαίθρου.

II) Η DRASTIC δίνει στο χρήστη ένα μέτρο σχετικής τρωτότητας ενός υδροφορέα στη ρύπανση και κατά συνέπεια πρέπει να αποτελεί ένα από τα πολλά κριτήρια για τη λήψη περαιτέρω αποφάσεων ή ακόμη προστατευτικών μέτρων, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αποτελεί το μοναδικό.

III) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προληπτικούς σκοπούς, για την κατηγοριοποίηση περιοχών, όπου η προστασία των υπόγειων νερών και η διασφάλιση των υπόγειων υδατικών πόρων είναι μείζονος σημασίας. Επίσης, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό περιοχών στις οποίες απαιτούνται άμεσα προστατευτικά μέτρα. Όταν συνδυαστεί και με άλλους παράγοντες, όπως π.χ. τις εφαρμοζόμενες μεθόδους καλλιέργειας σε μια περιοχή, μπορεί να διαχωρίσει τις

περιοχές όπου η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και η αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων αποτελούν άμεση απειλή για το υπόγειο νερό.

IV) Η μέθοδος DRASTIC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση περιοχών στις οποίες υπάρχουν ελλιπή δεδομένα, οπότε και επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της τρωτότητας. Για παράδειγμα, η προσπάθεια αιτιολόγησης των προκύπτοντων αποτελεσμάτων, από την εφαρμογή της μεθόδου και οι κατά θέσεις πιθανή αδυναμία ασφαλούς αιτιολόγησης, μπορεί να οδηγήσει τον ερευνητή στον προσδιορισμό περιοχών, στις οποίες οφείλουν να γίνουν περισσότερες έρευνες για την αποσαφήνιση των επικρατούντων υδρογεωλογικών και γεωλογικών συνθηκών. Καθ' αυτόν τον τρόπο θα δημιουργηθεί μια πληρέστερη βάση δεδομένων, η οποία επακόλουθα θα οδηγήσει στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

V) Όπως συμβαίνει με κάθε μοντέλο και κάθε μέθοδο βαθμονόμησης, είναι πιθανή η εισαγωγή εσφαλμένων δεδομένων, τα οποία θα επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Εσφαλμένα συμπεράσματα εξάγονται και με την εφαρμογή της μεθόδου σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, η χρήση της μεθόδου για τον υπολογισμό της τρωτότητας του υπόγειου νερού στη ρύπανση, η οποία προκαλείται από την άμεση έγχυση ρυπασμένου νερού διαμέσου μιας γεώτρησης, δεν είναι αποδεκτή. Με την άμεση εισαγωγή ενός ρυπαντή στον υδροφορέα, αναιρούνται αυτόματα όλοι εκείνοι οι φυσικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη από τη μέθοδο DRASTIC.

VI) Η μέθοδος δίνει την ευχέρεια στον υδρογεωλόγο να λάβει υπόψη του συγκεκριμένους παράγοντες και να εκτιμήσει τη σημαντικότητα κάποιων άλλων. Για την εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων, θα πρέπει να συνυπολογιστούν τόσο οι ιδιαίτεροι παράμετροι που ανταποκρίνονται στο φυσικό σύστημα του υδροφορέα, όσο και οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή (λόγω ανθρωπίνων παρεμβάσεων και δραστηριοτήτων).

VII) Η μέθοδος έχει χαμηλό κόστος εφαρμογής και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλης έκτασης περιοχές.

Συμπληρωματικά, αναφέρονται ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου, έτσι όπως εκφράστηκαν από διάφορους ερευνητές:

- *Πλεονεκτήματα*

i) Η επιλογή πολλών παραμέτρων και η συσχέτιση που γίνεται όσων αφορά τη σημαντικότητα ενός παράγοντα, σε σχέση με τους υπόλοιπους, ελαττώνει την πιθανότητα σφαλμάτων που προκύπτουν από την παράβλεψη, ορισμένων παραγόντων,

περιορίζει τα σφάλματα που προκύπτουν από τη λανθασμένη εισαγωγή ορισμένων δεδομένων και εξασφαλίζει τη στατιστική ακρίβεια της μεθόδου (Rosen, 1994).

ii) Η μέθοδος δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα, όταν εφαρμόζεται σε μεγάλης έκτασης περιοχές, με πολύπλοκη γεωλογική δομή, παρά την έλλειψη μετρήσεων, συγκεκριμένων παραμέτρων, οι οποίες απαιτούνται για την εφαρμογή άλλων συναφών μεθόδων (Kalinski et al., 1994, McLay et al., 2001).

- Μειονεκτήματα

i) Στον υπολογισμό του τελικού δείκτη τρωτότητας συμπεριλαμβάνονται πολλές παράμετροι, κάτι το οποίο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υποτίμηση κάποιων σημαντικών παραμέτρων, έναντι κάποιων με υποδεέστερη σημασία (Vrba & Zaporozec, 1994, Merchant, 1994, από Panagopoulos et al., 2005).

ii) Η επιλογή των παραμέτρων που συμμετέχουν στην εκτίμηση της τρωτότητας, βασίζεται σε ποιοτικά και όχι σε ποσοτικά δεδομένα (Garrett et al., 1989 από Panagopoulos et al., 2005).

iii) Αρκετές επιστημονικές έννοιες (π.χ. δυναμικό ρόφησης, αραίωση, διαδικασία ιοντοανταλλαγής), δε λαμβάνονται υπόψη (Rosen, 1994).

iii) Η μέθοδος έχει την τάση να υπερεκτιμά την τρωτότητα των πορωδών υδροφορέων, σε σύγκριση με τους ρωγματομένους υδροφορείς (Rosen, 1994).

iv) Η ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι δύσκολο να ελεγχθεί. Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού (συγκεκριμένα της εκτίμησης της ειδικής τρωτότητας), προϋποθέτει πως κάποιος ρυπαντής, με συγκεκριμένες ιδιότητες, τις οποίες υποθέτει η μέθοδος (π.χ. εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους, αποπλένεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα), εφαρμόζεται ομοιόμορφα και με την ίδια συγκέντρωση καθ' όλη την έκταση μιας περιοχής και για ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια περίπτωση είναι αρκετά σπάνια, κάτι το οποίο κάνει την εφαρμογή της μεθόδου, για την εκτίμηση της ειδικής τρωτότητας ενός υδροφορέα σε συγκεκριμένο ρυπαντή, λιγότερο αξιόπιστη (Rosen, 1994).

2.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

2.3.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων τύπων κατολισθήσεων.

Ο Terzaghi (1950), όρισε την κατολίσθηση ως (από Δημητρίου, 1998): *«Μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω»*.

Οι Zaruba και Mencl (1969), δίνουν τον κάτωθι ορισμό για την κατολίσθηση (από Δημητρίου, 1998): *«Μια γρήγορη κίνηση, που οφείλεται στην ολίσθηση πετρωμάτων, ενός τμήματος πρανούς, που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια»*.

Ο Varnes (1978), αντί του όρου «κατολίσθηση», χρησιμοποιεί τον όρο «κίνηση πρανών» (slope movement) και μ' αυτόν περιλαμβάνει κάθε κίνηση πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό (από Δημητρίου, 1998).

Ο Schuster (1978), πρότεινε τον περιορισμό του όρου «κατολίσθηση», στην ομάδα εκείνη των μετακινήσεων των πρανών, κατά τις οποίες λαμβάνει χώρα διατμητική θραύση, κατά μήκος μιας καθορισμένης επιφάνειας ή κατά μήκος περισσοτέρων επιφανειών (από Καλλέργη & Κούκη, 1985).

Σύμφωνα με τον Cruden (1991): «όλο το εύρος των μετακινήσεων μαζών, από τις πολύ βραδείες, έως και τις ταχείες, μπορούν να θεωρηθούν ως κατολισθήσεις, διότι όλες σχετίζονται με μετακινήσεις βραχυδών τεμαχών, κορημάτων, ή εδαφών στα κατάντη ενός μορφολογικού πρανούς». Ως πολύ βραδείες μετακινήσεις μαζών, μπορούν να θεωρηθούν αυτές της τάξης των 16 mm/έτος, ενώ οι ταχείες μπορούν να φτάσουν πολύ υψηλές ταχύτητες, της τάξης των 400 km/h (Cruden & Varnes, 1996, από Lee and Jones, 2004).

Στην επιστημονική κοινότητα, έχει γίνει γενικότερα αποδεκτή η ταξινόμηση κατά Varnes (1978), η οποία περιλαμβάνει έξι τύπους μετακίνησης πρανών, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.29, οι οποίοι είναι (από Καλλέργη & Κούκη, 1985): i) Καταπτώσεις (falls), ii) Ανατροπές (topples), iii) Ολισθήσεις (slides: rotational & planar), iv) Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads), v) Ροές (flows), vi) Σύνθετες μετακινήσεις (complex movements).

Πίνακας 2.29: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών, κατά Varnes (1978) [από Καλλέργη & Κούκη, 1985].

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ			ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν την κίνηση)		
			Υπόβαθρο	Έδαφος	
				Επικρατούν αδρομερή υλικά	Επικρατούν λεπτόκοκκα υλικά
Καταπτώσεις			Καταπτώσεις βράχων	Καταπτώσεις κορημάτων	Καταπτώσεις γαιών
Ανατροπές			Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Λίγες μονάδες	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Πολλές μονάδες	Ολίσθηση τεμάχους	Ολίσθηση τεμάχους κορημάτων	Ολίσθηση τεμάχους γαιών
			Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εξαπλώσεις			Εξαπλώσεις βράχων	Εξαπλώσεις κορημάτων	Εξαπλώσεις γαιών
Ροές			Ροή βράχων (βαθύς ερπυσμός)	Ροή κορημάτων (Ερπυσμός εδάφους)	Ροή γαιών
Σύνθετες			Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης		

Στο Σχήμα 2.3, δίνεται μια σχηματική απεικόνιση των τύπων των κατολισθήσεων, τροποποιημένη από την αρχική ταξινόμηση που έδωσε ο Varnes (1978) [<http://landslides.usgs.gov>].

- Καταπτώσεις

Στις καταπτώσεις, μια μάζα οποιουδήποτε μεγέθους αποκολλάται, από απότομο πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας, στην οποία συμβαίνει ελάχιστη ή καθόλου διατμητική μετατόπιση και στη συνέχεια κινείται λόγω βαρύτητας, με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, με απλή αναπήδηση ή κύλιση του τεμάχους. Η μετακίνηση είναι ταχεία έως πολύ ταχεία και συνήθως αυξάνει προς τα κάτω, λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Οι φάσεις που ακολουθεί μια διαδικασία κατάπτωσης είναι οι κάτωθι (Στουρνάρας, 1989):

- i) η διαστολή των ρωγμών, ανεξάρτητα από το ή τα αίτια
- ii) η χαλάρωση του πετρώματος
- iii) η αιώρηση του όγκου που αποχωρίζεται
- iv) η πτώση

Οι τρεις τελευταίες φάσεις διαρκούν για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα, ενώ η τελευταία φάση (πτώση), γίνεται ακαριαία.

Αποτελεί σύνηθες φαινόμενο σε απότομα βραχώδη πρανή (rockfalls). Σε εδαφικά πρανή, καταπτώσεις (soilfalls), παρατηρούνται στην περίπτωση κατά την οποία μία στρώση υψηλής διαβρωσιμότητας, υπόκειται και στηρίζει πιο ανθεκτικά εδάφη ή σε πρανή υπερστερεοποιημένων αργίλων, με υψηλές κλίσεις, στο φρύδι των οποίων έχουν

αναπτυχθεί βαθιές κατακόρυφες ρωγμές, οι οποίες έπειτα από βροχοπτώσεις γεμίζουν με νερό με αποτέλεσμα την εφαρμογή επιπρόσθετων υδροστατικών πιέσεων (από Δημητρίου, 1998). Ο ρόλος του νερού εκτείνεται και σε φαινόμενο διάβρωσης και πίεσης πόρων.

- Ανατροπές

Κατά τις ανατροπές, λαμβάνει χώρα περιστροφική προς τα εμπρός κίνηση του αποσπώμενου τεμάχους, υπό την επίδραση της βαρύτητας, γύρω από έναν άξονα περιστροφής, ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος της μάζας.

Προκαλούνται συνήθως από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα πλευρικά τεμάχια ή από την υδροστατική πίεση του νερού που εγκλωβίζεται μέσα στις ρωγμές αποχωρισμού του τεμάχους.

- Ολισθήσεις

Στις ολισθήσεις η μετακίνηση συνίσταται από διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών. Η κίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση μπορεί να μη συμβεί αρχικά, ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια, που ίσως να αποτελεί μια καθορισμένη επιφάνεια θραύσης, αλλά μπορεί η θραύση να μεταδοθεί από μια περιοχή τοπικής θραύσης.

Οι ολισθήσεις χωρίζονται σε: 1) περιστροφικές (rotational) και 2) επίπεδες (planar or translational). Στις περιστροφικές συντελείται μια περιστροφική κίνηση γύρω από έναν νοητό άξονα, ενώ στις επίπεδες η κίνηση της μάζας δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο τόξο.

1) Περιστροφικές ολισθήσεις

Η πιο συνήθης μορφή περιστροφικής ολίσθησης είναι η κάθιση (slump), η οποία αποτελεί ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσης, που είναι κοίλη προς τα πάνω. Η κίνηση στις καθίσεις, γίνεται μόνο κατά μήκος εσωτερικών επιφανειών ολίσθησης. Χαρακτηριστική, σε πολλές καθίσεις, είναι η υποκείμενη επιφάνεια θραύσης, η οποία έχει τη μορφή κουταλιού.

Οι περιστροφικές ολισθήσεις είναι πολύ συνηθισμένες σε ετερογενή υλικά. Εκδηλώνονται σε χαλαρούς έως μέτρια συνεκτικούς σχηματισμούς και έχουν, κατά κανόνα, σημαντικό βάθος. Συχνά, η επιφάνεια ολίσθησης ακολουθεί προϋπάρχουσες επιφάνειες.

Στο Σχήμα 2.4 δίνεται μια τυπική απεικόνιση μιας περιστροφικής ολίσθησης, έτσι όπως δόθηκε από τον Varnes (1978) [τροποποιημένο από <http://landslides.usgs.gov>].

2) Επίπεδες ολισθήσεις

Στις επίπεδες ολισθήσεις, η μάζα προχωρεί προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας, κατά προσέγγιση, επίπεδης ή ομαλά κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση ή κάμψη. Η μετακίνηση δεν περιλαμβάνει σημαντική στροφή ή προς τα πίσω κλίση της κεφαλής, οπότε και διακρίνεται εύκολα από την περιστροφική ολίσθηση. Συνήθως η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει επάνω στην αρχική επιφάνεια εδάφους, ενώ η κίνηση ελέγχεται, αρκετές φορές, από την ύπαρξη γεωλογικών δομών.

Οι επίπεδες ολισθήσεις διακρίνονται σε: i) ολισθήσεις τεμαχίων (block slides), όταν η κινούμενη μάζα αποτελείται από μία μόνο μονάδα, που δεν είναι έντονα παραμορφωμένη ή από λίγες στενά συνδεδεμένες μονάδες, ii) κερματισμένη ολίσθηση, όταν η μετακινούμενη μάζα αποτελείται από πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες.

Σε πολλές επίπεδες ολισθήσεις, η ολισθαίνουσα μάζα παραμορφώνεται έντονα ή κερματίζεται σε πολλές ανεξάρτητες μονάδες. Καθώς συνεχίζεται η παραμόρφωση και η αποσύνθεση και ιδιαίτερα, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό ή η ταχύτητα ή και τα δύο, η κερματισμένη μάζα που ολισθαίνει μπορεί να μεταπέσει σε ροή, ενώ συνυπάρχουν όλες οι διαβαθμίσεις.

- *Πλευρικές εξαπλώσεις*

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική επέκταση, η οποία διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές.

Διακρίνονται δύο τύποι τέτοιων πλευρικών εκτάσεων:

I) Πλευρικές εξαπλώσεις, στις οποίες η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, δίχως όμως να υπάρχει μια καλά καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνη πλαστικής ροής που να ελέγχει τη μετακίνηση.

II) Πλευρικές εξαπλώσεις, στις οποίες δημιουργείται κατακερματισμός και επέκταση συνδετικού υλικού, είτε του υποβάθρου είτε του εδάφους, λόγω υγροποίησης ή πλαστικής ροής των υπερκείμενων υλικών. Τα ανώτερα συνεκτικά υλικά μπορούν να υποστούν καθίζηση, μεταθετική ολίσθηση, περιστροφή, αποσύνθεση ή μπορεί να υγροποιηθούν και να ρέυσουν. Ο μηχανισμός θραύσης μπορεί να περιλαμβάνει στοιχεία όχι μόνο περιστροφής και μετάθεσης, αλλά και ροής, οπότε αυτές οι εξαπλώσεις μπορούν να θεωρηθούν και ως σύνθετες μετακινήσεις.

Η ταχύτητα μετακίνησης των πλευρικών εκτάσεων είναι εξαιρετικά μικρή, αλλά η επιφάνειά τους είναι κατά κανόνα πολύ μεγάλη. Εκτάσεις δημιουργούνται σε λεπτόκοκκα γαιώδη υλικά, σε πρηνή μικρής κλίσης και ιδιαίτερα στις ευαίσθητες

αργίλους και ιλύες, οι οποίες χάνουν ολόκληρη τη διατμητική τους αντοχή όταν διαταραχθούν.

- Ροές

Οι ροές αναφέρονται στη σχετική κίνηση των σωματιδίων που αποτελούν την κινούμενη μάζα, πάνω σε μια άλλη σταθερή. Αποτελούν αργές ή γρήγορες μετακινήσεις χαλαρών υλικών με την παρουσία ή όχι της υγρής φάσης.

Η εδαφική μάζα που υπόκειται σε ροή, παρουσιάζει την εικόνα πυκνού ιξώδους ρευστού, που υφίσταται ροή, με χαρακτηριστική την απουσία ρωγμών στην επιφάνεια. Η κίνηση αυτή έχει πολλές φορές εκφρασθεί και ως «ερπυσμός» (creep). Ο ερπυσμός όμως αποτελεί παραμόρφωση που συνεχίζεται κάτω από σταθερή τάση, αποτελεί βραδύτατη κίνηση του μανδύα αποσάθρωσης εδαφικών σχηματισμών, δεν οφείλεται σε διατμητική θραύση, δε δημιουργεί επιφάνεια ολίσθησης και μπορεί προοδευτικά να εξελιχθεί σε κατολίσθηση. Οι ροές διακρίνονται σε:

I) Ροές υποβάθρου: Παρατηρούνται σε βραχώδεις σχηματισμούς που είναι κερματισμένοι, φυλλώδεις ή λεπτοστρωματώδεις. Εκδηλώνονται με τη μετακίνηση των ανώτερων επιφανειακών στρωμάτων, χωρίς η ζώνη ροής να εντοπίζεται εύκολα. Οι μετακινήσεις είναι εξαιρετικά αργές και είναι περισσότερο ή λιγότερο σταθερές στο χρόνο. Τέτοιες μετακινήσεις προέρχονται από πτυχώσεις, κάμψεις (π.χ. κάμψεις κεφαλών στρωμάτων), διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής συμπεριφοράς. Εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο.

Ένας άλλος τύπος ροής υπεδάφους (έτσι όπως περιγράφεται από τους: Nemčok, 1972 και Nemčok, Pasek & Ryban, 1978) είναι το φαινόμενο της «κάμψης της κεφαλής των στρωμάτων», το οποίο προκαλεί μετακινήσεις των επιφανειακών στρωμάτων των πρανών του τύπου ροής, με όλα όμως τα χαρακτηριστικά του ερπυσμού (Zischinsky, 1966 και Ter-Stepanian, 1972, από Καλλέργη & Κούκη, 1985). Η κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων (sagging), που θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν βαρυτητικός ερπυσμός, οφείλει τη δημιουργία του στο γεγονός ότι όταν τα στρώματα των πετρωμάτων (ιδιαίτερα στους σχιστόλιθους και στους πλακώδεις ασβεστολίθους) είναι κατακόρυφα ή κλίνουν με πολύ μεγάλες κλίσεις αντίθετα προς την τοπογραφική επιφάνεια, οι κεφαλές τους γέρνουν προς τη μεριά της τοπογραφικής κλίσης, επάνω στην οποία έρπουν.

II) Ροές γαιών (earth flows): Προκαλούνται από τον κορεσμό των εδαφικών υλικών, το οποίο έχει ως συνέπεια την αύξηση του φορτίου και τη μείωση της διατμητικής αντοχής. Στα υλικά αυτά οι ροές αναγνωρίζονται πιο εύκολα από εκείνες

στο υπόβαθρο, διότι οι μετατοπίσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες και πιο ευκρινείς. Ανάλογα με το υλικό και τη συνεκτικότητά του διακρίνονται σε:

i) Ροές Κορημάτων (debris flow): Εκδηλώνονται ως χονδρόκοκκες ροές αδρομερών υλικών, των οποίων το 50% του μεγέθους των στερεών συστατικών είναι μεγαλύτερα από άμμο. Προκαλούνται από καταρρακτώδεις βροχές και πλημμύρες, έχουν ταχύτητες που φτάνουν τα 10 m/sec και πυκνότητα που κυμαίνεται από 2-2,5 gr/cm³. Η εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων, αναφέρεται και ως κατολίσθηση ή «χιονοστιβάδα» κορημάτων (debris avalanche).

ii) Εδαφικές ροές (solifluction): Πρόκειται περί βραδείων, σύνθετων κινήσεων ολίσθησης και ροής των επιφανειακών στρωμάτων, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως σε ορεινές περιοχές. Κατά τη χειμερινή περίοδο το νερό παγώνει στον εδαφικό μανδύα σε αρκετό βάθος. Κατά τη διάρκεια του σύντομου καλοκαιριού, τήκεται ο πάγος, μόνο μέχρι ένα μικρό βάθος. Η τήξη του πάγου και το ατμοσφαιρικό νερό κοραίνουν το έδαφος, το οποίο κινείται σαν πυκνή λάσπη, ακόμα και σε πρανή με μικρή κλίση επάνω στο παγωμένο τμήμα του μανδύα. Η εδαφική ροή μπορεί να εμφανιστεί και σε θερμότερα κλίματα, σε υψηλά υψόμετρα, ιδιαίτερα κατά τη μετάβαση του εδάφους από το όριο πλαστικότητας στο όριο υδαρότητας.

ii) Ροές λάσπης (mudflows): Πρόκειται για αποθέσεις λεπτόκοκκων γαιών. Οι αποθέσεις τους περιέχουν κυρίως άμμο και λεπτότερα υλικά. Δημιουργούνται σε περιπτώσεις εξαιρετικά ισχυρών βροχοπτώσεων ή από το λιώσιμο του χιονιού.

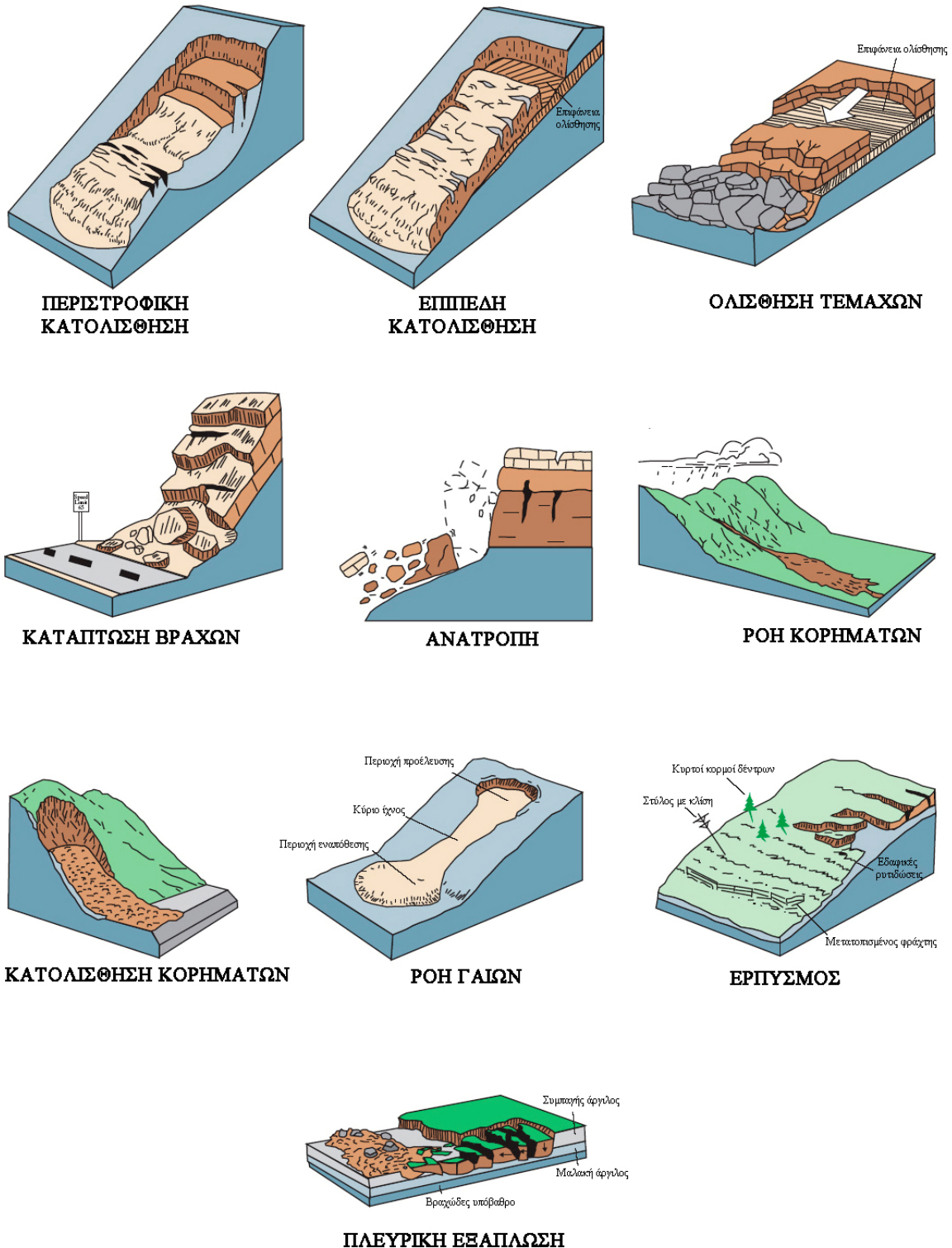
iii) Αποπλύσεις άμμου (Outwashings of sand): Προκαλούνται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες σ' ένα πρανές διανοίγεται όρυγμα μέχρι της οροφής στρώματος άμμου, το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ αδιαπέρατων στρωμάτων. Αποτέλεσμα της διάνοιξης αυτής είναι η ροή της άμμου προς τα κατόντη και η θραύση του πρανούς.

iv) Ρεύματα τεμαχών (block streams): Πρόκειται για γλώσσες κορημάτων βράχων σε απότομα πρανή, που κινούνται εξαιρετικά αργά και που συχνά τροφοδοτούνται από πλευρικά κορήματα ή κώνους στην κεφαλή του ρεύματος. Λόγω της βροχής που προκαλεί απόπλυση των υλικών, στα επιφανειακά στρώματα συναντώνται περισσότερα αδρομερή υλικά από το εσωτερικό.

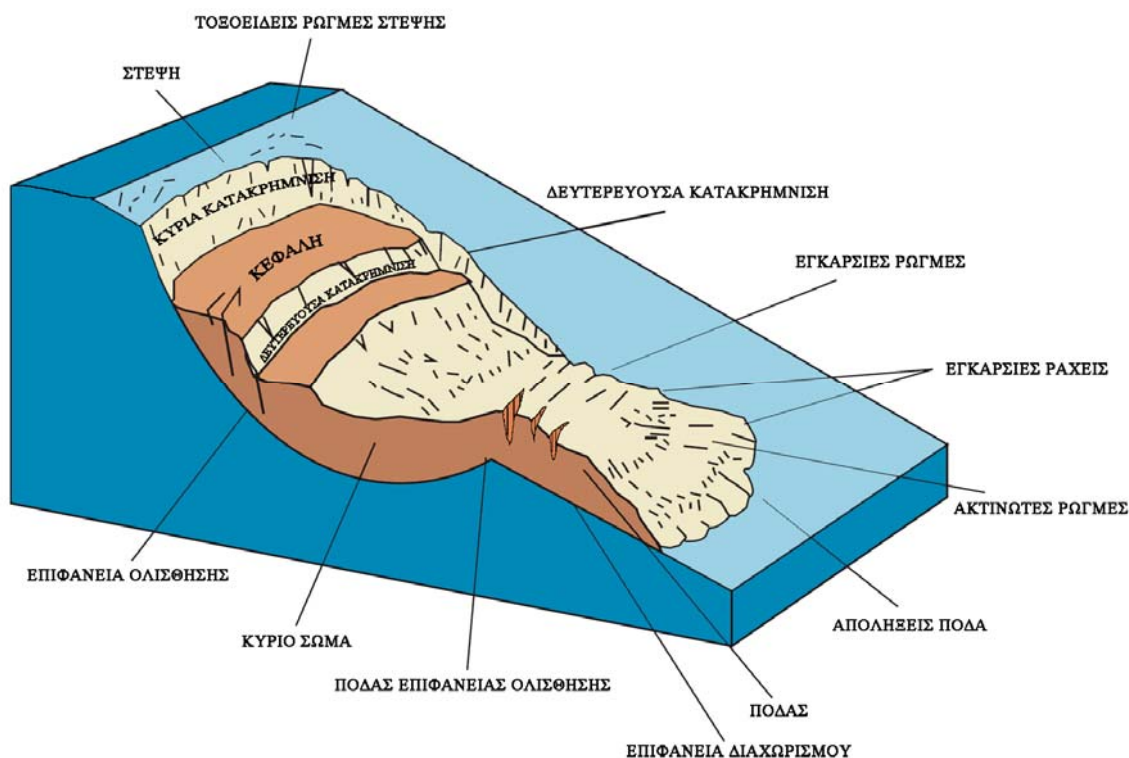
vi) Ροές αιολικής γης: Οι ροές αυτές κινητοποιούνται από σεισμικές δονήσεις και είναι ιδιαίτερα καταστροφικές. Η σεισμική δόνηση καταστρέφει την ασθενή εσωτερική δομή του πορώδους πηλού, οπότε ο πηλός γίνεται ένα ρευστό αιώρημα ιλύος στον αέρα, το οποίο ρέει προς το χαμηλότερο ανάγλυφο, με πολύ μεγάλη ταχύτητα.

- Σύνθετες κινήσεις

Αποτελούν συνδυασμό περισσότερων τύπων μετακινήσεων από αυτές που προαναφέρθηκαν, είτε στα διάφορα τμήματα της μάζας, είτε στα διάφορα στάδια εξέλιξης της μετακίνησης.



Σχήμα 2.3: Ταξινόμηση κατολισθητικών φαινομένων. Σύντομη έκδοση της ταξινόμησης που πρότεινε ο Varnes (1978) [τροποποιημένο από <http://landslides.usgs.gov>].



Σχήμα 2.4: Τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία, μιας περιστροφικής κατολίσθησης, κατά Varnes (1978) [τροποποιημένο από <http://landslides.usgs.gov>].

2.3.2 Παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων

Η γνώση των παραγόντων που συντελούν στη δημιουργία οριακών συνθηκών για την κατάσταση ισορροπίας στα πρανή και αυτών που προκαλούν το έναυσμα της κινήσεως είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι πρώτοι διακρίνονται σ' αυτούς που οδηγούν στην αύξηση της διατμητικής τάσης, καθώς και στους παράγοντες που οδηγούν στη μείωση ή ακόμη και εξάλειψη της διατμητικής αντοχής (Καλλέργης & Κούκης, 1985, Varnes, 1978, Zaruba & Mencl, 1976, από Κούκη & Ζιούρκα, 1989).

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων δεν είναι μονοσήμαντο. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωσή τους είναι πολλοί και αλληλοεξαρτώμενοι. Μια ταξινόμηση αυτών, σχετικά με τις κατηγορίες των χαρακτηριστικών που είναι δυνατό να χαρτογραφηθούν ή να μετρηθούν και ποσοτικοποιηθούν, είναι η εξής (Pasêk, 1974, Zaruba & Mencl, 1976, Varnes, 1978, 1984, Καλλέργης & Κούκης, 1985, Κούκης, 1980, Killey et al., 1985, Koukis, 1985, από Κούκη & Ζιούρκα, 1989 και Δημητρίου, 1998):

1) Λιθολογική σύσταση και δομή των σχηματισμών. Σ' αυτά περιλαμβάνονται ο βαθμός συνεκτικότητας των εδαφών, η ευκολία αποσάθρωσης και αποσύνθεσής τους, το πάχος και η διάταξη των στρωμάτων, ο προσανατολισμός, ο τύπος και η κατανομή των

ασυνεχειών, η παρουσία ζωνών διάρρηξης, συστηματικών διακλάσεων, σχιστότητας κλπ.

2) Γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς και μορφολογία της ευρύτερης περιοχής. Το μορφολογικό ανάγλυφο, η κλίση και το ύψος του πρανούς, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την ευστάθειά του.

3) Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται: i) Μεταβολές στην κλίση του πρανούς, που προκαλούνται από τη διάβρωση ή τις εκσκαφές, ii) Επιφορτίσεις με επιχώματα, κατασκευές και τεχνικά έργα, iii) Δονήσεις iv) Μικροδονήσεις v) Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα & επιδράσεις υπόγειου-επιφανειακού νερού και παγετού, vi) Επίδραση της βλάστησης.

Το γενικό χαρακτηριστικό όλων των κατολισθητικών φαινομένων είναι η αστοχία του υλικού από διάτμηση, κατά μήκος μίας επιφάνειας. Οι εξωτερικοί παράγοντες που συντελούν στην αστοχία αυτή, μπορούν να διακριθούν στους παράγοντες που αυξάνουν τη διατμητική τάση και σ' αυτούς που μειώνουν τη διατμητική αντοχή της επιφάνειας ολίσθησης:

Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης

Στους παράγοντες αυτούς κατατάσσονται οι παρακάτω:

- Πρόσκαιρες και παροδικές γήινες τάσεις, οι οποίες προέρχονται είτε από σεισμούς, είτε από τεχνητές δονήσεις (π.χ. εκρήξεις λατομείων, κυκλοφορία βαρέων οχημάτων).

- Μείωση της πλευρικής αντιστήριξης του πρανούς, η οποία επιτυγχάνεται είτε με:

i) *Διάβρωση*, λόγω της δράσης υδατορεμάτων, θαλάσσιων ή παλιρροϊκών κυμάτων, ανέμων, ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, παγώματος του νερού των πόρων, κ.λπ. που προκαλούν υποσκαφή και αφαίρεση υλικών από το πόδα των πρανών.

ii) *Υπόγειες διαβρώσεις*, λόγω ύπαρξης διαλυτών σχηματισμών ή λόγω απόπλυσης των ενστρώσεων άμμου που βρίσκεται μέσα σε πιο ανθεκτικά υλικά.

iii) *Δημιουργία νέων ασταθών πρανών*, από εκδήλωση προηγούμενων καταπτώσεων, ολισθήσεων, καθιζήσεων ή μεγάλης κλίμακας ρωγματώσεων.

iv) *Ανθρώπινες δραστηριότητες*, όπως υποσκαφή και αφαίρεση υλικών, λόγω λατομικών ή μεταλλευτικών δραστηριοτήτων ή για τη κατασκευή τεχνικών έργων, αφαίρεση έργων αντιστήριξης, πτώση στάθμης λιμνών ή ταμιευτήρων.

- Επιφόρτιση, που επιτυγχάνεται με την επιβολή εξωτερικού φορτίου, σύμφωνα με τις εξής διεργασίες:

- i) Αύξηση του νερού των πόρων.
- ii) Μεταφορά και απόθεση υλικών, λόγω της βαρύτητας ή της δράσης του επιφανειακού ύδατος, σε επικλινείς μορφολογικά περιοχές, με τη μορφή πλευρικών κορημάτων ή κώνων κορημάτων.
- iii) Ανάπτυξη της βλάστησης ή αναδάσωση μιας περιοχής.
- iv) Ανθρώπινες δραστηριότητες (επιχωματώσεις, συγκέντρωση μεταλλευμάτων και λατομικών υλικών, σκουπιδότοποι, κατασκευή κτιρίων ή μεγάλων τεχνικών έργων, κλπ.).

- Μεταβολή της κλίσης του πρανούς, η οποία επιτυγχάνεται με φυσικά ή τεχνητά αίτια και μπορεί να οφείλεται σε:

- i) *Διάβρωση*, λόγω της δράσης των υδάτων.
- ii) *Δράση του ανέμου*.
- iii) *Μεγάλα ρήγματα ή ρηξιγενείς ζώνες*.
- iv) *Εκσκαφές* για την κατασκευή τεχνικών έργων ή σε περιοχές λατομείων.
- v) Έμμεσα, από την *αποψίλωση της βλάστησης* σ' ένα πρανές, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την εντονότερη διάβρωση.

- Αύξηση της γωνίας κλίσης του πρανούς λόγω τοπικής ανύψωσης, η οποία οφείλεται σε ενδογενείς διεργασίες, οι οποίες τείνουν να μεταβάλλουν την επιφάνεια της γης και συνδέονται με κινήσεις σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, με φαινόμενα διαπείσμου κλπ. Πρόκειται για πολύ αργές διεργασίες, οι οποίες σε ορισμένες οριακές περιπτώσεις, μπορούν να αποτελέσουν το αίτιο για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

- Ηφαιστειακή δραστηριότητα.

- Ανάπτυξη πλευρικών πιέσεων. Οι πλευρικές πιέσεις είναι δυνατό να προέρχονται από:

- i) *Παρουσία νερού στις ρωγμές και στις κοιλότητες των πετρωμάτων*. Το νερό της βροχής και του λιωμένου χιονιού εισέρχεται στις κατατμήσεις, όπου δημιουργείται μια υδροστατική πίεση και στα χαλαρά πετρώματα αυξάνεται η υδροστατική πίεση των πόρων, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συνοχή και η εσωτερική τριβή του πετρώματος.
- ii) *Πάγωμα του νερού στις ρωγμές*. Με τον παγετό μεγαλώνει ο όγκος του

υπόγειου νερού μέσα στις κατατμήσεις, με αποτέλεσμα την εξάσκηση ικανών πλευρικών δυνάμεων στα τοιχώματα.

iii) *Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη* λόγω του εμποτισμού τους (ενυδάτωση).

iv) *Ενεργοποίηση παραμένουσων τάσεων* μέσα στα πετρώματα λόγω τεκτονικών αιτιών.

Παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της διατμητικής αντοχής

Στους παράγοντες αυτούς κατατάσσονται οι παρακάτω:

- Φυσικοχημικές διεργασίες - Αποσάθρωση. Οι περισσότερες φυσικοχημικές διεργασίες, συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού και είναι οι εξής:

i) *Η χημική και μηχανική αποσάθρωση.*

ii) *Φυσική αποσύνθεση των κοκκωδών πετρωμάτων* (π.χ. ψαμμίτες), που προκαλείται από τη δράση του παγετού ή με θερμική διόγκωση.

iii) *Ενυδάτωση και διόγκωση των αργιλικών ορυκτών*, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνοχής.

iv) *Διάλυση του συνδετικού υλικού* ορισμένων πετρωμάτων, λόγω της κυκλοφορίας ή της παρουσίας νερού.

v) *Κύκλοι ξήρανσης και ύγρανσης.* Κατά τη διάρκεια μακρών περιόδων ξηρασίας τα αργιλικά εδάφη συμπυκνώνονται, δημιουργούνται βαθιές ρωγμές, ελαττώνεται η συνοχή τους και διευκολύνεται η κατείσδυση του νερού.

- Αρχική σύνθεση του υλικού, που εξαρτάται από τη *λιθολογική σύσταση* των πετρωμάτων και την *υφή των υλικών* (διάταξη, πυκνότητα και σφαιρικότητα ή αποστρογγύλωση κόκκων).

- Δομή των υλικών και γεωμετρία του πρσανούς, τα οποία σχετίζονται με:

i) *Ασυνέχειες* (ρήγματα, διακλάσεις, στρώση, σχιστότητα κ.λπ.).

ii) *Κλίση των στρωμάτων.*

iii) *Φυλλώδης διάταξη των ορυκτών.*

iv) *Ζώνες τεκτονισμού και κατακερματισμού.*

v) *Τεκτονική παραμόρφωση και καταπόνηση που έχουν υποστεί οι γεωλογικοί σχηματισμοί.*

vi) *Συμπαγή στρώματα πάνω σε ασθενή πλαστικά υλικά.*

vii) *Εναλλαγές διαφόρων πετρωμάτων και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου*

εναλλάσσονται ψαθυρά με συμπαγή, καθώς επίσης και αδιαπέρατα με διαπερατά.

viii) Προσανατολισμός και κλίση του πρανούς. Ιδιαίτερη σημασία για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, έχει ο προσανατολισμός και γενικότερα η γεωμετρία των ασυνεχειών, σε σχέση με τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία του πρανούς.

- Επιδράσεις του υπόγειου νερού, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- i) Απότομες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού. Για παράδειγμα, σε ταμειυτήρες, αυξάνει την πίεση των πόρων στα πρανή, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη ρευστοποίηση αμμωδών εδαφών.
- ii) Η ροή του υπόγειου νερού μπορεί να αποπλύνει και να συμπαρυσύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων. Η διαδικασία αυτή ελαττώνει τη συνοχή, διευκολύνει τη χαλάρωση του υλικού και μειώνει την ευστάθεια του πρανούς.
- iii) Υπό πίεση υδροφορείς, ασκούν υδροστατικές πιέσεις στα υπερκείμενα αδιαπέρατα στρώματα.

- Ελάττωση ενεργών τάσεων, λόγω περιεκτικότητας νερού στους πόρους. Η παρουσία νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς, έχει γενικά αρνητικές επιπτώσεις στη διατμητική αντοχή των πετρωμάτων. Αυτό οφείλεται στις φυσικοχημικές διεργασίες που προκαλεί και στη μείωση των ενεργών τάσεων και επομένως της ευστάθειας των πρανών. Η παρουσία του νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς, συντελείται με:

- i) Βροχή.
- ii) Παγετό και λιώσιμο του χιονιού.
- iii) Εκτροπή υδρορεμάτων και αρδεύσεις.
- iv) Μεταβολή της βλάστησης.
- v) Παρεμπόδιση αποστράγγισης.

- Μεταβολές στη δομή των πετρωμάτων. Τέτοιες μεταβολές μπορεί να προκληθούν από ρωγμάτωση των σχιστολίθων και προστερεοποιημένων αργίλων, καθώς και από χαλάρωση των πετρωμάτων σε πρανή, λόγω της απελευθέρωσής τους από κατακόρυφους ή πλευρικούς περιορισμούς.

- Προοδευτικός ερπυσμός, ο οποίος έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων, λόγω της σταδιακής καταστροφής της αρχικής κατάστασης των πετρωμάτων.

- Δράση χλωρίδας και πανίδας. Είναι δυνατό να συμβάλλουν κατά πολύ στη μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων. Ορισμένα είδη φυτών προκαλούν, με τη δράση του ριζικού τους συστήματος, σημαντική μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων και πολλές φορές την καταστροφή τους και τη μετατροπή τους σε έδαφος, τόσο μηχανικά με τη διάτρηση και διόγκωση των ριζών, όσο και χημικά με την έκκριση χημικών ουσιών. Επίσης σε απότομα πρανή από ημισυνεκτικά ή και συνεκτικά πετρώματα με έντονη και δυσμενή διάρρηξη, διευκολύνεται η απολέπιση αυτών με τη δημιουργία εφελκυστικών τάσεων, από το ριζικό σύστημα, κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας.

Επιπρόσθετα, ορισμένοι οργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων, αποτέλεσμα του πυκνού υπόγειου συστήματος οπών που διανοίγουν ή της χημικής διάβρωσης.

2.3.3 Παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων, που λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών

Στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, οι παράγοντες οι οποίοι θεωρούνται υπεύθυνοι για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων και λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, σύμφωνα με τις εργασίες που αποδελτιώθηκαν στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης, είναι:

- *Λιθολογία.* Η λιθολογία αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα, υπεύθυνο για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Κούκης, 1989, Çevik & Topal, 2003, Dai et al., 2001, Neupane & Piantanakulchai, 2006, Clerici et al., 2002, Gómez & Kavzoglu, 2005, Moreiras, 2005). Διαφορετική λιθολογία, σημαίνει διαφορετικές γεωμηχανικές ιδιότητες, διαφορετικός βαθμός αποσάθρωσης και κατά συνέπεια διαφορετική επιδεκτικότητα σε κατολισθήσεις.

- *Μορφολογία.* Η μορφολογία αποτελεί σημαντική παράμετρο, ίσως τη δεύτερη σημαντικότερη μετά τη λιθολογία. Κατά κανόνα, όσο πιο μικρή είναι η μορφολογική κλίση, τόσο λιγότερο επιδεκτική είναι κάποια περιοχή στην κατολίσθηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ως κατολισθήσεις θεωρούνται κυρίως οι εδαφικές κατολισθήσεις, οι οποίες υπόκεινται σε συγκεκριμένο μηχανισμό γένεσης (π.χ. περιστροφικές κατολισθήσεις). Έχει παρατηρηθεί ότι μορφολογικά πρανή με κλίση μεγαλύτερη από τις 45°, είναι πολύ λιγότερο επιδεκτικά στην εκδήλωση κατολισθήσεων, απ' ό,τι πρανή με κλίση μικρότερη των 45° (Κούκης, 1989, Avanzi et al., Dai et al.,

2001). Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί, είναι πως απότομα πρηνή, συνήθως δομούνται από υγιείς βραχομάζες, με μεγαλύτερες τιμές διατμητικής αντοχής και κατά συνέπεια παρουσιάζουν αυξημένη ευστάθεια (Varnes, 1984 [από Κούκη, 1989], Dai et al., 1999). Αντιθέτως, πρηνή με μέτριες κλίσεις, συνήθως καλύπτονται από μικρό πάχος αποσαθρωμένου μανδύα (με σημαντικό συνήθως ποσοστό αργίλου), ικανό να κατολισθήσει κατά την εκδήλωση έντονων βροχοπτώσεων. Παρόλα αυτά, τα πολύ απότομα πρηνή είναι πιο επιδεκτικά στην εκδήλωση βραχωδών καταπτώσεων, λόγω της ύπαρξης διακλάσεων και της μεγάλης κινητικής ενέργειας που αποκτά ο καταπίπτον βράχος, κατά την πορεία του προς τα κατόντη. Η κλίση του πρανούς, ελέγχει επίσης την επιφανειακή απορροή των κατακρημνισμάτων και κατά συνέπεια, την περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε νερό.

- *Πάχος μανδύα αποσάθρωσης.* Σε συνδυασμό με τους δύο πρώτους παράγοντες, αποτελεί σημαντική παράμετρο, στην εκδήλωση κατολισθήσεων και στην ταξινόμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών (Pachauri & Pant, 1992, Nagarajan et al., 2000, Ercanoglou & Gokceoglu, 2002). Αρκετά μεγάλα πάχη μανδύα αποσάθρωσης, σε συνδυασμό με μέτριες έως ομαλές μορφολογικές κλίσεις, ευνοούν την εκδήλωση κατολισθήσεων.

- *Προσανατολισμός πρανών.* Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται εκτεταμένα από τους γεωεπιστήμονες, κατά την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων, για την εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών (Κούκης, 1989, Gómez & Kavzoglu, 2005, Çevik & Topal, 2003, Dai et al., 2001, Dai et al., 2002, Nagarajan et al., 2000, Ercanoglou & Gokceoglu, 2002). Ο Κούκης (1989), ύστερα από αξιολόγηση 800 περιπτώσεων κατολισθήσεων, κατέληξε πως η μέγιστη συχνότητα κατολισθήσεων (για τις συγκεκριμένες 800 περιπτώσεις), παρατηρείται σε πρηνή με βόρεια έκθεση, γεγονός το οποίο πιθανώς ερμηνεύεται σαν αποτέλεσμα των αποσαθρωτικών-διαβρωτικών διεργασιών, που δρουν πιο έντονα στα εν λόγω πρηνή. Ο προσανατολισμός των πρανών και η ταξινόμησή τους ως προς την επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση, που αυτά παρουσιάζουν, σχετίζεται με την έκθεσή τους στο ηλιακό φως, στους επικρατούντες ανέμους και στη βροχή, καθώς και στο πλήθος των ασυνεχειών και των διακλάσεων που διαθέτουν (Gökçeoğlu & Askoy, 1996, Anbalagan, 1992, Pachauri et al., 1998, Dai et al., 2001). Οι Carrara et al (1991) επισημαίνουν πως δεν υπάρχει γενική συμφωνία σχετικά με το ποιοι προσανατολισμοί πρανών, τα καθιστούν περισσότερο επιδεκτικά σε κατολισθητικά φαινόμενα. Οι Marston et al. (1998) και οι Lineback et al. (2001), διαπίστωσαν πως μεγαλύτερο πλήθος κατολισθήσεων εκδηλώνονταν σε βόρεια πρηνή,

λόγω της έκθεσης των βορείων πρανών σε εντονότερους κύκλους υγρών και ξηρών συνθηκών.

- *Σχετικές κλίσεις στρωμάτων και ασυνχειών, ως προς τα πρανή.* Η σχετική διεύθυνση και γωνία κλίσης των στρωμάτων ενός σχηματισμού, ως προς τη γωνία και διεύθυνση κλίσης ενός πρανούς, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ευστάθειά του (Clerici et al., 2002). Σε επίπεδο λεκάνης, η γνώση της διακύμανσης της διεύθυνσης κλίσης και της γωνίας κλίσης των στρωμάτων διαφόρων σχηματισμών, μπορεί να αποβεί καταλυτική στην ορθότερη εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Σε μεγαλύτερη κλίμακα εφαρμογής, όπως για παράδειγμα κατά μήκος ενός οδικού δικτύου, απαραίτητη κρίνεται η γνώση των χαρακτηριστικών που αφορούν τα επικρατούντα συστήματα διακλάσεων, τα οποία σε συνδυασμό με τη διεύθυνση και γωνία κλίσης της στρώσης ή της σχιστότητας (εφόσον υπάρχει), καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πρανών, θα συμβάλλουν στη σωστότερη ανάλυση ευστάθειας και κατά συνέπεια στην εγκυρότερη εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών (Nagarajan et al., 2000).

- *Εγγύτητα σε ρέματα.* Η εγγύτητα σε ρέματα αποτελεί παράμετρο που σχετίζεται με τη διαβρωτική δράση των ρεμάτων, την υποσκαφή των υλικών της κοίτης και κατά συνέπεια με την πρόκληση ασταθών συνθηκών για τα πρανή που βρίσκονται στην άμεση εγγύτητά τους (Neupane & Piantanakulchai, 2006). Η υποσκαφή του πόδα ενός πρανούς, αποτέλεσμα της διαβρωτικής δράσης ενός ρέματος, είναι ικανή, όχι όμως και αναγκαία, συνθήκη πρόκλησης κατολισθητικών φαινομένων. Ορισμένες έρευνες, όπως αυτές των VanDine, 1985, και Reneau & Dietrich, 1987, έχουν δείξει πως η ύπαρξη φυσικών ρεμάτων αποτελεί σημαντικό παράγοντα ο οποίος ελέγχει την επιδεκτικότητα μιας περιοχής στις ροές κορημάτων (Dai et al., 2001).

- *Εγγύτητα σε ρήγματα.* Η εγγύτητα σε μεγάλα ρήγματα αποτελεί έναν παράγοντα που επιδρά στη δημιουργία συνθηκών αστάθειας στα πρανή και λαμβάνεται υπόψη σε περιοχές στις οποίες η τεκτονική δραστηριότητα έχει άμεση επίδραση στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Çevik & Topal, 2003, Pachauri & Pant, 1992, Uromeihy & Mahdaviar, 2000, Saha et al., 2002). Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν πως οι περισσότερες κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 250 m έως και 1000 m από μεγάλα ρήγματα (Gökçeoğlu & Askoy, 1996, Pachauri et al., 1998, Gupta & Joshi, 1990). Αυτή η άποψη βέβαια δεν ισχύει για όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, οι Uromeihy & Mahdaviar (2000), έδειξαν πως καθώς η απόσταση από τα ρήγματα αυξάνεται, αυξάνεται και ο αριθμός των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων.

- *Υδρογραφική πυκνότητα.* Όσο μεγαλύτερη είναι η υδρογραφική πυκνότητα μιας λεκάνης (= ο λόγος του συνολικού μήκους των ρεμάτων της, προς εμβαδόν της), δηλαδή όσο καλύτερα ανεπτυγμένο είναι το υδρογραφικό της δίκτυο, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφανειακή απορροή (Pachauri et al., 1998, Nagarajan et al., 2000) και τόσο λιγότερο υδροπερατά είναι τα πετρώματα που την αποτελούν. Κατά συνέπεια, όσο αυξάνεται η υδρογραφική πυκνότητα, μιας λεκάνης, τόσο περισσότερο έντονες είναι οι διαβρωτικές διεργασίες που συντελούνται από το απορρέον νερό, άρα είναι πιο συνήθη και τα κατολισθητικά φαινόμενα, που εκδηλώνονται εντός αυτής.

- *Υψόμετρο.* Η παράμετρος του υψόμετρου χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην εκτίμηση των επιδεκτικών περιοχών (Κούκης, 1989, Çevik & Topal, 2003, Pachauri & Pant, 1992, Ercanoglou & Gokceoglou, 2002, Gómez & Kavzoglu, 2005, Clerici et al., 2002). Παρόλο που ορισμένοι ερευνητές, όπως για παράδειγμα οι Greenbaum et al., 1995 και Jordan et al., 2000, κατέληξαν πως τα κατολισθητικά φαινόμενα, σε μια συγκεκριμένη λεκάνη, εκδηλώνονται σε συγκεκριμένα υψόμετρα, η σχέση ανάμεσα στις κατολισθήσεις και στο υψόμετρο είναι ακόμη ασαφής (Gómez & Kavzoglu, 2005).

Παρόλα αυτά, είναι γνωστό πως το υψόμετρο μιας περιοχής επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τις φυσικές παραμέτρους, καθώς και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν την ευστάθεια των πρανών και να προκαλέσουν, μεγάλης ή μικρής κλίμακας, αστοχίες πρανών. Επίσης το υψόμετρο επηρεάζει και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Ο Ochoa (1978) θεωρεί ότι η σύνθεση του εδάφους κυμαίνεται με το υψόμετρο, καθώς η κοκκομετρία αυξάνει, όσο αυξάνει το υψόμετρο (Gómez & Kavzoglu, 2005).

Οι Pachauri & Pant (1992) υποστήριξαν πως η αύξηση του υψόμετρου υποδηλώνει και αύξηση της επιδεκτικότητας προς κατολίπηση. Κάτι τέτοιο φαίνεται πως δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση που αναφέρουν οι Ercanoglou & Gokceoglou (2002), οι οποίοι αναφέρουν πως στην περιοχή έρευνάς τους, το μεγαλύτερο πλήθος κατολισθήσεων εκδηλώνονται σε υψόμετρα από 100-500 m, λόγω του γεγονότος ότι σε μεγαλύτερα υψόμετρα επικρατούν ανθεκτικοί σχηματισμοί. Οι Çevik & Topal, 2003 διαπίστωσαν πως το μεγαλύτερο ποσοστό των παρατηρούμενων κατολισθήσεων εκδηλώνεται από 100-300 m υψόμετρο, κάτι που οφείλεται στη λιθολογική σύσταση και στην τεκτονική δομή των πετρωμάτων. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Dai et al. (2001), οι διαπίστωσαν ότι οι συχνότητες εμφάνισης κατολισθήσεων σε πρανή με υψόμετρο 100-500 m, είναι κατά 2,7-6,4 φορές μεγαλύτερες από αυτές που αφορούν πρανή με υψόμετρα μικρότερα των 100 m και

μεγαλύτερα των 500 m. Συγκεκριμένα, αναφέρουν πως σε μεγάλα υψόμετρα οι ορεινές βουνοκορφές αποτελούνται από διαβρωμένα πετρώματα, η διατμητική αντοχή των οποίων είναι αρκετά υψηλή, ενώ σε ενδιάμεσα υψόμετρα τα πρανή τείνουν να καλύπτονται με μικρό πάχος κορημάτων, που τα καθιστά ιδιαίτερα επιδεκτικά στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Σε μικρά υψόμετρα, η συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων είναι συνήθως μικρή, λόγω του σχετικά ομαλού αναγλύφου και του μεγάλου πάχους κορημάτων που διαθέτουν, οπότε και η ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων απαιτεί την ύπαρξη υψηλής στάθμης υδροφόρου ορίζοντα.

Ο Κούκης (1989), τονίζει πως το υψόμετρο δρα επιπρόσθετα στην αύξηση των κατολισθητικών φαινομένων, διότι εκτός από τη συμμετοχή του στη διαμόρφωση του αναγλύφου, επηρεάζει καθοριστικά και διαμορφώνει τους κλιματικούς παράγοντες των διαφόρων περιοχών.

- *Βλάστηση.* Αρκετές έρευνες έχουν δείξει μια σαφή σχέση ανάμεσα στη βλάστηση και στην ευστάθεια των πρανών, ιδιαίτερα για αβαθείς κατολισθήσεις. Παράμετροι όπως η συνοχή (cohesion), η γωνία εσωτερικής τριβής (internal friction angle) και η πίεση των πόρων (pore-water pressure), τροποποιούνται σημαντικά, παρουσία βλάστησης. Η ύπαρξη βλάστησης δύναται να αυξήσει την ενεργό συνοχή των εδαφών, αποτέλεσμα της ύπαρξης του ριζικού συστήματος. Το ριζικό σύστημα δρα ως συγκολλητικό υλικό του εδάφους, συμβάλλει στην ελάττωση της πίεσης των πόρων με τη διαδικασία της εδαφικής μύζησης, που συντελείται από αυτό, καθώς και με τη συμβολή της διαδικασίας της διαπνοής των φυτών. Σύμφωνα με τον Selby (1993), τα πρανή που καλύπτονται από βλάστηση, παρουσιάζουν αυξημένη διατμητική αντοχή των εδαφών τους, έως και 60%, ανάλογα με τον τύπο της, ενώ οι Mehrota et al. (1996), έδειξαν ότι η εκδήλωση κατολισθήσεων αυξάνεται έως και 15% σε περιοχές στις οποίες συνέβη αποψίλωση της βλάστησης ή ακόμη τροποποίησή της. Οι Coppin & Richards (1990), έδειξαν πως ο βαθμός της ευστάθειας που παρουσιάζουν τα πρανή είναι συνάρτηση του είδους της βλάστησης, από την οποία καλύπτονται. Συγκεκριμένα, ανέφεραν ότι η ευστάθεια των πρανών, που οφείλεται στη φυτοκάλυψη, ελαττώνεται με την ακόλουθη σειρά: δέντρα, θάμνοι, γρασίδι, γυμνό έδαφος (Gómez & Kavzoglu, 2005).

Αρκετοί ερευνητές (Anbalagan, 1992, Uromeihy & Mahdafivar 2000, Fernandez et al., 1999), έχουν τονίσει τη σημασία της βλάστησης στην ευστάθεια των πρανών, δεδομένου ότι η φυτοκάλυψη, κυρίως η δασώδης με την ύπαρξη δυνατών και μεγάλων ριζικών συστημάτων, ευνοεί την ευστάθεια των πρανών. Παρόλα αυτά, η επίδρασή της στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων είναι υπό συζήτηση, ενώ δε λείπουν και οι

αντικρουόμενες θεωρίες (Collinson & Anderson, 1996, από Dai et al., 2001, Greenway, 1987, από Ercanoglou & Gokceoglu, 2002). Ο Κούκης (1989), σημειώνει πως σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στα απότομα πρηνή από ημισυνεκτικά ή και συνεκτικά πετρώματα με έντονη και δυσμενή διάρρηξη, διευκολύνεται η απολέπιση αυτών με τη δημιουργία εφελκυστικών τάσεων, από το ριζικό σύστημα, κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας.

- *Βροχόπτωση*. Είναι κοινή η διαπίστωση πως η συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων αυξάνεται κατά τις περιόδους αυξημένων βροχοπτώσεων (Ayenew & Barbieri, 2005, Clerici et al., 2002, Nagarajan et al., 2000). Το φαινόμενο αυτό εξηγείται με την απότομη αύξηση των υδροστατικών πιέσεων στο πέτρωμα, από το κατερχόμενο δια των ρωγμών νερό και την αύξηση της πίεσεως των πόρων, σε εδαφικά υλικά, άρα μείωση της διατμητικής αντοχής. Η έντονη βροχόπτωση επίσης λαμβάνεται και ως παράγοντας πρόκλησης διαβρωτικών διεργασιών και κατά συνέπεια διατάραξης της ισορροπίας ενός πρηνούς. Οι Clerici et al. (2002), διαπιστώνουν πως η χρήση της παραμέτρου αυτής, στην εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, είναι σχετικά περιορισμένη, λόγω της δυσκολίας συλλογής πλήρων δεδομένων βροχόπτωσης, για πολύ μεγάλες περιοχές και για μεγάλες χρονικές περιόδους.

- *Συνθήκες υπόγειου νερού*. Οι διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα και η ύπαρξη κορεσμένων ή μη σχηματισμών, αποτελεί σημαντική παράμετρο που καθορίζει την ευστάθεια των πρηνών. Συνδέεται άμεσα με τη διαίτα των κατακρημνισμάτων και με τον προηγούμενο παράγοντα της βροχόπτωσης (Dai et al., 2001, Ercanoglou & Gokceoglu, 2002, Neupane & Piantanakulchai, 2006).

- *Σεισμική δραστηριότητα*. Οι σεισμικές δονήσεις δημιουργούν εντατικές συνθήκες στα πρηνή, ιδιαίτερα στα βραχώδη, με μεγάλες κλίσεις και δυσμενή προσανατολισμό των επιπέδων ασυνεχειών (Καλλέργης & Κούκης, 1985).

- *Ηφαιστειακή δραστηριότητα*. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι πρόδρομες αυτών δονήσεις, αποτελούν σημαντική παράμετρο πρόκλησης κατολισθητικών φαινομένων, σε περιοχές με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα ηφαιστειακά υλικά των πρηνών ενός ηφαιστείου, κατά την εκδήλωση των δονήσεων και των εκρήξεων, χάνουν τη συνοχή τους και καθίστανται ασταθή.

Οι παραπάνω παράγοντες, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής δύο κατηγορίες (Dai et al, 2001):

1) Προπαρασκευαστικοί ή εγγενείς παράγοντες (preparatory or intrinsic factors). Πρόκειται για παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στην επιδεκτικότητα ενός πρηνούς σε

κατολίσθηση, καθιστώντας την κατάσταση ισορροπίας του οριακή. Συνήθως στους παράγοντες αυτούς συμπεριλαμβάνονται οι παράμετροι: λιθολογία, μορφολογία, πάχος μανδύα αποσάθρωσης, προσανατολισμός και κλίσεις πρανών, εγγύτητα σε ρέματα και ρήγματα, υδρογραφική πυκνότητα, υψόμετρο και βλάστηση. Πρόκειται για παράγοντες οι οποίοι δεν είναι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενοι χρονικά. Για παράδειγμα, η κλίση και ο προσανατολισμός ενός πρανούς θεωρούνται αμετάβλητα για το χρονικό διάστημα που εξετάζονται από τον άνθρωπο, παρόλο που μεταβάλλονται συνεχώς, αποτέλεσμα διαβρωτικών, αποσαθρωτικών και αποθετικών διεργασιών. Ο ρυθμός μεταβολής του όμως είναι τόσο μικρός, εν συγκρίσει με τον βιολογικό κύκλο ενός ανθρώπου, που θεωρούνται πρακτικά αμετάβλητα.

Σημειώνεται ότι η βλάστηση υπό προϋποθέσεις, αποτελεί χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενη παράμετρο (π.χ. με την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, ή με την αναδάσωση), η μεταβολή της οποίας λαμβάνει χώρα σε μικρά χρονικά διαστήματα. Η χωροχρονική μεταβλητότητα που παρουσιάζει, θα μπορούσε εν μέρει να την κατατάξει και στην επόμενη κατηγορία.

2) Παράγοντες που ενεργοποιούν κατολισθήσεις ή εξωτερικοί παράγοντες (triggering or extrinsic factors). Πρόκειται για παράγοντες οι οποίοι ενεργοποιούν κατολισθητικά φαινόμενα, σε πρανή που οριακά ισορροπούν. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι παράμετροι: σφοδρές βροχοπτώσεις, συνθήκες υπόγειου νερού και σεισμοί. Επίσης μπορούν να συμπεριληφθούν και οι τεχνητές διανοίξεις δρόμων και η ανέγερση τεχνικών κατασκευών. Οι παράμετροι των σφοδρών βροχοπτώσεων και των σεισμών, είναι παράμετροι του φυσικού συστήματος, στο σύνολό του, οι οποίοι όμως δεν είναι άμεσα μετρήσιμες, προβλέψιμες ή υπολογίσιμες, τόσο όσον αφορά τη χρονική και χωρική τους κατανομή, όσο και του μεγέθους ή της έντασης των φαινομένων αυτών. Αντιθέτως, αποτελούν παραμέτρους χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενες, για τις οποίες ακόμη και ένα «εξιδανικευμένο» σενάριο εκτίμησης της χωροχρονικής κατανομής και του μεγέθους τους, δεν είναι ποτέ απόλυτα επιτυχές.

Οι παράμετροι της ανθρώπινης παρέμβασης, δηλαδή στην ουσία, της διατάραξης της ισορροπίας ενός πρανούς, είτε με την εκσκαφή και την αφαίρεση μάζας στον πόδα του (π.χ. κατά τη διάνοιξη ενός δρόμου), είτε με τη θεμελίωση τεχνικών κατασκευών (π.χ. κτιρίων), επιδρούν αρνητικά στην ευστάθειά του. Το μέγεθος και η συχνότητα εμφάνισης των κατολισθητικών φαινομένων, αποτέλεσμα των επεμβάσεων αυτών, δεν μπορούν να είναι ποτέ γνωστά με απόλυτη ακρίβεια.

2.3.4 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Στην προσπάθεια που καταβλήθηκε από τους γεωεπιστήμονες να ποσοτικοποιήσουν ορισμένες έννοιες που αφορούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, προέκυψαν αρκετοί ορισμοί και προσεγγίσεις εννοιών. Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες από αυτές τις έννοιες:

Επικινδυνότητα, επιδεκτικότητα και τρωτότητα προς κατολίσθηση

Η επικινδυνότητα στην κατολίσθηση αποτελεί μια ανθρωποκεντρική έννοια και εκφράζεται ως (Lee and Jones, 2004): «*Το δυναμικό ενός κατολισθητικού φαινομένου, να επηρεάσει δυσμενώς τους ανθρώπους, απειλώντας ανθρώπινες ζωές, περιουσίες και κατασκευές, οι οποίες θεωρούνται πολύτιμες από τους ανθρώπους, δηλαδή το φυσικό φαινόμενο να καταστεί καταστροφικό*».

Ο Varnes (1984), όρισε την επικινδυνότητα προς κατολίσθηση ως εξής (Dai et al., 2001):

«Επικινδυνότητα προς κατολίσθηση είναι η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά καταστροφικού κατολισθητικού φαινομένου, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και σε συγκεκριμένη περιοχή».

Η κατολίσθηση αποτελεί μια φυσική διεργασία. Για να ενταχθεί στις φυσικές καταστροφές, πρέπει να αποτελεί απειλεί ανθρώπους ή/και τα υλικά τους αγαθά (π.χ. περιουσίες). Μερικοί ορισμοί των φυσικών καταστροφών, είναι οι εξής (Lee and Jones, 2004):

Royal Society (1992)

«Φυσικά φαινόμενα, τα οποία υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε ζημιές ή/και σωματικές βλάβες».

British Standards Institution (1991)

«Το δυναμικό κάποιων φυσικών φαινομένων, να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις».

Perry (1981)

«Φυσικά φαινόμενα, τα οποία αποτελούν απειλές για ανθρώπους, αγαθά και για το περιβάλλον».

Η έννοια της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση μιας περιοχής, έγκειται στη δυνητικότητα ενός κατολισθητικού φαινομένου να καταστεί καταστροφικό για τον

άνθρωπο, σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Κατά συνέπεια, κάθε κατολίσθηση δεν αποτελεί απαραίτητα και μια φυσική καταστροφή.

Η επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση αναφέρεται ως: «*το δυναμικό εμφάνισης ενός κατολισθητικού φαινομένου*» και σχετίζεται με τις φυσικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, οι οποίες καθιστούν τα πετρώματά της επιδεκτικά σε κατολίσθηση.

Οι δύο έννοιες της επικινδυνότητας και της επιδεκτικότητας δεν είναι ταυτόσημες, λόγω της συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα στην έννοια της επικινδυνότητας. Αυτό σημαίνει πως περιοχές με υψηλή επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, δεν αποτελούν απαραίτητα και περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα. Για τη μετατροπή της επιδεκτικότητας σε επικινδυνότητα, απαιτείται όχι μόνο η κατανόηση του τύπου, του μεγέθους και της συχνότητας εμφάνισης της κατολίσθησης, αλλά και της πιθανότητας και του δυναμικού της να προκαλέσει ζημιές. Δυστυχώς, κάτι τέτοιο δεν είναι πάντοτε εφικτό.

Η τρωτότητα στην κατολίσθηση (landslide vulnerability) αποτελεί επίσης μια ανθρωποκεντρική έννοια και μπορεί να οριστεί ως: «*Το δυναμικό πρόκλησης τραυματισμών, απωλειών ανθρώπινων ζωών και φθορών*». Η έννοια της τρωτότητας, εκφράζει πόσο ευάλωτοι (ή ευπαθείς) είναι οι άνθρωποι και τα περιουσιακά τους στοιχεία, καθώς και τεχνικές κατασκευές και υποδομές, απέναντι σε ένα κατολισθητικό φαινόμενο. Η τρωτότητα μπορεί αλλιώς να θεωρηθεί ως (Fell, 1994, Leone et al., 1996, Wong et al., 1997, από Dai et al., 2002): «*το μέγεθος των ενδεχόμενων καταστροφών ή η έκταση των απωλειών, ανθρωπίνων ζωών ή περιουσιακών στοιχείων (εκφραζόμενα σε κλίμακα από 0 έως 1), αποτέλεσμα της έκθεσής τους σε ένα κατολισθητικό φαινόμενο, συγκεκριμένης έντασης*».

Η προσέγγιση της τρωτότητας, επικεντρώνεται αρκετά στις τεχνικές κατασκευές. Οι φθορές στις κατασκευές, αποτέλεσμα κατολισθήσεων, έχουν κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

- *Επιφανειακές*, όπου η λειτουργικότητα των κτιρίων και η υποδομή τους δεν υποχωρεί, ενώ οι όποιες φθορές μπορούν να επισκευαστούν γρήγορα και με χαμηλό κόστος.

- *Λειτουργικές* ή αλλιώς φθορές ενδιάμεσης κλίμακας. Οι φθορές αυτές επηρεάζουν τη λειτουργικότητα των κατασκευών και των υποδομών τους, ενώ οι επισκευή τους απαιτεί αρκετό χρόνο και ιδιαίτερα έξοδα.

- *Δομικές* ή σοβαρές ζημιές (έως και ολικές καταστροφές). Οι φθορές αυτές συνιστούν τη σοβαρή φθορά ή καταστροφή οδικών δικτύων και κτιρίων, η επισκευή των

οποίων απαιτεί εκτεταμένες και εξαιρετικά δαπανηρές κατεδαφίσεις, ανοικοδομήσεις και ανακατασκευές.

Η έννοια της τρωτότητας συνίσταται από δύο διαφορετικές θεωρήσεις (Lee and Jones, 2004):

- Το βαθμό των δυνητικών φθορών ή απωλειών, που υφίστανται κάποια περιουσιακά στοιχεία ή κατασκευές, τα οποία εκτέθηκαν σε μία κατολίσθηση, συγκεκριμένης έντασης. Για παράδειγμα, η διαφορετική τρωτότητα ενός ξύλινου κτιρίου σε αργή εδαφική κίνηση, σε σύγκριση με μια άκαμπτη κατασκευή από σκυρόδεμα.

- Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένας άνθρωπος, ένα περιουσιακό στοιχείο ή μία κατασκευή είναι εκτεθειμένα στην κατολίσθηση. Για παράδειγμα, σημειώνεται η διαφορετική έκθεση ενός ατόμου που κινείται κάτω από έναν, έτοιμο να καταπέσει, επικρεμάμενο βράχο, σε σχέση με την έκθεση που έχει μια ακίνητη καλύβα, στον ίδιο βράχο.

Στη δεύτερη περίπτωση βέβαια, δεν αλλάζει η τρωτότητα, αλλά η φύση των «στοιχείων» που εκτίθενται στον κίνδυνο (στη μία περίπτωση ένας άνθρωπος και στην άλλη ένα περιουσιακό στοιχείο). Ένα άτομο είναι εξίσου τρωτό (ή ευάλωτο) σε ένα βράχο που καταπίπτει, ανεξάρτητα εάν εκτίθεται ή όχι στην κατάπτωση. Δηλαδή, η τρωτότητα στην κατολίσθηση, αποτελεί μια εγγενή ιδιότητα των «στοιχείων» που εκτίθενται σε ένα κατολισθητικό φαινόμενο (π.χ. άνθρωποι, υλικά αγαθά, περιουσιακά στοιχεία, τεχνικά έργα και υποδομές, δημόσια κτίρια και υπηρεσίες κ.λπ.).

Κίνδυνος προς κατολίσθηση (Landslide Risk)

Αν και δεν υπάρχει ακόμη κοινά αποδεκτός ορισμός για την έννοια αυτή, σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να δοθεί ο εξής ορισμός:

«Κίνδυνος προς κατολίσθηση ονομάζεται το ενδεχόμενο ή η δυνητικότητα προς κατολίσθηση, που θα έχει ως αποτέλεσμα δυσμενείς επιπτώσεις, οι οποίες εκφράζονται ως απώλειες ανθρωπίνων ζωών, τραυματισμοί, ζημιές ή/και φθορές».

Ο κίνδυνος σε γενικότερες γραμμές αποτελεί μια ανθρωποκεντρική έννοια. Μπορούμε δηλαδή να μιλάμε για κίνδυνο, μόνο σε εκείνες τις περιπτώσεις, για τις οποίες κάποιο φαινόμενο, στην προκειμένη περίπτωση η κατολίσθηση, επηρεάζει δυσμενώς τους ανθρώπους ή/και τα αγαθά τους, σε προβλέψιμο χρονικό διάστημα. Σε περισσότερο επιστημονική βάση, ο κίνδυνος προς κατολίσθηση, εκφράζεται ως εξής (Royal Society, 1992, από Lee and Jones, 2004):

«Ο κίνδυνος προς κατολίσθηση αποτελεί συνδυασμό της πιθανότητας ή της συχνότητας εμφάνισης ενός κατολισθητικού φαινομένου και του μεγέθους των δυσμενών συνεπειών που επιφέρει».

Ο πιο πάνω ορισμός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος, διότι συνυπολογίζει τη σημασία του κατολισθητικού φαινομένου, με την εμφάνιση των επιπτώσεων που αυτό επιφέρει. Παρόλα αυτά, υποθέτει ότι οι επιπτώσεις της κατολίσθησης είναι επιζήμιες, κάτι το οποίο δεν ισχύει πάντα. Έχει επίσης αναφερθεί ότι η έννοια του κινδύνου (risk) δεν αφορά την πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων, κάτι το οποίο εκφράζεται σαφέστερα με την έννοια της επικινδυνότητας (hazard). Αν και υπάρχει μια ασάφεια στη διάκριση των δύο εννοιών, ο κίνδυνος χρησιμοποιείται υπό το πλαίσιο της πιθανότητας εμφάνισης ενός καταστροφικού φυσικού φαινομένου. Κάποιοι καλύτερα διατυπωμένοι ορισμοί για την έννοια του κινδύνου γενικότερα ,θα μπορούσαν να είναι οι κάτωθι:

«Η πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων δυσμενών επιπτώσεων, αποτέλεσμα ενός γεγονότος, ή μιας κατάστασης ή μιας ενέργειας».

«Η πιθανότητα εμφάνισης διαφορετικής έντασης ζημιών ή/και φθορών, αποτέλεσμα ενός γεγονότος, ή μιας κατάστασης ή μιας ενέργειας».

«Ένα μίγμα της πιθανότητας εμφάνισης και του μεγέθους των δυσμενών επιπτώσεων, αποτέλεσμα ενός γεγονότος, ή μιας κατάστασης ή μιας ενέργειας».

Ο Varnes (1984) δίνει τον κάτωθι ορισμό για τον κίνδυνο (Van Westen et al., 2006):

«Ο προβλεπόμενος αριθμός χαμένων ανθρώπινων ζωών, τραυματισμένων ατόμων, κατεστραμμένων ιδιοκτησιών και η διατάραξη της οικονομικής δραστηριότητας, αποτέλεσμα ενός ιδιαίτερου καταστρεπτικού φαινομένου, για μια δεδομένη περιοχή και περίοδο».

Η καθιέρωση της έννοιας του κινδύνου στις περιπτώσεις των γεωλογικών καταστροφών, όπως είναι οι κατολισθήσεις, απαιτεί τόσο την εκτίμηση της συχνότητας εμφάνισης και του μεγέθους των μελλοντικών καταστροφικών φαινομένων, όσο και των δυσμενών επιπτώσεων, που ακολουθούν τέτοια φαινόμενα. Μια τέτοια διαδικασία είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και δύσκολη, ενώ σαφώς ενέχει και αβεβαιότητες. Μια απλοϊκή αλλά κατατοπιστική προσέγγιση έγινε από τον Knight (1921), ο οποίος διατύπωσε την εξής άποψη (Knight, 1964 από Lee and Jones, 2004): *«Εφόσον δεν είναι απόλυτα γνωστή η μελλοντική πορεία ενός φαινομένου, αλλά είναι γνωστές οι πιθανότητες εμφάνισής του, τότε γίνεται αναφορά στον κίνδυνο του φαινομένου αυτού. Εάν όμως ούτε οι πιθανότητες εμφάνισής του είναι γνωστές, τότε γίνεται αναφορά στην αβεβαιότητα».*

Ο κίνδυνος προς κατολίσθηση μπορεί να εκφραστεί με τη γενική σχέση της μορφής (Van Westen et al., 2006, Lee and Jones, 2004):

$$R = \sum (H \sum (VA))$$

όπου:

R = ο κίνδυνος προς κατολίσθηση.

H = η επικινδυνότητα προς κατολίσθηση, εκφραζόμενη σαν την πιθανότητα εμφάνισης μιας κατολίσθησης, σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (π.χ. 1 έτος ή ο χρόνος «ζωής» ενός κτιρίου).

V = η τρωτότητα ενός συγκεκριμένου «στοιχείου», όπως π.χ. ενός ανθρώπου ή ενός κτιρίου (κυμαινόμενη από 0 έως 1), για συγκεκριμένο τύπο κατολίσθησης.

A = το πλήθος ή το κόστος των «στοιχείων» που εκτίθενται στον κίνδυνο (π.χ. ο αριθμός των κτιρίων, το κόστος κατασκευής αυτών, το πλήθος των ανθρώπων).

Συμπληρωματικοί ορισμοί που αφορούν τη γενικότερη έννοια του κινδύνου προς κατολίσθηση, δίνονται παρακάτω:

Κοινωνικός κίνδυνος προς κατολίσθηση (Societal Landslide Risk)

«Η πιθανότητα θανάτου ή τραυματισμού σε ένα κοινωνικό σύνολο, αποτέλεσμα ενός κατολισθητικού συμβάντος, δεδομένου μεγέθους, ή πλήθους κατολισθητικών συμβάντων. Εκφράζεται με τη συχνότητα και τον αριθμό των ανθρώπων που υφίστανται φθορά (συνήθως θάνατο) ανά έτος».

Οι Carter & Riley (1998) πρότειναν μια σχέση για τον υπολογισμό του κοινωνικού κινδύνου (Lee and Jones, 2004), με τη χρήση ενός βαθμονομημένου δείκτη κινδύνου (scaled risk index), ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τον ατομικό κίνδυνο (εκφραζόμενο σε θανάτους $\times 10^{-6}$ /έτος) και άλλων χαρακτηριστικών της περιοχής, δηλ:

$$SRI = \frac{\text{Παράγων πληθυσμού} \times \text{Ατομικός κίνδυνος} \times \text{Χρόνος κατοχής}}{\text{Έκταση περιοχής (σε εκτάρια)}}$$

όπου: Παράγων πληθυσμού (P) = παράγοντας που αποτελεί συνάρτηση του πλήθους των ατόμων (n) σε μια περιοχή. Εκφράζεται με τη σχέση:

$$P = \frac{n + n^2}{2}$$

Χρόνος κατοχής = η διάσταση του χρόνου, για τον οποίο στην περιοχή βρίσκονται n άτομα.

Ατομικός κίνδυνος προς κατολίσθηση (Individual Landslide Risk)

«Η πιθανότητα θανάτου ή τραυματισμού ενός ατόμου, από την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου. Εκφράζεται με το πηλίκο του κοινωνικού κινδύνου, προς το πλήθος των ατόμων που εκτίθενται στα κατολισθητικά φαινόμενα».

Ο υπολογισμός του ατομικού κινδύνου περιλαμβάνει τον υπολογισμό τριών διαφορετικών κατηγοριών ατομικού κινδύνου, οι οποίες είναι:

- Χωροθετημένος ειδικός ατομικός κίνδυνος (Location-Specific Individual Risk)

Είναι ο κίνδυνος για ένα άτομο που είναι παρόν σε μία συγκεκριμένη περιοχή, για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια παρουσίας, που μπορεί να είναι 24 ώρες/ημέρα ή 365 ημέρες/χρόνο ή καθ' όλη τη διάρκεια κατά την οποία είναι σε εξέλιξη κάποια διαδικασία ή κάποιο φαινόμενο (στη συγκεκριμένη περίπτωση οι κατολισθήσεις).

Αν και η έννοιά του είναι αρκετά παραπλανητική, διότι ελάχιστα άτομα παραμένουν συνεχώς στην ίδια τοποθεσία ή βρίσκονται συνέχεια στην έκθεση του ίδιου κινδύνου, είναι αρκετά χρήσιμη. Η έννοια του χωροθετημένου ειδικού ατομικού κινδύνου, εκφράζει τον κίνδυνο που ενέχει από μόνη της μια ιδιαίτερη τοποθεσία, για την πρόκληση δυσάρεστων επιπτώσεων και όχι τον τρόπο που θα κινηθούν τα άτομα που βρίσκονται σ' αυτή την τοποθεσία (Bottelberghs, 2000). Η σχέση που τον εκφράζει είναι:

$$LSIR = \text{Πιθανότητα προς κατολίσθηση} \times \text{Τρωτότητα}$$

- Εξατομικευμένος ειδικός κίνδυνος (Individual-Specific Individual Risk)

Είναι ο κίνδυνος για ένα άτομο που είναι παρόν σε διαφορετικές περιοχές, κατά διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η σχέση που τον εκφράζει είναι:

$$ISIR = \text{Πιθανότητα προς κατολίσθηση} \times \text{Πιθανότητα περιοχής} \times \text{Πιθανότητα χρονικής περιόδου} \times \text{Τρωτότητα}$$

όπου:

Πιθανότητα περιοχής = η πιθανότητα η πορεία της κατολίσθησης να διασταυρώνεται με την περιοχή στην οποία θα βρίσκεται ένα άτομο (δηλ. η χωρική κατανομή της πιθανότητας πρόσκρουσης της κατολίσθησης, με ένα άτομο).

Πιθανότητα χρονικής περιόδου = η πιθανότητα ένα άτομο να είναι παρόν στην επικίνδυνη περιοχή εκδήλωσης του κατολισθητικού φαινομένου (δηλ. η χρονική κατανομή της πιθανότητας πρόσκρουσης της κατολίσθησης με ένα άτομο).

- Μέσος ατομικός κίνδυνος (*Average Individual Risk*)

Ο μέσος ατομικός κίνδυνος υπολογίζεται από τα ιστορικά δεδομένα του αριθμού των θανατηφόρων κατολισθητικών φαινομένων ανά έτος, δια του πλήθους των ατόμων που εκτίθενται στον κίνδυνο. Επίσης, μπορεί να εκφραστεί και ως το πηλίκο του κοινωνικού κινδύνου προς το πλήθος των ατόμων που εκτίθενται στον κίνδυνο.

Ως πλήθος ατόμων εκτιθέμενα στον κίνδυνο, μπορεί να θεωρηθεί είτε ο συνολικός πληθυσμός μιας περιοχής, είτε ο μέσος πληθυσμός που αναμένεται να βρίσκεται εντός της κατολισθαίνουσας ζώνης, κατά τη διάρκεια μιας δοσμένης χρονικής περιόδου (π.χ. μιας ώρας).

2.3.5 *Εκτίμηση της επικινδυνότητας και της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση*

Αρκετές μελέτες και εργασίες που έχουν γίνει κατά καιρούς και οι οποίες αναφέρονται ως εκτιμήσεις επικινδυνότητας προς κατολίσθηση (*landslide hazard assessments*), είναι στην πραγματικότητα εκτιμήσεις της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση (*landslide susceptibility assessments*), διότι επικεντρώνονται στις φυσικές παραμέτρους που σχετίζονται με την εκδήλωση των κατολισθήσεων (βλ. § 2.3.2), υποθέτοντας ότι η εκδήλωση αυτών θα έχει δυσμενείς επιπτώσεις, δίχως να υπολογίζουν την πιθανότητα και τη συχνότητα εμφάνισης ενός κατολισθητικού φαινομένου συγκεκριμένου μεγέθους (Lee and Jones, 2004, Van Westen et al., 2006).

Παρόλα αυτά, στη διεθνή βιβλιογραφία επικρατεί μια σχετική σύγχυση, όσων αφορά τις δύο προσεγγίσεις. Ορισμένοι ερευνητές θεωρούν πώς όταν χρησιμοποιούνται οι προπαρασκευαστικοί παράγοντες, τότε γίνεται εκτίμηση της επιδεκτικότητας σε κατολίσθηση, ενώ όταν λαμβάνονται υπόψη και οι παράγοντες που ενεργοποιούν τις κατολισθήσεις, τότε μπορεί να γίνει εκτίμηση της επικινδυνότητας (Dai et al., 2001, Van Westen et al., 2006).

Οι εκτιμήσεις της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση θέτουν τις βάσεις για τη μετέπειτα εκτίμηση της επικινδυνότητας. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση, είναι εφικτή μόνο όταν έχουν αποσαφηνιστεί ζητήματα που αφορούν τη φύση, το μέγεθος, τη συχνότητα εμφάνισης και τη χωρική κατανομή των μελλοντικών κατολισθητικών φαινομένων. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης αυτά παρουσιάζονται συνήθως σε χάρτες.

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση, σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Selb, 1993, Jones 1995, από Lee and Jones, 2004):

- Αναγνώριση περιοχών οι οποίες εκτιμάται ότι απαιτούν περισσότερη έρευνα.
- Καθορισμό της έκτασης που καταλαμβάνουν οι περιοχές που πρέπει να εξετασθούν.
- Χαρτογράφηση, ταξινόμηση και καταλογογράφηση των περιοχών στις οποίες εντοπίζονται ενεργές κατολισθήσεις και παλαιοκατολισθήσεις.

- Αναγνώριση και αποσαφήνιση των ιδιαίτερων γεωλογικών, στρωματογραφικών, μορφολογικών, υδρολογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της κάθε περιοχής, τα οποία σχετίζονται με την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων και εκτίμηση των παραγόντων που σχετίζονται άμεσα με τα φαινόμενα αυτά.

Αρκετές μεθοδολογίες έχουν προταθεί κατά καιρούς, για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση και όλες στηρίζονται σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω υποθέσεις (Hearn & Griffiths, 2001, από Lee and Jones, 2004):

- 1) Η θέση των πρανών που μελλοντικά θα αστοχήσουν, θα καθοριστεί, κατά ένα μεγάλο βαθμό, από τη χωρική κατανομή προγενέστερων γνωστών κατολισθήσεων, οι οποίες συνεχίζουν να αποτελούν επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές.
- 2) Οι μελλοντικές κατολισθήσεις, θα συμβούν υπό παρόμοιες συνθήκες με αυτές που προκάλεσαν την εκδήλωση των καταγεγραμμένων κατολισθητικών φαινομένων σε μια περιοχή. Η καταγραφή της διακύμανσης των παραγόντων που προκάλεσαν τα ήδη υπάρχοντα κατολισθητικά φαινόμενα, αποτελεί μια λογική ένδειξη για την ταξινόμηση και αναγνώριση των πρανών που τείνουν να αστοχήσουν ή αλλιώς, που είναι επιδεκτικά στην κατολίσθηση.
- 3) Η κατανομή των υπαρχόντων, καθώς και των μελλοντικών κατολισθήσεων, μπορεί να προσεγγιστεί με τους εκάστοτε παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν στην εκδήλωσή τους (λιθολογία, κλίσεις πρανών, κ.λπ.).

Οι βασικές μεθοδολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, είναι οι εξής δύο (Carrara et al., 1998, από Lee and Jones, 2004, Dai et al., 2001, Dai et al., 2002):

1) Άμεσες χαρτογραφικές προσεγγίσεις (*direct mapping approaches*), κατά τις οποίες η επικινδυνότητα προσεγγίζεται βάσει της κατανομής των παλαιότερων κατολισθητικών φαινομένων. Οι Soeters & Van Westen (1996) τις περιγράφουν ως μεθόδους εμπειρικής προσέγγισης, κατά τις οποίες γίνεται εκτίμηση της συσχέτισης ανάμεσα στις κατολισθήσεις και στα γεωλογικά-γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά αυτών, με άμεσες παρατηρήσεις υπαίθρου (Lee and Jones, 2004). Οι κύριες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι:

i) *Απογραφές κατολισθήσεων (landslide inventories)*. Αποτελούν τις πιο άμεσες προσεγγίσεις για τη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση σε μια περιοχή. Περιλαμβάνουν την επεξεργασία δεδομένων προγενέστερων κατολισθητικών εκδηλώσεων σε μια περιοχή, με τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, εργασίες υπαίθρου και δεδομένα ιστορικών καταγραφών. Για την κατασκευή λεπτομερών χαρτών απογραφής κατολισθήσεων, χρησιμοποιούνται στοιχεία που αφορούν τις συνθήκες ενεργοποίησης του φαινομένου, τη σαφή αναγνώριση των ορίων, καθώς και τον τύπο των κατολισθήσεων, τις αρχικές διευθύνσεις αστοχίας και κίνησης των γεωυλικών, το πάχος των υλικών που μετακινήθηκαν, και τις ημερομηνίες ενεργοποίησης, για κάθε κατολίσθηση (Wieczorek, 1984, από Dai et al., 2002). Από τους προκύπτοντες χάρτες, μπορούν να χαραχθούν «ισοπληθείς» καμπύλες κατολισθητικών φαινομένων (Wright et al., 1974, από Dai et al., 2002). Παρόλα αυτά, οι χάρτες αυτοί δεν αποτελούν χάρτες επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, διότι δεν εκτιμούν τις περιοχές στις οποίες αναμένονται κατολισθητικά φαινόμενα, εκτός εάν αυτά έχουν ήδη εκδηλωθεί (Dai et al., 2002).

ii) *Γεωμορφολογικές αναλύσεις*. Κατά τις διαδικασίες αυτές η επικινδυνότητα προς κατολίσθηση σε μια περιοχή, εκτιμάται άμεσα στην ύπαιθρο με την ανάλυση γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, σε αναλογία με χαρακτηριστικά περιοχών στις οποίες υπάρχουν εμφανείς ή μη καταγεγραμμένες κατολισθήσεις. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την εμπειρία των ερευνητών και κατά κάποιο τρόπο αποτελούν υποκειμενικές προσεγγίσεις.

iii) *Ποιοτικοί συνδυασμοί χαρτών (qualitative map combination)*. Αυτές οι προσεγγίσεις, σχετίζονται με την αναγνώριση των παραγόντων που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Σε κάθε έναν από τους παράγοντες γίνεται μια βαθμονόμηση και δίνεται ένας συντελεστής βαρύτητας, βασιζόμενος στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, δίχως να ακολουθούν μια προϋπάρχουσα πρότυπη βαθμονόμηση. Έπειτα, οι επί μέρους παράγοντες αθροίζονται και προκύπτει ο τελικός χάρτης. Η σημασία των τιμών που προσδίδονται στους συντελεστές, για κάθε παράγοντα, είναι ιδιαίτερη. Η ανεπαρκής γνώση των επί μέρους παραγόντων, που ευθύνονται για τη δημιουργία συνθηκών αστάθειας στα πρανή μιας περιοχής, οδηγεί στην εσφαλμένη εκτίμηση της σημαντικότητας του καθενός, με αποτέλεσμα την υιοθέτηση μη παραδεκτών γενικεύσεων. Στις προσεγγίσεις αυτές εντάσσονται και οι *ευρετικές μέθοδοι (heuristic methods)* ή *μέθοδοι δεικτών (index methods)*. Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται στις εκτιμήσεις εμπειρογνομώνων, για την οριοθέτηση των περιοχών

που είναι επιδεκτικές προς κατολίσθηση. Η εκτίμηση της επιδεκτικότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι η σχέση ανάμεσα στους προπαρασκευαστικούς παράγοντες και στην επιδεκτικότητα των περιοχών στην εκδήλωση κατολισθήσεων είναι γνωστή. Ο βασικός περιορισμός των μεθόδων αυτών, έγκειται στην ύπαρξη μακροχρόνιων πληροφοριών, για τα κατολισθητικά φαινόμενα μιας περιοχής και των παραγόντων που συνέβαλλαν στην εκδήλωσή τους, οι οποίες δεν είναι πάντα διαθέσιμες. Ένας εξίσου σοβαρός περιορισμός για την εφαρμογή τους, αποτελεί και η υποκειμενικότητα του προσδιορισμού των συντελεστών βαρύτητας για κάθε παράγοντα.

2) *Έμμεσες χαρτογραφικές προσεγγίσεις (indirect mapping approaches)*, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση και τη στατιστική ανάλυση πολλών παραμέτρων, οι οποίες θεωρούνται πως συμβάλλουν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων, ώστε να εξαχθεί μια σχέση ανάμεσα στις συνθήκες του φυσικού συστήματος και στην εμφάνιση των κατολισθήσεων. Οι κυριότερες στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

i) *Διμεταβλητή στατιστική ανάλυση (bivariate statistical analysis)*, κατά την οποία ο χάρτης κατανομής της κάθε παραμέτρου (λιθολογίας, κλίσεων πρανών, κ.λπ.), συνδυάζεται με το χάρτη κατανομής των κατολισθήσεων και για κάθε παράγοντα εξάγονται συντελεστές βαρύτητας.

ii) *Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση (multivariate statistical analysis)*, κατά την οποία όλοι οι σχετικοί παράγοντες ταξινομούνται βάσει ενός κανάβου, που έχει κατασκευαστεί για την περιοχή. Η παρουσία ή η απουσία κατολισθήσεων εντός των τμημάτων του κανάβου, λαμβάνεται υπόψη και η τελική προκύπτουσα φόρμα, αναλύεται με τη χρήση πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression), λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression) ή διακριτικής ανάλυσης (discriminant analysis).

Οι στατιστικές μέθοδοι, θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες προσεγγίσεις για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, για κλίμακες από 1:20.000 έως και 1:50.000, διότι στις κλίμακες αυτές είναι εύκολο να σχεδιαστούν λεπτομερώς οι προγενέστερες εμφανίσεις κατολισθήσεων, σε μια περιοχή. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η αποτελεσματική συλλογή πληροφοριών, που σχετίζονται με τη σημαντικότητα κάθε παράγοντα που συμβάλλει στην εκδήλωση των φαινομένων αυτών (Dai et al., 2001).

2.3.6 *Εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση*

Είναι σαφές, πως εάν ήταν γνωστές όλες οι πιθανές εκδηλώσεις ενός κατολισθητικού φαινομένου, μαζί με τις πιθανότητες εμφάνισης της κάθε μίας

εκδήλωσης, ο υπολογισμός του κινδύνου για κάθε φαινόμενο θα ήταν ιδιαίτερα εύκολος. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια έλλειψη απόλυτης βεβαιότητας, όσων αφορά το πλήθος και την έκταση κάθε πιθανής έκβασης ενός τέτοιου φαινομένου, ή/και της πιθανότητας εμφάνισης κάθε μιας ξεχωριστά. Αυτή στην ουσία, είναι η αβεβαιότητα που καλείται να αντιμετωπίσει κάθε ερευνητής που ασχολείται με την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου και η οποία εκφράζεται με τη θεωρία των πιθανοτήτων και την έννοια της πιθανότητας.

Η εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση (landslide risk assessment) μπορεί να εκφραστεί ως (Lee and Jones, 2004):

«Η οργανωμένη συλλογή πληροφοριών που αφορούν τον κίνδυνο προς κατολίσθηση και η διατύπωση απόψεων και κρίσεων για τις συλλεχθείσες πληροφορίες».

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι κύριος στόχος της εκτίμησης του κινδύνου ενός καταστροφικού φαινομένου γενικότερα, καθώς και ενός κατολισθητικού φαινομένου ειδικότερα, είναι η παράθεση αντικειμενικών συμβουλευτικών πληροφοριών, όσων αφορά την εκδήλωση του φαινομένου, με τελικό στόχο τη σωστότερη λήψη αποφάσεων από τις αρμόδιες αρχές, για την αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων που αυτό επιφέρει. Με απλούστερα λόγια, η εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου αποβλέπει στην απάντηση τεσσάρων βασικών ερωτημάτων:

1. Τι μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις;
2. Ποια η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης των δυσμενών επιπτώσεων;
3. Ποιο το εύρος και ποια η κατανομή της σοβαρότητας των δυσμενών επιπτώσεων;

Οι απαντήσεις των τριών αυτών ερωτημάτων επιτρέπουν την προσέγγιση του τέταρτου ερωτήματος, το οποίο είναι:

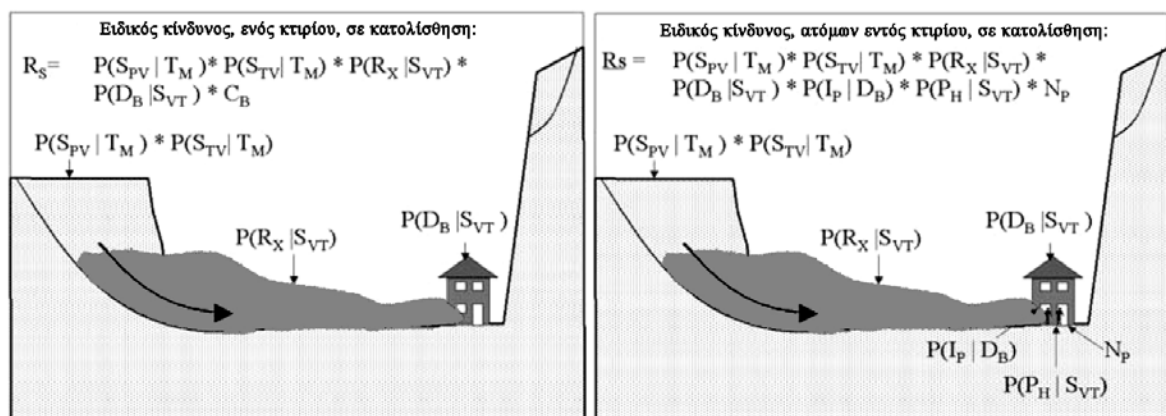
4. Ποια μέτρα μπορούν να ληφθούν και με ποιο κόστος, ώστε να τεθούν υπό έλεγχο και εν τέλει να ελαττωθούν οι μη αποδεκτοί κίνδυνοι και οι προκληθείσες ζημιές;

Αρκετά μοντέλα εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου έχουν προταθεί. Σε γενικές γραμμές τα μοντέλα εκτίμησης εφαρμόζονται υπό τα κάτωθι πλαίσια (Department of the Environment, Transport and the Regions, 2001, από Lee and Jones, 2004):

- Αναγνώριση των επικίνδυνων περιοχών και των πιθανών προβλημάτων που αυτά θα προκαλέσουν.
- Εκτίμηση της επικινδυνότητας των εξεταζόμενων περιοχών σε κατολισθητικά φαινόμενα και της σημαντικότητας των προβλημάτων που θα προκύψουν.

- Αποτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση (landslide risk estimation) και των επιπτώσεων που θα επιφέρουν τα φαινόμενα αυτά.
- Αξιολόγηση του κινδύνου προς κατολίσθηση (landslide risk evaluation) και προσδιορισμό της σημαντικότητας της κάθε επίπτωσης.
- Εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση (landslide risk assessment) και λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων.

Η εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση δεν αποτελεί απλή υπόθεση. Η προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί χωρικά και χρονικά ένα κατολισθητικό φαινόμενο και να συσχετιστεί με τις επιπτώσεις που αυτό επιφέρει, στα στοιχεία που εκτίθενται στον κίνδυνο, αποτελεί ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία. Στο Σχήμα 2.5, περιγράφεται ένα σχετικά απλό παράδειγμα των υπολογισμών που πρέπει να γίνουν, για την εκτίμηση του ειδικού κινδύνου προς κατολίσθηση, ενός κτιρίου και των ανθρώπων εντός του κτιρίου.



$P(S_{PV} | T_M)$ = Χωρική πιθανότητα. Εξαρτημένη πιθανότητα ενεργοποίησης μιας κατολίσθησης, συγκεκριμένου τύπου, σε συγκεκριμένο χώρο και έκταση, που ενεργοποιήθηκε από συγκεκριμένο παράγοντα (έντονη βροχόπτωση, σεισμό), με συγκεκριμένο μέγεθος/ένταση.

$P(S_{TV} | T_M)$ = Χρονική πιθανότητα. Εξαρτημένη πιθανότητα ενεργοποίησης μιας κατολίσθησης, συγκεκριμένου τύπου, σε συγκεκριμένο χώρο και έκταση, που ενεργοποιήθηκε από συγκεκριμένο παράγοντα (έντονη βροχόπτωση, σεισμό), με συγκεκριμένο μέγεθος/ένταση, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

$P(R_X | S_{VT})$ = Εξαρτημένη πιθανότητα να καλυφθεί από τα υλικά της κατολίσθησης μια περιοχή που απέχει X απόσταση από το κτίριο, δοσμένου του όγκου των υλικών που θα μετακινηθούν, για συγκεκριμένο τύπο κατολίσθησης.

$P(D_B | S_{VT})$ = Εξαρτημένη πιθανότητα βλάβης/φθοράς, ενός συγκεκριμένου τύπου κτιρίου, για συγκεκριμένο τύπο κατολίσθησης και όγκου μετακινούμενων υλικών.

$P(I_P | D_B)$ = Εξαρτημένη πιθανότητα τραυματισμού ή θανάτου ενός ατόμου εντός του κτιρίου, δοσμένης της βλάβης/φθοράς του κτιρίου, από κατολίσθηση συγκεκριμένου τύπου, για δοσμένο τον όγκο μετακινούμενων υλικών.

$P(P_H | S_{VT})$ = Εξαρτημένη πιθανότητα παρουσίας ατόμων εντός του κτιρίου, δοσμένης μιας χρονικής διάρκειας κατά την ημέρα, κατά την οποία πιθανόν εκδηλωθεί κατολίσθηση (ή ποσοστό των ατόμων εντός του κτιρίου, κατά μια χρονική διάρκεια της ημέρας).

N_P = Το πλήθος των ατόμων εντός του κτιρίου.

Σχήμα 2.5: Παράδειγμα των υπολογισμών που πρέπει να γίνουν, για την εκτίμηση του ειδικού κινδύνου προς κατολίσθηση, ενός κτιρίου και των ανθρώπων εντός του κτιρίου (τροποποιημένο από Van Westen et al., 2006).

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ-Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1.1 Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ

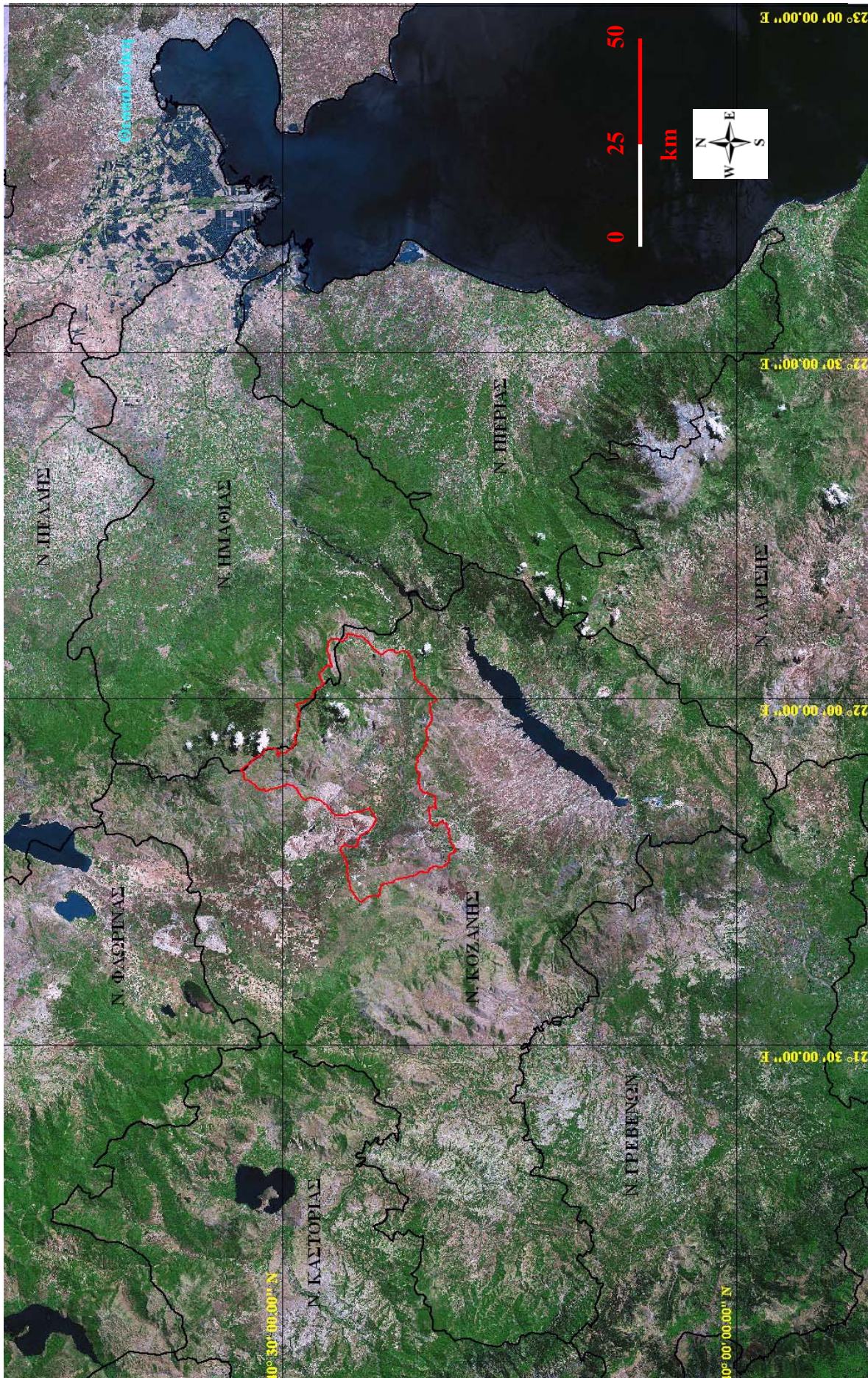
Η λεκάνη Σαριγκιόλ (Σαρί Γκιόλ = Κίτρινη Λίμνη) αποτελεί τη νότια λιγνιτοφόρο λεκάνη της Πτολεμαΐδας (βλ. Σχήμα 3.1). Ανήκει στο Νομό Κοζάνης, στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Αποτελεί μια ευρεία τάφρο με ΒΔ-ΝΑ άξονα και περιβάλλεται από τους ορεινούς όγκους του Βερμίου όρους (2502 m) στα ανατολικά και του Ασκίου (ή Σινιάτσικου) όρους (2110 m) στα δυτικά, ανάμεσα στους οποίους εκτείνονται και οι μεγάλες πεδιάδες Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου. Στα νότια η λεκάνη ορίζεται από τον ορεινό όγκο Κοζάνης-Πολυμύλου (όρος Σκοπός, με υψηλότερο σημείο τα 1256 m), ενώ στα βόρεια από το εξάρμα του Κομάνου (750m). Το όριο αυτό χωρίζει μορφολογικά, τεκτονικά, υδρολογικά αλλά και υδρογεωλογικά τη λεκάνη Σαριγκιόλ από το κύριο μέρος της εσωτερικής λεκάνης Πτολεμαΐδας, που αναπτύσσεται βόρεια του εξάρματος Κομάνου.

Η νότια λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας αναπτύσσεται βόρεια και βορειοανατολικά της Κοζάνης και σε απόσταση 5 έως 20 km, με επιμήκη άξονα περίπου 16 km και εγκάρσιο άξονα μήκους έως και 10 km. Αποτελεί το νοτιότερο άκρο της ευρύτερης τεκτονικής λεκάνης Μοναστηρίου-Φλώρινας και εκτείνεται παράλληλα στον ορεογραφικό άξονα. Η πρόσβαση στην περιοχή γίνεται από τους εθνικούς δρόμους Κοζάνης-Πτολεμαΐδας (παλαιά και νέα εθνική οδός), Κοζάνης-Βέροιας (παλαιά εθνική οδός και Εγνατία Οδός), καθώς και από ένα πυκνό δίκτυο επαρχιακών δρόμων.

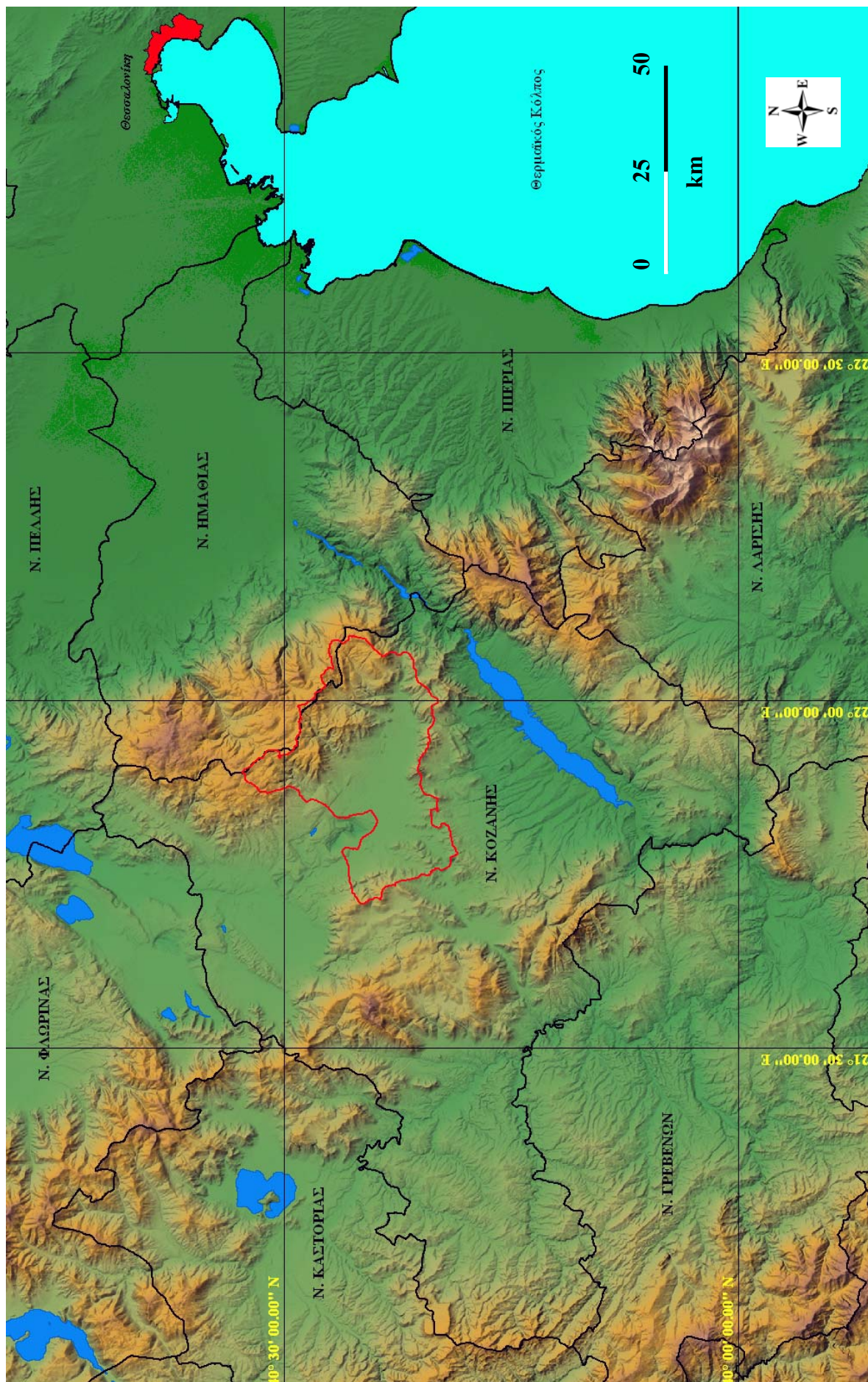
Νότια της λεκάνης Σαριγκιόλ, βρίσκεται η λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων, από την οποία διαχωρίζεται από τη χαμηλή οροσειρά, του όρους Σκοπού.

Η κλειστή υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ, έχει συνολική έκταση 431 km² (η τιμή αυτή προέκυψε ύστερα από ψηφιοποίηση των ορίων της στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, με την ψηφιακή σύνθεση των φύλλων «ΣΙΑΤΙΣΤΑ», «ΚΟΖΑΝΗ», «ΒΕΛΒΕΝΔΟΣ» και «ΠΥΡΓΟΙ»). Το μορφοανάγλυφο της περιοχής, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, έχει αλλοιωθεί, λόγω της ανάπτυξης των λιγνιτωρυχείων, με αποτέλεσμα η σημερινή υδρολογική λεκάνη να μην ταυτίζεται με αυτήν που προκύπτει από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. Βάσει των ορίων των ανοιχτών εκσκαφών

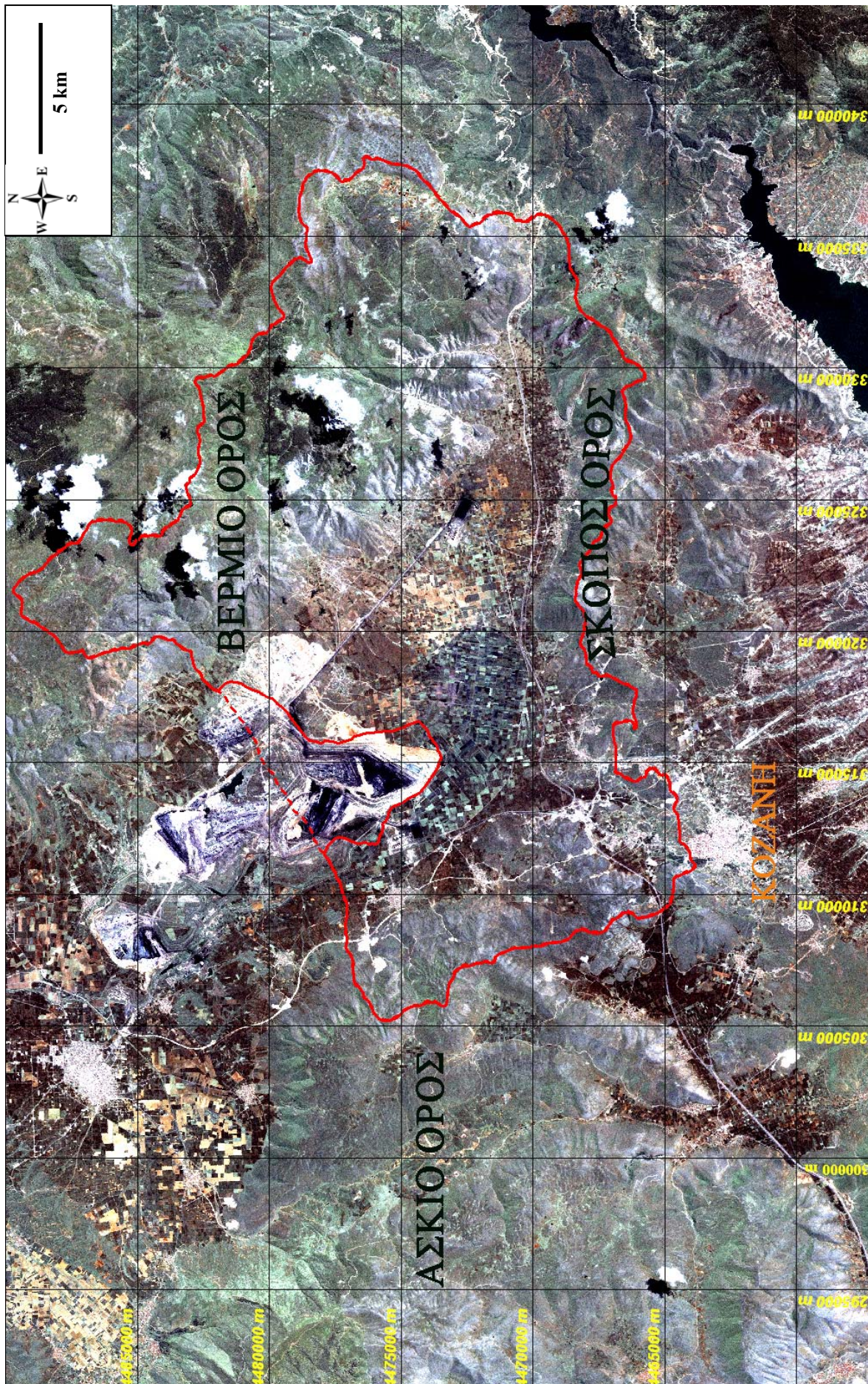
που έχουν τα λιγνιτωρυχεία, έτσι όπως αυτά δίνονται από τη Δ.Ε.Η. για το τέλος του 2005, η σημερινή έκταση της υδρολογικής λεκάνης μειώνεται στα 407 km² (στην έκταση αυτή περιλήφθηκε και τμήμα των εξωτερικών αποθέσεων των ορυχείων που εσωκλείονται από το αρχικό όριο της λεκάνης). Το μέσο υψόμετρό της, ύστερα από ψηφιοποίηση των κύριων ισοϋψών που περιέχονται μέσα στα όρια της σημερινής υδρολογικής λεκάνης, υπολογίστηκε σε 952 m. Μέχρι το 1954 δεν υπήρχε η δυνατότητα επιφανειακής αποστράγγισής της, με αποτέλεσμα ο αποδέκτης όλων των επιφανειακών απορροών να είναι το παλιό έλος-λίμνη του Σαριγκιόλ, το μέγιστο βάθος του οποίου ήταν περίπου 4 m. Η έκταση του έλους, όπως αναφέρεται σε παλαιότερες μελέτες του Υπουργείου Γεωργίας (1931) και του Υπουργείου Δημοσίων Έργων (1955), ανέρχονταν σε 23.500 στρέμματα, από τα οποία τα 19.600 στρ. (83,4%) βρισκόταν σε μόνιμα κατακλυσμένα από τα νερά βαλτώδη κατάσταση και 6.600 στρ. (16,6%) ήταν βοσκοτόπια. Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα επιφανειακής απορροής προς τα βόρεια, δηλαδή προς την κύρια λεκάνη Πτολεμαΐδας, ύστερα από την εκβάθυνση της κοίτης του ρέματος Σουλού (Σουλού = υδαρό), τεχνητά το 1954, στην περιοχή του εξάρματος του Κομάνου και της δημιουργίας ενός αρκετά πυκνού δικτύου αποστραγγιστικών τάφρων στο χώρο του παλιού έλους (βλ. Φωτο Π.1, Παράρτημα). Η σύνδεση των τάφρων αυτών με το ρέμα Σουλού γίνεται μέσω κεντρικής αποστραγγιστικής τάφρου, στην οποία απορρέουν τα συλλεχθέντα νερά όλων των περιφερειακών συλλεκτήριων τάφρων. Αμέσως μετά την αποξήρανση του παλιού έλους της Σαριγκιόλ οι εκτάσεις αποδόθηκαν στην καλλιέργεια (βλ. Φωτο Π.2, Παράρτημα).



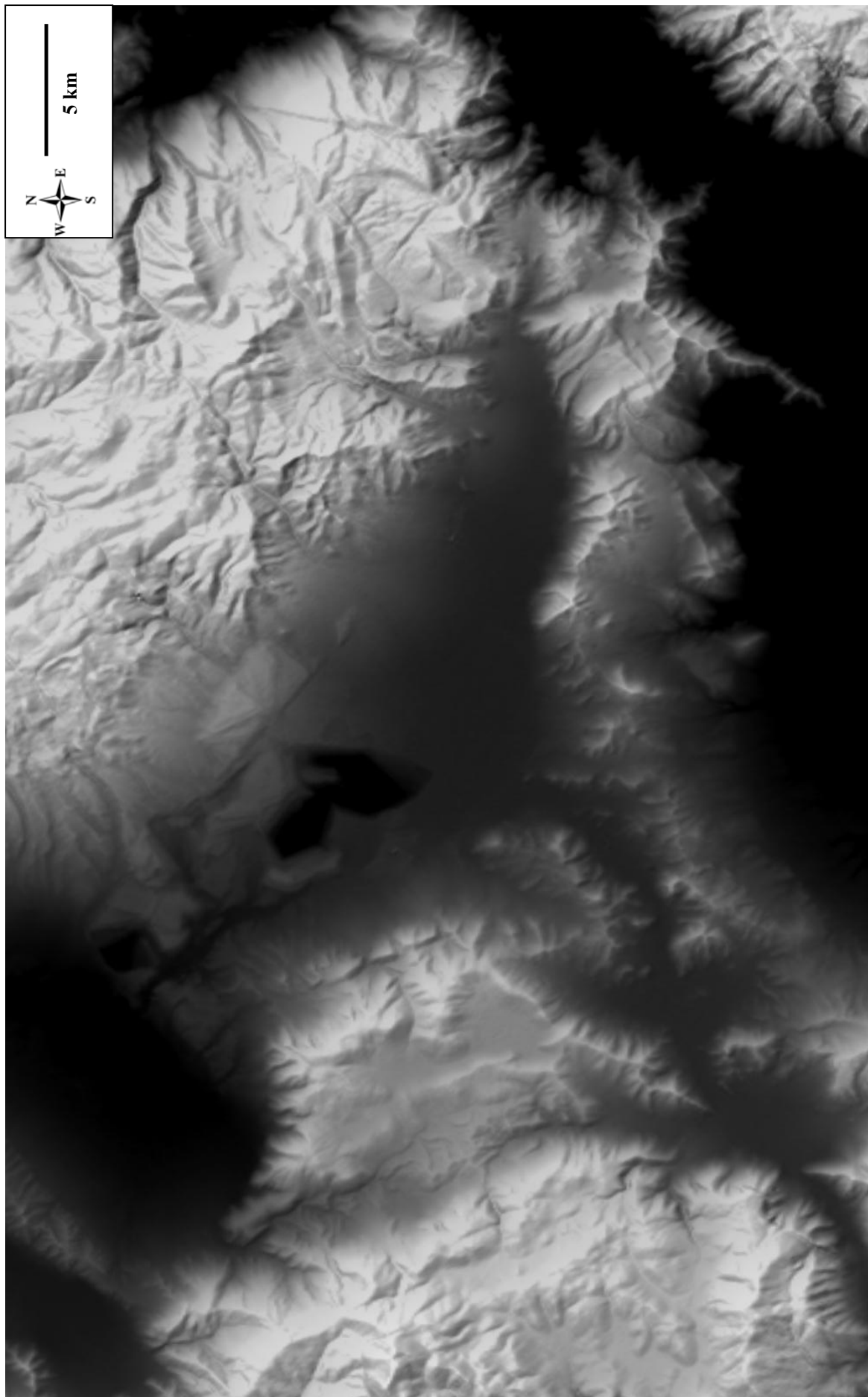
Σχήμα 3.1: Δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+ (true color) της ευρύτερης περιοχής. Η προβολή της εικόνας είναι Μερκατορική, ενώ οι συντεταγμένες δίνονται σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς European Datum 1950 (ED 50). Η περιοχή που εσοκλείεται στην κόκκινη γραμμή αποτελεί την υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ, έτσι όπως είναι διαμορφωμένη, βάσει των ορίων των λιγνιτορυχείων, κατά το τέλος του Δεκεμβρίου του 2005.



Σχήμα 3.2: Γενικός χάρτης προσανατολισμού που προέκυψε ύστερα από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της αποστολής SRTM της NASA (<http://lpl.nasa.gov>). Η περιοχή που εσωκλείεται ανάμεσα στην κόκκινη γραμμή αποτελεί την υδρολογική λεκάνη Σαργκιόλ, έτσι όπως είναι διαμορφωμένη, βάσει των ορίων των λιγνιτωρυχείων, κατά το τέλος του Δεκεμβρίου του 2005. Η προβολή του χάρτη είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ED 50.



Σχήμα 3.3: Τροποποιημένη δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+ (Row 184, Path 032) της ευρύτερης περιοχής (Panchromatic). Με τη συνεχή κόκκινη γραμμή δίνεται το όριο της υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ, όπως είναι διαμορφωμένη σύμφωνα με το όριο των ανοιχτών εκσκαφών των λιγνιτωρυχείων (τα οποία διακρίνονται), κατά το τέλος Δεκεμβρίου του 2005, ενώ η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή απεικονίζει το βόρειο όριο της λεκάνης, όπως αυτό προέκυψε από την ψηφιοποίηση στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. (φύλλα: Σιάτιστα, Κοζάνη, Βελβεντός, Πύργος), κλίμακας 1:50.000. Ο κλίμακας είναι ανά 5 km, κατά το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87. Η δορυφορική εικόνα λήφθηκε στις 30/05/2001. (glcf.umd.edu).



Σχήμα 3.4: Σκιασμένο ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής, που προέκυψε ύστερα από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της αποστολής SRTM της NASA (<http://ipl.nasa.gov>). Οι περιοχές με το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι οι πιο λευκές, ενώ οι πεδινές περιοχές είναι οι σκορρότερες. Διακρίνεται στο κέντρο της εικόνας η ανοιχτή εκσκαφή των λιγνιτορυχείων (σκούρα μαύρη περιοχή). Η περιοχή κάλυψης και η κλίμακα είναι ίδια με αυτή του Σχήματος 3.3.

3.1.2 Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ

Ο υπό μελέτη προσχωματικός υδροφορέας, βρίσκεται στο κεντρικό, πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ, περιβαλλόμενος από τους ορεινούς όγκους του Βερμίου στα ανατολικά, του Ασκίου στα δυτικά και του όρους Σκοπού στα νότια. Στα βόρεια οριοθετείται μερικώς από την ανοικτή εκσκαφή του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου. Στο Σχήμα 3.5 δίνονται τα όρια του υπό μελέτη υδροφορέα, σε δορυφορική εικόνα LANDSAT ETM+, σύμφωνα με τον Παπακωνσταντίνου (1983), σύμφωνα με το Στάμο (2001) και έτσι όπως αυτά προέκυψαν στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης.

Κατά την επεξεργασία δεδομένων από 341 συνολικά συλλεχθείσες γεωτρήσεις (197 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και 144 υδρογεωτρήσεις & πιεζόμετρα), που καλύπτουν μια ευρύτερη περιοχή, βρέθηκε ότι ο υδροφορέας της Σαριγκιόλ καλύπτει διαφορετική έκταση από αυτή που δίνεται από προηγούμενους μελετητές. Στο Χάρτη Π.1 του Παραρτήματος, δίνονται όλες οι γεωτρήσεις που επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν, σε σχέση με τα όρια του υδροφορέα. Στην παρούσα διατριβή θα μελετηθεί ο υδροφορέας Σαριγκιόλ, σύμφωνα με τα όρια που προέκυψαν από την επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων (λεπτομερής ανάλυση των δεδομένων και αναλυτική δικαιολόγηση για την επιλογή αυτή, δίνονται στην παράγραφο 3.6.2).

Η μορφολογία της περιοχής όπου αναπτύσσεται ο υδροφορέας είναι πολύ ομαλή. Για την κατανόηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM: Digital Elevation Model) από την αποστολή Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) της NASA (<http://jpl.nasa.gov>), με ακρίβεια υψομέτρου 6 m. Για τη διόρθωση του σφάλματος που δίνουν τα δεδομένα του DEM, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά στοιχεία γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η., της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. και του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ», για τα οποία εκτός από δεδομένα γεωγραφικού μήκους και πλάτους υπήρχαν και υψομετρικά δεδομένα με ακρίβεια εκατοστού. Οι τιμές των συντεταγμένων και τα υψόμετρα των γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η., προέκυψαν από ακριβείς τοπογραφικές εργασίες, ενώ οι υπόλοιπες προέκυψαν από την επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών της περιοχής κλίμακας 1: 5.000. Από το πλήθος των γεωτρήσεων που επεξεργαστήκαμε, επιλέχθηκαν 50 γεωτρήσεις, κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα, οι οποίες και γεωαναφέρθηκαν με τις δοθείσες συντεταγμένες. Έπειτα τοποθετήθηκαν στο DEM και σημειώθηκε η ένδειξη του υψομέτρου που δίνει αυτό, για

κάθε γεώτρηση ξεχωριστά. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error) που προέκυψε για τον υπολογισμό του υψομέτρου, από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου, είναι 3,92 m και προέκυψε από τον τύπο:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum z_i^2}{n}}$$

όπου: $z_i = Z_{DEM} - Z_{MAP}$

Z_{DEM} = το υψόμετρο του σημείου, όπως προκύπτει από το DEM

Z_{MAP} = το πραγματικό υψόμετρο που αντιστοιχεί στο χάρτη. Στην περίπτωση μας, αναφέρεται στις τιμές του πραγματικού υψομέτρου κάθε γεώτρησης, όπως έχει μετρηθεί με ακριβείς τοπογραφικές εργασίες.

Ο Πίνακας 3.1 δίνει τις ακριβείς συντεταγμένες σε προβολικό σύστημα HATT (για το φύλλο χάρτη «ΚΟΖΑΝΗ», κλίμακας 1:50.000), το υψόμετρο που δίνει το DEM, το αληθές υψόμετρο (όπως έχει δοθεί από τοπογραφικές μετρήσεις) και το σφάλμα υπολογισμού για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά.

Το ανάγλυφο στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα είναι ομαλό. Αντίθετα στις παρειές της σχηματιζόμενης τάφρου (παρυφές Βερμίου και Ασκίου), τα υψόμετρα αυξάνουν απότομα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4. Στο Σχήμα 3.6 δίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα και στο Σχήμα 3.7 δίνονται επάλληλες τοπογραφικές τομές, έτσι όπως προέκυψαν από το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM), της αποστολής SRTM της NASA.

Στο Παράρτημα, δίνεται φωτομωσαϊκό γεωγραφικά αναφερόμενων ορθοφωτοχαρτών, επάνω στο οποίο προβάλλεται το όριο του υδροφορέα, ώστε να δοθεί μια πιο εποπτική εικόνα της θέσης του.

Πίνακας 3.1: Ακριβείς συντεταγμένες σε προβολικό σύστημα HATT, αληθές υψόμετρο βάσει ακριβών τοπογραφικών μετρήσεων, υψόμετρο όπως προέκυψε από το DEM και σφάλμα υπολογισμού για 50 επιλεγμένες γεωτρήσεις, ομοιόμορφα καταναμημένες στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα. Δίπλα από τον ιδιοκτήτη της κάθε γεώτρησης, αναγράφεται και ο κωδικός της αριθμός. Οι γεωτρήσεις πλην της Δ.Ε.Η. λήφθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ», απ' όπου και ο κωδικός τους αριθμός.

α/α	Γεώτρηση	X	Y	Z (Αληθές) σε m	Z (DEM) σε m	Σφάλμα σε m
1	Δήμου Φιλιππούπολης (232)	-3210,00	14300,10	660,45	661,3	0,85
2	Ιδιωτική Σακαλή (313)	-4042,35	14344,68	658,69	659,8	1,11
3	Ιδιωτική Ομαδ. Σακαλή (233)	-4546,65	12728,27	655,87	655,1	-0,77
4	Ιδιωτική Παπαγιαννάκη Ι. (Γ3)	-5311,98	14965,12	659,22	658,6	-0,62
5	Ιδιωτική Αμαραντίδη Σ. (314)	-5297	13497	653,96	653,3	0,66
6	Κοινότητα Ρυακίου (Γ2 ή 50)	-4325,76	15868,66	675,85	680,3	4,35
7	Κοινότητα Αγ. Δημητρίου (289)	-4842,61	16546,38	688,46	690,3	1,84
8	Ιδιωτ. Κοκκινίδη Θ. (106)	-6041,35	16969,13	692,48	694,9	2,42
9	Ιδιωτική Ελευθεριάδου Σ. (Γ4)	-6833,13	15759,98	660,55	660,7	0,15
10	Ιδιωτική Τσαλικίδη (316)	-6842,71	13096,64	655,36	655,9	0,54
11	Ιδιωτική Σοτογλίδη (300)	-7920,27	13729,65	652,60	652,0	-0,60
12	Ιδιωτική Ομαδ. Τενζογλίδου (82)	-8200,00	14800,00	652,30	650,1	-2,20
13	Ιδιωτική ?? (77)	-8311,50	15655,30	651,92	650,6	-1,32
14	Ιδιωτ. Ορτουλίδη Κ.- Τσανακτσίδη (306)	-7576,83	16679,77	664,43	666,2	1,77
15	Ιδιωτική ? (Γ7 ή 94)	-8424,32	17126,36	657,34	657,9	0,56
16	Κοινότητα Ακρινής (90)	-6650,00	18120,00	707,00	707,3	0,30
17	Ιδιωτική Ευθυμιάδη Π. (131)	-10774,36	17260,16	660,18	658,5	-1,68
18	ΔΕΗ (146/350)	-9423,02	17837,60	663,69	661,4	-2,29
19	ΔΕΗ (133/333)	-9575,13	18906,05	673,66	674,6	0,94
20	ΔΕΗ (109/356)	-7924,76	18958,76	706,23	704,1	-2,13
21	ΔΕΗ (106/336)	-8514,90	19766,40	701,20	699,6	-1,60
22	ΔΕΗ (127/309)	-10218,05	19971,96	700,30	695,7	-4,60
23	ΔΕΗ (122/296)	-10509,20	20568,10	714,20	713,0	-1,20
24	ΔΕΗ (106/272)	-10779,70	21996,70	752,40	752,5	0,1
25	ΔΕΗ (186/360)	-10457,70	16044,88	652,36	652,0	-0,36
26	ΔΕΗ (ΠΙΝΠ 29)	-11015,87	15131,21	651,18	650,9	-0,28
27	Ιδιωτική Ελευθεριάδου Σ. (258)	-10897,15	13479,56	654,24	650,4	-3,84
28	Ιδιωτική ? (267)	-9948,00	13412,36	651,93	650,9	-1,03
29	Ιδιωτική Μουσιδίου (251)	-11188,42	12507,24	656,64	655,0	-1,64
30	Ιδιωτική Παπαδόπουλου (249)	-11230,73	11719,54	679,59	680,0	0,41
31	ΔΕΥΑΚ (Υ/Δ3)	-11812,80	14435,76	652,50	651,3	-1,2
32	ΔΕΥΑΚ (ΥΚΖ 4)	-12945,33	13882,56	654,60	653,8	-0,8
33	ΔΕΗ (222/327)	-12889,5	15945,0	652,6	652,1	0,5
34	Ιδιωτική Σιδηρόπουλου Γ. (183)	-14047,27	15868,49	654,86	653,4	-1,46
35	ΔΕΗ (230/295)	-14318,40	16714,20	655,55	653,7	-1,85
36	ΔΕΗ (ΠΙΝΠ 2)	-13998,27	17647,49	663,82	660,1	-3,72
37	Κοινότητα Μαυροδενδρίου (290)	-16200,00	15425,00	695,00	689,8	-5,2
38	Ιδιωτική ? (173)	-15375,07	16513,18	665,48	663,5	-1,98
39	ΥΓΠ12/99	-16520,77	16008,18	708	705,2	-2,8
40	ΥΓΠ13/99	-17779,65	16470,72	780	776,3	-3,4
41	ΥΓΠ2/98	-16098,70	14437,12	695	684,6	-10,4
42	ΥΓΠ10/99	-18774,34	19315,55	740	729,6	-10,4
43	ΥΓΠ6/98	-16759,38	17284,85	710	691,6	-18,4
44	Ιδιωτική Μελίδη Ι. (454)	-17300,00	19300,00	675,00	670,3	-4,7
45	ΔΕΗ (Τ6Δ12)	-15364,27	18239,75	667,17	670,7	3,53
46	ΔΕΗ (Τ6Δ 6)	-16005,48	19051,53	657,24	656,6	-0,64
47	ΔΕΗ (Δ 448)	-16622,33	18741,41	699,31	669,4	0,09
48	ΔΕΗ (ΚΤ6Α 7)	-16243,97	19877,80	689,40	691,6	2,2
49	ΔΕΗ (Τ6Δ 46)	-17562,50	19744,25	673,77	674,3	0,53
50	ΔΕΗ (Δ 392)	-17470,04	18465,05	683,37	684,6	1,23

Το εμβαδόν του υδροφορέα, υπολογίστηκε σε 67,6 km², ενώ σύμφωνα με τα όρια που δίνει ο Στάμος (2001) είναι 59,3 km². Το μέσο υψόμετρο του υδροφορέα υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$H_m = \frac{\sum \varepsilon \cdot h'}{E} \quad (2.1)$$

όπου ε = η επιφάνεια μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών

h' = το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας ε

E = η ολική επιφάνεια της λεκάνης

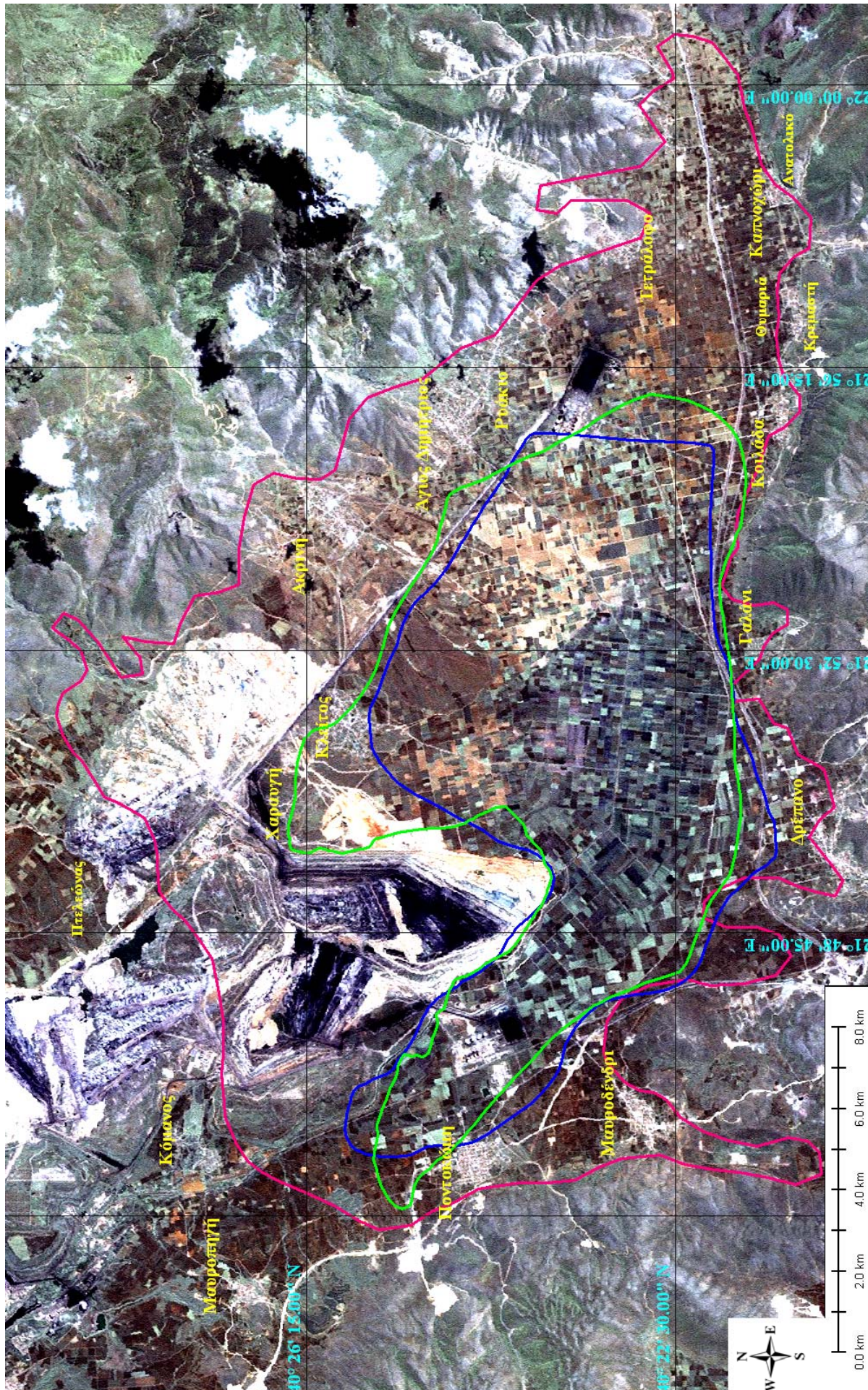
Οι ισοϋψείς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ανά 20 m και τα εμβαδά τους υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 3.2:

Πίνακας 3.2: Υπολογισμός μέσου υψομέτρου υδροφορέα Σαριγκιόλ.

<i>Υψομετρικές ζώνες</i>	<i>Εμβαδόν</i>
647-660 m	41,33 km ²
660-680 m	11,57 km ²
680-700 m	8,14 km ²
700-720 m	5,25 km ²
720-729 m	1,31 km ²

Αντικαθιστώντας τις τιμές του Πίνακα 2.2 στη σχέση 2.1 προκύπτει μέσο υψόμετρο υδροφορέα ίσο με:

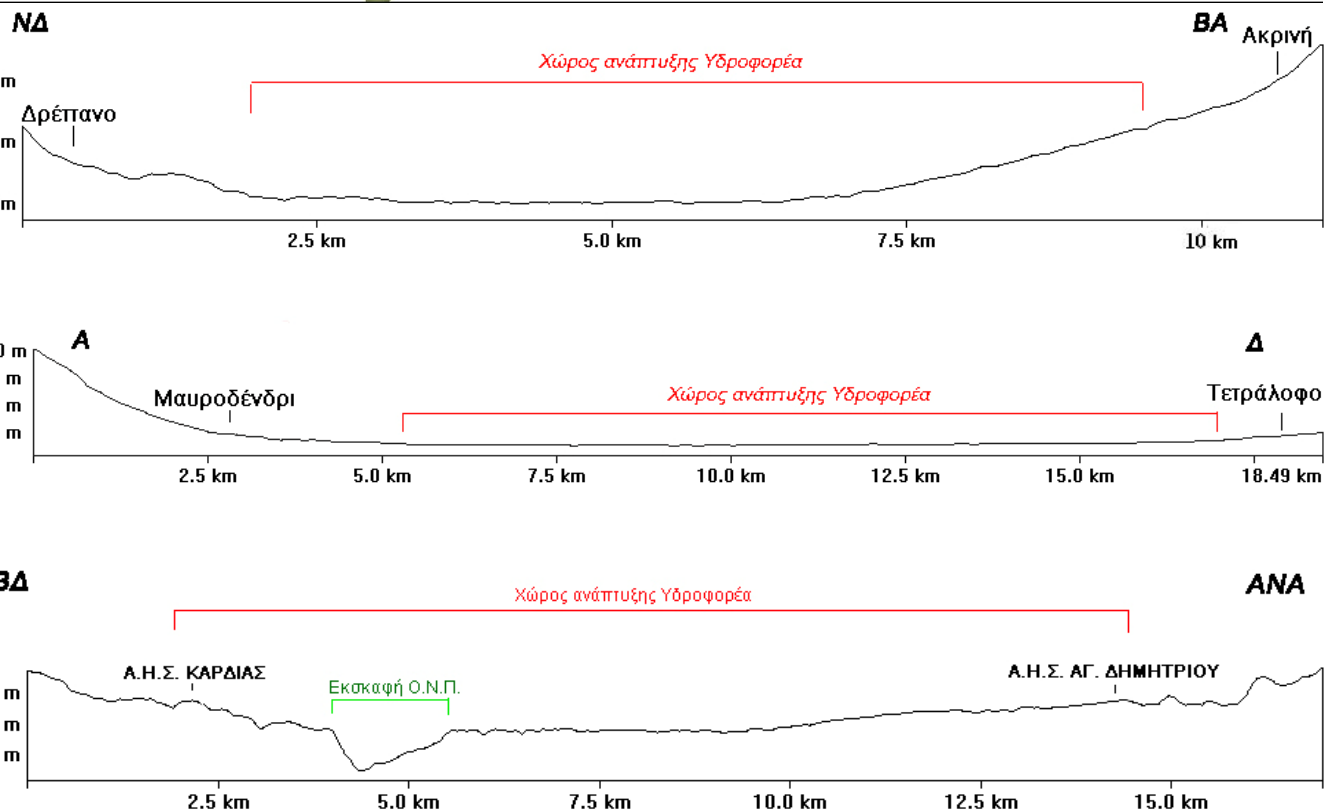
$$H_m = \frac{45081,76}{67,6} = 666,89 \text{ m} \approx 667 \text{ m}$$



Σχήμα 3.5: Τροποποιημένη δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+ (Row 184, Path 032) της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφρέα (Pancromatic). Με την κόκκινη γραμμή δίνεται το όριο του υδροφρέα της Σαργικιόλ, κατά Παπακωνσταντίνου (1983), με την μπλε γραμμή είναι το όριο που δίνει για τον ίδιο υδροφρέα ο Στάμος (2001), ενώ η πράσινη γραμμή δίνει τα όρια του υδροφρέα έτσι όπως προέκυψαν στην παρούσα Διατριβή Ειδικότητας. Η προβολή της εικόνας είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται κατά το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ED 50. Η δορυφορική εικόνα λήφθηκε στις 30/05/2001 (glcf.umiacs.umd.edu).

Επίσης, η ετήσια παροχή του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής ανακτήθηκε από την επεξεργασία των δεδομένων της ψηφιακής υψομετρικής μοντέλου (DSM) της αποστολής SRTM της NASA. Το ανάγλυφο του υδροφόρου ορίζοντα (πράσινη γραμμή), το ρέμα του Σουλίου (μπλε γραμμή) και οι αποστραγγιστικές τάφροι (γαλάζιες γραμμές).

The figure is a 3D topographic map of the Sulfur Valley area. The map shows the terrain with various peaks and valleys. A green line represents the water table, a blue line represents the Sulfur Valley, and cyan lines represent the drainage ditches. A compass rose in the bottom left corner indicates the orientation (North, South, East, West). A legend in the bottom right corner identifies the symbols: a green line for 'Όρια Υδροφορέα' (Water Table Boundary), a blue line for 'Ρέμα Σουλίου' (Sulfur Valley), and a cyan line for 'Αποστραγγιστικές τάφροι' (Drainage Ditches).



Σχήμα 3.7: Αντιπροσωπευτικές τοπογραφικές τομές, της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ.

3.2 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΧΩΡΑ ΣΤΗΝ ΕΓΓΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ

Η περιοχή που εντοπίζεται ο υδροφορέας Σαριγκιόλ, χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη του κοιτάσματος λιγνίτη του Νοτίου Πεδίου. Οι σχηματισμοί που υδροφορούν και έχουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, υπέρκεινται των λιγνιτικών στοιβάδων. Τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά του πολυστρωματικού κοιτάσματος που εντοπίζεται, επέβαλαν, από την έναρξη της λιγνιτικής δραστηριότητας, την επιλογή της επιφανειακής εκμετάλλευσης του κοιτάσματος με την εφαρμογή της συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης, με τη μέθοδο των ορθών αναβαθμίδων. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τη χρησιμοποίηση ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων μεγάλης δυναμικότητας και συνεχούς λειτουργίας, καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρους μεταφοράς και απόθεσης.

Λόγω της μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης και του μεγάλου πάχους του λιγνιτικού κοιτάσματος, για την οικονομικότερη, ταχύτερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία του ορυχείου επιβάλλεται η εκσκαφή των υπερκείμενων σχηματισμών. Πριν την έναρξη της λειτουργίας του ορυχείου, τα όρια του υδροφορέα ήταν αρκετά βορειότερα από τα σημερινά. Αποτέλεσμα της εξάπλωσης του ορυχείου είναι η απόληψη των υπερκείμενων υδροφόρων σχηματισμών και η σταδιακή καταστροφή μέρους του υδροφορέα.

Οι εξορυκτικές διαδικασίες του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου (βλ. Φωτο Π.4, Παράρτημα), σύμφωνα με το σημερινό ρυθμό εξόρυξης, θα συνεχιστούν για τα επόμενα 40 χρόνια, οπότε και θα αποληφθεί ένα μεγάλο τμήμα του σημερινού υδροφορέα. Ευνόητο αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας, είναι η σημαντική μείωση των υπόγειων αποθεμάτων νερού.

Η διαδικασία εξόρυξης όμως, όπως προαναφέρθηκε, προϋποθέτει και τη μείωση των υδατικών αποθεμάτων, ανεξάρτητα από τις εκσκαφές των υδροφόρων στρωμάτων. Η Δ.Ε.Η. προσπαθώντας να αποφύγει τα προβλήματα που θα δημιουργηθούν με την εισροή νερών από τα μέτωπα των εκσκαπόμενων υδροφόρων στρωμάτων (λόγω μεγάλης αύξησης της υδραυλικής κλίσης του υπόγειου νερού), αναγκάζεται να τοποθετήσει συγκροτήματα αντλητικών γεωτρήσεων κατά μήκος του μετώπου εξόρυξης, για την επαρκή πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή αυτή, με απώτερο στόχο τη διασφάλιση της ομαλής διεξαγωγής των εργασιών στο χώρο του ορυχείου και της μεγαλύτερης ευστάθειας των πρανών εκσκαφής (Φωτο Π.5, Παράρτημα).

Στη λεκάνη Σαριγκιόλ βρίσκονται τοποθετημένοι και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου (βλ. Φωτο Π.3, Παράρτημα) και Α.Η.Σ. Καρδιάς της Δ.Ε.Η., συνολικής ισχύος 2400 MW, οι οποίοι τροφοδοτούνται με λιγνίτη που εξορύσσεται από αυτή.

Στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης και δυτικά της εκσκαφής του Ο.Ν.Π. βρίσκονται οι γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. που καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες της πόλης της Κοζάνης και των οικισμών Κοίλα, Μελίσσια, Νέα Χαραυγή, Δρέπανο, Πετρανά, Καρδιά και Εξοχή.

Καθ' όλη την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας, αλλά και στην εγγύτερη περιοχή αυτού, βρίσκονται ιδιωτικές αντλητικές γεωτρήσεις, οι οποίες εξυπηρετούν τις ανάγκες των καλλιεργειών της περιοχής, καθώς και κοινοτικές γεωτρήσεις που υδρεύουν τα εκάστοτε Δημοτικά Διαμερίσματα. Σύμφωνα με την καταγραφή που έγινε στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ», απογράφηκαν συνολικά 487 γεωτρήσεις και πιεζόμετρα. Από το σύνολο των 487, οι 423 ($\approx 87\%$) αντλούσαν. Στις 423 γεωτρήσεις περιλαμβάνονται συνολικά οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. (102 γεωτρήσεις), δίχως όμως να χρησιμοποιούνται όλες.

Ο ακριβής αριθμός υδρογεωτρήσεων που υπάρχουν σήμερα στη λεκάνη δεν είναι γνωστός. Εκτιμώντας ότι στην περιοχή πραγματοποιείται συνεχής μεταβολή του αριθμού των υδροληπτικών έργων, λόγω: i) της κατασκευής νέων γεωτρήσεων αποστράγγισης των λιγνιτωρυχείων, ii) της εγκατάλειψης και καταστροφής παλαιών αποστραγγιστικών γεωτρήσεων, λόγω προχώρησης των μετώπων εκμετάλλευσης, iii) της καταστροφής αρδευτικών γεωτρήσεων για τον ίδιο ως άνω λόγο, iv) της διάνοιξης νέων γεωτρήσεων διαφόρων χρήσεων, υπολογίζεται ότι ο αριθμός των υπαρχόντων υδρογεωτρήσεων στη λεκάνη ξεπερνά τις 500. Για το 2005, εκτιμάται ότι χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 448 γεωτρήσεις, οι οποίες άντλησαν από τα υπόγεια αποθέματα του υδροφορέα (για αναλυτική δικαιολόγηση των παραπάνω, βλ. § 3.6.4).

Οι αρδευόμενες και καλλιεργούμενες εκτάσεις στη λεκάνη Σαριγκιόλ ανέρχονται περίπου στα 30.000 στρέμματα και οι καλλιέργειες αποτελούνται από ζαχαρότευτλα, πατάτες, μηδική, καλαμπόκι και λαχανικά. Η έντονη άντληση που υφίσταται ο υδροφορέας, καθώς και η εντατική χρήση λιπασμάτων, εδαφοβελτιωτικών και ζιζανιοκτόνων αποτελούν απειλή για το υπόγειο νερό.

Στην εγγύτερη περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα βρίσκονται τα Δημοτικά Διαμερίσματα Ποντοκόμης (1316 κατ.) και Μαυροδενδρίου (1253 κατ.) του Δήμου

Δημητρίου Υψηλάντη, Κλείτου (1289 κατ.), Ακρινής (1161 κατ.), Ρυακίου (339 κατ.), Αγίου Δημητρίου (1.079 κατ.), Τετραλόφου (454 κατ.), Κοιλάδος (850 κατ.), με τους οικισμούς Κοιλάδας (393 κατ.), Θυμαριάς (343 κατ.) και Κρεμαστής (114 κατ.), Αγίου Χαραλάμπους (187 κατ.), Καπνοχωρίου (424 κατ.), με τους οικισμούς Καπνοχώρι (357 κατ.) και Ανατολικού (57 κατ.) και το Δημοτικό Διαμέρισμα Δρεπάνου (1369 κατ.), με του οικισμούς Δρεπάνου (1340 κατ.) και Γαλανίου (29 κατ.), του Δήμου Ελλησπόντου (Ε.Σ.Υ.Ε. [2001]-www.statistics.gr).

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ υφίσταται εκτεταμένες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, που ελαττώνουν σταδιακά την υδροδυναμικότητά του, επηρεάζουν τα αποθέματά του και υποβαθμίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Βορειότερα της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα, στις εσωτερικές αποθέσεις του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου, εντοπίζεται ο Χ.Υ.Τ.Α. Δυτικής Μακεδονίας συνολικής έκτασης εγκαταστάσεων 327 στρεμμάτων. Η λειτουργία του ξεκίνησε από την 1^η Ιουλίου 2005 και μέχρι την 1^η Μαρτίου 2006 έχουν συνολικά αποτεθεί 58.609 τόνοι απορριμμάτων. Η λειτουργία του Χ.Υ.Τ.Α. δεν έχει καμία απολύτως επίδραση στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, διότι δεν υπάρχει υδραυλική επικοινωνία ανάμεσα στις υποκείμενες του Χ.Υ.Τ.Α. αποθέσεις, λόγω της ύπαρξης τεχνητής εκσκαφής.

3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

3.3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή των σχηματισμών που συναντώνται τόσο στην ευρύτερη περιοχή, όσο και στην εγγύτερη περιοχή που καταλαμβάνει ο υδροφορέας, ώστε να δοθεί μια πιο εποπτική εικόνα της επικρατούσας γεωλογίας. Απώτερος στόχος είναι να συνδυαστούν οι πληροφορίες που δίνονται στο κεφάλαιο αυτό με αυτές των επόμενων κεφαλαίων, για να δικαιολογηθεί εν τέλει η επιλογή της συγκεκριμένης λεκάνης.

Δίνεται επίσης και μια πιο συνοπτική και κατατοπιστική περιγραφή της τεκτονικής στην εγγύτερη περιοχή του υδροφορέα, ώστε να συνδυαστεί αυτή με δεδομένα υδρολιθολογίας, πάχους υδροφόρων στρωμάτων και κατά συνέπεια υδροδυναμικότητας. Τονίζονται θέματα τροφοδοσίας υλικών κατά το γεωλογικό παρελθόν, σε συνάρτηση με την επικρατούσα τεκτονική, ώστε να περιγραφεί όσο το δυνατόν καλύτερα η γεωμετρία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, αλλά και να επισημανθεί η πολυπλοκότητα που αυτός παρουσιάζει, παρά τον προσχωματικό του χαρακτήρα.

3.3.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελείται από πετρώματα που γεωτεκτονικά ανήκουν στην Πελαγονική και Υποπελαγονική ζώνη. Στις ορεινές μάζες συναντώνται Μεσοζωικά πετρώματα, τα οποία αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο των χαμηλότερων υψομετρικά εκτάσεων, στις οποίες έχουν αποθεθεί αρκετά μεγάλου πάχους Νεογενείς αποθέσεις και Τεταρτογενή υλικά, προϊόντα αποσάθρωσης, τα οποία παρουσιάζουν σημαντικό κατά θέσεις πάχος, κυρίως στις παρυφές της λεκάνης Σαριγκιόλ.

Ολόκαινο

Το Ολόκαινο συνίσταται από τις εξής αποθέσεις:

- *Σύγχρονες προσχώσεις και ελουβιακός μανδύας:* Αποτελούνται από άμμους, χαλίκια, αργίλους και κορήματα. Οι σχηματισμοί αυτοί αναπτύσσονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής, στους πρόποδες του Ασκίου όρους και στο κεντρικό τμήμα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, βόρεια του όρους Σκοπού.

- *Σύγχρονες λιμναίες αποθέσεις:* Αποτελούνται από αμμούχες, ασβεστούχες, κατά θέσεις λίγο χουμώδεις αργίλους, με φυτικά λείψανα και θραύσματα από αρτίγονα μαλάκια. Περιορίζονται στο χώρο που καταλάμβανε το πρώην έλος Σαριγκιόλ.

- *Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων*: Αναπτύσσονται κυρίως ανάμεσα στα χωριά Αγ. Δημήτριος και Τετράλοφο, που βρίσκονται ανατολικά της λεκάνης Σαριγκιόλ στις δυτικές παρυφές του Βερμίου. Το πάχος τους είναι σημαντικό, ξεπερνώντας κατά θέσεις τα 100 m.

Ανώτερο Πλειστόκαινο

Το Ανώτερο Πλειστόκαινο συνίσταται από συσσώρευση διαφόρων τύπων χονδροκλαστικών ιζημάτων, που καλύπτουν τις ασβεστολιθικές πλαγιές των βουνών Βερμίου, Ασκίου και Σκοπού. Πρόκειται για πλευρικά κορήματα, που συνίστανται από γωνιώδη, ασβεστολιθικά κυρίως θραύσματα, εγκλεισμένα μέσα σε κλαστική καστανοκίτρινη θεμελιώδη μάζα.

Μέσο Πλειστόκαινο

Αντιπροσωπεύεται από παλαιούς λατυποπαγείς κώνους, με χαρακτηριστικό γνώρισμα τη συνύπαρξη ερυθρών αργίλων και θραυσμάτων ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Η ισχυρή συνεκτικότητά τους περιορίζεται στα ανώτερα τμήματα των κώνων και αυξάνει γενικά από κάτω προς τα πάνω. Στο βόρειο τμήμα από την πλευρά του Βερμίου, όπου συναντάται και η μεγαλύτερη ανάπτυξη του σχηματισμού, οι κώνοι απολεπτύνονται. Η κυρίως μάζα αποτελείται από ερυθρές αργίλους, μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις αδρομερών κροκαλοπαγών. Τα ασβεστολιθικά στοιχεία αυξάνουν προς τα πάνω, ενώ στο νότιο τμήμα της λεκάνης το πάχος της συσσώρευσης ελαττώνεται προοδευτικά, ενώ το υλικό γίνεται περισσότερο αργιλοαμμώδες. Οι λατυποπαγείς κώνοι εμφανίζονται σε μικρή έκταση βορειοανατολικά του όρους Ασκίου, στο δυτικό τμήμα του χάρτη και σε ακόμη μικρότερη έκταση βόρεια του όρους Σκοπού.

Κατ. Πλειστόκαινο

Κατά το Κατώτερο Πλειστόκαινο έχουν αποτεθεί οι εξής σχηματισμοί:

- *Ερυθρές, άργιλοι και λατυποπαγή*: Βρίσκονται γύρω από το όρος Σκοπός και όλος ο σχηματισμός αποτελείται από λατυποπαγή τεμάχη μαρμάρου, ερυθρές αργίλους και διάσπαρτες ασβεστολιθικές λατύπες, με συγκεντρώσεις ασβεστολιθικού υλικού σε μορφή συγκριμάτων.

- *Ερυθρές άργιλοι με χαλίκια*: Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στο νοτιοδυτικό τμήμα του χάρτη, κάτω από τον πρώην βάλτο Σαριγκιόλ.

- *Κροκαλοπαγή «Προαστίου»*: Πρόκειται για ποτάμιες αποθέσεις με κροκάλες από

γάββρο, διαβάση, πηγματίτες, ασβεστολίθους, κρυσταλλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαρίτες και είναι αρκετά αποστρογγυλωμένες. Εμφανίζονται ανατολικά του όρους Ασκίου και οι εμφανίσεις τους επιφανειακά είναι μεμονωμένες. Εμφανίζουν μεγαλύτερη εξάπλωση υπογείως, καλυπτόμενες από τις πιο πρόσφατες αποθέσεις. Εκτιμάται ότι τα κροκαλοπαγή του Προαστίου είναι της ίδιας ηλικίας με την κίτρινη σειρά και αποτελούν το χονδροκλαστικό υλικό αυτής, που αποτέθηκε στα περιθώριά της, ενώ το αντίστοιχο λεπτοκλαστικό υλικό αποτέθηκε προς το κέντρο της.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

Μέσο - Αν. Πλειόκαινο- Αν. Μειόκαινο

- Μάργες, άργιλοι, άμμοι και λιγνίτες: Εμφανίζονται επιφανειακά μόνο σε λίγες θέσεις στο ΒΔ τμήμα της νότιας λεκάνης της Πτολεμαΐδας, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης καλύπτονται από τεταρτογενείς σχηματισμούς. Πρόκειται για τη λιγνιτοφόρο σειρά, για την οποία δίδονται αναλυτικότερα στοιχεία στη συνέχεια.

Σύμφωνα με τους Αναστόπουλο - Κούκουζα (1972), τα Τριτογενή ιζήματα ανάγονται στο Νεογενές, το οποίο χωρίζεται σε τρεις επιμέρους σειρές (Κολοβός, 2001):

1. Την ανώτερη σειρά η οποία περιλαμβάνει:

α) την ανώτερη στιβάδα των κιτρινόφαιων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων και μερικών αδρομερών, που αποτελείται κυρίως από εναλλασσόμενες στρώσεις ασβεστούχων άμμων, αργίλων, αμμούχων μαργών αλλά και πολλών λεπτών φακοειδών διαστρώσεων ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων, το πάχος των οποίων κατά θέσεις ξεπερνά τα 100 m. Ο σχηματισμός της σειράς τοποθετείται στο Άνω Πλειόκαινο-Κάτω Πλειστόκαινο και οφείλεται σε ποταμολιμναία - ποταμοχειμάρρια φάση απόθεσης.

Χαρακτηριστικό της σειράς αυτής αποτελεί ο μεγάλος αριθμός ασβεστιτικών συγκριμάτων, η δημιουργία των οποίων οφείλεται στα πλούσια σε CaCO_3 ασβεστιτικά διαλύματα που έρεαν από τους γύρω ορεινούς όγκους προς το κέντρο της λεκάνης. Η σειρά επίκειται σε ασυμφωνία στην αμέσως υποκείμενη σειρά των αργιλοαμμωδών πράσινων ιζημάτων.

β) τη στιβάδα των πρασινότεφων αργιλομαργαϊκών ιζημάτων που αποτελείται από αμμούχες αργίλους και ιλυομιγείς αργιλούχες μάργες, που επικάθονται σε συμφωνία στην αμέσως υποκείμενη λιγνιτοφόρο στιβάδα, με την οποία τα όρια πολλές φορές είναι δυσδιάκριτα. Ο σχηματισμός της σειράς αποδίδεται σε λιμναία φάση απόθεσης και συνδέεται με μεγάλο βάθος λίμνης. Το μέγιστο πάχος της σειράς ανέρχεται σε 70 - 80 m.

2. Τη λιγνιτοφόρο σειρά, πάχους έως 135 m, η οποία δημιουργήθηκε κατά το Αν. Μειόκαινο-Πλειόκαινο. Τη σειρά αυτή συνθέτουν τρεις στιβάδες: η ανώτερη και η κατώτερη περιλαμβάνουν τα λιγνιτοφόρα στρώματα και η ενδιάμεση, πάχους περί τα 15 m, αποτελείται από αμμούχες μάργες με σπάνιες ενστρώσεις αργίλων και συχνά από λιμναίες κρητίδες. Η ανώτερη λιγνιτοφόρος στιβάδα αποτελείται από 9-10 στρώματα λιγνίτη, πάχους λίγων εκατοστών έως 2 m, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις αργίλων, μαργών και κρητίδας. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων ανέρχεται σε 10 m και της στιβάδας σε 40 m. Η κατώτερη λιγνιτοφόρος στιβάδα αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνίτη, αργίλων και μαργών, ποικίλου πάχους. Εντός αυτών εντοπίζονται δύο χαρακτηριστικές ενστρώσεις από άμμο και λιμναία κρητίδα με το χαρακτηριστικό απολίθωμα *Neritina*, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως καθοδηγητικοί ορίζοντες για εντοπισμό ρηγμάτων στο κοίτασμα. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων στη στιβάδα αυτή ανέρχεται σε 55 m και ολόκληρης της στιβάδας σε 80 m.

3. Την κατώτερη υποκείμενη των λιγνιτών σειρά, ηλικίας Αν. Μειοκαίνου, που αποτελείται στους Ανωτέρους ορίζοντες από αργιλούχες μάργες κατά τόπους αμμούχες, με φακοειδείς διαστρώσεις μαργαϊκού ασβεστολίθου, συνολικού πάχους 90 m. Βαθύτερα μέχρι και 110 m έχουν διαπιστωθεί αμμώδεις άργιλοι με μαργαϊκές ενστρώσεις.

Κατ. Μειόκαινο

- *Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή:* Πρόκειται για έναν κλαστικό σχηματισμό που αποτελείται από ασβεστολιθικά λατυποπαγή με πολύ μεγάλη συνεκτικότητα και από κροκαλοπαγή με μεγάλες κροκάλες από κρυσταλλικά πετρώματα. Τα κροκαλοπαγή αντιστοιχούν σε παλιές προσχώσεις χειμάρρων με πιθανή κατεύθυνση ροής από νότο (Πιέρια Όρη) προς βορρά. Οι εμφανίσεις τους είναι μεμονωμένες, βορειοανατολικά του όρους Σκοπού και νοτιοδυτικά του όρους Βερμίου.

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

ΜΕΣΟ - ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΑΙΚΟ

Αν. Μαιστρίχτιο

- *Φλύσχης:* Πρόκειται γενικά για χονδροκλαστικό σχηματισμό, στη βάση του οποίου απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι μετάβασης προς την υποκείμενη ανθρακική σειρά. Προς τα πάνω συναντώνται στρώματα ψαμμιτών και κροκαλοπαγών που σπανίως περιέχουν φακούς ασβεστολίθων. Τα κροκαλοπαγή συνίστανται από κροκάλες διάφορων

πετρωμάτων, επικρατούν όμως εκείνες από μεταμορφωμένα πετρώματα. Τυπικές εμφανίσεις φλύσχη έχουμε στο Βέρμιο και στην περιοχή της Κοζάνης.

Τουρόνιο - Μαιστρίχτιο

- *Ασβεστόλιθοι νηρητικής φάσης:* Πρόκειται για λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ανθρακικούς σχηματισμούς με ποικιλία χρώσεων. Οι παραλλαγές της ιζηματογένεσης είναι σημαντικές από θέση σε θέση. Στο Βέρμιο συναντώνται προς τη βάση σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε συμπαγείς ασβεστολίθους με θραύσματα ρουδιστών. Ακολουθούν ασβεστόλιθοι με πολλά ίχνη Γαστεροπόδων και η σειρά κλείνει με λεπτοκλαστικούς πλακώδεις, τεφρού χρώματος, ασβεστολίθους, με φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων. Κύριες εμφανίσεις απαντούν στο Βέρμιο και στην περιοχή της Κοζάνης.

Κενομάνιο - Τουρόνιο

- *Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι βασικής σειράς επίκλυσης:* Πολυγενετικά κροκαλοπαγή με βιολετί ή ερυθρωπό συνδετικό υλικό που συνίστανται από οφιολιθικές και ασβεστολιθικές κροκάλες, συνήθως μεγάλου μεγέθους. Αναπτύσσονται στο Βέρμιο με το πάχος τους όμως να μειώνεται τόσο ανατολικά όσο και δυτικά. Οι ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε κλαστικούς, λεπτοπλακώδεις με χρώμα τερφοπράσινο, σε κονδυλώδεις σκουρόχρωμους με ίχνη Γαστεροπόδων και σε μαργαϊκούς κιτρινόχρωμους. Τόσο τα κροκαλοπαγή όσο και οι ασβεστόλιθοι είναι κατά θέσεις ανακρυσταλλωμένοι.

ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

- *Σύστημα σχιστοκερατολίθων και οφιολίθων:* Αποτελείται από σχιστές αργίλους ελάχιστα μεταμορφωμένες, ιλυολίθους και μικροκοκαλοπαγή, σε στενή σύνδεση με τους σερπεντινίτες. Στο σύστημα απαντούν ενστρώσεις όξινων σχιστωδών πετρωμάτων με ορυκτά μεταμορφώσεως, μεταξύ των σερπεντινιτών, καθώς και ημιμεταμορφωμένοι σχιστόλιθοι, επάλληλα εναλλασσόμενες τράπεζες σχιστολίθων και μαρμάρων και κερατολιθικοί όγκοι με διάφορες αποχρώσεις μέσα στους σχιστόλιθους. Οι οφιοίλιθοι συνίστανται από μερικούς όγκους περιδοτιτών, ενώ οι λοιπές εμφανίσεις συνίστανται από σερπεντινίτες.

Το σύστημα συναντάται τόσο στην περιοχή της Κοζάνης (Δρέπανο, Μαυροβούνι) όσο και στο Βέρμιο όπου παρατηρείται κατά τρόπο συνεχή από τον Άγιο Δημήτριο μέχρι τον αυχένα Φλάμπουρο.

Το πάχος του συστήματος σχιστοκερατολίθων - οφιολίθων ποικίλει από θέση σε

θέση. Κατά περιοχές μπορεί να λείπει και τα κροκαλοπαγή βάσης της Κενομάνιας επίκλυσης, κάθονται απ' ευθείας πάνω στους Ιουρασικούς ασβεστολίθους.

ΤΡΙΑΔΙΚΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

- *Ασβεστόλιθοι*: Αποτελούνται από σκοτεινοκύανους ή τεφρούς ασβεστολίθους με καλή στρώση και ποικίλο, κατά τράπεζες, βαθμό ανακρυστάλλωσης. Περιλαμβάνουν πολυάριθμους ορίζοντες λατυποποιημένων ασβεστολίθων ερυθρωπού χρώματος, όπως επίσης και ορίζοντες συμπαγών μαύρων δολομιτικών ασβεστολίθων. Προς τα πάνω αναπτύσσονται πολύ ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με στρώση συχνά λιγότερο σαφή και γενικά πιο ανοιχτόχρωμοι. Ορίζοντες αδρόκοκκων και λατυποποιημένων ασβεστολίθων με ερυθρωπή συνδετική ύλη ξαναβρίσκονται και μέσα σε αυτή την ανώτερη σειρά.

Αναπτύσσονται στο κεντρικό και νοτιοανατολικό Βέρμιο, στο Άσκιο, στο Βούρινο, στα Καμβούνια και στο όρος Σκοπό. Πιο συγκεκριμένα στο Βέρμιο η σειρά είναι μονότονη και η στρώση των ασβεστολίθων είναι άλλοτε σαφής (χαράδρα Μάνδρες) και άλλοτε έχει εντελώς εξαφανιστεί εξ' αιτίας του τεκτονισμού (Τετράλοφος). Το πάχος του σχηματισμού είναι 1000 m.

- *Ασβεστόλιθοι*: Πρόκειται για τεφρούς, κρυσταλλικούς, με καλή στρώση και παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστολίθων, των οποίων ο βαθμός ανακρυστάλλωσης ποικίλει από θέση σε θέση. Στα ανώτερα μέλη τους παρεμβάλλεται μία σχιστο-ψαμμιτο-κερατολιθική διάπλαση μικρού πάχους με εγκλωβισμένα σώματα οφιολίθων, η οποία μεταβαίνει πάλι σε ασβεστολίθους επίσης τεφρού έως μελανότεφρου χρώματος. Ο σχηματισμός αναπτύσσεται στην περιοχή του Ασκίου όρους και Γαλατινής.

Η επαφή με το υποκείμενο μεταμορφωμένο υπόβαθρο πιθανότατα είναι τεκτονική, κάτι το οποίο από τις επιφανειακές επαφές που είναι ορατές στα όρη Άσκιο και Βόρρας (Στάμος, 2001).

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΒΕΡΜΙΟΥ

Οι ρίζες του επωθημένου καλύμματος βρίσκονται στα ανατολικά απότομα πρανή του Βερμίου και η επώθησή του έγινε πάνω στον πελαγονικό φλύσχη.

Αποτελείται από κροκαλοπαγή και ασβεστολίθους του κατώτερου Κρητιδικού. Πρόκειται για αλλόχθονη ανθρακική σειρά της ζώνης Αξιού, σε ανώμαλη τεκτονική επαφή πάνω στον ανωκρητιδικό φλύσχη της Πελαγονικής ζώνης, γεγονός που φανερώνει την επώθησή της.

Περιλαμβάνει από κάτω προς τα πάνω:

- κροκαλοπαγή πολύ μεταβλητού πάχους, που συναντώνται στο Βέρμιο.
- συμπαγείς σκοτεινόχρωμους ασβεστολίθους, συχνά λατυποπαγείς όλο και λιγότερο κλαστικούς.
- πολύ σκοτεινόχρωμους ασβεστολίθους.
- εναλλαγές πλακωδών ανοικτέρυθρων ασβεστολίθων και σκοτεινόχρωμων συμπαγών ασβεστολίθων.
- σκοτεινόχρωμους ασβεστολίθους, συχνά λατυποπαγείς, με τράπεζες από συμπαγείς ασβεστολίθους.

Εντοπίζεται στο κεντρικό Βέρμιο, στο δυτικό Σκοπός και στο νοτιοανατολικό Άσκιο, ενώ εκτιμάται ότι είναι πολύ πιθανό να υφίστανται σημαντική εξάπλωσή κάτω από τα νεογενή της λεκάνης Σαριγκιόλ.

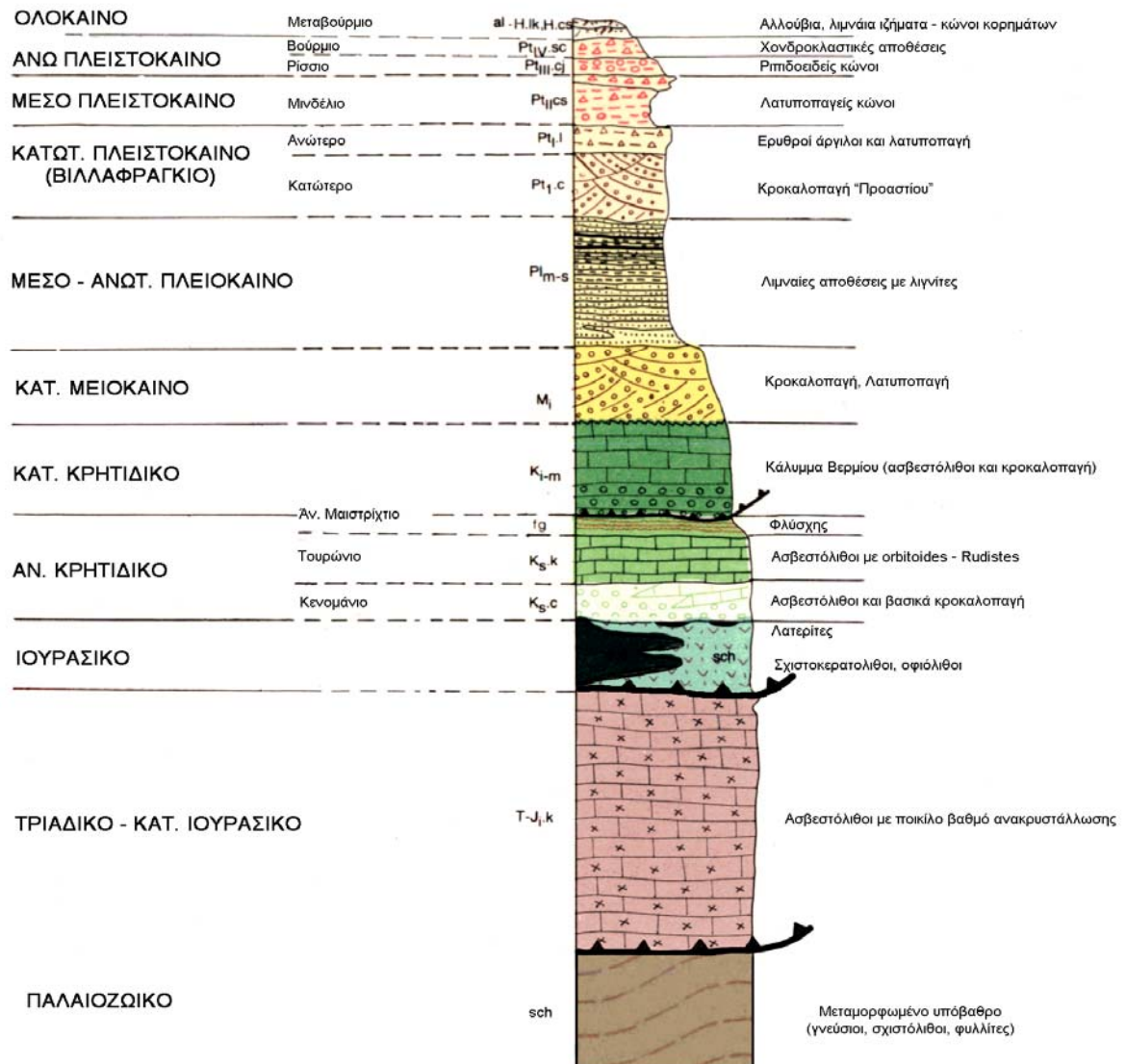
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Δυτικά και νότια της περιοχής μελέτης εντοπίζονται πετρώματα του Παλαιοζωικού υποβάθρου της Πελαγονικής. Στα δυτικά της εξεταζόμενης περιοχής (στην περιοχή Άρδασσας-Δρυόβουνου) αποτελούνται από εναλλαγές αμφιβολιτικών, μαρμαρυγιακών και επιδοιτιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές πρασινιτών, ηφαιστειακών πετρωμάτων και μικρού πάχους σχιστογενεσίων και χαλαζιτών. Στα ανατολικά της περιοχής (μεταξύ Τριγωνικού-Μικρόβαλτου-Λαζαράδων και ΝΑ των οικισμών Μεταξά και Βελβενδού) εντοπίζονται μαρμαρυγιακοί και ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι, γνευσιο-σχιστόλιθοι και γνεύσιοι, στα οποία παρεμβάλλονται προαλπικά όξινα κυρίως πυριγενή σώματα.

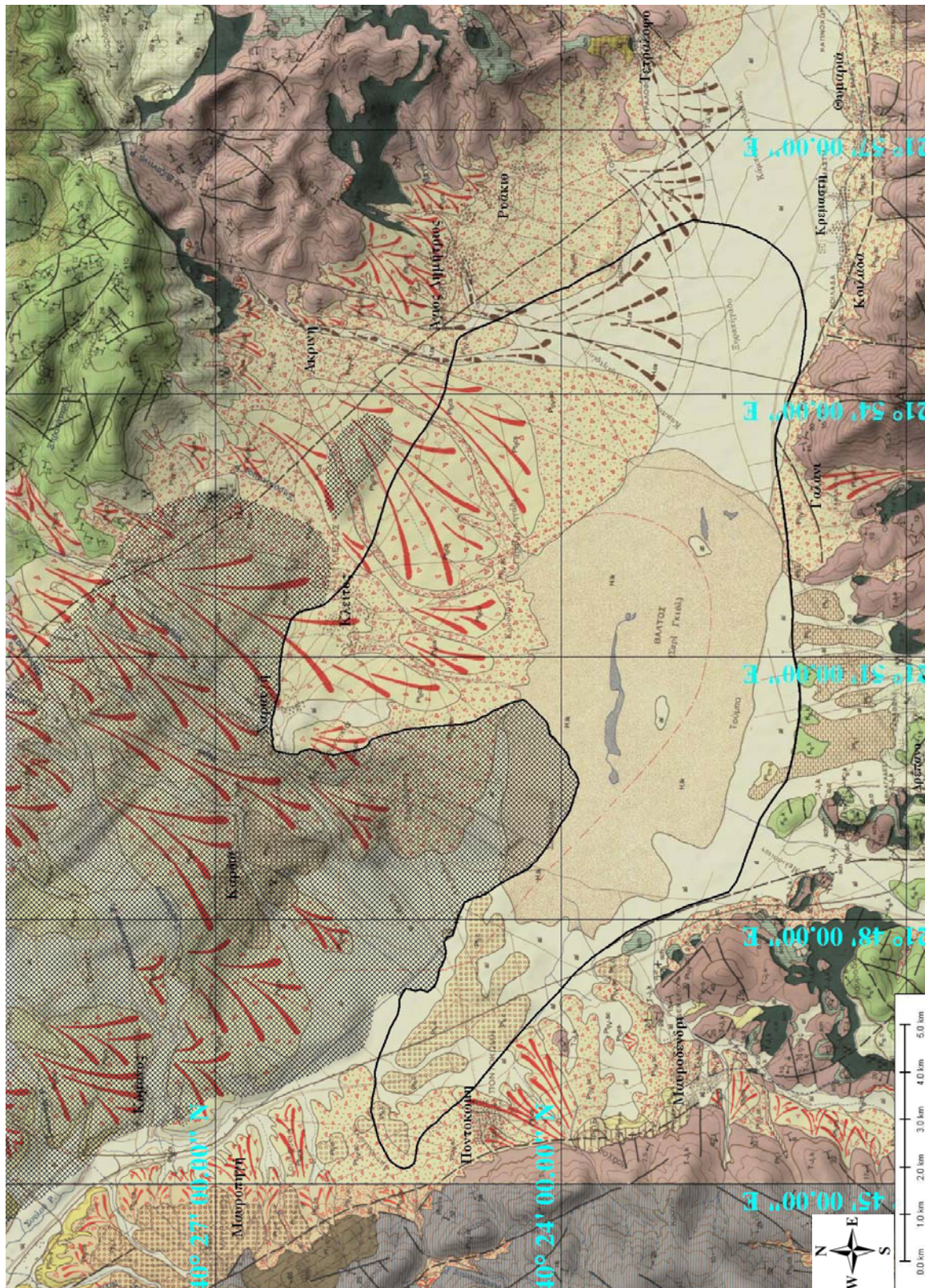
ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΥΛΑΚΑ

Δυτικά της περιοχής μελέτης, αναπτύσσεται η Μεσοελληνική Αύλακα, χαρακτηριστική για την ύπαρξη των μολασσικών της ιζημάτων. Στο Νομό Κοζάνης οριοθετείται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους του Ασκίου στα ανατολικά και του Βοΐου στα δυτικά. Η κύρια εξάπλωσή της εντοπίζεται στο Νομό Γρεβενών. Συνίστανται από μεγάλου πάχους ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, αργίλους και μάργες. Το αλπικό της υπόβαθρο αποτελούν κυρίως μεγάλου πάχους οφιολιθικές μάζες, αλλά και Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι.

Στο Σχήμα 3.8 δίνεται η στρωματογραφική στήλη της ευρύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, τροποποιημένη από το γεωλογικό φύλλο «ΚΟΖΑΝΗ» του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000. Στο Σχήμα 3.9 δίνεται ο τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης της υπό μελέτη περιοχής, προϊόν ψηφιακής σύνθεσης των γεωλογικών φύλλων «ΚΟΖΑΝΗ» και «ΣΙΑΤΙΣΤΑ» του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000.



Σχήμα 3.8: Συνθετική στρωματογραφική στήλη της ευρύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ. Τροποποιημένη από γεωλογικό φύλλο «ΚΟΖΑΝΗ», κλίμακας 1:50.000 (Ι.Γ.Μ.Ε.).



Σχήμα 3.9: Σκιασμένος τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης, που προέκυψε από την ψηφιακή σύνθεση και επεξεργασία των γεωλογικών φύλλων «ΚΟΖΑΝΗ» και «ΣΙΑΤΙΣΤΑ» του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000. Ο υδροφόρος της Σαρινγκιόλ περιβάλλεται με τη μαύρη καμπύλη γραμμή, ενώ η σκιασμένη περιοχή καλύπτει το χώρο ανάπτυξης των λιγνιτωρυχείων. Η προβολή του χάρτη είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται κατά το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ED 50.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε.,

φύλλο «ΚΟΖΑΝΗ», κλίμακας 1:50.000

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Ολόκαινο		Σύγχρονες προσχώσεις & ελουβιακός μανδύας
Ολόκαινο		Σύγχρονες λιμναίες αποθέσεις
Ολόκαινο		Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων
Ανώτατο Πλειστόκαινο (Βούρμιο)		Συσσώρευση χονδροκλαστικών ιζημάτων
Ανώτατο Πλειστόκαινο (Βούρμιο)		Κατώτερη βαθμίδα
Ανώτερο Πλειστόκαινο (Ρίσσιο)		Ριπιδοειδείς κώνοι & ελουβιακά πεδία υπωρειών, ελαφρά συγκολλημένα
Μέσο Πλειστόκαινο (Μινδέλιο)		Λατυποπαγείς κώνοι
Κατώτερο Πλειστόκαινο (Βιλλαφράγκιο)		Ερυθρές άργιλοι & λατυποπαγή
Κατώτερο Βιλλαφράγκιο		Κροκαλοπαγή «Προαστίου»

ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

Μέσο - Ανώτερο Πλειόκαινο		Μάργες, άργιλοι, άμμοι, λιγνίτες
Κατώτερο Μειόκαινο		Κροκαλοπαγή & λατυποπαγή

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

Άνω Μαιστρίχτιο		Φλύσχος	
Τουρώνιο - Μαιστρίχτιο		Επικλυσιογενής ανθρακική σειρά	
Κενομάνιο - Τουρώνιο		Κροκαλοπαγή & ασβεστόλιθοι βασικής σειράς επίκλυσης	
Τριαδικό - Κατώτερο Ιουρασικό		ή 	Ασβεστόλιθοι

ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

Ιουρασικό	
-----------	--

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΒΕΡΜΙΟΥ

Κατώτερο Κρητιδικό		Κροκαλοπαγή & ασβεστόλιθοι
--------------------	--	----------------------------

ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Παλαιοζωικό		Σχιστόλιθοι
-------------	--	-------------

	Γεωλογικό όριο
	Κανονικό ρήγμα
	Ανάστροφο ρήγμα

3.3.3 Γεωλογία της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα

Στην ταφροειδή λεκάνη Σαριγκιόλ, όπου και αναπτύσσεται ο ομώνυμος υδροφορέας, έχουν σχηματιστεί κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία εκμεταλλεύεται το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου (Λ.Κ.Π.-Α.).

Από το Ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι και το Τεταρτογενές έχουν αποτεθεί τα υπερκείμενα των λιγνιτών ιζήματα, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 22,35 m έως 239,40 m (Κολοβός, 2001), το οποίο αυξάνεται από τα ΒΔ προς τα ΝΑ. Οι διαφορές στο πάχος των υπερκείμενων οφείλονται κυρίως στις μεταπτώσεις, που προϋπήρχαν της απόθεσης των υλικών.

Οι υπερκείμενες σειρές ιζημάτων, η διάκριση των οποίων βασίστηκε κυρίως σε λιθολογικά κριτήρια (διαφορετική υφή, σύσταση και χρώμα), δίνονται από πάνω προς τα κάτω και είναι κατά σειρά (Σταμούλης, Κ. & Μήτρου, Π., 1997):

- *Η ερυθρόφαιη σειρά:* Η ηλικία της σειράς αυτής είναι Μέσο Πλειστόκαινο. Έχει πάχος 20 m περίπου και αποτελείται από άργιλο, κροκάλες, λατύπες, ασβεστολιθικής σύστασης, καθώς και από ασβεστολιθικό λατυποκροκαλοπαγές.

Η σειρά αυτή προήλθε από το υλικό διάβρωσης του ασβεστολιθικού όγκου του Βερμίου και η τοποθέτησή της στη σημερινή θέση, επήλθε ύστερα από τη μεταφορική δράση των ρεμάτων, η οποία και καθόρισε την κατανομή του υλικού στη λεκάνη, όσον αφορά την κοκκομετρία του. Προς τα ανατολικά κράσπεδα απαντά χονδροκλαστικό υλικό αποτελούμενο από κροκάλες, λατύπες και λατυποκροκαλοπαγές, ενώ στο κέντρο της λεκάνης συναντάται λεπτομερές αργιλικό υλικό. Από τα ΒΑ προς τα ΝΔ παρατηρείται σταδιακή μετάβαση από χονδρόκοκκο προς λεπτόκοκκο υλικό.

- *Η κιτρινόφαιη σειρά:* Η σειρά αυτή τοποθετείται στο Κατώτερο Πλειστόκαινο. Πρόκειται για ποταμοχειμάρια ιζήματα που αποτελούνται από γκριζοκίτρινη άργιλο, γκρι-γκριζοπράσινη άργιλο, γκριζοκίτρινη άμμο, χαλίκια, ψαμμιτοκροκαλοπαγές, ψηφιδοπαγές και ενστρώσεις ψαμμίτη.

Μέσα σ' αυτήν απαντούν στρώματα συνεκτικού σκληρού ψαμμιτο-κροκαλοπαγούς τα οποία εξελίσσονται περίπου παράλληλα μεταξύ τους. Τα στρώματα αυτά μεταπίπτουν σε άμμους, χαλίκια και κροκάλες (με σημαντικό ενεργό πορώδες, επιτρέποντας έτσι την κίνηση και αποθήκευση του υπόγειου νερού). Μέσα στη γκριζοκίτρινη και γκρι-γκριζοπράσινη άργιλο, απαντούν, κατά θέσεις, ενστρώσεις πηλίτη που προήλθαν από τη διαγένεση ιλύος και αποτελούν σκληρούς σχηματισμούς, η διαγένεση των οποίων έγινε με τη συνδρομή ασβεστιτικών διαλυμάτων, που αφθονούν στην περιοχή, λόγω των

ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των σχηματισμών αυτών είναι διασταυρούμενες στρώσεις ασύμφωνα τοποθετημένες επί της πρασινοτέφρου υποκείμενης σειράς, καθώς και η παρουσία σιδηροξειδίων στους άμμους της σειράς αυτής, που προέκυψαν από την εξαλλοίωση κατά κύριο λόγο του χαλαζιακού υλικού.

Η απόθεση τους έγινε σε φάση περιορισμού του βάθους της λίμνης και το πάχος της φτάνει τα 20-25 m, ενώ από τα ΝΔ προς τα ΒΑ παρατηρείται μετάβαση από χονδόκοκκο (πολύμικτα κροκαλοπαγή) προς λεπτομερές υλικό (εναλλαγές αμμούχων στρωμάτων με αργίλους).

Προς τα Ν-ΝΔ-Δ, στις περιοχές Καρδιάς και Ποντοκόμης απαντά το κροκαλοπαγές του Προαστίου που αποτελείται από αμμοχαλικώδεις σχηματισμούς. Στη σύσταση τους συμμετέχουν βασικά και υπερβασικά πετρώματα καθώς και μεταμορφωμένα (όπως προαναφέρθηκε). Πρόκειται για ιζήματα της ίδιας τροφοδοσίας με αυτά που απαντούν στην κιτρινόφαιο σειρά με το χονδροκλαστικό υλικό προς τα Ν-ΝΔ και το λεπτομερές προς τα ΒΑ. Το πάχος του φτάνει τα 90 m.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της σειράς αυτής είναι η γεωλογική κατασκευή της, η οποία υπόκειται σε τεκτονικό έλεγχο από τη λειτουργία των ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης ρηγμάτων. Αποτέλεσμα της δράσης των ρηγμάτων, τα οποία λειτούργησαν πριν, κατά και μετά την απόθεση των υλικών, είναι η δημιουργία τοπικών τεκτονικών κέρατων και τάφρων, τα οποία έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην απόθεση της σειράς αυτής.

- *Η πρασινότεφρη σειρά:* Η σειρά αυτή τοποθετείται στο Ανώτερο Πλειόκαινο. Αποτελείται στο σύνολο της από πράσινη άργιλο, άμμο και ιλύ λιμναίας φάσης. Πρόκειται για μαλακούς σχηματισμούς με χρώμα πρασινότεφρο, που επικάθονται σε συμφωνία με την υποκείμενη λιγνιτοφόρο στιβάδα. Η απόθεσή της έγινε σε περίοδο ηρεμίας με μεγάλο βάθος της λίμνης. Το πάχος της είναι 20-25 m και κοντά στα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης συγγενικά ρήγματα φθάνει τα 50-60 m.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως η απόθεση των ιζημάτων κάθε σειράς συνδέεται περισσότερο με την τεκτονική που λειτουργούσε την συγκεκριμένη γεωλογική περίοδο, σε συνδυασμό με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες.

Για παράδειγμα τα ιζήματα της κιτρινόφαιης σειράς σταμάτησαν να τροφοδοτούν τη λεκάνη από τη σταδιακή δράση των ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηγμάτων. Το ίδιο συνέβη και με την πρασινότεφρη σειρά, με τη δράση των ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρηγμάτων.

Η δράση των εφελκυστικών δυνάμεων στην περιοχή προκάλεσαν την ελαφρά πτύχωση των ιζημάτων, δημιουργώντας ανοικτές πτυχές μεταξύ ρηγμάτων και κεκαμένες

πτυχές κοντά σ' αυτά με άξονα ΒΑ-ΝΔ.

Υποκείμενη των παραπάνω σχηματισμών είναι η λιγνιτοφόρος στοιβάδα, αναλυτική περιγραφή της οποίας έγινε προηγουμένως, ενώ υποκείμενη της λιγνιτοφόρου στοιβάδας είναι μια σειρά αργίλων και μαργών, με ενστρώσεις άμμων και ψαμμιτών σε βαθύτερους ορίζοντες, συνολικού πάχους πάνω από 200 m. Πάνω από το στερεό υπόβαθρο της τεκτονικής λεκάνης τοποθετείται ερυθρό κροκαλοπαγές βάσης. Γεωλογικό υπόβαθρο όλων των παραπάνω σχηματισμών αποτελεί ο Τριαδικο-Ιουρασικός ασβεστόλιθος και πιθανώς κατά θέσεις και ο Κρητιδικός ασβεστόλιθος.

Συγκεντρωτικά αναφέρεται πως σε κάθε μία από τις υπερκείμενες του λιγνίτη σειρές, εμφανίζονται σκληροί, συμπαγοποιημένοι σχηματισμοί, οι οποίοι σταδιακά μεταπίπτουν σε χαλαρούς. Στην ερυθρόφαιη σειρά εμφανίζεται το ασβεστολιθικό λατυποκροκαλοπαγές, ενώ στην κιτρινόφαιη σειρά συναντώνται πολύμικτης σύστασης ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, αποτελούμενες από ψαμμίτη, ψαμμιτοκροκαλοπαγή, και πολύμικτα κροκαλοπαγή που βρίσκονται σε εναλλαγές με αργίλους. Στην πρασινότεφρη σειρά και μέσα στο πάνω τμήμα της γκριζοπράσινης αργίλου εμφανίζονται φακοειδείς ενστρώσεις σκληρών αμμοχάλικων περιορισμένης έκτασης, καθώς και στρώματα αμμοχάλικων τα οποία αποτελούν τη ζώνη μετάβασης από τη λιμναία στην ποταμοχειμάρια φάση.

3.3.4 Τεκτονική της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα

Στην περιοχή που μελετάμε η τεκτονική αποτελεί σημαντική παράμετρο, τόσο όσον αφορά την εκμετάλλευση του κοιτάσματος λιγνίτη, όσο και τη λειτουργία του υδροφορέα της Σαριγκιόλ.

Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων που εντοπίζονται στην περιοχή προήλθαν από εκτεταμένες εφελκυστικές τάσεις κατά το γεωλογικό παρελθόν, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων. Οι ομάδες ρηγμάτων που παρατηρούνται είναι δύο. Η μία ομάδα έχει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και η άλλη ΒΑ-ΝΔ. Μεταξύ αυτών αναπτύσσονται και ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ. Συμπερασματικά αναφέρονται οι παρακάτω ομάδες ρηγμάτων:

- Ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ηλικίας Άνω Μειοκαίνου - Άνω Πλειοκαίνου αποτέλεσμα του ΒΑ-ΝΔ εφελκυσμού. Η κλίση τους είναι προς τα ΝΔ στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης (υπόρειες Βερμίου όρους) και ΒΑ στο δυτικό τμήμα αυτής (υπόρειες Ασκίου όρους). Η ομάδα αυτή δραστηριοποιείται μέχρι την επαφή της πρασινότεφρης

σειράς και της λιγνιτοφόρου στιβάδας, όπως διαπιστώθηκε από παρατηρήσεις στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου (Σταμούλης, 2005) και είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό της τεκτονικής τάφρου Φλώρινας-Κοζάνης και το σχηματισμό του λιγνίτη.

- Ρήγματα BA-NA, έως ABA-ΔNA διεύθυνσης, ηλικίας Ανωτέρου Πλειοκαίνου - Μέσου Πλειστόκαινου, αποτέλεσμα ενός ΒΔ-NA εφελκυσμού. Τα ρήγματα αυτά τεμάχισαν τη λεκάνη και δημιούργησαν θέσεις για τη φιλοξενία των ποταμοχειμάρριων αποθέσεων του Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Η ανάπτυξη των ρηγμάτων αυτών φτάνει μέχρι την επαφή ερυθρόφαιης και κιτρινόφαιης σειράς ιζημάτων. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού, είναι η αύξηση του πάχους των ποταμοχειμάρριων υλικών στη βύθιση των BA ρηγμάτων και περισσότερο μεταξύ δύο ρηγμάτων αντιθετικής κλίσης, όπου δημιουργούνται επί μέρους ταφροειδή βυθίσματα. Η τεκτονική του τόξου BA-NA αποτελείται από δύο υποομάδες. Η μία περιλαμβάνει τα BA-NA διεύθυνσης ρήγματα και η άλλη με διεύθυνση ABA-ΔNA έως και A-Δ. Τα ρήγματα της τελευταίας υποομάδας είναι τα νεότερα και αυτά που λειτουργούν μέχρι σήμερα (Σταμούλης, 2005).

Τα BA-NA ρήγματα δημιούργησαν κατά θέσεις μικρότερες υπολεκάνες και τεκτονικά εξάρματα, τα οποία διασχίζουν σχεδόν κάθετα το αρχικό βύθισμα και οριοθετούνται από κανονικά ρήγματα της ομάδας αυτής (Παυλίδης, 1985). Πρόκειται για τα εξάρματα (από νότο προς βορρά) του Κομάνου, του Μπορντό και του Κλειδιού, που οριοθετούν αντίστοιχα τις υπολεκάνες Νοτίου Πεδίου (Σαριγκιόλ)-Πτολεμαΐδας, Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και Αμυνταίου-Φλώρινας. Το τεκτονικό εξάρμα του Κομάνου είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μελέτη του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, διότι οριοθετεί τεκτονικά και υδρογεωλογικά τα υδροφόρα ιζήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ, με αυτά της λεκάνης Πτολεμαΐδας, καθώς η γεωμορφολογική έκφραση του τεκτονικού κέρατος που δημιουργείται οριοθετεί και το βόρειο όριο της υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ.

Μέσα στο χώρο του ορυχείου, κατά μήκος των εκσκαπτόμενων μετώπων και γύρω από τα μεγάλα κανονικά ρήγματα παρατηρούνται αναστροφα μικρορήγματα τα οποία δεν οφείλονται σε εφαρμοζόμενο συμπιεστικό πεδίο τάσεων, αλλά προκύπτουν από τη συμπίεση, η οποία είναι απόρροια του εφελκυσμού.

Στο δυτικό τμήμα του υδροφορέα, στην ευρύτερη περιοχή Μαυροδενδρίου-Ποντοκόμης, εντοπίζονται κανονικά ρήγματα, στα ιζήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ, τα οποία εντοπίστηκαν με γεωτρητικές έρευνες, καθώς και στους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστολίθους. Ο προσδιορισμός των ρηξιγενών αυτών δομών, προήλθε από τον εντοπισμό φωτογραμμώσεων, αποτέλεσμα μελέτης ψευδοέγχρωμων συνθέσεων

δορυφορικών εικόνων Landsat-5 TM (Μελαδιώτης, Τρανός & Τσολακόπουλος, 2001). Πρόκειται για ρηξιγενείς δομές τεσσάρων διευθύνσεων:

- BBA-NNA διεύθυνσης, με κλίση προς τα ABA, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως πρώτης τάξης ρηξιγενείς δομές και εμφανίζουν ευθύγραμμη ανάπτυξη, με πολύ μεγάλες έως σχεδόν κατακόρυφες γωνίες κλίσης.
- BA-NA διεύθυνσης, με κλίση προς τα BA, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως δεύτερης τάξης ρηξιγενείς δομές και παρουσιάζουν ενδιάμεσες έως μεγάλες γωνίες κλίσης.
- BA-NA διεύθυνσης, οι οποίες παρουσιάζονται ως ευθύγραμμες ασυνεχείς δομές, που σχηματίζουν κατά θέσεις σύνθετες ζώνες ρηγμάτων και χαρακτηρίζονται ως ρηξιγενείς δομές δεύτερης και τρίτης τάξης.
- A-Δ διεύθυνσης, οι οποίες εμφανίζονται ως δομές ιδιαίτερα ευθύγραμμες και κατά θέσεις τέμνουν τα BBA-NNA και BA-NA διεύθυνσης ρήγματα.

Στον τεκτονικό χάρτη, του Σχήματος Π.2, που παρατίθεται στο Παράρτημα, δίνονται τα κυριότερα ρήγματα της εγγύτερης περιοχής που σχετίζονται με τη γένεση της λεκάνης και τη δημιουργία του υδροφορέα, καθώς και αυτά που τον επηρεάζουν άμεσα. Σημειώνεται ότι κάποια από τα εμφανιζόμενα ρήγματα είναι εκτός των ορίων του υδροφορέα, έτσι όπως αυτός ορίζεται στην παρούσα Διατριβή. Παρόλα αυτά κρίθηκε απαραίτητη η παράθεση των τεκτονικών στοιχείων που δε σχετίζονται άμεσα με τον προσχωματικό υδροφορέα που εξετάζεται, παρουσιάζουν όμως τη γενικότερη τεκτονική κατάσταση που επικρατεί στην εγγύτερη περιοχή.

Για την καλύτερη κατανόηση των πιο πάνω γεωλογικών και τεκτονικών στοιχείων δίνεται στο Παράρτημα μια απλοποιημένη γεωλογική τομή, η οποία προέκυψε ύστερα από την επεξεργασία λιθολογικών γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η. και στρωματογραφικών στηλών των υδρογεωτρήσεων της Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

3.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.4.1 Γενικά κλιματικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ημίξηρο-ηπειρωτικό, μεσογειακό κλίμα με χαρακτηριστικό γνώρισμα την εναλλαγή μιας θερμής και ξηρής περιόδου με μια ψυχρή και υγρή. Κατά τους χειμερινούς μήνες λαμβάνουν χώρα αρκετά έντονες χιονοπτώσεις με δριμύ ψύχος. Χαρακτηριστικοί επίσης είναι και οι παγετοί κατά την περίοδο του χειμώνα, μέχρι τις αρχές της άνοιξης. Το καλοκαίρι είναι σε γενικές γραμμές δροσερό. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Μάιος, ενώ οι ξηρότεροι είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (Κολοβός, 2001).

Στην έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας της Σαριγκιόλ υπάρχει μόνο ο μετεωρολογικός σταθμός της Ποντοκόμης, που βρίσκεται στη θέση: Χ: 21° 46', Υ: 40° 25' με απόλυτο υψόμετρο Ζ: 680 m (οι συντεταγμένες δίνονται στο προβολικό σύστημα ED 50). Στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί δίνονται τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού Ποντοκόμης.

Πίνακας 3.3: Βροχομετρικά δεδομένα σταθμού Ποντοκόμης.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΝΤΟΚΩΜΗΣ (Ζ=680m)													
ΜΗΝΕΣ ΕΤΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1979	85.1	29.6	29.4	67.7	70.9	36.8	21.9	57.1	22.1	96.3	161.6	72.3	750.8
1980	223.4	9.2	82.3	51.7	91.2	41.4	1.5	1.1	33.4	80.4	80.8	69.9	766.3
1981	149.1	37.5	20.1	42.2	52	14.7	20.7	33.9	14.5	120.1	69.9	102.3	677
1982	25.6	62.5	47.2	110.3	70.9	5.5	8.5	99.4	44.2	74.7	121.3	50.6	720.7
1983	19.4	27.9	30.6	4.4	25.2	120.5	81.6	0	43.6	60.3	38.5	118.3	570.3
1984	44	89.3	64.4	48.6	7.6	26	6.5	31.8	22.5	5.5	61.6	34.8	442.6
1985	59.2	18.2	60.2	16.8	85.1	16.2	0	7.2	3	19.5	150.7	26.5	462.6
1986	48.7	110.8	40.1	28.5	77.1	52.7	19.4	15.7	14.6	27.4	27.6	13.8	476.4
1987	87.7	55.5	149.8	65.4	51.3	22.1	63.7	4.6	44.3	71	114.7	44	774.1
1988	20.3	21.3	65.6	36.9	6.2	64.4	13.7	0	17.7	32.8	117.5	125.3	521.7
1989	0	23	40.4	25.4	51.9	76	62.4	0	31.5	67.1	52.3	40.5	470.5
1990	0	12.9	9.2	33.5	63.3	0	0	65.8	11.2	31	96	152.5	475.4
1991	2.6	45.7	52.9	122.9	73.2	50	76	95.1	19.3	17.4	57.7	2.5	615.3
1992	1.8	4.8	29.2	120	54.9	36.2	68	4.1	16.5	92.7	63.3	61	552.5
1993	4.6	12.2	35.2	20.2	101.9	17.5	0	11.4	7.2	28.2	109	37.6	385
1994	113.1	69.9	19.5	71.5	33.7	0	20.9	16.8	3.3	65.4	53	89	556.1
1995	91	17.6	48.4	40.9	94.2	61.2	82.3	34.2	19	3	34.4	109.8	636
1996	45.5	59.5	67.6	36.2	28.6	28.7	23.2	37	70.2	56.1	78.7	79	610.3
1997	14.1	20	25.6	86	12.8	22.8	28.8	83.5	9	78.8	81.1	62.8	525.3
1998	7	41.1	24.8	18.5	110.7	17.9	0	21.9	49.9	47.1	145.1	61.7	545.7
1999	67.1	63.7	86.3	49.8	33.7	62.4	34.6	59.2	25	53.1	117.7	40.7	693.3
Μ.Ο.	52.82	39.63	48.99	52.26	56.97	36.81	30.18	32.37	24.86	53.71	87.26	66.42	582.28

*Οι τιμές με κόκκινο χρώμα συμπληρώθηκαν από τον Καπνικό Σταθμό Κοζάνης.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ταυτίζονται με αυτά που δίνονται από τον Καπνικό σταθμό Κοζάνης (Χ: 21° 45', Υ: 40° 18' με απόλυτο υψόμετρο Ζ: 664 m), ο

οποίος είναι πολύ κοντά στην εξεταζόμενη περιοχή. Στον Πίνακα 3.4 δίνονται τα μετεωρολογικά στοιχεία του Καπνικού Σταθμού Κοζάνης, για το χρονικό διάστημα 1969-2000.

Πίνακας 3.4: Μετεωρολογικά δεδομένα Καπνικού Σταθμού Κοζάνης.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΠΝΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ (1969-2000)										
ΜΗΝΕΣ	Μέση θερμοκρασία αέρος (°C)	Ελάχιστη θερμοκρασία αέρος (°C)	Μέγιστη θερμοκρασία αέρος (°C)	Μέση σχετική υγρασία αέρος (%)	Μέση απόλυτη υγρασία αέρος	Μέση Μηνιαία Εξάτμιση (mm)	Μέση Μηνιαία Βροχή (mm)	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Μέση νέφωση	Ηλιοφάνεια
ΙΑΝ	3,22	-1,46	7,52	80,92	4,63	31,24	39,57	3,11	5,20	102,31
ΦΕΒ	3,78	-0,78	8,78	77,39	4,72	36,10	41,49	4,13	5,72	103,87
ΜΑΡ	6,96	1,76	11,76	69,49	5,61	56,03	51,68	3,56	5,35	138,87
ΑΠΡ	11,62	5,56	16,50	65,52	8,41	69,82	48,13	2,79	6,23	157,44
ΜΑΙ	16,78	10,17	21,73	65,76	10,25	78,80	52,42	1,98	4,56	198,78
ΙΟΥΝ	21,73	14,10	26,71	58,06	12,40	106,68	34,23	2,14	3,68	251,95
ΙΟΥΛ	23,84	16,29	29,28	53,90	13,78	124,97	43,41	2,23	3,04	279,12
ΑΥΓ	23,42	16,11	29,06	55,74	13,52	118,87	37,54	1,57	2,75	260,95
ΣΕΠΤ	19,20	12,85	25,24	62,73	11,40	89,23	32,59	2,08	6,30	208,64
ΟΚΤ	13,32	8,19	18,92	71,73	8,95	55,07	56,01	1,77	4,45	150,13
ΝΟΕ	7,93	3,42	13,35	76,61	6,48	35,26	63,75	2,54	5,42	114,50
ΔΕΚ	3,78	-0,10	8,13	79,16	5,04	31,84	51,87	3,75	5,55	104,66
ΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ	12,96	7,18	18,08	68,09	8,76	69,49	46,06	2,64	4,85	172,60

3.4.2 Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης Σαριγκιόλ

Το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης Σαριγκιόλ, μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:

$$P = Q + E + dq_1 - dq_2 \pm dw$$

όπου:

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Q = η ολική απορροή (επιφανειακή απορροή R και υπόγεια απορροή I_R)

E = η εξατμισιοδιαπνοή

dq₁ = οι εισροές από άλλη λεκάνη

dq₂ = οι αντλήσεις νερού (για ύδρευση, άρδευση, λειτουργία ορυχείων)

dw = η μεταβολή του όγκου του αποθηκευμένου υπόγειου νερού

- Για τον υπολογισμό των ετήσιων κατακρημνισμάτων (P) στη λεκάνη Σαριγκιόλ λήφθηκαν υπόψη τα βροχομετρικά στοιχεία του σταθμού Ποντοκόμης, όπως αυτά παρατίθενται στον Πίνακα 3.3. Η υδρολογική λεκάνη, έτσι όπως είναι διαμορφωμένη λόγω της λειτουργίας των λιγνιτωρυχείων, έχει εμβαδόν 407 km² και μέσο υψόμετρο 952 m. Σημειώνεται ότι τα όρια των ορυχείων χαράχτηκαν σύμφωνα με τα όρια των εκσκαφών των ορυχείων, έτσι όπως ήταν διαμορφωμένα κατά το τέλος του 2005.

- Για τον υπολογισμό του όγκου των κατακρημνισμάτων στη λεκάνη χρησιμοποιήθηκε η σχέση που προτάθηκε στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης, 1999, τ. 3, σελ. 3», η οποία συνδέει το ύψος των βροχοπτώσεων με το απόλυτο υψόμετρο εδάφους. Η σχέση αυτή προέκυψε ύστερα από την επεξεργασία μιας μακράς σειράς (1962-1997) βροχομετρικών δεδομένων από 10 μετεωρολογικούς σταθμούς εγκατεστημένους στην υδρολογική λεκάνη Βεγορίτιδας, τμήμα της οποίας αποτελεί η άλλοτε κλειστή υπολεκάνη Σαριγκιόλ. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$P = 372,96 + 0,284 \times H$$

όπου:

P: το ύψος των βροχοπτώσεων

H: το απόλυτο υψόμετρο εδάφους

Για το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (952 m), προκύπτει:

$$Y = 372,96 + 0,284 \times 952 \rightarrow Y \approx 643 \text{ mm.}$$

Η ετήσια τιμή λοιπόν που προκύπτει για τα κατακρημνίσματα είναι:

$$P = 643 \text{ mm ή } 261.701.000 \text{ m}^3$$

- Για τον υπολογισμό της εξατμισδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Thornthwaite-Mather (1955). Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ξεχωριστά η πραγματική εξατμισδιαπνοή για το πεδινό τμήμα της λεκάνης (περιοχές με υψόμετρο έως και 800 m) και ξεχωριστά για το ορεινό τμήμα αυτής (περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο των 800 m). Οι αντίστοιχες υπολογισθείσες τιμές είναι:

- 449,67 mm για το πεδινό τμήμα

- 441,7 mm, για το ορεινό τμήμα

Η μέση τιμή της εξατμισδιαπνοής δίνεται από τον τύπο:

$$E = \frac{E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2}{A_{\text{ολ}}}$$

όπου:

A_1 = το εμβαδόν του πεδινού τμήματος

A_2 = το εμβαδόν του ορεινού τμήματος

$A_{ολ}$ = το εμβαδόν της σημερινής λεκάνης

Κατά την εμβαδομέτρηση που έγινε ύστερα από ψηφιοποίηση της ισοϋψούς των 800 m και του ορίου της υδρολογικής λεκάνης, προέκυψε ότι η πεδινή ζώνη καλύπτει 188 km² και η ορεινή 221 km². Από την παραπάνω σχέση προκύπτει:

$$E = \frac{449,67 \times 188 + 441,7 \times 221}{407} \rightarrow$$

$$E \approx 447,5 \text{ mm ή } 182.132.500 \text{ m}^3$$

- Στην υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ υπάρχουν εισροές και από τη γειτονική λεκάνη Σερβίων-Κοζάνης, τεχνητά από τη Δ.Ε.Η., με μεταφορά νερού από την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, για τις ανάγκες ψύξης των Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου και Α.Η.Σ. Καρδιάς. Οι ποσότητες αυτές ανέρχονται σε (Τσουφλίδου & Δημητρακόπουλος, 2005):

➤ 25-29×10⁶ m³/ετος, για τον Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου

➤ 19-20×10⁶ m³/ετος, για τον Α.Η.Σ. Καρδιάς

Μέρος αυτών των νερών απορρίπτονται στο ρέμα Σουλού, τα οποία σύμφωνα με τη Δ.Ε.Η. ανέρχονται σε:

➤ 7,1-10,1×10⁶ m³/ετος, για τον Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου

➤ 3,8-4,3×10⁶ m³/ετος, για τον Α.Η.Σ. Καρδιάς

Υπάρχει δηλαδή μια συνολική εισροή νερού από τη γειτονική λεκάνη Σερβίων-Κοζάνης, που κυμαίνεται από 13,6-16,6×10⁶ m³/ετος.

Το 2003 ο Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου απέρριψε στο Σουλού 8.934.490 m³. Λαμβάνοντας την τιμή αυτή ως αντιπροσωπευτική, για τον συγκεκριμένο Α.Η.Σ. και θεωρώντας μια μέση τιμή 4×10⁶ m³/ετος για τον Α.Η.Σ. Καρδιάς, θεωρούμε ότι από τους Α.Η.Σ. απορρίφθηκαν συνολικά για το 2005 περί τα 13×10⁶ m³.

Στις ποσότητες των υδάτων που εισρέουν στη λεκάνη από κάποια γειτονική της, πρέπει να προστεθούν και αυτές που προκύπτουν από τα αντλιοστάσια της Δ.Ε.Η., τα οποία συλλέγουν τα επιφανειακά νερά που εκρέουν στο χώρο λειτουργίας του Ο.Ν.Π. και του ορυχείου του Τομέα 6 και έπειτα τα απορρίπτουν στο ρέμα Σουλού, εντός της υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ. Για το 2005 το Ο.Ν.Π. απέρριψε 4.346.300 m³, ενώ το ορυχείο του Τομέα 6 απέρριψε 3.742.000 m³. Συνολικά δηλαδή απορρίφθηκαν 8.088.500 m³ ή 8,1×10⁶ m³ περίπου.

Η συνολική λοιπόν ποσότητα υδάτων για τον υπολογισμό της παραμέτρου dq_1 , ανέρχεται στα $21,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου.

- Η παρατηρούμενη απορροή (R), δίνεται από τις ποσότητες του νερού που εκρέουν από το ρέμα Σουλού, το οποίο όμως εκτός από τα ύδατα των κατακρημνισμάτων, δέχεται και τα νερά των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η., καθώς και τα απόνερα και τα νερά της ψύξης των Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου και Α.Η.Σ. Καρδιάς. Σύμφωνα με τον Στάμο (2001), οι εκροές του ποταμού στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης ανέρχονται, σύμφωνα με το υδρόγραμμά του για το υδρολογικό έτος 1998-1999, σε $17 \times 10^6 \text{ m}^3$. Κατά μήκος του ρέματος έχουν εντοπιστεί περί τις 30 θέσεις όπου αγρότες πραγματοποιούν απ' ευθείας αρδεύσεις από τα επιφανειακά νερά της κοίτης του, τα οποία εκτιμώνται συνολικά σε $5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Συνολικά δηλαδή οι εκροές ανέρχονται στα $22 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η τιμή αυτή έρχεται σε σύμπτωση με την αντίστοιχη τιμή που υπολογίστηκε στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης» και η οποία ανέρχεται, για το 1997, στα $19,2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Για τον υπολογισμό των ολικών απορροών δε θα λάβουμε υπόψη τις άμεσες αντλήσεις από το ρέμα Σουλού, οπότε θεωρούμε ως αντιπροσωπευτική τιμή αυτή των $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

- Οι αντλήσεις νερού στη λεκάνη γίνονται από τον υπό μελέτη υδροφορέα και ανέρχονται σε $34,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (βλ. § 3.6.4).

- Η μεταβολή των υπόγειων αποθεμάτων νερού εκτιμάται σε $8 \times 10^6 \text{ m}^3$, για το έτος 2005 (βλ. § 3.6.4).

Αντικαθιστώντας όλες τις παραπάνω τιμές στη σχέση που δόθηκε για το υδατικό ισοζύγιο του υδροφορέα, έχουμε:

$$P = R + I_R + E + dq_1 - dq_2 - dw$$

$$261,7 \times 10^6 \text{ m}^3 = 15 \times 10^6 \text{ m}^3 + I_R + 182,13 \times 10^6 \text{ m}^3 + 21,1 \times 10^6 \text{ m}^3 - 34,1 \times 10^6 \text{ m}^3 - 8 \times 10^6 \text{ m}^3 \Rightarrow$$

$$I_R \approx 85,6 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στις ποσότητες του νερού που κατεισδύουν στους Κρητιδικούς ασβεστολίθους της λεκάνης και εκφορτίζονται στις πηγές Νεράιδας και πιθανόν και στις πηγές Τριποτάμου Βέροιας. Θεωρώντας μια μέση παροχή των πηγών Νεράιδας ίση με $35.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (βλ. § 3.5.2), η ολική ετήσια παροχή τους ανέρχεται κατά προσέγγιση στα $306 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Παρατηρείται μια απόκλιση της τιμής αυτής με αυτή που υπολογίστηκε για το I_R , κάτι που είναι εύλογο, διότι οι πηγές Νεράιδας εκφορτίζουν ένα πολύ μεγαλύτερο τμήμα των Τριαδικό-Ιουρασικών ασβεστολίθων από αυτό που περιέχεται στην υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ.

3.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ

3.5.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή θα δοθεί μια εποπτική εικόνα της υδρογεωλογικής κατάστασης που επικρατεί στο Νομό Κοζάνης. Θεωρώντας ότι η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης αποτελεί την απαρχή μιας εκτεταμένης έρευνας για την τρωτότητα των υπόγειων νερών στη ρύπανση, σε επίπεδο Νομού, παραθέτονται κάποια από τα σημαντικότερα στοιχεία που συλλέχθηκαν. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίον θεωρήθηκε συνετή η συγγραφή αυτής της παραγράφου, είναι να δοθεί στον αναγνώστη μια κατά το δυνατό πιο κατατοπιστική εικόνα, όσον αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, με απώτερο βέβαια στόχο να τονισθεί η σημαντικότητα του υδροφορέα της Σαριγκιόλ και εν τέλει να δικαιολογηθεί η επιλογή του για την εκτίμηση της τρωτότητας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι μελέτες που έχουν γίνει για τον προσδιορισμό των υδρογεωλογικών συνθηκών στο Νομό Κοζάνης από διάφορους φορείς, τόσο σε επίπεδο Νομού, όσο και τμηματικά για τις επί μέρους υδρολογικές και υδρογεωλογικές ενότητες είναι πολυάριθμες. Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης έχει ως κύριο μέλημά της να συμβάλλει με τον δικό της τρόπο στην προσπάθεια αυτή, προσεγγίζοντας τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ από την άποψη της Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας.

3.5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες Νομού Κοζάνης

Ο Νομός Κοζάνης στο σύνολό του παρουσιάζει μια ιδιαίτερα ποικίλη υδρογεωλογική εικόνα, που οφείλεται στις ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτόν. Οι βασικοί παράγοντες που θεωρείται ότι επηρεάζουν τη συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών είναι η εκάστοτε λιθολογική τους σύσταση, το ενεργό πορώδες, ο βαθμός διαγένεσης και η κοκκομετρία (για ιζηματογενείς σχηματισμούς), ο τεκτονισμός και το δευτερογενές πορώδες (για συμπαγείς σχηματισμούς).

- Υδροφορία του μεταμορφωμένου υποβάθρου

Πρόκειται για θεωρητικά αδιαπέρατα πετρώματα, στα οποία ο τεκτονισμός έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικού δευτερογενούς πορώδους. Σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992), διαπιστώθηκε ότι γεωτρήσεις που διανοίχτηκαν σε μεταμορφωμένα πετρώματα δεν παρουσιάζουν γραμμική σχέση

ανάμεσα στην παροχή και την πτώση στάθμης. Οι ιδιαιτερότητες των μεταμορφωμένων πετρωμάτων τα κατατάσσει στους κακούς υδροφορείς. Σε γενευσιοσχιστολιθικά πετρώματα, κατά θέσεις, εντοπίστηκαν πηγές ψευδοεπαφής, οι οποίες κυρίως παρουσιάζουν ασήμαντη παροχή κατά την ξηρή περίοδο ($0-1,5 \text{ m}^3/\text{h}$), ενώ σε μεμονωμένες θέσεις και όπου επικρατούν ιδιαίτερα ρωγματομένοι γενέσιοι (περιοχή Ελάτης) εντοπίστηκαν πηγές παροχής έως και $11,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Πρέπει να τονιστεί όμως και ο ρόλος των πετρωμάτων αυτών ως το αδιαπέρατο υπόβαθρο των υπερκείμενων ασβεστολίθων (π.χ. στις περιοχές Προσηλίου - Ρυμνίου, Τρανοβάλτου - Βερμίου - Μαυροδενδρίου).

- Καρστικοί υδροφορείς

Οι καρστικοί υδροφορείς της ευρύτερης περιοχής κατατάσσονται ανάλογα με την ηλικία και τη θέση των πετρωμάτων στα οποία αναπτύσσονται, έτσι όπως προκύπτει από τη σύνθετη στρωματογραφική στήλη του Σχήματος 3.8:

• Τριαδικοϊουρασικοί ασβεστόλιθοι

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί απαντούν στα όρη Βέρμιο, Άσκιο, Καμβούνια και Πιέρια. Είναι έντονα καρστικοποιημένοι και τεκτονισμένοι. Στα πετρώματα αυτά εντοπίζονται οι εξής καρστικοί υδροφορείς:

- Καρστικός υδροφορέας Καμβουνίων

Η υδροστατική στάθμη του υδροφορέα αυτού εντοπίστηκε στα 270 m περίπου απόλυτο υψόμετρο (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Πιθανώς υπάρχει υδραυλική επικοινωνία ανάμεσα στον υδροφορέα αυτόν και στον καρστικό υδροφορέα του Νοτιοδυτικού Βερμίου.

- Καρστικός υδροφορέας Νοτιοδυτικού Βερμίου

Η στάθμη του Υπόγειου Νερού εντοπίζεται από 450 m στα βορειότερα τμήματα αυτού, έως 250 m περίπου στο νοτιότερο τμήμα. Ο υδροφορέας οριοθετείται από το έξαρμα Μαυροδενδρίου στα ΒΔ, από τον υδροκρίτη στα Β, από τους σχηματισμούς της ζώνης Αξιού στα ΒΑ και από τα όρη Άσκιο και Βούρινος στα ΝΑ και Ν. Ο υδροφορέας αυτός εκφορτίζεται στις καρστικές πηγές Νεράιδας, σε απόλυτο υψόμετρο 250 m. Στις ίδιες πηγές εκφορτίζουν και τα όρη Βούρινος, Σκοπός, καθώς και το νοτιοανατολικό Άσκιο. Η εκφόρτιση αυτή δεν είναι σήμερα ορατή, λόγω της κάλυψης των πηγών από τα νερά της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου (κατώτατη στάθμη λειτουργίας 270 m, μέγιστη στάθμη απορροής 293 m). Σημειώνεται πως η παροχή των πηγών της Νεράιδας πριν την κατάκλυσή τους, κυμαινόταν από $72.000 \text{ m}^3/\text{h}$ μέχρι $90.000 \text{ m}^3/\text{h}$, κατά την υγρή

περίοδο, έως 11.000 m³/h, κατά το τέλος της ξηρής περιόδου, με μέση τιμή να κυμαίνεται από 32.500 m³/h (Παπακωνσταντίνου, Α., 1979 & BGR, 1985, από ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992) έως 40.000 m³/h (Wetzenstein, W. & Zachmann, D., 1977, από ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Μια μικρότερη ποσότητα του υδροφορέα αυτού εκφορτίζεται στις πηγές Τριποτάμου Βέροιας με μέση παροχή 4.300 m³/h (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992).

Στα κατώτερα μέλη των ασβεστολίθων εντοπίζονται σχιστολιθικές παρεμβολές πάχους 100 m.

- Καρστικός υδροφορέας Μαυροδενδρίου

Η υδροστατική στάθμη του εντοπίζεται στα 605 m (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Πρόκειται για μια αυτοτελή τυπική καρστική λεκάνη. Αποτελεί τμήμα του Ασκίου όρους και είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη υδρολογική λεκάνη. Το στεγανό υπόβαθρο του υδροφορέα αυτού αποτελούν οι υδατοστεγείς γνευσιοσχιστόλιθοι. Σύμφωνα με παρατηρήσεις του Ι.Γ.Μ.Ε. η επαφή των ασβεστολίθων με το υποκείμενο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο θεωρείται ανώμαλη τεκτονική.

Οι Τριαδικο-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένοι, κάτι το οποίο είναι εμφανές στην ύπαιθρο, από την ύπαρξη εκτεταμένων δολίνων και επαληθεύεται από τη μελέτη αεροφωτογραφιών (βλ. Εικόνα Π.1, στο Παράρτημα). Από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν επανειλημμένα από το Ι.Γ.Μ.Ε., εντοπίστηκαν κάθε είδους ενδοκαρστικές μορφές, που αποτελούνται από καρστικά έγκοιλα & αγωγούς, μέχρι και μικροσπήλαια (Στάμος, 2001). Παρόλα αυτά δεν παρουσιάζουν ολοκαρστικό χαρακτήρα, λόγω της ύπαρξης δολομιτικών οριζόντων, που διαφοροποιούν την καρστικότητα, καθώς και του ποικίλου τεκτονισμού που επικρατεί σ' αυτούς.

Σημειώνεται ότι κατά κύριο λόγο το ρόλο του στεγανού υποβάθρου στους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστολίθους αποτελούν οι ίδιοι οι ασβεστόλιθοι, διότι κάτω από τα 400 m - 500 m βάθος δεν είναι καρστικοποιημένοι (Στάμος, 2001).

• Μέσο - Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι Πελαγονικής

Οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν τους υπερκείμενους των οφειολίθων σχηματισμούς, τους οποίους και έχουν ως στεγανό υπόβαθρο. Σύμφωνα με τον Στάμο (2001) δεν έχουν υποστεί έντονη αποκάρσωση και αναπτύσσουν υδροφορείς με μικρή παραγωγικότητα και σχετικά μικρή υδροδυναμικότητα, ενώ συγκεκριμένα στο δυτικό Βέρμιο η κατώτερη σειρά των ασβεστολίθων αυτών αποτελείται από μαργαϊκούς ασβεστολίθους με αμελητέο πορώδες. Βάσει της χαρτογράφησης που εκτελέστηκε βόρεια της ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, εντοπίστηκαν καρστικά έγκοιλα

(δολίνες) διαμέτρου που κατά θέσεις υπερβαίνει τα 100 m, οι οποίες επιβεβαιώθηκαν και από την επεξεργασία ορθοφωτοχαρτών της περιοχής, κλίμακας 1:5000.

• **Κάτω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (Τεκτονικό κάλυμμα Βερμίου)**

- *Καρστικός υδροφορέας Βορειοανατολικού Βερμίου*

Πρόκειται για ασβεστολίθους και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή της ζώνης Αλμωπίας, τα οποία εμφανίζουν έντονη καρστικοποίηση. Το υψηλό δευτερογενές πορώδες τα κατατάσσει στους ιδιαίτερα καλούς υδροφορείς.

Βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι επάνω στον Πελαγονικό φλύσχη, ο οποίος αποτελεί και το αδιαπέρατο υπόβαθρο των υπερκείμενων καρστικών υδροφορέων. Λόγω των κλίσεων που διατηρεί ο φλύσχος (Στάμος, 2001), τα κατεισδύοντα στο καρστ νερά, απάγονται προς τα ανατολικά.

Η υδροστατική στάθμη του υδροφορέα εντοπίζεται σε απόλυτο υψόμετρο 520 m έως 525 m (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Σημειώνεται ότι μεταξύ της λίμνης Βεγορίτιδας και του καρστικού υδροφορέα υπάρχει υδραυλική επικοινωνία, ενώ και η λίμνη Πετρών συνδέεται με το παραπάνω σύστημα.

Τον βασικό καρστικό υδροφορέα συνοδεύουν υψηλότεροι επικρεμάμενοι καρστικοί υδροφορείς. Στην επαφή των ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών με τον υποκείμενο φλύσχη εμφανίζονται οι πολύ σημαντικές καρστικές πηγές Ερμακιάς, οι οποίες υδροδοτούν το Δήμο Κοζάνης έως και 80% (ανάλογα με τις υδρευτικές ανάγκες), η υδρομάστευση των οποίων ξεκίνησε το 1935. Μετρήσεις που διεξήγαγε η ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. και το Ι.Γ.Μ.Ε., έδειξαν ιδιαίτερα μεγάλη διακύμανση στην παροχή των πηγών, που οφείλεται στην έντονη καρστικοποίηση που έχουν αυτοί υποστεί, η οποία και ευνοεί την άμεση μεταβίβαση των κατεισδυνόντων νερών. Συγκεκριμένα κατά την ξηρή περίοδο μετρήθηκαν παροχές της τάξης των 60-100 m³/h, ενώ κατά την υγρή περίοδο μετρήθηκαν παροχές που ξεπερνούν τα 2.500 m³/h (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992).

- Προσχωματικοί υδροφορείς

• **Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα**

Τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα καταλαμβάνουν τις χαμηλότερες περιοχές των επί μέρους λεκανών. Σε μερικά από αυτά αναπτύσσονται ιδιαίτερα πλούσιοι υδροφορείς. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και ο εξεταζόμενος υδροφορέας Σαριγκιόλ, ο οποίος θα αναλυθεί εκτενώς σε επόμενο υποκεφάλαιο.

- Προσχωματικός υδροφορέας «Επαρχίας Βοΐου»

Πρόκειται για έναν σημαντικό υδροφορέα που εντοπίζεται στα χαλαρά ιζήματα στην περιοχή μεταξύ των οικισμών Βογατσικού - Νεάπολης - Πυλωρίου - Φυτωκίου - Κιβωτού - Τραπεζίτσας - Μικροκάστρου - Εράτυρας και Δρυόβουνου. Έχει ως στεγανό υπόβαθρο τους μολассικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής Αύλακας και τροφοδοτείται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, καθώς και από τον ποταμό Αλιάκμονα και τον παραπόταμο Πραμόριτσα.

- Προσχωματικοί υδροφορείς Ξηρολίμνης και Βατερού

Πρόκειται για πλούσιους υπόγειους υδροφορείς που αναπτύσσονται στις προσχώσεις των κάμπων Ξηρολίμνης και Καλαμιάς-Βατερού. Η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. ανόρυξε γεωτρήσεις ύδρευσης στις περιοχές αυτές, οι οποίες εξυπηρετούν τους οικισμούς: Ξηρολίμνη, Σκήτη, Ανθότοπο, Αλωνάκια, Καλαμιά, Βατερό, Λυγερή, Νέα Νικόπολη, Σιδερά και Λιβερά. Οι γεωτρήσεις έχουν δυνητικές παροχές που κυμαίνονται από 40 m³/h έως 150 m³/h.

Για τον κάμπο της Ξηρολίμνης οι μέσες στάθμες για υγρή και ξηρή περίοδο είναι 58 m και 60 m αντίστοιχα, ενώ για τον κάμπο Καλαμιάς-Βατερού είναι 20 m και 30 m αντίστοιχα. Οι υδροφορείς αποτελούνται από χαλίκια, κροκάλες (ασβεστολιθικές και οφιολιθικές) και κροκαλοπαγή (Λάπος Σ., γεωλόγος Δ.Ε.Υ.Α.Κ., προσωπική επικοινωνία).

- Υδροφορέας λεκάνης Πτολεμαΐδας

Αποτελεί σημαντικό υπόγειο υδροφορέα που εντοπίζεται στην περιοχή βόρεια του Προαστίου, μέχρι και τα νότια κράσπεδα της κορυφογραμμής Μπορντώ. Αναπτύσσεται σε άμμους και χαλίκια στα οποία παρεμβάλλονται αργιλικές και μαργαϊκές ενστρώσεις. Το συνολικό του πάχος φτάνει τα 120 m. Προς τα ανατολικά και δυτικά εκφυλίζεται, παρουσιάζοντας λεπτομερέστερη κοκκομετρία, περιορίζοντας σημαντικά τις υδραυλικές παραμέτρους του. Παρατηρούνται δύο ξεχωριστοί υδροφορείς, εκ των οποίων βαθύτερος είναι υπό πίεση και ο ανώτερος είναι ελεύθερος (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992).

• Τεταρτογενείς αποθέσεις

Η ύπαρξη υδροφόρων Τεταρτογενών ιζημάτων περιορίζεται στις χαμηλότερες μορφολογικά περιοχές και κυρίως στις κοίτες των ποταμών και χειμάρρων. Αποτελούνται από χαλαρά ιζήματα, όπως άμμοι και χαλίκια αλλουβιακών αποθέσεων τα οποία υδροφορούν κατά κόρον στις θέσεις όπου υπάρχει υδραυλική επικοινωνία με ποταμούς ή και εποχιακά υδρορέματα.

- Υδροστεγανοί σχηματισμοί

- Νεογενείς λιμναίες αποθέσεις

Καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή της θέσης κατάκλυσης της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου. Συνίστανται από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους και αργίλους με παρεμβολές κατά θέσεις άμμων και αμμοχάλικων.

Θεωρούνται μη υδροφόροι σχηματισμοί και μικρές υδροφορίες εντοπίζονται στις ενδιάμεσες χονδρόκοκκες ενστρώσεις.

- Μολασσικοί σχηματισμοί της Μεσοελληνικής Αύλακας

Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτουν το ανατολικό τμήμα του Νομού Κοζάνης και αποτελούνται από εναλλαγές ιζηματογενών πετρωμάτων ποικίλης κοκκομετρικής σύστασης, όπως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργίλους. Η υδρογεωλογική τους σημασία είναι πολύ μικρή και εντοπίζεται στα περισσότερο χονδρόκοκκα στρώματα (κροκαλοπαγή και ψαμμίτες). Σε περιπτώσεις όπου το μορφολογικό ανάγλυφο το επιτρέπει εκδηλώνονται πηγές επαφής μικρής παροχής με μέση τιμή περίπου τα 390 lt/h (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992). Τονίζεται ο ρόλος των σχηματισμών αυτών ως ο ρυθμιστής της κίνησης και δημιουργίας των υπερκείμενων τεταρτογενών υπόγειων υδροταμιευτήρων.

- Φλύσχης

Οι φλύσχικοί σχηματισμοί που απαντώνται στο Νομό ανήκουν γεωτεκτονικά στη ζώνη Αλμωπίας, στην Πελαγονική και στην Υποπελαγονική ζώνη. Καλύπτουν μεγάλες σχετικά εκτάσεις και κατατάσσονται στους θεωρητικά αδιαπέρατους σχηματισμούς, γι' αυτό και δεν έχουν κάποιο ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Ο φλύσχης της Πελαγονικής, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί τον στεγανό υποκείμενο σχηματισμό των Κάτω Κρητιδικών ασβεστολίθων, του τεκτονικού καλύμματος Βερμίου.

- Οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα

Καλύπτουν κατά κύριο λόγο την περιοχή του όρους Βούρινου, εμφανίζονται όμως και διάσπαρτοι στην εγγύτερη περιοχή της λεκάνης Σαριγκιόλ. Ανήκουν στους αδιαπέρατους σχηματισμούς και παρουσιάζουν δευτερογενές πορώδες στις θέσεις όπου εμφανίζονται τεκτονισμένοι. Έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε. στο όρος Βούρινος έδειξε ότι μικρές ρηγματογενείς πηγές και επιλεκτικά κατανεμημένες υδρογεωτρήσεις, μπορούν να δώσουν παροχές νερού έως και 30 m³/h.

3.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ

3.6.1 Εισαγωγή

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στον υδροφορέα της ομώνυμης λεκάνης Σαριγκιόλ είναι ιδιαίτερες, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα υδροφόρα στρώματα. Οι χωρικές μεταβολές που παρουσιάζει ο υδροφορέας, όσων αφορά το πάχος του, τη λιθολογία του και τις υδραυλικές του ιδιότητες, καθώς και ο πολυγενετικός του χαρακτήρας, καθιστούν το όλο υδροφόρο σύστημα αρκετά περίπλοκο.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν και στοιχεία, που συλλέχθηκαν από προγενέστερες μελέτες και αφορούν τις υδρογεωλογικές συνθήκες του υδροφορέα.

3.6.2 Γενικά στοιχεία

Η υδροφορία στην περιοχή έρευνας εντοπίζεται στους υπερκείμενους του λιγνίτη τεταρτογενείς σχηματισμούς. Το ενιαίο αργιλομαργαϊκό λιγνιτοφόρο σύστημα αποτελεί το αδιαπέρατο υπόβαθρο. Η κύρια υδροφορία φιλοξενείται στην κιτρινόφαιη σειρά ιζημάτων, η οποία αναλύθηκε στην παράγραφο 3.3.3. Τα στρώματα της πρασινότεφρης σειράς μπορούν να φιλοξενούν υδροφορία, εφόσον έρχονται σε πλευρική επαφή με την κιτρινόφαιη σειρά, με τη μεσολάβηση των κανονικών ρηγμάτων ή εφόσον έχουν εγκλωβισμένο νερό. Δυτικά του Ο.Ν.Π., το δάπεδο της κιτρινόφαιης σειράς φθάνει σε αρκετά μεγάλο βάθος (σε απόλυτο υψόμετρο 560 m), με αποτέλεσμα να αυξάνει το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων (Μήτρου Π., 2001). Η ερυθρόφαιη σειρά φιλοξενεί κατά τόπους φρεάτια υδροφορία, κυρίως στις θέσεις όπου υπάρχουν εναλλαγές αργιλικών στρωμάτων με περισσότερο χονδρόκοκα ιζήματα και αποτελούν τα υπερκείμενα της υδροφορίας στρώματα. Τα ΒΔ-ΝΑ έως Α-Δ διεύθυνσης κανονικά ρήγματα, τα οποία κλίνουν προς τα ΝΔ και Ν αντίστοιχα, έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των υδροφόρων στρωμάτων της κιτρινόφαιης σειράς προς τα Α-ΒΑ, προσεγγίζοντας τα 13 m περίπου, ενώ το δάπεδο του υδροφορέα ανεβαίνει (σε απόλυτο υψόμετρο 635 m). Προς τα ΝΑ, το πάχος του υδροφορέα αυξάνει σημαντικά και το δάπεδό του από τα 635 m απόλυτο υψόμετρο φθάνει στα 560 m, ενώ το μέσο πάχος του είναι 40 m.

Ο υδροφορέας στο σύνολό του θεωρείται και εξετάζεται ως ελεύθερος. Κατά θέσεις και ειδικότερα εκεί όπου επικρατούν εναλλαγές αργιλικών στρωμάτων

φακοειδούς μορφής με περισσότερο χονδρόκοκκους υδροφόρους σχηματισμούς, δημιουργούνται περιορισμένες υπό πίεση υδροφορίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του πιεζομέτρου ΠΝΠ 29, στο οποίο μετρήθηκε στάθμη 10,90 m (α.ε.ε.) στις 19 Μαΐου 2006 (αντίστοιχη στάθμη ξηρής περιόδου: 9,65 m [α.ε.ε.] στις 4 Σεπτεμβρίου 2005). Η λιθολογική στήλη του πιεζομέτρου αυτού, έτσι όπως δίνεται από τη Δ.Ε.Η. περιλαμβάνει μέχρι τα 36,00 m βάθος στρώματα αμμούχων αργίλων, στα οποία αναμένεται πολύ μικρή υδροφορία, ενώ υποκείμενα αυτών εντοπίζονται άργιλοι με χαλίκια, άμμοι και αμμοχάλικα, τα οποία φιλοξενούν υδροφορία.

Ο υδροφορέας αποτελείται κυρίως από εναλλαγές αδρόκοκκων στρωμάτων (αμμοχάλικων, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων άμμων) με περισσότερο λεπτόκοκκα και θεωρητικά άνυδρα στρώματα αργίλων, μαργών και ιλύων, πολλές φορές υπό μορφή φακοειδών εμφανίσεων.

Οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφορέα κυμαίνονται σε αρκετά ευρέα όρια, κάτι το οποίο οφείλεται στον πολύμικτο χαρακτήρα των υλικών που τον απαρτίζουν, καθώς και στη χωρική κατανομή τους. Οι υδραυλικές παράμετροι, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. με δοκιμαστικές αντλήσεις κυμαίνονται ως εξής (Στάμος, 2001):

- Για την υδραυλική αγωγιμότητα (k) από 2×10^{-4} m/sec έως 8×10^{-2} m/sec, με μέση τιμή 10^{-3} m/sec.
- Για τη μεταβιβαστικότητα (T) από 2×10^{-2} m²/sec έως $3,5 \times 10^{-3}$ m²/sec.
- Για το συντελεστή εναποθήκευσης (S) από 1×10^{-2} έως $0,7 \times 10^{-2}$.

Ο Λουλούδης (1990) υπολόγισε για το σύνολο των επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων τη μεταβιβαστικότητα του υδροφορέα και κατέληξε ότι αυτή κυμαίνεται από 2×10^{-2} m²/sec έως $1,15 \times 10^{-3}$ m²/sec, κάτι το οποίο έρχεται σε συμφωνία με τις παραπάνω τιμές.

Οι μέγιστες τιμές των υδραυλικών παραμέτρων εντοπίζονται στην κεντρική ζώνη, με παροχές που φτάνουν τα 150 m³/h, ενώ υφίστανται σταδιακή μείωση προς τα περιθώρια, απομακρυνόμενοι από το κέντρο.

Τα όρια του υδροφορέα έτσι όπως αυτός ορίστηκε στην παρούσα διατρίβη έχουν δοθεί στα Σχήματα 3.5 και 3.9. Στην παρούσα Διατρίβη Ειδίκευσης ως υδροφορέας της Σαριγκιόλ δε θεωρήθηκαν όλοι οι υπερκείμενοι της λιγνιτοφόρου στοιβάδας σχηματισμοί, όπως έχουν κάνει διάφοροι μελετητές κατά καιρούς (Παπακωνσταντίνου, 1983, Τσουφλίδου κ.ά. 2005). Αυτό κρίθηκε ασφαλέστερο, λόγω του γεγονότος ότι η κύρια υδροφορία φιλοξενείται στην κιτρινόφαιη σειρά ιζημάτων από την οποία και

γίνονται απολήψεις νερού από τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ., για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών, από τη Δ.Ε.Η., για την αποστράγγιση του Ο.Ν.Π., καθώς και από τους αγρότες για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών τους. Τα υπερκείμενα της κίτρινης σειράς ιζήματα, συμπεριλήφθηκαν στον υδροφορέα και λήφθηκαν ως η ανώτερη ακόρεστη ζώνη αυτού. Στα υδροφόρα στρώματα συμπεριλήφθηκαν και τα χονδρόκοκκα ιζήματα των ανώτερων οριζόντων της πρασινότεφρης σειράς, τα οποία είναι υποκείμενα της κιτρινόφαιης.

Η οριοθέτησή του βασίστηκε κυρίως στα λιθολογικά δεδομένα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, καθώς και υδρογεωτρήσεων που συλλέχθηκαν για την ευρύτερη περιοχή και ορίζεται ως εξής:

- Το ανατολικό όριο χαράχθηκε σύμφωνα με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η., οι οποίες επεξεργάστηκαν και στις οποίες συναντήθηκε η κιτρινόφαιη σειρά, καθώς και βάσει λιθολογικών τομών ιδιωτικών γεωτρήσεων, η σύνθεση των οποίων βασίστηκε στα στοιχεία που καταγράφονταν από τον εκάστοτε γεωτρυπανιστή ή γεωλόγο, κατά τη διάνοιξή τους. Ανατολικότερα του ορίου αυτού δεν υφίσταται υδροφορέας, τα ιζήματα δεν είναι υδροπερατά, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε με δοκιμές περατότητας MAAG, που εκτελέστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε., τμηματικά έως και το βάθος των 60 m περίπου, όπου βρέθηκαν τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας από 10^{-7} m/sec έως 10^{-9} m/sec (Στάμος, 2001).

- Το δυτικό όριο χαράχθηκε εν μέρει με τα ίδια κριτήρια, πλην του νοτίου τμήματος αυτού, το οποίο ακολούθησε το ΒΒΔ-ΝΝΑ ρήγμα που δίνεται στο γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο «ΚΟΖΑΝΗ», κλίμακας 1:50.000, στην περιοχή δυτικά του Μαυροδενδρίου.

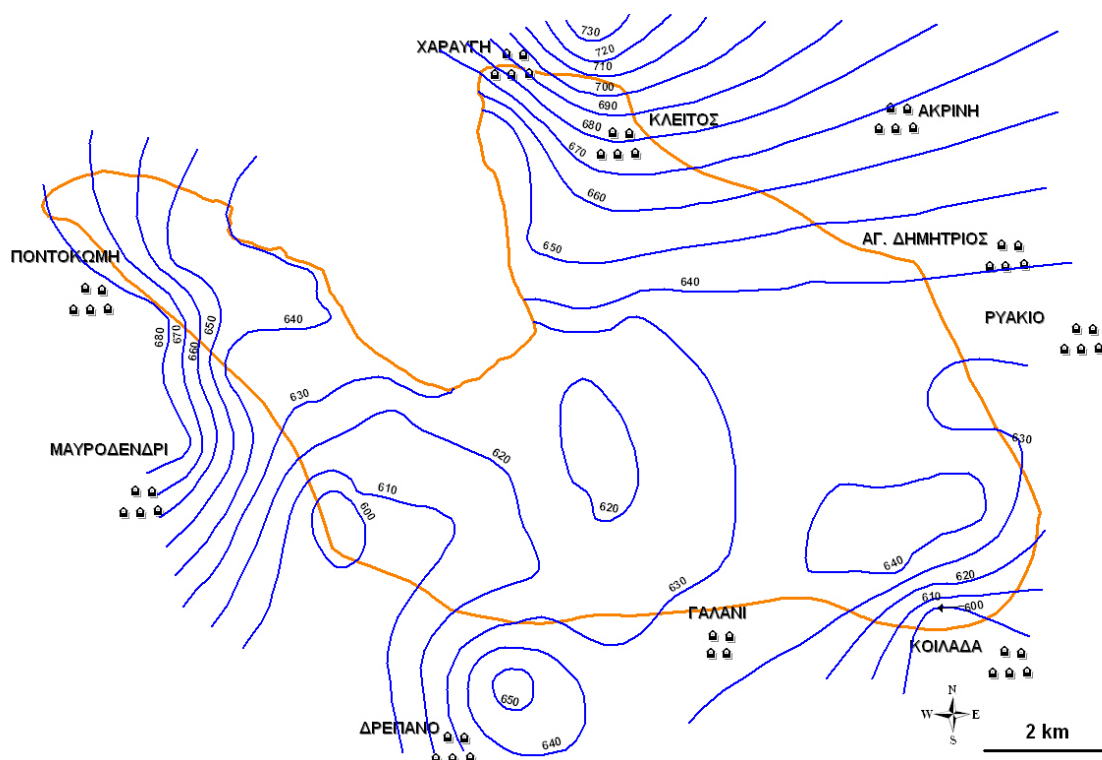
- Το βόρειο όριο ακολούθησε τα όρια των ανοιχτών εκσκαφών των ορυχείων Νοτίου Πεδίου και Τομέα 6, έτσι όπως αυτά είχαν διαμορφωθεί κατά τα τέλη Δεκεμβρίου του 2005, ενώ εκατέρωθεν αυτών χρησιμοποιήθηκαν λιθολογικά δεδομένα γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η. Εκατέρωθεν της εκσκαφής (ΒΑ και ΒΔ αυτής), αναπτύσσονται οι εξωτερικές αποθέσεις των ορυχείων. Πριν τη λειτουργία των λιγνιτωρυχείων στην περιοχή, το βόρειο όριο του υδροφορέα εντοπιζόταν μέσα στο χώρο ανάπτυξης των σημερινών ορυχείων και η ακριβής τοποθέτησή του θεωρείται επισφαλής. Για το λόγο αυτό ως βόρειο άκρο του αρχικού υδροφορέα θεωρείται το νότιο άκρο του εξάρματος Κομάνου (ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ»).

- Το νότιο τμήμα ακολούθησε, κατά κόρον, το δυτικό κλάδο του κανονικού ρήγματος Κοιλάδας-Γαλανίου, με κλίση προς τα βόρεια, έτσι όπως αυτό δίνεται στο

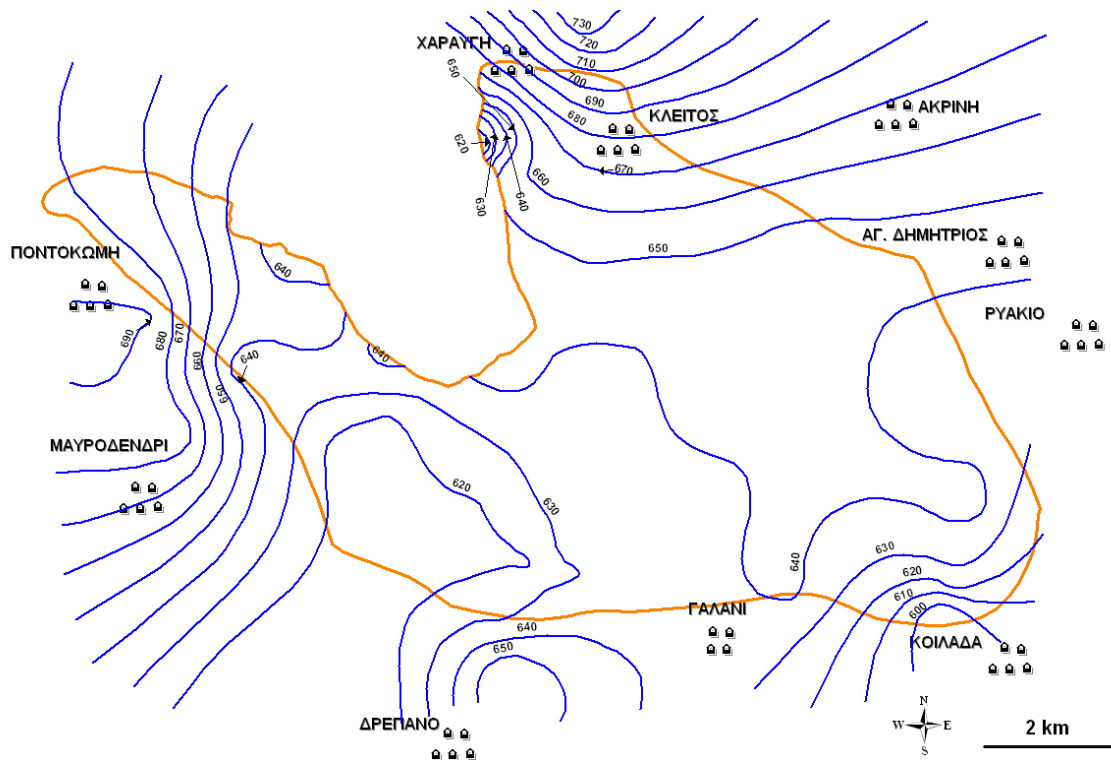
γεωλογικό φύλλο χάρτη «ΚΟΖΑΝΗ», του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000. Το ρήγμα αυτό οριοθετεί τους τριαδικό-ιουρασικούς ασβεστολίθους του όρους Σκοπού και τους Μ.-Α. κρητιδικούς ασβεστολίθους της κοιλάδας του Δρεπάνου με τα πλειο-τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. Βάσει της πιεζομετρίας που προέκυψε από το ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ» (επιστημονικώς υπεύθυνος κ. Κουμαντάκης), καθώς και σύμφωνα με τον Λουλούδη (1992), το ρήγμα αποτελεί όριο εκφόρτισης του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, προς τους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστολίθους.

3.6.3 Στοιχεία πιεζομετρίας και τροφοδοσία του υδροφορέα

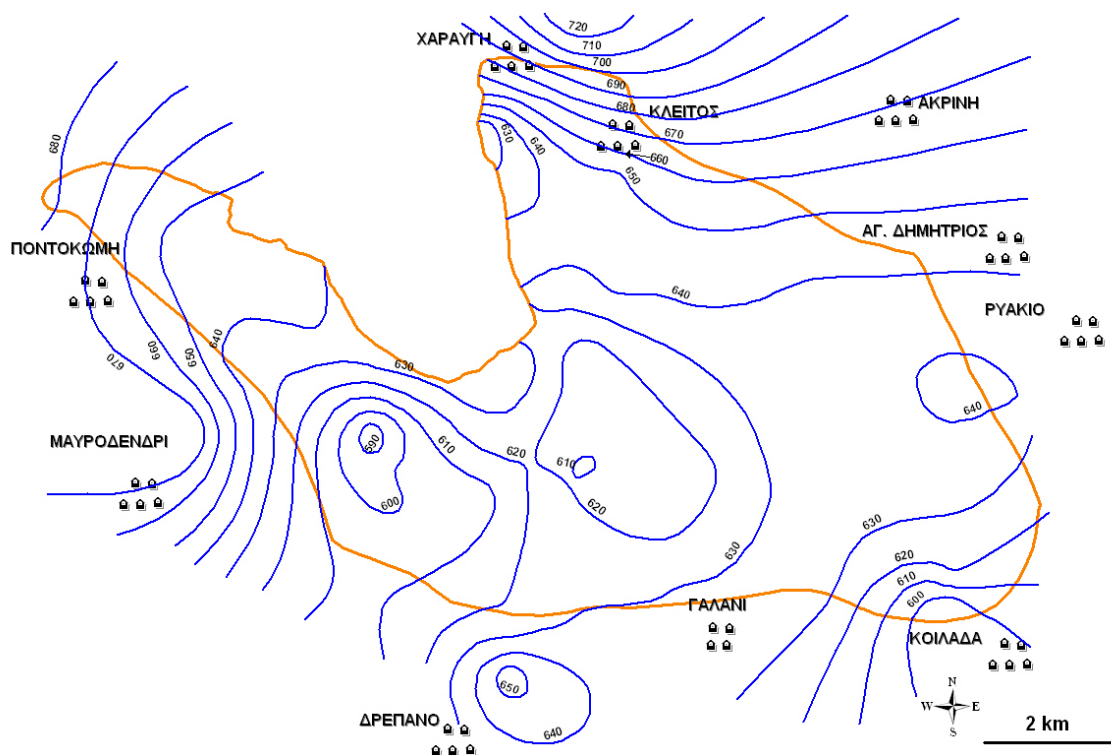
Για την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του υπό μελέτη υδροφορέα, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία πιεζομετρίας του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ». Στα Σχήματα που ακολουθούν δίνονται οι πιεζομετρικοί χάρτες για το Σεπτέμβριο 1996, Μάιο 1997, Σεπτέμβριο 1997, Μάιο 1998.



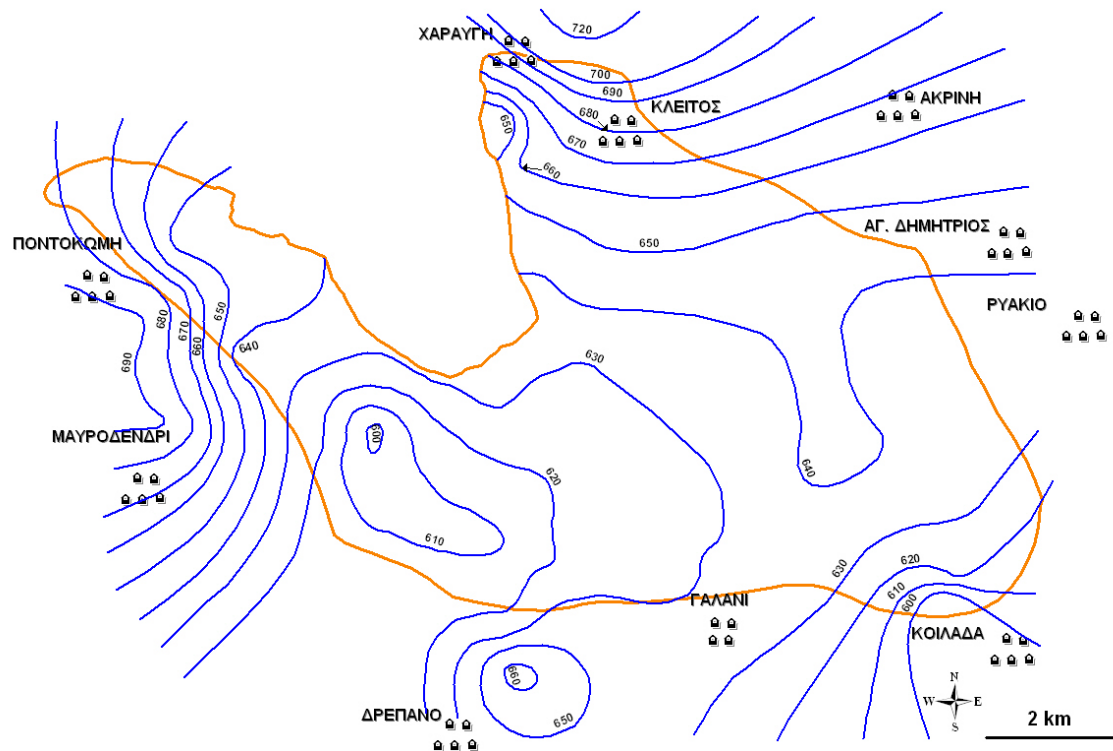
Σχήμα 3.10: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτεμβρίου 1996, για την εγγύτερη περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα Σαριγκιόλ (τροποποιημένος από ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999).



Σχήμα 3.11: Πιεζομετρικός χάρτης Μαΐου 1997, για την εγγύτερη περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα Σαριγκιόλ (τροποποιημένος από ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999).



Σχήμα 3.12: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτεμβρίου 1997, για την εγγύτερη περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα Σαριγκιόλ (τροποποιημένος από ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999).



Σχήμα 3.10: Πιεζομετρικός χάρτης Μαΐου 1998, για την εγγύτερη περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα Σαριγκιόλ (τροποποιημένος από ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Ισοπιεζομετρική καμπύλη
-  Οικισμοί
-  Όριο υδροφορέα Σαριγκιόλ

Από τη μελέτη των πιεζομετρικών χαρτών, μπορούν να εξαχθούν τα κάτωθι συμπεράσματα (συμπληρωματικά από ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ, Φάση 3.4, Μελέτη Πιεζομετρίας»):

- Η διαμόρφωση των πιεζομετρικών γραμμών είναι σχεδόν παράλληλη με τα όρια του πεδινού τμήματος της λεκάνης. Στις περιοχές Χαραυγής, Κλείτου, Ακρινής, Αγίου Δημητρίου, Μαυροδενδρίου και Ποντοκώμης παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου, ενώ χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ΝΔ τμήμα του υδροφορέα.

- Βάσει της πιεζομετρίας, η τροφοδοσία του υδροφορέα γίνεται από τα ΒΑ προς τα ΝΔ, στο βόρειο τμήμα του, από τα Δ προς τα Α, στο δυτικό του τμήμα και από Ν προς Β, στο νότιο τμήμα, στην ευρύτερη περιοχή Δρεπάνου.

- Στη ΝΑ περιοχή (ευρεία περιοχή Κοιλιάδας) επικρατεί μια ύφεση στις πιεζομετρικές γραμμές και η ροή του υπόγειου νερού έχει γενική κατεύθυνση προς τα ΝΑ, όπου και λαμβάνει χώρα εκτόνωση της υδροφορίας.

- Στην κεντροδυτική και κεντρική περιοχή εντοπίζονται δύο περιοχές ύφεσης των πιεζομετρικών καμπύλων. Κατά ορισμένες χρονικές περιόδους οι δύο αυτές περιοχές τείνουν να ενωθούν, ενώ κατά άλλες η ανατολική εκ των δύο περιοχή εξασθενεί λόγω των περιοδικών αρδευτικών αντλήσεων. Η δυτική περιοχή εμφάνισε μια σταθερότητα καθ' όλη τη διάρκεια των σταθμημετρήσεων του «ΕΛΙΜΕΙΑ» κι εκεί βρίσκονται οι υδρευτικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

Η πιεζομετρία του υδροφορέα υποδηλώνει ότι η κύρια τροφοδοσία γίνεται από τη ζώνη κροκαλοπαγών και αμμοχάλικων των κώνων κορημάτων, στις νοτιοδυτικές παρυφές του Βερμίου. Στο δυτικό τμήμα του υδροφορέα, στην περιοχή Ποντοκόμης-Μαυροδενδρίου η διάταξη των πιεζομετρικών καμπύλων είναι παράλληλη με τον ορεινό όγκο του Ασκίου, με αυξανόμενα υδραυλικά φορτία προς τις παρυφές του, κάτι που υποδηλώνει την κίνηση υπόγειου νερού από τα πλευρικά κορήματα των δυτικών περιθωρίων της λεκάνης προς το κεντρικό της τμήμα. Στο νότιο τμήμα, στην περιοχή Δρεπάνου παρατηρήθηκε υψηλό πιεζομετρικό φορτίο. Αυτό υποδηλώνει μια μικρή τροφοδοσία από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους της περιοχής, η στάθμη των οποίων είναι αρκετά ψηλά (όπως διαπιστώθηκε και με ανορυχθείσα γεώτρηση για την ύδρευση του Δρεπάνου) και οι οποίοι έχουν ως στεγανό υπόβαθρο τους οφιόλιθους. Στο ΝΑ τμήμα του υδροφορέα υπάρχει μια περιοχή με χαμηλό πιεζομετρικό φορτίο. Η απουσία ενός πυκνότερου δικτύου γεωτρήσεων οδηγεί στη διπλή ερμηνεία του φαινομένου αυτού («ΕΛΙΜΕΙΑ», 1999):

i) Στην ύπαρξη υπόγειας αποστράγγισης του υπό μελέτη υδροφορέα προς τον νοτίως ευρισκόμενο τριαδικό-ιουρασικό ασβεστόλιθο, η στάθμη του οποίου αναμένεται αρκετά βαθύτερα (απόλυτο υψόμετρο: 370 m – 390 m), είτε απ' ευθείας, είτε μέσω πλευρικής διήθησης προς τα πλευρικά κορήματα του όρους Σκοπός.

ii) Στη δυσχέρεια κίνησης του υπόγειου νερού προς εκείνη την περιοχή, λόγω της μικρής υδροπερατότητας που παρουσιάζουν οι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί που επικρατούν.

Οι διακυμάνσεις στάθμεων υγρής και ξηρής περιόδου είναι συνήθως από 5 m έως 10 m. Οι υψηλότερες στάθμες παρουσιάζονται το Μάιο, οπότε και αρχίζουν οι εντατικές αντλήσεις άρδευσης. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις περιόδων ξηρασίας, οπότε οι

αρδευτικές γεωτρήσεις ξεκινούν την άντληση από τα μέσα Απριλίου (γεωλόγος Δ.Ε.Η. κ. Κολοβός, προσωπική επικοινωνία).

Η τροφοδοσία του υδροφορέα στο σύνολό του γίνεται από:

- Την άμεση κατείσδυση. Ο Στάμος (2001) υπολόγισε ότι η κατείσδυση στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα αποτελεί περίπου το 20% των κατακρημνισμάτων. Τα κατακρημνίσματα που δέχεται η περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα υπολογίζονται από τη σχέση $P = 372,96 + 0,284 \times H$, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην § 3.4.2. Αντικαθιστώντας ως H την τιμή του μέσου υψομέτρου της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα, που υπολογίστηκε στα 667 m, έχουμε 562,4 mm. Ο συνολικός όγκος νερού με τον οποίο εμπλουτίζεται ο υδροφορέας από την άμεση κατείσδυση είναι:

$$W = E \times I = 67.600.000 \times (0,2 \times 562,4) \approx 7,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

- Το ρέμα Σουλού. Ο Στάμος (2001), επεξεργάστηκε το υδρόγραμμα του ρέματος Σουλού για το υδρολογικό έτος 1998-1999 (οι μετρήσεις έγιναν στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης Σαριγκιόλ) και υπολόγισε πως μεταξύ εισροών ($37,3 \times 10^6 \text{ m}^3$) και εκροών ($22 \times 10^6 \text{ m}^3$) στη λεκάνη υπάρχει μια διαφορά της τάξης των $15,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Η ποσότητα αυτή είναι αρκετά μεγάλη και δικαιολογείται από το γεγονός ότι η Δ.Ε.Η. κατά την εκτροπή του ρέματος, λόγω επέκτασης των ορυχείων, αποκάλυψε γεωλογικούς σχηματισμούς από αμμοχάλικα, αρκετά υψηλής διαπερατότητας, τα οποία επιτρέπουν την άμεση διήθηση μεγάλου μέρους ($\approx 40\%$) των επιφανειακών νερών του ρέματος. Ως μια αντιπροσωπευτική τιμή θεωρείται αυτή των $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

- Από πλευρική διήθηση του υψηλότερου καρστικού υδροφορέα των κρητιδικών ασβεστολίθων του Βερμίου στο ΒΑ μέρος του υδροφορέα. Ο Στάμος (2001), εκτιμά ότι ο υδροφόρος εμπλουτίζεται με $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους. Τροφοδοσία γίνεται και από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους της περιοχής Δρεπάνου (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 1992), για τους οποίους όμως δεν βρέθηκαν στοιχεία που να αφορούν τις ποσότητες νερού που προσφέρουν στον προσχωματικό υδροφορέα της Σαριγκιόλ και για το λόγο αυτό μια εκτίμηση (ελλείπει γεωτρητικών δεδομένων στην περιοχή αυτή) θεωρήθηκε επισφαλής.

- Από τις επιστροφές των αρδεύσεων. Οι ποσότητες αυτές εκτιμήθηκαν στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης» ίσες με $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (Τσουφλίδου & Δημητρακόπουλος, 2005).

Συνολικά λοιπόν ο υδροφορέας εμπλουτίζεται με $26,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Στην περιοχή που οριοθετείται από το ΒΔ ρήγμα του Βερμίου και τους οικισμούς Αγ. Δημήτριο – Κλείτος από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα διακρίνουμε: i) ασβεστολιθικά κορήματα, ii) ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές σε εναλλαγές με καστανέρυθρη άργιλο, iii) γκρι-γριζοπράσινη άργιλο και iv) ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή με οφιολιθικές και κερατολιθικές κροκάλες. Στα κροκαλοπαγή και όπου ευνοείται από την περατότητα, φιλοξενείται υδροφορία, μέρος της οποίας εκδηλώνεται υπό μορφή πηγών στα κατάντη. Ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος της υδροφορίας των κροκαλοπαγών που αναπτύσσεται σε μεγαλύτερα βάθη, θεωρείται ότι επικοινωνεί με τους άνω κρητιδικούς ασβεστολίθους, μέσω του ΒΔ ρήγματος, καθώς και μέσω άλλων ρηγμάτων και τροφοδοτεί τις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του υπό εξέταση υδροφορέα. Ο κρητιδικός ασβεστόλιθος φιλοξενεί υδροφορία με αδιαπέρατο υποβάθρο τη σχιστοκερατολιθική με οφιόλιθους διάπλαση. Η στάθμη του βρέθηκε στα 730 m περίπου (απόλυτο υψόμετρο) ΒΑ του ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγματος του Βερμίου (γεωλόγος Δ.Ε.Η., κ. Σταμούλης, προσωπική επικοινωνία).

Σύμφωνα με την πιεζομετρία που προέκυψε από τα ερευνητικά προγράμματα «ΕΛΙΜΕΙΑ» (επιστημονικός υπεύθυνος κ. Κουμαντάκης) και «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης» (επιστημονικός υπεύθυνος κ. Κουμαντάκης), φαίνεται να υπάρχει και μια μικρή τροφοδοσία από τους Κρητιδικούς ασβεστολίθους στο ΝΔ τμήμα του υδροφορέα (περιοχή Δρεπάνου).

Ο Μελαδιώτης (2002) υποστηρίζει ότι εμπλουτισμός του υδροφορέα της Σαριγκιόλ γίνεται και από τα καρστικά νερά του ορεινού όγκου του ΝΑ Ασκίου μέσω ενός υπεδαφικού μειοκαινικού κροκαλοπαγούς, το οποίο αναπτύσσεται στη δυτική περιμετρική ζώνη της λεκάνης μεταξύ Ποντοκόμης και Μαυροδενδρίου, το οποίο υποστηρίζει ότι επικοινωνεί υδραυλικά τόσο με τον επικρεμάμενο καρστικό υδροφορέα των τριαδικό-ιουρασικών ασβεστολίθων, όσο και με τα ιζήματα του Ανωτέρου υδροφόρου συστήματος της Λεκάνης Σαριγκιόλ.

Η άποψη αυτή αμφισβητείται στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης», διότι δεν τεκμηριώνεται επαρκώς και δεν εναρμονίζεται με το αρνητικό ισοζύγιο του υδροφορέα. Η άποψη αυτή έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα γεωτρητικών ερευνών που έκανε η Δ.Ε.Η., καθώς και ιδιώτης για την υδροδότηση λατομείου στην περιοχή της Ποντοκόμης, τα αποτελέσματα των οποίων δείχνουν ανύψωση του μεταμορφωμένου, θεωρητικά αδιαπέρατου υποβάθρου, καθώς και απουσία υδροφορίας στους υπερκείμενους αυτού ασβεστολίθους. Η γεώτρηση ΥΓΠ10/99, μία υδρογεώτρηση 300 m περίπου δυτικά αυτής

για την υδροδότηση λατομείου, καθώς και η υδρογεώτρηση που ανορύχθηκε από το ΚΕΓΕ Π/Φ, 200 m περίπου δυτικά της Ποντοκόμης συνάντησαν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο και δεν παρουσιάζουν υδροφορία. Αντίστοιχα η υδρογεώτρηση ΥΓΠ8/98 παρουσιάζει μικρή υδροφορία, της τάξης των 10-20 m³/h.

Στην παρούσα Διατριβή θεωρήθηκε ασφαλέστερο να μη ληφθεί υπόψη η διατυπωθείσα άποψη του Μελαδιώτη για δύο λόγους: i) Κατά την προσωπική επικοινωνία με τους γεωλόγους της Δ.Ε.Η. (κ.κ. Κολοβός, Σταμούλης & Μήτρου), της ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (κ. Νικολαΐδης) και του Ι.Γ.Μ.Ε. (κ. Στάμος), διαπιστώθηκε μια έντονη επιφύλαξη ως προς την άποψη αυτή και ii) Η στάθμη του υπόγειου νερού που δίνει ο Μελαδιώτης για τον υδροφορέα στη θέση της γεώτρησης ΥΓΠ1/98 βρίσκεται στο απόλυτο υψόμετρο των 590 m (μέτρηση κατά το τέλος της υγρής περιόδου 1998), κάτι που έρχεται σε ασυμφωνία με τον πιεζομετρικό χάρτη που δίνεται στο Σχήμα 3.10.

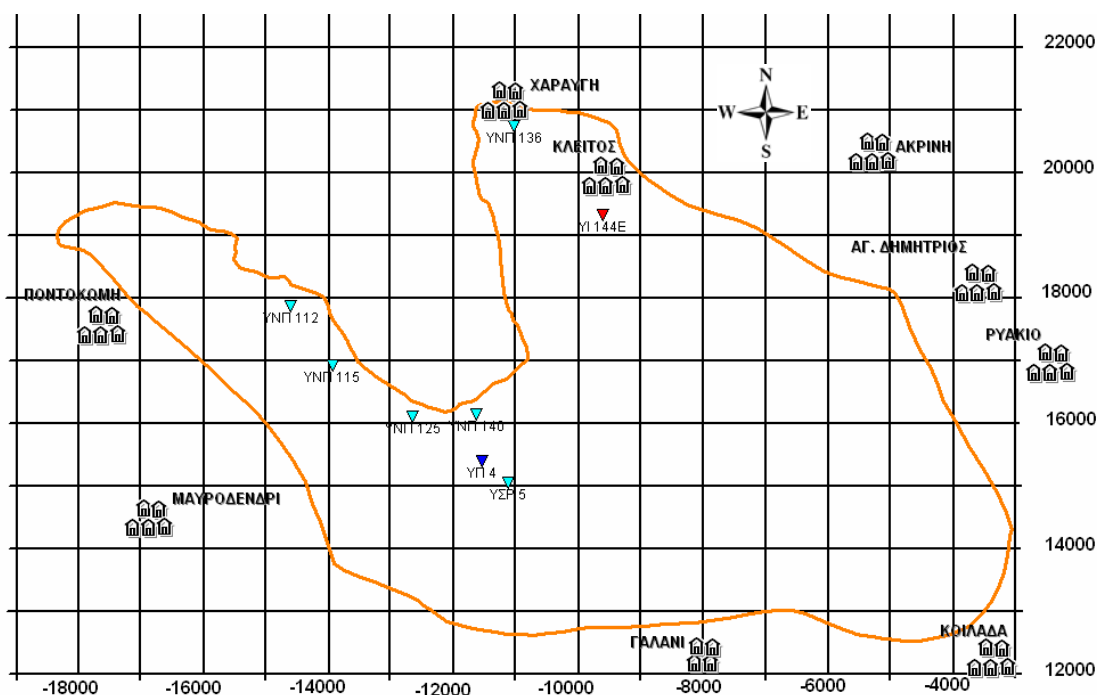
3.6.4 Ισοζύγιο νερού του υδροφορέα

Η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού του υδροφορέα της Σαριγκιόλ ξεκίνησε το 1953, όταν η Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων κατασκεύασε την πρώτη γεώτρηση για την ύδρευση της κοινότητας Γαλανίου. Η δεύτερη κατά σειρά γεώτρηση κατασκευάστηκε το 1960 και η τρίτη το 1961, από αγρότες στο Μαυροδένδρι για άρδευση (βλ. φωτο Π.6, Παράρτημα). Στο διάστημα 1965-1975 κατασκευάστηκαν 8 γεωτρήσεις, ενώ ραγδαία αύξηση του αριθμού των γεωτρήσεων παρατηρήθηκε μετά το 1976. Το 1991 οι γεωτρήσεις ανέρχονταν στις 220, ενώ κατά την απογραφή, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ» το 1996, ανέρχονταν στις 446 (εκ των οποίων 26 αποτυχούσες και 10 κατεστραμμένες). Στην 5ετία δηλαδή 1991-1996 παρατηρήθηκε σχεδόν διπλασιασμός του αριθμού των γεωτρήσεων. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, η εκτίμηση για τον αριθμό των υδρογεωτρήσεων που έχουν κατασκευαστεί έως και το τέλος του 2005 στην έκταση που καλύπτει ο υδροφορέας, ξεπερνά τις 500, δεδομένου ότι από το 1999 (μετά την απογραφή τους, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ»), έως και το 2005, έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα αγροτικού εξηλεκτρισμού της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης 49 γεωτρήσεις, οι οποίες και έχουν λάβει άδεια ανόρυξης υδρογεώτρησης. Επίσης περιμετρικά του Ο.Ν.Π. έχουν σχεδόν διπλασιαστεί οι χρησιμοποιηθείσες αντλητικές γεωτρήσεις (62 στο σύνολο για το 2005, έναντι 30 για το 1998), ενώ έχουν συνολικά καταστραφεί, λόγω της επέκτασης των ορυχείων, περί τις 30.

Ο αριθμός των γεωτρήσεων, οι οποίες εκτιμάται ότι λειτούργησαν μέσα στο 2005, ανέρχεται στις 448, εκ των οποίων:

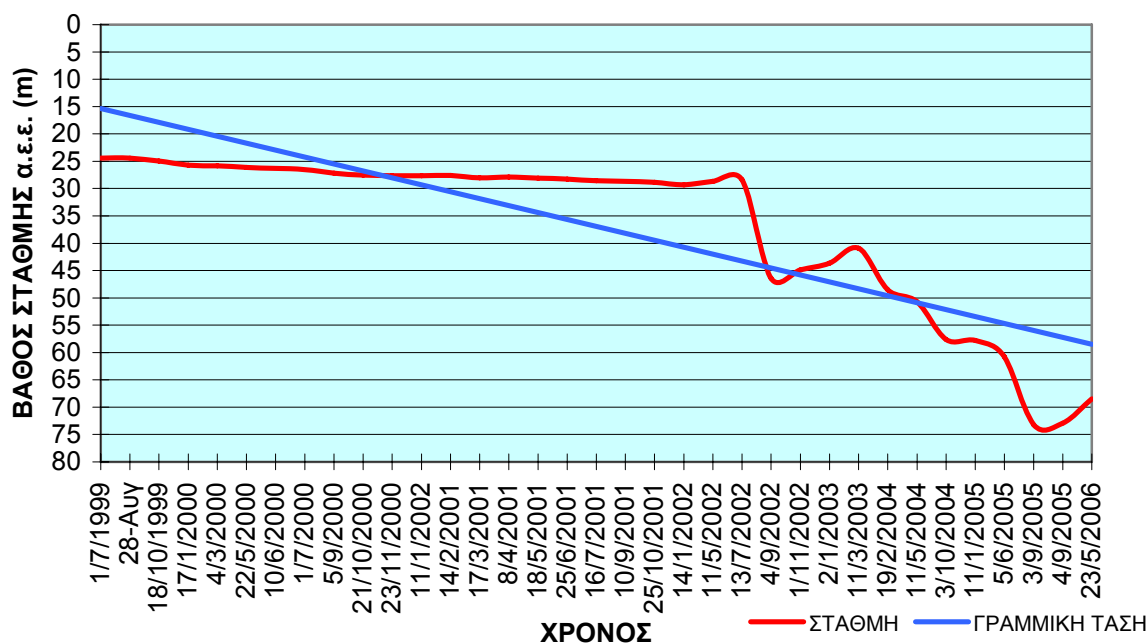
- 331 για άρδευση (282 απογράφηκαν το 1999 + 49 που εντάχθηκαν στο πρόγραμμα Αγροτικού Εξηλεκτρισμού κατά το διάστημα 1999-2005).
- 68 για την αποστράγγιση των ορυχείων (62 για το Ο.Ν.Π. και 6 για τον Τομέα 6).
- 49 για ύδρευση. Οι 30 χρησιμοποιούνται από τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ. (στοιχεία 2005) και οι υπόλοιπες 19 από λοιπούς Δήμους (Ελλησπόντου και Δημητρίου Υψηλάντη) και για άλλες υδρευτικές χρήσεις (στοιχεία 1999).

Ο υδροφορέας βρίσκεται σε δυναμική κατάσταση, λόγω των εντατικών αντλήσεων που υφίσταται. Σε υπερετήσια κλίμακα η πτώση της υπόγειας στάθμης στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ είναι συνεχής. Στα Σχήματα που ακολουθούν δίνονται οι πορείες των στάθμεων ηρεμίας για πέντε αποστραγγιστικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. (Υ.Ν.Π. 112, Υ.Ν.Π. 115, Υ.Ν.Π. 136, Υ.Ν.Π. 125, Υ.Ν.Π. 140, Υ.Σ.Ρ. 5), για ένα πιεζόμετρο της (Υ.Π. 4) και για μία ιδιωτική γεώτρηση (Υ.Ι. 144Ε), από την επιφάνεια του εδάφους (α.ε.ε.). Η επιλογή τους έγινε βάσει της χωρικής τους κατανομής και του πλήθους των δεδομένων. Οι περισσότερες παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη πτωτική τάση της στάθμης τους, πλην της υδρογεώτρησης Υ.Σ.Ρ. 5, η οποία παρουσιάζει μικρή ανοδική τάση. Στο Σχήμα 3.11 δίνεται η θέση των γεωτρήσεων ως προς τον υδροφορέα.



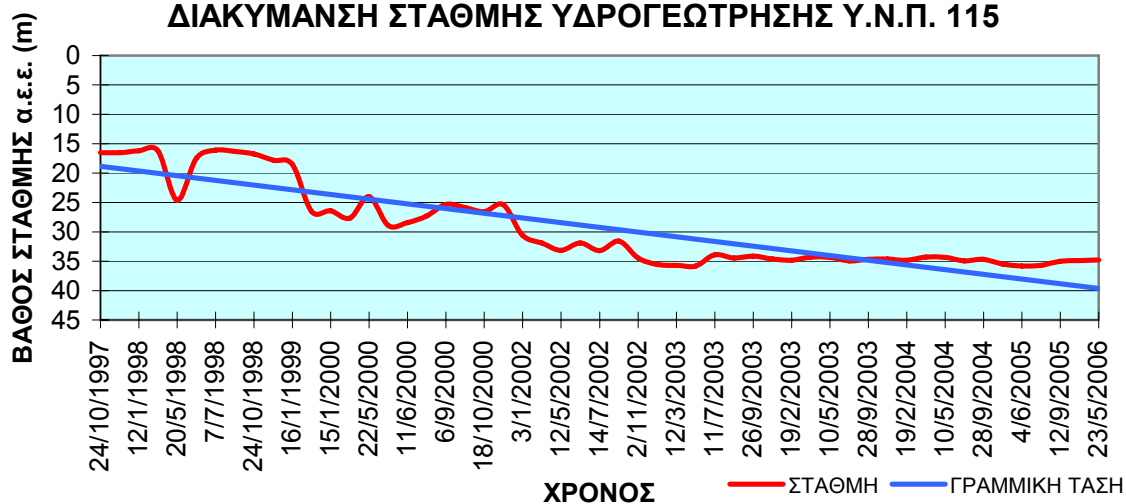
Σχήμα 3.11: Θέση των υδρογεωτρήσεων (έγχρωμα τρίγωνα), ως προς τον υδροφορέα (πορτοκαλί κλειστή γραμμή), για τις οποίες δίνονται οι διακυμάνσεις στάθμεων στα διαγράμματα που ακολουθούν. Ο κλίμακας των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m, σύμφωνα με το προβολικό σύστημα HATT.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Υ.Ν.Π. 136



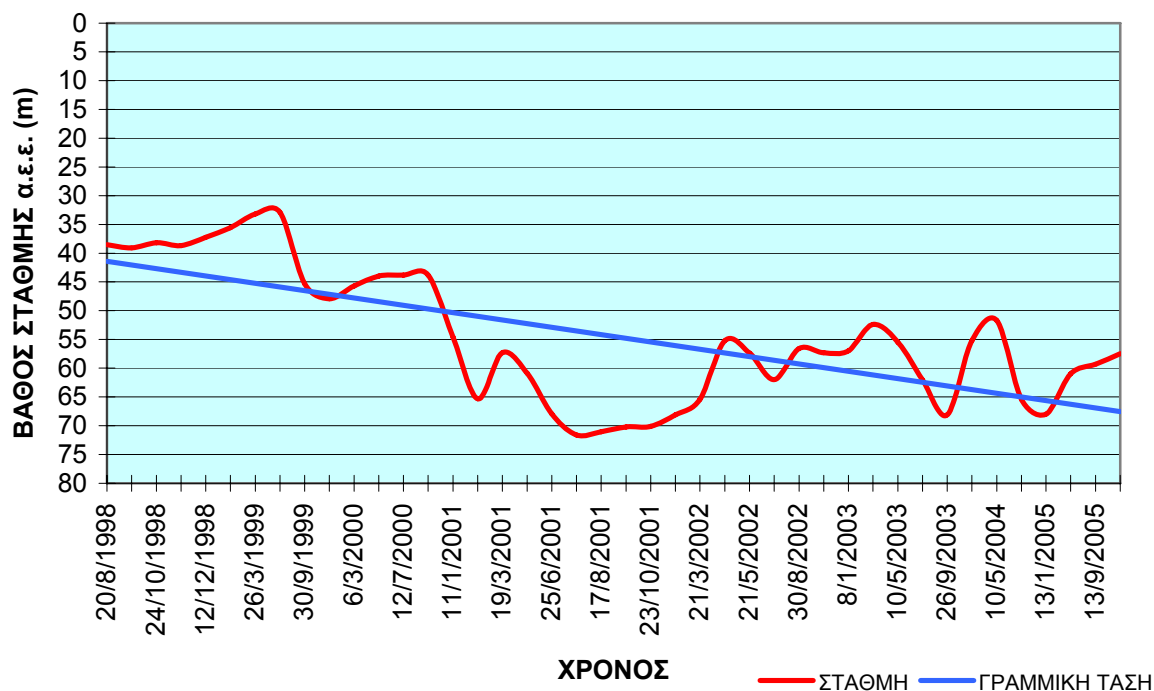
Σχήμα 3.12: Διακύμανση της στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Ν.Π. 136, της Δ.Ε.Η.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Υ.Ν.Π. 115



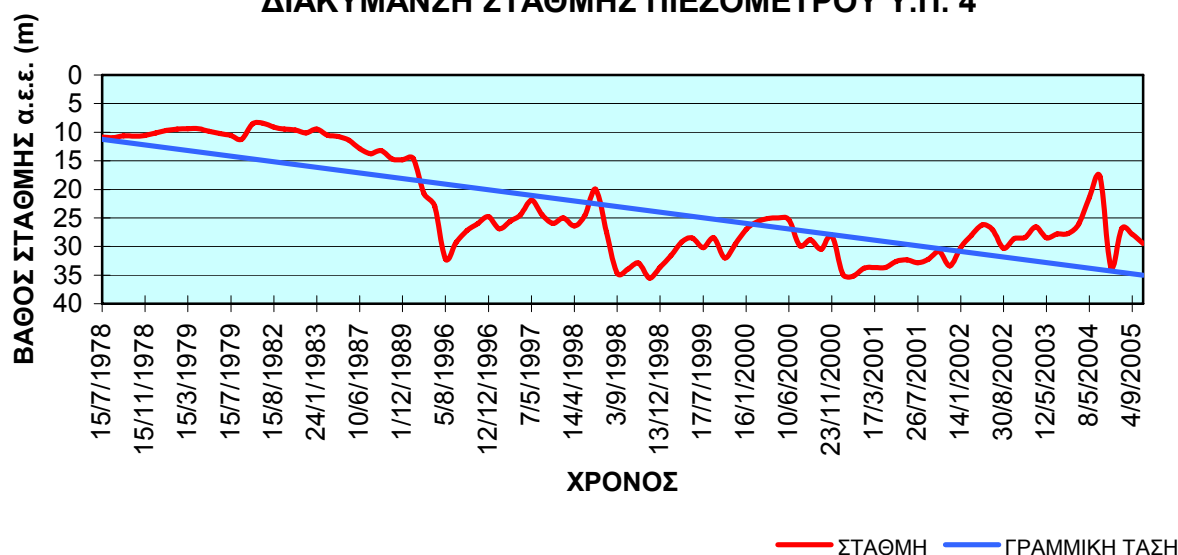
Σχήμα 3.13: Διακύμανση της στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Ν.Π. 115, της Δ.Ε.Η.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Υ.Ν.Π. 125



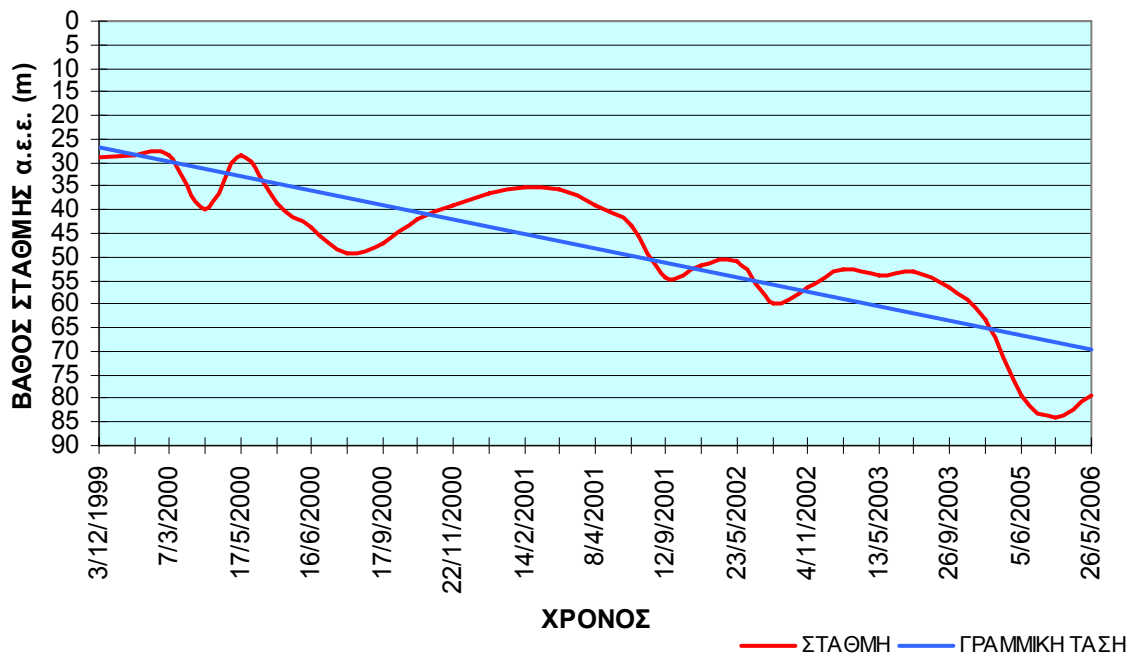
Σχήμα 3.14: Διακύμανση της στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Ν.Π. 125, της Δ.Ε.Η.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟΥ Υ.Π. 4



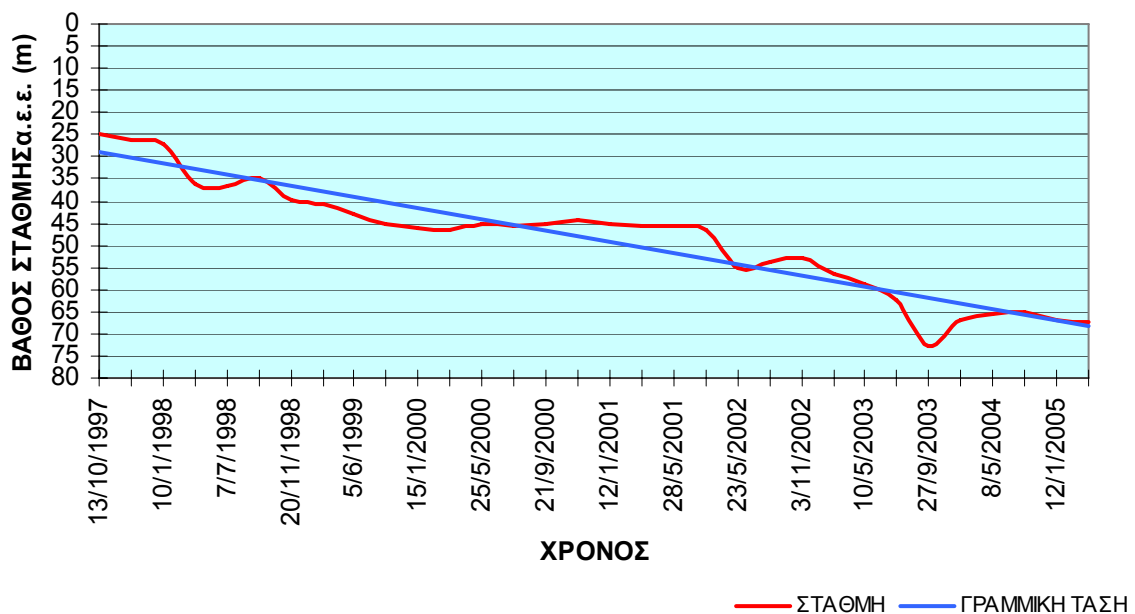
Σχήμα 3.15: Διακύμανση της στάθμης ηρεμίας για το πιεζόμετρο Υ.Π. 4, της Δ.Ε.Η.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Υ.Ν.Π. 140

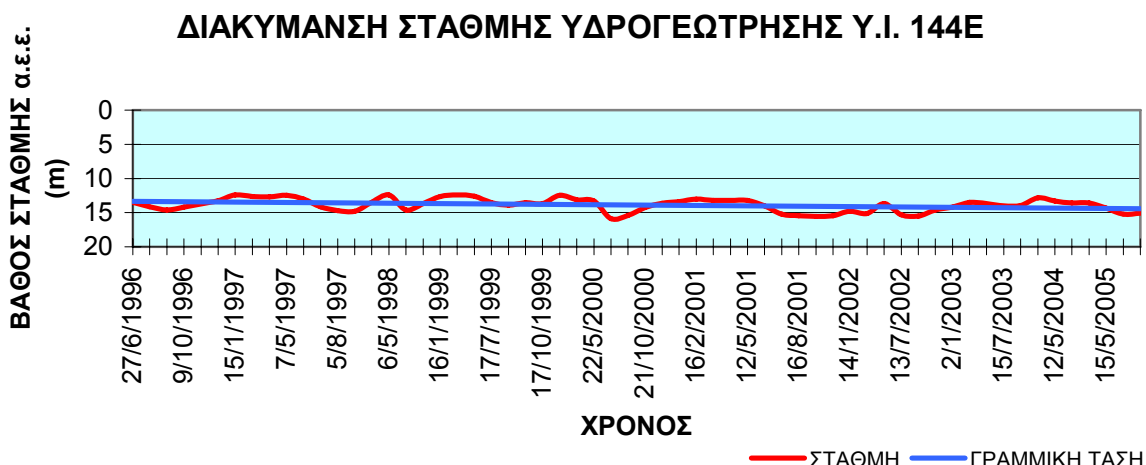


Σχήμα 3.16: Διακύμανση της στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Ν.Π. 140, της Δ.Ε.Η.

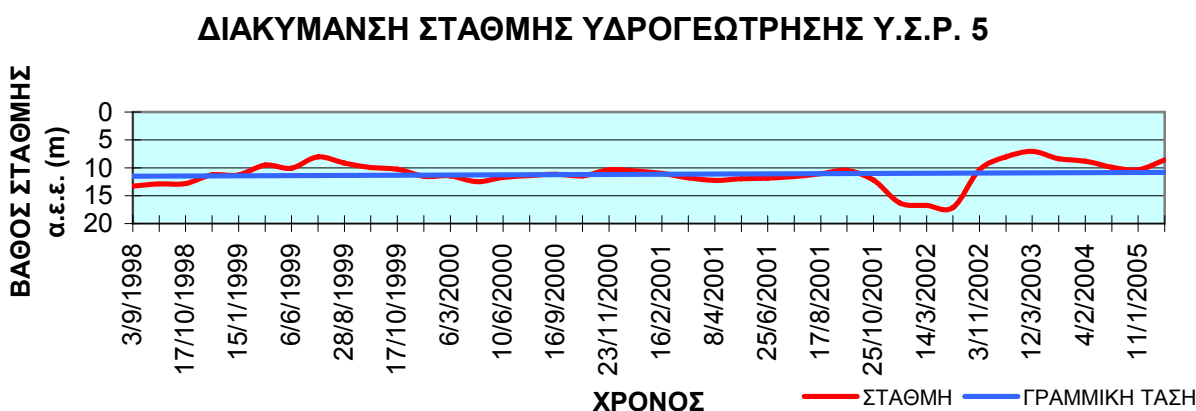
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Υ.Ν.Π. 112



Σχήμα 3.17: Διακύμανση στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Ν.Π. 112, της Δ.Ε.Η.



Σχήμα 3.18: Διακύμανση στάθμης ηρεμίας για την ιδιωτική γεώτρηση Υ.Ι. 144Ε.

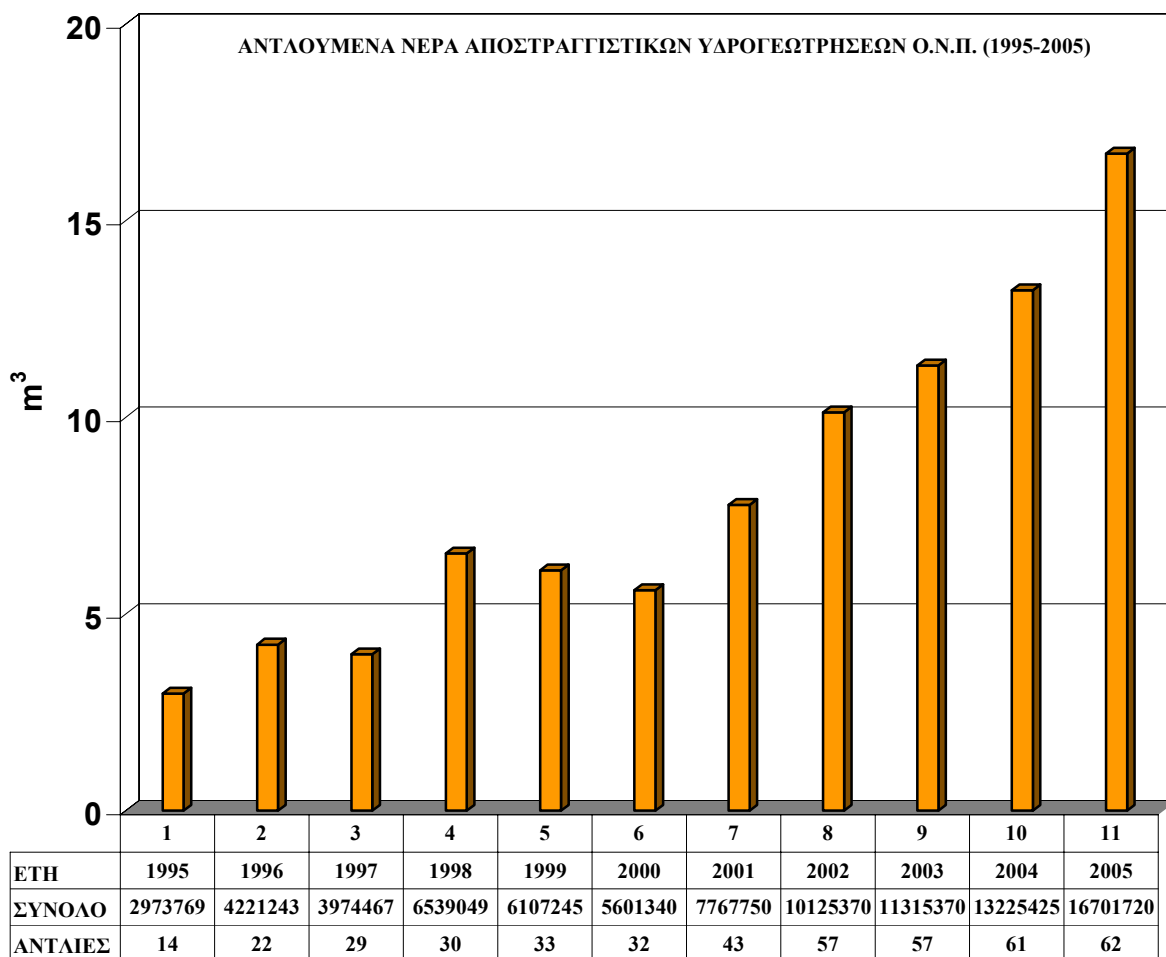


Σχήμα 3.19: Διακύμανση στάθμης ηρεμίας για την αποστραγγιστική γεώτρηση Υ.Σ.Ρ. 5, της Δ.Ε.Η.

Οι μέσες πτώσεις στάθμης από το 1980, λόγω του καθεστώτος υπεράντλησης που επικράτησε, κυμαίνονται στη ΝΔ περιοχή από 0,88 m/έτος έως 1,5 m/έτος και στην ανατολική περιοχή από 0,59 m/έτος έως 1,46 m/έτος («ΕΛΙΜΕΙΑ», 1999).

Όπως προαναφέρθηκε η Δ.Ε.Η. αντλεί το υπόγειο νερό με γεωτρήσεις περιμετρικά του Ο.Ν.Π. και του Τομέα 6, ώστε να αποφύγει την εκφόρτισή του μέσα στους χώρους εργασίας των ορυχείων. Το 2005 ο αριθμός των γεωτρήσεων του Ο.Ν.Π. που αντλούν από τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ ανερχόταν στις 62, έναντι 14 το 1995. Στο διάγραμμα του Σχήματος 3.20 δίνεται ο ακριβής αριθμός των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν από τη Δ.Ε.Η., για την προστασία του Ο.Ν.Π., καθώς και το σύνολο των αντλούμενων ποσοτήτων νερού για κάθε έτος από το 1995 έως και το 2005. Το νερό αυτό καλύπτει τις ανάγκες του χωριού Κόμανος, τις ανάγκες των ορυχείων και του

προσωπικού αυτών, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του απορρίπτεται στις αποστραγγιστικές τάφρους που συνδέονται με το ρέμα Σουλού (Τερζοπούλου & Χατζησάββας, 2003). Οι περισσότερες γεωτρήσεις αποστράγγισης βρίσκονται ΝΔ της ανοικτής εκσκαφής του Ο.Ν.Π., διότι εκεί εντοπίζονται τα μεγαλύτερα πάχη υδροφόρων στρωμάτων, οπότε και οι εισροές του υπόγειου νερού είναι μεγαλύτερες.

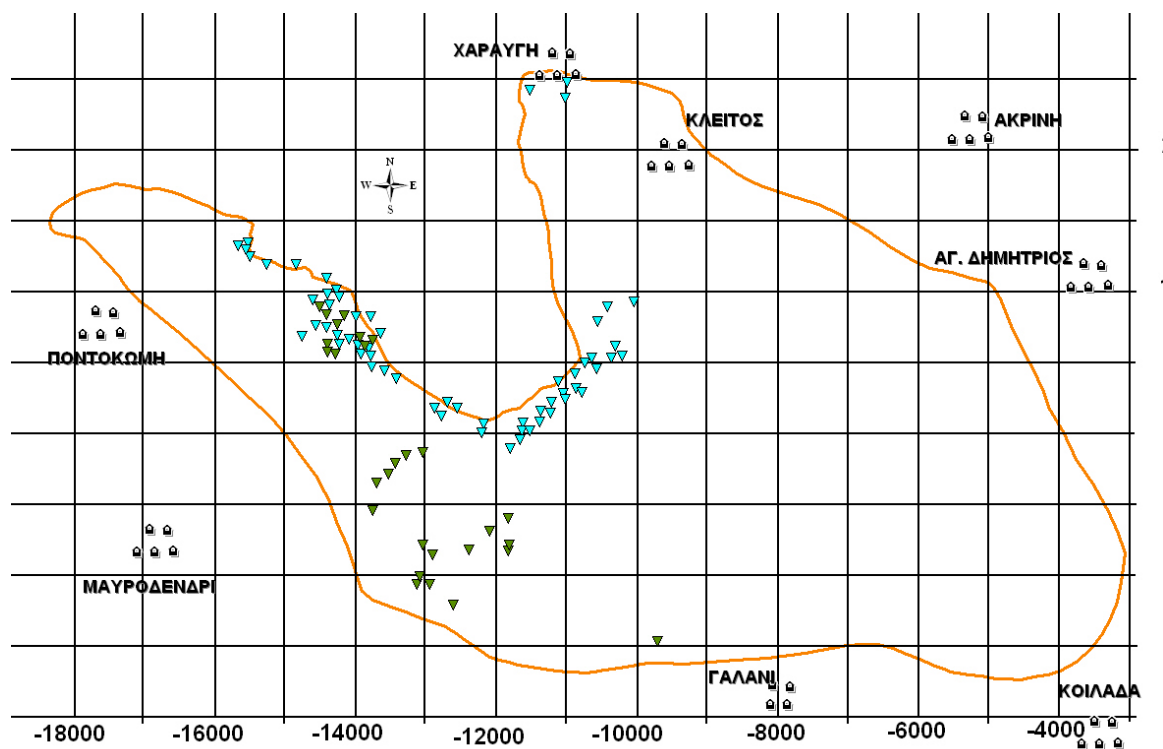


Σχήμα 3.20: Διάγραμμα συνολικών ποσοτήτων νερού (σε m³) που έχουν αντλήσει οι γεωτρήσεις αποστράγγισης της Δ.Ε.Η., περιμετρικά του Ο.Ν.Π., από τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, κατά το διάστημα 1995-2005.

Η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. αντλεί το υπόγειο νερό του υδροφορέα συνολικά με 30 γεωτρήσεις, οι οποίες είναι οι εξής (για τις γεωτρήσεις ΥΓ 1 και ΥΓ 2 δεν υπάρχουν συντεταγμένες): Υ.Ν.Π. 107, Υ.Ν.Π. 122, Υ.Ν.Π. 160, Υ.Ν.Π. 163, Υ.Ν.Π. 164, Υ.Ν.Π. 165, Υ.Ν.Π. 171, Υ.Ν.Π.174, Υ.Ν.Π. 222, Υ.Ν.Π. 224, ΥΚΖ 1, ΥΚΖ 2, ΥΚΖ 3, ΥΚΖ 4, ΥΚΖ 5, ΥΚΖ 6, ΥΚΖ 7, ΥΚΖ 8, ΥΚΖ 9, ΥΚΖ 10, ΥΚΖΒ Ν, ΥΚΖ 12, ΥΚΖ 14, ΑΚ 1, ΑΚ 2, ΚΟΙΛΩΝ, ΥΔ 3, ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ, ΥΓ 1, ΥΓ 2 (Οι γεωτρήσεις Υ.Ν.Π. συμβάλλουν ταυτόχρονα και στην αποστράγγιση των ορυχείων). Οι παροχές άντλησης των γεωτρήσεων αυτών

κυμαίνονται από 20 m³/h, έως και 100 m³/h. Στην εγγύτερη περιοχή των γεωτρήσεων αυτών έχει δημιουργηθεί ένας μεγάλος κώνος πτώσης στάθμης του υπόγειου νερού.

Στο Σχήμα 3.21 δίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων που χρησιμοποιεί η Δ.Ε.Η. για την αποστράγγιση του Ο.Ν.Π. και του Τομέα 6 (οι γεωτρήσεις που απεικονίζονται είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν κατά το έτος 2005), καθώς και οι υδρευτικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. (στοιχεία 2005).



Σχήμα 3.21: Θέση των υδρογεωτρήσεων που αντλούν νερό από τον υδροφόρα της Σαριγκιόλ και χρησιμοποιούνται από τη Δ.Ε.Η. για την αποστράγγιση του Ο.Ν.Π. και του ορυχείου του Τομέα 6 και από τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ. για την ύδρευση του Δήμου Κοζάνης. Ο κάναβος των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m, σύμφωνα με το προβολικό σύστημα HATT.

Η συνεχής πτώση στάθμης οφείλεται στο αρνητικό ισοζύγιο που παρουσιάζει ο υδροφόρας. Στο ερευνητικό πρόγραμμα «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης» έγινε μια εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα και βρέθηκε για το έτος 1997, αρνητικό ισοζύγιο κατά $6,8 \times 10^6$ m³. Ο Στάμος (2001) υπολόγισε το τελικό ισοζύγιο του υδροφορέα για το υδρολογικό έτος 1998-1999 και κατέληξε πως υπάρχει ένα έλλειμμα της τάξης των $6,3 \times 10^6$ m³/έτος, τα οποία αφαιρούνται από τα μόνιμα υδατικά αποθέματα του υδροφορέα. Δίχως να αναλυθούν οι

μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν σε κάθε περίπτωση, θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης του ισοζυγίου νερού στον υδροφορέα, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία που συλλέχθηκαν, λαμβάνοντας υπόψη τη σειρά σκέψεων που προτάθηκαν στις προαναφερθείσες μελέτες.

- *Εισροές νερού στον υδροφορέα:* Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι συνολικά υπολογίσιμες εισροές νερού στην έκταση του υδροφορέα ανέρχονται σε $26,1 \times 10^6 \text{ m}^3$.

- *Εκροές νερού από τον υδροφορέα:* Οι αντλήσεις νερού από τον εξεταζόμενο υδροφορέα, γίνονται από τις αποστραγγιστικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η., από τις υδρευτικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. και από ιδιωτικές αρδευτικές γεωτρήσεις.

Το 2005 η Δ.Ε.Η. άντλησε συνολικά $16,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, για την αποστράγγιση των ορυχείων ($16,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ για το Ο.Ν.Π. και $95 \times 10^3 \text{ m}^3$ για τον Τομέα 6), ενώ η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. αντλεί κατά μέσο όρο $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ από τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ (Στάμος, 2001). Από τις ποσότητες αυτές πρέπει να αφαιρεθούν αυτές που αντλήθηκαν από τις γεωτρήσεις που παραχωρήθηκαν από τη Δ.Ε.Η. στη Δ.Ε.Υ.Α.Κ. (με κωδικό Υ.Ν.Π.), οι οποίες υπολογίστηκαν στις συνολικές ποσότητες που άντλησε η Δ.Ε.Η. και οι οποίες ανέρχονται σε $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου. Η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. υπολογίζεται ότι αντλεί περί τα $3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων που άντλησαν οι ιδιωτικές γεωτρήσεις για το έτος 2005, υιοθετήθηκε η θεώρηση του Στάμου (2001), σύμφωνα με την οποία προσεγγιστικά τα αρδευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται (κανόνια), αντλούν κατά μέσο όρο $40 \text{ m}^3/\text{h}$, λειτουργούν 14 ώρες ημερησίως, για 80 ημέρες κατά την καλλιεργητική περίοδο. Στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα από τα μέσα περίπου του 1999 (οπότε και απογράφηκαν 282 ιδιωτικές γεωτρήσεις), έως και το 2005 δόθηκαν άδειες ανόρυξης υδρογεώτρησης για 49 ακόμη γεωτρήσεις. Συνολικά δηλαδή οι ιδιωτικές γεωτρήσεις ανέρχονται στις 331. Οπότε, οι ποσότητες των αντλούμενων νερών συνολικά και για τις 331 γεωτρήσεις ανέρχονται σε:

$$W = 331 \times 40 \times 14 \times 80 \approx 14,3 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Συνολικά λοιπόν οι εκροές από τον υδροφορέα ανέρχονται σε:

$$W_{\text{ολ}} = 16,8 \times 10^6 \text{ m}^3 + 3 \times 10^6 \text{ m}^3 + 14,3 \times 10^6 \text{ m}^3 = 34,1 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Υπάρχει μια διαφορά ανάμεσα στις εισροές και τις εκροές, της τάξης των $8 \times 10^6 \text{ m}^3$, το οποίο εκφράζεται ως έλλειμμα και αφαιρείται από τα μόνιμα αποθέματα του υδροφορέα, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από τη συνεχή πτωτική τάση των στάθμεων του υπόγειου νερού. Υπενθυμίζεται ότι στις εισροές δεν περιλήφθηκαν οι ποσότητες νερού με τις οποίες τροφοδοτείται ο υδροφορέας από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους

της περιοχής Δρεπάνου, όπως επίσης και στις εκροές δε χρησιμοποιήθηκαν οι ποσότητες των αντλούμενων νερών από τις λοιπές γεωτρήσεις ύδρευσης, πλην της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. (για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν δεδομένα).

Η τιμή που υπολογίστηκε είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν που υπολόγισε ο Στάμος (2001). Αυτό οφείλεται στους εξής παράγοντες: i) οι ιδιωτικές αρδευτικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 331 και αφορούσαν το τέλος του έτους 2005 (έναντι 285 που χρησιμοποίησε ο Στάμος), ii) οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. ανέρχονται συνολικά για 2005 στις 68 (έναντι 26 γεωτρήσεων που χρησιμοποίησε ο Στάμος) και iii) το εμβαδόν που χρησιμοποιήσαμε για τον υδροφορέα είναι κατά 8,3 km³ μεγαλύτερο από αυτό που χρησιμοποίησε ο Στάμος στους υπολογισμούς του.

3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ “DRASTIC” ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ

3.7.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του υδροφορέα της Σαριγκιόλ. Η βασική μεθοδολογία που εφαρμόστηκε είναι η DRASTIC, η οποία αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς και ορισμένες τροποποιήσεις αυτής (Modified DRASTIC και τροποποιημένη παραγοντοποίηση, κατά Panagopoulos et al., 2005). Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος έναντι άλλων, είναι: i) η ευρεία εφαρμογή που βρίσκει στη διεθνή βιβλιογραφία, ii) η επιτυχής εκτίμηση της τρωτότητας, ακόμη και σε ιδιάζουσες περιπτώσεις υδροφοριών, iii) η ακρίβεια που δίνει στα αποτελέσματά της, iv) η πολύ καλή προσέγγιση που επιτυγχάνει στην περιγραφή των επικρατούντων υδρογεωλογικών συνθηκών, v) η συμμετοχή πολλών παραγόντων στην εκτίμηση της τρωτότητας, κάτι το οποίο συμβάλλει στην κατά το δυνατόν ελάττωση των σφαλμάτων, που προκύπτουν από την επεξεργασία και εκτίμηση των δεδομένων και στην εξασφάλιση της στατιστικής ακρίβειας των αποτελεσμάτων της.

Κατά την ανάλυση της προσέγγισης που έγινε για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θα αναλύονται και οι επί μέρους δυσκολίες που συναντήθηκαν κατά τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ. Τα προκύπτοντα στοιχεία θα συνδυαστούν με αυτά της παραγράφου 5.3, στην προσπάθεια να γίνει μια εκτίμηση των προκυπτόντων σφαλμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου.

Στην προσπάθεια για εξαγωγή κατά το δυνατόν ασφαλέστερων συμπερασμάτων, γίνονται οι λιγότερες δυνατές απλοποιήσεις και παραδοχές, κάτι το οποίο κατέληξε αναπόφευκτο, λόγω της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζουν τα συλλεχθέντα στοιχεία, όσων αφορά τη χωρική και χρονική τους κατανομή.

Για την παραγωγή όλων των χαρτών που θα ακολουθήσουν και αφορούν τη βαθμονόμηση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Arc Map v. 8.3. Συγκεκριμένα, κρίθηκε σκόπιμο να εφαρμοστεί η γεωστατιστική μέθοδος kriging, (Ordinary kriging) του εργαλείου Geostatistical Analyst-Geostatistical Wizard, του προαναφερθέντος προγράμματος.

Μέθοδος Kriging: 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 κατανομημένο δίκτυο παρατηρήσεων στην περιοχή που εφαρμόζεται. Μπορεί επίσης με τη βοήθεια της μεθόδου να μελετηθούν μεταβλητές που παρουσιάζουν ανισοτροπία (π.χ. υδραυλική αγωγιμότητα) δηλ. μεταβάλλονται με διαφορετική ένταση στις διάφορες διευθύνσεις (Βουδούρης, 2004).

Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στην εξεταζόμενη περιοχή, ήταν η ανισοκατανομή των δεδομένων και αυτός ήταν ο κυριότερος λόγος που επιλέχθηκε η εφαρμογή της μεθόδου kriging.

Στα σημεία μέτρησης η τιμή της παραμέτρου παραμένει ίδια με τη μετρημένη. Η μέθοδος δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού του σφάλματος εκτίμησης της παραμέτρου στα σημεία όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις πεδίου.

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας στην εκτίμηση των τιμών μιας παραμέτρου ακολουθείται η εξής διαδικασία (Θεοδοσίου, 1999, από Βουδούρη, 2004):

Εκτιμάται η παράμετρος με τη μέθοδο kriging σε ένα σημείο για το οποίο μπορεί να υπάρξει μέτρηση στο πεδίο, με βάση τις μετρήσεις στα υπόλοιπα σημεία. Εκτελείται η ίδια διαδικασία για τα υπόλοιπα σημεία μέτρησης της παραμέτρου. Υπολογίζονται οι αποκλίσεις των πραγματικών τιμών με τις υπολογισθείσες με τη μέθοδο kriging για όλα τα σημεία. Από το διάγραμμα συσχέτισης των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών μπορεί να ελεγχθεί η αξιοπιστία της μεθόδου.

3.7.2 Βάθος υπόγειου νερού (D)

Για τον υπολογισμό του βάθους του υπόγειου νερού (Depth to groundwater) του υπό εξέταση υδροφορέα, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία πιεζομετρίας υδρογεωτρήσεων και πιεζομέτρων της Δ.Ε.Η., της Δ.Ε.Υ.Α.Κ., καθώς και γεωτρήσεων που απογράφηκαν κατά το ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ». Κατά το τέλος Μαΐου 2006, με τη βοήθεια του γεωλόγου κ. Μήτρου Πασχάλη, μετρήθηκαν στάθμες υπόγειου νερού σε 11 πιεζόμετρα και 16 υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. και σε 4 ιδιωτικές γεωτρήσεις που μετρώνται συστηματικά από τη Δ.Ε.Η. και οι οποίες βρίσκονται περιμετρικά του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου (βλ. Πίνακα 3.5).

Η αντικειμενική δυσκολία που εντοπίστηκε κατά τη συλλογή δεδομένων για το βάθος του υπόγειου νερού, είναι ότι δεν υπήρχε αντικειμενική άποψη της πιεζομετρίας για όλη την έκταση του υδροφορέα. Αυτό συνέβη διότι δε βρέθηκαν, καθ' όλη την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας, στοιχεία πιεζομετρίας υγρής και ξηρής περιόδου για ένα πλήθος ετών.

Τα μόνα στοιχεία που αφορούσαν συστηματικές μετρήσεις στάθμεων υπόγειου νερού, είναι αυτά που προέκυψαν από το ερευνητικό πρόγραμμα «ΕΛΙΜΕΙΑ» και πραγματοποιήθηκαν κατά τα έτη 1996, 1997 1998 και 1999, ενώ υπάρχουν και κάποιες τιμές στάθμεων για την υγρή περίοδο του 2000. Πλην των ετών αυτών δεν υπάρχει συστηματική καταγραφή για όλη την έκταση του υδροφορέα. Συστηματικές επίσης μετρήσεις στάθμεων παραχωρήθηκαν από τη Δ.Ε.Η., για την εγγύτερη περιοχή νότια, ανατολικά και νοτιοδυτικά της ανοικτής εκσκαφής του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου, με στοιχεία που αρκετές φορές είναι συνεχή για τη δεκαετία 1997-2006. Στο δυτικό τμήμα οι μετρήσεις που ήταν διαθέσιμες από τη Δ.Ε.Η. ήταν περιορισμένες και συμπληρώθηκαν από στοιχεία γειτονικών γεωτρήσεων του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ». Στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του υδροφορέα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. και του προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ».

Οι μετρήσεις πιεζομετρίας στο ΝΔ τμήμα του υδροφορέα, όπου εντοπίζονται οι υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ., αφορούν τα έτη 2001 έως και 2004, δίχως όμως να υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις. Οι στάθμες προγενέστερων ετών για τις γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η., οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή, αφορούν το Β, ΒΔ και ΒΑ τμήμα του υδροφορέα.

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας DRASTIC, είναι απαραίτητη η γνώση των πιεζομετρικών συνθηκών που επικρατούν στην εξεταζόμενη περιοχή. Τα ελλιπή δεδομένα αξιολογήθηκαν και κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν τα πιο πρόσφατα στοιχεία στάθμεων, από όσες γεωτρήσεις ήταν αυτό εφικτό. Για την αποτύπωση των τιμών των στάθμεων σε κάθε μία γεώτρηση ξεχωριστά, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των πιο πρόσφατων τιμών για τη θερινή και χειμερινή περίοδο αντίστοιχα, θεωρώντας την τιμή αυτή την πιο προσεγγιστική στις συνθήκες που επικρατούν αυτήν τη στιγμή στον υδροφορέα. Έτσι προέκυψε ο Πίνακας 3.5, ο οποίος απεικονίζει τον κωδικό αριθμό της γεώτρησης που χρησιμοποιήθηκε, τις ημερομηνίες των πιο πρόσφατων σταθμημετρήσεων, τις τιμές τους, καθώς και τη βαθμονόμηση (rating) των τιμών αυτών βάσει της κατηγοριοποίησης που προβλέπει η μέθοδος DRASTIC. Οι τιμές που βρίσκονται σε γκρι πλαίσιο, είναι αυτές που μετρήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας

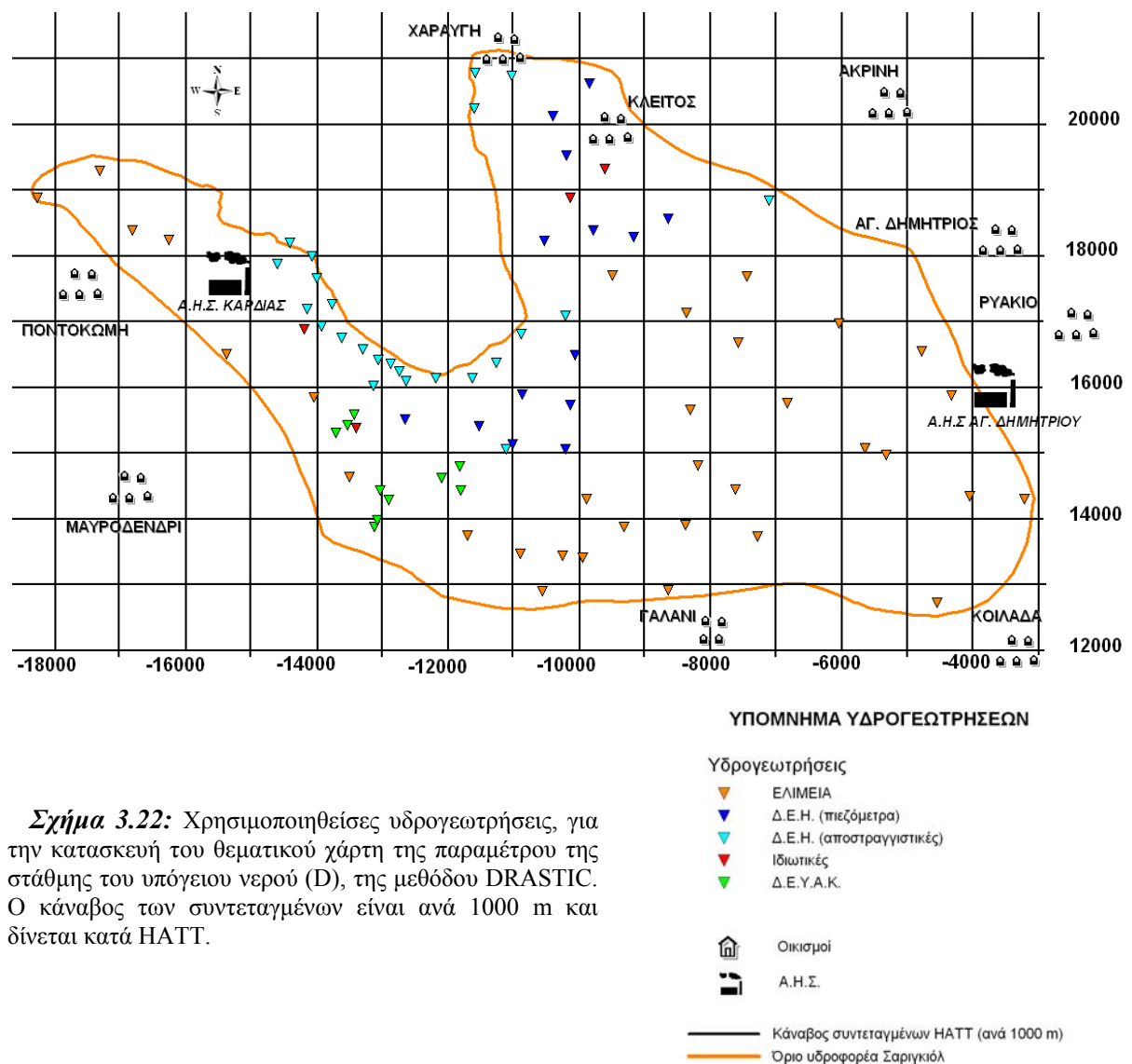
Διατρίβης Ειδίκευσης. Οι τιμές των στάθμεων δίνονται σε μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Πίνακας 3.5: Υδρογεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θεματικού χάρτη της παραμέτρου της στάθμης του υπόγειου νερού (D), της μεθόδου DRASTIC. Η στάθμη του υπόγειου νερού (D) για κάθε γεώτρηση δίνεται από την επιφάνεια του εδάφους (α.ε.ε.) και αποτελεί το μέσο όρο των μετρήσεων για την πιο πρόσφατη ξηρή (Ξ) και υγρή (Υ) περίοδο. Οι τιμές που βρίσκονται σε γκρι πλαίσιο είναι αυτές που μετρήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας Διατρίβης Ειδίκευσης.

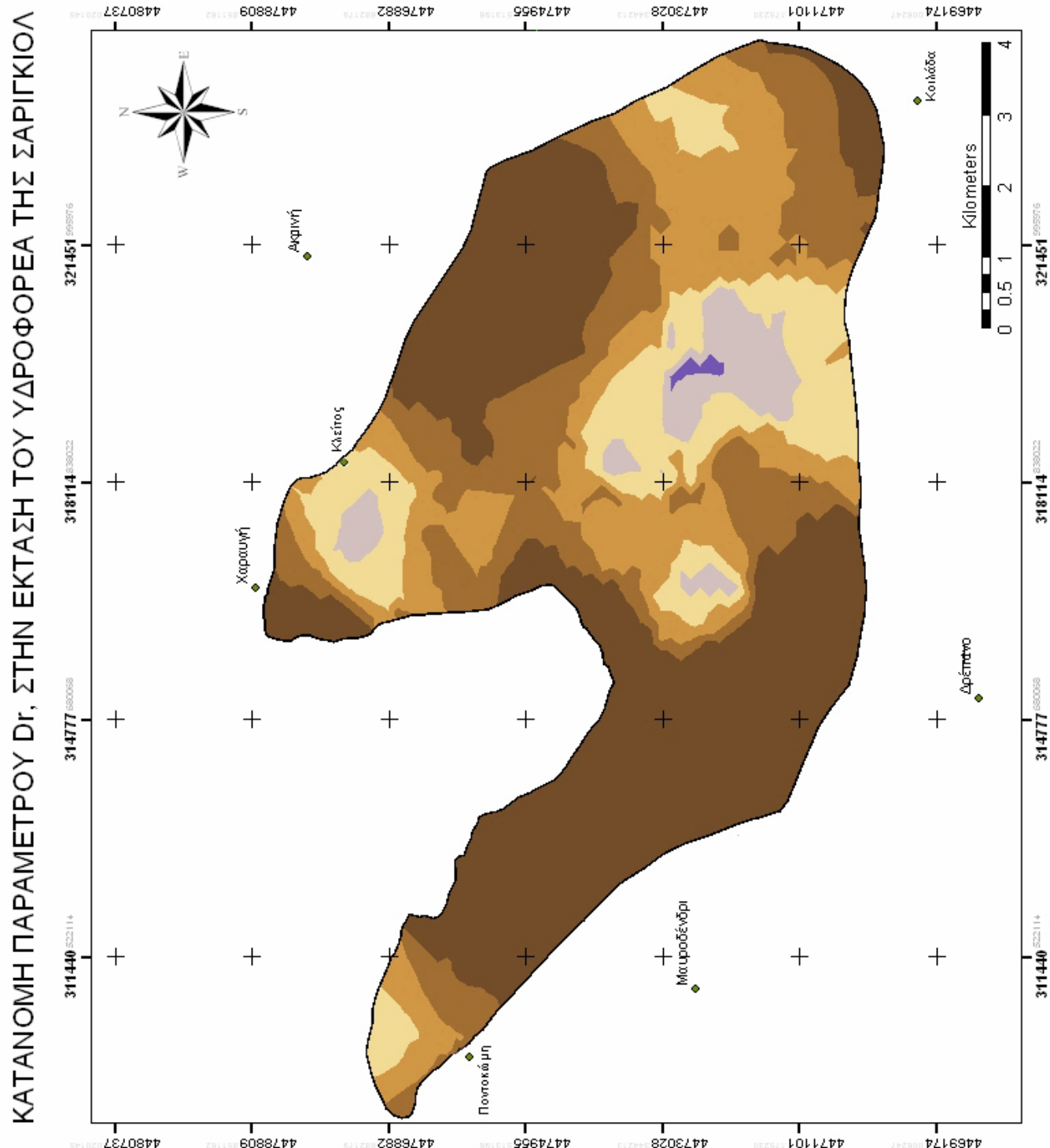
Υδρογεώτρηση	Περίοδος μέτρησης	D α.ε.ε. (σε m)	D _r	Υδρογεώτρηση	Περίοδος μέτρησης	D α.ε.ε. (σε m)	D _r
4	Ξ1999-Υ1998	14.10	5	ΥΝΠ 117	Ξ2005-Υ2006	32.35	1
18	Ξ1997-Υ1997	27.64	2	ΠΝΠ 23	Ξ2005-Υ2006	13.98	5
77	Ξ1997-Υ1998	9.05	7	ΥΝΠ 124	Ξ2005-Υ2006	48.28	1
87	Ξ1997-Υ1998	3.25	9	ΥΝΠ 125	Ξ2005-Υ2006	58.40	1
106	Ξ1997-Υ1997	55.25	1	ΠΝΠ 15	Ξ2005-Υ2005	58.75	1
155	Ξ1999-Υ1998	17.00	3	ΠΝΠ 18	Ξ2005-Υ2006	28.80	2
169	Ξ1998-Υ1999	28.30	2	ΠΝΠ 21	Ξ2005-Υ2006	18.10	3
173	Ξ1997-Υ1998	32.00	1	ΠΝΠ 22	Ξ2005-Υ2006	8.75	7
183	Ξ1997-Υ1998	32.50	1	ΠΝΠ 24	Ξ2005-Υ2006	13.75	5
193	Ξ1997-Υ1998	49.00	1	ΠΝΠ 25	Ξ2005-Υ2006	12.25	5
219	Ξ1998-Υ1998	22.05	3	ΠΝΠ 28	Ξ2005-Υ2006	18.78	3
232	Ξ1998-Υ1998	37.91	1	ΠΝΠ 29	Ξ2005-Υ2006	10.30	5
233	Ξ1999-Υ2000	66.00	1	ΠΝΠ 30	Ξ2005-Υ2006	9.30	5
256	Ξ1997-Υ1998	34.50	1	ΠΝΠ 32	Ξ2005-Υ2006	41.10	1
258	Ξ1997-Υ1998	42.55	1	ΠΝΠ 33	Ξ2005-Υ2006	25.03	2
262	Ξ1997-Υ1998	29.90	2	ΥΔ 3	Ξ2003-Υ2004	51.70	1
265	Ξ1998-Υ1998	31.15	1	ΥΙ 144Ε	Ξ2005-Υ2006	15.15	5
267	Ξ1997-Υ1998	28.88	2	ΥΙ 504	Ξ2005-Υ2006	35.40	1
279	Ξ1999-Υ1998	14.64	5	ΥΙ 510Ε	Ξ2005-Υ2006	80.38	1
285	Ξ1999-Υ1998	27.80	2	ΥΙ 513Ε	Ξ2005-Υ2006	43.13	1
289	Ξ1997-Υ1998	57.50	1	ΥΝΠ 105	Ξ2004-Υ2005	45.20	1
300	Ξ1999-Υ1998	21.25	3	ΥΝΠ 112	Ξ2004-Υ2005	66.10	1
306	Ξ1998-Υ1998	28.15	2	ΥΝΠ 115	Ξ2005-Υ2006	34.85	1
313	Ξ1999-Υ2000	14.00	5	ΥΝΠ 116	Ξ2005-Υ2006	30.90	1
443	Ξ1999-Υ2000	32.00	1	ΥΝΠ 118	Ξ2005-Υ2006	50.90	1
454	Ξ1998-Υ1999	8.27	7	ΥΝΠ 12	Ξ2005-Υ2006	61.75	1
Α21	Ξ1998-Υ1998	35.73	1	ΥΝΠ 121	Ξ2004-Υ2005	56.03	1
ΑΚ 2	Ξ2001-Υ2002	50.25	1	ΥΝΠ 127	Ξ2005-Υ2006	49.28	1
ΥΚΖ 1	Ξ2003-Υ2004	60.30	1	ΥΝΠ 136	Ξ2004-Υ2005	40.90	1
ΥΚΖ 10	Ξ2001-Υ2002	71.10	1	ΥΝΠ 140	Ξ2005-Υ2006	70.70	1
ΥΚΖ 12	Ξ2001-Υ2002	46.00	1	ΥΝΠ 147	Ξ2005-Υ2006	81.75	1
ΥΚΖ 2	Ξ2003-Υ2004	71.70	1	ΥΝΠ 154	Ξ2003-Υ2002	43.90	1
ΥΚΖ 3	Ξ2003-Υ2004	63.90	1	ΥΝΠ 155	Ξ2005-Υ2006	64.28	1
ΥΚΖ 5	Ξ2003-Υ2004	66.90	1	ΥΝΠ 193	Ξ2005-Υ2006	65.50	1
ΥΚΖ 7	Ξ2003-Υ2004	66.70	1	ΥΝΠ 212	Ξ2005-Υ2006	78.03	1
ΥΚΖ Β	Ξ2003-Υ2004	70.50	1	ΥΝΠ 32	Ξ2005-Υ2006	60.30	1
Γ2 ή 50	Ξ1998-Υ1998	10.90	5	ΥΝΠ 67	Ξ2004-Υ2005	50.73	1
Γ3 ή 56	Ξ1999-Υ1999	20.50	3	ΥΝΠ 72	Ξ2005-Υ2006	53.55	1
Γ4 ή 58	Ξ1999-Υ2000	22.25	3	ΥΝΠ 87	Ξ2004-Υ2005	66.25	1
Γ6 ή 92	Ξ1998-Υ1998	42.23	1	ΥΠ 4	Ξ2005-Υ2006	28.68	2
Γ7 ή 94	Ξ1998-Υ1998	18.65	3	ΥΣΡ 2	Ξ2005-Υ2005	32.10	1
Γ9 ή 82	Ξ1999-Υ1998	23.20	2	ΥΣΡ 5	Ξ2005-Υ2005	9.50	5

Στο χάρτη του Σχήματος 3.22 δίνονται τα στίγματα των υδρογεωτρήσεων και πιεζομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και ο κάναβος συντεταγμένων κατά HATT για την ταχύτερη εύρεσή τους.

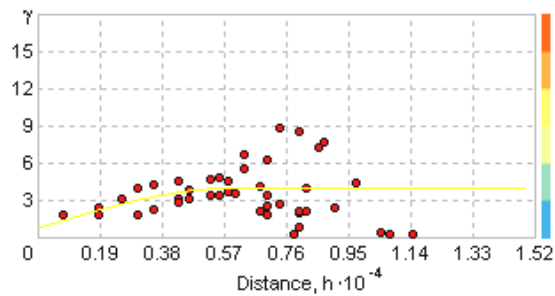
Ο χάρτης του Σχήματος 3.23 απεικονίζει την κατανομή της παραμέτρου D_r του υπόγειου νερού, στην έκταση του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, βάσει των συλλεχθέντων στοιχείων. Ο συντελεστής βαρύτητας D_w πήρε την τιμή 5, που αποτελεί και την πρότυπη τιμή που δίνουν οι Aller et al. (1987) για την παράμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού.



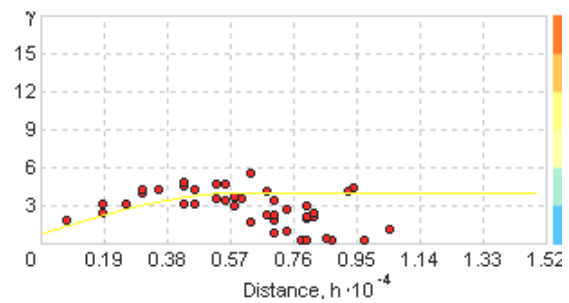
Σχήμα 3.22: Χρησιμοποιηθείσες υδρογεωτρήσεις, για την κατασκευή του θεματικού χάρτη της παραμέτρου της στάθμης του υπόγειου νερού (D), της μεθόδου DRASTIC. Ο κάναβος των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m και δίνεται κατά HATT.



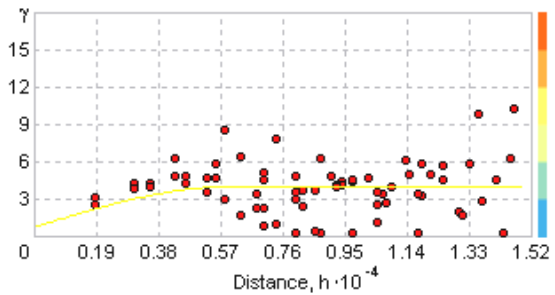
Σχήμα 3.23: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης (rating) της παραμέτρου του υπόγειου νερού (D), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαριγκιόλ.



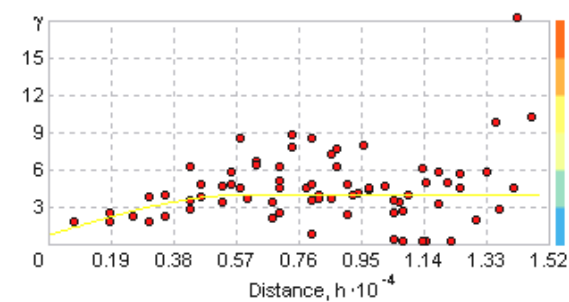
Σχήμα 3.24: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα Βόρεια.



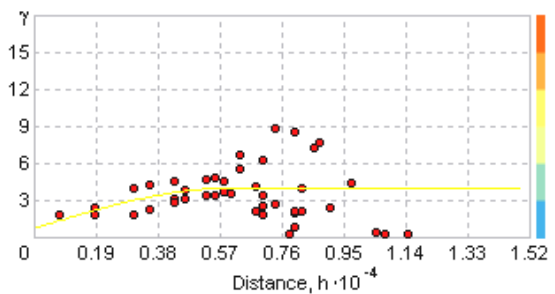
Σχήμα 3.25: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα ΒΑ.



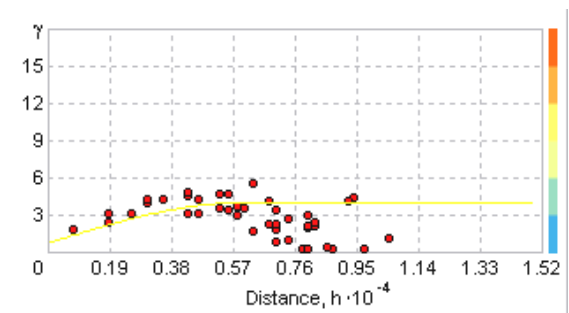
Σχήμα 3.26: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα Ανατολικά.



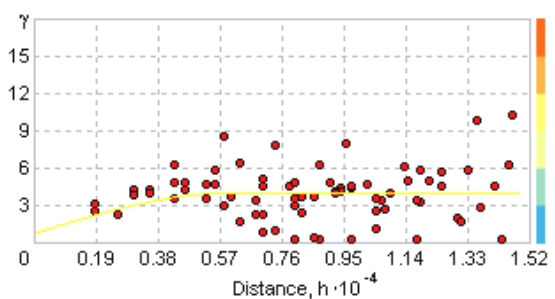
Σχήμα 3.27: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα ΝΑ.



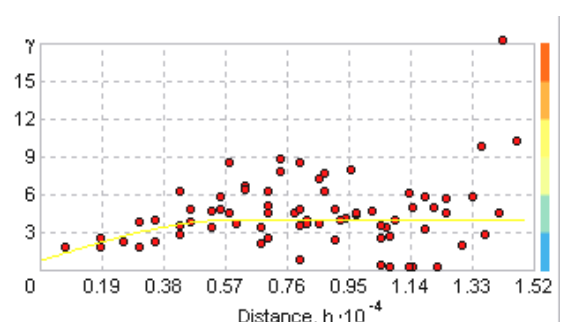
Σχήμα 3.28: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα Νότια.



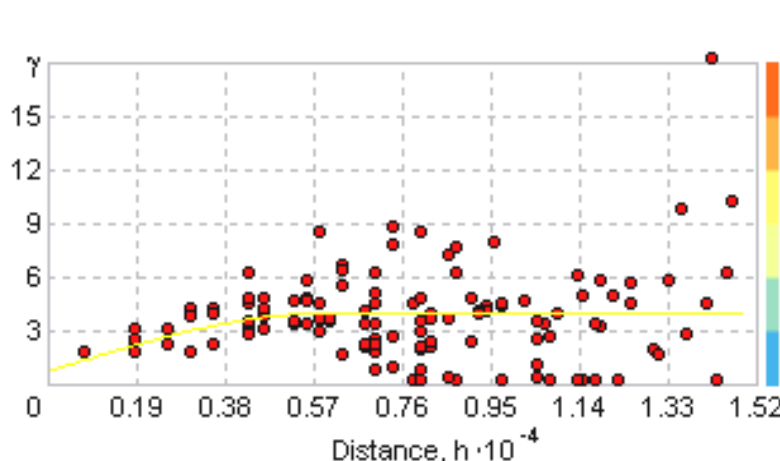
Σχήμα 3.29: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα ΝΔ.



Σχήμα 3.30: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα Δυτικά.



Σχήμα 3.31: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, προς τα ΒΔ.



Σχήμα 3.32: Βαριόγραμμα κατανομής υδρογεωτρήσεων, στο σύνολό τους.

Η αξιοπιστία της μεθόδου kriging που εφαρμόστηκε, ελέγχθηκε με τη χρήση των βαριογραμμάτων, όπως αυτά δίνονται στα διαγράμματα των Σχημάτων 3.24 έως και 3.32. Η τιμή που δόθηκε στην παράμετρο D_i , σε κάθε σημείο της έκτασης του υδροφορέα, προέκυψε από τη συνεκτίμηση των τριών εγγύτερων σημείων, για τα οποία υπήρχαν τιμές, επιλέγοντας τέσσερις τομείς, με διαφορά 45° , όπως υποδεικνύεται από το εργαλείο Geostatistical Wizard του προγράμματος Arc Map v. 8.3.

Από τα βαριογράμματα της κατανομής των υδρογεωτρήσεων, διαπιστώνεται η σχετικά καλή κατανομή των υδρογεωτρήσεων, ως προς την έκταση του υδροφορέα, με εξαίρεση κάποιες ακραίες τιμές στα ΒΔ (270° - 360°) και στα ΝΑ (90° - 180°). Στο σύνολό της η κατανομή είναι αρκετά καλή.

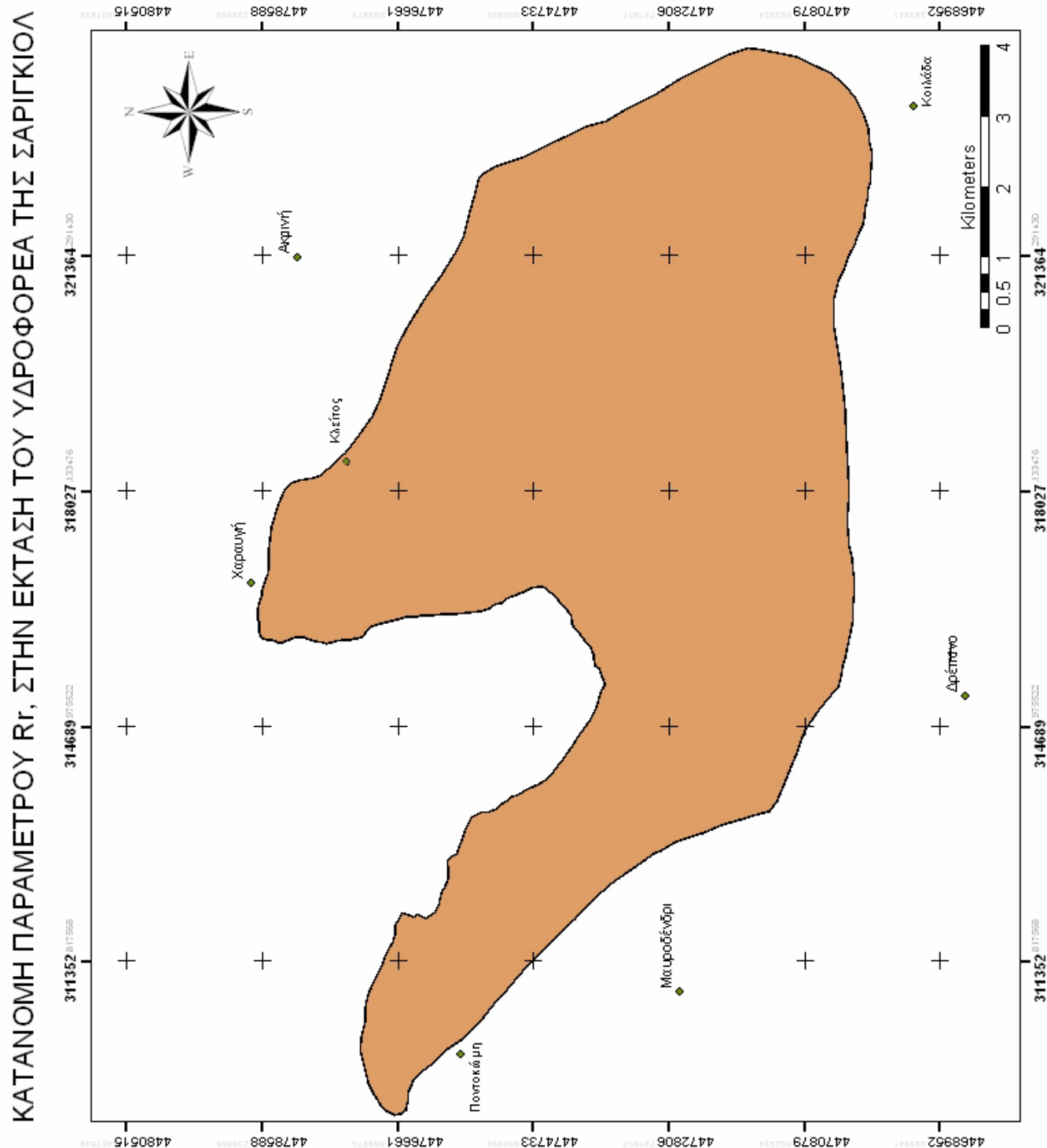
3.7.3 Εμπλουτισμός (R)

Για τον υπολογισμό της ποσότητας νερού, με την οποία εμπλουτίζεται ετησίως ο υδροφορέας, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της παραγράφου 3.6.3. Συγκεκριμένα, στους υπολογισμούς ελήφθησαν υπόψη οι ποσότητες νερού που εμπλουτίζουν ετησίως τον υδροφορέα με την άμεση κατείσδυση, έτσι όπως προβλέπει η μέθοδος DRASTIC, δίχως να λαμβάνεται υπόψη η κατανομή, η ένταση και η διάρκεια των επεισοδίων βροχής. Στους υπολογισμούς συμπεριλήφθηκαν και οι ποσότητες του νερού από τις επιστροφές αρδεύσεων. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται αυτές οι ποσότητες, είναι διότι η κατανομή των καλλιεργειών στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα είναι σχεδόν ομοιόμορφη και καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση αυτής, κάτι το οποίο επαληθεύεται από τους ορθοφωτοχάρτες της περιοχής (φωτοληψία 1996 {βλ. Παράρτημα}) και από τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες LANDSAT ETM+ (ημερ. απόκτησης: 30/05/2001). Ο

αντίστοιχος χάρτης χρήσεων γης, που συντάχθηκε από την ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., δίνει 59 km^2 ($\approx 87,3\%$) της περιοχής όπου αναπτύσσεται ο υδροφορέας να καλύπτονται από γεωργικές καλλιέργειες.

Στους υπολογισμούς του εμπλουτισμού δε συμπεριλήφθηκαν οι ποσότητες νερού που διηθούνται δια μέσου του ρέματος Σουλού, διότι η διήθηση πραγματοποιείται κυρίως στο βόρειο τμήμα του ρέματος, στην εγγύτερη περιοχή του Α.Η.Σ. Καρδιάς. Η μεθοδολογία DRASTIC, όπως προαναφέρθηκε, ασχολείται με την εκτίμηση της τρωτότητας ενός υδροφορέα στη ρύπανση από διάχυτες ρυπαντικές πηγές, περιορισμό τον οποίο δεν ικανοποιεί το ρέμα Σουλού, λόγω της περιορισμένης έκτασης στην οποία πραγματοποιείται η τροφοδοσία, δια μέσου της κοίτης του. Επίσης, δεν λήφθηκαν υπόψη οι ποσότητες νερού με τις οποίες τροφοδοτείται ο υδροφορέας από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους, διότι η πλευρική τροφοδοσία δεν έρχεται σε συμφωνία με τη μέθοδο DRASTIC.

Συνολικά λοιπόν ο υδροφορέας εμπλουτίζεται από την άμεση κατείσδυση και τις επιστροφές αρδεύσεων με $9,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή $134,6 \text{ mm}$. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.25 η βαθμολογία (rating) της παραμέτρου R_r είναι 6. Στο χάρτη του Σχήματος 3.33 δίνεται η κατανομή της παραμέτρου R_r , στην έκταση του υδροφορέα. Η τιμή του συντελεστή βαρύτητας $R_w = 5$, αποτελεί την πρότυπη τιμή που δίνει η μέθοδος.



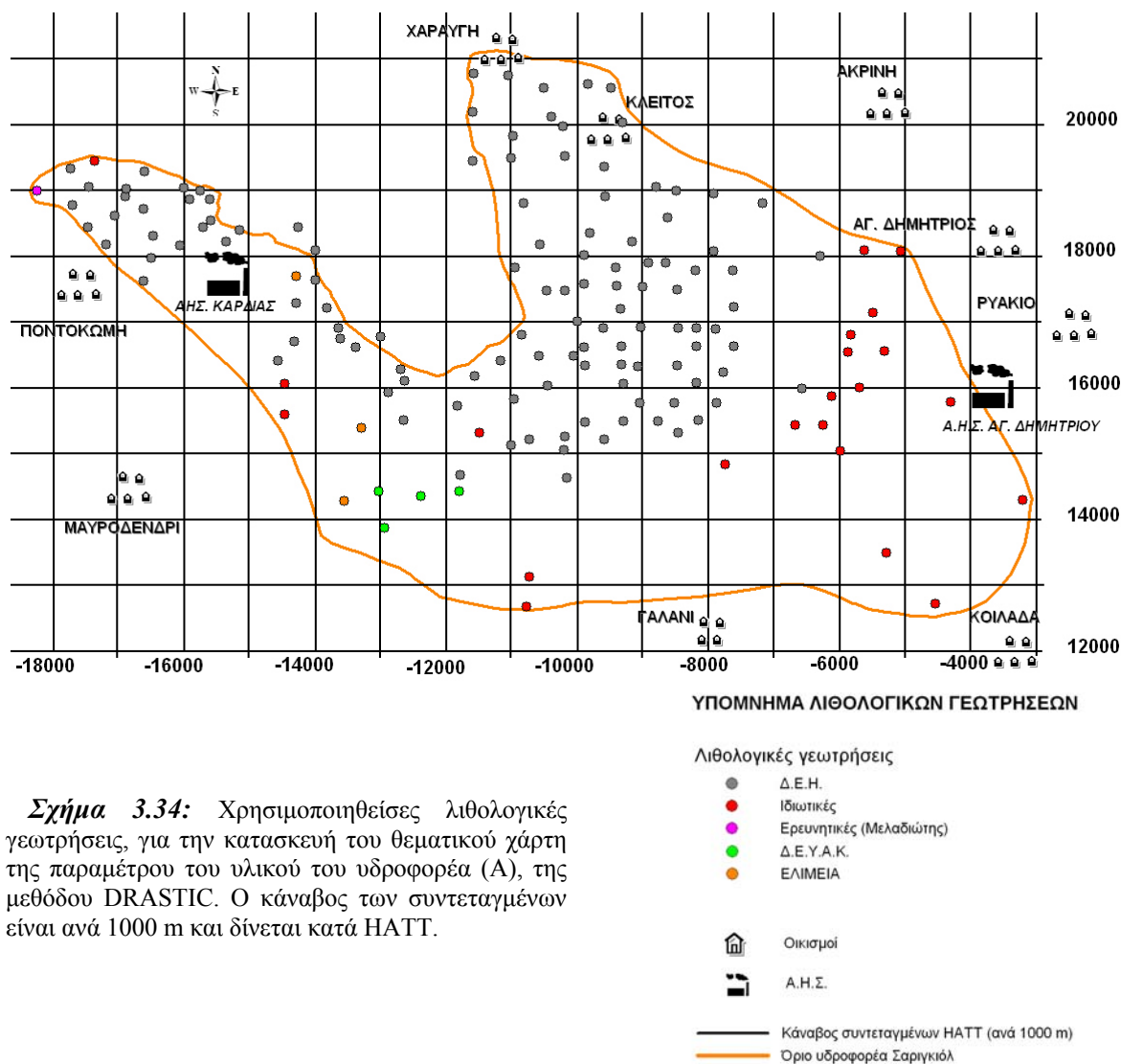
3.7.4 Υλικό του υδροφορέα (Α)

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου Α της μεθόδου DRASTIC, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα συνολικά 148 γεωτρήσεων, εκ των οποίων: 119 λιθολογικές γεωτρήσεις Δ.Ε.Η., 19 ιδιωτικές υδρογεωτρήσεις, 6 δημοτικές γεωτρήσεις (4 Δ.Ε.Υ.Α.Κ., 1 Δήμος Φιλιππούπολης, 1 Δήμος Ελλησπόντου), 1 ερευνητική (Μελαδιώτη, προσωπική επικοινωνία, Ζερβοπούλου Α.), 3 από το ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ. Οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των ιδιωτικών γεωτρήσεων σχεδιάστηκαν βάσει των στοιχείων που κρατούσε ο εκάστοτε γεωτρυπανιστής ή/και γεωλόγος, κατά τη διάνοιξή τους.

Η επιλογή των γεωτρήσεων οι οποίες εν τέλει χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο αυτό, έγινε ύστερα από την επεξεργασία και αξιολόγηση, συνολικά 195 λιθολοστρωματογραφικών τομών γεωτρήσεων, με γνώμονα την ομοιόμορφη, κατά το δυνατό, γεωγραφική τους κατανομή. Στο Σχήμα 3.34 δίνεται η γεωγραφική κατανομή των χρησιμοποιηθέντων γεωτρήσεων, σε σχέση με τα όρια του υδροφορέα, στο οποίο διαπιστώνεται ότι κάποιες γεωτρήσεις βρίσκονται εκτός των ορίων του υδροφορέα και συγκεκριμένα εντός των ανοιχτών εκσκαφών των ορυχείων. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν ήταν ότι στην εγγύτερη περιοχή αυτών δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία λιθολογίας, οπότε η χρήση τους βελτιώνει την αξιοπιστία της μεθόδου kriging, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του τελικού χάρτη κατανομής της παραμέτρου Α. Στο χάρτη του ίδιου σχήματος διαπιστώνεται ότι στο νότιο τμήμα δεν υπάρχει καλή εικόνα για τη λιθολογία του υδροφορέα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Δ.Ε.Η. δε διαθέτει γεωτρήσεις στην περιοχή αυτή, ενώ οι ιδιωτικές γεωτρήσεις που εντοπίζονται εκεί κατασκευάστηκαν πριν το 1990, δίχως την κατάθεση λιθοστρωματογραφικής στήλης κατά τη λήψη άδειας ηλεκτροδότησης της υδρογεώτρησης.

Ως υλικό του υδροφορέα θεωρήθηκαν τα στρώματα εκείνα τα οποία βρισκόταν κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, έτσι όπως αυτή προέκυψε για τον υδροφορέα, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.5. Συγκεκριμένα, για κάθε λιθολογική γεώτρηση χρησιμοποιήθηκε η κοντινότερη υδρογεώτρηση για την οποία υπήρχαν στοιχεία στάθμης υπόγειου νερού. Στην περίπτωση όπου κάποια λιθολογική γεώτρηση γειτόνευε, σχετικά εξίσου κοντά, με δύο υδρογεωτρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία στάθμης της υδρογεώτρησης για την οποία υπήρχαν οι πιο πρόσφατες μετρήσεις. Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν τα υδροφόρα στρώματα του υδροφορέα, βάσει του Πίνακα 3.5 και

συνεκτιμώντας τα πάχη των εκάστοτε στρωμάτων που συμμετέχουν στην υδροφορία, προέκυψε ο Πίνακας 3.6, ο οποίος δίνει τη βαθμονόμηση του υλικού του υδροφορέα, σύμφωνα με τη μέθοδο DRASTIC.



Σχήμα 3.34: Χρησιμοποιηθείσες λιθολογικές γεωτρήσεις, για την κατασκευή του θεματικού χάρτη της παραμέτρου του υλικού του υδροφορέα (A), της μεθόδου DRASTIC. Ο κάναβος των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m και δίνεται κατά HATT.

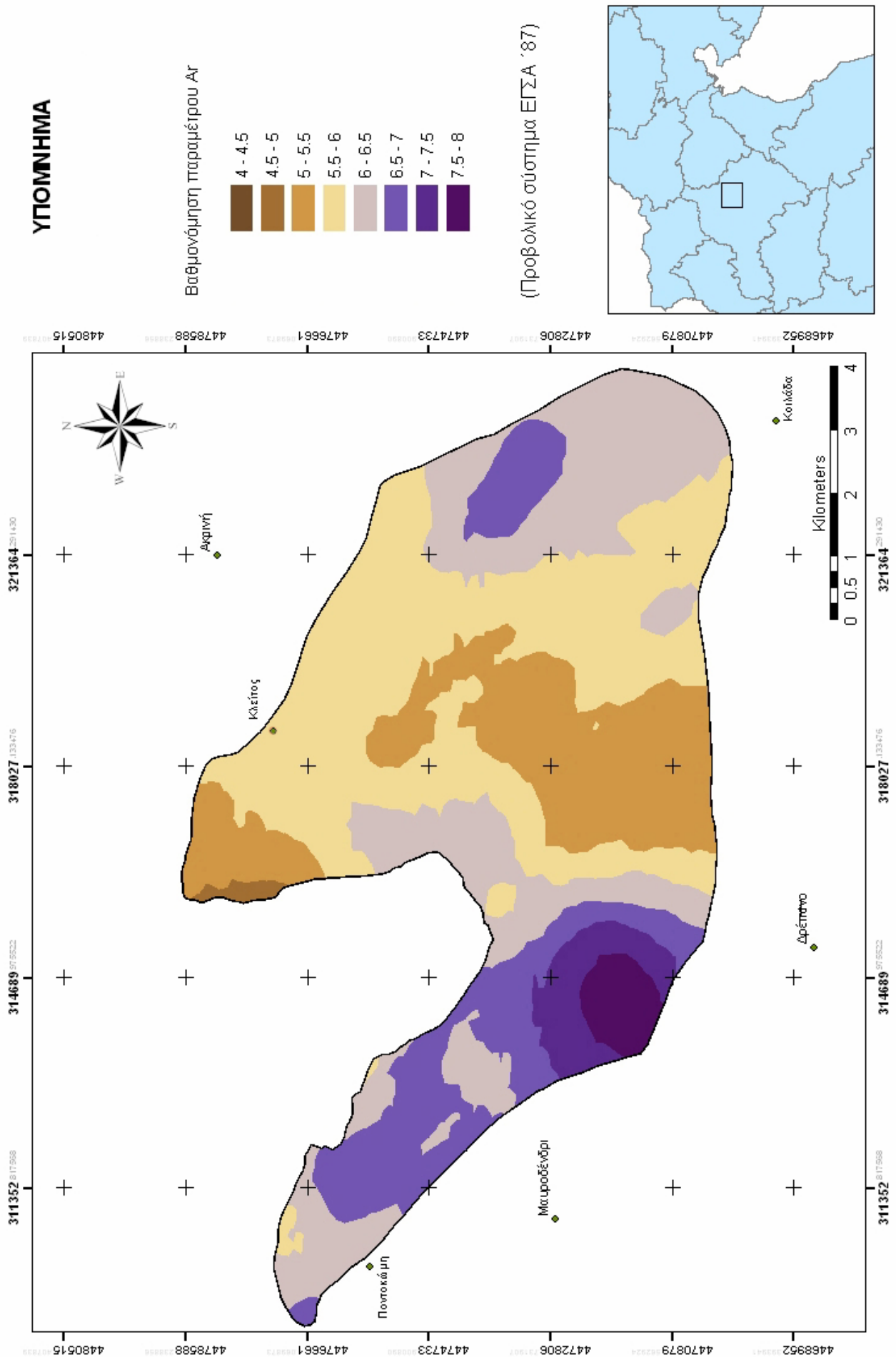
Ο χάρτης του Σχήματος 3.35 δίνει την κατανομή της παραμέτρου A_r . Στο συντελεστή βαρύτητας A_w δόθηκε η τιμή 3, που αποτελεί την πρότυπη τιμή που δίνει η μέθοδος DRASTIC.

Η τιμή που δόθηκε στην παράμετρο A_r , σε κάθε σημείο της έκτασης του υδροφορέα, προέκυψε από τη συνεκτίμηση των τριών εγγύτερων σημείων, για τα οποία υπήρχαν τιμές, επιλέγοντας τέσσερις τομείς, με διαφορά 45° , όπως υποδεικνύεται από το εργαλείο Geostatistical Wizard του προγράμματος Arc Map v. 8.3.

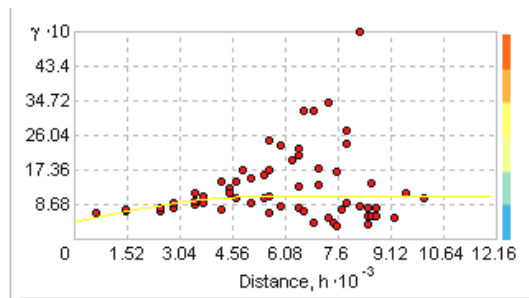
Πίνακας 3.6: Λιθολογικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θεματικού χάρτη της παραμέτρου του υλικού του υδροφορέα (Α), της μεθόδου DRASTIC.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	A _r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	A _r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	A _r
098/368	6	170/360	3	NPS 366 Α	4
100/392	6	170/376	5	ΠΝΠ 2Α	7
108/311	7	170/384	5	ΠΝΠ 15	7
109/356	6	170/392	5	ΠΝΠ 21	4
113/320	6	170/400	5	ΠΝΠ 22	6
116/347	6	174/364	7	ΠΝΠ 24	6
120/342	5	178/384	6	ΠΝΠ 25 ή Ν	6
122/296	5	182/352	5	ΠΝΠ 29	5
122/368	6	186/360	7	ΠΝΠ 30	4
122/376	6	186/376	5	ΣΧ-2	6
124/351	6	186/384	6	T6Δ-1	7
127/309	5	190/344	7	T6Δ-2	6
127/326	6	194/374	5	T6Δ-5	7
130/368	6	196/356	7	T6Δ-6	6
130/384	5	197	6	T6Δ-11	6
133/333	6	202/368	6	T6Δ-12	7
133/416	5	202/384	5	T6Δ-13	7
134/360	5	204/272	4	T6Δ-31	7
137/348	5	206/280	5	T6Δ-34	6
138/356	6	210/345	6	T6Δ-39	6
138/368	5	211/313	6	T6Δ-41	6
138/384	5	216/296	8	ΥΓΠ8/98	7
138/392	5	218/303	7	ΥΔ 3	8
139/300	6	222/288	6	ΥΚΖ 1	8
142/380	5	222/327	7	ΥΚΖ 4	8
143/361	5	224/360	7	ΥΝΠ 20/1	4
144/304	4	230/295	5	ΥΝΠ 32	4
146/350	5	238/296	8	ΑΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ Σ. (Ιδιωτική)	6
146/376	6	Δ 257	7	ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ	7
146/384	7	Δ 362	6	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	6
146/396	6	Δ 364	7	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ Ε. (Ιδιωτική)	7
150/340	6	Δ 392	6	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Π. (Ιδιωτική)	6
150/354	5	Δ 396	6	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτική)	6
154/360	6	Δ 398	5	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ (Ιδιωτική)	5
154/368	6	Δ 444	6	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ (Ιδιωτική)	7
154/384	5	Δ 448	7	ΜΕΝΤΕΣΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτική)	7
154/392	5	Δ 512	6	ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΟΥ (Ιδιωτική)	7
154/400	5	Δ 516	8	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Μ. (Ιδιωτική)	6
156/347	6	Δ 518	7	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Φ. (Ιδιωτική)	5
157/329	7	ΕΛ_1	7	ΠΑΥΛΙΔΗΣ Χ (Ιδιωτική)	6
161/391	5	ΕΛ_2	8	ΠΕΡΙΣΑΝΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτική)	6
162/344	6	ΕΛ_3	8	ΠΟΥΑΡΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτική)	5
162/360	6	ΚΟΙΛΩΝ	8	ΡΗΓΑ Γ. (Ιδιωτική)	5
162/368	5	NPS 38	5	ΣΑΚΑΛΗΣ ΟΜΑΔΙΚΗ (Ιδιωτική)	6
162/400	5	NPS 219	6	ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ Θ. (Ιδιωτική)	7
163/376	5	NPS 339	5	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτική)	5
166/340	6	NPS 344	7	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτική)	5
166/353	6	NPS 348	8	ΦΩΤΟΓΛΟΥ Α (Ιδιωτική)	6
166/372	6	NPS 351	6	ΧΑΤΖΗΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ Γ. (Ιδιωτική)	6
167/328	6	NPS 360	7		

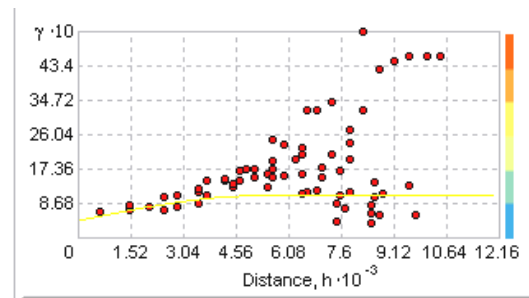
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Α_τ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ



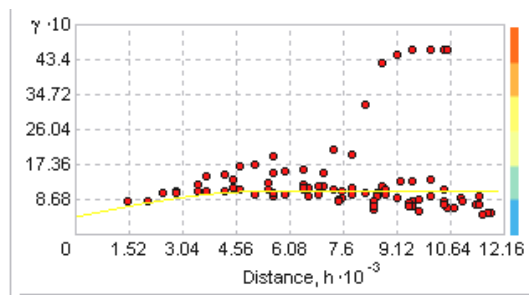
Σχήμα 3.35: Χάρτης κατανομής της βαθμολογίας (rating) της παραμέτρου του υλικού του υδροφόρου (Α), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαριγκιόλ.



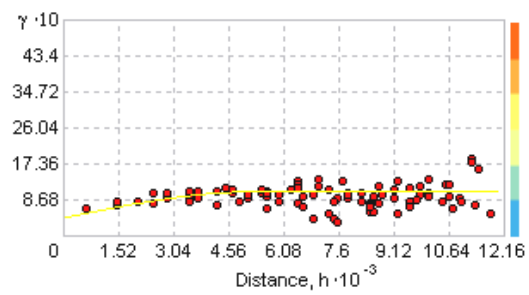
Σχήμα 3.36: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα Βόρεια.



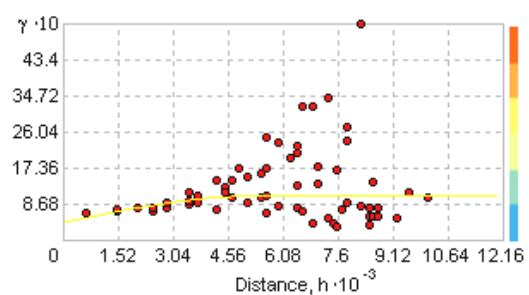
Σχήμα 3.37: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα ΒΑ.



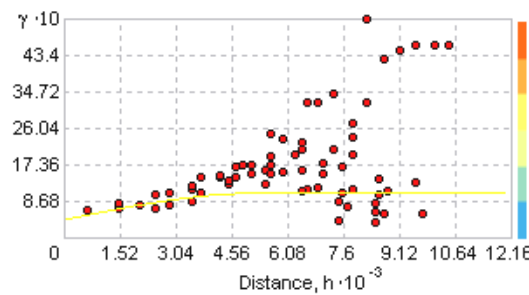
Σχήμα 3.38: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα Ανατολικά.



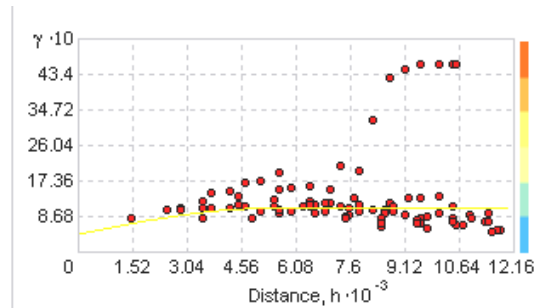
Σχήμα 3.39: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα ΝΑ.



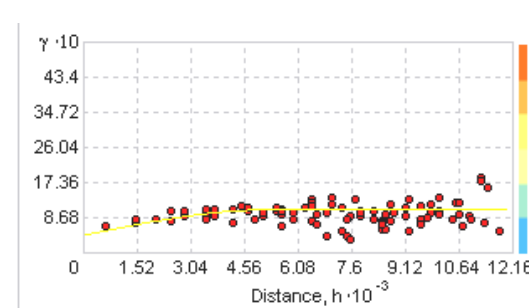
Σχήμα 3.40: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα Νότια.



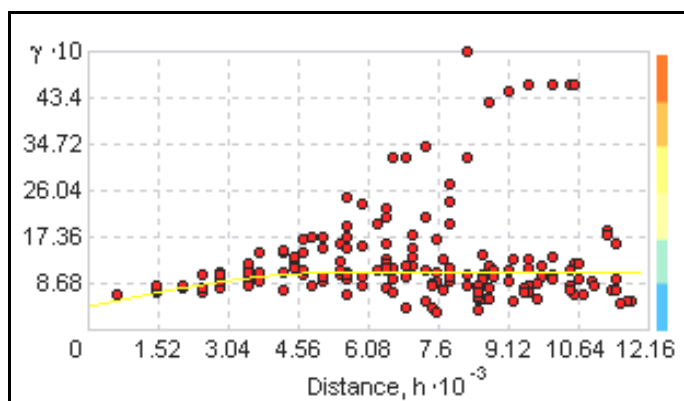
Σχήμα 3.41: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα ΝΔ.



Σχήμα 3.42: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα Δυτικά.



Σχήμα 3.43: Βαριόγραμμα κατανομής λιθολογικών γεωτρήσεων προς τα ΒΔ.



Σχήμα 3.44: Βαριόγραμμα κατανομής
λιθολογικών γεωτρήσεων, στο σύνολό τους.

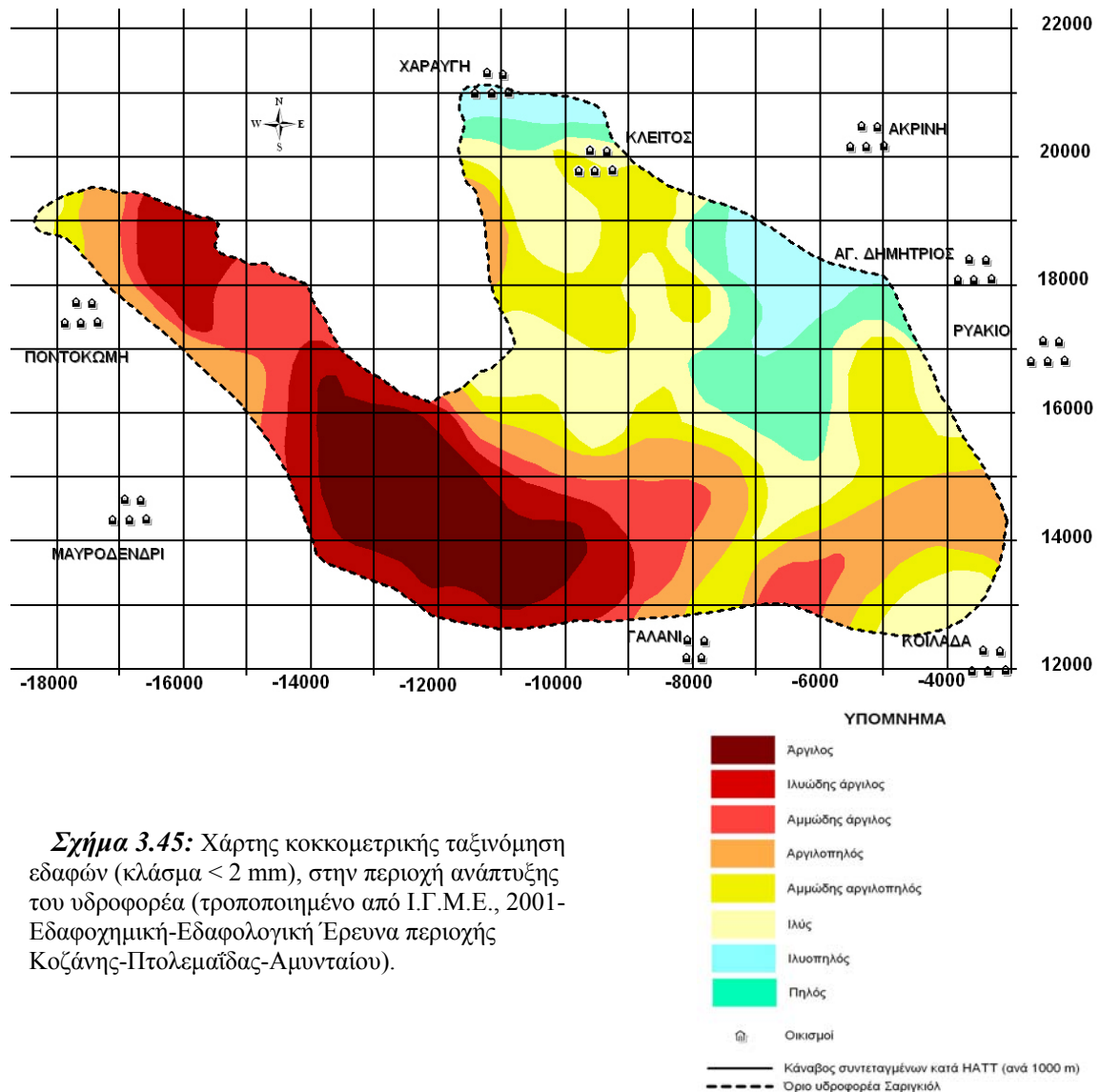
Από τα βαριογράμματα των παραπάνω Σχημάτων, διαπιστώνεται η πολύ καλή κατανομή των λιθολογικών γεωτρήσεων στα ΒΔ (270°-360°) και στα ΝΑ (90°-180°), ενώ στις λοιπές διευθύνσεις παρατηρούνται αρκετές αποκλίσεις, κάτι το οποίο δικαιολογείται από τη σχετικά ανομοιογενή κατανομή των λιθολογικών δεδομένων. Η κατανομή στο σύνολό της θεωρείται ικανοποιητική.

3.7.5 Εδαφικό υλικό (S)

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου S της μεθόδου DRASTIC, χρησιμοποιήθηκαν τα λιθολογικά δεδομένα των ίδιων γεωτρήσεων με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παραμέτρου A (βλ. Σχήμα 3.34). Για την κατάταξη της παραμέτρου S ελήφθησαν υπόψη τα στοιχεία κοκκομετρικής ταξινόμησης των εδαφών της περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα, έτσι όπως αυτά προέκυψαν από την «Εδαφοχημική-Εδαφολογική Έρευνα περιοχής Κοζάνης – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου» του Ι.Γ.Μ.Ε. (2001). Η δειγματοληψία των εδαφικών δειγμάτων έγινε με μια πυκνότητα δειγματοληψίας 5 δείγματα / km² και το βάθος της κυμαίνονταν από 0 - 30 cm. Ο τροποποιημένος χάρτης του Σχήματος 3.45 δίνει την κοκκομετρική ταξινόμηση στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα. Σημειώνεται ότι η ταξινόμηση αυτή αφορά το κλάσμα του κάθε δείγματος με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 2 mm. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όλα τα εδαφικά δείγματα περιείχαν τεμάχια μεγαλύτερα από 2 mm (π.χ. χαλίκια).

Στις γεωτρήσεις στις οποίες το εδαφικό κάλυμμα ήταν 0-30 cm, θεωρήθηκε ότι ανήκει στην κατηγορία του πολύ λεπτού ή απόντος εδαφικού καλύμματος και βαθμονομήθηκε με την τιμή 10. Οι γεωτρήσεις οι οποίες περιέγραφαν μεγαλύτερου από 30 cm πάχους εδαφικό κάλυμμα, βαθμονομήθηκαν βάσει της κατάταξής τους, όπως αυτή

προέκυψε από το χάρτη του σχήματος 3.45. Έτσι προέκυψε ο Πίνακας 3.7 που καθορίζει τη βαθμονόμηση της παραμέτρου S_r , για κάθε χρησιμοποιηθείσα γεώτρηση.

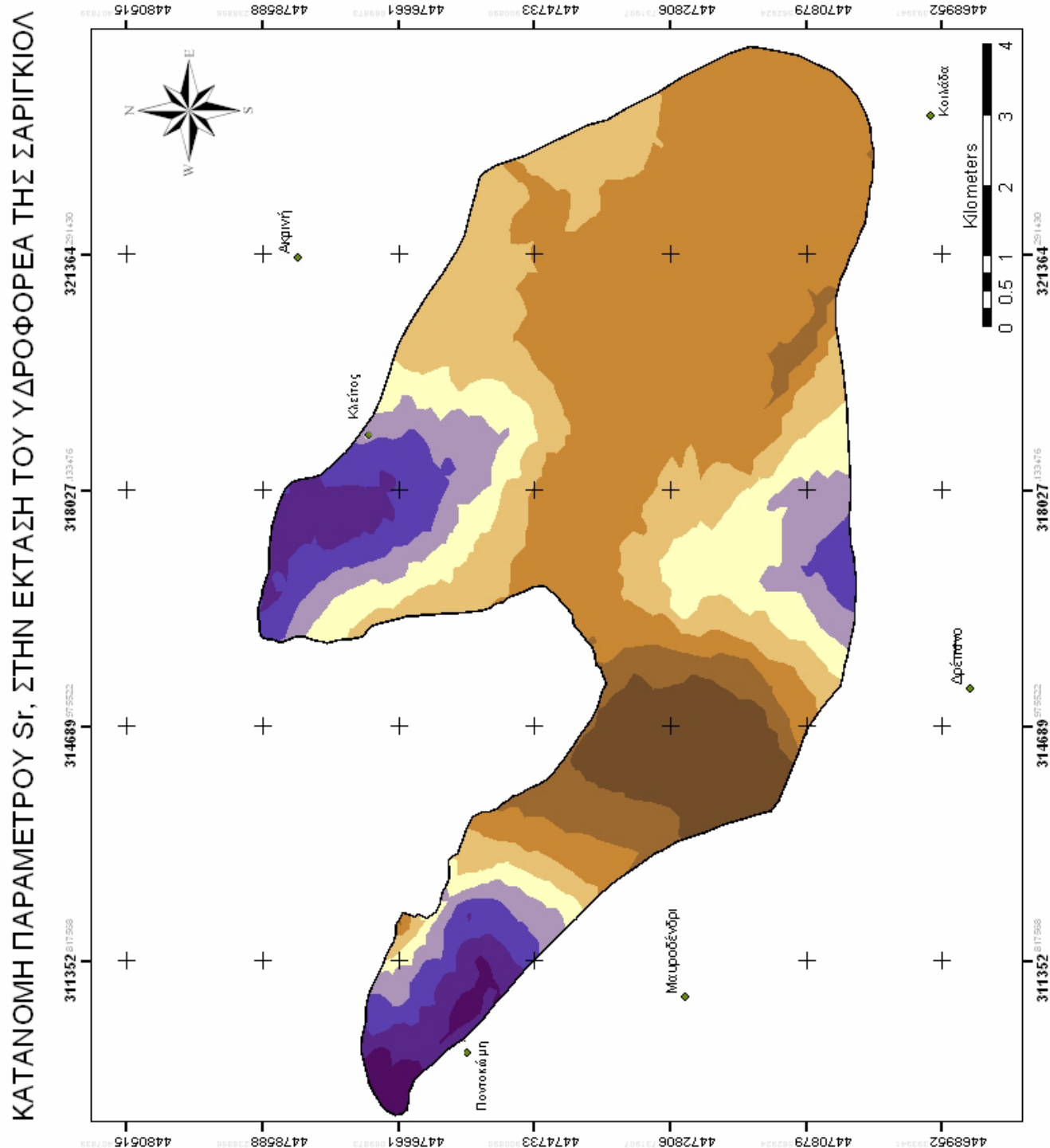


Σχήμα 3.45: Χάρτης κοκκομετρικής ταξινόμηση εδαφών (κλάσμα < 2 mm), στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα (τροποποιημένο από Ι.Γ.Μ.Ε., 2001-Εδαφοχημική-Εδαφολογική Έρευνα περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου).

Με την εφαρμογή της μεθόδου kriging στην παράμετρο S_r του Πίνακα 3.7, προέκυψε ο χάρτης του Σχήματος 3.46, που απεικονίζει την κατανομή της παραμέτρου S_r στην περιοχή έκτασης του υδροφορέα. Η τιμή που δόθηκε στο συντελεστή βαρύτητας S_w είναι η πρότυπη τιμή που δίνει η μέθοδος DRASTIC και ισούται με $S_w = 2$. Η τιμή που δόθηκε στην παράμετρο S_r , σε κάθε σημείο της έκτασης του υδροφορέα, προέκυψε από την συνεκτίμηση των τριών εγγύτερων σημείων, για τα οποία υπήρχαν τιμές, επιλέγοντας τέσσερις τομείς, με διαφορά 45° , όπως υποδεικνύεται από το εργαλείο Geostatistical Wizard του προγράμματος Arc Map v. 8.3.

Πίνακας 3.7: Βαθμονόμηση της παραμέτρου του εδαφικού καλύμματος (S), της μεθόδου DRASTIC, για κάθε χρησιμοποιηθείσα γεώτρηση.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Εδαφικό κάλυμμα	S _r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Εδαφικό κάλυμμα	S _r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Εδαφικό κάλυμμα	S _r
098/368	Πηλός	5	170/360	Ιλύς	3	NPS 366 A	Αργιλοπηλός	3
100/392	Πηλός	5	170/376	Ιλύς	3	ΠΝΠ 2A	Αμμώδης άργιλος	3
108/311	Πηλός	5	170/384	Ιλύς	3	ΠΝΠ 15	Άργιλος	1
109/356	Ιλυοπηλός	4	170/392	Αργιλοπηλός	3	ΠΝΠ 21	Απόν	10
113/320	Ιλύς	3	170/400	Αργιλοπηλός	3	ΠΝΠ 22	Απόν	10
116/347	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	174/364	Ιλύς	3	ΠΝΠ 24	Απόν	10
120/342	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	178/384	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΠΝΠ 25 ή N	Ιλύς	3
122/296	Πηλός	5	182/352	Ιλύς	3	ΠΝΠ 29	Απόν	10
122/368	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	186/360	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΠΝΠ 30	Απόν	10
122/376	Ιλύς	3	186/376	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΣΧ-2	Πηλός	5
124/351	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	186/384	Αργιλοπηλός	3	T6Δ-1	Ιλυώδης άργιλος	2
127/309	Ιλύς	3	190/344	Ιλύς	3	T6Δ-2	Ιλυώδης άργιλος	2
127/326	Ιλύς	3	194/374	Αργιλοπηλός	3	T6Δ-5	Ιλυώδης άργιλος	2
130/368	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	196/356	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	T6Δ-6	Ιλυώδης άργιλος	2
130/384	Ιλύς	3	197	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	T6Δ-11	Ιλυώδης άργιλος	2
133/333	Ιλύς	3	202/368	Αμμώδης άργιλος	3	T6Δ-12	Αμμώδης άργιλος	3
133/416	Ιλυοπηλός	4	202/384	Ιλυώδης άργιλος	2	T6Δ-13	Ιλυώδης άργιλος	2
134/360	Ιλύς	3	204/272	Αμμώδης άργιλος	3	T6Δ-31	Ιλυώδης άργιλος	2
137/348	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	206/280	Αμμώδης άργιλος	3	T6Δ-34	Ιλυώδης άργιλος	2
138/356	Ιλύς	3	210/345	Ιλυώδης άργιλος	2	T6Δ-39	Αμμώδης άργιλος	3
138/368	Ιλύς	3	211/313	Ιλυώδης άργιλος	2	T6Δ-41	Αργιλοπηλός	3
138/384	Ιλυοπηλός	4	216/296	Αμμώδης άργιλος	3	ΥΓΠ8/98	Ιλύς	3
138/392	Ιλυοπηλός	4	218/303	Ιλυώδης άργιλος	2	ΥΔ 3	Άργιλος	1
139/300	Ιλύς	3	222/288	Αμμώδης άργιλος	3	ΥΚΖ 1	Άργιλος	1
142/380	Ιλύς	3	222/327	Άργιλος	1	ΥΚΖ 4	Άργιλος	1
143/361	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	224/360	Άργιλος	1	ΥΝΠ 20/1	Αργιλοπηλός	3
144/304	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	230/295	Αμμώδης άργιλος	3	ΥΝΠ 32	Απόν	10
146/350	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	238/296	Αμμώδης άργιλος	3	ΑΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ Σ. (Ιδιωτ.)	Αργιλοπηλός	3
146/376	Ιλύς	3	Δ 257	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ	Αμμώδης αργιλοπηλός	5
146/384	Ιλύς	3	Δ 362	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	Αργιλοπηλός	3
146/396	Ιλυοπηλός	4	Δ 364	Αργιλοπηλός	3	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ Ε. (Ιδιωτ.)	Ιλυοπηλός	4
150/340	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	Δ 392	Αργιλοπηλός	3	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Π. (Ιδιωτ.)	Αμμώδης άργιλος	3
150/354	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	Δ 396	Αμμώδης άργιλος	3	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτ.)	Αμμώδης άργιλος	3
154/360	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	Δ 398	Ιλυώδης άργιλος	2	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	Πηλός	5
154/368	Ιλύς	3	Δ 444	Αργιλοπηλός	3	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	Αμμώδης αργιλοπηλός	5
154/384	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	Δ 448	Ιλυώδης άργιλος	2	ΜΕΝΤΕΣΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	Ιλυοπηλός	4
154/392	Ιλύς	3	Δ 512	Αργιλοπηλός	3	ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	Ιλύς	3
154/400	Ιλύς	3	Δ 516	Ιλυώδης άργιλος	2	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Μ. (Ιδιωτ.)	Ιλυοπηλός	4
156/347	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	Δ 518	Ιλυώδης άργιλος	2	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Φ. (Ιδιωτ.)	Ιλυοπηλός	4
157/329	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΕΛ_1	Άργιλος	1	ΠΑΥΛΙΔΗΣ Χ (Ιδιωτ.)	Ιλυοπηλός	4
161/391	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΕΛ_2	Άργιλος	1	ΠΕΡΙΣΑΝΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	Ιλύς	3
162/344	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	ΕΛ_3	Αμμώδης άργιλος	3	ΠΟΥΑΡΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτ.)	Πηλός	5
162/360	Ιλύς	3	ΚΟΙΛΩΝ	Άργιλος	1	ΡΗΓΑ Γ. (Ιδιωτ.)	Αργιλοπηλός	3
162/368	Ιλύς	3	NPS 38	Ιλύς	3	ΣΑΚΑΛΗΣ ΟΜΑΔΙΚΗ (Ιδιωτ.)	Ιλύς	3
162/400	Αργιλοπηλός	3	NPS 219	Ιλύς	3	ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ Θ. (Ιδιωτ.)	Ιλύς	3
163/376	Ιλύς	3	NPS 339	Ιλυώδης άργιλος	2	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	Ιλυώδης άργιλος	2
166/340	Ιλύς	3	NPS 344	Ιλυώδης άργιλος	2	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	Άργιλος	1
166/353	Ιλύς	3	NPS 348	Ιλυώδης άργιλος	2	ΦΩΤΟΓΛΟΥ Α. (Ιδιωτ.)	Ιλυώδης άργιλος	2
166/372	Ιλύς	3	NPS 351	Ιλυώδης άργιλος	2	ΧΑΤΖΗΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ Γ. (Ιδιωτ.)	Αργιλοπηλός	3
167/328	Αμμώδης αργιλοπηλός	5	NPS 360	Ιλύς	3			

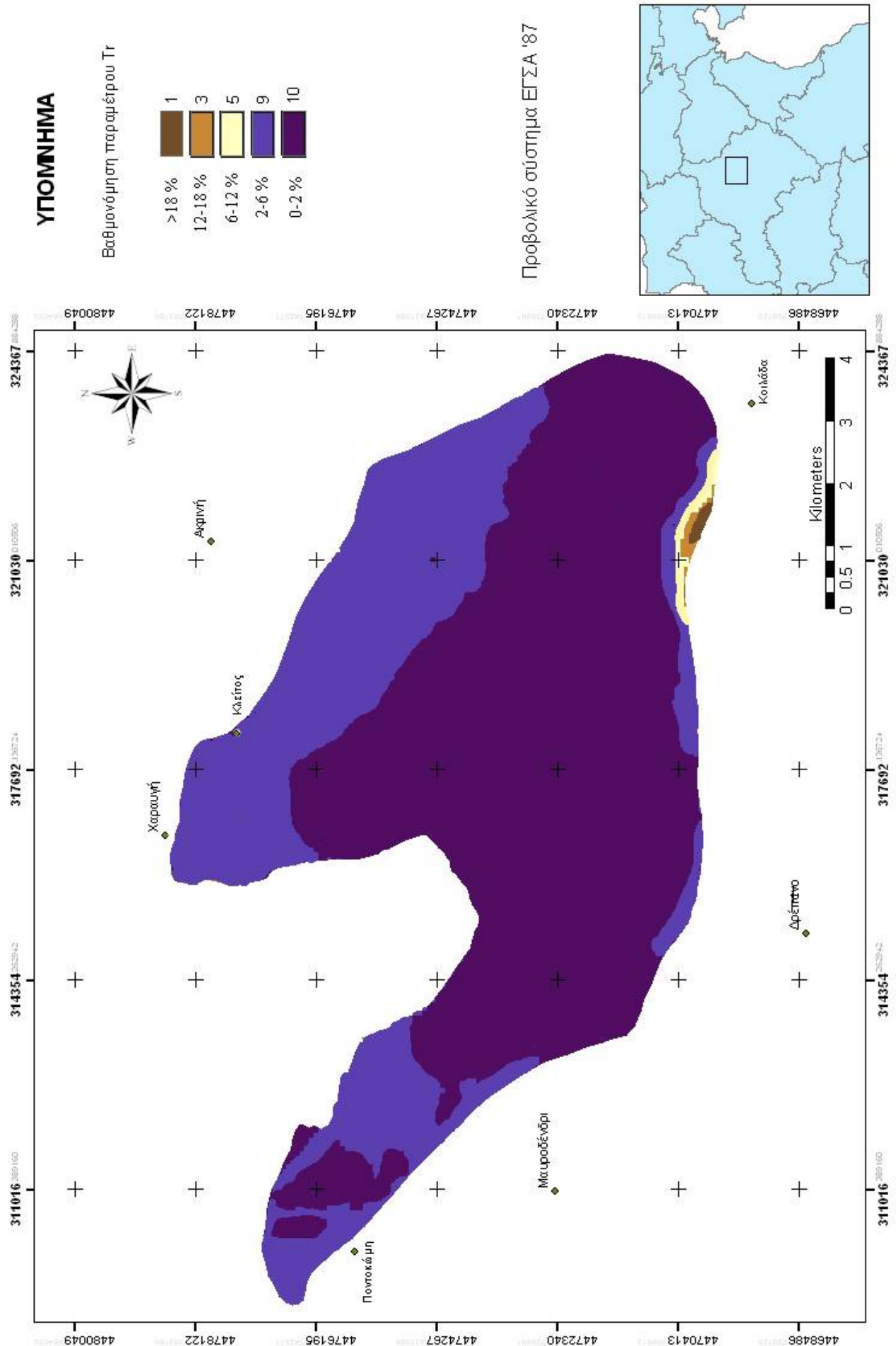


Σχήμα 3.46: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης (rating) της παραμέτρου του εδαφικού υλικού (S), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαριγκίου.

3.7.6 Κλίση αναγλύφου (T)

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου T , χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (D.E.M.) της αποστολή SRTM της NASA. Από το εργαλείο Spatial Analyst του προγράμματος Arc Map v. 8.3, με τη χρήση της εντολής Surface Analysis → Slope, προέκυψαν οι τιμές των μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή ανάπτυξης του υδροφορέα, έτσι όπως δίνονται στο χάρτη του Σχήματος 3.47. Παρατηρείται πως το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης που καλύπτει ο εξεταζόμενος υδροφορέας, έχει κλίσεις μικρότερες του 2%. Η βαθμονόμηση του παράγοντα T_r έγινε σύμφωνα με τις τιμές που προτείνονται από τη μέθοδο DRASTIC, έτσι όπως αυτές δίνονται στον Πίνακα 2.22 (βλ. σ. 44). Η τιμή που δόθηκε στο συντελεστή βαρύτητας T_w , είναι η πρότυπη τιμή που δίνει η μέθοδος DRASTIC και ισούται με $T_w = 1$.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Tr, ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ



Σχήμα 3.47: Χάρτης κατανομής της βαθμολόγησης (rating) της παραμέτρου της κλίσης του αναγλύφου (T), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαριγκιόλ.

3.7.7 Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου I , χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των λιθολογικών γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν και για τον υπολογισμό των παραμέτρων A και S .

Στον Πίνακα 3.8 δίνεται η παραμετροποίηση του υλικού της ακόρεστης ζώνης για κάθε λιθολογική γεώτρηση που χρησιμοποιήθηκε. Ως υλικά της ακόρεστης ζώνης θεωρήθηκαν τα στρώματα που εντοπίζονται πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, έτσι όπως αυτή προέκυψε για τον υδροφορέα, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.5. Η διαδικασία επιλογής του υλικού της ακόρεστης ζώνης για κάθε γεώτρηση είναι η ίδια με αυτή που προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.7.4, για την επιλογή του υλικού του υδροφορέα

Στο Σχήμα 3.48 δίνεται η κατανομή της παραμέτρου I_r για την έκταση που καταλαμβάνει ο υπό εξέταση υδροφορέας, η οποία προέκυψε με την εφαρμογή της μεθόδου kriging, στην παράμετρο S_r του Πίνακα 3.8. Στο συντελεστή βαρύτητας I_w δόθηκε η τιμή 5, που αποτελεί την πρότυπη τιμή που δίνει η μέθοδος DRASTIC.

Η τιμή που δόθηκε στην παράμετρο I_r , σε κάθε σημείο της έκτασης του υδροφορέα, προέκυψε από την συνεκτίμηση των τριών εγγύτερων σημείων, για τα οποία υπήρχαν τιμές, επιλέγοντας τέσσερις τομείς, με διαφορά 45° , όπως υποδεικνύεται από το εργαλείο Geostatistical Wizard του προγράμματος Arc Map v. 8.3.

Πίνακας 3.8: Βαθμονόμηση της παραμέτρου της επίδρασης της ακόρεστης ζώνης (I), της μεθόδου DRASTIC, για κάθε χρησιμοποιηθείσα γεώτρηση.

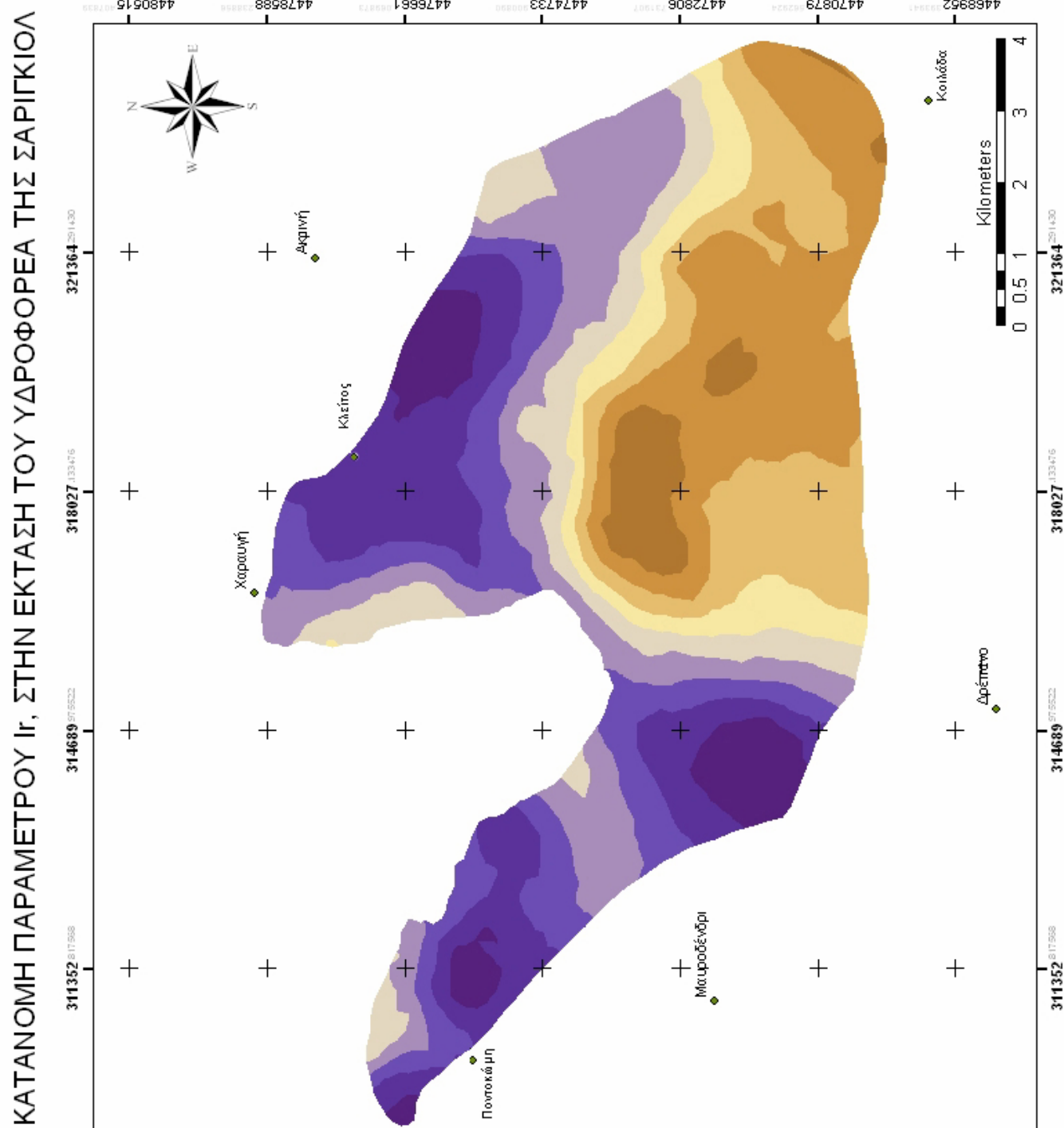
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	I_r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	I_r	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	I_r
098/368	8	170/360	4	NPS 366 A	7
100/392	8	170/376	3	ΠΙΝΠ 2Α	86
108/311	7	170/384	3	ΠΙΝΠ 15	7
109/356	7	170/392	3	ΠΙΝΠ 21	6
113/320	6	170/400	4	ΠΙΝΠ 22	6
116/347	7	174/364	2	ΠΙΝΠ 24	7
120/342	7	178/384	3	ΠΙΝΠ 25 ή Ν	4
122/296	6	182/352	3	ΠΙΝΠ 29	4
122/368	7	186/360	4	ΠΙΝΠ 30	4
122/376	7	186/376	3	ΣΧ-2	6
124/351	7	186/384	5	T6Δ-1	6
127/309	8	190/344	6	T6Δ-2	6
127/326	8	194/374	2	T6Δ-5	5
130/368	6	196/356	4	T6Δ-6	5
130/384	5	197	4	T6Δ-11	5
133/333	7	202/368	3	T6Δ-12	7
133/416	6	202/384	5	T6Δ-13	6
134/360	6	204/272	6	T6Δ-31	8
137/348	5	206/280	6	T6Δ-34	8
138/356	7	210/345	5	T6Δ-39	4
138/368	3	211/313	4	T6Δ-41	5
138/384	5	216/296	6	ΥΓΠ8/98	7
138/392	5	218/303	6	ΥΔ 3	5
139/300	6	222/288	7	ΥΚΖ 1	8
142/380	7	222/327	6	ΥΚΖ 4	8
143/361	6	224/360	6	ΥΝΠ 20/1	5
144/304	5	230/295	6	ΥΝΠ 32	6
146/350	7	238/296	5	ΑΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ Σ. (Ιδιωτ.)	5
146/376	6	Δ 257	8	ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ	7
146/384	3	Δ 362	7	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	3
146/396	6	Δ 364	7	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ Ε. (Ιδιωτ.)	6
150/340	6	Δ 392	7	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Π. (Ιδιωτ.)	6
150/354	5	Δ 396	6	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτ.)	6
154/360	6	Δ 398	5	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	5
154/368	6	Δ 444	6	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	5
154/384	3	Δ 448	7	ΜΕΝΤΕΣΙΔΗΣ Α. (Ιδιωτ.)	6
154/392	3	Δ 512	6	ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	5
154/400	3	Δ 516	8	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Μ. (Ιδιωτ.)	3
156/347	5	Δ 518	7	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ Φ. (Ιδιωτ.)	3
157/329	8	ΕΛ_1	7	ΠΑΥΛΙΔΗΣ Χ (Ιδιωτ.)	4
161/391	3	ΕΛ_2	7	ΠΕΡΙΣΑΝΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	6
162/344	6	ΕΛ_3	7	ΠΟΥΑΡΙΔΗΣ Χ. (Ιδιωτ.)	4
162/360	6	ΚΟΙΛΩΝ	7	ΡΗΓΑ Γ. (Ιδιωτ.)	3
162/368	4	NPS 38	4	ΣΑΚΑΛΗΣ ΟΜΑΔΙΚΗ (Ιδιωτ.)	3
162/400	4	NPS 219	8	ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ Θ. (Ιδιωτ.)	7
163/376	3	NPS 339	5	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	4
166/340	7	NPS 344	5	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ Δ. (Ιδιωτ.)	4
166/353	5	NPS 348	7	ΦΩΤΟΓΛΟΥ Α. (Ιδιωτ.)	6
166/372	4	NPS 351	7	ΧΑΤΖΗΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ Γ. (Ιδιωτ.)	3
167/328	5	NPS 360	7		

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Βαθμονόμηση παραμέτρου Ir



(Προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87)



Σχήμα 3.48: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης (rating) της επίδρασης της ακόρεστης ζώνης (I), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαργικιάς.

3.7.8 Υδραυλική αγωγιμότητα (C)

Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές (π.χ. Al-Adamat et al., 2003, Panagopoulos et al., 2005), στις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υπάρχουν δεδομένα για όλη την έκταση του υδροφορέα ή αν υπάρχουν, θεωρούνται επισφαλής, μπορεί να παραληφθεί η παράμετρος αυτή στον υπολογισμό της τρωτότητας.

Η υδραυλική αγωγιμότητα (k) δε συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς της τρωτότητας, λόγω ανεπαρκών δεδομένων. Για την έκταση που καλύπτει ο υδροφορέας, συλλέχθηκαν 4 τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας (Σαχανίδης Χ., γεωλόγος Δ.Ε.Η., προσωπική επικοινωνία), ενώ υπήρχαν διαθέσιμες και 5 τιμές μεταβιβαστικότητα (T), από τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων που διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΕΛΙΜΕΙΑ» (επιστημονικώς υπεύθυνος, κ. Κουμαντάκης). Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας προέκυψαν από τη σχέση: $T = k \cdot D$, όπου D είναι το πάχος του υδροφόρου στρώματος, το οποίο προκύπτει από τη λιθοστρωματογραφική στήλη της κάθε γεώτρησης, στην οποία προσδιορίζεται το πάχος των στρωμάτων που μπορούν να φιλοξενήσουν υδροφορία και από τη στάθμη ηρεμίας του υπόγειου νερού της κάθε γεώτρησης, πριν αρχίσει η δοκιμαστική άντληση.

Ο αριθμός των εννέα συνολικά γεωτρήσεων, αφενός είναι απαγορευτικός για την εφαρμογή της μεθόδου kriging και αφετέρου η κατανομή των γεωτρήσεων δεν καλύπτει επαρκώς την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας. Συνεπώς, δεν υπάρχει μια αξιόπιστη εικόνα της κατανομής του k, στην έκταση του υδροφορέα και για το λόγο αυτό, κρίθηκε επισφαλής η χρήση της παραμέτρου της υδραυλικής αγωγιμότητας, στον υπολογισμό της τρωτότητας.

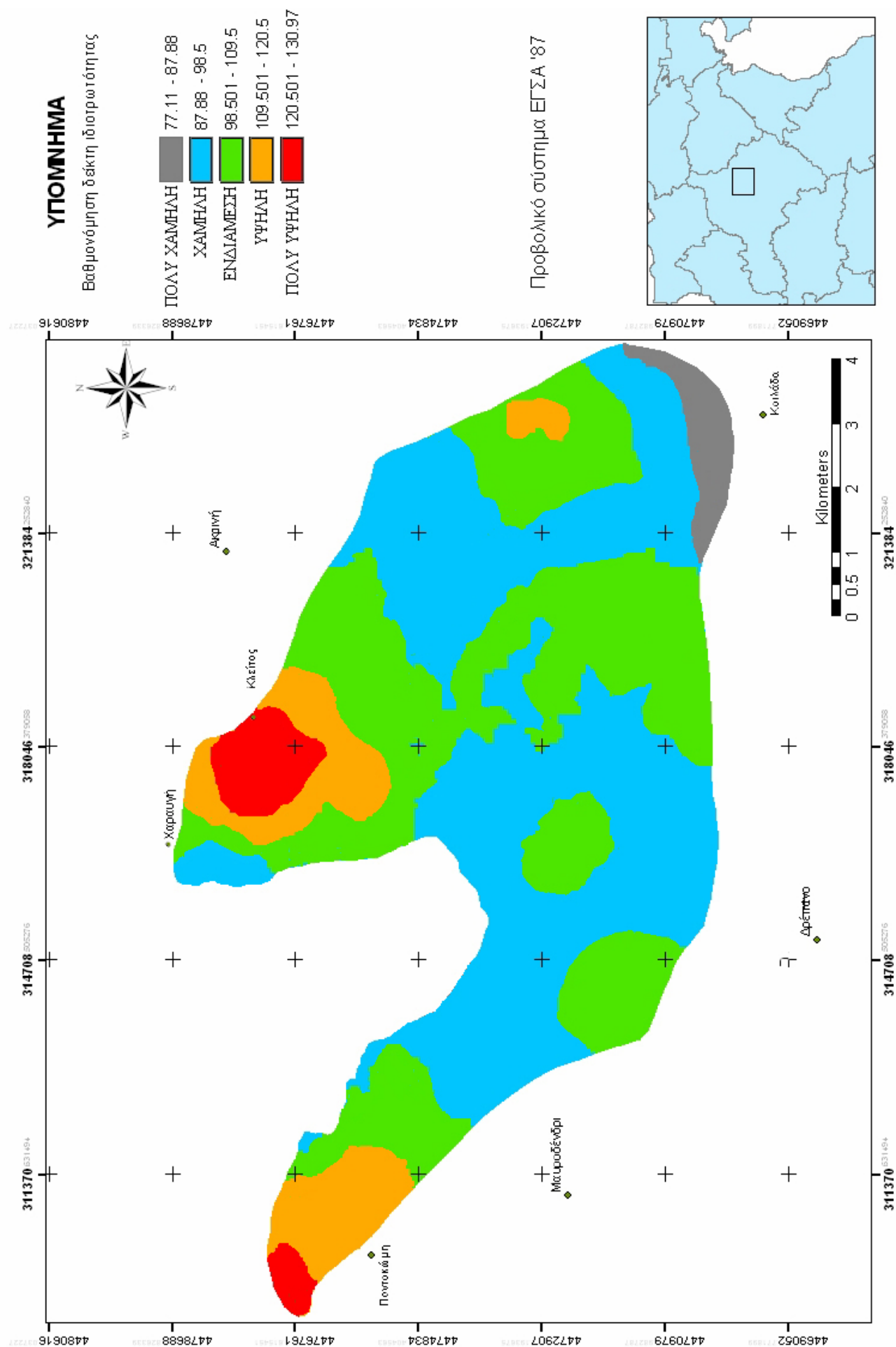
Στο Χάρτη Π.3 του Παραρτήματος, δίνονται οι 9 γεωτρήσεις για τις οποίες υπήρχαν στοιχεία, σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας.

3.7.9 Τελικός δείκτης τρωτότητας DRASTIC (DRASTIC Index)

Από τη σύνθεση όλων των χαρτών που απεικονίζουν τα γινόμενα κάθε παραμέτρου, επί τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας, προκύπτει ο τελικός δείκτης τρωτότητας DRASTIC (DI), σύμφωνα με τη σχέση:

$$\begin{aligned} DRASTIC\ Index &= D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w \Rightarrow \\ DRASTIC\ Index &= D_r \times 5 + R_r \times 4 + A_r \times 3 + S_r \times 2 + T_r \times 1 + I_r \times 3 \end{aligned}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΔΙΟΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ DRASTIC (DI), ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ



Σχήμα 3.49: Χάρτης κατανομής του δείκτη ιδιотρωτότητας DRASTIC (DI), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρας της Σαριγκιόλ.

Ο χάρτης του Σχήματος 3.49, αποτελεί τον τελικό χάρτη ιδιοτροπότητας για τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, ο οποίος προέκυψε από την ψηφιακή σύνθεση των επί μέρους χαρτών στο πρόγραμμα Arc Map v. 8.3, με τη χρήση της εντολής Raster Calculator. Επειδή στους υπολογισμούς δε συμπεριλήφθηκε η παράμετρος της υδραυλικής αγωγιμότητας (C), η κατηγοριοποίηση της τρωτότητας βασίστηκε στην ισοκατανομή των επί μέρους κατηγοριών, θεωρώντας ως οριακή τιμή για την κατηγορία της πολύ χαμηλής τρωτότητας την τιμή 81,67 ενώ το όριο για την πολύ υψηλή τρωτότητα είναι η τιμή 131,7. Όσο μεγαλύτερη είναι η τελική βαθμολογία, τόσο μεγαλύτερη είναι η τρωτότητα του υδροφορέα στη ρύπανση, από επιφανειακά επιβαλλόμενες διάχυτες πηγές ρύπανσης.

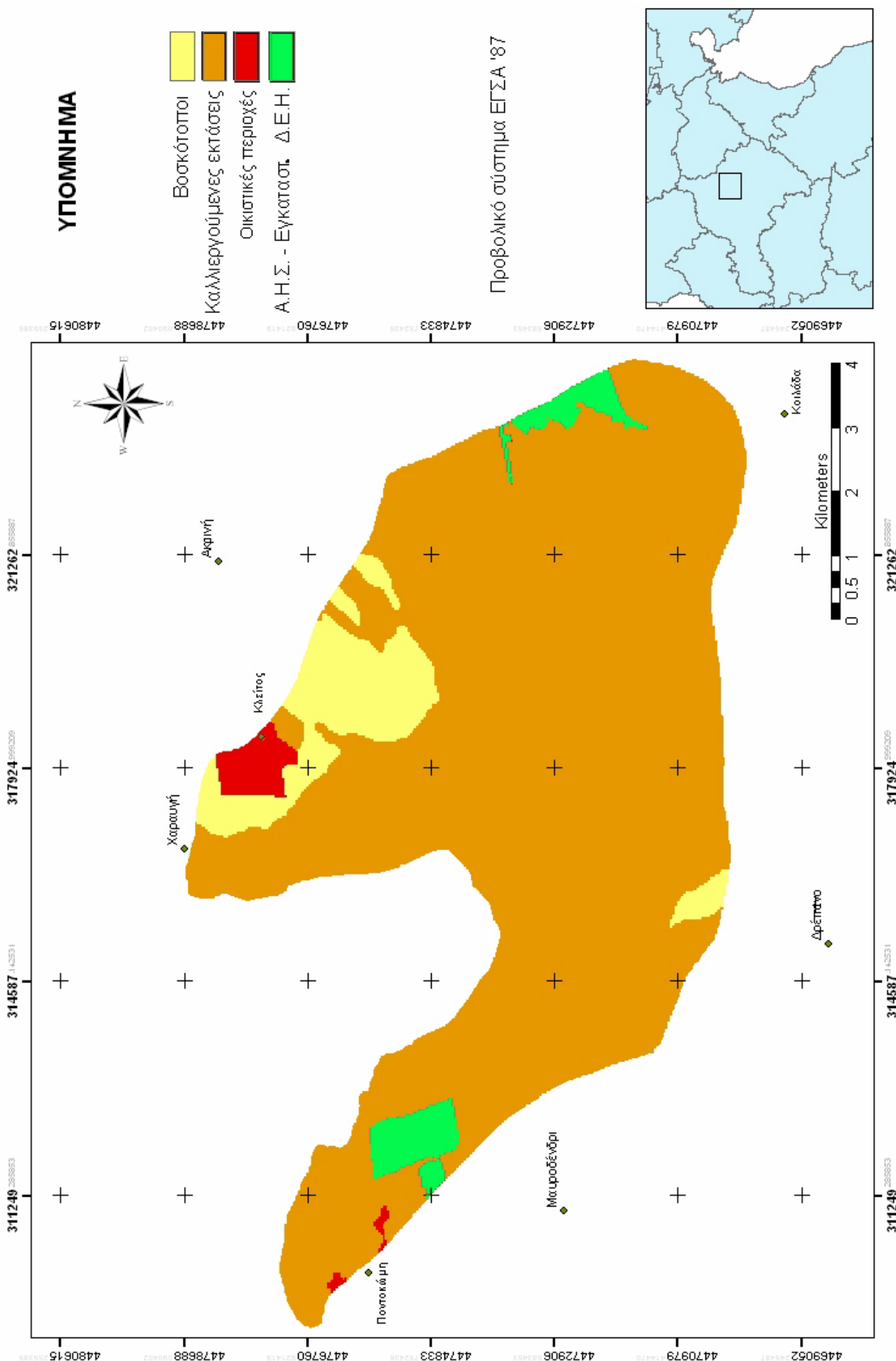
3.7.10 Τροποποιημένη μέθοδος DRASTIC (Modified DRASTIC)

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια διαφορετική προσέγγιση της μεθόδου, συμπεριλαμβάνοντας στον υπολογισμό της τρωτότητας και τις χρήσεις γης στην περιοχή που καταλαμβάνει ο υδροφορέας, όπως προτείνεται από πολλούς μελετητές (Βουδούρης & Μανδηλαράς, 2004, Al-Adamat et al., 2003).

Ο χάρτης του Σχήματος 3.50 δίνει την κατανομή των χρήσεων γης στην έκταση του υδροφορέα, όπως αυτή προκύπτει από το χάρτη χρήσεων γης της ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., ενώ ο χάρτης του Σχήματος 3.51 δίνει τη βαθμονόμηση των επί μέρους χρήσεων, η οποία έγινε κατά Secunda et al. (1998), σύμφωνα με τον Πίνακα 2.28 (σ. 47). Στις περιοχές που καλύπτονται από τμήμα των οικισμών Ποντοκόμης και Κλείτου, δόθηκε η τιμή 8 στο συντελεστή βαρύτητας (L_w). Σημειώνεται ότι στην Ποντοκόμη, λειτουργούν αποχετευτικοί βόθροι. Ο τελικός τροποποιημένος δείκτης τρωτότητας (MDI), δίνεται από τη σχέση: $MDI = DI + L_r \times L_w$.

Ο χάρτης τρωτότητας που προκύπτει από την πιο πάνω σχέση δίνεται στο Σχήμα 3.52 και απεικονίζει, σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές (π.χ. Secunda et al., 1998, Al-Adamat et al., 2003) τον κίνδυνο προς ρύπανση (Pollution Risk) του συγκεκριμένου υδροφορέα από επιφανειακά επιβαλλόμενα, διάχυτα ρυπαντικά φορτία. Στην ουσία συνδυάζεται η τρωτότητα στη ρύπανση του υδροφορέα, αντιμετωπιζόμενος ως φυσικό σύστημα, σε σχέση με τις επί μέρους ανθρώπινες παρεμβάσεις. Οι περιοχές με υψηλό κίνδυνο ρύπανσης συνδυάζουν περιοχές με υψηλή τρωτότητα του υδροφορέα, στις οποίες επικρατούν δυσμενείς, για την ποιότητα του υπόγειου νερού, ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η κατηγοριοποίηση της τρωτότητας, βασίστηκε στην ισοκατανομή των επί μέρους κατηγοριών.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ, ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ



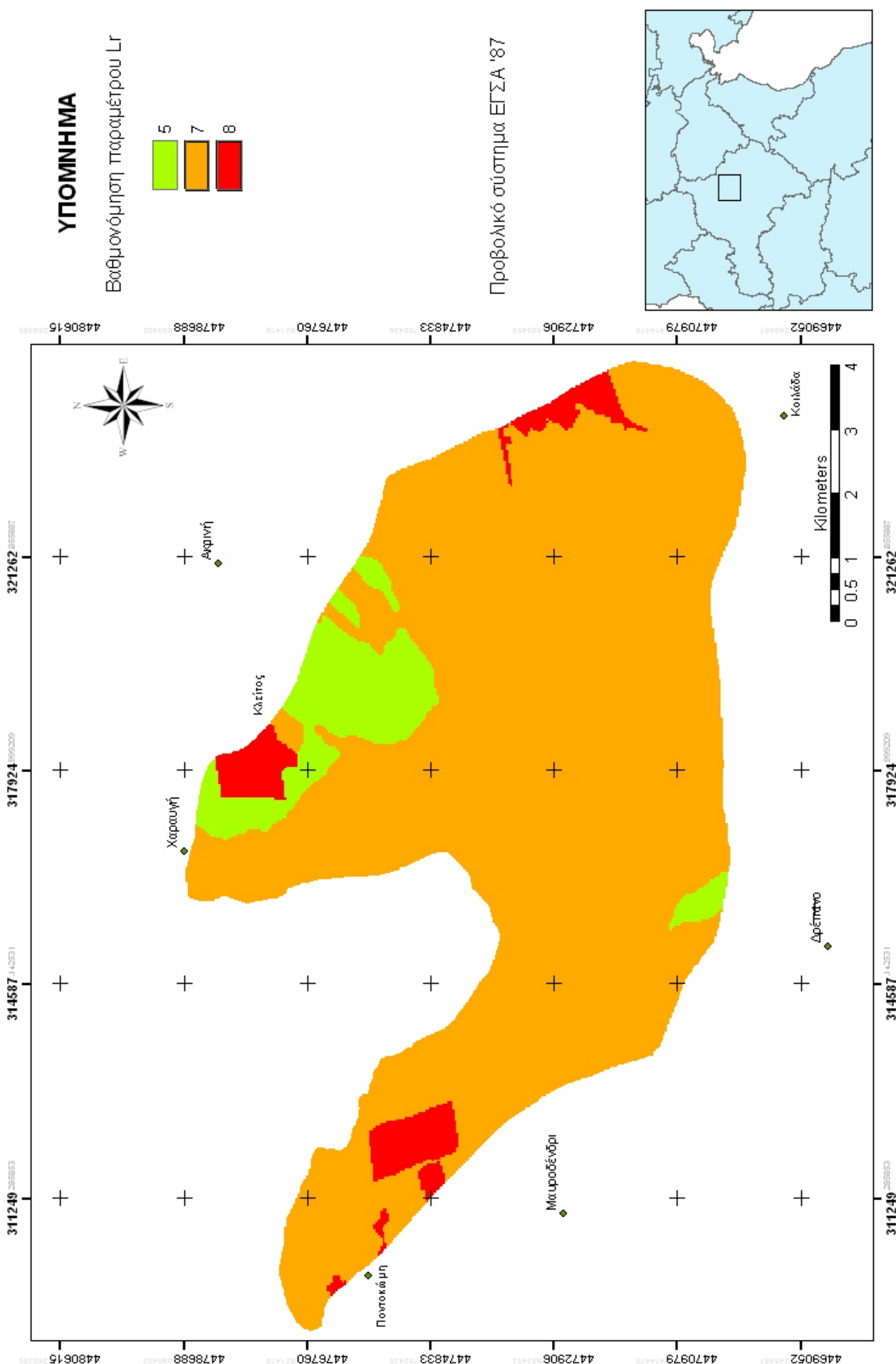
Προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Βοσκότοποι
- Καλλιεργούμενες εκτάσεις
- Οικιστικές περιοχές
- Α.Η.Σ. - Εγκαταστ. Δ.Ε.Η.

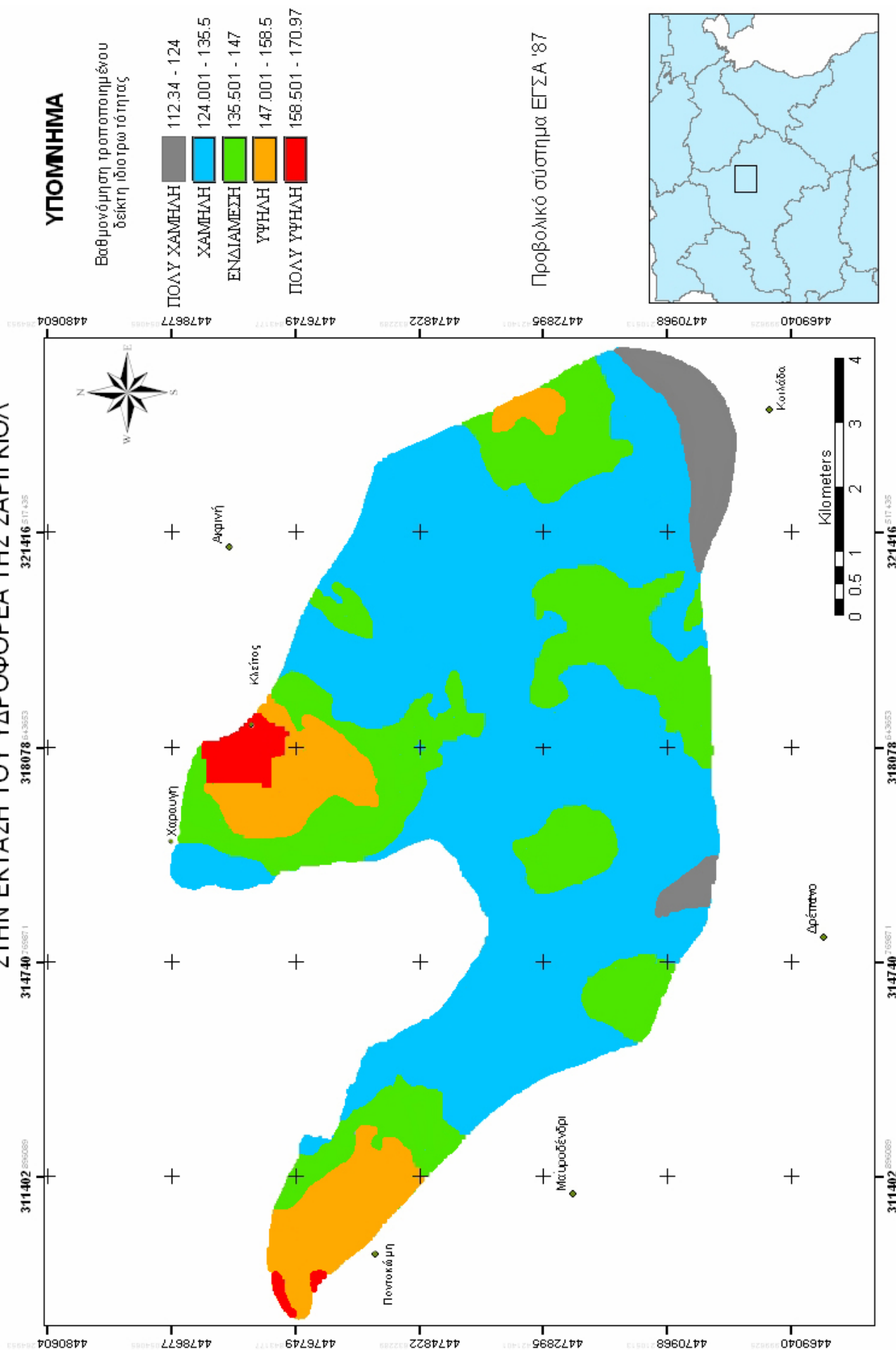
Σχήμα 3.50: Χάρτης χρήσεων γης, για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρας της Σαριγκιόλ.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Lr, ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ



Σχήμα 3.51: Χάρτης κατανομής της παραμέτρου της χρήσης γης (L), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαριγκιόλ.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΙΔΙΟΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ DRASTIC (MDI),
ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ



Σχήμα 3.52: Χάρτης κατανομής του δείκτη ιδιοτρωτότητας DRASTIC (DI), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρεας της Σαριγκιόλ.

3.7.11 Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, με τροποποιημένη παραμετροποίηση

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια διαφορετική προσέγγιση της εκτίμησης της τρωτότητας του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, από αυτή που προτείνει η τυπική μέθοδος DRASTIC. Βασιζόμενοι στην εργασία των Panagopoulos et al. (2005), θα εφαρμοστεί μια διαφορετική παραμετροποίηση των παραγόντων που χρησιμοποιεί η μέθοδος DRASTIC.

Σύμφωνα με τους McIay et al. (2001) και Lambrakis et al. (2004), η επίδραση του υπερκείμενου εδαφικού καλύμματος δε συμβάλλει ιδιαίτερα στην προστασία του υδροφορέα από τα επιφανειακά ρυπαντικά φορτία, λόγω της περίσσειας οξυγόνου που επικρατεί στην ανώτερη αυτή ζώνη και κατά συνέπεια, λόγω της απουσίας αντιδράσεων εξασθένησης των ρυπαντικών φορτίων.

Αρκετές αμφιβολίες έχουν εκφραστεί επίσης και για την επίδραση του παράγοντα της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ικανότητα ενός υδροφορέα να αυτοπροστατεύεται από του πιθανούς ρύπους (Rosen, 1994, Panagopoulos et al., 2005), θεωρώντας ότι η παράμετρος αυτή δε συνδέεται άμεσα με τις φυσικοχημικές διαδικασίες απορρύπανσης (προσρόφηση, απορρόφηση, ιοντοανταλλαγή, αντιδράσεις οξειδοαναγωγής).

Η σχέση που προτείνουν οι Panagopoulos et al. (2005), για τον υπολογισμό της ιδιοτρωτότητας (V_i) και η οποία υπολογίστηκε και για τον εξεταζόμενο υδροφορέα είναι:

$$V_i = D_r \times 3 + R + A_r \times 5 + T_r \times 2 + I_r \times 2,5$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, με την ψηφιακή σύνθεση των επί μέρους χαρτών, προκύπτει ο χάρτης του Σχήματος 3.53, στον οποίο απεικονίζεται η κατανομή της ιδιοτρωτότητας, στην έκταση του υπό εξέταση υδροφορέα.

Για τον υπολογισμό της ειδικής τρωτότητας (V_s), οι ίδιοι συγγραφείς προτείνουν την κάτωθι σχέση:

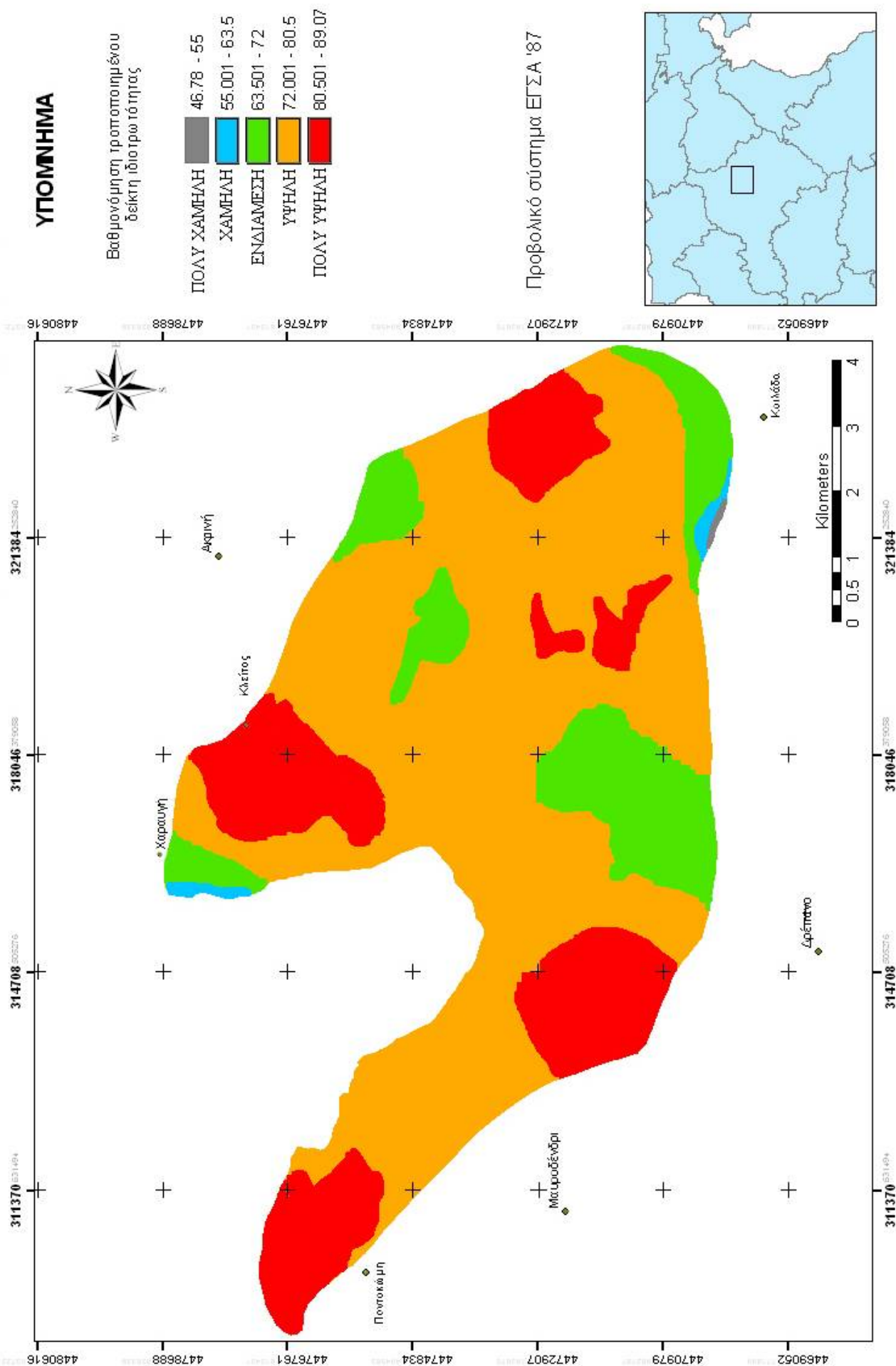
$$V_s = D_r \times 3 + R + A_r \times 5 + T_r \times 2 + I_r \times 2,5 + L_r \times 5$$

Από την εφαρμογή της τελευταίας σχέσης στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, προκύπτει ο χάρτης του Σχήματος 3.54, ο οποίος απεικονίζει την κατανομή της ειδικής τρωτότητας στην έκταση του υδροφορέα.

Για την επαλήθευση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που δίνει η προτεινόμενη σχέση της ειδικής τρωτότητας, οι συγγραφείς της μεθόδου DRASTIC (Aller et al., 1987), προτείνουν τη συσχέτιση του χάρτη ειδικής τρωτότητας με τον χάρτη κατανομής

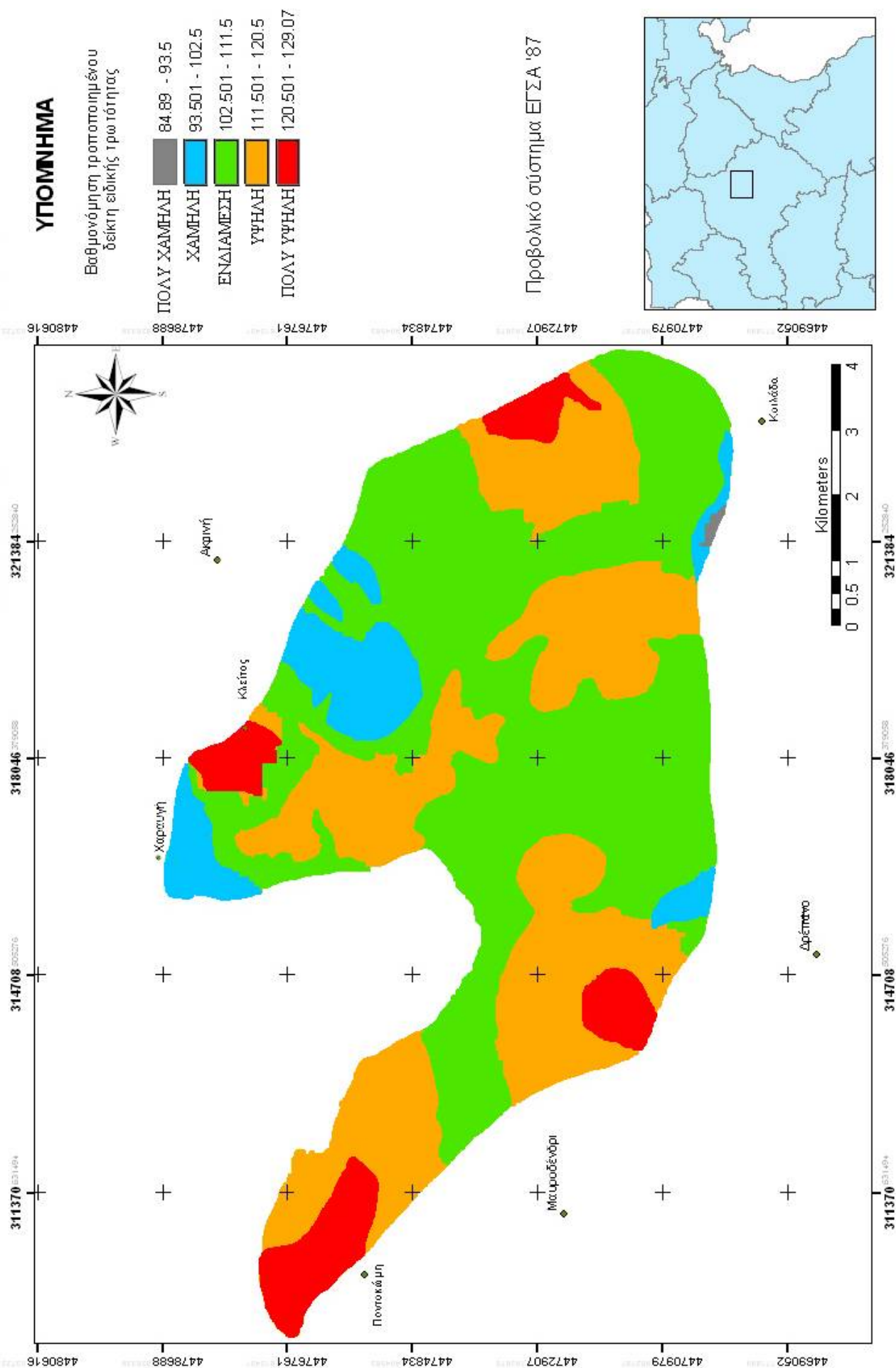
νιτρικών ιόντων (NO_3^- , σε mg/l). Στην προκειμένη περίπτωση η επαλήθευση των αποτελεσμάτων κρίνεται επισφαλής, λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων που να καλύπτουν όλη την έκταση του υδροφορέα. Συστηματικές χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού, γίνονται από τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ. και από τη Δ.Ε.Η., καλύπτοντας την περιοχή των υδρευτικών γεωτρήσεων και των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων αντίστοιχα. Τα στοιχεία που μας παραχωρήθηκαν κρίθηκε ασφαλέστερο να μη χρησιμοποιηθούν, λόγω ανομοιογενούς κατανομής. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων (πάνω από το όριο ποσιμότητας των 50 mg/l), στο δυτικό τμήμα του υδροφορέα, στην περιοχή της Ποντοκώμης, περιοχή η οποία και με τις τέσσερις μεθόδους, προέκυψε ως περιοχή υψηλής έως πολύ υψηλής τρωτότητας. Τονίζεται επίσης, πως για να είναι αξιόπιστη η συσχέτιση των υψηλών συγκεντρώσεων σε νιτρικά ιόντα με τους χάρτες τρωτότητας, πρέπει να υπάρχουν εκτενή, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, υδροχημικά δεδομένα για την έκταση του υδροφορέα. Μεμονωμένες υδροχημικές έρευνες που πιθανά προσπαθούν να συσχετίσουν την κατανομή των νιτρικών ιόντων, δεν αποτελούν αξιόπιστες συσχετίσεις, λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η εφαρμογή λιπασμάτων και της άγνοιας της ακριβούς χωρικής και χρονικής της κατανομής.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΙΔΙΟΤΡΩΤΗΤΑΣ DRASTIC, ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ



Σχήμα 3.53: Χάρτης κατανομής του δείκτη ιδιότρωτης DRASTIC (DI), για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρας της Σαριγκιόλ (κατά Panagopoulos et al., 2005).

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ DRASTIC,
ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ



Σχήμα 3.54: Χάρτης κατανομής του τροποποιημένου δείκτη ειδικής τρωτότητας DRASTIC, για την έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφόρος της Σαργκιόλ (κατά Panagorou et al., 2005).

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΑΜΑΡΙΝΑΣ - ΦΙΛΙΠΠΑΙΩΝ - ΑΛΑΤΟΠΕΤΡΑΣ, Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ

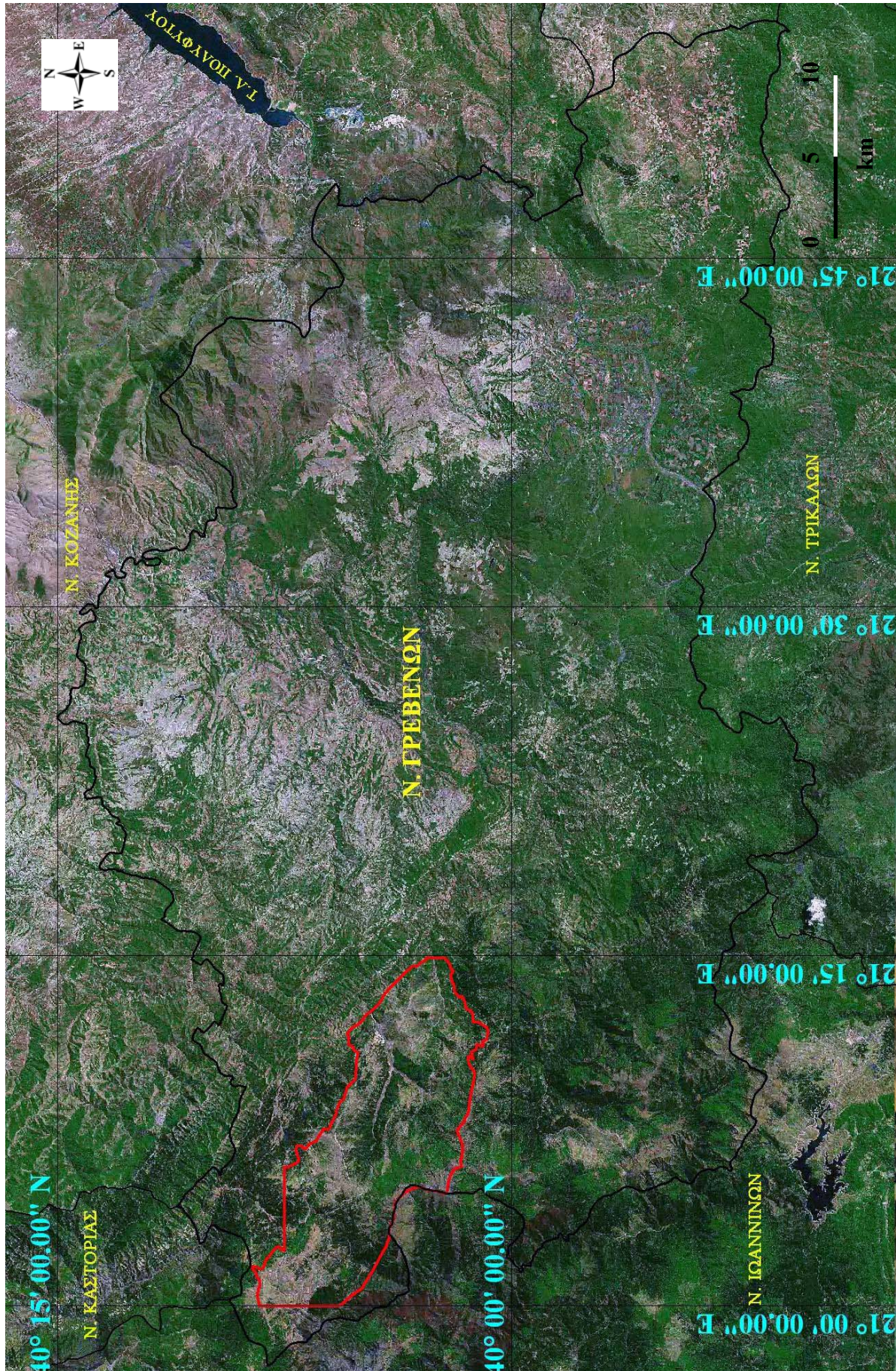
4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1.1 Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία εξεταζόμενης περιοχής

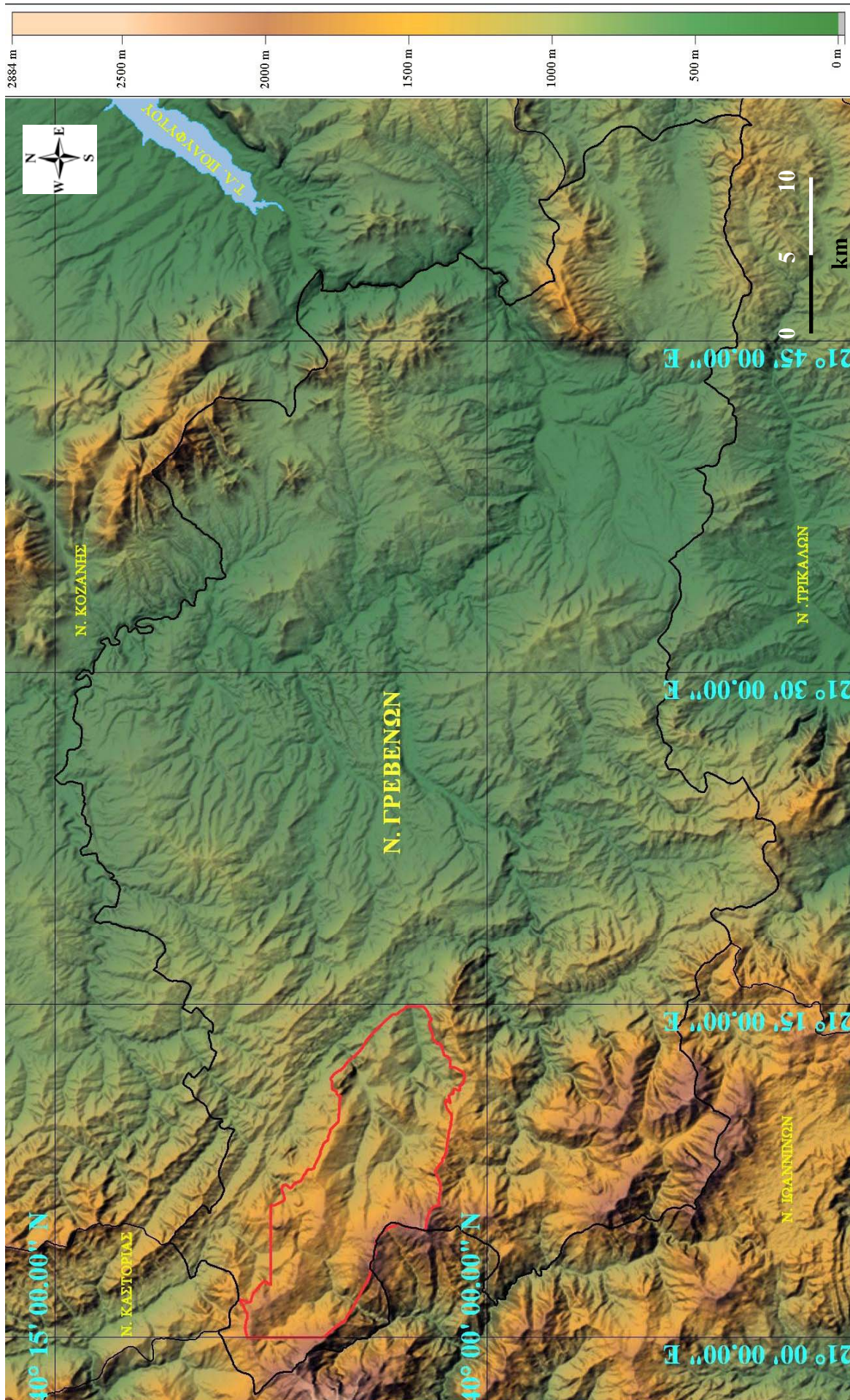
Η περιοχή που εξετάζεται για την επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, εντοπίζεται στο ΑΝΑ τμήμα του Νομού Γρεβενών (Σχήματα 4.1 & 4.2). Πρόκειται για την ευρύτερη περιοχή του οδικού άξονα Σαμαρίνας – Φιλιππαίων – Αλατόπετρας. Η οριοθέτηση της περιοχής βασίστηκε στο δοκίμιο τεχνικογεωλογικό χάρτη, της ενότητας φλύσχη, της ζώνης Πίνδου Ν. Γρεβενών, κλίμακας 1:20.000, έτσι όπως δίνεται από τους Κωνσταντοπούλου & Βακονδίου – Ι.Γ.Μ.Ε. (από ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.). Συγκεκριμένα, πρόκειται για την περιοχή που έχει χαρτογραφηθεί στον προαναφερθέντα χάρτη. Το δυτικό όριο της περιοχής εντοπίζεται σε γεωγραφικό μήκος 21° Ανατολικά, ενώ το ανατολικό όριο οριοθετείται στο γεωγραφικό μήκος 21° 15' Ανατολικά, τα οποία αποτελούν και τα όρια του τοπογραφικού φύλλου «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ» της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000. Η χάραξη του ΝΑ ορίου της υπό εξέταση περιοχής, ακολούθησε κυρίως την κορυφογραμμή. Η έκταση της περιοχής έρευνας είναι 148,6 km².

Στα ΝΑ της περιοχής, εντοπίζεται ο ορεινός όγκος του Όρλιακα (1453 m). Στα ΝΔ της περιοχής, εντοπίζεται ο ορεινός όγκος της Βασιλίτσας (2247 m), καθώς και οι κορυφές: Μαντηλίτσα (1737 m) και Στραγγόπετρα (1643 m) ΝΑ της Βασιλίτσας και Μπαλτούμης (2026 m), Γομάρα (2126 m), Παπαδόραχο (1916 m), Λιανούρα (1895 m), Καπετάν Τσεκούρας (2210 m), Μπογδάνι (2236 m) και Βούζιον (1757 m) ΒΔ αυτής. Δυτικά της περιοχής εκτείνεται ο ορεινός όγκος του Σμόλικα (2637 m). Στο ΒΑ τμήμα της περιοχής, εντοπίζονται οι κορυφές: Κίρκουρη (1895 m), Ρέντος (1713 m), Πέρδικα (1799 m), Αγνίτσα (m), Αυγό (m), Οχυρόν (1560 m) Στριβό (1351 m), Προφήτης Ηλίας (1397 m) και Όμορφη Ράχη (1202 m). Βορειοανατολικά της περιοχής εκτείνεται ο ορεινός όγκος του Βοΐου (1805 m). Οι ονομασίες που προαναφέρονται, είναι αυτές που δίνονται στα τοπογραφικά φύλλα της Γ.Υ.Σ. (φύλλα: «ΚΟΝΙΤΣΑ» και «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ»), κλίμακας 1:50.000.

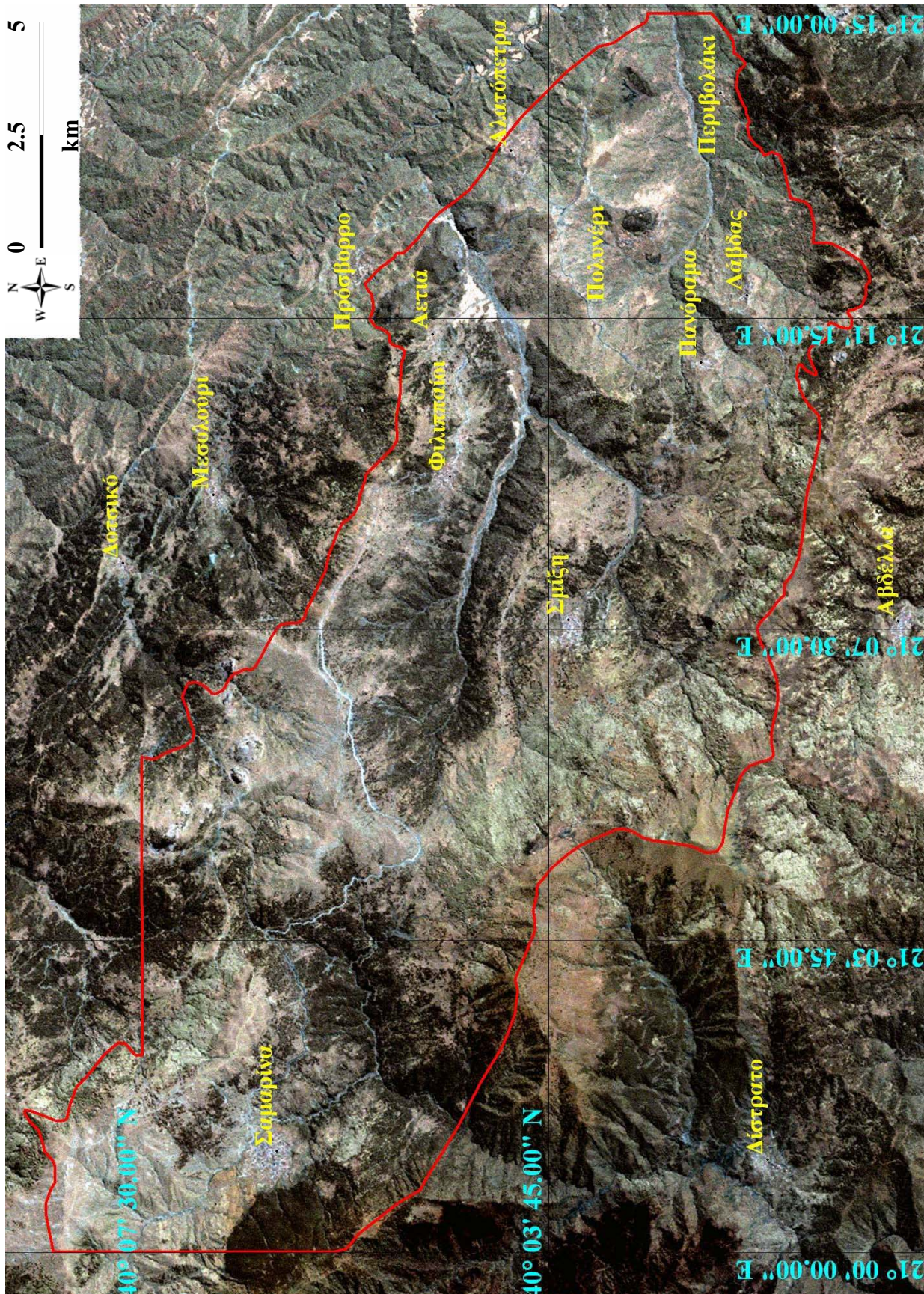
Στην έκταση που καταλαμβάνει η υπό εξέταση περιοχή, βρίσκονται οι οικισμοί: Σαμαρίνα (701 κατ.), Φιλιππαίοι (254 κατ.), Αετιά (48 κατ.), Σμίξη (509 κατ.), του Δήμου Χασίων, Πανόραμα (126 κατ.), Λάβδας (132 κατ.), Περιβολάκι (30 κατ.), Πολυνέρι (221 κατ.) και Αλατόπετρα (140 κατ.), του Δήμου Θεοδώρου Ζιάκα (Ε.Σ.Υ.Ε. [2001]-www.statistics.gr). Στο Σχήμα 4.3, δίνεται τροποποιημένη δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+, με τη θέση των προαναφερθέντων οικισμών.



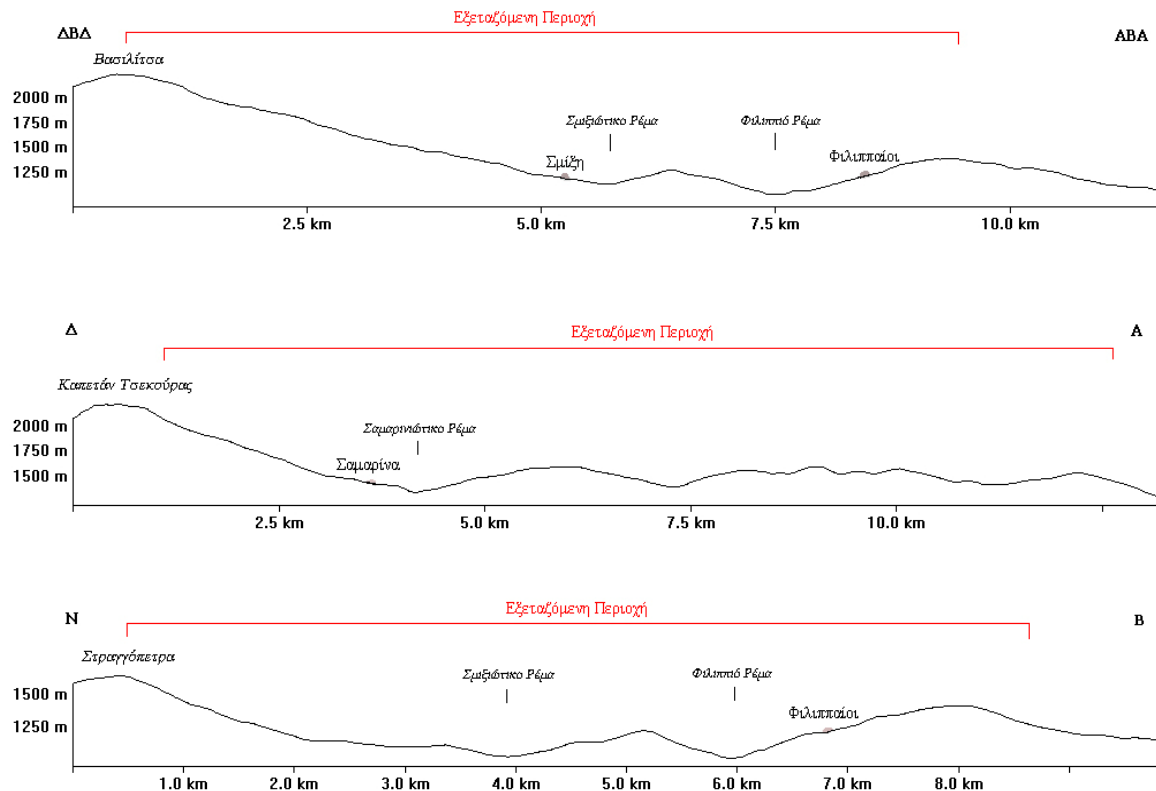
Σχήμα 4.1: Δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+ (true color) του Ν. Γρεβενών (www.resmap.com). Η περιοχή που εσωκλείεται στην κόκκινη καμπύλη γραμμή, αποτελεί την εξεταζόμενη περιοχή, για την οποία έγινε εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Η προβολή της εικόνας είναι Μερκατορική, ενώ οι συντεταγμένες δίνονται σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ED 50.



Σχήμα 4.2: Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου, του Ν. Γρεβενών, το οποίο προέκυψε ύστερα από επεξεργασία του D.E.M. της αποστολής SRTM της NASA. Η περιοχή που εσοκλείεται στην κόκκινη καμπύλη γραμμή, αποτελεί την εξεταζόμενη περιοχή, για την οποία έγινε εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Η προβολή του χάρτη είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται σύμφωνα με το γεωδαίτικό σύστημα αναφοράς ED 50.

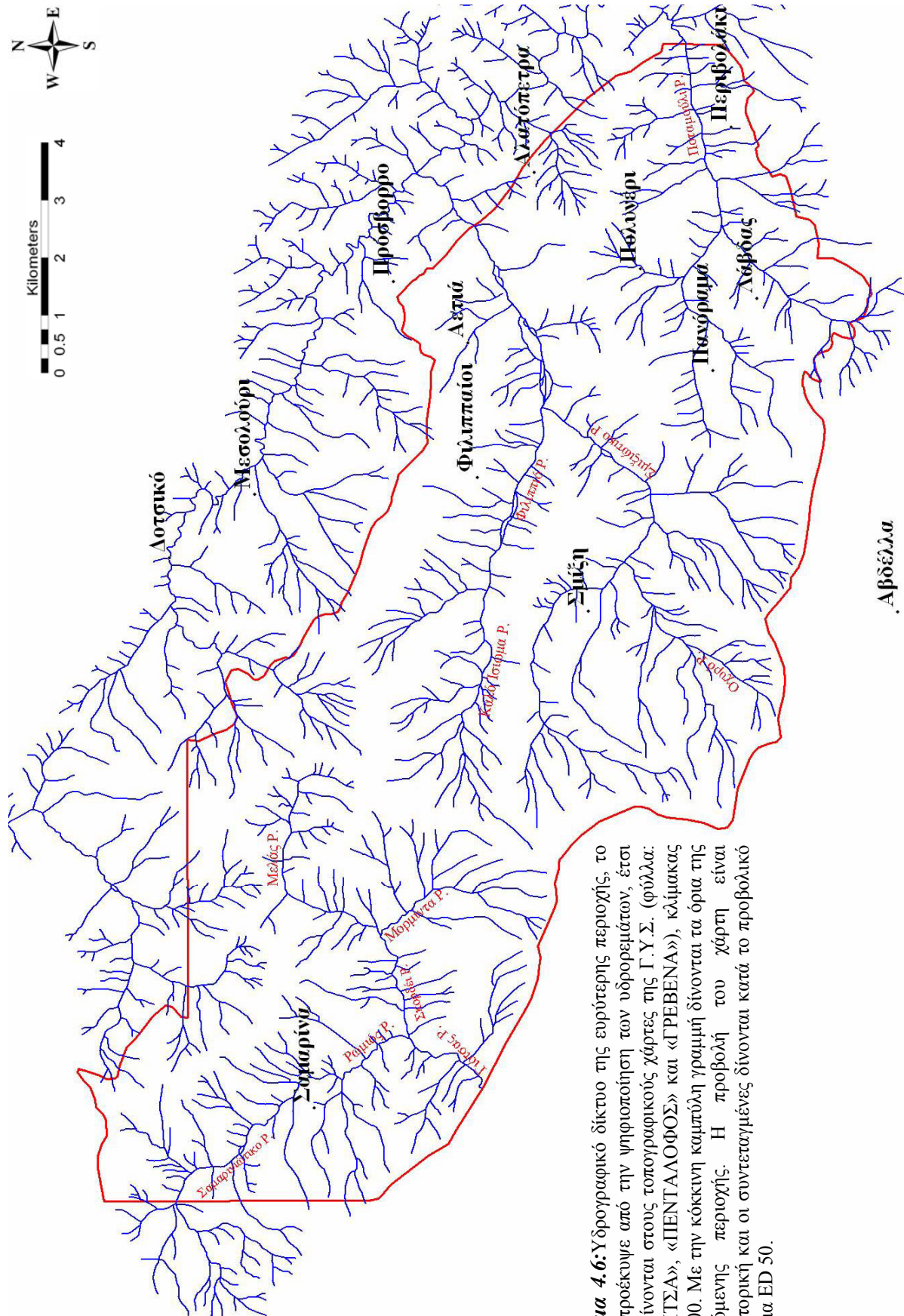


Σχήμα 4.3: Τροποποιημένη δορυφορική εικόνα LANDSAT 7 ETM+ (Row 185, Path 032) της ευρύτερης περιοχής (συνδυασμός μπάντων 3,2,1). Με την κόκκινη καμπύλη γραμμή δίνονται τα όρια της εξεταζόμενης περιοχής. Η προβολή του χάρτη είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ED 50. Η δορυφορική εικόνα λήφθηκε στις 22/08/2000 (glcf.umd.edu).



Σχήμα 4.5: Επάλληλες τοπογραφικές τομές, χαρακτηριστικές της εξεταζόμενης περιοχής.

Το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Τα κυριότερα υδρορέματα, που εντοπίζονται στην εξεταζόμενη περιοχή, είναι τα εξής: i) Σαμαρινιώτικο, ii) Ρωμιός, iii) Γιότσας, iv) Μορμίντα, v) Σκορδέι, vi) Μελάς, vii) Καλό Ίσιωμα, viii) Φίλιππιο, x) Οχυρό, xi) Σμιζιώτικο και xii) Ποταμούλι. Οι ονομασίες των ρεμάτων είναι αυτές που δίνονται στο τοπογραφικό φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ» της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, πλην αυτής του ρέματος Σκορδέι, που δίνεται στο γεωλογικό φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΝ», του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000.



4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.2.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή ανήκει γεωτεκτονικά στις ζώνες Υποπελαγονική και Πίνδου, ενώ στο ανατολικό της τμήμα εντοπίζονται τα μολασικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας (ηλικίας Άνω Ηώκαινου - Μέσου Μειοκαινού). Η σχέση των δύο ζωνών είναι ανώμαλη τεκτονική, με την Υποπελαγονική να επωθείται επάνω στη ζώνη Πίνδου. Στην περιοχή μελέτης, η τεκτονική αυτή επαφή επιβεβαιώνεται με την επώθηση των οφιολιθικών σχηματισμών, επί του 2^{ου} φλύσχη της Πίνδου ή κοινώς «άγριου» φλύσχη (ηλικίας Άνω Ηώκαινου). Τα μολασικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας επικάθονται με ασυμφωνία πάνω στα πτυχωμένα στρώματα του φλύσχη της Πίνδου, κάτι που πιστοποιεί το τέλος της απόθεσης του φλύσχη στο Ανώτερο - Τελικό Ηώκαινο (Μουντράκης, 1985). Οι σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την ευρύτερη περιοχή, όπως φαίνεται και στον τροποποιημένο γεωλογικό χάρτη του Σχήματος 4.7, είναι οι κάτωθι:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

- Αλλουβιακές αποθέσεις
- Αποθέσεις Τεταρτογενών παγετώνων

ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ

- Ψαμμίτες, άμμοι και μάργες Μόρφης (Ακουιτάνιο). Πάχος 400 m.
- Ψαμμίτες και κροκαλοπαγή Πενταλόφου (Ακουιτάνιο). Πάχος 2500 m.
- Ψαμμίτες, μάργες και ψηφιδοπαγείς ασβεστόλιθοι Τάλιαρου (Ανώτ. Στάμπιο). Πάχος 200 m περίπου.
- Μάργες Επαχωρίου (Στάμπιο)
- Βασικά Στρώματα (Ολιγόκαινο). Αποτελούνται από οφιολιθικά κροκαλοπαγή, ψηφιδοπαγή και ερυθρές άμμους (ΒΔ του Δοτσικού) και κοραλλιογενείς ασβεστολίθους (ΝΑ του Προσβόρου).

ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ

- Φλύσχη (Δάνιο – Α. Ηώκαινο – Κ. Ολιγόκαινο). Πρόκειται γενικά για ετερογενή σχηματισμό, αποτελούμενο από ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών και λεπτόκοκκων πηλινικών στρωμάτων. Κατά θέσεις συναντώνται αδρομερείς ορίζοντες, αποτελούμενοι από ενστρώσεις ψηφιδοπαγών και κροκαλοπαγών. Τα λεπτομερέστερα στρώματα περιλαμβάνουν ιλυολίθους, ιλυώδεις μάργες, και αργιλικές μάργες. Χαρακτηριστικές επίσης είναι και οι εμφανίσεις ασβεστολιθικών και οφιολιθικών ολισθόλιθων. Η

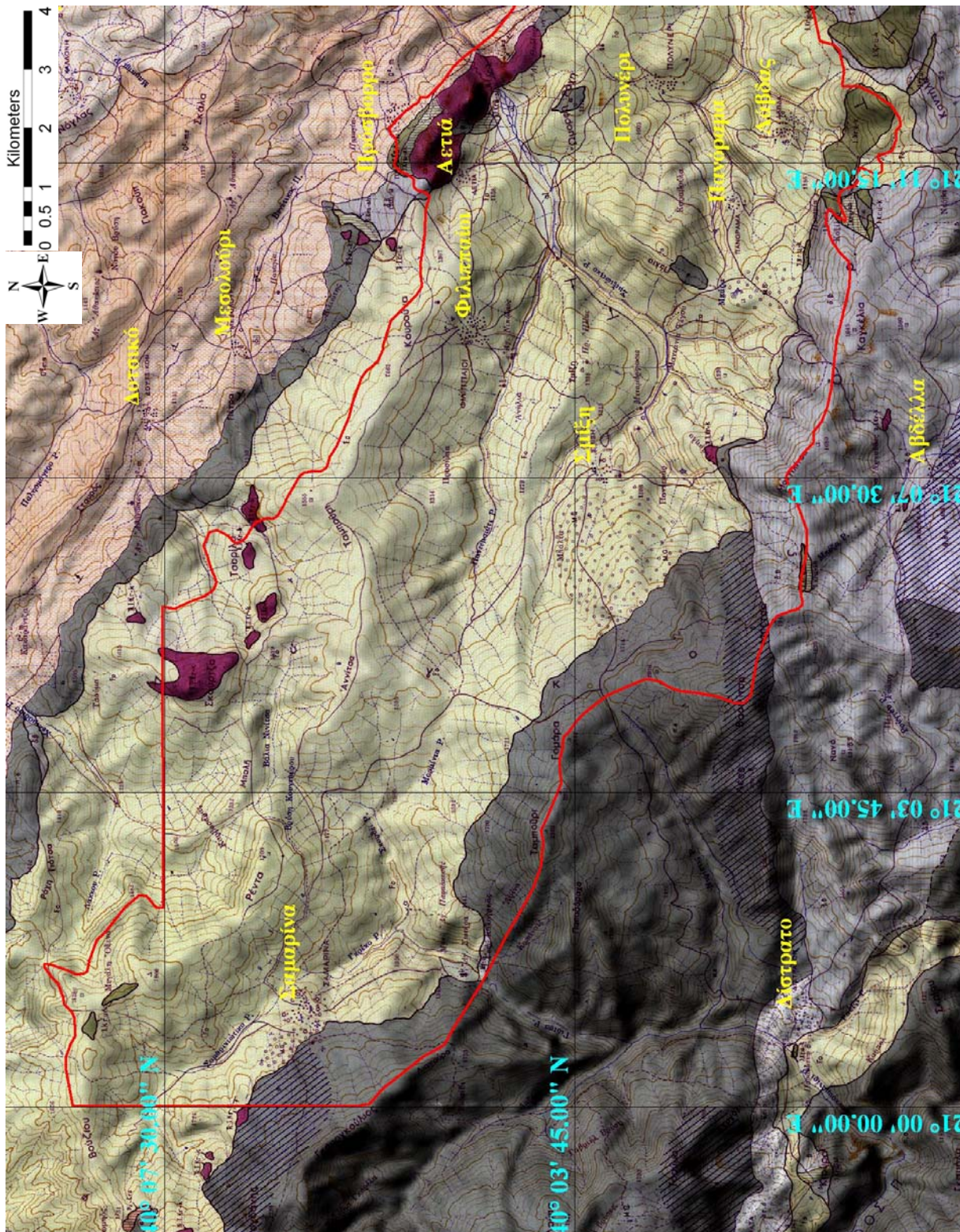
ονομασία του ως «άγριος» φλύσχης», αποδίδεται στον έντονο τεκτονισμό του και στην ιδιαίτερα πτυχωμένη και διερρηγμένη εμφάνισή του.

- Συμπαγείς ασβεστόλιθοι (Μεσοζωικό).
- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Κατώτ. Ιουρασικό - Κρητιδικό). Κατά θέσεις λεπτοστρωματώδεις, με κερατόλιθους.
- Σχιστοκερατόλιθοι (Ανώτ. Ιουρασικό). Αποτελούν υπολείμματα καλυμμάτων, μεμονωμένα συνδεόμενα με ασβεστολίθους.
- Κρυσταλλικοί μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι. Αποτελούν τεμάχια του Παλαιοζωικού υποβάθρου.

ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ

- Οφιολιθική σειρά. Αποτελείται από περιδοτίτες, σερπεντινίτες, γάββρους, δολερίτες, βασάλτες και pillow λάβες.

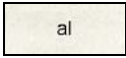
Όπως φαίνεται στον τροποποιημένο γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής, δεν περιλαμβάνεται το ανατολικότερο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, διότι δεν καλύπτεται από κανένα γεωλογικό φύλλο του Ι.Γ.Μ.Ε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ανάμεσα στο γεωλογικό φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ» και στο γεωλογικό φύλλο «ΓΡΕΒΕΝΑ», το οποίο είναι το εξ' ανατολών γειτονικό του φύλλου «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ», υπάρχει ένα χαρτογραφικό κενό της τάξης των 5 λεπτών της μοίρας, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε με τη σύγκριση του γεωλογικού φύλλου «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ», κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. και του τοπογραφικού φύλλου «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ» της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000.



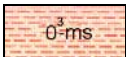
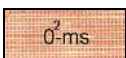
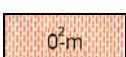
Σχήμα 4.7: Σκιασμένος τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής, ο οποίος προέκυψε από την υπέρθεση του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΝ», κλίμακας 1:50.000, επάνω στο DEM της αποστολής SRTM της NASA. Με την κόκκινη καμπύλη γραμμή δίνονται τα όρια της εξεταζόμενης περιοχής. Η προβολή του χάρτη είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται κατά το προβολικό σύστημα ED 50.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε.,
φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ», κλίμακας 1:50.000**

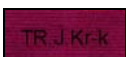
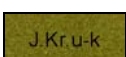
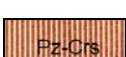
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Ολόκαινο		Αλλουβιακοί σχηματισμοί
Πλειστόκαινο		Παγετώδεις αποθέσεις

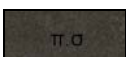
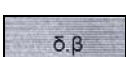
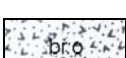
ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ

Ακουιτάνιο		Ψαμμίτες, άμμοι και μάργες Μόρφης
Ακουιτάνιο		Ψαμμίτες και κροκαλοπαγή Πενταλόφου
Ανώτ. Στάμπιο		Ψαμμίτες, μάργες και ψηφιδοπαγείς ασβεστόλιθοι Τάλιαρου
Στάμπιο		Μάργες Επταχωρίου
Ολιγόκαινο		Βασικά στρώματα

ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ

Δάνιο - Κ. Ολιγόκαινο		Φλόσχης
Μεσοζωικό		Συμπαγείς ασβεστόλιθοι
Μεσοζωικό		Πλακώδεις ασβεστόλιθοι
Ανώτ. Ιουρασικό		Σχιστοκερατόλιθοι
Παλαιοζωικό		Κρυσταλλικοί μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι

ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

Ιουρασικό	{		Περιδοτίτες & Σερπεντινίτες
			Γάββροι
			Δολερίτες, Βασάλτες & pillow λάβες
Α. Ιουρασικό - Κ. Κρητιδικό			Οφιολιθικό τεκτονικό λατυποπαγές

————— Όρια γεωλογικών σχηματισμών

Ανώμαλη τεκτονική επαφή

4.2.2 Γεωλογία της εξεταζόμενης περιοχής

Η υπό εξέταση περιοχή αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

- *Αποθέσεις κοίτης*. Πρόκειται για χαλαρά υλικά ποικίλης κοκκομετρίας και λιθολογικής σύστασης, τα οποία αποτελούνται από αργίλους, άμμους, χαλίκια, κροκάλες και λατύπες. Εντοπίζονται στις κοίτες των ρεμάτων Σαμαρινιώτικο, Ρωμιός ή Γκρεκό, Σκορδέι, Καλό Ίσιωμα ή Παντεμισιάτι και Ποταμούλι. Οι ονομασίες Γκρεκό, Σκορδέι και Παντεμισιάτι, είναι οι ονομασίες των εκάστοτε ρεμάτων, έτσι όπως δίνονται στο γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο «ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΝ», κλίμακας 1:50.000.

- *Παγετώδεις αποθέσεις*. Αποτελούνται από υπερβασικά και βασικά αδρομερή υλικά, εγκλεισμένα σε ερυθρό αργιλικό συνδετικό υλικό.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

- *Πλευρικά κορήματα*. Αποτελούνται από ποικίλου μεγέθους λατύπες, οφιολιθικής κατά το πλείστον σύστασης και γενικότερα από αδρομερή υλικά, εγκλεισμένα σε καστανόμαυρη έως καστανοκόκκινη, αργιλική θεμελιώδη μάζα.

ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ

ΗΩΚΑΙΝΟ

- *Φλύσχης*. Αποτελείται από εναλλαγές λεπτοστρωματωδών, πλακωδών ψαμμιτικών ενστρώσεων και μικρολατυποπαγών, με αμμούχες μάργες. Στην εξεταζόμενη περιοχή, μπορούν να διακριθούν επί μέρους, τρεις ξεχωριστές τεχνικογεωλογικές ενότητες, οι οποίες είναι οι κάτωθι:

1) *Ασβεστολιθική φάση*. Συνίσταται από εναλλαγές πλακώδους ασβεστολίθου, με ενστρώσεις ψαμμίτη και ιλυολίθου, με το ποσοστό του ασβεστολίθου να υπερτερεί σημαντικά (γενικότερα πάνω από το 50%), έναντι των λοιπών φάσεων. Στα ανώτερα τμήματα περιέχει και μικρά φακοειδή στρώματα σερπεντινίτη, τα οποία απαντούν στα ομαλά τμήματα του αναγλύφου, κατά μήκος της κορυφογραμμής, στο ΒΑ τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Η ασβεστολιθική φάση, εμφανίζεται κυρίως στα τοπογραφικά υψηλότερα τμήματα της εξεταζόμενης περιοχής και κατά θέσεις είναι ιδιαίτερα τεκτονισμένη και πτυχωμένη. Οι μηχανικές αντοχές των σχηματισμών που την αποτελούν είναι ικανοποιητικές, δίχως σημαντικές αστοχίες.

2) *Ψαμμιτική φάση*. Συνίσταται από ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτικών στρώσεων, ποικίλου πάχους, λεπτοστρωματωδών ιλυόλιθων, πηλινών, αργιλικών μαργών, κ.λπ. Η συμμετοχή του ψαμμίτη, καθώς και το πάχος των στρώσεων ποικίλει, αλλά σε γενικές γραμμές δεν υπερβαίνει το 50%. Η επιφανειακή αποσάθρωση της ενότητας, είναι κατά θέσεις ιδιαίτερα έντονη και τα προϊόντα αποσάθρωσης αποτελούνται από λεπτόκοκκη αργιλώδη άμμο, η οποία υφίσταται έντονη διάβρωση σε επικλινή πρανή, γυμνά από βλάστηση. Η μηχανική αντοχή του υγιούς πετρώματος είναι υψηλή για τον ψαμμίτη, σε αντίθεση με τις ιλυολιθικές και αργιλικές ενστρώσεις, οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές μηχανικής αντοχής. Η επιφανειακή εξάπλωση της ενότητας είναι αρκετά μεγάλη.

3) *Αργιλική φάση με χαοτική δομή*. Χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερη ετερογένεια και τη χαοτική της δομή. Αποτελείται από μια χαλαρή μάζα, η οποία περιλαμβάνει αργιλοϊλυώδη λεπτομερή υλικά, στην οποία περικλείονται συμπαγείς ασβεστολιθικοί ή ψαμμιτικοί ογκόλιθοι, ποικίλων διαστάσεων, καθώς και μπλοκ που έχουν αποσπαστεί από την ψαμμιτική ή την ασβεστολιθική φάση του φλύσχη. Η χαλαρή δομή που επικρατεί στην παρούσα ενότητα, η οποία επεκτείνεται σε όλο της το πάχος, καθιστά πολύ μειωμένες τις γεωμηχανικές ιδιότητές της. Η ενότητα αυτή υπόκειται της ανθρακικής ενότητας και έχει ιδιαίτερα μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση στην εξεταζόμενη περιοχή.

ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

- *Ασβεστόλιθοι*. Πρόκειται για πλακώδεις ασβεστολίθους, οι οποίοι είναι υποκείμενοι του φλύσχη.

ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ

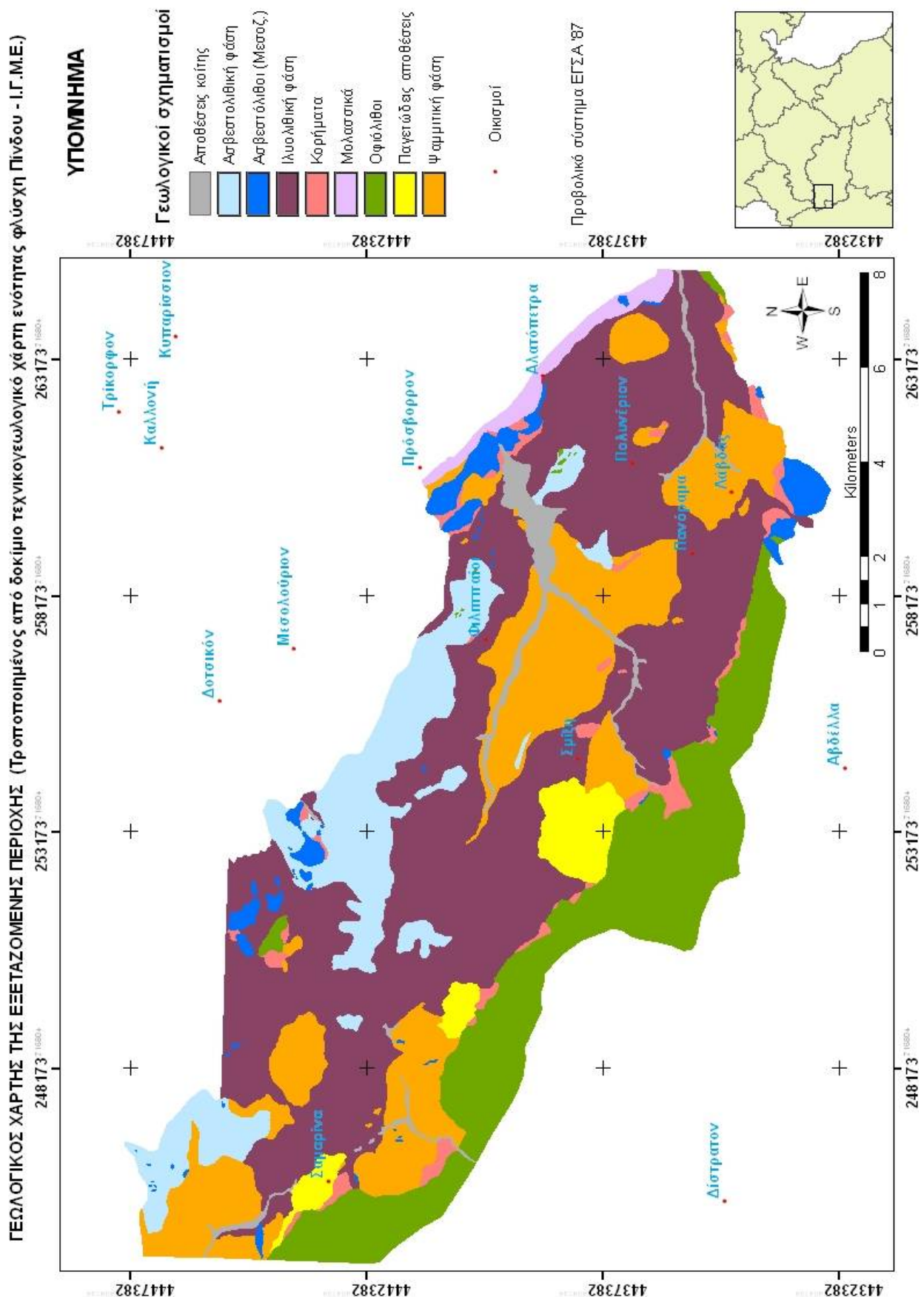
- *Εναλλαγές ψαμμιτικών και μαργαϊκών ενστρώσεων*.

ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ

- *Οφιολιθική σειρά*. Οι οφιολίθοι εμφανίζονται στο ΝΔ τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής και εντοπίζονται επωθημένοι, άλλοτε στην ψαμμιτική και άλλοτε στην αργιλική φάση του φλύσχη. Συχνές είναι οι εμφανίσεις τεκτονικών οφιολιθικών μιγμάτων (mélanges), κατά μήκος της ζώνης της επώθησης. Αναφέρεται χαρακτηριστικά η περίπτωση του οικισμού της Σαμαρίνας, ο οποίος εντοπίζεται στη ζώνη της επώθησης των οφιολίθων επάνω στην αργιλική φάση του φλύσχη, όπου εκτελέσθηκε πρόσφατα δειγματοληπτική-γεωτεχνική γεώτρηση (στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης του οικισμού από την εταιρεία ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.) και συναντήθηκαν εναλλαγές έντονα

τεκτονισμένων οφιολίθων με εξίσου τεκτονισμένους σχηματισμούς της αργιλικής φάσης του φλύσχη, (Νικολαΐδης Κ. & Τσαταλμπασίδης Ι., γεωλόγοι ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., προσωπική επικοινωνία).

Στο Σχήμα 4.8 δίνεται ο γεωλογικός χάρτης της εξεταζόμενης περιοχής, τροποποιημένος από το δοκίμιο τεχνικογεωλογικό χάρτη της ενότητας φλύσχη της ζώνης Πίνδου, Ν. Γρεβενών, κλίμακας 1:20.000, συνταχθείς από τους Κωνσταντοπούλου & Βακονδινό - Ι.Γ.Μ.Ε. (Νικολαΐδης Κ. & Τσαταλμπασίδης Ι., γεωλόγοι ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., προσωπική επικοινωνία).



Σχήμα 4.8: Γεωλογικός χάρτης της εξεταζόμενης περιοχής, τροποποιημένος από το δοκίμιο τεχνικογεωλογικό χάρτη της ενότητας φλύσχη Πίνδου, Ν. Γρεβενών, κλίμακας 1:20.000, συνταχθείς από τους Κωνσταντοπούλου & Βακονιδιό - Ι.Γ.Μ.Ε. (Νικολαΐδης Κ. & Τσαταλμπασίδης Ι., γεωλόγοι ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., προσωπική επικοινωνία).

4.3 ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

- Η περίπτωση του οικισμού των Φιλιππαίων

Η περιοχή στην οποία δομείται ο οικισμός των Φιλιππαίων, έχει επηρεαστεί από παλαιότερα κατολισθητικά φαινόμενα, ενώ εντός του οικισμού εντοπίζονται εκτεταμένες κατολισθήσεις, στην ανατολική της είσοδο του χωριού. Οι επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων είναι εμφανείς σε παλιά κτίρια με την ύπαρξη ρωγματώσεων και μετατοπίσεων στην τοιχοποιία, διαρρήξεις, ρωγματώσεις στην οδοποιία και καθιζήσεις (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2006). Στο Παράρτημα δίνεται φωτογραφικό υλικό με χαρακτηριστικές περιπτώσεις αστοχιών, εντός του οικισμού. Το σύνολο του οικισμού είναι δομημένο στην αργιλική φάση του φλύσχη, ενώ οι μορφολογικές κλίσεις στο δομημένο τμήμα του οικισμού κυμαίνονται από 15° έως 45°.

- Η περίπτωση του οικισμού της Σαμαρίνας

Το σύνολο σχεδόν του οικισμού είναι δομημένο στην αργιλική φάση του φλύσχη και έχει επηρεαστεί από παλαιότερα κατολισθητικά φαινόμενα. Σε όλο το δομημένο τμήμα του οικισμού επικρατούν έντονα κατολισθητικά φαινόμενα, ενώ οι περιοχές στις οποίες δεν εκδηλώνονται τέτοια φαινόμενα, έχουν ως υπόβαθρο τη συμπαγή πετρώματα, όπως την ψαμμιτική φάση και ασβεστολιθική φάση του φλύσχη, τους οφιόλιθους κ.λπ. (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2006). Οι μορφολογικές κλίσεις εντός του οικισμού κυμαίνονται από 9° έως 40°. Στο Παράρτημα δίνεται φωτογραφικό υλικό με χαρακτηριστικές περιπτώσεις αστοχιών, εντός του οικισμού.

- Η περίπτωση του οικισμού της Σμίξης

Ο οικισμός είναι δομημένος στην αργιλική φάση του φλύσχη, η οποία καλύπτεται από χαλαρά εδαφικά καλύμματα. Οι μορφολογικές κλίσεις στο χώρο του οικισμού κυμαίνονται από 8° έως 22°. Τα φαινόμενα είναι εκτεταμένα, αλλά συνήθως μικρού βάθους και επηρεάζουν κυρίως τα εδαφικά καλύμματα και τη ζώνη επιφανειακής εξαλλοίωσης του φλύσχη (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2001).

- Η περίπτωση του οικισμού του Πολυνερίου

Εντός του οικισμού εντοπίζονται έντονα κατολισθητικά φαινόμενα σε δύο περιοχές (ανατολικό και δυτικό τμήμα). Παρατηρούνται θραύσεις στους δρόμους, ρωγμές σε δομικά στοιχεία των οικοδομών. Ο οικισμός είναι δομημένος στη αργιλική φάση του φλύσχη (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε., 2001).

4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ, ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ & ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ

4.4.1 Γενικά

Για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, στην εξεταζόμενη περιοχή, εφαρμόστηκε μια τυπική μέθοδος δεικτών, που βασίζεται στη βαθμονόμηση κάθε παράγοντα που λαμβάνεται υπόψη, πολλαπλασιασμένου επί ένα συντελεστή. Οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων και οι οποίοι λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης, είναι:

i) Λιθολογία, ii) Μορφολογία-κλίσεις πρανών, iii) Βλάστηση-Εδαφική κάλυψη, iv) Βροχόπτωση.

Η εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, έτσι όπως προέκυψε από την αποδελτίωση δημοσιευμένων εργασιών σε διεθνή περιοδικά, ποικίλει ως προς την επιλογή των παραγόντων, που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Η επιλογή των επί μέρους παραμέτρων αν και είναι αρκετά υποκειμενική, βασίζεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε ότι οι παραπάνω τέσσερις παράγοντες, οι οποίοι αποτελούν και τους πλέον χρησιμοποιούμενους στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι σε γενικές γραμμές οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, οι οποίοι εν προκειμένω χαρακτηρίζουν και το φυσικό σύστημα στην εξεταζόμενη περιοχή.

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει κοινή συμφωνία των επιστημόνων που ασχολούνται με την εκτίμηση της επιδεκτικότητας, της επικινδυνότητας και του κινδύνου προς κατολίσθηση, για την υιοθέτηση μιας κοινής μεθοδολογίας, η οποία θα παρέχει αναλυτικές βαθμονομήσεις των παραμέτρων, που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων (Guzetti et al., 1997, Van Westen et al., 2006).

Υπό αυτό το πρίσμα, η βαθμονόμηση (rating) των παραγόντων που λήφθηκαν υπόψη στην εξεταζόμενη περιοχή, βασίστηκε στη σχετική σημαντικότητα του στοιχείου κάθε παράγοντα, ως προς τα λοιπά στοιχεία του ίδιου παράγοντα. Οι προκύπτουσες βαθμονομήσεις, πολλαπλασιάστηκαν με ένα συντελεστή βαρύτητας (weighting coefficient), ο οποίος προέκυψε με την εφαρμογή της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (Analytical Hierarchy Process - AHP). Ο τελικός δείκτης επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση (Landslide Susceptibility Index), δίνεται από τη σχέση:

$$LSI = L_r \times L_w + S_r \times S_w + R_r \times R_w + V_r \times V_w$$

όπου: LSI = ο δείκτης επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση
 L_r = η βαθμονόμηση του παράγοντα της λιθολογίας
 L_w = ο συντελεστής βαρύτητας του παράγοντα της λιθολογίας
 S_r = η βαθμονόμηση του παράγοντα της κλίσης πρανών
 S_w = ο συντελεστής βαρύτητας του παράγοντα της κλίσης πρανών
 R_r = η βαθμονόμηση του παράγοντα της βροχόπτωσης
 R_w = ο συντελεστής βαρύτητας της βροχόπτωσης
 V_r = η βαθμονόμηση του παράγοντα της βλάστησης - εδαφικής κάλυψης
 V_w = ο συντελεστής βαρύτητας του παράγοντα της βλάστησης - εδαφικής κάλυψης

Οι τιμές που δόθηκαν για τη βαθμονόμηση των επί μέρους στοιχείων κάθε παραμέτρου, κυμαίνονταν από 1 έως 10.

Εκτός από την εφαρμογή της AHP για εξαγωγή των επί μέρους συντελεστών βαρύτητας, εφαρμόστηκε και μια μέθοδος που βασίζεται στην ισοκατανομή των σημαντικότερων παραμέτρων που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων.

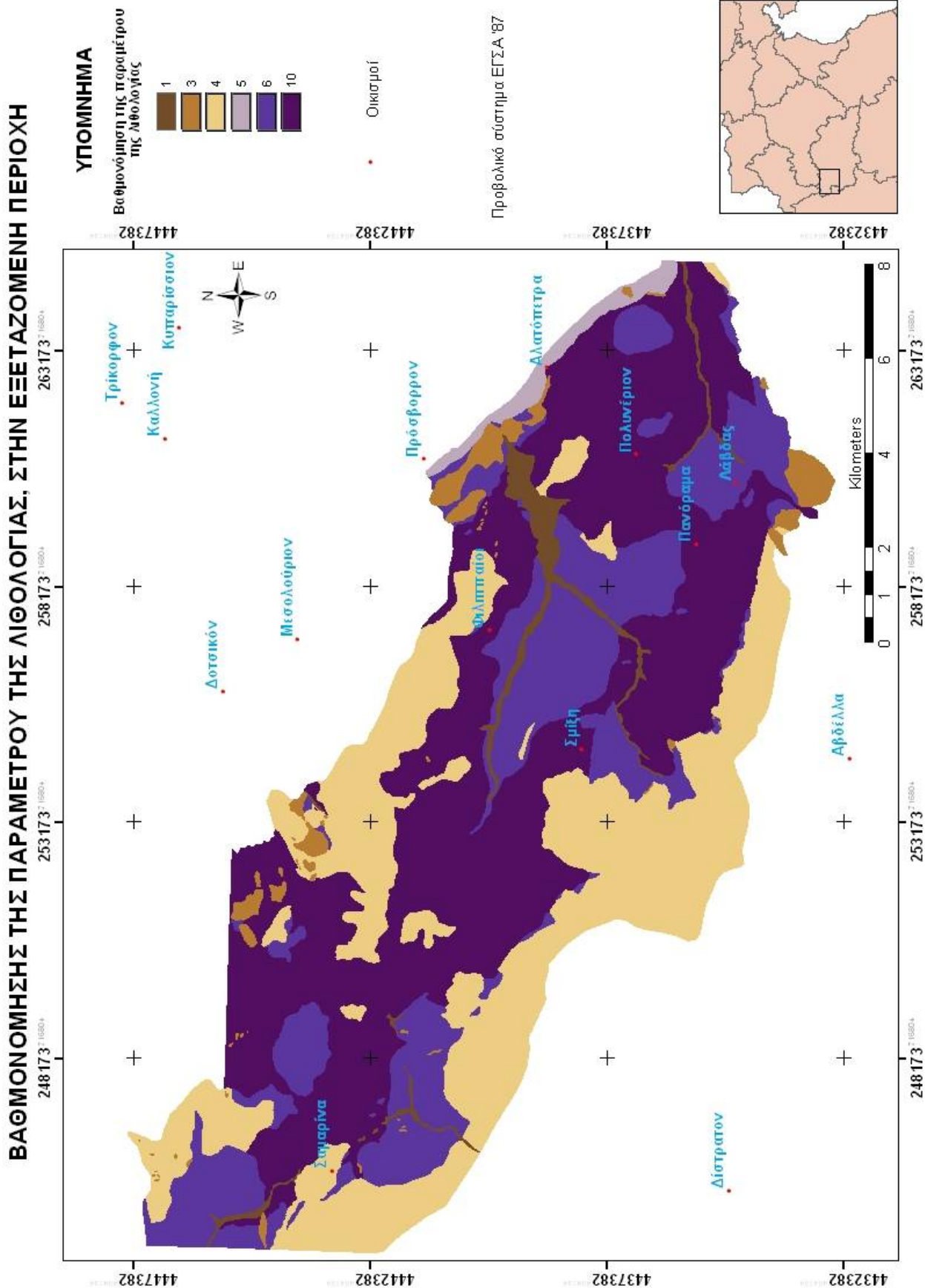
4.4.2 Λιθολογία

Η βαθμονόμηση των γεωλογικών σχηματισμών, βασίστηκε στα ιδιαίτερα λιθολογικά χαρακτηριστικά τους, έτσι όπως αυτά παρατίθενται στην § 4.2.2. Οι τελικές τιμές που δόθηκαν, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Βαθμονόμηση της παραμέτρου της λιθολογίας, στην εξεταζόμενη περιοχή.

<i>Λιθολογικοί σχηματισμοί</i>	<i>Βαθμονόμηση της παραμέτρου της λιθολογίας</i>
Ιλυολιθική φάση φλύσχη	10
Ασβεστολιθική φάση φλύσχη	4
Ψαμμιτική φάση	6
Ασβεστόλιθοι (Μεσοζωικού)	3
Μολασσικά ιζήματα	5
Παγετώδεις αποθέσεις	4
Κορήματα	6
Αποθέσεις κοίτης	1

Ύστερα από την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, βάσει του πρότυπου τεχνικογεωλογικού χάρτη της ενότητας του φλύσχη Πίνδου (Ι.Γ.Μ.Ε.) και την ψηφιακή του επεξεργασία, προέκυψε ο χάρτης του Σχήματος 4.9, ο οποίος απεικονίζει την κατανομή της βαθμονόμησης που δόθηκε στην παράμετρο της λιθολογίας.



Σχήμα 4.9: Χάρτης κατανομής της βαθμολογίας της παραμέτρου της λιθολογίας, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

4.4.3 Μορφολογία-κλίσεις πρανών

Η βαθμονόμηση των μορφολογικών κλίσεων στην εξεταζόμενη περιοχή, βασίστηκε στην παραδοχή πως οι περιοχές με μορφολογικές κλίσεις που υπερβαίνουν τις 45° είναι λιγότερο επιδεκτικές προς κατολίσθηση, απ' ότι πρανή με κλίση μικρότερη των 45°. Ομοίως πρανή με κλίσεις μικρότερες από 5° είναι πολύ λίγο έως σχεδόν καθόλου επιδεκτικά στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

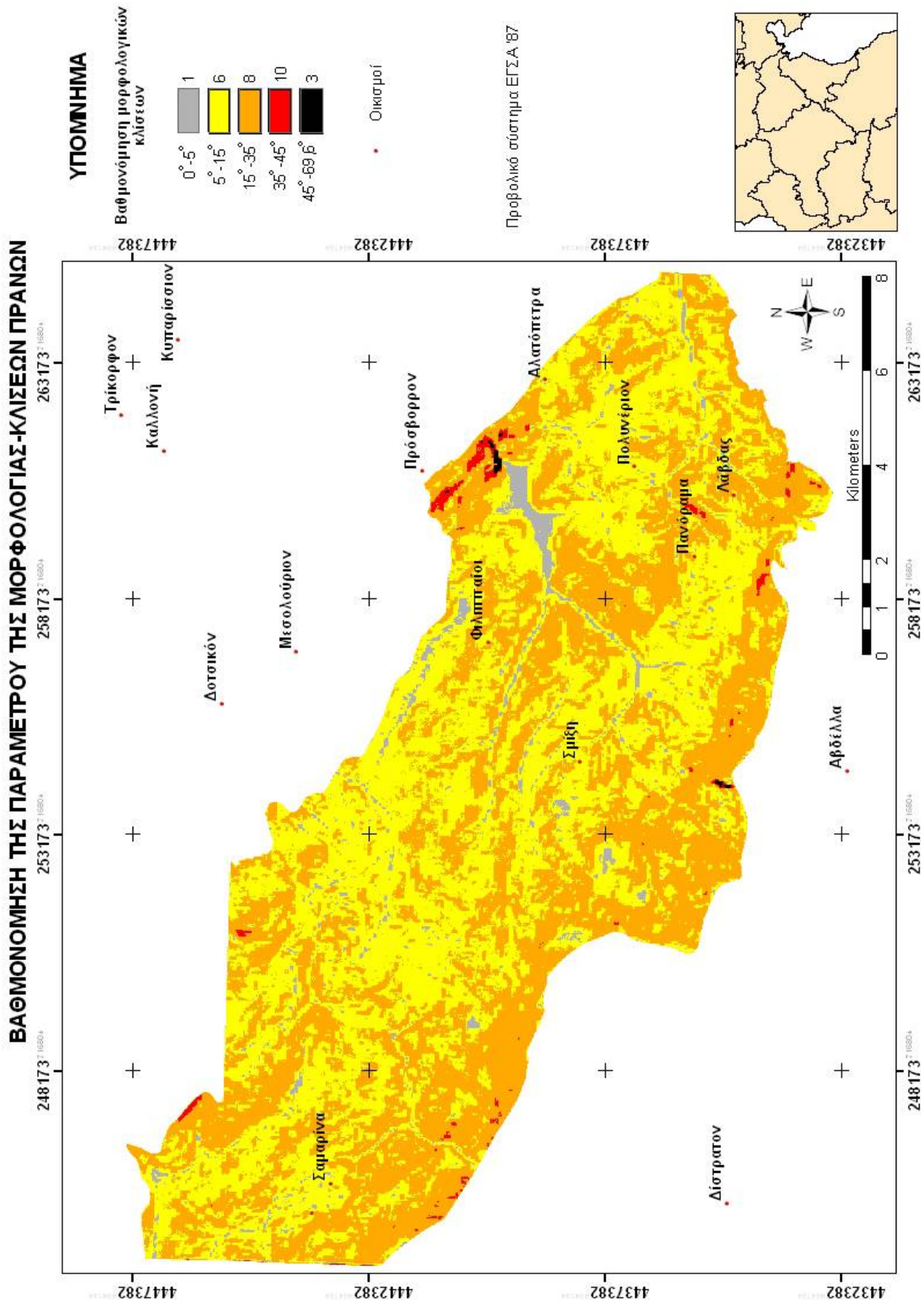
Στον Πίνακα 4.2 δίνεται η βαθμονόμηση που έγινε για τον παράγοντα της μορφολογίας-κλίσης πρανών.

Πίνακας 4.2: Βαθμονόμηση των επί μέρους μορφολογικών κλίσεων, στην εξεταζόμενη περιοχή.

Κλίσεις πρανών (μοίρες)	Κλίσεις πρανών (%)	Βαθμονόμηση της παραμέτρου της μορφολογίας
0° - 5°	0-8,7	1
5° - 15°	8,7-26,79	6
15° - 35°	26,79-70	8
35° - 45°	70-100	10
45° - 69,6°	100-162,3	3

Η ελάχιστη μορφολογική κλίση στην εξεταζόμενη περιοχή είναι 0,14° και η μέγιστη 69,6°.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 4.2, προκύπτει ο χάρτης του Σχήματος 4.10, που απεικονίζει την κατανομή της βαθμονόμησης της παραμέτρου της μορφολογίας-κλίσεων πρανών, στην περιοχή.



Σχήμα 4.10: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης της παραμέτρου της μορφολογίας-κλίσεων πρανών, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2.

4.4.4 Βλάστηση – Εδαφική κάλυψη

Στην έκταση που καταλαμβάνει η εξεταζόμενη περιοχή, η κατανομή της εδαφικής κάλυψης, έχει ως εξής (ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.):

- Δενδρώδης βλάστηση: Καταλαμβάνει έκταση 82,47 km² (55,5% της εξεταζόμενης περιοχής) και αποτελείται από δρύες, οξιές, ελάτη, μαύρη πεύκη.

- Θαμνώδης βλάστηση: Καταλαμβάνει έκταση 0,5 km² (0,33% της εξεταζόμενης περιοχής) και αποτελείται από θαμνώνες πλατύφυλλων φυλλοβόλων.

- Βοσκότοποι: Καταλαμβάνουν έκταση 59,38 km² (39,96% της εξεταζόμενης περιοχής).

- Γεωργικές καλλιέργειες: Καταλαμβάνουν έκταση ίση με 1,23 km² (0,83% της εξεταζόμενης περιοχής).

- Εγκαταλελειμμένοι αγροί: Καταλαμβάνουν έκταση ίση με 3,02 km² (2,03% της εξεταζόμενης περιοχής).

Η βαθμονόμηση της βλάστησης-χρήσης γης, έγινε σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, που ακολουθεί.

Πίνακας 4.3: Βαθμονόμηση της παραμέτρου της βλάστησης-εδαφικής κάλυψης, στην εξεταζόμενη περιοχή.

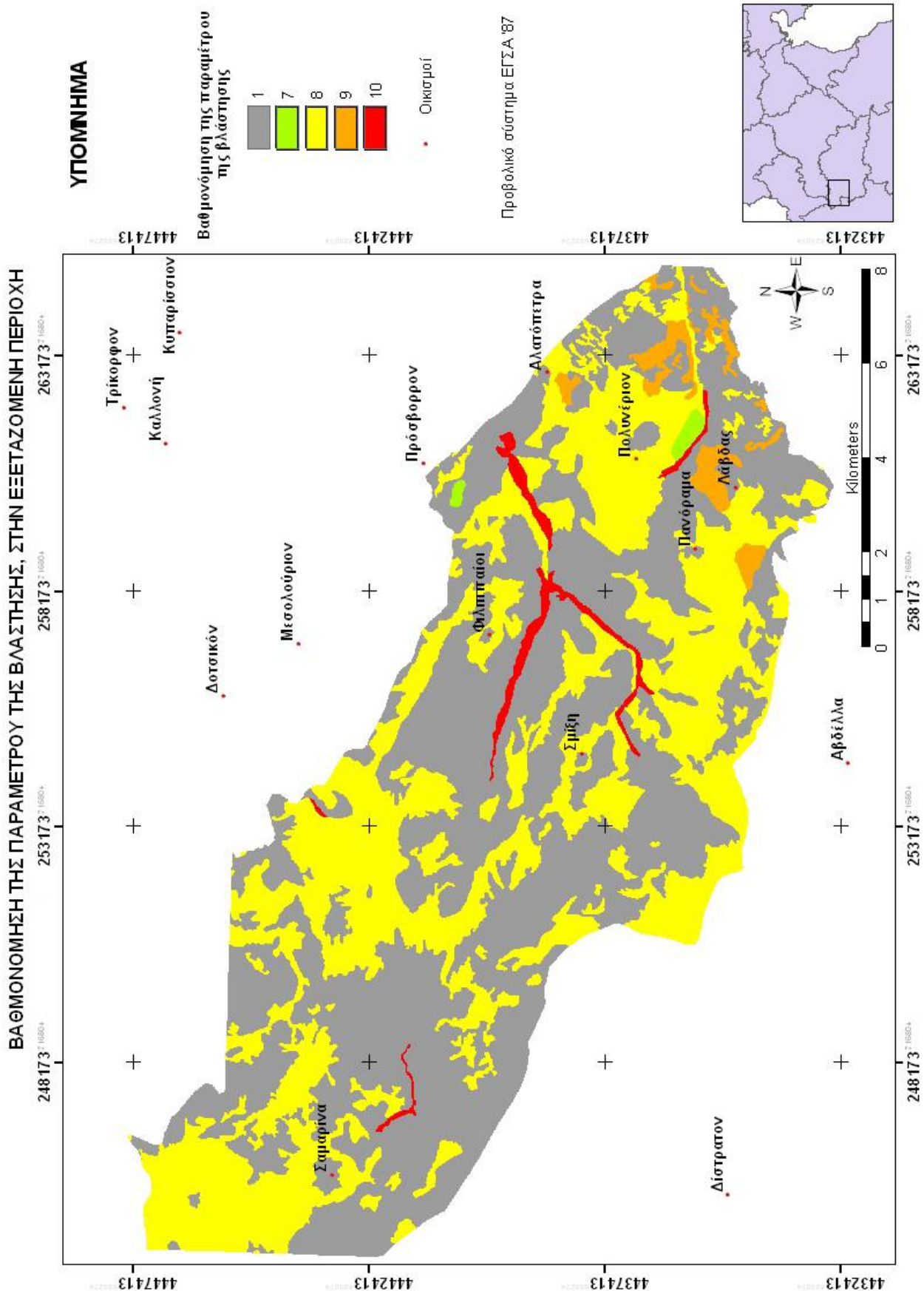
Εδαφική χρήση	Εμβαδό (km ²)	Βαθμονόμηση
Θαμνώνες αείφυλλων	0.5	7
Άγρια	2.25	10
Εγκαταλελειμμένοι αγροί	3.02	9
Δενδρώδης βλάστηση	82.47	1
Βοσκότοποι	59.38	8

Στη δενδρώδη βλάστηση δόθηκε η χαμηλότερη τιμή, διότι η παρουσία της συμβάλλει στην προστασία των πρανών από κατολισθητικά φαινόμενα.

Στο χάρτη του Σχήματος 4.11, δίνεται η κατανομή της εδαφικής κάλυψης, έτσι όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση και επεξεργασία, του αντίστοιχου χάρτη εδαφικής κάλυψης, που δίνει η ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. Στο χάρτη αυτόν, έγινε ομαδοποίηση όλων των ειδών της δενδρώδους βλάστησης.

Στο χάρτη του Σχήματος 4.12, δίνεται η βαθμονόμηση της παραμέτρου της βλάστησης, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3.





Σχήμα 4.12: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης της παραμέτρου της εδαφικής κάλυψης-βλάστησης, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3.

4.4.5 Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση, όπως προαναφέρθηκε, ανήκει στις παραμέτρους οι οποίες ενεργοποιούν ένα κατολισθητικό φαινόμενο. Αρκετοί ερευνητές (Dai et al., 2001, Dai et al., 2002), θεωρούν πως ο παράγοντας της βροχόπτωσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο για την εκτίμηση της επικινδυνότητας (hazard) σε κατολίσθηση, αν και στην ουσία οι εκτιμήσεις τους δεν περιέχουν την πιθανότητα εκδήλωσης και το μέγεθος ενός κατολισθητικού φαινομένου. Υιοθετώντας την άποψη των Lee & Jones (2004), οποιαδήποτε εκτίμηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση μιας περιοχής, δίχως να γίνεται αναφορά στο μέγεθος, την πιθανότητα και τη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου, αποτελεί στην ουσία εκτίμηση της επιδεκτικότητας (susceptibility) προς κατολίσθηση.

Στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης, η βροχόπτωση εντάχθηκε στις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το φυσικό σύστημα στο σύνολό του και αντιμετωπίστηκε με γνώμονα τη χωρική και όχι τη χρονική της κατανομή. Δηλαδή, δίχως να γίνει εκτίμηση της χρονικής κατανομής των σφοδρών έως πλημμυρικών επεισοδίων βροχής (κάτι το οποίο θα παρέπεμπε στην εκτίμηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση), ο παράγοντας της βροχόπτωσης βαθμονομήθηκε σύμφωνα με το ύψος των κατακρημνισμάτων, ως προς το υψόμετρο.

Οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της βροχοβαθμίδας στην εξεταζόμενη περιοχή, δίνονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της βροχοβαθμίδας στην εξεταζόμενη περιοχή.

Βροχομετρικός Σταθμός	X (ED 50)	Y (ED 50)	Z (m)
Καρπερού (Δ.Ε.Η.)	21° 37'	39° 57'	510
Πυλωρών (Δ.Ε.Η.)	21° 39'	40° 05'	700
Εξάρχου (Δ.Ε.Η.)	21° 38'	40° 10'	720
Σπηλαίου (Δ.Ε.Η.)	21° 17'	40° 00'	900

Για τους σταθμούς αυτούς υπήρχε μια κοινή περίοδος συνεχών μετρήσεων, των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης, για το χρονικό διάστημα 01/1970 - 12/1987. Στους Πίνακες που ακολουθούν, δίνονται τα βροχομετρικά δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών. Όσα κελιά πινάκων είναι σκιασμένα, αποτελούνται από τιμές οι οποίες δε δίνονταν από τον εκάστοτε σταθμό, αλλά συμπληρώθηκαν από γειτονικούς σταθμούς, με τη μέθοδο των σταθερών αναλογιών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η τιμή η οποία λείπει για τον μήνα του συγκεκριμένου έτους, ενός βροχομετρικού σταθμού, συμπληρώνεται με

την τιμή που προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών για τον ίδιο μήνα του ίδιου έτους, τριών γειτονικών σταθμών.

Πίνακας 4.5: Βροχομετρικά δεδομένα σταθμού Καρπερού,
για την περίοδο 01/1971-12/1984.

Βροχοπτώσεις (σε mm) σταθμού Καρπερού													
Μήνες Έτη	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1971	99.4	68.7	162	24.5	18.6	25.5	41.1	12.8	56.9	32.4	67.7	67.5	677.1
1972	101.7	122.3	70.7	59.3	44.2	8.1	55.3	35.1	21.6	163.8	10.9	15.8	708.8
1973	56.5	47.2	147	12.4	31.1	18.3	32.7	30.8	72.2	96.9	50.2	135.2	730.5
1974	90.9	134	52.4	80.1	29.8	34.6	1.2	1.7	36.7	82.8	110.2	17.8	672.2
1975	28.9	56.2	39.5	9.4	28.4	40.2	7	70.6	39.3	45.1	66.2	48.8	479.6
1976	19.2	93.7	53.7	57.7	80.9	19.6	71.3	22.8	23	70.9	85.5	59.6	657.9
1977	40	14.6	21.4	32.1	14.2	33	4.4	14.8	52.7	33	60.2	75.3	395.7
1978	117.3	44.5	69.1	105.1	17.7	14.1	1.6	10.3	111.7	57.9	22.5	120.6	692.4
1979	89	56.7	28.9	74.5	47.8	14.4	17.5	34.1	31.4	92.2	155.7	49.4	691.6
1980	105.2	21.7	79.5	54.1	97	28	4.6	46.3	10.6	115.6	57.9	102.3	722.8
1981	72.8	51.1	21.6	64.8	46.9	4.9	14.4	61.7	23.9	124.2	76.6	114.2	677.1
1982	5.1	90.9	44.4	123.2	82	20.9	14.2	12.4	70.8	80.6	159.4	76.2	780.1
1983	14.6	20.3	34.4	22.5	47	84.1	69.7	23.3	30.2	44.2	46.6	179.3	616.2
1984	73.5	79.1	73.8	74	18.9	20.3	1.7	37.5	59.2	4.1	50.2	46.2	538.5
1985	107.2	23.5	67	75.2	41.2	18.1	9.7	0.6	11.2	48.1	157.9	21.9	581.6
1986	66.5	160.9	35.4	8.3	117.1	49.5	47.3	7.3	5.9	73.2	125.5	45.1	742
1987	76.6	66.6	153.8	79.7	90	17.9	25.8	54.8	10.3	105.2	109.5	33.9	824.1
Μ.Ο.	66.56	67.71	62.04	58.28	52.14	26.63	23.65	29.01	38.17	77.36	84.06	71.35	656.94

* Οι τιμές σε σκιασμένο κελί, συμπληρώθηκαν, σύμφωνα με τη μέθοδο των σταθερών αναλογιών, από τους σταθμούς Εξάρχου, π. Βενέτικου, Πυλωρών και π. Αλιάκμονα.

Πίνακας 4.6: Βροχομετρικά δεδομένα βροχομετρικού σταθμού Πυλωρών,
για την περίοδο 01/1971-12/1984.

Βροχοπτώσεις (σε mm) σταθμού Πυλωρών													
Μήνες Έτη	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1971	96.3	74.7	66.5	32.1	31.1	32.7	58.6	11.2	54.9	21.9	53.2	46.4	579.6
1972	43.6	76	29.8	44.1	127.4	9	112.2	28.7	20.3	171.1	5	10.7	677.9
1973	18.3	63.6	46.5	7.1	36.1	28.1	46.2	60.1	60.1	81.6	45.4	39.4	532.5
1974	55.8	102.4	23.8	52.7	28.2	58.8	3.4	5.3	31.1	68.5	94.2	12	536.2
1975	15	59.2	28	15.7	81	97.9	33.7	46.8	50.7	41.8	42	21.1	532.9
1976	15	30.3	22.9	37.1	83.4	70.3	28.6	28.3	24.2	38.7	45.2	47.3	471.3
1977	25.1	10.9	21	11.9	3.1	5.5	14.3	47.7	54.5	38	64.8	43.7	340.5
1978	40.5	28.8	49	67.2	35.5	10.4	12	14	101	75	16	54	503.4
1979	107	42.3	32.3	93	63.2	21.2	22.2	32.7	36	90.2	123.3	40.7	704.1
1980	109.2	26.6	50.6	41.4	98.9	21.9	1.8	5.3	24	108.5	106	89.8	684
1981	115	35.3	24	54.2	46.2	56.8	45.1	39.4	11.6	108.5	97.2	70.2	703.5
1982	13	51	19.2	114.7	66	8.5	27.8	11.6	53	106.1	124.2	61.6	656.7
1983	27	26.8	31.9	3.3	25.7	101.1	39.8	17.4	31.3	30.9	51.5	177	563.7
1984	62	63.7	44.3	56.7	6.3	36.7	0.8	3.6	36.4	9	45	37.1	401.6
1985	91.4	10	53.1	29	35.9	20.5	7.1	26.2	8.2	35	137.7	10.9	465
1986	67.1	117.9	31.1	6.6	95.4	64.9	18.5	3.3	0.5	30.9	50.9	50	537.1
1987	76.1	68.3	147.3	84.6	70.4	33.4	23.1	23.7	29.2	83.5	79.8	35.4	754.8
Μ.Ο.	54.36	49.43	40.24	41.97	52.16	37.98	27.90	22.96	35.33	63.84	66.24	47.74	567.34

* Οι τιμές σε σκιασμένο κελί, συμπληρώθηκαν, σύμφωνα με τη μέθοδο των σταθερών αναλογιών, από τους σταθμούς Εξάρχου, π. Βενέτικου, Καρπερού και π. Αλιάκμονα.

Πίνακας 4.7: Βροχομετρικά δεδομένα βροχομετρικού σταθμού Εξάρχου,
για την περίοδο 01/1971-12/1984.

Βροχοπτώσεις (σε mm) σταθμού Εξάρχου													
Μήνες Ετη	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1971	69.3	73	78.4	38	33.2	34.6	86.8	11.6	48.9	21	71.6	53	619.4
1972	59.6	102.2	28.8	82.1	47.5	22.6	100.5	58.6	45.7	155	7.3	8.9	718.8
1973	75.8	58.8	102	14.8	32.3	29.6	48.1	64.2	66.7	84.2	46.4	30.5	653.4
1974	64.1	110.5	28.6	68.4	42.4	33.4	3.5	9.8	29.3	66.3	82.1	12.3	550.7
1975	20	32	40.3	27.4	70.6	93.4	52.5	42.3	40.1	55.7	50.5	40.5	565.3
1976	21.6	38.6	41.2	46.5	115.4	75.2	26.8	24.4	12.2	60.7	50.7	57.3	570.6
1977	36.1	18.6	19.7	13.9	6.8	9.9	4.5	27.7	50	30.9	53.4	38.4	309.9
1978	89	48	48.6	77.4	23.4	18.4	5.5	2.6	89.8	84.9	28	67.2	582.8
1979	100.2	40.5	32.3	87.5	90.6	25.7	15	30.4	45	64.5	126.5	107.5	765.7
1980	80.2	12.2	63.4	21.7	103.9	67.3	0.8	27.5	33.9	104	81.2	119.4	715.5
1981	70.5	43.1	36.5	63.6	26.9	43.1	35.2	48.4	24	118.8	75.5	84.6	670.2
1982	11.5	61.9	28.1	58.2	121.5	47.8	14.1	37.2	19.5	96.8	67.6	58.1	622.3
1983	11.8	25.9	29.1	17.6	26.5	96.3	61	15.8	49.4	25.3	37.9	182.1	578.7
1984	45	30.8	57.6	37.1	14.8	29.6	0.4	52.6	27	8.1	58	35	396
M.O.	53.9	49.72	45.33	46.73	53.98	44.78	32.48	32.36	41.53	69.73	59.76	63.91	594.24

* Η τιμή σε σκιασμένο κελί, συμπληρώθηκε, σύμφωνα με τη μέθοδο των σταθερών αναλογιών, από τους σταθμούς Πυλωρών, π. Βενέτικου και Καρπερού.

Πίνακας 4.8: Βροχομετρικά δεδομένα βροχομετρικού σταθμού Σπηλαίου,
για την περίοδο 01/1971-12/1984.

Βροχοπτώσεις (σε mm) σταθμού Σπηλαίου													
Μήνες Ετη	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1971	114.2	113.5	102.9	40.4	23.2	4.7	62.7	45.6	59.2	55.3	77.1	68.6	767.4
1972	162.7	78.5	61.8	72.1	58.4	26.9	66.2	20.6	25.8	203.1	12.1	24.4	812.6
1973	136.8	115.5	193.8	20.3	33.3	45.1	48.8	82.6	95.5	117.7	68.6	184.7	1142.7
1974	94.3	170.3	61.2	117.5	48.9	76.4	10.2	1.4	40.5	98.7	144.3	32.1	895.8
1975	42.1	93.9	69.4	49.3	73.2	80	9.8	53.3	7.4	77.6	110.2	72.9	739.1
1976	51.7	116.2	79.7	88.1	107.5	40.2	59.1	21.5	17.4	80.8	137.1	141	940.3
1977	68.4	20.13	18.5	51.2	31.7	18.7	2.7	39.7	54.2	61.8	129.9	63.3	560.23
1978	203.9	95.6	70.2	122	36.8	10.9	5.8	2.4	117.2	99.2	99.6	119.3	982.9
1979	162.9	108.2	51.5	133.8	93.2	8.8	15.6	26.7	46.2	174.9	237.2	150	1209
1980	192.2	71.4	133.9	43.3	135	48.7	0.9	20.6	20.6	159.4	152.1	175.2	1153.3
1981	119.5	104.2	23.6	503	35.2	32.2	11	96.9	32	119.7	72.5	111	1260.8
1982	19.5	85.5	106.6	105.9	90.3	19.4	29.7	38.9	58.2	105.2	144.4	112.5	916.1
1983	24.5	50.9	37.1	13	21.1	51.6	66.9	12	68	53.1	103.6	226.5	728.3
1984	107.5	146.7	71.6	89.3	25.5	25.9	2	49.8	15.4	8.7	79.5	59.6	681.5
1985	161.7	30.7	92.6	158.8	46.4	26.1	5.7	0.4	37.1	52.1	194.2	42.6	848.4
1986	67.3	198.6	81.8	18.8	148.8	59.9	38.2	23.2	9.7	98.5	111.7	24.8	881.3
1987	133.9	130.1	167.6	73.9	68.6	24.6	10.5	54.7	0.3	140.4	134.6	50	989.2
M.O.	109.59	101.76	83.75	100.04	63.36	35.30	26.22	34.72	41.45	100.36	118.16	97.56	912.29

* Οι τιμές σε σκιασμένο κελί, συμπληρώθηκαν, σύμφωνα με τη μέθοδο των σταθερών αναλογιών, από τους σταθμούς Καρπερού, Πυλωρών και π. Βενέτικου.

Στο Χάρτη Π.4, του Παραρτήματος, δίνονται οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών, σε σχέση με την εξεταζόμενη περιοχή.

Η βροχοβαθμίδα που προέκυψε από τους τέσσερις αυτούς σταθμούς, βάσει του διαγράμματος του Σχήματος 4.13, δίνεται από τη συνάρτηση:

$$Y = 0,6482 \times X + 223,63$$

όπου:

Y: Τα κατακρημνίσματα

X: Το υψόμετρο

Σχήμα 4.13: Διάγραμμα κατανομής της βροχόπτωσης, για την εξεταζόμενη περιοχή, ως προς το υψόμετρο.

Η εξεταζόμενη περιοχή διαιρέθηκε σε τρεις βροχομετρικές ζώνες: Ι) η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει το τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, με υψόμετρα μικρότερα των 1000 m (στο υψόμετρο των 1000 m αντιστοιχούν 871,83 mm βροχής, βάσει της προκύπτουσας βροχοβαθμίδας), ΙΙ) η δεύτερη ζώνη περιλαμβάνει το τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, με υψόμετρα που κυμαίνονται από 1000 - 1500 m (στο υψόμετρο των 1500 m αντιστοιχούν 1196 mm βροχής, βάσει της προκύπτουσας βροχοβαθμίδας), ΙΙΙ) η τρίτη ζώνη περιλαμβάνει το τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, με υψόμετρα μεγαλύτερα των 1500 m (στο υψόμετρο των 2231 m αντιστοιχούν 1669,76 mm βροχής, βάσει της προκύπτουσας βροχοβαθμίδας). Η βαθμονόμηση που υιοθετήθηκε για τον παράγοντα της βροχόπτωσης, δίνεται στον Πίνακα 4.9, απ' όπου προέκυψε ο χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης της παραμέτρου της βροχόπτωσης, του Σχήματος 4.14.

Πίνακας 4.9: Βαθμονόμηση της παραμέτρου της βροχόπτωσης, ως προς το υψόμετρο.

Υψόμετρο (σε m)	Βαθμονόμηση παραμέτρου βροχόπτωσης
753-1000	5
1000-1500	8
> 1500	10

Σχήμα 4.14: Χάρτης κατανομής της βαθμονόμησης της παραμέτρου της βροχόπτωσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.9.

4.4.6 Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, με τη χρήση της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (Analytical Hierarchy Process)

Για την κατασκευή του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, στην εξεταζόμενη περιοχή, χρησιμοποιήθηκε η προαναφερθείσα σχέση του δείκτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση (LSI):

$$LSI = L_r \times L_w + S_r \times S_w + R_r \times R_w + V_r \times V_w$$

Οι συντελεστές βαρύτητας (weighting coefficient) κάθε παραμέτρου υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας.

- Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP)

Πρόκειται για μια μεθοδολογία πολυμεταβλητής μοντελοποίησης, που αναπτύχθηκε από τον Saaty (1977) [Komas, M. 2006]. Χρησιμοποιείται σε πολλά πεδία εφαρμογών (οικονομία, σχεδιασμός χρήσεων γης, αστικό περιβάλλον κ.λπ.), για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων πολυμεταβλητής μοντελοποίησης (multi attribute decision modeling) [Δομακίνης, 2005].

Η μέθοδος εντοπίζει τη βέλτιστη λύση, κατασκευάζοντας διανύσματα σημαντικότητας, για τα επί μέρους κριτήρια/παράγοντες. Η βασική αρχή της μεθόδου, είναι η ανά ζεύγη σύγκριση των παραγόντων και η σχετική αξιολόγησή τους. Η σύγκριση δύο παραγόντων α και β, αξιολογείται από το βαθμό σημαντικότητας του α έναντι του β. Η κλίμακα σημαντικότητας δίνεται από τον παρακάτω Πίνακα 4.10:

Πίνακας 4.10: Σύγκριση παραγόντων με την κλίμακα σημαντικότητας, σύμφωνα με τη μέθοδο AHP (www.cs.toronto.edu/~sme/CSC340F/slides/tutorial-prioritization.pdf).

Κλίμακα σημαντικότητας	Ορισμός	Περιγραφή
1	Ίδια σημαντικότητα	Οι δύο παράγοντες συνεισφέρουν το ίδιο
3	Λίγο σημαντικότερο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς τη συνεισφορά του α έναντι του β
5	Πολύ σημαντικότερο	Η συνεισφορά του α αξιολογείται σαφώς υψηλότερη έναντι του β
7	Εμφανώς σημαντικότερο	Η συνεισφορά του α αξιολογείται σαφώς υψηλότερη έναντι του β, κάτι το οποίο γίνεται αντιληπτό και από τα δεδομένα παρατήρησης
9	Απόλυτα σημαντικότερο	Όλα τα δεδομένα συνηγορούν αδιαμφισβήτητα, υπέρ της απόλυτης σημαντικότητας του α

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να καθοριστεί το μέγεθος της σχετικής σημαντικότητας με την παραπάνω κλίμακα, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και οι ενδιάμεσες τιμές 2,4,6,8.

Εάν η σημαντικότητα του α έναντι του β είναι κ , τότε η σημαντικότητα του β έναντι του α είναι $1/\kappa$.

Προκειμένου να αξιολογηθεί το διάνυσμα σημαντικότητας των παραγόντων, κατασκευάζεται ο πίνακας σημαντικότητας των κριτηρίων, όπως δίνεται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11: Κατασκευή διανύσματος σημαντικότητας παραγόντων αξιολόγησης, σύμφωνα με τη μεθοδολογία AHP (www.cs.toronto.edu/~sme/CSC340F/slides/tutorial-prioritization.pdf).

	K_1	K_2	K_3
K_1	1	σ_{12}	σ_{13}
K_2	$1/\sigma_{12}$	1	σ_{23}
K_3	$1/\sigma_{13}$	$1/\sigma_{23}$	1

Η διαδικασία διευκολύνεται αν γίνει μια αρχική ποιοτική εκτίμηση της σημαντικότητας των κριτηρίων και στη συνέχεια ταξινομηθούν σε φθίνουσα σειρά σημαντικότητας. Για παράδειγμα, στον Πίνακα 4.11, ο παράγοντας K_1 αξιολογήθηκε ως πιο σημαντικός από τους υπόλοιπους δύο, ενώ ο K_2 θεωρείται πιο σημαντικός από τον K_3 .

Για να εκτιμηθεί η σημαντικότητα ενός κριτηρίου, κατασκευάζεται εκ νέου πίνακας, ο οποίος αποτελείται από $n \times n$ κελιά (όπου n το πλήθος των παραγόντων), στον οποίο η τελική τιμή κάθε κελιού προκύπτει από το πηλίκο της αρχικής τιμής του κάθε κελιού (έτσι όπως αυτή δίνεται στον Πίνακα 4.11), δια του αθροίσματος όλων των κελιών που βρίσκονται στην ίδια στήλη με το εκάστοτε κελί. Η τελική τιμή των διανυσμάτων σημαντικότητας (ή συντελεστών βαρύτητας), δίνεται από τον αριθμητικό μέσο, της κάθε γραμμής του προκύπτοντος πίνακα. Για παράδειγμα, στο κελί του νέου πίνακα, το οποίο είναι το αντίστοιχο του κελιού που περιέχει την τιμή σ_{12} (K_1 γραμμή με K_2 στήλη), η προκύπτουσα τιμή δίνεται από το πηλίκο:

$$s_{K_1 K_2} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{12} + 1 + \frac{1}{\sigma_{23}}}$$

Στην περίπτωση της εξεταζόμενης περιοχής, η εφαρμογή της μεθοδολογίας AHP, έχει ως εξής:

Αρχικά εκτιμήθηκαν οι σχετικές σημαντικότητες των παραγόντων μεταξύ τους, οπότε προέκυψε ο Πίνακας 4.12, βασιζόμενος στις κλίμακες σημαντικότητας που δίνονται στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.12: Σύγκριση, ανά ζεύγη, της σημαντικότητας των παραγόντων που λήφθηκαν υπόψη, για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση στην εξεταζόμενη περιοχή.

	Λιθολογία	Μορφολογία	Βροχόπτωση	Βλάστηση
Λιθολογία	1	3	4	7
Μορφολογία	1/3	1	3	5
Βροχόπτωση	1/4	1/3	1	3
Βλάστηση	1/7	1/5	1/3	1

Από τον Πίνακα 4.12, προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 4.13, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 4.13: Σύγκριση, ανά ζεύγη, της σημαντικότητας των παραγόντων που λήφθηκαν υπόψη, για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση στην εξεταζόμενη περιοχή.

	Λιθολογία	Μορφολογία	Βροχόπτωση	Βλάστηση	Μ.Ο.
Λιθολογία	0,5793	0,6617	0,480	0,4375	0,5396
Μορφολογία	0,1931	0,2206	0,360	0,3125	0,2715
Βροχόπτωση	0,1448	0,0735	0,120	0,1885	0,1317
Βλάστηση	0,0827	0,0441	0,040	0,0625	0,0573
				Σύνολο	1

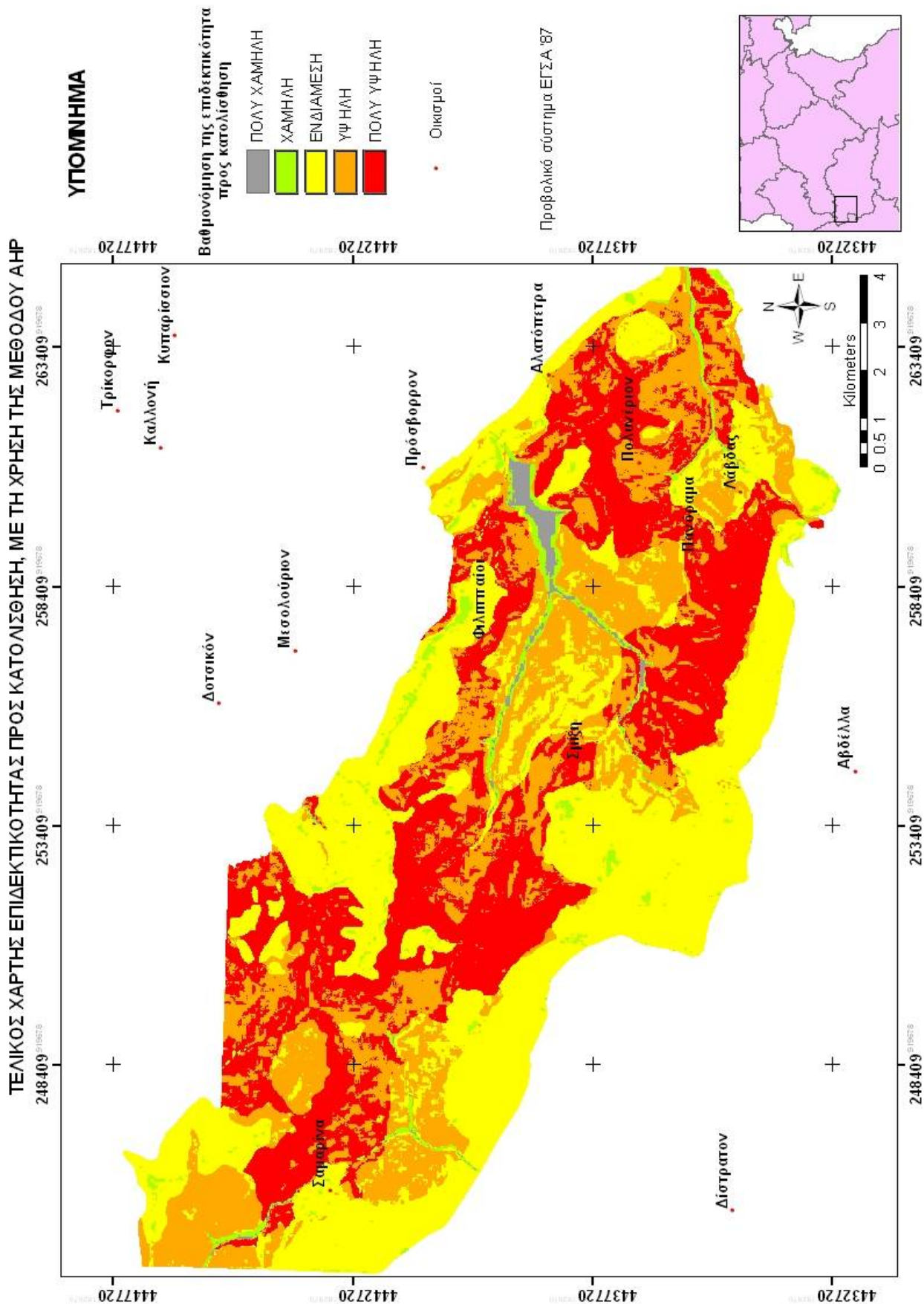
Οι συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας ΑΗΡ, είναι οι κάτωθι:

- Λιθολογία: $L_w = 0,5396$
- Μορφολογία: $S_w = 0,2715$
- Βροχόπτωση: $R_w = 0,1317$
- Βλάστηση: $V_w = 0,0573$

Ο τελικός χάρτης που προκύπτει για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση στην εξεταζόμενη περιοχή, δίνεται στο Σχήμα 4.15 και προέκυψε από την ψηφιακή σύνθεση των επί μέρους χαρτών για κάθε παράγοντα, έτσι όπως δίνονται στα Σχήμα 4.9, 4.10, 4.12, 4.14. Η σχέση με την οποία γίνεται η εκτίμηση της επιδεκτικότητας, δίνεται από τη σχέση:

$$LSI = L_r \times 0,5396 + S_r \times 0,2715 + R_r \times 0,1317 + V_r \times 0,0573$$

Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο δείκτης αυτός είναι 10 και η ελάχιστη 1. Η επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, χωρίστηκε σε 5 κατηγορίες, με την ισοκατανομή των επί μέρους κατηγοριών i) Πολύ χαμηλή: 1-2,8 ii) Χαμηλή: 2,8-4,6 iii) Ενδιάμεση: 4,6-6,4 iv) Υψηλή 6,4-8,2 v) Πολύ υψηλή 8,2-10.



Σχήμα 4.15: Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, για την εξεταζόμενη περιοχή, ο οποίος προέκυψε με την εφαρμογή της Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεραρχίας (ΑΗΡ), για την εξαγωγή των συντελεστών βαρύτητας των επί μέρους παραμέτρων.

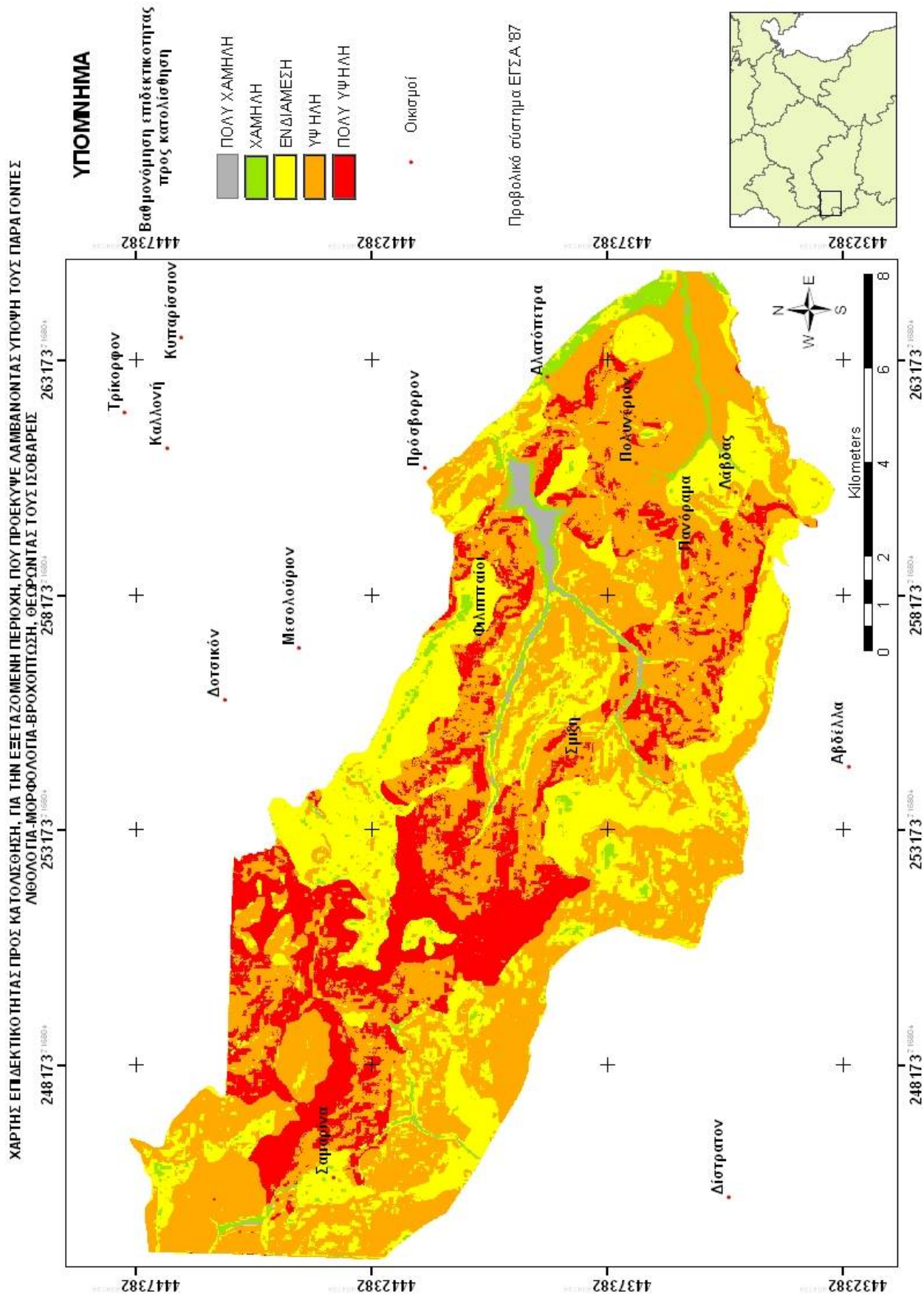
4.4.7 Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, με τη χρήση μιας απλουστευμένης παραμετροποίησης

Μια πιο απλουστευμένη παραμετροποίηση που επιχειρείται, είναι αυτή που υπολογίζει την επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, λαμβάνοντας υπόψη τους σημαντικότερους των παραγόντων και θεωρώντας τους ισοβαρείς (Van Westen et al., 2006). Στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης, θεωρήθηκε ότι οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή είναι η λιθολογία, η μορφολογία και η βροχόπτωση. Η σχέση που δίνει τον προκύπτοντα δείκτη επιδεκτικότητας, είναι η κάτωθι:

$$LSI = L_r + S_r + R_r$$

Από την ψηφιακή σύνθεση των αντίστοιχων χαρτών, προκύπτει ο χάρτης του Σχήματος 4.16.

Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο δείκτης αυτός είναι 30 και η ελάχιστη 3. Η επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, χωρίστηκε σε 5 κατηγορίες, με την ισοκατανομή των επί μέρους κατηγοριών: i) Πολύ χαμηλή: 3-8,4 ii) Χαμηλή: 8,4-13,8 iii) Ενδιάμεση: 13,8-19,2 iv) Υψηλή 19,2-24,6 v) Πολύ υψηλή 24,6-30.



Σχήμα 4.16: Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, για την εξεταζόμενη περιοχή, ο οποίος προέκυψε με απλοποιημένη παραμετροποίηση των τριών κύριων παραγόντων (λιθολογίας, μορφολογίας, βροχόπτωσης), οι οποίοι θεωρήθηκαν ισοβαρείς.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας απ' όλα τα παραπάνω, αναφέρονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης.

- Οι μέθοδοι βαθμονόμησης, αποτελούν σημαντικές εφαρμογές στους κλάδους των γεωεπιστημών, διότι έχουν ως άμεσο στόχο την ποσοτικοποίηση των φυσικών φαινομένων, στο μέτρο του δυνατού και αποτελούν μεθόδους οι οποίες όσο περισσότερο εφαρμόζονται, τόσο περισσότερο βελτιώνονται, ελαττώνοντας σημαντικά τα εξαγόμενα σφάλματα και τις ανεπιθύμητες γενικεύσεις.

- Η εφαρμογή τους στην εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, είναι ευρεία. Παρόλα αυτά δεν αποτελούν απόλυτες μεθόδους. Είναι ιδιαίτερα ευέλικτες, παρότι δεν έχει βρεθεί κάποια μέθοδος η οποία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις.

- Σε καμία περίπτωση η εφαρμογή των εκάστοτε μεθόδων δεν αντικαθιστά τις εργασίες υπαίθρου. Αντιθέτως, οι σωστές, εκτενείς και ολοκληρωμένες εργασίες υπαίθρου, συμβάλλουν καταλυτικά στην κατανόηση του φυσικού συστήματος στο σύνολό του και κατά συνέπεια τροποποιούν και βελτιώνουν τις επί μέρους μεθοδολογίες.

- Η αβεβαιότητα και η σχετική υποκειμενικότητα, είναι συνυφασμένες με τις εκάστοτε μεθόδους. Η καλή οργάνωση των χρησιμοποιούμενων στοιχείων, η σωστή δειγματοληψία και η χρήση, κατά το δυνατόν, λιγότερων απλοποιήσεων και παραδοχών, οδηγούν στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

- Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης είχε ως στόχο την εφαρμογή επιλεγμένων μεθόδων βαθμονόμησης, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών.

- Η μέθοδος που επιλέχθηκε για της εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση ήταν η DRASTIC, η οποία εφαρμόστηκε με ορισμένες τροποποιήσεις, βιβλιογραφικά εμπεριστατωμένες.

- Η εκτίμηση της τρωτότητας έγινε για τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης, ο οποίος αποτελεί άμεση, αλλά όχι ανεξάντλητη πηγή πόσιμου ύδατος, για το Δήμο Κοζάνης και για λοιπούς Δήμους, καθώς εξυπηρετεί και τους αρδευτικούς σκοπούς των υφιστάμενων καλλιεργειών.

- Ο υδροφορέας της Σαριγκιόλ τελεί υπό εντατικό καθεστώς άντλησης και το υδατικό του ισοζύγιο υπολογίστηκε αρνητικό κατά $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ για το έτος 2005.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξάγονται από την εφαρμογή της μεθοδολογίας DRASTIC στον υδροφορέα της Σαριγκιόλ είναι τα κάτωθι:

1) Όλοι οι χάρτες τρωτότητας (ιδιοτρωτότητας-DI, τροποποιημένης ιδιοτρωτότητας-MDI, ιδιοτρωτότητας κατά Panagopoulos et al., 2005 και ειδικής τρωτότητας κατά Panagopoulos et al., 2005), απεικονίζουν την περιοχή ανατολικά της Ποντοκόμης, το βόρειο τμήμα του υδροφορέα, στην ευρύτερη περιοχή Α-ΝΑ του Κλείτου και στο ανατολικό τμήμα αυτού, στην εγγύτερη περιοχή του Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου, ως περιοχές πολύ υψηλής και υψηλής τρωτότητας.

2) Ο χάρτης του Σχήματος 3.53, που προέκυψε για την ιδιοτρωτότητα (σύμφωνα με την παραμετροποίηση που προτείνουν οι Panagopoulos et al., 2005), κατατάσσει το μεγαλύτερο τμήμα του υδροφορέα με πολύ υψηλή έως υψηλή τρωτότητα. Στις περιοχές της πολύ υψηλής τρωτότητας, συμπεριλαμβάνεται και η περιοχή του ΝΔ τμήματος του υδροφορέα, η οποία εντοπίζεται ανατολικά του Μαυροδενδρίου και ΒΒΑ του Δρεπάνου.

3) Στο χάρτη του Σχήματος 3.54, που προέκυψε για την ειδική τρωτότητα (σύμφωνα με την παραμετροποίηση που προτείνουν οι Panagopoulos et al., 2005), οι περιοχές πολύ υψηλής τρωτότητας ταυτίζονται αρκετά με αυτές που προτείνουν οι ίδιοι ερευνητές για την ειδική τρωτότητα.

4) Σύμφωνα με το χάρτη 3.52, της τροποποιημένης μεθόδου DRASTIC, ο υδροφορέας παρουσιάζει σε αρκετά μεγάλο τμήμα του χαμηλή τρωτότητα, ενώ στο ΝΑ του τμήμα, στην περιοχή Β-ΒΔ της Κοιλιάδας, η τρωτότητα είναι πολύ χαμηλή.

5) Ο χάρτης ιδιοτρωτότητας του Σχήματος 3.49 (ο οποίος προέκυψε από τη βαθμονόμηση των 6 πρώτων από τους 7 παράγοντες της τυπικής μεθόδου DRASTIC), δείχνει να έχει αρκετά καλή ταύτιση με αυτόν που προτείνει η τροποποιημένη μέθοδος DRASTIC. Στην τελευταία, ο παράγοντας της υδραυλικής αγωγιμότητας, αντικαταστάθηκε (λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων) με τον παράγοντα της χρήσης γης.

Η εκτίμηση της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση εφαρμόστηκε στην εγγύτερη περιοχή του οδικού άξονα Σαμαρίνας – Φιλιππαίων – Αλατόπετρας, Ν. Γρεβενών, στην οποία τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα έντονα.

Η περιοχή δομείται κατά το μεγαλύτερό της μέρος από τους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ζώνης Πίνδου, επάνω στην οποία επωθούνται οι ιουρασικοί οφιόλιθοι.

Για την εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, εφαρμόστηκαν δύο βαθμονομήσεις, με απλές μεθόδους δεικτών.

Η πρώτη βαθμονόμηση έλαβε υπόψη της τους παράγοντες: i) Λιθολογία, ii) Μορφολογία-κλίσεις πρανών, iii) Βλάστηση-Εδαφική κάλυψη και iv) Βροχόπτωση. Οι συντελεστές βαρύτητας των τεσσάρων παραμέτρων υπολογίστηκαν με την εφαρμογή της Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεραρχίας (AHP).

Από τον προκύπτοντα τελικό χάρτη επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, βρέθηκε υψηλή έως πολύ υψηλή επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση στο κεντρικό τμήμα της περιοχής.

Με την εφαρμογή μιας πιο απλοποιημένης παραγοντοποίησης, η οποία θεωρεί τους σημαντικότερους παράγοντες ισοβαρείς, προέκυψε ένας δεύτερος χάρτης επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση αυτή, ήταν: i) Λιθολογία, ii) Μορφολογία-κλίσεις πρανών, iii) Βροχόπτωση.

Από τη σύγκριση των δύο χαρτών, βρέθηκε ότι υπάρχει καλή ταύτιση των περιοχών που κατατάσσονται στις υψηλά έως πολύ υψηλά επιδεκτικές προς κατολίσθηση.

Συγκρίνοντας τους δύο αυτούς χάρτες με τον γεωλογικό χάρτη της εξεταζόμενης περιοχής, προκύπτει πώς τα όρια των περιοχών που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως πολύ υψηλή επιδεκτικότητα προς κατολίσθηση, σχεδόν ταυτίζονται με τα γεωλογικά όρια της ιλυολιθικής-χαοτικής φάσης του φλύσχη, καθιστώντας αυτόν το σχηματισμό, πολύ επιδεκτικό στην εκδήλωση κατολισθήσεων.

Από όλα τα παραπάνω και με γνώμονα τη βελτίωση των εφαρμοζόμενων μεθόδων και την καλύτερη προσαρμογή των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη, τόσο για την εκτίμηση των τρωτών σε ρύπανση περιοχών του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, όσο και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών της ευρύτερης περιοχής του οδικού άξονα Σαμαρίνας-Φιλιππαίων-Αλατόπετρας, προτείνονται τα κάτωθι:

- 1) Διεξαγωγή εκτεταμένων υδροχημικών αναλύσεων στην έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας της Σαριγκιόλ.
- 2) Διεξαγωγή κατά το δυνατόν, εκτεταμένων δοκιμαστικών αντλήσεων στην έκταση του υδροφορέα της Σαριγκιόλ, για την καλύτερη κατανόηση των υδραυλικών παραμέτρων που επικρατούν σ' αυτόν.
- 3) Συνεχής παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου νερού, καθ' όλη την έκταση του υδροφορέα, για την επίτευξη της συνεχούς ανανέωσης των εξαγχθέντων χαρτών τρωτότητας.
- 4) Εκτεταμένη χαρτογράφηση υπαίθρου και καταγραφή των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή εφαρμογής της εκτίμησης της

επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση, για τη μελλοντική ζωνοποίηση της περιοχής, όσον αφορά την επικινδυνότητα και τον κίνδυνο προς κατολίσθηση.

- 5) Δημιουργία βάσης δεδομένων που θα αναφέρεται στις ιστορικές καταγραφές παλαιότερων κατολισθήσεων στην περιοχή, στο μέγεθος και την έκταση αυτών (όποτε είναι αυτό δυνατό). Η μετέπειτα στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων, αποβλέπει στην πιο επιτυχή εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών.
- 6) Λεπτομερής χαρτογράφηση, σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή, των ενεργών κατολισθήσεων και των παλαιό-κατολισθήσεων. Η εκτενής αυτή εργασία θα αποβλέπει στην κατανόηση των ακριβών παραμέτρων, που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και στην εκτίμηση της σχετικής σημαντικότητας καθεμίας από αυτές τις παραμέτρους, έναντι των υπολοίπων.
- 7) Εφαρμογή πιθανολογικών, στοχαστικών και αιτιοκρατικών μοντέλων, για την εκτίμηση του κινδύνου προς κατολίσθηση στην εξεταζόμενη περιοχή. Οι μέθοδοι αυτές αποβλέπουν στην πιο ολοκληρωμένη γνώση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, στην ποσοτικοποίηση της πιθανότητας πρόκλησης δυσμενών, πιθανά καταστροφικών επιπτώσεων, με απώτερο στόχο την προστασία των πολιτών και των περιουσιών τους, από την εκδήλωση καταστροφικών κατολισθητικών φαινομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L. & Baban, S.M.J. (2003).** *Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC.* Applied Geography, vol. 23, pp. 303-324.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. & Hackett, G. (1987).** *DRASTIC: A Standarized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Setting.* EPA/600/2-87/035. U.S. Environmental Protection Agency.
- Al Kuisi, M., El-Naqa, A. & Hammouri, N. (2006).** *Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area, Jordan.* Environmental Geology, vol. 50, pp. 651-667.
- Anbalagan, R. & Singh, B. (1996).** *Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains - a case study from Kumaun Himalaya, India.* Engineering Geology, vol. 43, pp. 237-246.
- Appelo, J.A.C. & Postma, D. (1996).** *GEOCHEMISTRY, GROUNDWATER AND POLLUTION.* A.A. BALKEMA, ROTTERDAM, pp. 536.
- Avanzi, D' Amato, G., Giannecchini, R. & Puccinelli, A. (2004).** *The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy).* Engineering Geology, vol. 73, pp. 215-228.
- Al-Zabet, T. (2002).** *Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method.* Environmental Geology, vol. 43, pp. 203-208.
- Anbalagan, R. (1992).** *Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain.* Engineering Geology, vol. 32, pp. 269-277.
- Anbalagan, R. & Singh, B. (1996).** *Landslide hazard and risk assessment of mountainous terrains.* Engineering Geology, vol. 43, pp. 237-246.
- Ayenew, T. & Bardieri, G. (2005).** *Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia.* Engineering Geology vol. 77, pp. 10-15.
- Ayelew, L. Yamagishi, H. Marui, H. & Kanno, T. (2005).** *Landslide in Salo Island of Japan: Part II. GIS- based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications.* Engineering Geology vol. 81, pp. 432-445.

- Babiker, S.I., Mohamed, A.A.M., Hiyama, T. & Kato, K. (2005).** *A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan.* Science of the Total Environment, vol. 345, pp. 127-140.
- Banton, O. & Villeneuve, J. (1989).** *Evaluation of groundwater vulnerability to pesticides: a comparison between the pesticide drastic index and the przm leaching quantities.* Journal of Contaminant Hydrology, vol. 4, pp. 285-296.
- Bottelberghs, P.H. (2000).** *Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands.* Journal of Hazardous Materials, vol. 71, pp. 59-84.
- Boulding, R.J. (1995).** *Practical Handbook of SOIL, VADOSE ZONE and GROUNDWATER CONTAMINATION: Assessment, Prevention and Remediation.* CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, pp. 948.
- BRUNN, J. (1952).** ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΝ, κλίμακας 1:50.000. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ.
- Cameron, E. (2005).** *Aquifer's vulnerability to pollution: a space, time and event dependent measure.* Environmental Geology, vol. 47, pp. 653-659.
- Canter, W.L. (1997).** *NITRATES in GROUNDWATER.* CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, pp. 263.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P. (1991).** *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard.* Earth Surface Processes and Landforms, vol. 16, pp. 427-445.
- Cevik, E. & Topal, T. (2003).** *GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey).* Environmental Geology, vol. 44, pp. 949-962.
- Civita, M. & De Maio, M. (2004).** *Assessing groundwater vulnerability to contamination: The Italian "combined" approach.* Geofísica Internacional, vol. 43, Num. 4, pp. 513-532.
- Clerici, A. Perego, S. Tellini, C. & Vescovi, P. (2002).** *A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method.* Geomorphology, vol. 48, pp. 349-364.
- CORNFORTH, H.D. (2004).** *LANDSLIDES in PRACTICE: Investigation, Analysis and Remediation/Preventative Options in Soils.* John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, pp. 596.

- Corniello, A., Ducci, D. & Napolitano, P. (1997).** *Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using a GIS: An example in the 'Piana Campana', Southern Italy.* Engineering Geology and the Environment, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (eds). Balkema, Rotterdam. pp. 1721-1726.
- Corniello, A., Ducci, D. & Monti, M.G. (2004).** *Aquifer pollution vulnerability in the Sorrento peninsula, southern Italy, evaluated by SINTACS method.* Geofisica Internacional, vol. 43, Num. 4, pp. 575-581.
- COST ACTION 620. (2003).** *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers, Final Report.*
<http://www1.unine.ch/chyn/pdf/FinalReportCOST620.pdf>.
- Cruden, D. (1991).** *A simple definition of landslide.* Bulletin of the International Association of Engineering Geology, vol. 43, pp. 27-29.
- Dai, C.F., Lee, F.C. & Ngai, Y.Y. (2002).** *Landslide risk assessment and management: an overview.* Engineering Geology, vol. 64, pp. 65-87.
- Dai, C.F., Lee, F.C. & Wang, J.S. (1999).** *Analysis of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong.* Engineering Geology, vol. 51, pp. 279-290.
- Dai, C.F., Lee, F.C. & Xu, W.Z. (2001).** *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong.* Environmental Geology, vol. 40, Issue 3, pp. 381-391.
- Dixon, B. (2005).** *Applicability of neuro – fuzzy techniques in predicting ground – water vulnerability: a GIS – based sensitivity analysis.* Journal of Hydrology, vol. 309, pp. 17-38.
- Doerfliger, N., Jeannin, P.-Y. & Zwahlen, F. (1999).** *Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method).* Environmental Geology, vol. 39, Issue 2, pp. 165-176.
- Donati, L. & Turrini, C.M. (2002).** *An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy).* Engineering Geology, vol. 63, pp. 277-289.
- Ducci, D. (1999).** *GIS Techniques for Mapping Groundwater Contamination Risk.* Natural Hazards, vol. 20, pp. 279-294.

- Ercanoglu, M. & Gonkceoglu, C. (2002).** *Assessment of landslide susceptibility for a landslide – prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach.* Environmental Geology, vol. 41, pp. 720-730.
- Ermini, L. Canati, F. & Casagli, N. (2005).** *Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment.* Geomorphology, vol. 66, pp. 327-343.
- Fell, R. (1994).** *Landslide risk assessment and acceptable risk.* Canadian Geotechnical Journal, vol. 31, pp. 261-272.
- Fernandez, I.C., Del Castillo F.T., Hamdouni, R. & Montero C.J. (1999).** *Verification of landslide susceptibility mapping: A case study.* Earth Surface Processes and Landforms, vol. 24, pp. 537-544.
- Fritch, G.T., McKnight, L.C. & Yelderman, C.J.Jr. (2000).** *An Aquifer Vulnerability Assessment of the Paluxy Aquifer, Central Texas, USA, Using GIS and a Modified DRASTIC Approach.* Environmental Management, vol. 25, No. 3, pp. 337-345.
- Gogu, C.R. & Dassargues A. (2000).** *Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods.* Environmental Geology, vol. 39, Issue 6, pp. 549-559.
- Gogu, C.K., Hallet, V. & Dassargues, A. (2003).** *Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Néblon river basin (Belgium).* Environmental Geology, vol. 44, pp. 881-892.
- Gökçeoğlu, C. & Askoy, H. (1996).** *Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques.* Engineering Geology, vol. 44, pp. 147-161.
- Gómez, H. & Kavzoglu, T. (2005).** *Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela.* Engineering Geology, vol. 78, pp. 11-27.
- Gupta, P.R. & Joshi, C.B. (1990).** *Landslide hazard zonation using the GIS approach – a case study from the Ramganga catchment, Himalayas.* Engineering Geology, vol. 28, pp. 119-131.
- Guzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. (1997).** *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study.* Geomorphology, vol. 31, pp. 181-216.
- Huddleston, H.J. (1996).** *How soil properties affect groundwater vulnerability to pesticide contamination.*
<http://www.pw.ucr.edu/textfiles/Soil%20Properties%20and%20Groundwater%20Contamination.pdf>

- Jasrotia, S.A., & Singh, R. (2005).** *GROUNDWATER POLLUTION VULNERABILITY USING THE DRASTIC MODEL IN A GIS ENVIRONMENT, DEVAK-RUI WATERSHEDS, INDIA.* Journal of Environmental Hydrology, vol. 13, Paper 11, pp. 1-10.
- Kalinski, J.R., Kelly, E.W., Bogardi, I., Ehrman, L.R., Yamamoto O.P. (1994).** *Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska.* Ground Water, vol. 32, Issue 1, pp. 31-34.
- Kim, J.Y. & Hamm., Y.S. (1999).** *Assessment of the potential for groundwater contamination using the DRASTIC/EGIS technique, Cheongju area, South Korea.* Hydrogeology Journal, vol. 7, pp. 227-235.
- Komac, M. (2006).** *A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia.* Geomorphology, vol. 74, pp. 17-28.
- Lake, R. I., Lovett, A.A., Hiscock, M.K., Betson, M., Foley, A., Sünnerberg, G., Evers, S. & Fletcher, S. (2003).** *Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS.* Journal of Environmental Management, vol. 68, pp. 315-328.
- LEE, M.E. & JONES, D.K.C. (2004).** *LANDSLIDE RISK ASSESSMENT.* Thomas Telford Publishing. London, pp. 454.
- Lineback, M., Andrew, W., Aspinall, R. & Custer, S. (2001).** *Assessing landslide potential using GIS soil wetness modelling and topographic attributes, Payette River, Idaho.* Geomorphology, vol. 37, pp. 149-165.
- Lee, S. Chwae, U. & Min, K. (2002).** *Landslide susceptibility mapping by correlation between topology and geological structure: the Janghung area, Korea.* Geomorphology, vol. 46, pp. 149-162.
- Lee, S. & Min, K. (2001).** *Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea.* Environmental Geology, vol. 40, pp. 1095-1113.
- Lee, S. Ryu, J. Won, J. & Park, H. (2004).** *Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network.* Engineering Geology, vol. 7, pp. 289-302.
- Lee, S. & Sambath, T. (2006).** *Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models.* Environmental Geology, Article in Press.
- Lindström, R. (2005).** *GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT USING PROCESS-BASED MODELS.*

- Loague, K. and Green, R.E. (1991).** *Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application.* Journal of Contaminant Hydrology, vol. 7, pp. 51-73.
- Marston, R., Miller, M. & Devkota, L. (1998).** *Geoecology and mass movements in the Manaslu Ganesh and Langatang-Jural Himals, Nepal.* Geomorphology, vol. 26, pp. 139-150.
- McLay, C.D.A., Dragden, R, Sparling, G. & Selvarajah, N. (2001).** *Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches.* Environmental Pollution, vol. 115, pp. 191-204.
- Moreiras, M.S. (2005).** *Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina.* Geomorphology, vol. 66, pp. 345-357.
- Msilinba, G.G & Holmes, J.P. (2005).** *A Landslide Hazard Assessment and Vulnerability Appraisal Procedure: Vunguvungu/Banga Catchment, Northern Malawi.* Natural Hazards, vol. 34, pp. 199-216.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. & Khire, M.V. (2000).** *Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions.* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 58, pp. 275-287.
- National Research Council (1993).** *Ground Water Vulnerability Assessment: Predicting Relative Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty.* National Academy Press. Washington, D.C., pp. 204.
- Navulur, K.C.S. & Engel, B.A. (1998).** *Groundwater vulnerability assessment to no-point source nitrate pollution on a regional scale using GIS.* Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 41, pp. 1671-1678.
- Neaupane, M.K. & Piantanakulchai, M. (2006).** *Analytic network process model for landslide hazard zonation.* Engineering Geology, vol. 85, pp. 281-294.
- Pachauri, K.A. & Pant, M. (1992).** *Landslide hazard mapping based on geological attributes.* Engineering Geology, vol. 32, pp. 81-100.
- Pachauri, K.A. Gupta, V.P. & Chander, R. (1998).** *Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas.* Environmental Geology, vol. 36, pp. 325-334.
- Panagopoulos, P.G., Antonakos, K.A. & Lambrakis, J.N. (2005).** *Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS.* Hydrogeology Journal.

- Perrin, J. Pochon, A. Jeannin, Y.-P. & Zwahlen, F. (2004).** *Vulnerability assessment in karstic areas: validation by field experiments.* Environmental Geology, vol. 46, pp. 237-245.
- Pratt, P.F., Jones, W.W. and Hunsaker, V.E. (1972).** *Nitrate in deep soil profiles on relation to fertilizer rates and leaching volume.* Journal of Environmental Quality, vol. 1, Issue 1, pp. 97-102.
- Qin, Q.S., Jiao, J.J. & Wang, J.S. (2001).** *The predictable time scale of landslides.* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 59, pp. 307-312.
- Remondo, J., Bonchea, J. & Cendrero, A. (2005).** *A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment.* Landslides, vol. 2, pp. 321-328.
- Riley, J.A., Steinhorst, R.K., Winter, G.V. and Williams, R.E. (1990).** *Statistical analysis of the hydrochemistry of groundwaters in Columbia River basalts.* Journal of Hydrology, vol. 119, pp. 245-262.
- Rosen, L. (1994).** *A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions.* Ground Water, vol. 32, pp. 278-285.
- Saha, K.A., Gupta, P.R. & Arora, K.M. (2001).** *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Honk Kong.* Environmental Geology, vol. 40, pp. 381-391.
- Saha, K.A., Gupta, P.R., Sarkar, I., Arora, K.M. & Csaplovics, E. (2005).** *An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation - with a case study in the Himalayas.* Landslides, vol. 2, pp. 61-69.
- Secunda, S. Collin, L.M. and Melloul, J.A. (1998).** *Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region.* Journal of Environmental Management, vol. 54, pp. 39-57.
- Shadid, S. (2000).** *A STUDY OF GROUNDWATER POLLUTION VULNERABILITY USING DRASTIC/GIS, WEST BENGAL, INDIA.* Journal of Environmental Hydrology, vol. 8, Paper 1, pp. 1-9.
- THIRUMALAIVASAN, D. (2001).** *AQUIFER VULNERABILITY ASSESSMENT USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND GIS FOR UPPER PALAR WATERSHED.* 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore.
- Thirumalaivasan, D., Karmegam, M. & Venugopal, K. (2003).** *AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS.*

- Thornthwaite, C.W. & Mather J.R. (1955).** *The water budget and its use in irrigation water in the year book of agriculture.* US Department of Agriculture, USDA, Washington, DC.
- Uricchio, F.V., Giornado, R. & Lopez, N. (2004).** *A fuzzy knowledge – based decision support system for groundwater pollution risk evaluation.* Journal of Environmental Management, vol. 73, pp. 189-197.
- Uromeihy, A. & Mahdaviar, R.M. (2000).** *Landslide hazard zonation of Khorshrostan area, Iran.* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 58, pp. 207-213.
- U.S. Geological Survey. (1999).** *Improvements to the DRASTIC Ground-Water Vulnerability Mapping Method.* U.S.G.S. Fact Sheet FS-066-99. (<http://id.water.usgs.gov/PDF/factsheet/DRASTIC.pdf>)
- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J. & Soeters, R. (2006).** *Landslide hazard and risk zonation-why is it so difficult?* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 65, pp. 167-184.
- Vías, M.J., Andreo, B., Perles, J.M. & Carrasco, F. (2004).** *A comparative study of four schemes for groundwater vulnerability mapping in a diffuse flow carbonate aquifer under Mediterranean climatic conditions.* Environmental Geology, vol. 47, pp. 586-595.
- Yesilnacar, E. & Topal, T. (2005).** *Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (turkey).* Engineering Geology, vol. 79, pp. 251-266.
- Wachal, J.D. & Hudak, F.P. (2000).** *Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA.* Geojournal, vol. 51, pp. 245-253.
- Worrall, F. & Kolpin, W. (2004).** *Aquifer vulnerability to pesticide pollution – combining soil, land – use and aquifer properties with molecular descriptors.* Journal of Hydrology, vol. 293, pp. 191-204.
- ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Ι. ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, Κ. & FAUGERES, L. (1980).** ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΚΟΖΑΝΗΣ, κλίμακας 1:50.000. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ.
- ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (1992).** ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΕΠ. ΚΟΖΑΝΗΣ ΚΑΙ ΕΟΡΔΑΙΑΣ. Κοζάνη.
- ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (1992).** ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΕΠ. ΒΟΪΟΥ. Κοζάνη.

- ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (2001).** ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ – ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ. Κοζάνη.
- ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (2005).** ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΦΙΛΙΠΠΑΙΩΝ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ. Κοζάνη.
- ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε. (2005).** ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΑΜΑΡΙΝΑΣ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ. Κοζάνη.
- ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ. (2004).** ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας. Θεσ/νίκη.
- ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ. (2005).** ΘΕΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. Έκδοση Τμήμα Εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη.
- Βουδούρης, Κ. & Μανδηλαράς, Δ. (2004).** ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΓΛΑΥΚΟΥ (Ν. ΑΧΑΪΑΣ). ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ, τ. 14, σελ. 17-30.
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1976).** ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΒΕΛΒΕΝΔΟΣ, κλίμακας 1:50.000. ΑΘΗΝΑ.
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1980).** ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΚΟΖΑΝΗ, κλίμακας 1:50.000. ΑΘΗΝΑ.
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1976).** ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΣΙΑΤΙΣΤΑ, κλίμακας 1:50.000. ΑΘΗΝΑ.
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1970).** ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ, κλίμακας 1:50.000. ΑΘΗΝΑ.
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1976).** ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΚΟΝΙΤΣΑ, κλίμακας 1:50.000. ΑΘΗΝΑ.
- ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, Μ.Α. (1998).** ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ. Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος Γεωλογίας, Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.
- ΔΟΜΑΚΙΝΗΣ, Χ. (2005).** Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ, ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ-

ΚΑΒΑΛΑΣ. Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος Γεωλογίας, Ειδίκευση: Γεωγραφία και Περιβάλλον. Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ & ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ. (2001). *Εδαφοχημική – Εδαφολογική Έρευνα περιοχής Κοζάνης – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.* Τόμος Ι. Β' Κ.Π.Σ., Π.Ε.Π. Δυτικής Μακεδονίας. Αθήνα.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Α.Γ. (2000). *ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, ΤΟΜΟΣ Β' - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, Δεύτερη έκδοση.* ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, 345 σελ. ΑΘΗΝΑ.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. & ΚΟΥΚΗΣ, Γ. (1985). *ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ.* ΕΚΤΥΠΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ, 558 σελ. Πάτρα.

Κολοβός, Ι.Ν. (2001). *ΤΟ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ.* Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 233 σελ. Θεσ/νίκη.

Κούκης, Γ. και Ζιούρκας, Κ. (1989). *ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ-ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ.* ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ, τεύχος 58, σελ. 39-57.

ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, Κ. (1982). *ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΠΥΡΓΟΙ, κλίμακας 1:50.000.* ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ.

Κουμαντάκης, Ι. (1999). *ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΙ Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ.* ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.

Κουμαντάκης, Ι., Παπαδόπουλος, Σ.Θ. (1999). *ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΛΙΜΕΙΑ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ – ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ Α.Κ.Π.-Α. ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΖΑΝΗΣ-ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ.* ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.

Κωνσταντοπούλου, Γ. και Βακονδίδης, Ι. ΔΟΚΙΜΙΟΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΦΛΥΣΧΗ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ, κλίμακας 1:20.000. Ι.Γ.Μ.Ε.

ΛΟΥΛΟΥΔΗΣ, Γ. (1990). *ΕΙΔΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΝΟΤΙΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ.* ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ, ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΟΡΥΧΕΙΩΝ. ΑΘΗΝΑ.

ΜΑΥΡΙΔΗΣ, Α., ΚΕΛΕΠΕΡΤΖΗΣ, Α. & FAUGERES, L. (1980). ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΣΙΑΤΙΣΤΑ, κλίμακας 1:50.000. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ.

Μελαδιώτης, Ι., Τρανός, Μ. και Τσολακόπουλος, Ε. (2001). Εντοπισμός και χαρτογράφηση ρηξιγενών δομών στο ανατολικό τμήμα του ορεινού όγκου του Άσκιου (Δ. Μακεδονία) με τη βοήθεια ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων. ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, τόμος 11, τεύχος 1-2, σελ. 19-34.

Μελαδιώτης, Ι. (2002). Έρευνα εντοπισμού του υπεδαφικού, μειοκαινικού κροκαλοπαγή υδροφορέα Ποντοκόμης - Μαυροδεσφιδίου στη Λεκάνη Σαριγκιόλ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, τόμος 12, τεύχος 1-2, σελ. 105-120.

Μήτρου, Π. (1999). ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΝΠ (1999-2001) ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ. Εσωτερική έκθεση Δ.Ε.Η. Α.Κ.Δ.Μ. - ΟΡΥΧΕΙΟ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.

Μουντράκης, Μ.Δ. (1985). ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ. UNIVERSITY STUDIO PRESS. ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Α. (1983). ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ (ΝΟΤΙΟΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ). ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (Ι.Γ.Μ.Ε.), ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΟΖΑΝΗΣ. ΚΟΖΑΝΗ.

ΠΑΤΡΙΚΑΚΗ, Ο. (2002). ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ. Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος Γεωλογίας, Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.

ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Β.Σ. (1985). ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ-ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ-ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ (Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ). Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Χ.Γ. (1986). ΓΕΝΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ. UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσ/νίκη.

Στάμος, Α. (2001). ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ Ή ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (Ι.Γ.Μ.Ε.), Περιφερειακή μονάδα Δυτικής Μακεδονίας. Κοζάνη.

Σταμούλης, Κ. & Μήτρου, Π. (1997). *Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.* Εσωτερική έκθεση Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λ.Κ.Π.-Α. - ΟΡΥΧΕΙΟ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.

Σταμούλης, Κ. (2002). *ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΑΖΩΝ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΙΟΥΝΙΟ 2002 ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2009.* Εσωτερική έκθεση Δ.Ε.Η. Λ.Κ.Δ.Μ. - ΟΡΥΧΕΙΟ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.

Στουρνάρας, Γ. (1989). *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.* ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ-ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ. ΑΘΗΝΑ.

Τερζοπούλου, Ε. & Χατζησάββας, Κ. (2003). *Έκθεση για την πορεία αποστράγγισης των ορυχείων.* Δ.Ε.Η. Α.Ε. - Δ.Μ.Α.ΟΡ., Τομέας Υδρογεωλογικών και Γεωτεχνικών Μελετών. Αθήνα.

Τσουφλίδου, Σ. & Δημητρακόπουλος, Δ. (2005). *ΕΙΔΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ.* ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΟΡΥΧΕΙΩΝ, Δ.Ε.Η. Α.Ε. Αθήνα.

Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ. (1955). *ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΕΩΣ ΕΛΟΥΣ ΣΑΡΗΓΚΙΟΛ-ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΩΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΛΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ.* ΑΘΗΝΑ.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ - Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων. (2003). *ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ.* ΑΘΗΝΑ.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ. (1931). *ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΕΩΣ ΤΟΥ ΕΛΟΥΣ ΣΑΡΗ ΓΚΙΟΛ (Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ).* ΑΘΗΝΑ.

<http://www.sciencedirect.com>

<http://www.springerlink.com>

<http://landsides.usgs.gov>

<http://jpl.nasa.gov>

<http://glcf.umiacs.umd.edu>

<http://www.statistics.gr>

www.cs.toronto.edu/~sme/CSC340F/slides/tutorial-prioritization.pdf

<http://mdm.gwu.edu/Forman/DBO.pdf>

http://www.dittyproject.org/Article/Talk_AHP_DITTY.pdf

<http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/bk/sheets-7.pdf>

<http://www.dsto.defence.gov.au/publications/3476/DSTO-TN-0597.pdf>

<http://www.abo.fi/~rfuller/sda18.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I)
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Φωτο Π.1: *Επάνω:* Η κύρια αποστραγγιστική τάφρος, προέκταση του ρέματος Σουλού, η οποία διανοίχτηκε τεχνητά το 1954. Στο βάθος διακρίνεται το ΝΔ Βέρμιο και ο Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου.
Κάτω: Άποψη αποστραγγιστικής τάφρου, που συνδέεται με την κύρια τάφρο.





Φωτο Π.2: Άροση χωραφιού στην αποξηρανθείσα περιοχή του πρώην έλους Σαριγκιόλ (1960) (www.giapraki.com).



Φωτο Π.3: Αποψη του Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου.



Φωτο Π.4: Άποψη του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου.



Φωτο Π.5: Υδρογεώτρηση που χρησιμοποιείται από τη Δ.Ε.Η. για την αποστράγγιση των ανοιχτών εκσκαφών των ορυχείων. Τα αντλούμενα νερά οδηγούνται μέσω εκσκαπτόμενων τάφρων, όπως αυτή της φωτογραφίας, στο ρέμα Σουλού, με τελικό αποδέκτη τη λίμνη Βεγορίτιδα.



Φωτο Π.6: Άντληση υπόγειου νερού για άρδευση, από τον υδροφορέα της Σαριγκιόλ, στην περιοχή ανατολικά του Μαυροδενδρίου (1960) [www.giapraki.com].



Φωτο Π.7: Αστοχία σε οδόστρωμα, εντός του οικισμού των Φιλιππαίων (πηγή: ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.).



Φωτο Π.8: Αστοχία σε τοιχείο, εντός του οικισμού των Φιλιππαίων (πηγή: ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.).



Φωτο Π.9: Άποψη ενεργής κατολίσθησης, στον οικισμό της Σαμαρίνας (πηγή: ΑΝ.ΚΟ. Α.Ε.).

II)
ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ
ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ

<i>Κωδικός αριθμός/όνομα γεώτρησης</i>	<i>Χρήση</i>	<i>Ιδιοκτήτης</i>	<i>Πηγή</i>
097/320	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
098/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
100/346	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
100/392	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
106	Αρδευτική	ΚΟΚΚΙΝΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
106/272	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
106/280	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
106/296	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
106/336	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
108/311	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
109/356	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
113/320	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
114/288	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
116/347	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
120/342	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
122/272	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
122/296	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
122/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
122/376	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
124/351	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
127/309	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
127/326	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
130/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
130/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
131	Αρδευτική	ΕΥΘΥΜΙΑΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
133/333	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
133/416	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
134/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
137/348	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
138/356	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
138/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
138/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
138/392	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
139/300	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
142/380	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
143/361	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
144/304	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
146/350	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
146/376	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
146/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
146/396	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
150/340	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
150/354	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
154/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.

154/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
154/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
154/392	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
154/400	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
155	Αρδευτική	ΕΥΘΥΜΙΑΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
156/347	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
157/329	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
161/391	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
162/344	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
162/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
162/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
162/400	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
163/376	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
166/340	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
166/353	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
166/372	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
167/328	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
169	Αρδευτική	ΣΑΜΑΡΑΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
170/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
170/376	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
170/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
170/392	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
170/400	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
173	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
178/ 384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
174/364	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
18	Αρδευτική	ΑΙΝΑΛΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
182/352	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
183	Αρδευτική	ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
186/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
186/376	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
186/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
190/344	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
193	Αρδευτική	ΤΕΝΤΣΟΓΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
194/374	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
196/356	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
197	Αρδευτική	ΑΛΜΑΣΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
202/368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
202/384	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
204/272	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
206/280	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
210/345	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
211/313	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
216/296	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
218/303	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
219	Αρδευτική	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
222/288	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
222/327	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
224/360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
230/295	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
232	Υδρευτική	Δ. ΦΙΛΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
233	Αρδευτική	ΟΜΑΔΙΚΗ ΣΑΚΑΛΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»

238/296	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
249	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
251	Αρδευτική	ΜΩΥΣΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
256	Αρδευτική	ΡΟΥΣΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
258	Αρδευτική	ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
262	Αρδευτική	ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
265	Αρδευτική	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
267	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
279	Αρδευτική	ΜΑΡΜΑΝΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
285	Αρδευτική	ΚΑΛΕΜΚΕΡΙΔΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
289	Υδρευτική	ΚΟΙΝ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡ.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
290	Υδρευτική	ΚΟΙΝ. ΜΑΥΡΟΔΕΝ.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
300	Αρδευτική	ΣΟΤΟΓΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
306	Αρδευτική	ΟΜ. ΟΡΤΟΥΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
313	Αρδευτική	ΣΑΚΑΛΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
4	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
443	Αρδευτική	INTER BETON	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
454	Αρδευτική	ΜΕΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
77	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
80/338	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
86/332	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
87	Αρδευτική	ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
A21	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
AK 1	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
AK 2	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
NPS 219	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 339	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 344	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 348	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 351	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 360	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 366 A	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
NPS 38	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YKZ 1	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 10	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 12	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 14	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 2	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 3	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 4	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 4	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 5	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 6	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 7	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 8	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ 9	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
YKZ B	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
ΑΜΑΡΑΝΤΙΔΗ	Αρδευτική	ΑΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
Γ2 ή 50	Αρδευτική	ΚΟΙΝ. ΡΥΑΚΙΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
Γ3 ή 56	Αρδευτική	ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
Γ4 ή 58	Αρδευτική	ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
Γ6 ή 92	Αρδευτική	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»

Γ7 ή 94	Αρδευτική	?	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
Γ9 ή 82	Αρδευτική	ΟΜ. TENTZΟΓΛΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
Δ 177	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 257	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 288	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 295	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 318	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 362	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 364	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 368	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 392	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 396	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 398	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 444	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 448	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 512	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 516	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
Δ 518	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ	Υδρευτική	Δ. ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΔΗΜΟΥ ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	Υδρευτική	Δ. ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΛ_1	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΛ_2	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΛ_3	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΛ_4	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΛ_5	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΕΥΘΥΜΙΑΔΟΥ	Αρδευτική	ΕΥΘΥΜΙΑΔΟΥ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΚΑΜΕΝΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΚΑΜΕΝΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΑΜΕΝΙΔΗΣ	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΚΚΡ-52	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΟΙΛΩΝ	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
ΚΟΤΣΑΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΚΟΤΣΑΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΚΟΤΣΑΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΚΤ6Α-1	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΤ6Α-12	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΤ6Α-14	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΤ6Α-3	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΤ6Α-5	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΚΤ6Α-7	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΜΕΝΤΕΣΙΔΗ	Αρδευτική	ΜΕΝΤΕΣΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ	Αρδευτική	ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΟΜΑΔΙΚΗ ΣΑΚΑΛΗ	Αρδευτική	ΣΑΚΑΛΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗ	Αρδευτική	ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΑΣΧΑΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΑΣΧΑΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΑΥΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΠΑΥΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΕ_1	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΠΕ_2	Ερευνητική	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΠΕΡΙΣΑΝΙΔΟΥ	Αρδευτική	ΠΕΡΙΣΑΝΙΔΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΠΝΠ 14	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 15	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.

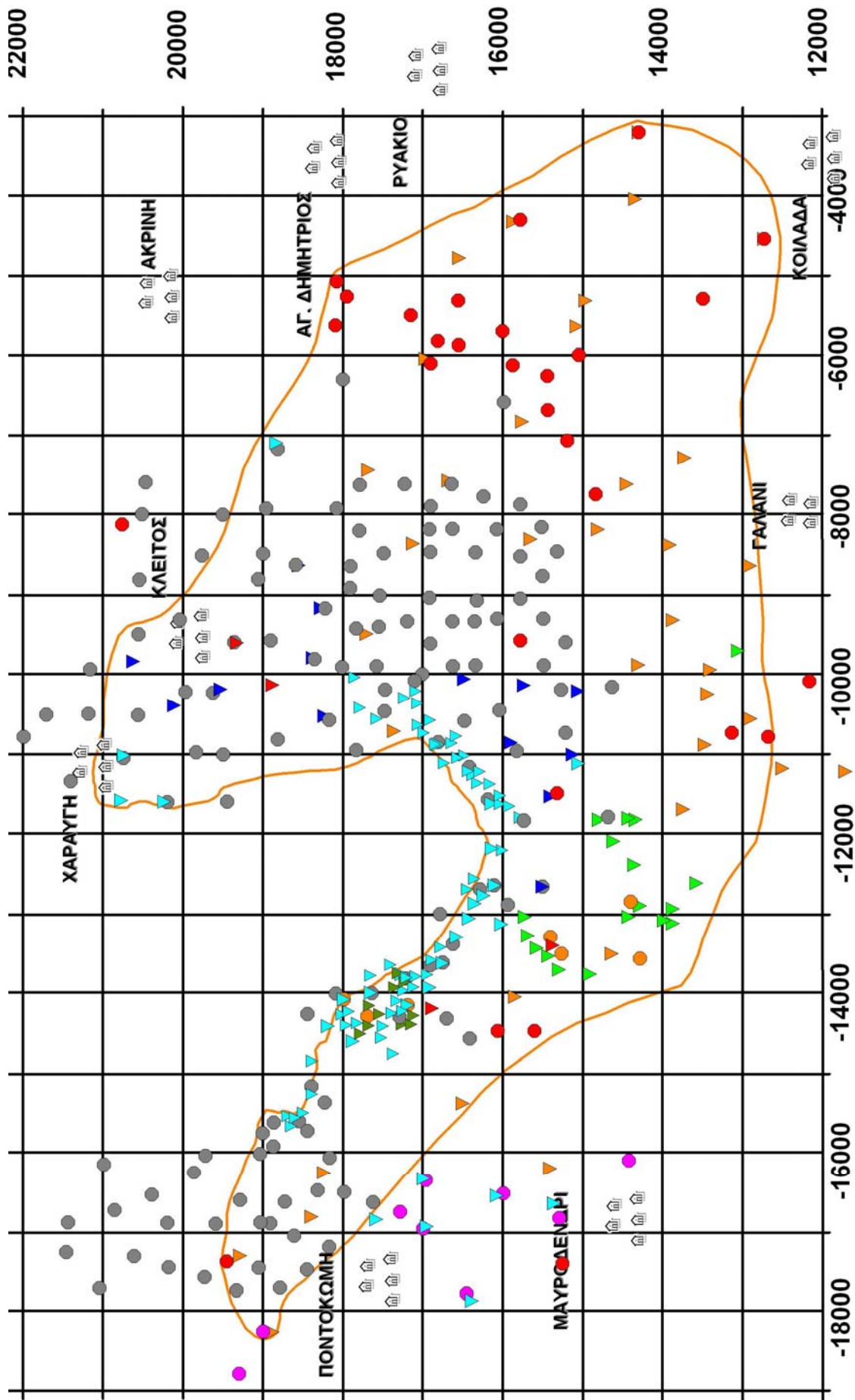
ΠΝΠ 18	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 21	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 22	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 23	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 24	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 25	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 27	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 28	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 29	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 2Α	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 30	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 32	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΝΠ 33	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΠΟΥΑΡΙΔΗ	Αρδευτική	ΠΟΥΑΡΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΡΗΓΑ	Αρδευτική	ΡΗΓΑ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΣΑΛΜΑΤΩΝΙΔΗ	Αρδευτική	ΣΑΛΜΑΤΩΝΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗ	Αρδευτική	ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗ	Αρδευτική	ΣΑΡΗΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΣΝΠ 423	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ	Υδρευτική	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	Δ.Ε.Υ.Α.Κ.
T6Δ-1	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-11	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-12	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-13	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-2	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-31	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-34	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-39	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-41	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-46	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-5	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
T6Δ-6	Λιθολογική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Αρδευτική	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Αρδευτική	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Αρδευτική	ΤΣΑΝΑΚΤΣΙΔΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΤΣΕΠΡΑΗΛΙΔΗ	Αρδευτική	ΤΣΕΠΡΑΗΛΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΥΑΝΠ 10	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΑΝΠ 11	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΑΝΠ 7	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.
ΥΑΝΠ 8	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.
ΥΓΠ1/98	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ10/99	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ12/99	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ13/99	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ14/00	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ2/98	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ3/98	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ6/98	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΓΠ8/98	Ερευνητική	-	Ζερβοπούλου Α. (προσ. επικ.)
ΥΔ 3	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΙ 144Ε	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.
ΥΙ 504	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.

YI 510E	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.
YI 513E	Αρδευτική	?	Δ.Ε.Η.
YNΠ 105	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 106	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 107	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 110	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 112	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 113	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 115	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 116	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 117	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 118	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 12	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 121	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 122	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 124	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 125	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 127	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 136	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 140	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 147	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 148	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 151	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 152	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 153	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 154	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 155	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 157	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 158	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 159	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 160	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 161	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 163	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 164	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 165	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 165A	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 166	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 167A	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 168	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 170	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 171	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 174	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 175	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 176	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 177	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 178	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 180	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 183	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 190	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 193	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 194	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
YNΠ 195	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.

ΥΝΠ 196	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 197	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 198	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 20/1	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 202	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 203	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 204	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 205	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 208	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 211	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 212	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 213	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 214	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 215	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 222	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 224	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 32	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 67	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 72	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΝΠ 87	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΠ 1	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 12	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 13	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 14	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 15	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 3	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	«ΕΛΙΜΕΙΑ»
ΥΠ 4	Πιεζόμετρο	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΣΡ 2	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΣΡ 5	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 205	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 206	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 301	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 303	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 319	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΥΤ6 320	Αποστραγγιστική	Δ.Ε.Η.	Δ.Ε.Η.
ΦΩΤΟΓΛΟΥ	Αρδευτική	ΦΩΤΟΓΛΟΥ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ
ΧΑΤΖΗΜΟΥΡΑΤΙΔΗ	Αρδευτική	ΧΑΤΖΗΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ	Διεύθ. Αγροτ. Ανάπτυξης - Ν.Α.Κ

Ν.Α.Κ. = Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κοζάνης

III)
ΧΑΡΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ
ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ



Χάρτης Π.1: Θέσεις όλων των γεωτρήσεων, της εγγύτερης περιοχής του υδροφώρα της Σαργικιάς (πορτοκαλί γραμμή), που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διατριβή Ειδικεύσεως. Οι βούλες αποτελούν γεωτρήσεις από τις οποίες λήφθηκαν λιθολογικά στοιχεία, ενώ τα τρίγωνα αποτελούν υδρογεωτρήσεις διαφόρων χρήσεων, από τις οποίες λήφθηκαν δεδομένα στάθμεων και αντλούμενων ποσοτήτων νερού. Με τις κόκκινες βούλες, δίνονται οι **ιδιωτικές υδρογεωτρήσεις**, με τις ροζ είναι οι γεωτρήσεις του **Μεταδωτή**, με τις γκρι είναι οι λιθολογικές γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. Με τα πορτοκαλί τρίγωνα δίνονται οι ιδιωτικές υδρογεωτρήσεις που λήφθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα «**ΕΛΙΜΕΙΑ**», με τα κόκκινα συμβολίζονται οι **ιδιωτικές υδρογεωτρήσεις**, από τις οποίες μετρήθηκαν στάθμες, στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής Ειδικεύσεως, με γαλάζιο συμβολίζονται οι **αποστραγγιστικές υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Η.**, με τα σκούρα μπλε δίνονται τα **πιεζόμετρα της Δ.Ε.Η.**, με τα ανοιχτά πράσινα, δίνονται οι **υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ.**, οι οποίες χρησιμοποιούν και στην **αποστράγγιση των λγνιτωρυχείων**, ενώ με τα ανοιχτά πράσινα, δίνονται οι **υδρογεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α.Κ.** Ο κλάδος των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m και δίνεται κατά ΗΑΤΤ.

IV)
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ

ΤΥΠΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ
-  ΑΡΓΙΛΟΣ ΚΑΣΤΑΝΕΡΥΘΡΗ ΜΕ ΚΡΟΚΑΛΕΣ & ΛΑΤΥΠΕΣ.
ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ ΚΡΑΣΠΕΔΑ ΑΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ
-  ΑΜΜΟΣ, ΑΡΓΙΛΟΣ ΓΚΡΙΖΟΚΙΤΡΙΝΗ & ΓΚΡΙ ΓΚΡΙΖΟΠΡΑΣΙΝΗ, ΧΑΛΙΚΙΑ, ΨΑΜΜΙΤΟΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ (ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗ), ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΗ & ΨΑΜΜΙΤΙΚΕΣ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΑΜΜΟΥΧΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ
-  ΑΡΓΙΛΟΣ ΓΚΡΙΖΟΠΡΑΣΙΝΗ ΜΕ ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΑ ΓΡΙΖΟΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΕΙΡΑΣ
-  ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΣ ΣΤΙΒΑΔΑ
-  ΜΑΡΓΕΣ ΥΠΟΛΕΥΚΕΣ (ΠΛΕΙΚΑΙΝΟΥ-ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΕΣ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ ΣΤΙΒΑΔΑΣ)
-  ΣΧΙΣΤΟΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΗ ΔΙΑΠΛΑΣΗ ΜΕ ΟΦΙΟΛΙΘΟΥΣ
-  ΜΕΣΟ-ΑΝΩ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
-  ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΙΟΥΡΑΣΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
-  ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ
-  ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ

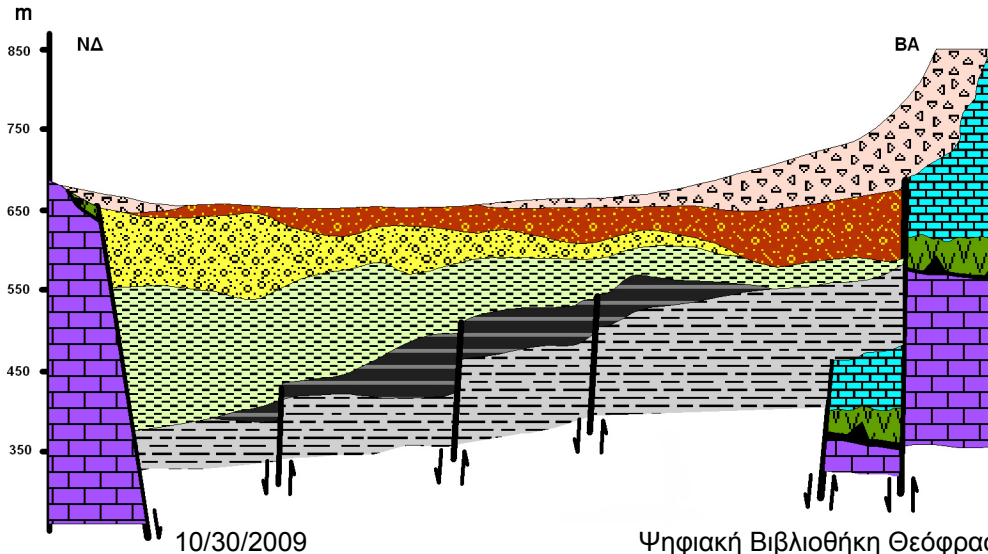
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΟΜΗΣ (σε HATT)

ΑΡΧΗ: X: -14800
Y: 13800

ΤΕΛΟΣ: X: -6000
Y: 21000

100 m

1000 m



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

V)

**ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ**

329778

323563

317348

311133

ΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ (φωτοληψία, 1996)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Όριο Υδροφόρα Σαρίγκιόλ



Kilometers
0 0.5 1 2 3 4

Προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87

4481317
6002/10/01

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

4477302

4473287

4469272

4477302

4473287

4469272

311133

317348

323563

329778

Ακρινή

Κλάτος

Άγιος Δημήτριος

Ρυάκιο

Γαλάσι

Δρέπανο

Μαυροδένδρι

Ποντοκώμη

Τεράλαφο

Άγιος Χαραλάμπος

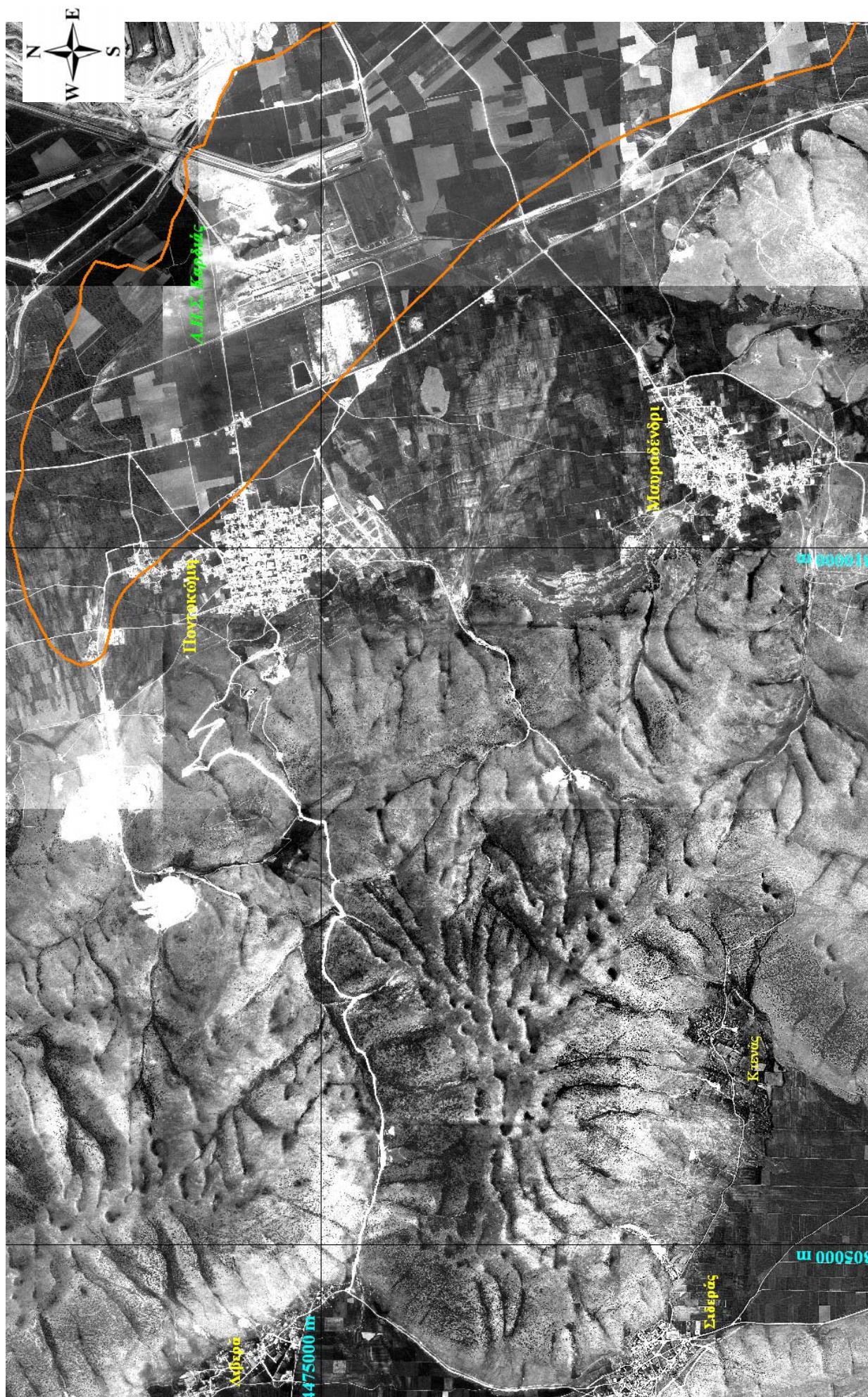
Ανατολικό

Καπνοχώρι

Θυμαριά

Κοιλιάδα

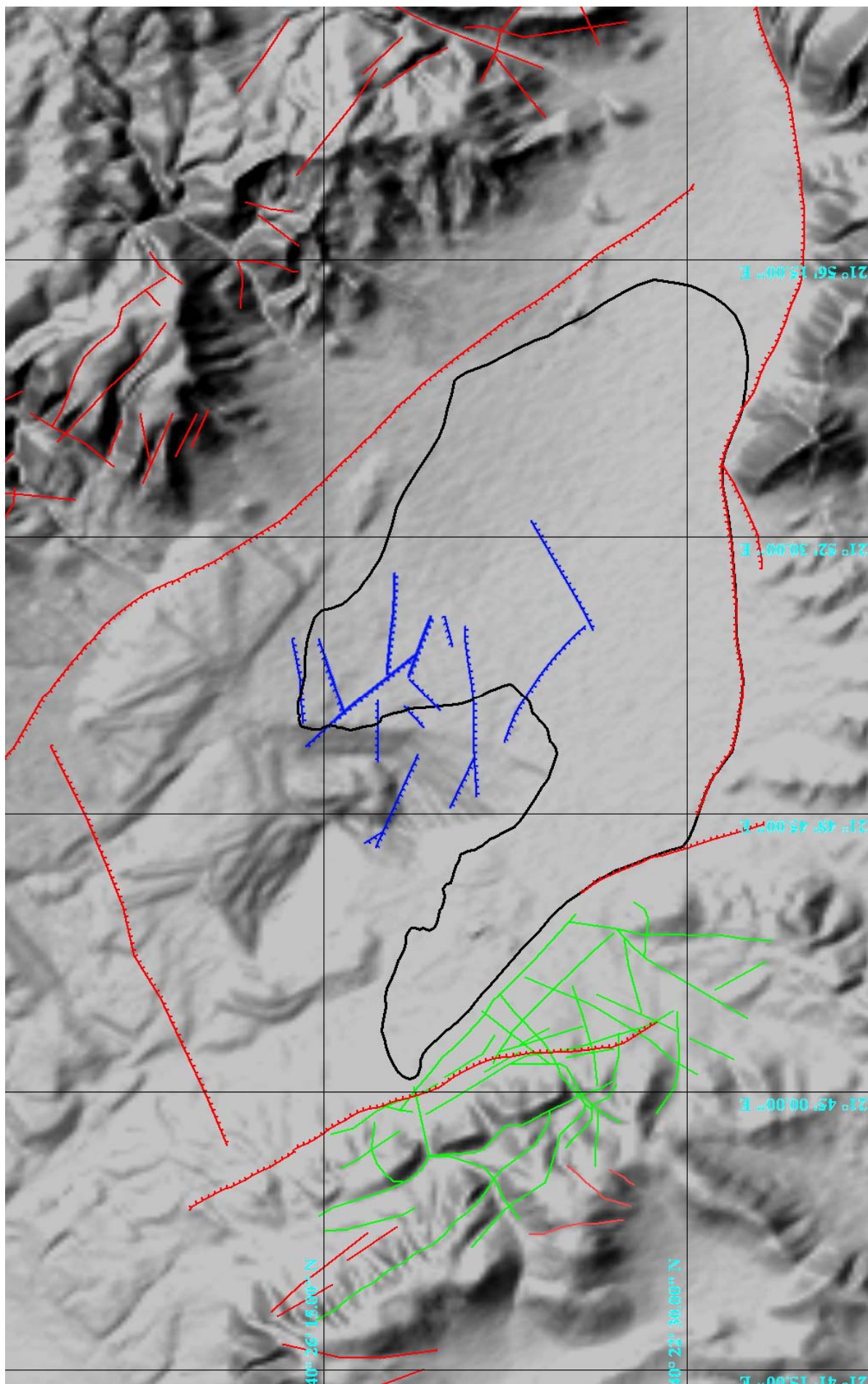
Κρεμαστή



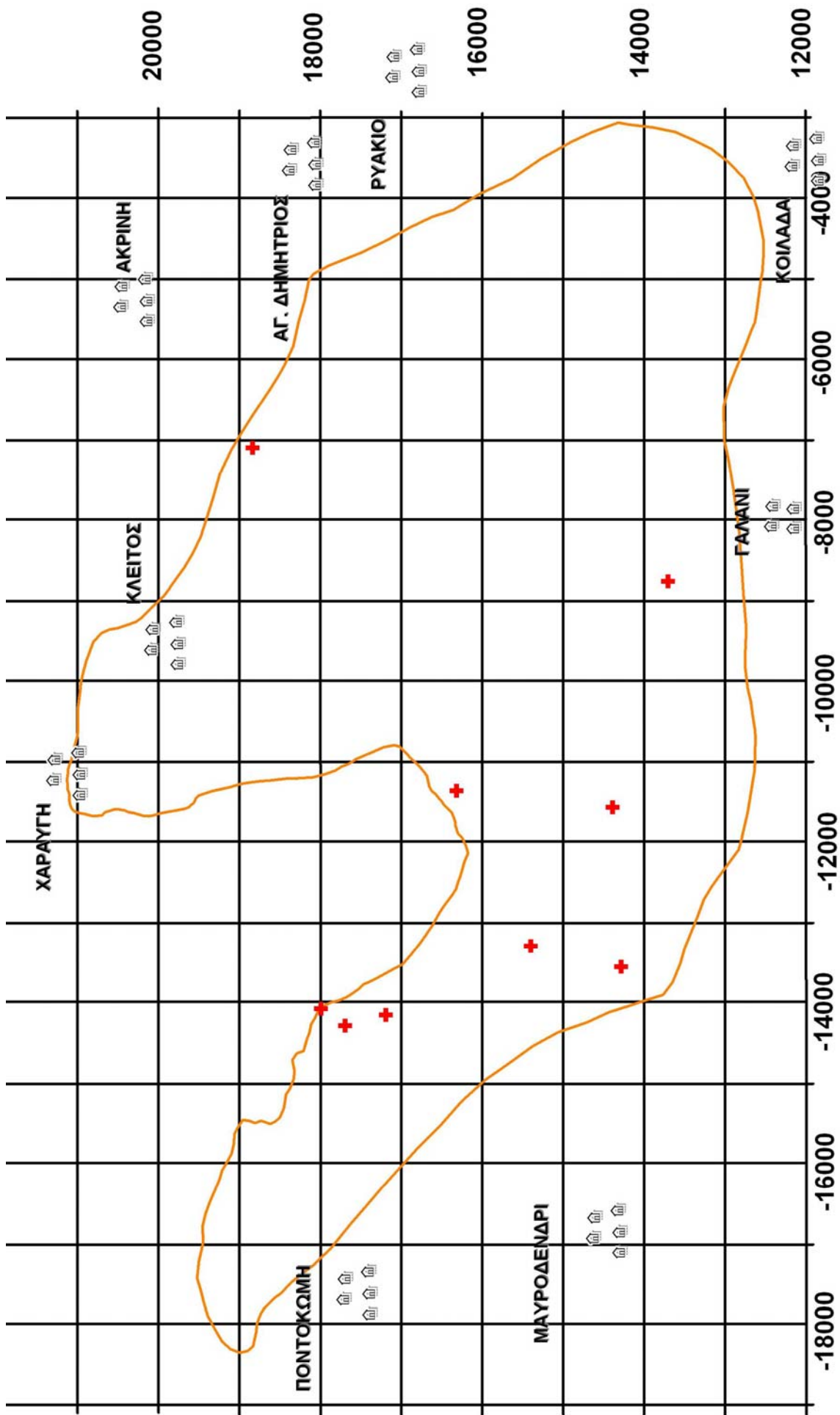
Εικόνα Π.1: Άποψη των καρστικοποιημένων τριαδικό-ιουραστικών ασβεστολίθων, στην περιοχή δυτικά του υδροφορέα της Σαρινγκιόλ (κίτρινη γραμμή), που προέκυψε από την ψηφιακή σύνθεση και επεξεργασία των ορθοφωτοχάρτων, κλίμακας 1:5.000 της περιοχής. Η διάμετρος των σχηματισμένων δολίνων, ξεπερνά, κατά θέσεις, τα 100 m. Η προβολή του χάρτη δίνεται σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 και ο κλίμακας των συντεταγμένων είναι ανά 5 km.

VI)

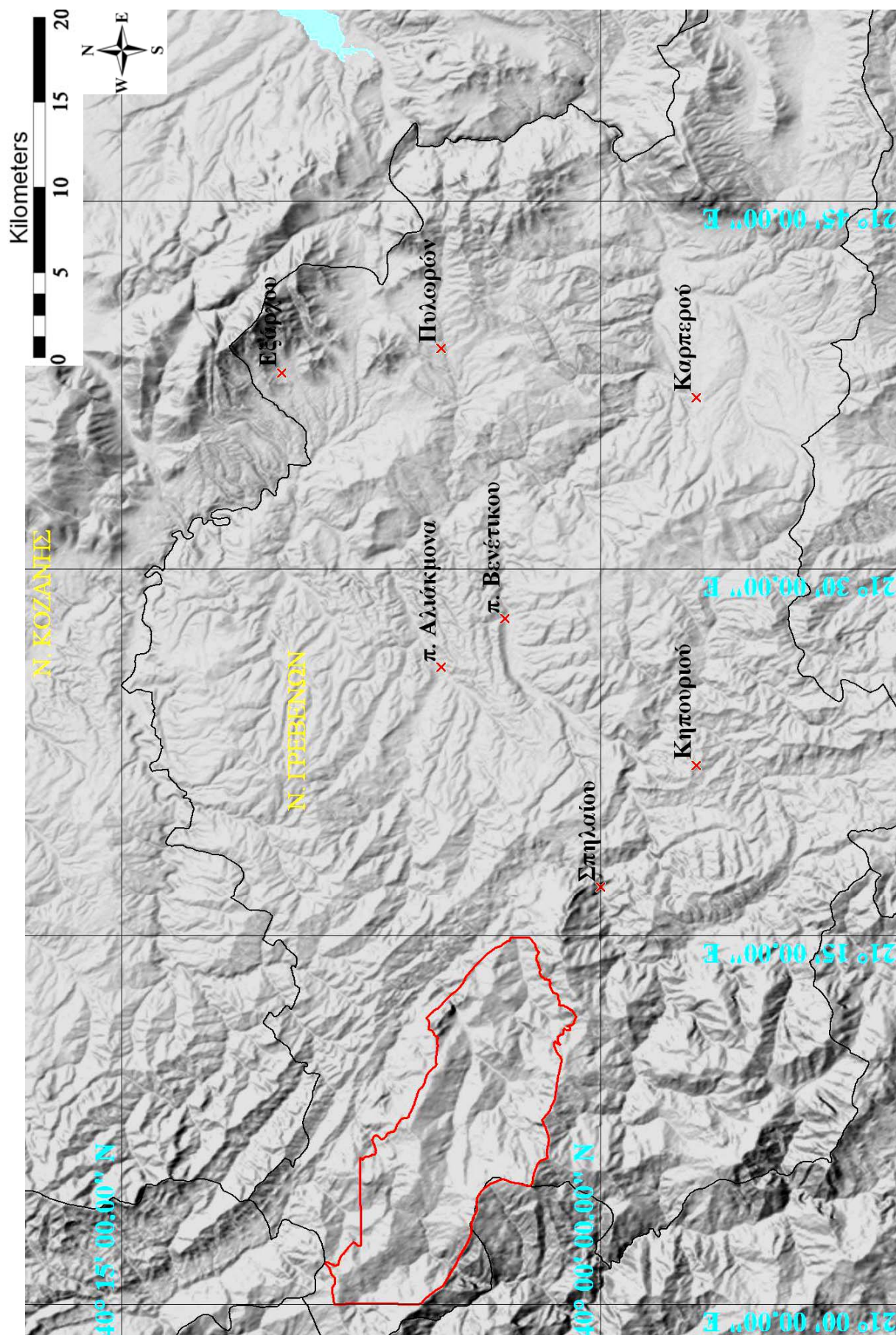
ΛΟΙΠΟΙ ΧΑΡΤΕΣ



Χάρτης Π.2: Τεκτονικός χάρτης της εγγύτερης περιοχής ανάπτυξης του υδροφορέα της Σαρινγκιόλ, όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση των ρημάτων που δίνει ο γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο «KOZANH», κλίμακας 1:50.000 (κόκκινες γραμμές), των ρημάτων που αποτυπώνουν οι γεωλόγοι του Ο.Ν.Π. (μπλε γραμμές) και των ρημάτων που προτείνει ο Μελαδιώτης, για το δυτικό τμήμα της περιοχής (πράσινες γραμμές). Η προβολή είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται κατά προβολικό σύστημα ED 50.



Χάρτης Π.3: Θέσεις γεωτρήσεων (κόκκινοι σταυροί), για τις οποίες βρέθηκαν δεδομένα υδραυλικής αγωγιμότητας (k), στην έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας της Σαρίγκιόλ. Ο κλίμακός των συντεταγμένων είναι ανά 1000 m και δίνεται κατά ΗΑΤΤ.



Χάρτης Π.4: Χωρική κατανομή των χρησιμοποιηθέντων βροχομετρικών σταθμών για την περιοχή εφαρμογής της εκτίμησης της επιδεκτικότητας προς κατολίσθηση. Με την κόκκινη καμπύλη γραμμή δίνεται η εξεταζόμενη περιοχή. Η προβολή είναι Μερκατορική και οι συντεταγμένες δίνονται κατά προβολικό σύστημα ED 50.

