



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΔΕΒΕΤΖΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC ΣΤΟΝ ΠΟΡΩΔΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΝΕΑΣ ΤΡΙΓΛΙΑΣ ΣΤΗ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2022



ΣΤΥΛΙΑΝΗ Θ. ΔΕΒΕΤΖΗ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5539

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC ΣΤΟΝ ΠΟΡΩΔΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΝΕΑΣ ΤΡΙΓΛΙΑΣ ΣΤΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

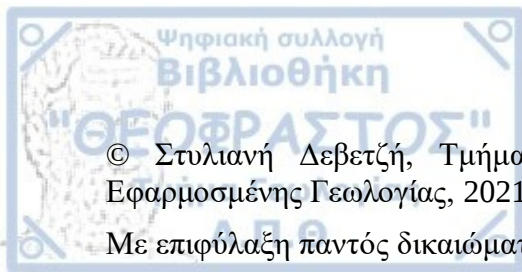
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Επιβλέπων

Βουδούρης Κωνσταντίνος, Καθηγητής Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.

Επικουρία στην επίβλεψη

Καζάκης Νεραντζής, Δρ. Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.



© Στυλιανή Δεβετζή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ
DRASTIC ΣΤΟΝ ΠΟΡΩΔΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΝΕΑΣ ΤΡΙΓΛΙΑΣ ΣΤΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

Διπλωματική Εργασία

© Styliani Devetzi, School of Geology, Dept. of Structural, Historical & Applied Geology, 2021

All rights reserved.

GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT USING DRASTIC METHOD IN
THE POROUS AQUIFER OF NEA TRIGLIA IN HALKIDIKI

Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



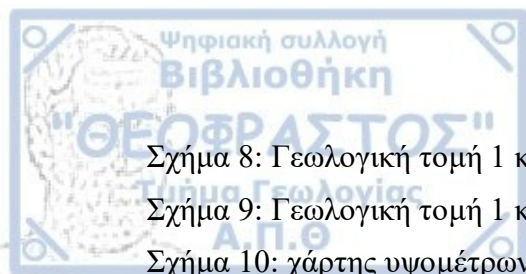


Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	11
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.....	11
2.2 Γεωλογία της περιοχής.....	12
2.3 Υδρογεωλογία της περιοχής.....	20
3 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	25
3.1 Βάθος του υπόγειου νερού -D	26
3.2 Εμπλουτισμός- R	28
3.3 Τύπος υδροφορέα- A	29
3.4 Έδαφος -S.....	31
3.5 Κλίση του αναγλύφου -T	32
3.6 Επίδραση της ακόρεστης ζώνης-I.....	33
3.7 Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας-C	34
3.8 Αποτελέσματα της εφαρμογής του δείκτη DRASTIC.....	35
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	39

Σχήματα

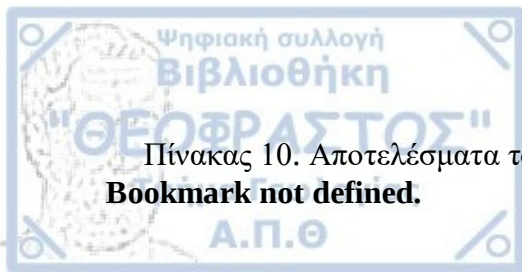
Σχήμα 1: Χάρτης της περιοχής έρευνας.....	11
Σχήμα 2: Χρήσεις γης με δεδομένα από Γραμματεία Υδάτων	12
Σχήμα 3: Σχηματική τομή γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων ,κατά Mountrakis 2005-2006	12
Σχήμα 4: Σχηματική τομή γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων ,κατά Mountrakis 2005-2006	13
Σχήμα 5: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, (Κατά Mountrakis et al. 1983.....	13
Σχήμα 6: Απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της χερσονήσου της Χαλκιδικής (τροποποιημένο κατά Σολδάτος από Μουντράκης 1983, 1994) (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Ορυκτολογία-Εικονικό εργαστήριο, 2015).....	14
Σχήμα 7: M.D. TRANOS-A.A. KILIAS-D.M. MOUNTRAKIS, Δομή Περιοδοπικής....	14



Σχήμα 8: Γεωλογική τομή 1 και 2	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 9: Γεωλογική τομή 1 και 2	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 10: χάρτης υψομέτρων σε περιβάλλον GIS	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 11: ταξινόμηση κλίσεων σε περιβάλλον GIS	19
Σχήμα 12: χάρτης προσανατολισμού κλιτύων σε περιβάλλον GIS.....	19
Σχήμα 13: χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου σε περιβάλλον GIS	20
Σχήμα 14: χάρτης με τις ΛΑΠ κεντρικής Μακεδονίας απο Γραμματεία Υδάτων	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.	
Σχήμα 15: Καστρίδης Αριστείδης, Στάθης Δημήτριος ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΧΟΛΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	21
Σχήμα 16: χάρτης υδρογραφικού δικτύου και λεκάνες απορροής ,σε περιβάλλον GIS.....	22
Σχήμα 17: 8 ΥΥΣ GR1000060, Επανομής - Μουδανιών Σταθμημετρα (Πηγή λήψης του χάρτη)	23
Σχήμα 18: υδρογραφικό δίκτυο και λεκάνες απορροής ,σε περιβάλλον GIS	23
Σχήμα 19: υδρογραφικό δίκτυο και υψομετρικός χάρτης ,σε περιβάλλον GIS	24
Σχήμα 20: Χάρτης βάθους του υπόγειου νερού σε περιβάλλον GIS.....	27
Σχήμα 21 Χάρτης εμπλουτισμού R σε περιβάλλον GIS.....	28
Σχήμα 22: Χάρτης υδροφόρου μέσου σε περιβάλλον GIS	30
Σχήμα 23 Χάρτης κλίσης αναγλύφου σε περιβάλλον GIS ..	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 26 Χάρτης της επίδραση της ακόρεστης ζώνης σε περιβάλλον GIS.....	33
Σχήμα 27 Χάρτης του συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας σε περιβάλλον GIS.....	35
Σχήμα 28 Χάρτης τρωτότητας στην περιοχή έρευνας	36
Σχήμα 29 Χάρτης τρωτότητας στην περιοχή έρευνας	37

Πίνακες

Πίνακας 1.Παράμετροι βαρύτητας της μεθόδου DRASTIC.....	26
Πίνακας 2. Βαθμονόμηση της παραμέτρου D.....	27
Πίνακας 3. Βαθμονόμηση της παραμέτρου R.....	29
Πίνακας 4. Βαθμονόμηση της παραμέτρου A.....	30
Πίνακας 5. Βαθμονόμηση της παράμετρου S	31
Πίνακας 6. Βαθμονόμηση της παράμετρου T	32
Πίνακας 7. Βαθμονόμηση της παραμέτρου I	34
Πίνακας 8. Βαθμονόμηση της παράμετρου C.....	34
Πίνακας 9. Βαθμονόμηση του δείκτη DRASTIC.....	35



Πίνακας 10. Αποτελέσματα του δείκτη DRASTIC στην περιοχή έρευνας**Error!**
Bookmark not defined.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου από το τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. και ανατέθηκε σε μένα από το εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος. Η επίβλεψη της συγκεκριμένης προσπάθειας πραγματοποιήθηκε από τον κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, Καθηγητή Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. με την επικουρία στην επίβλεψη από τον Νεραντζή Καζάκη, Διδάκτορα Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Το θέμα που επέλεξα για το κλείσιμο του κύκλου των προπτυχιακών μου σπουδών σχετίζεται με την υδρογεωλογία, έναν τομέα που ξεχώρισα στο πέρασμα των φοιτητικών μου χρόνων ως τον πιο ενδιαφέρον, αλλά και σημαντικό για την εξασφάλιση της ανθρώπινης διαβίωσης και προστασίας.

Το νερό είναι ένα στοιχείο ζωτικής σημασίας σε όλους τους τομείς της ζωής του ανθρώπου. Από την αρχαιότητα δινόταν αρκετή σημασία στην τοποθεσία στην οποία χτίζονταν οι οικισμοί ώστε αυτοί να βρίσκονται κοντά σε επιφανειακές συγκεντρώσεις νερού. Οι αποικίες αυτές μετατράπηκαν σε σύγχρονες κοινωνίες, των οποίων οι απαιτήσεις σε νερό είναι πολύ υψηλές και οι ποσότητες του γλυκού νερού πολύ περιορισμένες. Ο τρόπος διαβίωσης και εξέλιξης του ανθρώπου επηρεάζει σημαντικά, εκτός από την ποσότητα, και την ποιότητα του νερού είτε αυτό βρίσκεται επιφανειακά είτε υπόγεια.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα την «*Εκτίμηση της τρωτότητας του υπογείου νερού με την μέθοδο DRASTIC στον πορώδη υδροφορέα Νέας Τρίγλιας στη Χαλκιδική*» και στόχος της είναι η διερεύνηση της ποιότητας του νερού και η εκτίμηση της τρωτότητας σε μια περιοχή αρκετά ενεργή όσο αναφορά στον τουρισμό και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η περιοχή της Νέας Τρίγλιας αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της δυναμικής σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στον άνθρωπο και τις ενέργειες του σε σχέση με την ποσότητα και την ποιότητα του νερού.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κωσταντίνο Βουδούρη που από την πρώτη στιγμή με ενθάρρυνε και με ενέπνευσε να ασχοληθώ με τον τομέα της υδρογεωλογίας και μου έδωσε την δυνατότητα να εξελιχθώ σε μια πιο ολοκληρωμένη φοιτήτρια μέσα από τις πολλές γνώσεις του. Η ανάθεση της πτυχιακής αποτελεί δείγμα εμπιστοσύνης προς το πρόσωπο μου, δίνοντάς μου την δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το αντικείμενο στην διπλωματική μου εργασία.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας Νεραντζή Καζάκη για το χρόνο που μου διέθεσε, τη διαρκή προτροπή του να δίνω το καλύτερο αποτέλεσμα που μπορούσα και την καθοδήγηση του, επιστημονική και ψυχολογική, χωρίς την οποία δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί η εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την αγάπη που μού έδωσαν και που στις δύσκολες στιγμές που αντιμετώπισα ως φοιτήτρια με στήριξαν. Ακόμη, τους ευχαριστώ που με εξέλιξαν σε έναν άτομο που μπόρεσε να ανταπεξέλθει όλα τα εμπόδια στον δρόμο του και να συνεχίσει με το κεφάλι ψηλά. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τη δεύτερη οικογένεια μου αυτή που επέλεξα εγώ, τους φίλους και τους συμφοιτητές μου, οι οποίοι με την θετική τους διάθεση και εμπύχωση «φώτισαν όλα τα σκοτεινά σημεία» και κατάφερα να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την εκτίμηση της τρωτότητας στον πορώδη υδροφόρα της Νέας Τρίγλιας στην Χαλκιδική με την μέθοδο DRASTIC και τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems/GIS).

Η περιοχή έρευνας της παρούσας εργασίας βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και ειδικότερα στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής. Η περιοχή είναι κυρίως γνωστή για την τουριστική της δραστηριότητα αλλά είναι εξίσου ενεργή και στο γεωργικό και κτηνοτροφικό τομέα. Πρόκειται για μία παραθαλάσσια ζώνης με σταδιακή εξέλιξη σε ορεινή τοπογραφία, με το υψόμετρο να φτάνει κατά τόπους τα 900 μέτρα.

Ο υπολογισμός της τρωτότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικός ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση των υδροφορέων εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα. Η αύξηση του πληθυσμού την καλοκαιρινή περίοδο επιδρά αρνητικά στην περιορισμένη ποσότητα αποθεμάτων νερού που υπάρχουν, με την υπεράντληση του υδροφόρα να αφήνει ανοιχτά τα ενδεχόμενα για μια ρύπανση με μη αναστρέψιμα αποτελέσματα.

Η μέθοδος DRASTIC έδωσε τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να χωριστεί η περιοχή έρευνας σε ζώνες βάση της τρωτότητας και να δημιουργηθούν χάρτες, που θα συμβάλλουν στην προστασία του υδροφόρα. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται συμπεράσματα, τα οποία εξάχθηκαν από την έρευνα που ολοκληρώθηκε και σύμφωνα με τα οποία παρουσιάζονται οι τιμές τρωτότητας στην περιοχή, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στον σχεδιασμό και υλοποίηση μέτρων προστασίας.



ABSTRACT

This study aims to estimate the vulnerability of the porous aquifer in Nea Triglia of Halkidiki by using the DRASTIC method within Geographic Information Systems (GIS).

The research area of this work is located at Northern Greece, i.e., the Central Macedonia Region, and more specifically the Regional Unit of Halkidiki. The area is known for its tourist activity as well as its agricultural and agri-food sector. It is characterized by a coastal zone which progressively changes to a mountain topography with the altitude in some areas reaching 900 meters.

The determination of the vulnerability is especially important to avoid the pollution of the aquifers due to human activities within the study area. The increase of the population during summer negatively affects the limited quantity of water reserves of the coastal aquifer, by over pumping the aquifer, and leaves open the possibility for the pollution of the aquifer with non-reversibility results.

The DRASTIC method gave the necessary data to separate the area of research into zones based on the vulnerability and create maps in the attempt to protect the aquifer. At the end of this document, conclusions were drawn from the survey completed according to which the values of vulnerability in the area are presented. As a result, they can be used to take protection measures.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα που λόγω της μορφολογίας και των γεωλογικών σχηματισμών που την απαρτίζουν, καταφέρνει να δραστηριοποιείται και να αναπτύσσεται με μεγάλη επιτυχία σε δυο τομείς, τον γεωργικό-κτηνοτροφικό τομέα αλλά και τον τουρισμό. Η Χαλκιδική αποτελεί έναν από τους πιο γνωστούς προορισμούς στα Βαλκάνια με ακτογραμμή που φτάνει τα 550 χιλιόμετρα. Ο πληθυσμός της περιοχής αυξομειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια του χρόνου και καλύπτει τις υδατικές ανάγκες που έχει από τους υδροφόρους της περιοχής.

Οι δραστηριότητες αυτές όμως μπορούν να αποδειχθούν επιζήμιες για την αειφορία του υδροφορέα. Η ρύπανση του υδροφόρου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες χωρίς τα απαραίτητα μέτρα προστασίας αποτελεί φυσικό επακόλουθο και μπορεί να επέλθει από την χρήση λιπασμάτων και φυτοφάρμακων αλλά και από την ανεξέλεγκτη διάθεση αποβλήτων χωρίς τις απαραίτητες δομές.

Ακόμη, οι παράκτιοι υδροφορείς δηλαδή αυτοί που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές και είναι σε συνεχή επικοινωνία με τη θάλασσα, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται όταν οι ποσότητες υπόγειου γλυκού νερού που αντλούνται είναι περισσότερες από αυτές που αναπληρώνονται και έτσι ο υδροφορέας καθίσταται επιρρεπής στη ρύπανση λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της τρωτότητας του πορώδους υδροφορέα της Νέας Τρίγλιας με τη χρήση της μεθόδου DRASTIC σε περιβάλλον GIS.

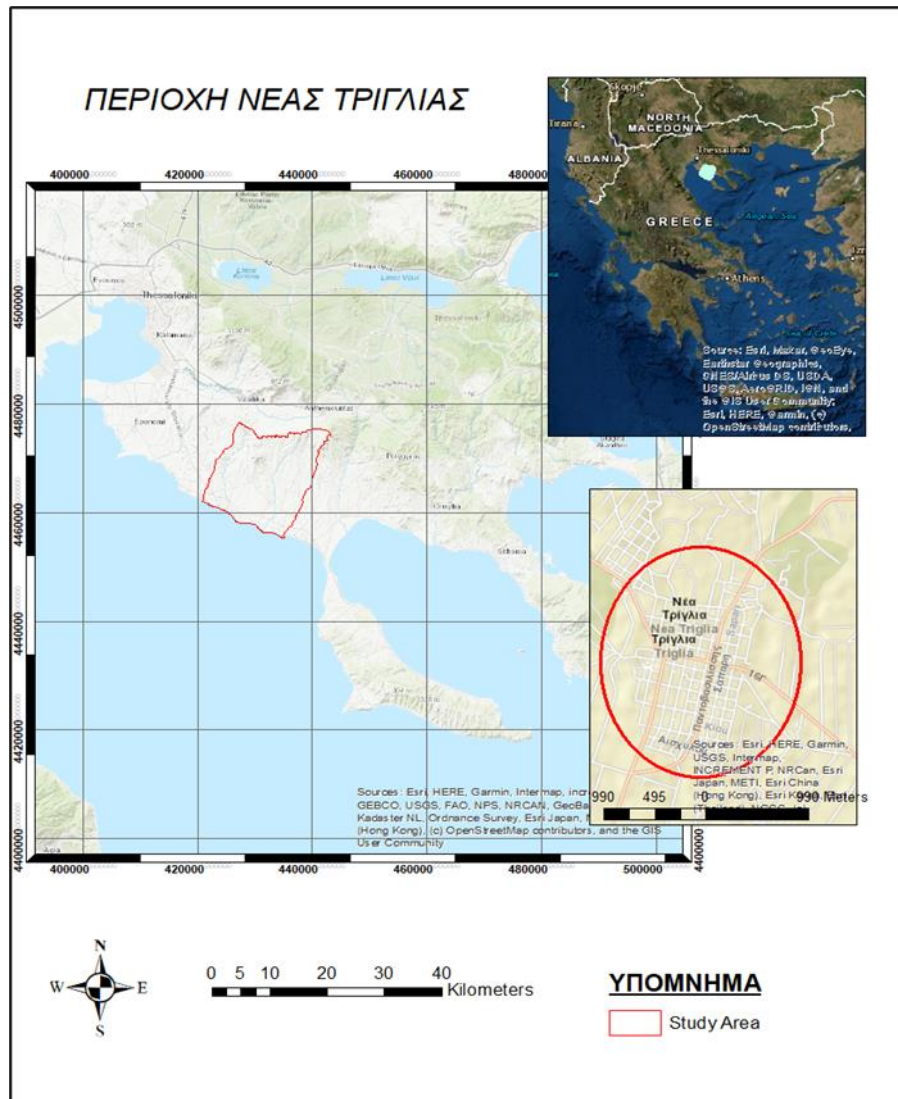
Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Αναζήτηση και συγκέντρωση ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας σχετικά με την περιοχή έρευνας και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της. Έρευνα για υδρογεωλογικά και κλιματικά δεδομένα.
- Αναζήτηση χαρτών και διαγραμμάτων για την καλύτερη παρουσίαση του θέματος και τη σωστή ανάδειξη και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την περιοχή.
- Συλλογή λιθολογικών τομών από παλαιότερες γεωτρήσεις και δεδομένων που αφορούν στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά τόσο της περιοχής έρευνας όσο και της ευρύτερης περιοχής.
- Συλλογή αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων της περιοχής από το Google Earth Pro.
- Χρήση του Google Earth Pro και του ArcMap 10.8 για τη σύνταξη χαρτών που απεικονίζουν την περιοχή.
- Ψηφιοποίηση των τοπογραφικών, γεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρτών μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών/ΣΓΠ (G.I.S. ArcMap 10.8). και τη δημιουργία θεματικών χαρτών και χαρτών τρωτότητας με τη μέθοδο DRASTIC.
- Επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των ψηφιακών δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας

Η περιοχή έρευνας της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει τον παράκτιο υδροφορέα στην περιοχή της Νέας Τρίγλιας. Βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και ειδικότερα στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής. Η Νέα Τρίγλια είναι μια κωμόπολη που ανήκει στο Δήμο Νέας Προποντίδας, με έδρα τα Νέα Μουδανιά.



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής έρευνας.

Η περιοχή απέχει από τη Θεσσαλονίκη 50 χιλιόμετρα και έχει έκταση 50 τετραγωνικά χιλιόμετρα (km²), φτάνοντας μέχρι την ακτογραμμή που αποτελεί τη δυτική ακτή της Χαλκιδικής προς τον Θερμαϊκό κόλπο και απέχει 4 χιλιόμετρα από αυτόν. Ο πληθυσμός της περιοχής σύμφωνα με την απογραφή του 2011 αποτελείται από 3000 μόνιμους κάτοικους.

Γενικά, η περιοχή της Νέας Τρίγλιας χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική (σιτηρά, βαμβάκι, κηπευτικά) και κτηνοτροφική δραστηριότητα. Είναι ιδιαίτερα γνωστή για την καλλιέργεια υπέργηρων ελιών, διατηρημένων από το 16^ο αιώνα. Οι κάτοικοι που διαμένουν στον κεντρικό οικισμό απασχολούνται με τα προαναφερθέντα επαγγέλματα ενώ εξαιτίας της ιδιαίτερης διαμόρφωσης της περιοχής οι άνθρωποι που διαμένουν στην παράλια της Νέας Τρίγλιας ασχολούνται με τον τουρισμό, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη του τα τελευταία χρόνια.



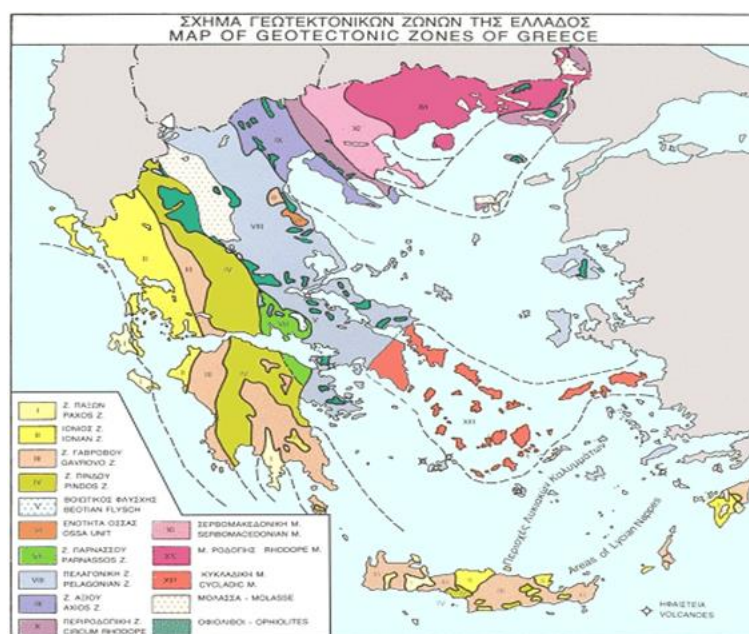
Σχήμα 2. Χρήσεις γης με δεδομένα από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

2.2 Γεωλογία της περιοχής

Ο ελληνικός χώρος επηρεάστηκε από τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο, ο οποίος προκλήθηκε από την σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρασίας και Γκοτβάνας. Κατά την αλπική ορογένεση, γίνεται η ανάδυση των ζωνών από τα ανατολικά προς τα δυτικά, δημιουργώντας αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα.

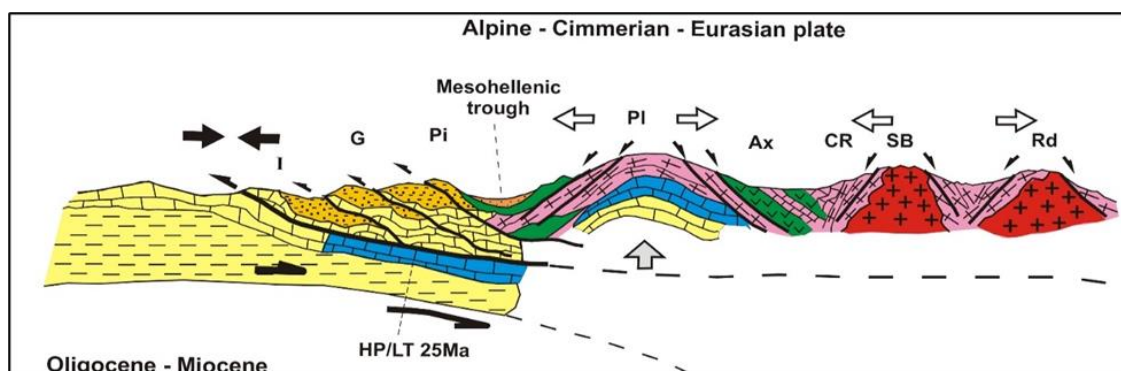
Η συγκρότηση του ορογενούς οφείλεται στις συμπιεστικές τάσεις που δέχτηκε η περιοχή και ως αποτέλεσμα επήλθε η καταστροφή του ωκεανού της Τηθύος. Κάθε επάλληλο κάλυμμα αποτελεί και μια ζώνη με ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή ιζημάτων, που συμφωνεί με την εκτιμώμενη παλαιογεωγραφική της θέση. Στο σύνολο αριθμούνται 12 γεωτεκτονικές ζώνες.

Η περιοχή έρευνας αποτελεί κομμάτι της Ζώνης Αξιού, της οποίας χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που κατανομούνται τυχαία στην έκταση που καλύπτει. Το σύνολο των οφειολίθων της ζώνης κατονομάζονται Εσωτερική Οφειολιθική Λωρίδα και αναφέρεται στη βιβλιογραφία με το όνομα IRO.



Σχήμα 3. Σχηματική τομή γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων (Mountrakis 2005-2006).

Γενικά, η Ζώνη Αξιού χαρακτηρίζεται από έντονη λεπιδοειδή δομή, η οποία πήρε την μορφή της στην τελική ηπειρωτική σύγκρουση που έλαβε χώρα ανάμεσα στην Απουλία πλάκα με την Ευρασιατική-Κιμμερική κατά την διάρκεια του Τριτογενούς.



Σχήμα 4. Σχηματική τομή γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων (Mountrakis 2005-2006).

Ωστόσο η ζώνη του Αξιού διαφοροποιείται στο εσωτερικό της στρωματογραφικά και παλαιογεωγραφικά. Γι' αυτό το λόγο διαιρέθηκε σε 3 υποζώνες, την Αύλακα Παιονίας, το Ύβωμα Πάικου και την Αύλακα Αλμωπίας (Mercier 1966). Κύρια διαφορά ανάμεσα στις 3 υποζώνες είναι η ασβεστολιθική σειρά, νηριτικής φύσεως που εμφανίζεται στο Πάικο και υποδηλώνει μια σχετικά ρηχή θάλασσα, σε αντίθεση με τις άλλες δύο που παρουσιάζουν ιζήματα Ιουρασικού βαθιάς θάλασσας. Παρόλο τον διαμελισμό της ζώνης Αξιού, θεωρείται γενικά ως μια ενιαία ωκεάνια περιοχή από την οποία προέρχονται οι οφειόλιθοι.



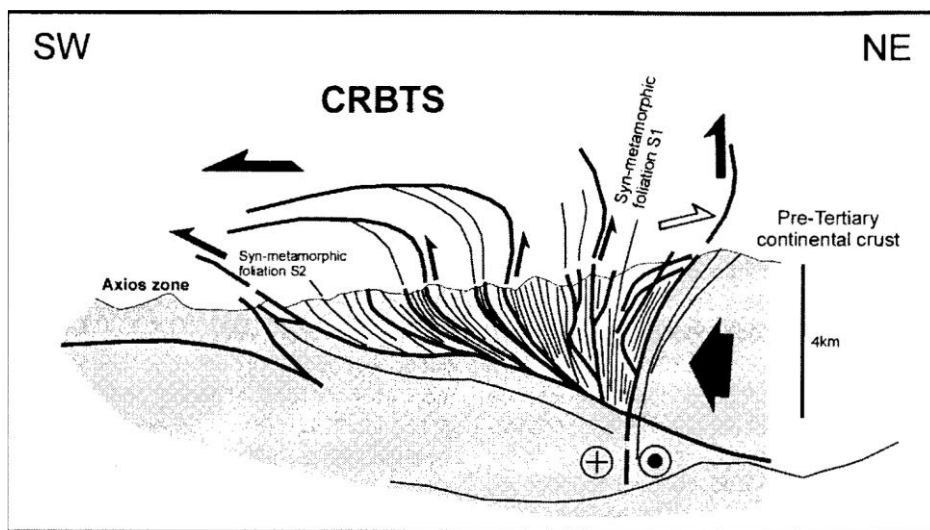
Σχήμα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, (Κατά Mountrakis et al.) 1983

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται στην υποζώνη Παιονίας, η οποία τοποθετείται ανάμεσα στην Περιοδοπική ζώνη από τα ανατολικά και στο Πάικο από τα δυτικά. Παρουσιάζεται μια ομοιότητα στους σχηματισμούς και στις ενότητες που υπάρχουν ανάμεσα στις ζώνες Περιοδοπική και Παιονία γεγονός που θα γίνει αντιληπτό στη συνέχεια. Αίτιο αυτής της επανάληψης είναι η αδυναμία να οριστεί επακριβώς το όριο των ζωνών, καθώς παρουσιάζονται αμφοτέρως με ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Η γενική άποψη είναι η τοποθέτηση της Περιοδοπικής σε θέση ηπειρωτικής κατωφέρειας της ενδοχώρας, ενώ η Παιονία τοποθετείται αμέσως μετά την κατωφέρεια, ως περιβάλλον ανοιχτής θάλασσας. Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι επιμέρους ενότητες που εμφανίζονται στην Χαλκιδική.



Σχήμα 6. Απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της χερσονήσου της Χαλκιδικής (τροποποιημένο κατά Σολδάτος από Μουντράκης 1983, 1994) (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Ορυκτολογία-Εικονικό εργαστήριο, 2015).

Συγκεκριμένα, απεικονίζεται η μάζα της Ροδόπης (Rhodope Massif), η οποία αποτελείται από ένα σύμπλεγμα κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων και της οποίας το όριο τοποθετείται στη μεγάλη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνας, όπου σε συγκεκριμένες θέσεις φαίνεται ότι η Σερβομακεδονική ζώνη εφιπτεύει τη μάζα της Ροδόπης. Η Σερβομακεδονική διαχωρίζεται σε 2 υποενότητες, την ενότητα Κερδυλίων (Kerdylion Unit) και την ενότητα Βερτίσκου (Vertiscos Unit). Πρέπει να σημειωθεί ότι ανάμεσά τους παρατηρείται μια αδιαμφισβήτητη τεκτονική επαφή. Το δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής που έρχεται σε επαφή με την Περιοδοπική είναι αποτέλεσμα μιας δεξιόστροφης ζώνης μεταφοράς συμπίεσης με πτυχώσεις και εφιπτεύσεις, οι οποίες έλαβαν χώρα κατά την ορογένεση του Τριτογενούς (Tranos et al. 1999).



Σχήμα 7. Δομή Περιοδοπικής ζώνης (Tranos, Kiliadis, Mountrakis, 1999).

Η Περιοδοπική ζώνη, ωστόσο, έχει το ρόλο της ηπειρώτικης κατωφέρειας και περιβάλλει την ελληνική ενδοχώρα. Διαπιστώθηκε ότι κατά τη διάρκεια του Άνω Ολιγοκαίνου με Κάτω Μειόκαινο, η ζώνη υπέστη μια ισχυρή μεταμορφική παραμόρφωση που χαρακτηρίστηκε ως τεκτονική μεταφορά μιας συμπίεσης, η οποία προκάλεσε ανάστροφα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, καθώς και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης δεξιόστροφα, διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ και αριστερόστροφα ΔΝΔ-ΑΒΑ, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας πολύπλοκης τεκτονικής μεγαδομής η οποία με την σειρά της επιπτεύει την ζώνη Αξιού (υποζώνη Παιονίας) (Tranos et al., 1999).

Η Περιοδοπική χωρίζεται σε τρεις υποενότητες οι οποίες είναι 1. Ντεβε- Κοράν- Δούμπια, 2. Μελισσοχωρίου Χολομώντα, 3. Άσπρη βρύση – Χορτιάτη, οι οποίες χωρίζονται με πλευρικές παλαιογεωγραφικές μεταβάσεις. Τα μεγαλέπια που αποτελούν την υποζώνη Παιονίας είναι τα εξής 1. Ενότητα Γευγελής, 2. Ενότητα Βαφειοχωρίου, 3. Ενότητα Ωραιοκάστρου, 4. Ενότητα Αρτζάν, 5. Ενότητα Άσπρης Βρύσης, 6. Ενότητα Μεταλλικού, 7. Ενότητα Λεβεντοχωρίου σύμφωνα με τον MERCIER 1966.

Παρακάτω παρουσιάζεται χάρτης διαμορφωμένος σε περιβάλλον GIS με το πρόγραμμα ArcMap όπου αναλύεται το υπόμνημα του χάρτη της περιοχής έρευνας. Η περιοχή φαίνεται ότι καλύπτεται από μια πληθώρα ιζημάτων Τεταρτογενούς ηλικίας τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω με χρονολογική σειρά:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ:

ΟΛΟΚΑΙΝΟ:

- **al.** Αλλουβιακές Αποθέσεις: άργιλοι, άμμοι, προϊόντα αποσάθρωσης των νεογενών σχηματισμών
- **cd.dn** Παράκτιες Αποθέσεις: ανοικτών ακτών και θίνες
- **H1.g** Ιζήματα Παράκτιων Λιμνών: άμμοι και αμμούχες άργιλοι
- **ej** Αλλουβιακά Ριπίδια
- **H.sc** Πλευρικά Κορρήματα: συνήθως χαλαρά κατά τόπους αρκετά συνεκτικά, αποτελούνται κυρίως από υλικά μεταμορφωμένα πετρώματα
- **H.t.c** Κατώτερη Βαθμίδα Του Συστήματος Αναβαθμίδων: κυρίως ψηφίδες και άμμος

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ:

- **Pt.t1.c** Ανώτερο Σύστημα Αναβαθμίδων: κροκάλες κυρίως από χαλαζίτες και γενικά από μεταμορφωμένα πετρώματα και σε μικρότερη αναλογία ασβεστολιθικές

ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ :

ΑΝΩΤ.ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ-ΚΑΤ.ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

- **M4.Pli.mk** Ασβεστόλιθοι Γλυκών Υδάτων: γαλαζότεφτροι κυρίως μαργαϊκοί, ανώτατος ορίζοντας της ψαμμιτο-μαργαϊκής σειράς, περιέχονται πυρήνες Γαστεροπόδων
- **M4. Pli.k, m** Ασβεστόλιθοι Γλυκών Υδάτων και Σκληρές Μάργες: ισότιμος με τον προηγούμενο σχηματισμό αλλάζει σε χρώμα και υφή

- **M4.Pli.st, m** Ψαμμιτο-μαργαϊκή Σειρά: (λιμναία και υφάλμυρη φάση) εναλλασσόμενα στρώματα άμμων αργιλούχων μαργών και αργίλων. Ακόμη, παρατηρείται πλήθος γαστερόποδων, χαροφυτών και οστρακωδών . ακόμη παρεμβάλλονται ψαμμίτες
- **M4. Pli.l** Σειρά Ερυθρών Αργίλων: (λιμναία έως χερσαία φάση) ερυθρές έως κεραμόχρωμες άργιλοι που περιέχουν φυλλάρια μαρμαρυγία και πολύ λεπτούς κόκκους χαλαζία. Ανάμεσα στις αργίλους έχουν βρεθεί λείψανα Hipparion
- **M4. Pli. Tv** Τραβερτινοειδής Ασβεστόλιθοι: αποτελούν σφηνοειδείς ενστρώσεις, περιορισμένης εκτάσεις και πάχους
- **M4.c** Βασική Σειρά Κροκαλοπαγών: συνήθως χαλαρά κατά τόπους αρκετά συνεκτικά και περιλαμβάνουν αποσφηνωμένες ενστρώσεις του ορίζοντα ερυθρών αργίλων

ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ:

ΑΝΩΤ.ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ ΚΑΤ.ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

- **Js-Ki.ph** Στρώματα Πρινοχωρίου: σχηματισμός Ενότητας Παιονίας, τεφροί και πρασινωποί, αμμούχοι, αργίλοι σχιστόλιθοι με ασβεστολιθικές ταινίες και χαρακτηριστικούς ορίζοντες πυριτόλιθων. ο σχηματισμός μεταβαίνει σταδιακά σε προς ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Απαντούν τυπικά ορυκτά πρασινοσχιστολιθικής φάσεως
- **Js.k** Ασβεστόλιθοι: τεφροί ως γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις μερικώς ανακρυσταλλωμένοι. παρεμβάλλονται μερικοί ορίζοντες βωξίτη ,ελαφρά μεταμορφωμένοι κοντά στη βάση

Στα πετρώματα του Μεσοζωικού αιώνα συμπεριλαμβάνεται η κατηγορία των εκρηξιγενών πετρωμάτων:

- **y1.n** Βιοτικός και Διμαρμαρυγιακό Γρανодиוריτης: (τύπου Σιμωνίας),σχιστώδης μεσοκοκκος ,με ζωώδη πλαγιόκλαστα , μοσχοβίτικα βιοτική και επουσιώδη ορυκτά
- **hr. di** Διοψιδικοί Κερατίτες: με μικρές εμφανίσεις κρυσταλλικού ασβεστολίθου
- **sch.gn** Επιγνέυσιοι- Πρασινοσχιστόλιθοι: οι σχηματισμοί ανήκουν στην μαγματική σειρά Χορτιάτη. Η ηλικία τους είναι νεότερη του άνω τριαδικού και παλαιότερη του Γρανодиוריτης τύπου Σιμωνίας
- **Θ1** Γαββρική Σειρά Λαναρίου: γάββρος
- Υπερβασική σειρά:
 1. **Πρ** Πυροξενίτες
 2. **Π.Ο** Δουνίτες και Περιδοίτες :κυρίως βερλίτες και εμφανίσεις χρωμίτη σε φακούς και λεπτά στρώματα

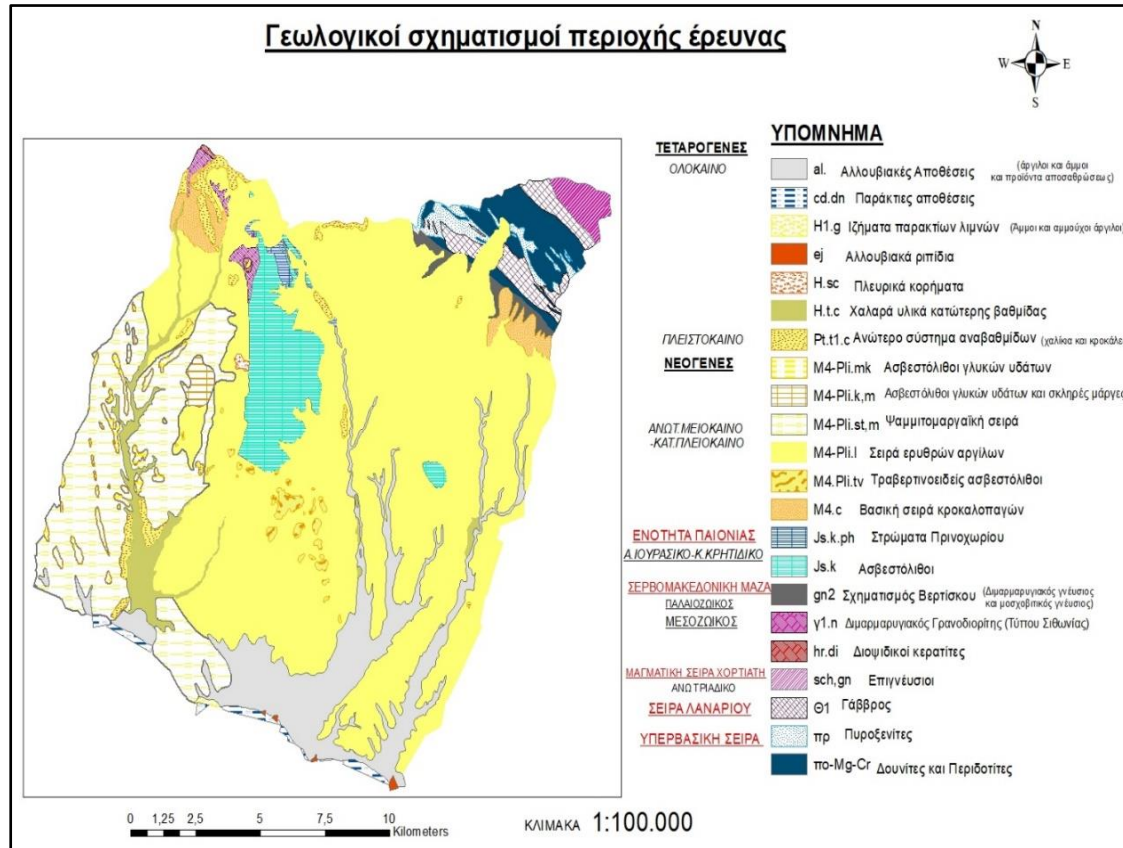
Οι δυο τελευταίοι σχηματισμοί αποτελούν μέρος των οφειολιθικής περιοχής και παράλληλα αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της ζώνης Αξιού.

ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ:

- **gn2** Διμαρμαρυγιακός γνέυσιος και μοσχοβίτικός γρανοδιוריτης, εξαλλοιωμένος κυρίως προς σερικιτικούς χλωριτικούς σχιστόλιθους με υπολείμματα πλαγιόκλαστων,

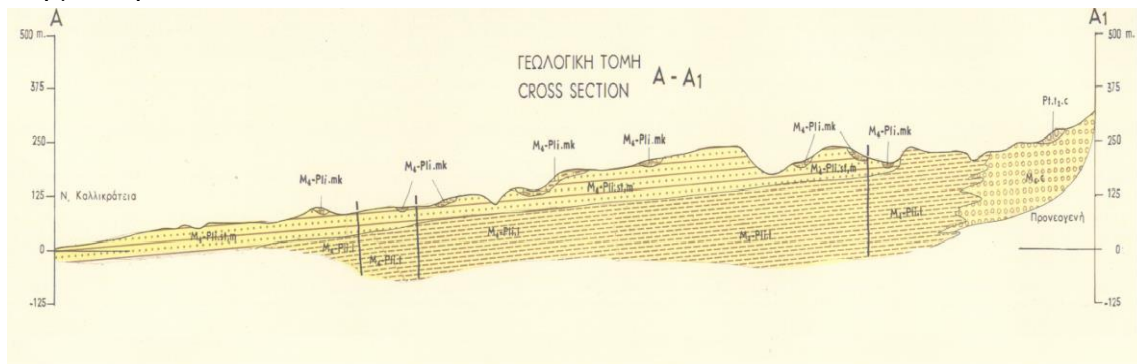
περιλαμβάνονται αμφιβολίτες και φακοί από μάρμαρο. Ο παραπάνω σχηματισμός ανήκει στο Σχηματισμός Βερτίσκου όπου και είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της ζώνης Αξιού.

Παρακάτω διατίθεται χάρτης με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας.

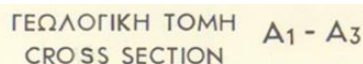


Σχήμα 8. Χάρτης με τους γεωλογικούς σχηματισμούς (με τροποποιήσεις από Φύλλα Χάρτη του ΙΓΜΕ Βασιλικά και Πολύγυρο)

Οι παρακάτω τομές αναπαριστούν την δομή της περιοχής και τη στρωματογραφική διάπλαση των σχηματισμών. Οι τομές ανήκουν στον Χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. 1969. Η γεωλογική χαρτογράφηση έγινε από τον Δρ. Mollat, έναν γεωλόγο του ομοσπονδιακού ινστιτούτου και τον κ. Αντωνιάδη, έναν γεωλόγο του ΙΓΜΕ. Η διάρθρωση των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών έγινε από τους γεωλόγους του ΙΓΜΕ Δρ. Χριστοδούλου, Παργινό και Κουρμούλη το 1971.



Σχήμα 9. Γεωλογική τομή 1 και 2



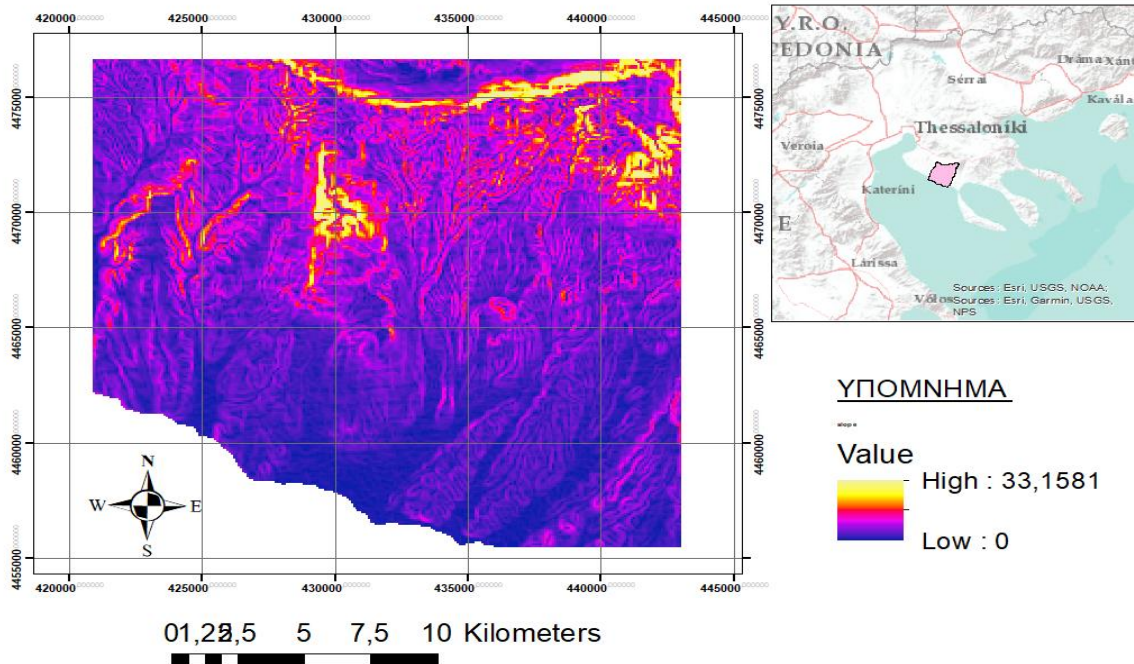
Σχήμα 10. Γεωλογική τομή 1 και 3

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται η κατανομή των υψομέτρων στην περιοχή έρευνας και είναι επίσης δημιουργημένη σε περιβάλλον GIS με το πρόγραμμα ArcMap, όπως και οι υπόλοιποι χάρτες που ακολουθούν για να δοθεί μια γενική εικόνα της περιοχής έρευνας.



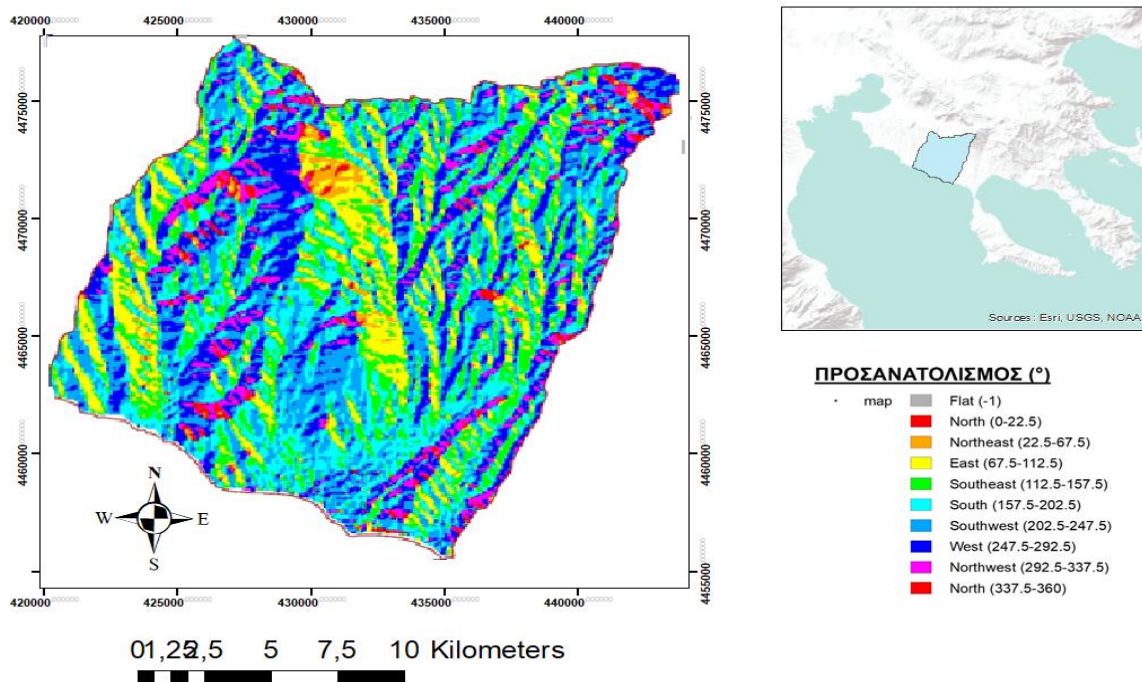
Σχήμα 11. Χάρτης υψομέτρων σε περιβάλλον GIS

ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

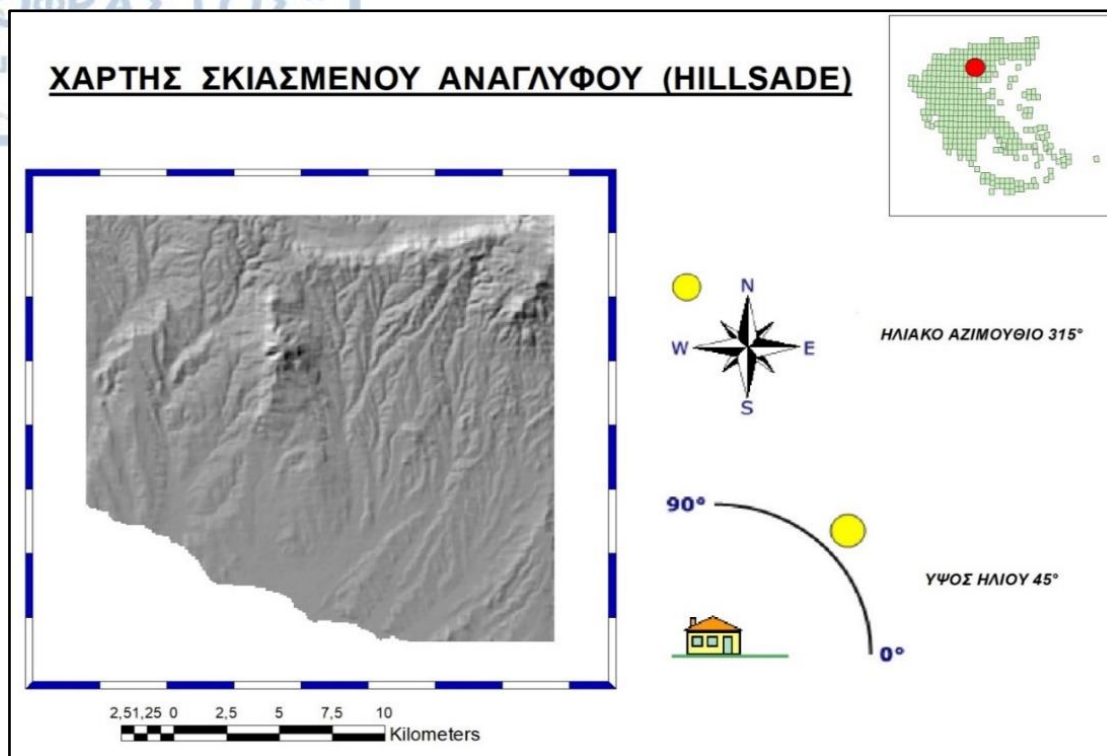


Σχήμα 12. Ταξινόμηση κλίσεων σε περιβάλλον GIS

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΚΛΙΤΥΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



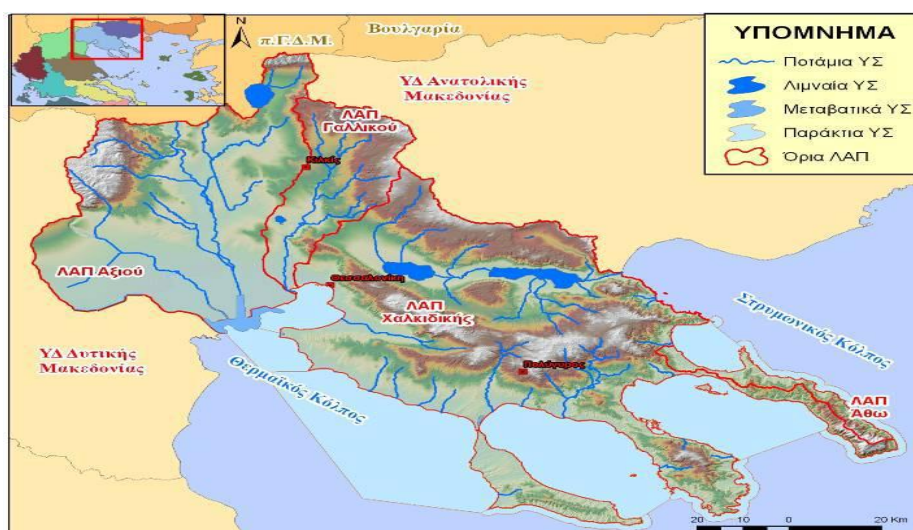
Σχήμα 13. Χάρτης προσανατολισμού κλιτύων σε περιβάλλον GIS



Σχήμα 14. Χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου σε περιβάλλον GIS

2.3 Υδρογεωλογία της περιοχής

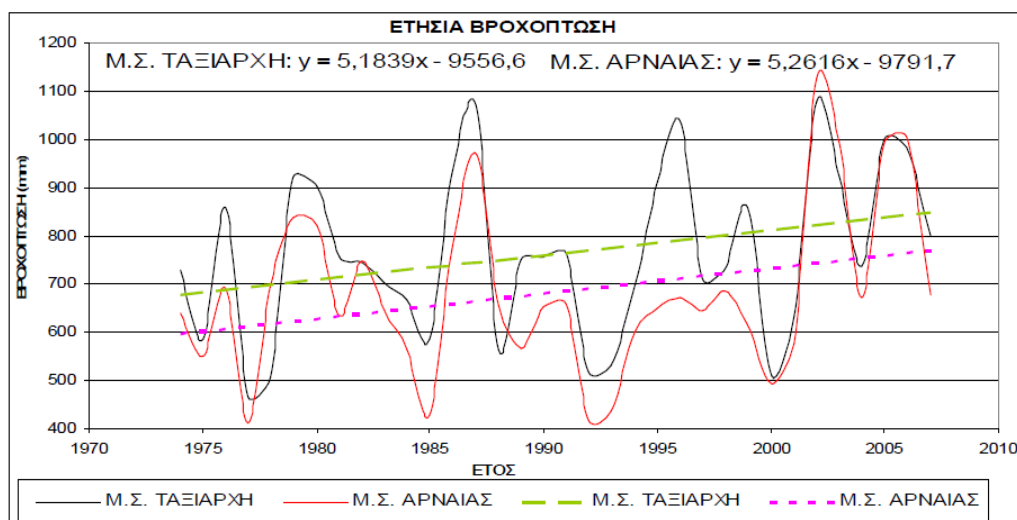
Η περιοχή έρευνας ανήκει στο 10^ο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας, το οποίο έχει έκταση 10.146 km² και χωρίζεται σε 4 Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ), την λεκάνη Αξιού με κωδικό GR03 και έκταση 3.327 km², την ΛΑΠ Γαλλικού GR04 με έκταση 1.051 km², την ΛΑΠ Χαλκιδικής GR05, με έκταση 5.546 km² και την ΛΑΠ Άθω GR43, με έκταση 239 km². Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας στελεχώνεται περιμετρικά από τα όρη Κερδύλια Βερτίσκος, Κρούσια και Μπέλες από ανατολικά, ενώ από δυτικά συνορεύει με το όρος Πάικο και την Περιφερειακή Τάφρο. Στα βόρεια υπάρχει η οροσειρά Κερκίνη (Μπέλες) και τα σύνορα Ελλάδας με Σκόπια (Βόρεια Μακεδονία).



Σχήμα 15. Χάρτης με τις ΛΑΠ κεντρικής Μακεδονίας από Γραμματεία Υδάτων

Το Διαμέρισμα χαρακτηρίζεται από εύκρατο κλίμα. Γενικά, διαμορφώνονται πολλά τοπικά μικροκλίματα που επηρεάζονται τόσο από το υψόμετρο όσο και από την απόσταση από την θάλασσα. Τον χειμώνα παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες, με αρκετές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 400 mm μέχρι 800 mm, ενώ στα ορεινά τμήματα ξεπερνάει τα 1000 mm. Το καλοκαίρι είναι ζεστό με λίγες τοπικές βροχές. Παρακάτω αποτυπώνεται ένα διάγραμμα βροχοπτώσης με στοιχεία που έχουν συλλεχθεί στο πέρασμα των χρόνων από το μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής Ταξιάρχη και Αρναίας, με υψόμετρο 670 m και 600 m, αντίστοιχα. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται ΒΑ της περιοχής έρευνας και απέχουν 60 Km και 75 Km οδικώς. Το σχεδιάγραμμα αποτελεί ενδεικτικό δείγμα της μετεωρολογικής κατάστασης της ευρύτερης περιοχής.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΗΜΕΡΩΝ ΒΡΟΧΗΣ



Σχήμα 16. Διακύμανση βροχοπτώσεων σε σταθμούς της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Καστρίδης, Στάθης), Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται στη ΛΑΠ Χαλκιδικής η οποία με την σειρά της χωρίζεται σε μικρότερες υποενότητες. Σημείο ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας αποτελεί το υδατικό σύστημα Επανομής – Μουδανίων με κωδικό GR1000060.

Γενικά, παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση στοιχείων όπως Mn, Ni, B, As, Fe, λόγω γεωθερμικών ρευστών που υπάρχουν στην περιοχή αλλά και του μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων από τις οποίες αντλούνται σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού για να καλυφθούν οι ανάγκες της περιοχής.

Εκτιμάται, ωστόσο, ότι ο αριθμός των πραγματικά ενεργών γεωτρήσεων υπερβαίνει κατά πολύ του δηλωμένου αριθμού και ότι ο συνολικός όγκος αντλούμενου νερού, σύμφωνα με την Γενική Γραμματεία Υδάτων, ανέρχεται σε $66,13 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Το υπόγειο υδατικό σύστημα Επανομής–Μουδανίων χωρίζεται σε 2 υποσυστήματα, το υποσύστημα GR1000061, κοκκώδες Επανομής–Μουδανίων και το υποσύστημα GR1000062, καρστικό Ν. Τρίγλιας (ΙΓΜΕ, Βεράνης κ.α., 2010). Αν και η έρευνα της εργασίας θα έπρεπε να επικεντρωθεί στα στοιχεία που αφορούν στο υποσύστημα Ν. Τρίγλιας, παρακάτω θα αναλυθούν και τα δυο υποσυστήματα ώστε να υπάρξει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής, καθώς γίνεται αναφορά σε υπόγεια ύδατα τα οποία με την σειρά τους αποτελούν ένα δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο σύστημα.

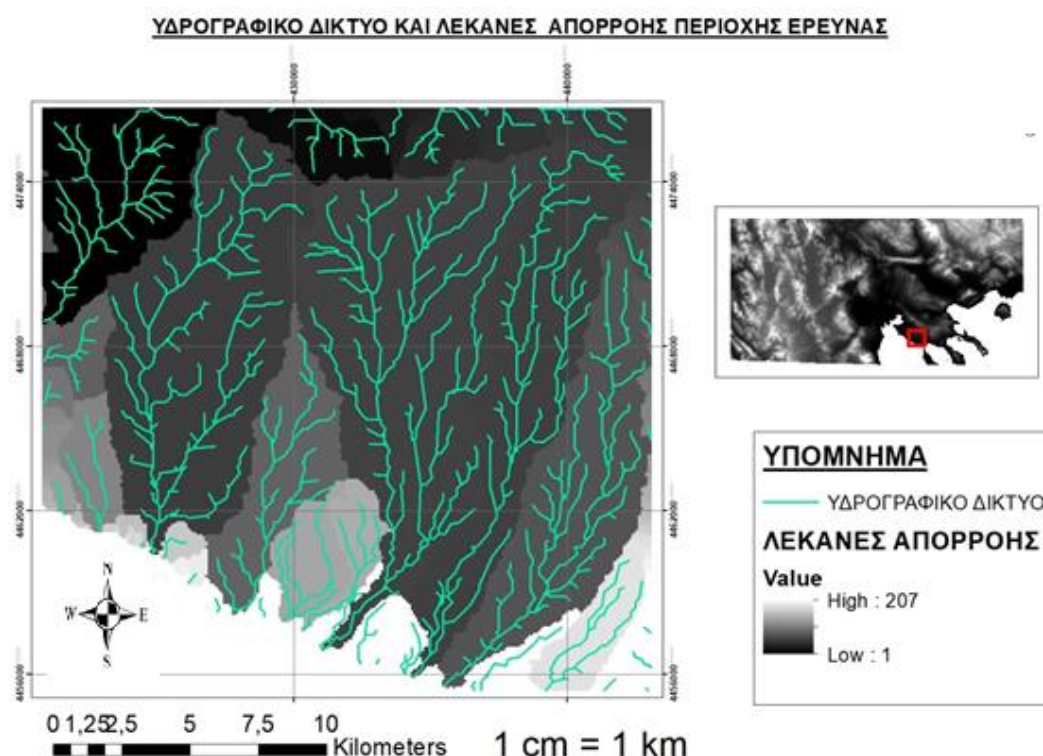
Αρχικά, παρατηρείται ένα κοινό σημείο ανάμεσα στις 2 υποενότητες. Υπάρχει ανάπτυξη μεγάλου αριθμού υδρορεμάτων, κυρίως εποχιακών, που καταλήγουν στη θάλασσα, χωρίς όμως τη δημιουργία ενός κύριου υδρορέματος. Το μόνο στοιχείο με σταθερή ροή όλο τον χρόνο είναι

ο ποταμός Ολύνθιος. Το υπόγειο υδατικό σύστημα Επανομής-Μουδανιών αναπτύσσεται κυρίως στα δυτικά της Χαλκιδικής σε κλαστικούς ορίζοντες του Τεταρτογενούς αλλά υπάρχει και παρουσία ψαμμιτών και ασβεστόλιθων του Νεογενούς και καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή. Το υποσύστημα Τρίγλιας αναπτύσσεται εξολοκλήρου σε καρστικά ασβεστολιθικά πετρώματα του σχηματισμού Κατσίκας.

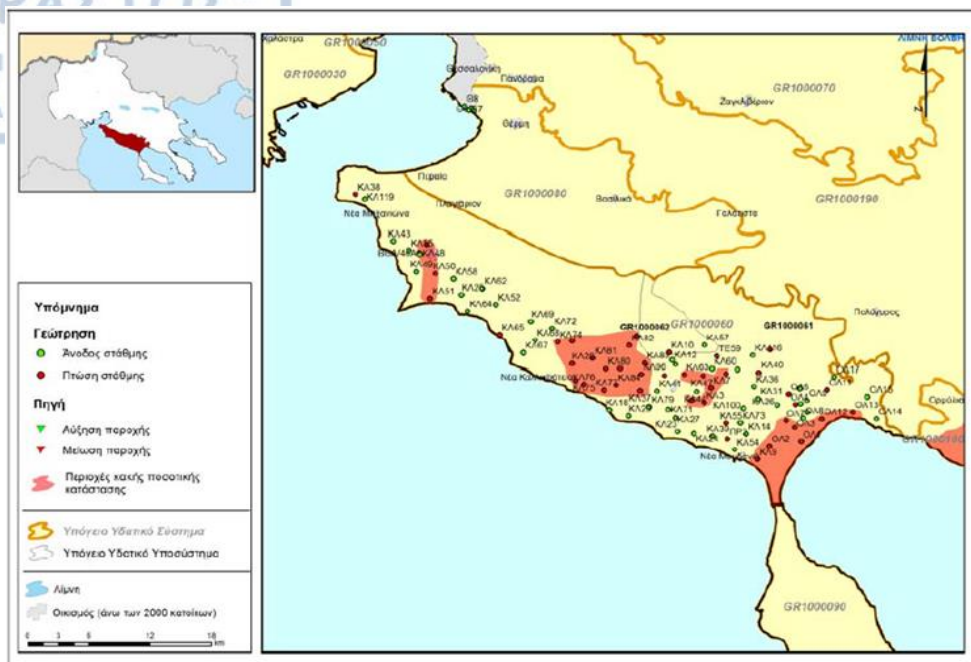
Όσο αναφορά στο είδος των υδροφορέων που παρατηρούνται μέσα στους προσχωματικούς σχηματισμούς, δηλαδή κυρίως στο υποσύστημα σύστημα Επανομής-Μουδανιών, είναι αρχικά ένας κύριος ελεύθερος υδροφορέας, μία σειρά επάλληλων υδροφορέων μερικώς υπό πίεση και μία σειρά επάλληλων υδροφορέων υπό πίεση. Οι ρωγματικοί υδροφορείς που αναπτύσσονται στη ΛΑΠ Χαλκιδικής είναι τοπικής σημασίας. Η τροφοδοσία αυτού του συστήματος γίνεται μέσω κατεισδύσεων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τη διήθηση των επιφανειακών νερών και την πλευρική τροφοδοσία από το καρστικό σύστημα Ν. Τρίγλιας.

Το υποσύστημα της Νέας Τρίγλιας τροφοδοτείται επίσης από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αλλά και από τα γεωθερμικά ρευστά που δρουν στην περιοχή. Ακόμη, τροφοδοτείται πλευρικά λόγω της διήθησης από τα εκατέρωθεν ρωγματικά συστήματα.

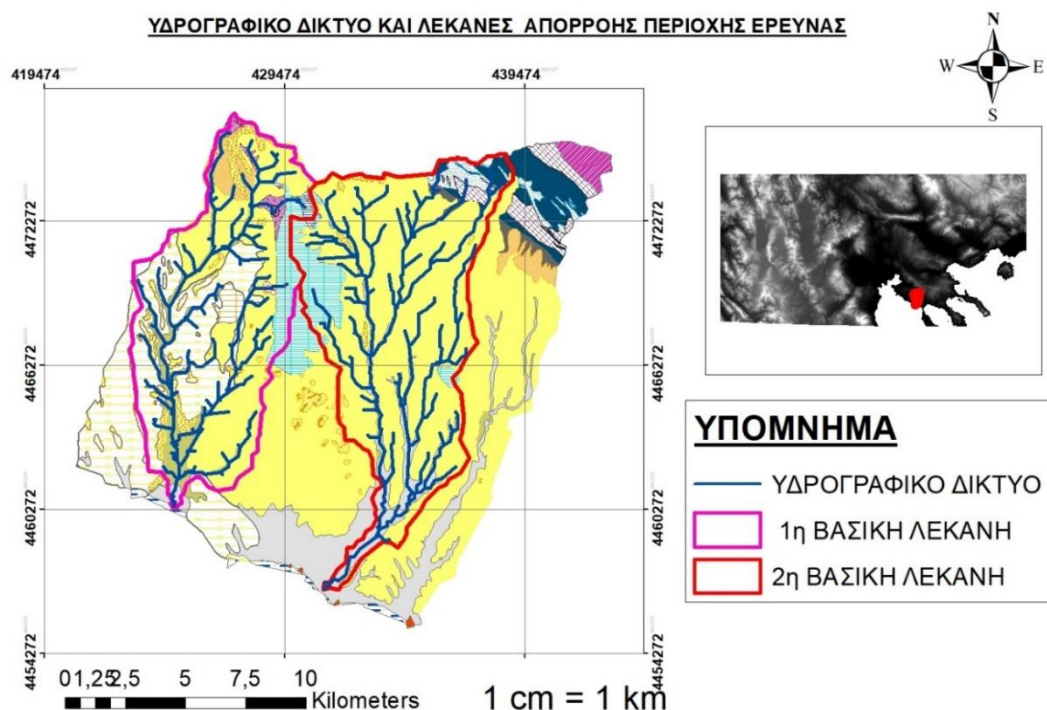
Στο καρστικό υποσύστημα Ν. Τρίγλιας, λήφθηκαν μετρήσεις στάθμης από 3 υδροσημεία με καταγραφή πτώσης στάθμης σε δύο από αυτά. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο υποσύστημα παρατηρήθηκε και αυξημένη συγκέντρωση στοιχείων Mn, Fe, B, F και As, γεγονός που προκαλεί πρόβλημα όσο αναφορά στην ποιότητα του ποτίμου νερού στην περιοχή Τρίγλιας-Πετράλωνα-Σωζόπολη-Ν. Πλάγια-Τένεδος (στοιχεία υποστηριζόμενα από την γενική γραμματοειδία υδάτων).



Σχήμα 17. Χάρτης υδρογραφικού δικτύου και λεκάνες απορροής ,σε περιβάλλον GIS

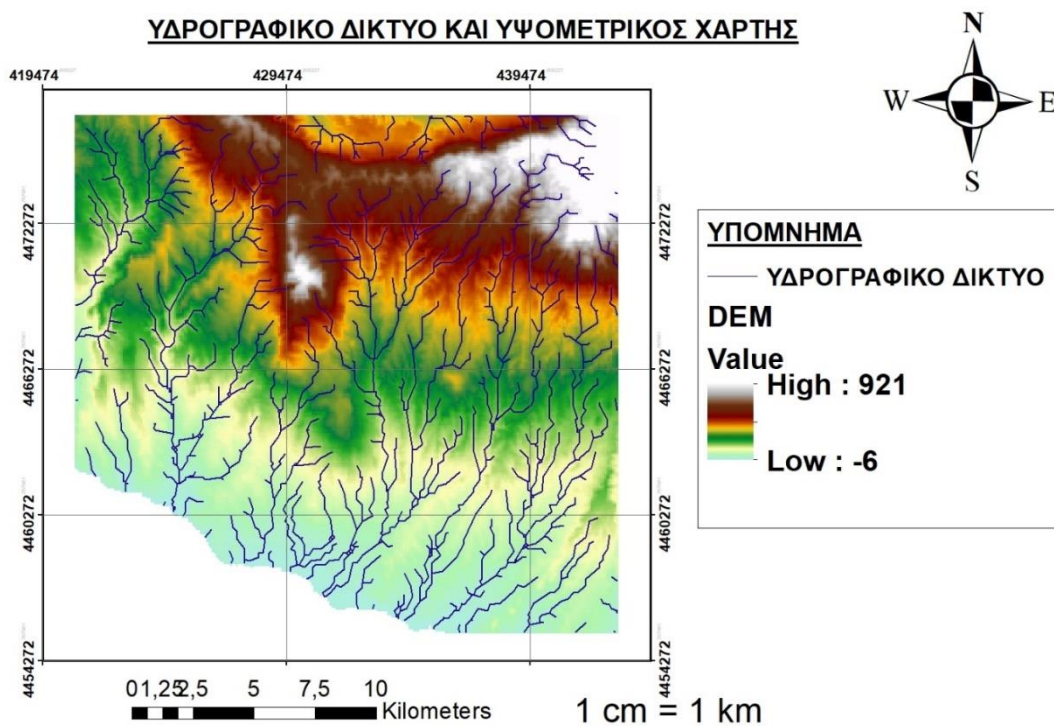


Σχήμα 18. Υπόγειο Υδατικό Σύστημα GR1000060, Επανομής - Μουδανιών (Γραμματεία Υδάτων).



Σχήμα 19. Υδρογραφικό δίκτυο και λεκάνες απορροής, σε περιβάλλον GIS.

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ



Σχήμα 20. Υδρογραφικό δίκτυο και υψομετρικός χάρτης, σε περιβάλλον GIS.

3 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Ιστορικά η έννοια της τρωτότητας αναφέρθηκε πρώτη φορά από τον Margat το 1968 στη Γαλλία. Έκτοτε αρκετοί επιστήμονες έχουν αναφερθεί στον ορισμό της τρωτότητας στη διεθνή βιβλιογραφία με διαφορετικό ορισμό. Αυτός που είναι κοινά αποδεκτός και λαμβάνεται υπόψη σε αυτήν την εργασία είναι ότι η τρωτότητα αποτελεί την ευαισθησία ή την επιδεκτικότητα απέναντι στους εξωτερικούς ρύπους. Σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φτάσει στον υδροφορέα.

Η έννοια βασίζεται στο γεγονός ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό και επίσης δεν ταυτίζεται με την έννοια της ευαισθησία που αναφέρεται στην ευκολία με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα, αλλά διαφέρει καθώς δεν εξαρτάται από την χρήση της γης και τα χαρακτηριστικά των ρύπων.

Σύμφωνα με τον Στουρνάρα (1977), η τρωτότητα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε 3 στάδια:

1. Το στάδιο της δυνητικής εισόδου του ρύπου στο υδατικό σύστημα
2. Το στάδιο παραμονής του ρύπου στο υδατικό σύστημα
3. Το στάδιο άφιξης του ρύπου στο ιδεοληπτικό έργο, αν γίνεται εκμετάλλευση

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε αυτήν την εργασία είναι η DRASTIC (Aller et al., 1987), που ανήκει στις μεθόδους δεικτών και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κίνδυνου ρύπανσης των υπογείων νερών με βάση τις υδρογεωλογικές παραμέτρους στους πορώδεις υδροφορείς.

Η ιδιά η λέξη προκύπτει από τα ακρωνύμια των: **Depth**-βάθος της στάθμης του υπογείου νερού, **Recharge**-ενεργή κατείσδυση, **Acquifer**-υδροφορέας, **Soil**-έδαφος, **Topography**-κλίση ανάγλυφου, **Impact of the vadose zone**-επίδραση της ακόρεστης ζώνης, **hydraulic Conductivity of the aquifer** - συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας.

Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη συγκεκριμένες παραδοχές:

- I. Κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια
- II. Ο ρύπος εισάγεται στον υδροφόρο μέσω της κατείσδυσης του νερού της βροχόπτωσης
- III. Ο ρύπος έχει την ταχύτητα του νερού
- IV. Η ελάχιστη επιφάνεια για την εφαρμογή της μεθόδου είναι 0,4 Km²

Μια ακόμα ενδιαφέρουσα σχέση που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα είναι ο δείκτης DRASTIC (DI) ο οποίος υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$DI = Dr + Dw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

Όπου ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης w την βαρύτητα της κάθε παραμέτρου. Με βάση την τιμή της σχέσης DI δημιουργούνται χάρτες τρωτότητας σε περιβάλλον GIS.

Είναι γενικώς αποδεκτό ότι περιοχές με μεγάλες διακυμάνσεις στις τοπογραφικές κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή και δυσχεραίνουν την κατείσδυση και κατ' επέκταση το ρυπαντικό δυναμικό. Η έννοια του δυναμικού ρύπανσης όπως αλλιώς αναφέρεται, εισήχθη στην βιβλιογραφία από τον LeGrand (1964) για τους υπογείους υδροφορείς, ώστε να εκτιμηθεί και να ποσοτικοποιηθεί η τρωτότητα. Τα κριτήρια που τέθηκαν για να υπολογιστεί η τρωτότητα είναι το πάχος της ακόρεστης ζώνης, υδροπερατότητα, υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής

επιφάνειας, οριζόντια απόστασης από την πηγή ρύπανσης, προσρόφιση και απορρόφιση στην ακόρεστη ζώνη.

Με βάση το διάγραμμα που ανέπτυξε και το οποίο θα παρουσιαστεί παρακάτω, κατηγοριοποίησε το σύνολο της βαθμολογίας που εκφράζει μια περιοχή παρατηρείται σε υποομάδες:

- Πολύ χαμηλή τρωτότητα (>12 βαθμοί)
- Μέτρια τρωτότητα (8-12 βαθμοί)
- Μεγάλη τρωτότητα (4-8 βαθμοί)
- Πολύ μεγάλη τρωτότητα(<4 βαθμοί)

Η εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC επηρεάζεται ανάλογα το είδος του υδροφορέα γι' αυτό και η εφαρμογή της μεθόδου διαφέρει για τους καρστικούς υδροφορείς, όπως αυτός της περιοχής έρευνας, και εισάγονται καινούριες παράμετροι. Μια από αυτές είναι το ενδοκάρστ που περιλαμβάνει το υπόγειο καρστ στο οποίο η ταχύτητα της ροής είναι υψηλότερη στους καρστικούς αγωγούς και την έννοια του επικάρστ το οποίο εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια και αποτελεί τμήμα της ακόρεστης ζώνης του υδροφορέα. Παίζει σημαντικό ρόλο στην κατείσδυση και συνεπώς επηρεάζει την προστατευτική ικανότητα της ακόρεστης ζώνης. Τέλος, οι καρστικοί υδροφορείς επηρεάζονται και από το προστατευτικό κάλυμμα, το οποίο αντιπροσωπεύεται από τα ιζήματα που υπέρκεινται στους ασβεστόλιθους.

Πίνακας 1:Παράμετροι βαρύτητας της μεθόδου DRASTIC

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

3.1 Βάθος του υπόγειου νερού -D

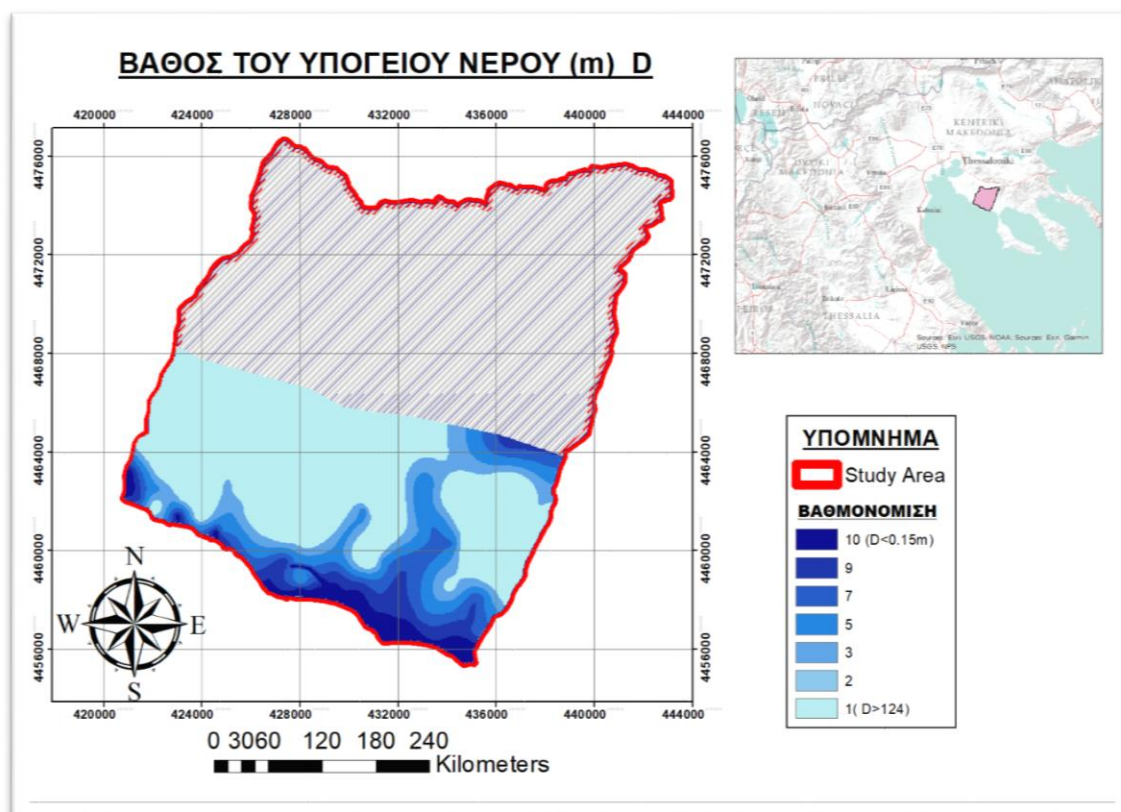
Η τιμή του βάθους αποτελεί την σημαντικότερη παράμετρο της μεθόδου DRASTIC, λαμβάνοντας τη μεγαλύτερη τιμή βαρύτητας, η οποία είναι ίση με 5. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειάς του υπόγειου νερού και της επιφάνειας του εδάφους, τόσο καλύτερη είναι η προστασία του υδροφορέα. Αυτό συμβαίνει διότι η απόσταση επιτρέπει στο ρύπο που απειλεί να μολύνει το υπόγειο νερό να εξασθενήσει, σαν αποτέλεσμα των διάφορων διεργασιών που συμβαίνουν κατά την διάρκεια της καθόδου του.

Σε αντίθετη περίπτωση όπου η απόσταση από την επιφάνεια είναι μικρή, ο χρόνος που χρειάζεται ο ρύπος για να φτάσει στο υπόγειο νερό είναι ελάχιστος, κάνοντας τον υδροφορέα εξαιρετικά ευάλωτο. Σαν αποτέλεσμα, με βάση τον πίνακα παρακάτω, όταν το βάθος της στάθμης του νερού είναι μικρό, η τρωτότητα του είναι υψηλή, και γι' αυτό η παράμετρος λαμβάνει μεγάλη τιμή βαθμονόμησης.

Στους υπό πίεση υδροφορείς η παράμετρος αντιστοιχεί στην απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την οροφή του υδροφορέα. Σε αυτόν τον τύπο υδροφορέα η απόσταση θεωρείται σταθερή και λαμβάνουμε υπόψη ότι δεν επηρεάζεται από τις καιρικές αλλαγές που συμβαίνουν ετησίως.

Τα δεδομένα αυτής της παραμέτρου λαμβάνονται από μια πληθώρα γεωτρήσεων στην περιοχή έρευνας ώστε να γίνει δυνατή η σύνταξη ενός θεματικού χάρτη. Το βάθος του υπόγειου νερού επηρεάζεται ακόμη από το είδος του υδροφορέα.

Στην περιοχή έρευνας, το βάθος του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 0.15 έως 124 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Όπως απεικονίζεται και στον χάρτη που ακολουθεί έχουμε μικρότερα βάθη κυρίως στην παραλιακή ζώνη της περιοχής μελέτης και στην βόρειο-ανατολική πλευρά της περιοχής, κατά μήκος ορισμένων αλλουβιακών αποθέσεων στην περιοχή.



Σχήμα 21. Χάρτης βάθους του υπόγειου νερού σε περιβάλλον GIS

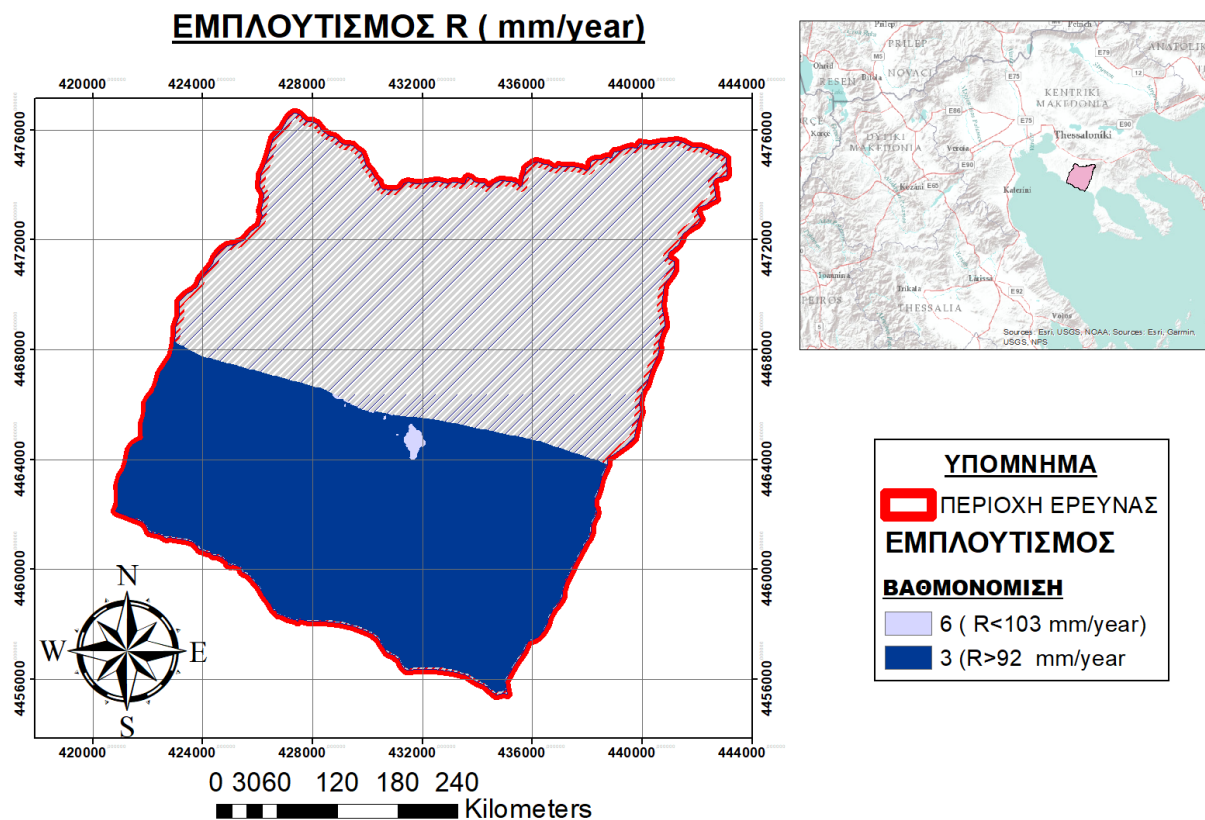
Πίνακας 2. Βαθμονόμηση της παραμέτρου D.

Βάθος του υπόγειου νερού(m)	Βαθμονόμηση
<0.15	10
0.15-0.5	9
0.5-0.7	8
0.71-5	7
5-7	6
7-10	5
10-13	4
13-90	3
90-124	2
>124	1

3.2 Εμπλουτισμός- R

Ο Εμπλουτισμός (ή αλλιώς ενεργή κατείδυση) ορίζεται ως η κατακόρυφη κίνηση του νερού από την ακόρεστη ζώνη στην κορεσμένη και αποτελεί την σημαντικότερη διεργασία τροφοδοσίας του υδροφορέα. Ως ενεργή ορίζουμε το ποσοστό της κατείδυσης που τελικά εμπλουτίζει τον υδροφορέα. Όσο αφορά στη μέθοδο DRASTIC, η κατείδυση του νερού της βροχόπτωσης δρα ως το μέσο μεταφοράς του ρύπου προς τον υδροφορέα. Υψηλή τιμή της κατείδυσης δηλώνει μεγάλη μεταφορική ικανότητα του ρύπου και υψηλή τιμή της τρωτότητας.

Ο χάρτης της ενεργής κατείδυσης προέκυψε από την κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή έρευνας σύμφωνα με τη σχέση υψομέτρου βροχόπτωσης (Καζάκης, 2011) και τον συντελεστή κατείδυσης (20%), όπως έχει προκύψει από εργασίες στην περιοχή έρευνας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η ενεργή κατείδυση κυμαίνεται από 92 mm έως 103 mm. Ομόγνωμα με τον χάρτη (σχήμα 22) που εμφανίζεται παρακάτω παρατηρείται μια ομοιομορφία όσο αφορά τον εμπλουτισμό της περιοχής με την παράμετρο να λαμβάνει κατά βάση την τιμή 3.



Σχήμα 22. Χάρτης εμπλουτισμού R σε περιβάλλον GIS.

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει την βαθμονόμηση αυτής της παραμέτρου.

Πίνακας 3. Βαθμονόμηση της παραμέτρου R

Τιμή κατείσδυση (mm)	Τυπική βαθμονόμηση
92	3
95,67	4
99,33	5
103	6

3.3 Τύπος υδροφορέα- Α

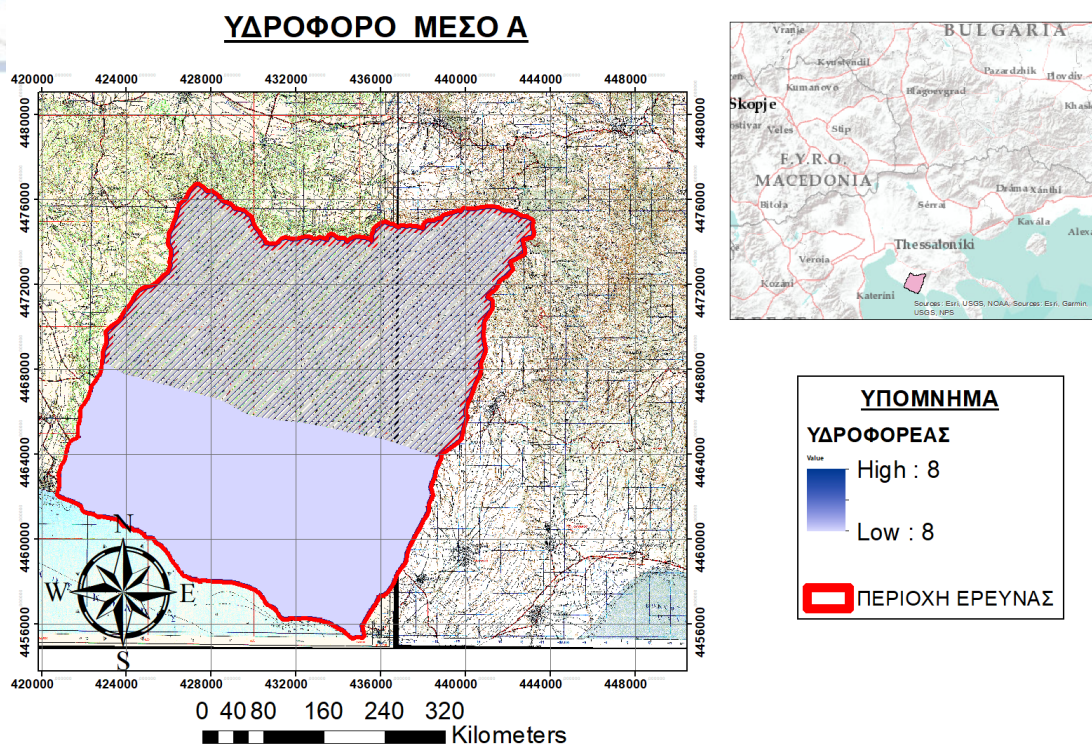
Αυτή η παράμετρος της μεθόδου επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του υλικού από το οποίο έχει δημιουργηθεί ο υδροφορέας, όπως και το είδος του πορώδους και της περατότητας. Η τιμή βαρύτητας αυτής της παραμέτρου είναι ίση με 3.

Γενικά τα αδρόκοκκα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη υδροπερατότητα και η ικανότητα τους όσο αφορά στην εξασθένιση του ρύπου είναι μικρή. Σε αυτό συμβάλει ο ελάχιστος χρόνος που έχει ο ρύπος για να κινηθεί μέσα στον υδροφορέα. Αυτή η κατηγορία υδροφορέων λαμβάνει υψηλές τιμές στον πίνακα βαθμονόμησης, με τους καρστικούς υδροφορείς να κατέχουν την υψηλότερη θέση.

Οι υδροφορείς που αποτελούνται από λεπτόκοκκο υλικό χαρακτηρίζονται από χαμηλή περατότητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος κίνησης του ρύπου και κατ' επέκταση να προκαλείται η εξασθένιση του. Γι' αυτό βαθμολογείται με χαμηλές τιμές βαθμονόμησης.

Στην περιοχή έρευνας, όπως παρουσιάζεται και στον χάρτη που ακολουθεί, το υλικό του υδροφορέα αποτελείται από άμμους και κροκάλες συνεπώς η βαθμονόμηση είναι ίδια για όλη την έκταση και ίση με 8 και ο τύπος του υδροφορέα είναι ελεύθερος.

Εδώ εντοπίζεται και ένα από τα αρνητικά της μεθόδου όσο αφορά στην εφαρμογή της σε περιοχές με έναν τύπο υδροφορέα. Για την αποφυγή αυτής της κατάστασης, δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης των κλάσεων της παραμέτρου, με κριτήριο μια πληθώρα συνθηκών που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή ερευνάς με επακόλουθο την εισαγωγή του μειονεκτήματος της υποκειμενικότητας του ερευνητή στην διαλογή των τιμών και στην σύνταξη των κλάσεων.



Σχήμα 23. Χάρτης υδροφόρου μέσου σε περιβάλλον GIS

Πίνακας 4. Βαθμονόμηση της παραμέτρου Α

Υλικό υδροφορέα	Βαθμονόμηση
Μαζώδης σχιστή άργιλος	2
Μεταμορφωμένα/Πυριγενή	3
Αποσαθρωμένα/Μεταμορφωμένα/πυριγενή	4
Παγετώδεις αποθέσεις	5
Ενστρώσεις ψαμμιτών, ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις αργίλου	6
Μαζώδης ψαμμίτης	6
Μαζώδης ασβεστόλιθος	6
Άμμοι και κροκάλες	8
Βασάλτης	9
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	10

3.4 Έδαφος -S

Ως έδαφος ορίζεται ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που διαχωρίζεται με μηχανικό τρόπο. Η παράμετρος του εδάφους στη μέθοδο DRASTIC καθορίζεται από την λιθολογία των επιφανειακών στρωμάτων, τα οποία με την σειρά τους επηρεάζουν την ποσότητα και αλλά χαρακτηριστικά του νερού που τα διαπερνά με προορισμό τα υπόγεια ύδατα.

Όσο πιο αδρόκοκκα είναι τα υλικά, επιτρέπουν σε μεγαλύτερη ποσότητα νερού να εισέλθει και να κατεισδύσει στα βαθύτερα στρωματά πολύ πιο γρήγορα. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η δύσκολη εξασθένιση του ρύπου, γι' αυτό και οι τιμές που λαμβάνει στην βαθμονόμηση είναι υψηλές.

Στα λεπτόκοκκα ιζήματα ωστόσο δεν παρατηρείται το ίδιο μοτίβο. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρόνος παραμονής του ρύπου είναι μεγάλος και γι' αυτό η πιθανότητα να εξασθενίσει ο ρύπος σε αυτά τα πρώτα στρωματά είναι μεγάλη. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη γίνεται αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο παίρνει μικρές τιμές.

Σε περιοχές όπου το εδαφικό κάλυμμα είναι μικρό η απουσιάζει εντελώς, είναι εμφανές ότι η προστατευτική ικανότητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η κατακόρυφη κίνηση των ρύπων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας βαθμονόμησης της παραμέτρου του εδάφους η οποία λαμβάνει τιμή βαρύτητας ίση με 2. Για την περιοχή έρευνας δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, συνεπώς η παράμετρος δεν λήφθηκε υπόψιν στην εκτίμηση της Τρωτότητας.

Πίνακας 5. Βαθμονόμηση της παραμέτρου S

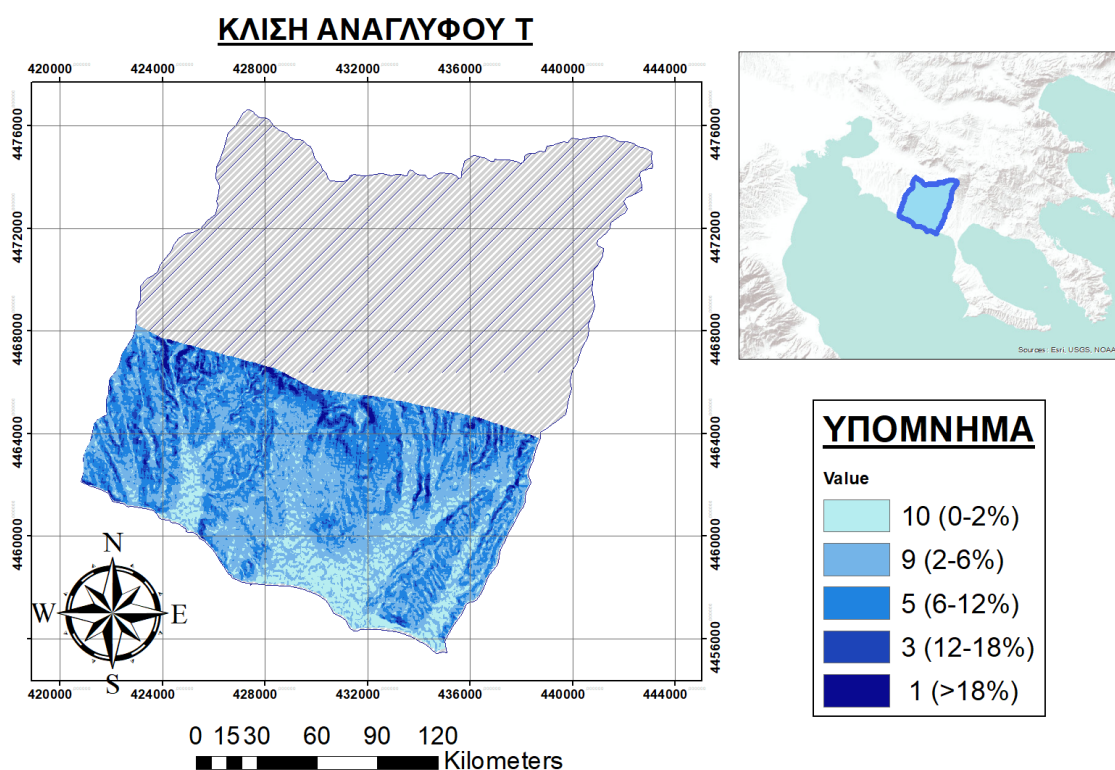
Έδαφος	Βαθμονόμηση
Λεπτό ή καθόλου	10
Χαλίκια	10
Άμμος	9
Τύρφη	8
Διογκούμενη άργιλος ή/και άργιλος με συσσωματώματα	7
Αμμώδης πηλός	6
Πηλός	5
Ιλυώδης πηλός	4
Αργιλώδης πηλός	3
Έδαφος πλούσιο σε οργανικό υλικό	2
Μη διογκούμενη ή/και άργιλος χωρίς συσσωματώματα	1

3.5 Κλίση του αναγλύφου -T

Η κλίση της επιφανείας του εδάφους στην περιοχή μελέτης μπορεί να δώσει πληροφορίες ως προς το ποια διεργασία λαμβάνει χώρα και συνεπώς υπερτερεί έναντι των υπολοίπων. Όταν σε μια περιοχή παρατηρούνται μεγάλες τιμές κλίσης αναγλύφου, αυτομάτως συμπεραίνεται ότι κυρίαρχη διεργασία είναι η επιφανειακή απορροή. Σε μια τέτοια υπόθεση, ο χρόνος παραμονής του ρύπου είναι ελάχιστος και η διεξόδυση δεν είναι εφικτή.

Σε ένα περιβάλλον με αντίθετα χαρακτηριστικά, όπου οι τιμές της κλίσης του αναγλύφου είναι μικρές και η μορφολογία ηπία, συμπεραίνεται ότι η επιφανειακή απορροή είναι αισθητά πολύ μικρότερη από την κατείσδυση. Επομένως ο χρόνος επιδρά αρνητικά και η πιθανότητα κατείσδυση του ρύπου στον υδροφορέα αυξάνεται σημαντικά.

Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι και η αύξηση της τρωτότητας για τον υδροφορέα, γι' αυτό και οι τιμές βαθμονόμησης που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα είναι υψηλότερες σε αυτό το είδος μορφολογίας.



Σχήμα 24. Χάρτης κλίσης αναγλύφου σε περιβάλλον GIS.

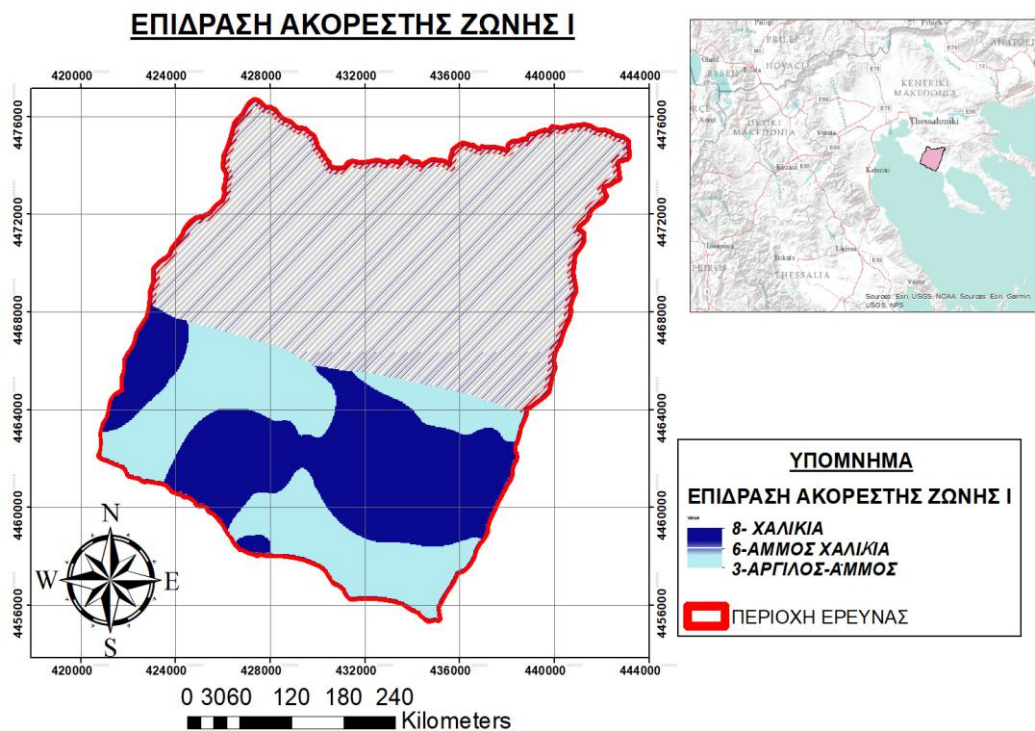
Πίνακας 6. βαθμονόμηση της παράμετρου T

Κλίση %	Βαθμονόμηση	Ποσοστό % έκτασης
0-2	10	12,51
2-6	9	44,82
6-12	5	33,85
12-18	3	7,10
>18	1	1,68

3.6 Επίδραση της ακόρεστης ζώνης-I

Η ακόρεστη ζώνη (vadose or unsaturated zone) ή μερικά κορεσμένη ζώνη (partially saturated zone) καταλαμβάνει το τμήμα μεταξύ της στάθμης του υπόγειου νερού και της επιφάνειας του εδάφους (Βουδούρης, 2009). Η παράμετρος αυτή είναι εξαιρετικής σημασίας για την μέθοδο DRASTIC, καθώς από αυτήν εξαρτάται ο χρόνος με τον οποίο θα κινηθεί ο εκάστοτε ρύπος που θα εισέλθει από την επιφάνεια του εδάφους

Σε αυτή την παράμετρο παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά του νερού με τις προηγούμενες ενότητες, δηλαδή η παρουσία λεπτοκόκκων υλικών καθυστερούν την κατείσδυση του πιθανού ρύπου με αποτέλεσμα την βέβαιη εξασθένιση του σε αντίθεση με τα αδροκοκκα υλικά όπου ο χρόνος κίνησης είναι μικρός και γι' αυτό και η εξασθένιση του είναι δυσκολότερη. Η επίδραση της ακόρεστης ζώνης είναι μείζονος σημασίας για την μέθοδο και γι' αυτό η τιμή βαρύτητας που λαμβάνει είναι ίση με 5. Στη περιοχή έρευνας φαίνεται να υπάρχουν 3 κατηγορίες υλικών που αποτελούν την ακόρεστη ζώνη, πιο συγκεκριμένα από χαλίκια άμμο και άργιλο.



Σχήμα 25. Χάρτης της επίδραση της ακόρεστης ζώνης σε περιβάλλον GIS.

Πίνακας 7. βαθμονόμηση της παραμέτρου I

Υλικό της ακόρεστης ζώνης	Βαθμονόμηση
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	10
Βασάλτης	9
Άμμος-Χαλίκια	8
Μεταμορφωμένα/ Πυριγενή	4
Άμμοι-Χαλίκια με σημαντικό ποσοστό ιλύος και αργίλου	6
Σαρκωματώδης ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, σχιστή άργιλος	6
Ψαμμίτης	6
Ασβεστόλιθος	6
Σχιστή άργιλος	3
Ιλύς/ άργιλος	3
Υπό πίεση υδροφορέας	1

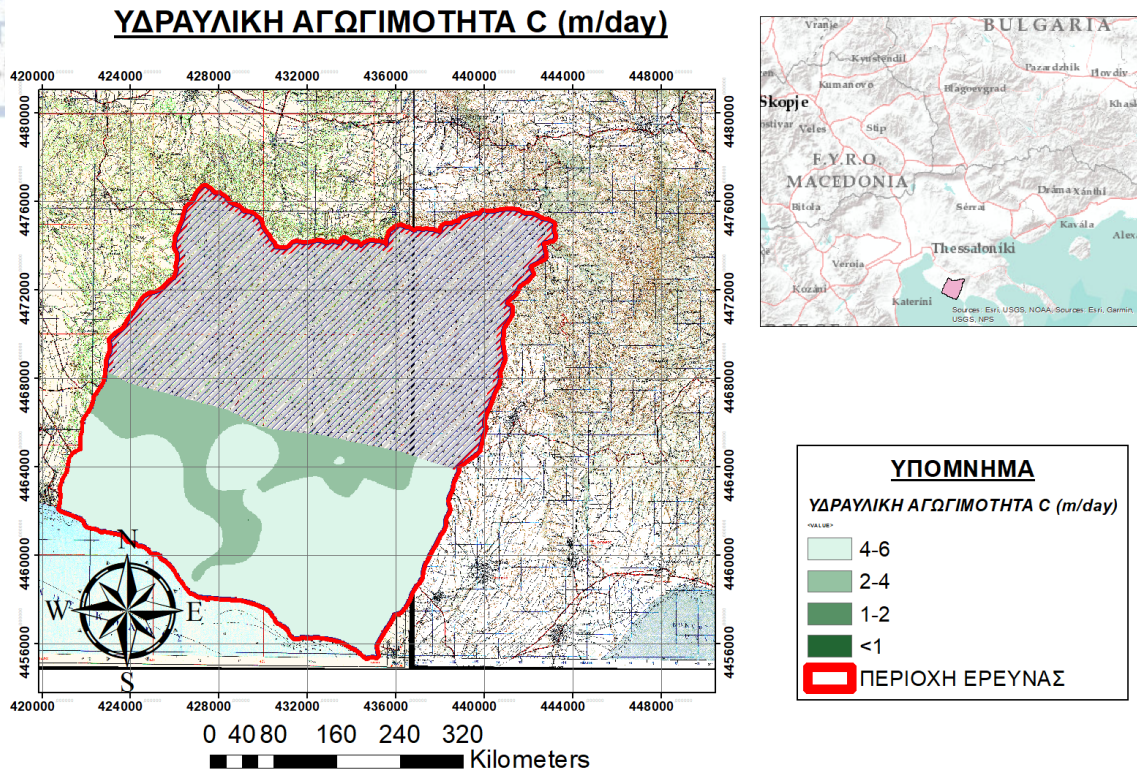
3.7 Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας-C

Η υδραυλική αγωγιμότητα ή κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα ή συντελεστής υδροπερατότητα W (hydraulic conductivity) (k) ενός μέσου είναι ένα μέτρο που εκφράζει πόσο εύκολα μπορεί να κινηθεί το νερό μέσα σε αυτό (Βουδούρης, 2015). Όταν παρατηρούνται αυξημένες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας σε μια περιοχή έρευνας σημαίνει ότι υπάρχει αυξημένη ταχύτητα στο υπόγειο νερό της κορεσμένης ζώνης. Ως εκ τούτου ο ρύπος έχει την δυνατότητα να μετακινηθεί ευκολά και γρηγορά και προς άλλες περιοχές.

Όταν η παράμετρος όμως έχει μικρές τιμές συμβαίνει το ακριβές αντίθετο. Η ταχύτητα του υπόγειου νερού είναι μικρή και γι'αυτο η πιθανότητα μετανάστευσης του ρύπου σε γειτονικές περιοχές ελαττώνεται σημαντικά.

Πίνακας 8. Βαθμονόμηση της παράμετρου C

Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/day)	Βαθμονόμηση
>81,6	10
40,8-81,6	8
28,56-40,8	6
12,24-28,56	4
4,08-12,24	2
0,04-4,08	1



Σχήμα 26. Χάρτης του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας σε περιβάλλον GIS.

3.8 Αποτελέσματα της εφαρμογής του δείκτη DRASTIC

Όπως αναφέρθηκε ξανά στην παρούσα εργασία ο δείκτης DRASTIC (DI) υπολογίζεται από την κάτωθι σχέση:

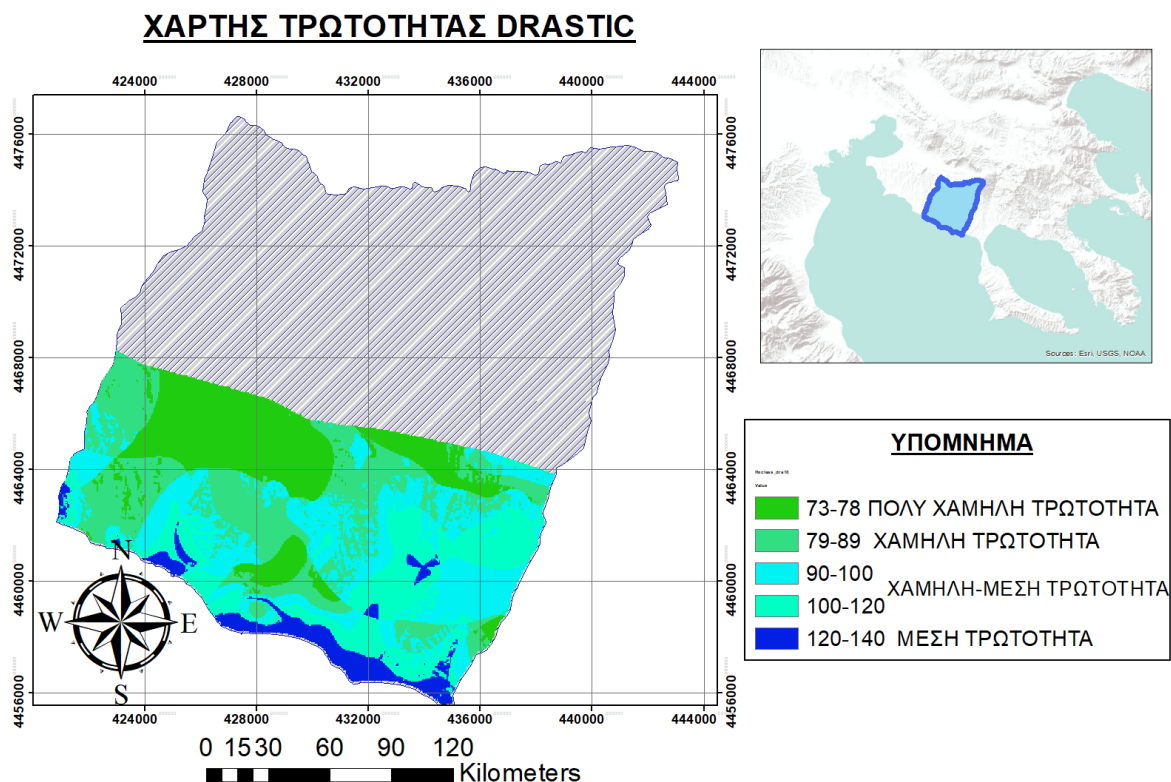
$$DI = Dr + Dw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

Οπού ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης w την βαρύτητα της κάθε μιας. Με βάση την τιμή της σχέσης DI δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες τρωτότητας σε περιβάλλον GIS. Η βαθμονόμηση των κλάσεων έγινε με βάση την πλέον γνωστή κατηγοριοποίηση σύμφωνα με Civita and De Regibus (1995), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 9.

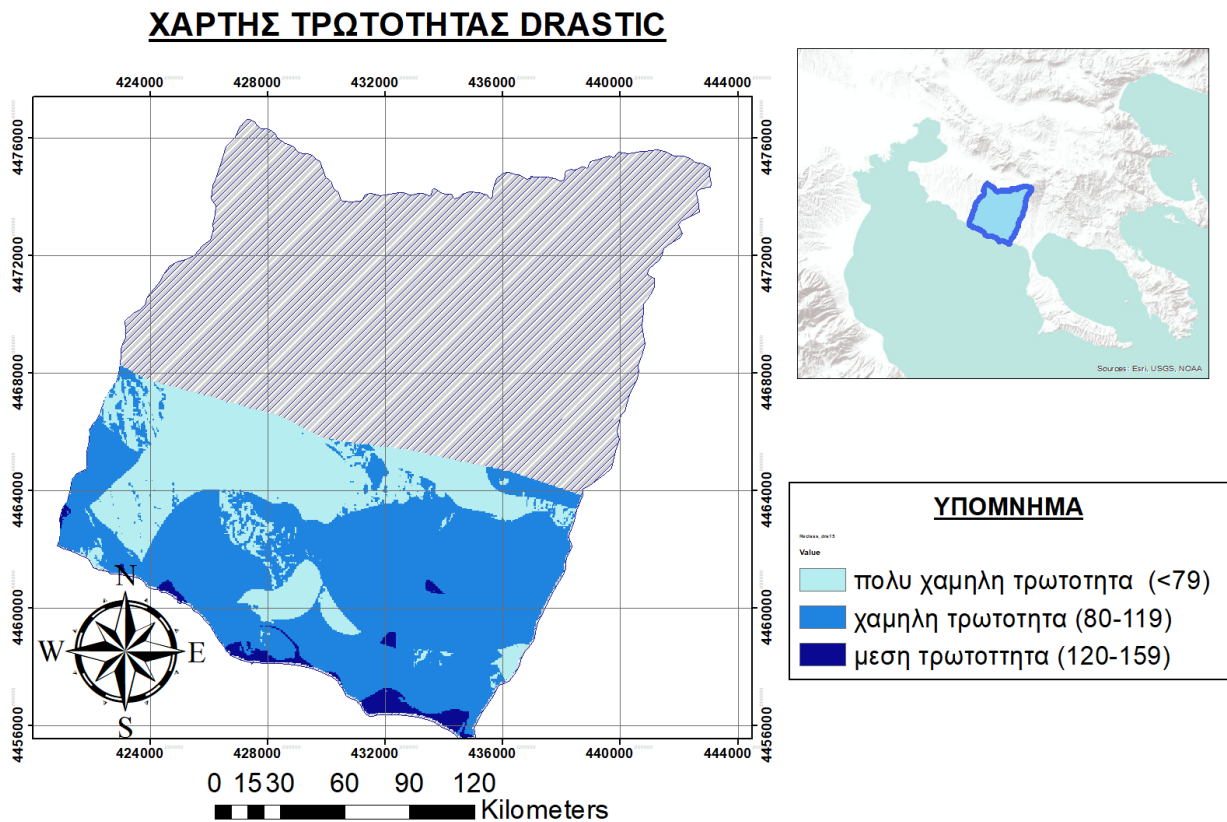
Πίνακας 9. Βαθμονόμηση του δείκτη DRASTIC

<u>Βαθμονόμηση τρωτότητας</u>	<u>Τιμές δείκτη DRASTIC</u>
Πολύ υψηλή	>199
Υψηλή	160-199
Μέση	120-159
Χαμηλή	80-119
Πολύ χαμηλή	<79

Σύμφωνα με τους χάρτες 26 και 27 και τον πίνακα 10 που ακολουθούν, παρουσιάζεται ότι στην περιοχή εξερευνάς οι τιμές της τρωτότητας είναι κυρίως χαμηλές έως χαμηλές μέσες. Αύξηση παρατηρείται κυρίως παραλιακά όπου οι τιμές ανεβαίνουν έως μέσες εξαιτίας του μικρού βάθους του υπόγειου νερού από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 27. Χάρτης τρωτότητας στην περιοχή έρευνας.



Σχήμα 28. Χάρτης τρωτότητας στην περιοχή έρευνας.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα του δείκτη DRASTIC στην περιοχή έρευνας

<u>ΒΑΘΜΟΝΟΜΙΣΗ</u>	<u>ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ</u>	<u>DRASTIC CL</u>		<u>ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ</u>	<u>DRASTIC</u>	
		Έκταση (Km ²)	Ποσοστό (%)		Έκταση (Km ²)	Ποσοστό (%)
1	Πολύ χαμηλή	43,7	37,62	Πολύ χαμηλή	28,37	22,34
2	Χαμηλή	79,7	62,77	Χαμηλή	35,07	27,61
3	Μέση	3,54	2,79	Μέση χαμηλή	56,02	44,11
	-	-	-	Μέση	7,4944	5,90

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τον υπολογισμό του δυναμικού ρύπανσης στην περιοχή νέας Τρίγλιας Χαλκιδικής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DRASTIC. Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψαν 6 θεματικοί χάρτες, βασισμένοι στις παραμέτρους της μεθόδου και στη δημιουργία του τελικού χάρτη τρωτότητας.

Σύμφωνα με τον τελικό χάρτη τρωτότητας, η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται κυρίως από χαμηλές έως χαμηλές μέσες τιμές τρωτότητας. Αυξημένες τιμές παρατηρούνται κατά μήκος της ακτογραμμής που οφείλονται στο μικρό βάθος του υπόγειου νερού από την επιφάνεια του εδάφους.

Γενικά γίνεται αντιληπτό ότι οι τελικοί χάρτες της τρωτότητας, καθώς και των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC αποτελούν σημαντικά εργαλεία στη διαχείριση του υπόγειου νερού και τον καθορισμό μέτρων προστασίας για την ποιότητά του.

Μολονότι οι τιμές της τρωτότητας στην περιοχή είναι χαμηλές, δεν θα πρέπει οι τοπικές αρχές να εφησυχάζουν με το πρόσχημα ότι ο υπόγειος υδροφορέας δεν κινδυνεύει από κάποια πιθανή πηγή ρύπανσης. Αντιθέτως, σημαίνει ότι ο υδροφορέας είναι λιγότερο τρωτός, με την πιθανότητα ρύπανσης να αποτελεί ένα μελλοντικό ενδεχόμενο. Συνεπώς, ο καθορισμός ζωνών προστασίας στα έργα υδροληψίας για πόσιμο νερό είναι απαραίτητος, καθώς και η λήψη μέτρων που αφορούν τη μείωση της χρήσης λιπασμάτων, την εφαρμογή κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής στην άρδευση και τον τύπο των καλλιεργειών, καθώς και την ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων και των αστικών λυμάτων.

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

Busico, G., Kazakis, N., Cuoco, E., Colombani, N., Tedesco, D., Voudouris, K., Mastrocicco, M. (2020): A novel hybrid method of specific vulnerability to anthropogenic pollution using multivariate statistical and regression analyses. Water Research 122, 11386, 1-12.

Cost Action 620 (2003): Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers. Final report. Francois Zwahlen (Chairman, Editor in Chief).

Civita, M., Regibus, C. (1995): Sperimentazione di alcune metodologie per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi. Quaderni di Geologia Applicata, Pitarora Ed., Bologna (in Italian).

Gogu, R.C., Hallet, V., Dassargues, A. (2003): Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Neblon river basin (Belgium). Environmental Geology 44, 881-892.

Kazakis, N., Voudouris, K. (2015): Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate: Modifying the DRASTIC method using quantitative parameters. Journal of Hydrology 525, 13-25.

Kazakis, N., Oikonomidis, D., Voudouris, K. (2015): Groundwater vulnerability and pollution risk assessment with disparate models in karstic, porous and fissured rock aquifers using remote sensing techniques and GIS in Anthemountas basin, Greece. Environmental Earth Sciences, Vol. 74, Issue 7, 6199-6209.

Kazakis, N., Chalikakis, K., Mazzilli, N., Ollivier, C., Manakos, A., Voudouris, K. (2018): Management and research strategies of karst aquifers in Greece: literature overview and exemplification based on hydrodynamic modelling and vulnerability assessment of a strategic karst aquifer. Science of the Total Environment 643, 592-609.

Voudouris, K., Manos, B., et al. (2007): Development and utilization of vulnerability maps for the monitoring and management of groundwater resources in the ARCHIMED areas: Presentation of an INTERREG III B Project. Proc. of International Scientific Conference "Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection (SGEM 2007)". 11-15 June, Varna, Bulgaria.

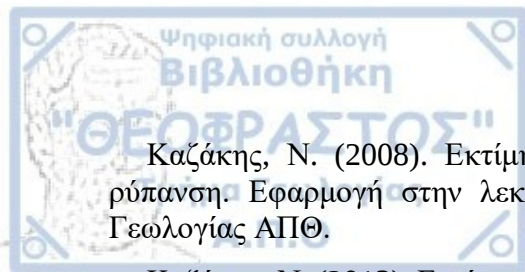
Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M., Kareklas, K. (2010): Assessment of intrinsic vulnerability using DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus. European Water 30, 13-24.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βουδούρης, Κ. (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος- Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον*. Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης, Κ. (2021). *Τεχνική Υδρογεωλογία*. Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης, Κ. (2022). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειων νερών*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλας.



Καζάκης, Ν. (2008). Εκτίμηση της τρωτότητας των υπογείων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στην λεκάνη της Φλώρινας. Διατριβή ειδίκευσης (Master), Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Καζάκης, Ν. (2013). Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπογείων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη Ανθεμούντα. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Καζάκης, Ν., Βουδούρης, Κ., Παύλου, Α., Πατρικάκη, Ο. (2008): Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS. Πρακτικά 3ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη, 14-17 Μαρτίου 2008.

Καστρίδης, Α. (2019). Η πλημμυρογένεση των λεκανών απορροής του ορεινού όγκου Χολομώντα Χαλκιδικής. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος ΑΠΘ.

Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press

Μπέλιου Δήμητρα. πτυχιούχος γεωλογίας .*Ανάπτυξη και εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης υπογείων υδροφορέων .Διπλωματική εργασία Θεσσαλονίκη 2019. ΑΠΘ Πολυτεχνική Σχολή -Τμήμα Πολίτικων Μηχανικών*

Σούλιος, Γ. (2008). *Γενική Υδρογεωλογία* . Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS.

Διαδικτυακές Πηγές

Δήμος Νέας Προποντίδας. © 2021 <https://www.nea-propontida.gr>

Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2017 – 2022 <http://wfdver.ypeka.gr/el/home-gr>