



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΣΗΜΙΝΑ Η. ΣΤΑΘΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ
ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2019



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ

ΑΣΗΜΙΝΑ Η. ΣΤΑΘΗ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5184

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων καθηγητής:

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής

© Στάθη Ασημίνα, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας,
2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ – Διπλωματική Εργασία

© Stathi Asimina, School of Geology, Laboratory of Technical Geology and Hydrogeology,
2019

ASSESSING THE VULNERABILITY OF THE OUTSIDE POLLUTION IN THE AQUIFER
OF AGGELOCHORI – 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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	11
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	11
2.1.1 Γεωγραφικά και Δημογραφικά χαρακτηριστικά	11
2.1.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	12
2.1.3 Αλυκή Αγγελοχωρίου	15
2.1.4 Πληθυσμιακά στοιχεία και εργασιακή απασχόληση	16
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	18
2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	22
3.1 Υδροφορείς και υδρολιθολογία	22
3.2 Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού – Πιεζομετρία	23
3.3 Υδροχημεία	26
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	28
4.1 Τρωτότητα και μέθοδοι εκτίμησης της	28
4.2 Η μέθοδος DRASTIC	28
4.3 Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα στην περιοχή του Αγγελοχωρίου στην εξωτερική ρύπανση	29
4.3.1 D- Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού	29
4.3.2 R- Ενεργή κατείσδυση	31

4.3.3	A- Υδροφορέας	33
4.3.4	S- Έδαφος	34
4.3.5	T- Κλίση αναγλύφου.....	36
4.3.6	I- Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	37
4.3.7	C- Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας	39
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
6	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	43
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	46

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία, οποιουδήποτε κύκλου σπουδών, είναι αυτή που σηματοδοτεί το τέλος των προπτυχιακών χρόνων. Κυρίως, το περιεχόμενο κάθε πτυχιακής εργασίας έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο που θέλει να ασχοληθεί κάθε φοιτητής στη συνέχεια της επαγγελματικής του πορείας. Αυτός, λοιπόν, ήταν ο λόγος που επέλεξα τον τομέα της Υδρογεωλογίας για να υλοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία, καθώς αυτός είναι ο τομέας με τον οποίο θα ήθελα να ασχοληθώ στο μέλλον. Επομένως, το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα στην εξωτερική ρύπανση στην περιοχή του Αγγελοχωρίου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, ο οποίος είναι αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε μέσω των μαθημάτων του γύρω από την επιστήμη του νερού. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νεραντζή Καζάκη για την εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου αλλά και για την εκούσια καθοδήγησή του στο δρόμο της Υδρογεωλογίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή Ματθαίο Μπάννενμπεργκ, καθώς και τη φίλη και συμφοιτήτριά μου Αναστασία Πεντζίδου για την πολύτιμη βοήθειά τους στις αναγκαίες υπαίθριες μετρήσεις. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου προς στην οικογένειά μου για τη σημαντική τους οικονομική αλλά κυρίως ψυχολογική συμπαράσταση και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της διακινδύνευσης των υπόγειων υδροφόρων στην περιοχή του Αγγελοχωρίου και Νέας Μηχανιώνας με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems-GIS).

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ανατολικά του Θερμαϊκού κόλπου, περιλαμβάνει τους οικισμούς Αγγελοχώρι, Νέα Μηχανιώνα, Έμβολο και Νέα Κερασιά και η συνολική της έκταση είναι 33,53 km² και ανήκει στον Δήμο Θερμαϊκού. Από γεωλογικής άποψης, η περιοχή μελέτης αποτελείται από τεταρτογενείς και τριτογενείς αποθέσεις.

Για τη ρύπανση των υδροφόρων έναντι στην εξωτερική ρύπανση ευθύνεται κατά κύριο λόγο ο άνθρωπος και οι δραστηριότητές του. Για παράδειγμα, συνήθως οι άνθρωποι, προκειμένου να έχουν μια γρήγορη και αυξημένη παραγωγή για τις σοδειές τους, οδηγούνται κατά κύριο λόγο σε εντατική χρήση λιπασμάτων. Αυτό πολλές φορές έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων στις περιοχές όπου γίνεται η χρήση τους, αλλά και στις γύρω περιοχές. Η χρήση αυτών συχνά καθιστά το υπόγειο νερό που βρίσκεται στους υδροφόρους των συγκεκριμένων περιοχών ακατάλληλο για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Αυτό συμβαίνει, γιατί στα υπόγεια ύδατα εισχωρούν συστατικά τα οποία είναι ακατάλληλα για τον ανθρώπινο οργανισμό και ακατάλληλα για διάφορες άλλες χρήσεις, καθώς αλλοιώνουν τη σύσταση και μεταβάλλουν τα ποσοστά των στοιχείων του νερού. Συγκεκριμένα, στην περιοχή έρευνας εντοπίζονται αυξημένες τιμές νιτρικών ιόντων τα οποία είναι υπεύθυνα για πολλά προβλήματα υγείας, όπως ορισμένες μορφές καρκίνου και κυάνωση σε βρέφη.

Για τον εντοπισμό περιοχών ευάλωτων στη ρύπανση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Drastic, προκειμένου να βρεθούν τα τμήματα της περιοχής έρευνας που έχουν υψηλή ή χαμηλή τρωτότητα. Για τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν επτά παράμετροι δημιουργώντας ένα θεματικό χάρτη για καθεμιά από αυτές. Από τον συνδυασμό των θεματικών χαρτών, προέκυψε ο τελικός χάρτης στον οποίο παρουσιάζεται η τρωτότητα της περιοχής έρευνας στα λιπάσματα.

Λέξεις κλειδιά: Μέθοδος DRASTIC, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), Ρύπανση υπόγειων νερών, Αγγελοχώρι, Μακεδονία

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to estimate the vulnerability of aquifer systems in Aggelochori and New Epanomi using Geographic Information Systems (GIS).

The studied area is located east of Thermaic Gulf and conclude the settlements Aggelochori, Nea Epanomi, Embolo and Nea Kerasia, where the total area is 33,53km² and belongs to Municipality of Thermaic. The geological formations which are found in the particular area, are two, the Quaternary and Tertiary deposits.

For the pollution of aquifers against the outside pollution is to blame, chiefly, the individual and his activities. For example, the people usually want to have a quickly and increase production for their crops, so they, mostly, are led to unreasonable and increased use of fertilizers. This situation has, as a result the pollution of groundwater in these regions and around of them. The use of them often render the groundwater that is found in aquifers of the particular regions unsuitable either for drinking and domestic use or irrigation. This happens, because of in groundwater penetrate components, which are unsuitable for the human body and others uses, as they alter the composition and the percentages of chemical elements of water. Specifically, in the studied area exist increased prices of nitrate ions (NO₃⁻), which is responsible for health problems, such as certain forms of cancer and lack of oxygen in the blood of babies.

The localization of regions vulnerable to pollution was used the Drastic method, with reference to find part of study area, which have high or low value vulnerability. Seven parameters are used for the particular method (DRASTIC) and they are created a thematic map for each other. In the end of these thematic maps, it was created the last one in which is presented the vulnerability of this studied area in outside pollution.

Keywords: DRASTIC Method, Geographical Information System (GIS), Groundwater pollution, Aggelochori, Macedonia

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ερευνά σε προπτυχιακό επίπεδο την τρωτότητα του υδροφορέα της περιοχής του Αγγελοχωρίου, που ανήκει στον Δήμο Θερμαϊκού, από την εξωτερική ρύπανση με τη μέθοδο DRASTIC.

Πρόκειται για μια παραθαλάσσια περιοχή που τα τελευταία 20 χρόνια παρουσιάζει πληθυσμιακή αύξηση. Συγκεκριμένα, ο πληθυσμός της δημοτικής ενότητας Θερμαϊκού κατά το 1981 ανερχόταν στους 5.788 κατοίκους, ενώ στην απογραφή του 2011 σε 27.460 κατοίκους. Η αύξηση αυτή οδήγησε τους ανθρώπους σε αναζήτηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού, με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων και τη ρύπανση αυτών εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων, της κτηνοτροφίας αλλά και της ανεξέλεγκτης διάθεσης των βιομηχανικών και αστικών λυμάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι ο εντοπισμός θέσεων ευάλωτων στη ρύπανση και ο υπολογισμός της τρωτότητας με τη μέθοδο DRASTIC, ώστε να εξεταστεί ο βαθμός επικινδυνότητας αυτού του φαινομένου, ώστε να περιοριστούν οι διεργασίες που επιβαρύνουν την ποιότητα του υπόγειου υδροφόρου συστήματος στην περιοχή του Αγγελοχωρίου. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρακάτω προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι:

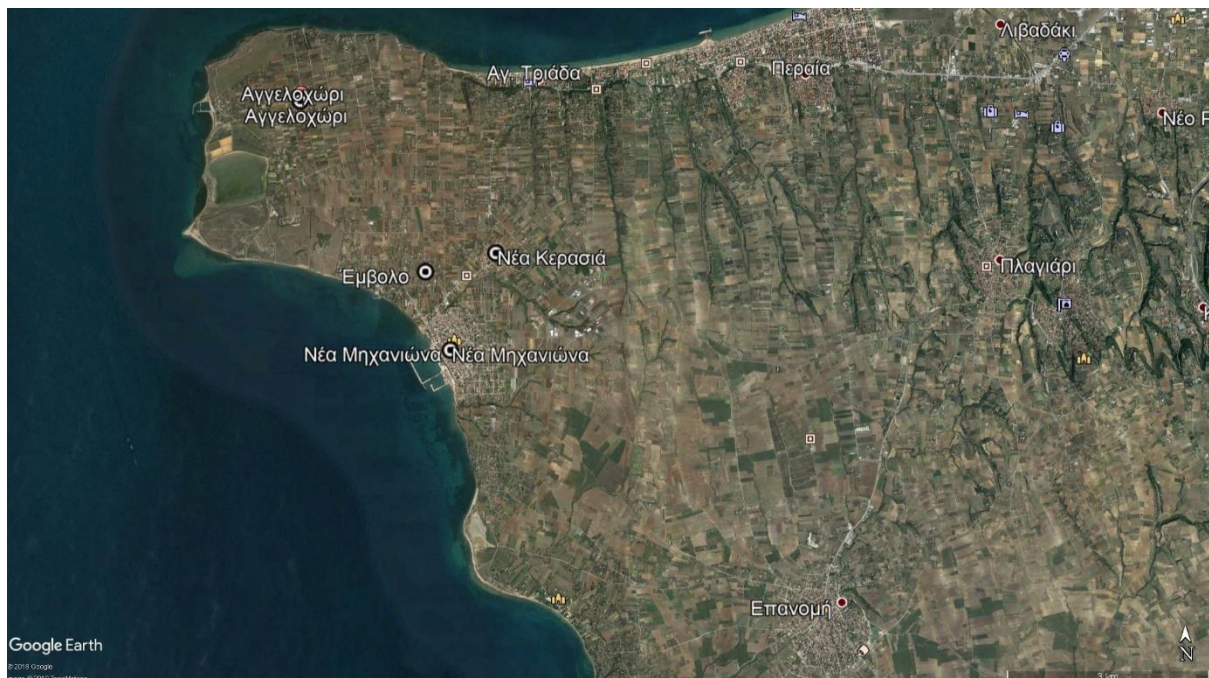
- συλλογή ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας σχετικής με υδρογεωλογικές μελέτες
- συλλογή ελληνικών και ξένων άρθρων σχετικά με υδρογεωλογικές συνθήκες και παραμέτρους της ευρύτερης περιοχής του Θερμαϊκού
- συλλογή τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών της Θεσσαλονίκης και Επανομής για την επεξεργασία αυτών
- εργασίες πεδίου για τη μέτρηση της υδροστατικής στάθμης των γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής για τον υπολογισμό του πιεζομετρικού φορτίου
- συγκέντρωση αεροφωτογραφιών της περιοχής μέσω του προγράμματος Google Earth Pro
- χρήση του προγράμματος ArcMap 10.3 για την ψηφιοποίηση του τοπογραφικού και γεωλογικού χάρτη
- κατασκευή απλοποιημένων τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών, DEM και άλλων θεματικών χαρτών μέσω του προγράμματος ArcMap 10.3
- επεξήγηση των θεματικών χαρτών και διεξαγωγή συμπερασμάτων με βάση τον τελικό θεματικό χάρτη τρωτότητας

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1.1 Γεωγραφικά και Δημογραφικά χαρακτηριστικά

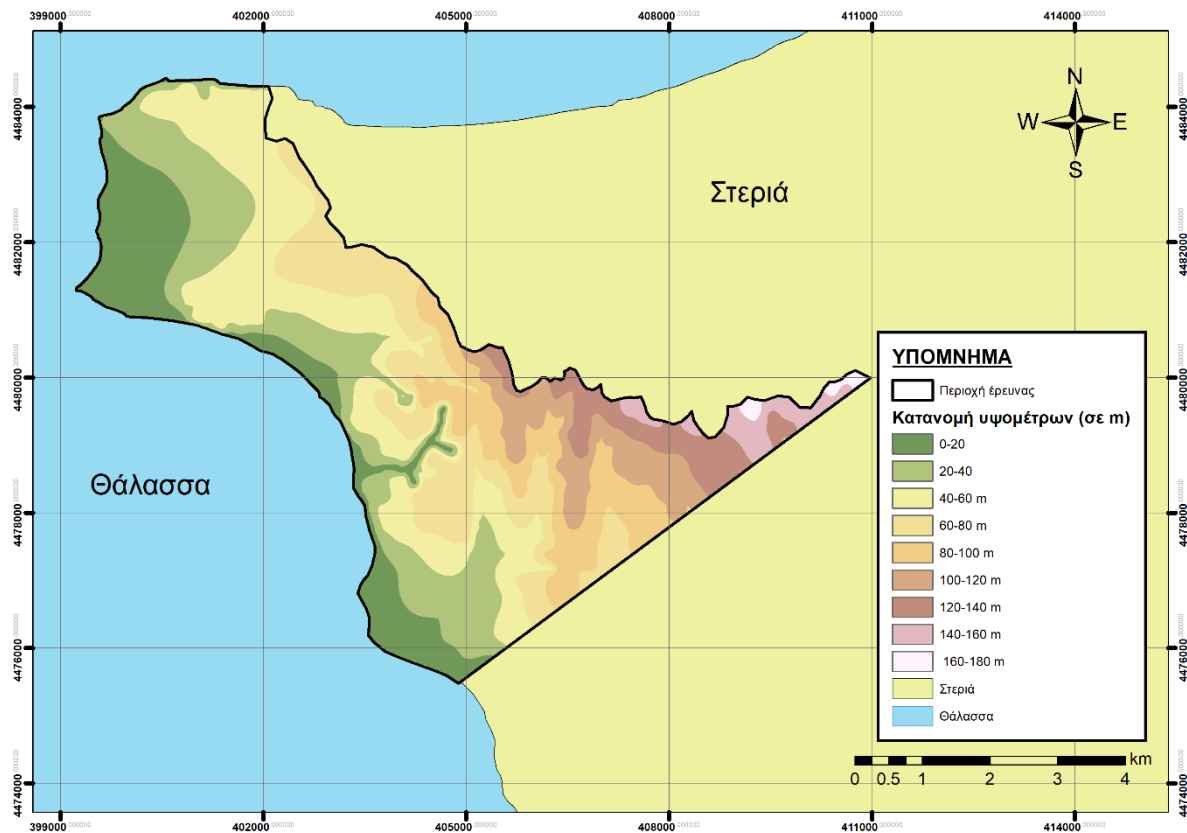
Η περιοχή έρευνας συμπεριλαμβάνει τις περιοχές Αγγελοχωρίου και Νέας Μηχανιώνας. Γενικότερα, η έκταση των 36,48 km βρίσκεται στη μεγάλη γεωγραφική ενότητα της Βορείου Ελλάδος και ανήκει στον Δήμο Θερμαϊκού της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης που βρίσκεται στην Περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα «Καλλικράτης». Ενώ, το 2010, άνηκε στον Δήμο Μηχανιώνας του Νομού Θεσσαλονίκης με βάση τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας με το σχέδιο «Καποδίστριας». Έδρα του Δήμου Θερμαϊκού είναι η Περαιά και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης γεωγραφικά τοποθετείται στο ανατολικό παραθαλάσσιο τμήμα του Θερμαϊκού και περιλαμβάνει την «Αλυκή Αγγελοχωρίου» του Νομού Θεσσαλονίκης ή Μεγάλο Έμβολο, όπως αλλιώς ονομάζεται. Η «Αλυκή Αγγελοχωρίου» αποτελεί σημαντική εγκατάσταση στην περιοχή, η οποία θα αναλυθεί περαιτέρω σε ένα από τα παρακάτω υποκεφάλαια.



Εικόνα 1. Χάρτης που απεικονίζει την περιοχή έρευνας, καθώς και την ευρύτερη περιοχή (δορυφορική εικόνα από Google Earth Pro).

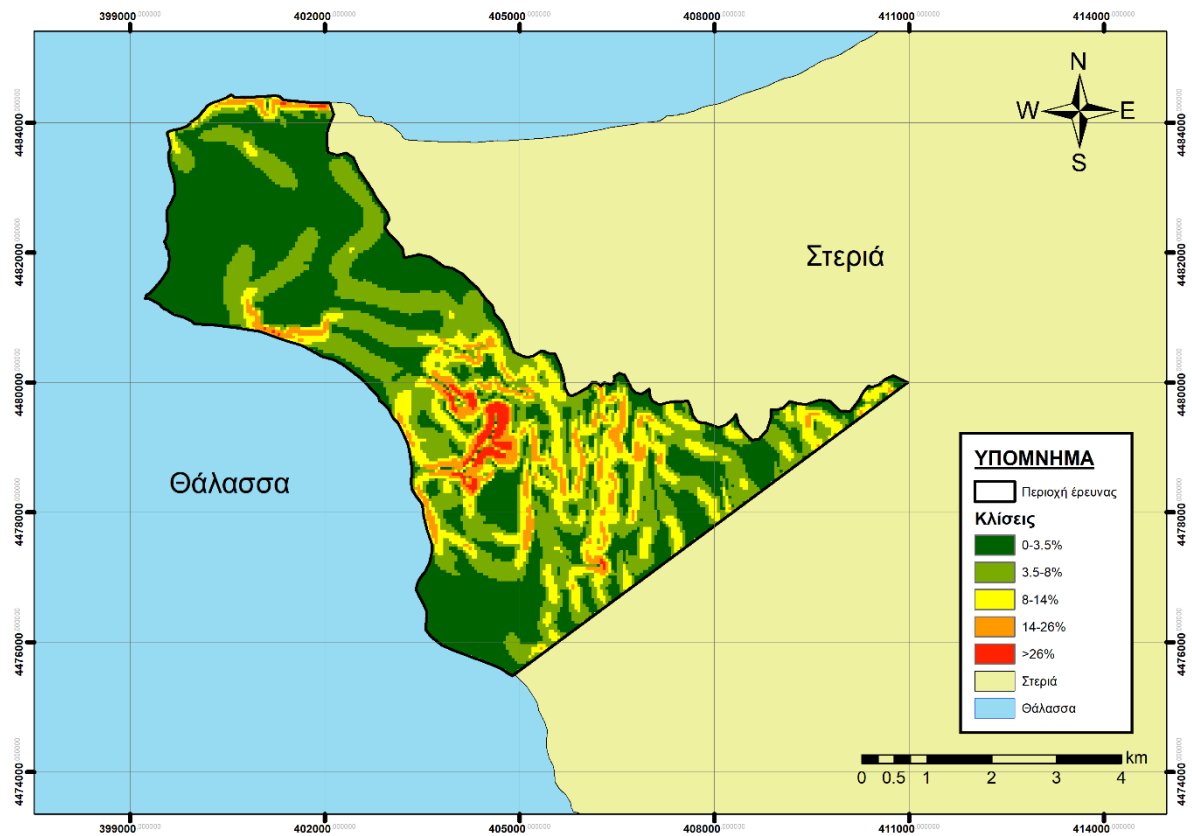
2.1.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Στην περιοχή που διεξάγεται η συγκεκριμένη μελέτη το υψόμετρο αρχίζει από την επιφάνεια της θάλασσας (0 m), που αποτελεί και την ελάχιστη τιμή του υψομέτρου, ενώ η μέγιστη τιμή που συναντάται στην περιοχή είναι τα 160 m που εντοπίζεται στο ΝΑ τμήμα της περιοχής έρευνας καταλαμβάνοντας περιορισμένη έκταση, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 1). Επίσης, το μέσο υψόμετρο της περιοχής έρευνας είναι 80m, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο Σχήμα 1 που απεικονίζει την κατανομή των υψομέτρων της περιοχής έρευνας.



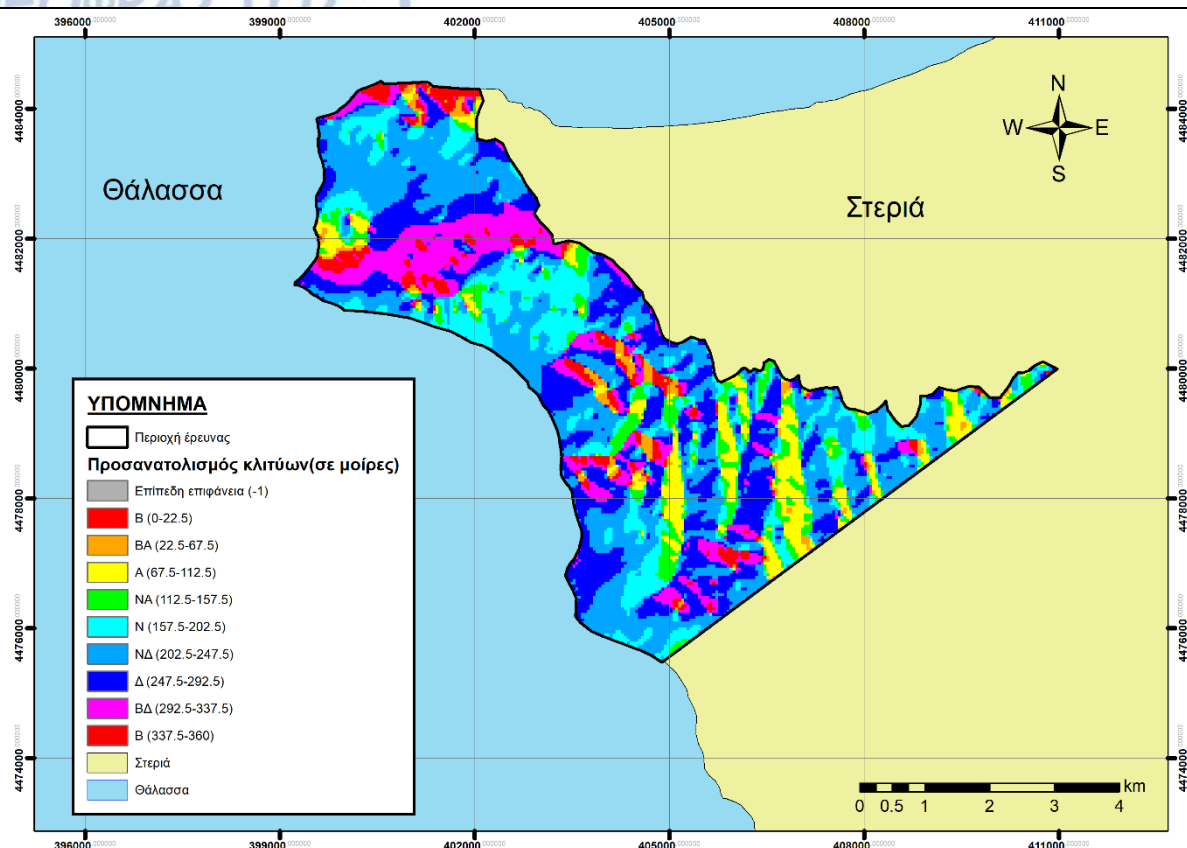
Σχήμα 1. Χάρτης κατανομής υψομέτρων περιοχής έρευνας

Επίσης, οι τιμές των κλίσεων των κλιτύων της περιοχής κυμαίνονται από 0% ελάχιστη τιμή έως 56% η μέγιστη, ενώ η μέση τιμή κλίσης της περιοχής είναι ίση με 5,47%. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω χάρτη (Σχήμα 2), οι τιμές των κλίσεων που κυριαρχούν είναι 0-3,5%.



Σχήμα 2. Χάρτης κλίσεων της περιοχής έρευνας

Ο προσανατολισμός των κλιτύων της περιοχής (Σχήμα 3) λαμβάνει σχεδόν όλο το εύρος των διευθύνσεων, αλλά ο κύριος προσανατολισμός τους είναι νότιος (N) ή νότιο-νοτιοδυτικός (NND), καθώς η μέση τιμή του προσανατολισμού των κλίσεων είναι 216° , όπως προκύπτει με τη βοήθεια του προγράμματος ArcMap.



Σχήμα 3. Χάρτης προσανατολισμού των κλιτύων της περιοχής έρευνας.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Επιπλέον, υπολογίστηκε το εμβαδόν και η περίμετρος της περιοχής στα 33,53 km² και 36,48 km αντίστοιχα, με τη βοήθεια της λειτουργίας Edit Vertices του προγράμματος ArcMap.

Πίνακας 1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας

Εμβαδό (E)	33,53 km ²
Περίμετρος (P)	36,48 km
Μέγιστο υψόμετρο (Hmax)	160 m
Ελάχιστο υψόμετρο (Hmin)	0 m
Μέσο υψόμετρο (Hmean)	80 m
Μέση κλίση (S)	5,47%

2.1.3 Αλυκή Αγγελοχωρίου

Η Αλυκή Αγγελοχωρίου περιλαμβάνεται στην περιοχή έρευνας με έκταση 1,166 στρεμμάτων. Βρίσκεται στο παραθαλάσσιο τμήμα της περιοχής δυτικά του οικισμού του Αγγελοχωρίου και βορειοδυτικά του οικισμού της Νέας Μηχανιώνας. Ουσιαστικά αλυκή είναι ένα ημι-τεχνητό παράκτιο οικοσύστημα, όπου η λειτουργία του βασίζεται σε τρεις ανανεώσιμους πόρους, οι οποίοι είναι το θαλασσινό νερό, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια (Μπάμπος, 2011). Αποτελείται από ένα σύστημα ρηχών λεκανών τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά και ο πυθμένας τους είναι αργιλικός, ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή (χαμηλή) υδροπερατότητα. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η συνολική έκταση της αλυκής εντάσσεται στο δίκτυο προστατευμένων περιοχών NATURA και ότι έχει χαρακτηριστεί ως Ειδική Ζώνη Προστασίας (SPA), καθώς και ως Προτεινόμενος Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (pSCI). Όλες οι αλυκές που βρίσκονται στον ελλαδικό χώρο, έτσι και η συγκεκριμένη, λειτουργούν από την επιχείρηση «ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΛΥΚΕΣ Α.Ε.», η οποία είναι μια εταιρεία δημόσιου συμφέροντος. Η εν λόγω επιχείρηση ασχολείται με την παραγωγή, πλύση και εμπορία θαλασσινού αλατιού. Στόχος της, λοιπόν, είναι σε όλες τις βιώσιμες αλυκές στην Ελλάδα να υπάρχει μια οικονομικά σωστή λειτουργία (Μπάμπος, 2011).



Εικόνα 2. Απεικόνιση Αλυκής Αγγελοχωρίου (δορυφορική εικόνα από Google Earth Pro).

2.1.4 Πληθυσμιακά στοιχεία και εργασιακή απασχόληση

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, η περιοχή μελέτης ανήκει στον Δήμο Θερμαϊκού, με έδρα την Περαιά, στον οποίο ο πραγματικός πληθυσμός σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΣΥΕ) ανέρχεται στους 50.107 κατοίκους. Με βάση τις τρεις τελευταίες απογραφές που πραγματοποιήθηκαν το 2011, 2001 και 1991 για την περιοχή έρευνας, αλλά και για περιοχές γύρω από αυτή που ανήκουν στον ίδιο δήμο (Δήμο Θερμαϊκού) έχουν σημειωθεί σημαντικές μεταβολές του πληθυσμού. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 2 και 3) διαπιστώνουμε τη σημαντική και εμφανή αύξηση του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, ο πληθυσμός της δημοτικής ενότητας του Θερμαϊκού το 1991 ήταν 5.788 κάτοικοι, ενώ στην τελευταία απογραφή του 2011 οι κάτοικοι έφτασαν τους 27.460. Παρατηρείται, λοιπόν, μια σημαντική αύξηση στις περιοχές αυτές κατά το πέρας 20 ετών (1991-2011), αν και ο πραγματικός πληθυσμός ολόκληρης της χώρας αυξήθηκε μόνο κατά 680.877 κατοίκους (Πίνακες 4 και 5) με βάση τα στοιχεία που λήφθηκαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ). Θεωρείται, λοιπόν, ότι υπάρχει αποκέντρωση, με στόχο το καλύτερο βιοτικό επίπεδο, από την αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε αυτή, όπως είναι ο Δήμος Θερμαϊκού που απέχει περίπου 30 km από την περιοχή μελέτης. Έτσι, η αποκέντρωση αυτή οδήγησε σε ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για περισσότερους υδάτινους πόρους, με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων της περιοχής.

Πίνακας 2. Πληθυσμιακή εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού των Δημοτικών Ενοτήτων του Δήμου Θερμαϊκού (Πηγή Ε.Σ.Υ.Ε.).

Δημοτικές ενότητες	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001	Πληθυσμός 2011
Επανομής	6.276	8.138	10.897
Θερμαϊκού	5.788	19.802	27.460
Μηχανιώνας	7.428	9.186	11.750
Σύνολο	19.492	37.126	50.107

Πίνακας 3. Πληθυσμιακή εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού των Δημοτικών Ενοτήτων του Δήμου Θερμαϊκού (Πηγή Ε.Σ.Υ.Ε.).

Δημοτικές ενότητες	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001	Πληθυσμός 2011
Επανομής	6.560	8.671	10.810
Θερμαϊκού	5.803	20.253	27.553
Μηχανιώνας	7.684	9.425	11.901
Σύνολο	20.047	38.349	50.264

Πίνακας 4. Πληθυσμιακή εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού ολόκληρης της χώρας (Πηγή Ε.Σ.Υ.Ε.).

Πληθυσμός 1991	10.259.900
Πληθυσμός 2001	10.964.020
Πληθυσμός 2011	10.940.77
Μεταβολή 1991-2011	680.877

Πίνακας 5. Πληθυσμιακή εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού ολόκληρης της χώρας (Πηγή Ε.Σ.Υ.Ε)

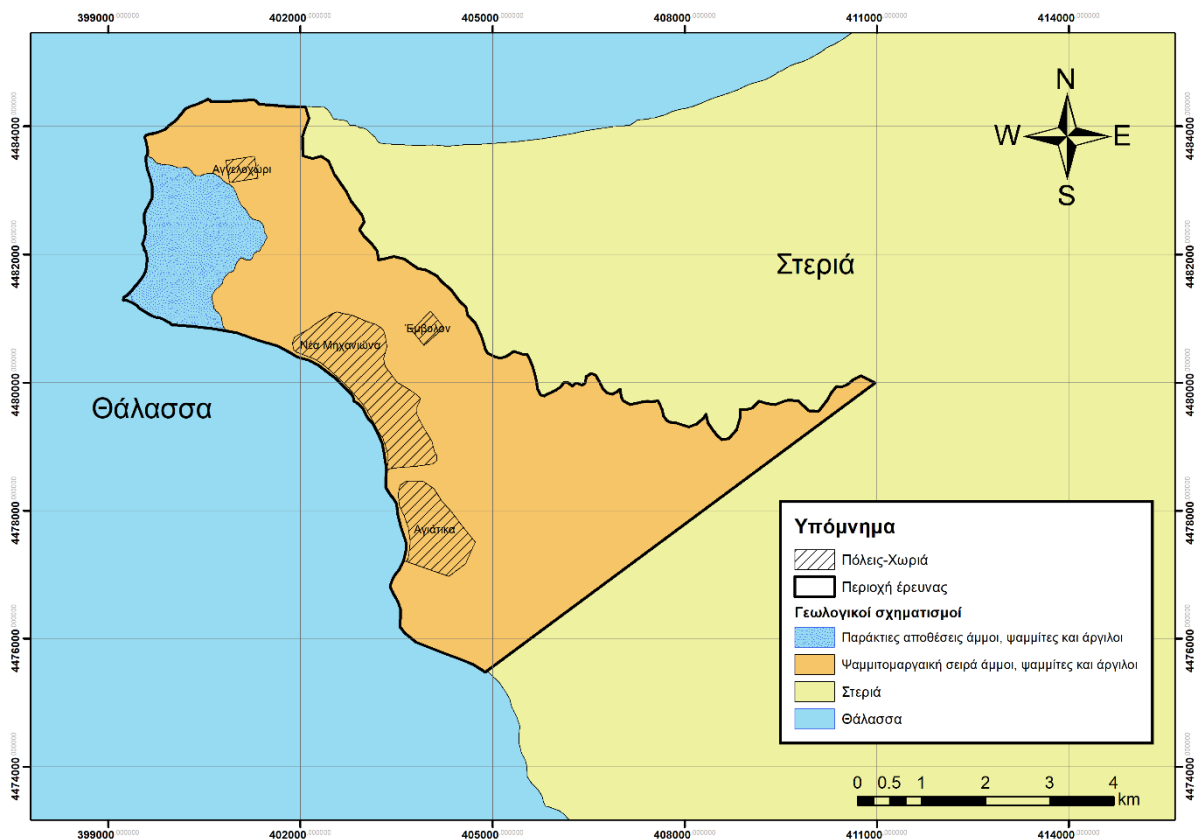
Πληθυσμός 1991	10.223.392
Πληθυσμός 2001	10.934.097
Πληθυσμός 2011	10.816.286
Μεταβολή 1991-2011	592.894

Οι κύριες εργασιακές ενασχολήσεις των κατοίκων της περιοχής είναι η γεωργία, η αλιεία, ο τουρισμός, η παραγωγή αλατιού και η απασχόλησή τους σε βιομηχανίες. Λόγω της ομαλής γεωμορφολογίας η περιοχή είναι κατάλληλη για γεωργικές εργασίες. Τα κύρια προϊόντα που παράγονται είναι δημητριακά, φρούτα, λαχανικά, το βαμβάκι, οι αμπελώνες και οι ελιές. Επίσης, μεγάλο μέρος του πληθυσμού της ασχολούνται με τον τουρισμό και την αλιεία, διότι πρόκειται για ένα παραθαλάσσιο μέρος. Τέλος, ένα άλλο μέρος των κατοίκων ασχολείται με την παραγωγή του αλατιού λόγω της παρουσίας αλυκής κοντά στην περιοχή, ενώ μικρότερο ποσοστό εργάζεται σε βιομηχανίες.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η περιοχή του Αγγελοχωρίου ανήκει στη ζώνη Αξιού. Η ζώνη αυτή διακρίνεται σε τρεις υποζώνες όπου ανατολικά προς τα δυτικά είναι η υποζώνη της Παιονίας, του Πάικου και της Αλμωπίας. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης εντάσσεται σε αυτή της Παιονίας και από λιθοστρωματογραφικής πλευράς αποτελείται κυρίως από οφιολιθικά πετρώματα τα οποία δείχνουν τον ωκεάνιο χαρακτήρα της περιοχής αυτής και συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, ενώ δύο είναι οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης μας, οι οποίοι είναι οι παράκτιες αποθέσεις άμμου και οι Τριτογενείς αποθέσεις (κυρίως η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά), όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στον παρακάτω απλοποιημένο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 4) (Μουντράκης, 1985).

Από τεκτονικής πλευράς, η Παιονία χαρακτηρίζεται από έντονη παρουσία τεκτονικών λεπιών τα οποία σχηματίστηκαν από τη συμπιεστική τεκτονική ηλικίας Τριτογενούς. Επίσης, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης εμφανίζεται το ρήγμα του Ανθεμούντα το οποίο εκτείνεται από το Νέο Ρύσιο έως το Αγγελοχώρι και πρόκειται για ένα κανονικό ενεργό ρήγμα κυρίως στην περιοχή της Περαιάς. Συγκεκριμένα, το ρήγμα απέχει από τη Θεσσαλονίκη 14 km NNA με διεύθυνση Α-Δ, κλίση προς τον Βορρά και μήκος 32 km. Παρατηρούνται τρία μέρη στα οποία διαιρείται με βάση την παράταξη και τη μορφοτεκτονική τους. Το πρώτο τμήμα εκτείνεται από τον Γαλαρινό ως το Νέο Ρύσιο (17km περίπου), το δεύτερο από το Νέο Ρύσιο μέχρι το Ακρωτήρι Μεγάλο Έμβολο του Αγγελοχωρίου (15 km) και το τρίτο είναι υποθετικό και θεωρητικά εκτείνεται εσωτερικά του θαλάσσιου χώρου (Τσιώκος, 2007).

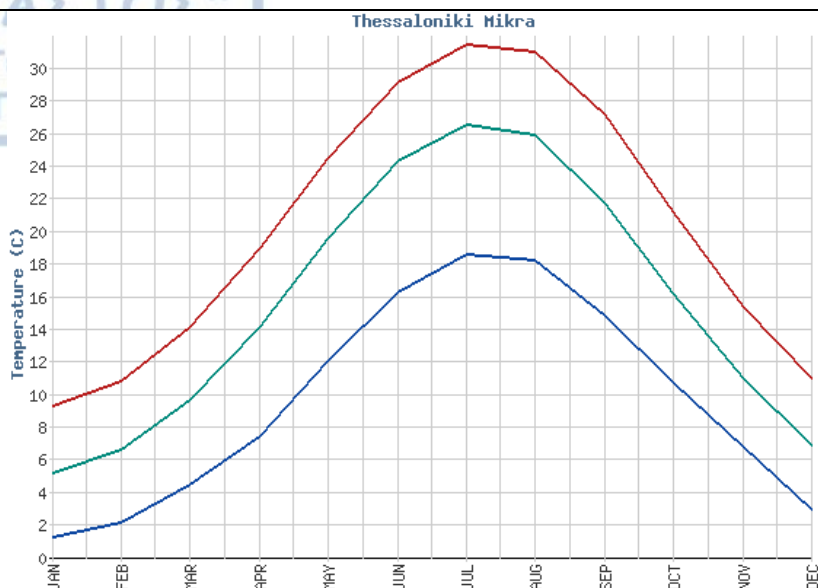


Σχήμα 4. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα που χαρακτηρίζει την περιοχή του Αγγελοχωρίου, όπως και τις περισσότερες περιοχές της Μακεδονίας, είναι ηπειρωτικό και περιλαμβάνει μια ξηρή-θερμή και μια υγρή-ψυχρή περίοδο. Τα στοιχεία που παρατίθενται στη συνέχεια προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μίκρας, με γεωγραφικό πλάτος 40.527, γεωγραφικό μήκος 22.971 και βρίσκεται σε ύψος 2m.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα τελευταία κλιματικά δεδομένα από τον σταθμό της Μίκρας, η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούλιο και ανέρχεται στους 31,5 °C, ενώ η ελάχιστη παρατηρείται τον Ιανουάριο και κυμαίνεται στους 1,3 °C, όπως φαίνεται στο Γράφημα 1 και στον Πίνακα 6.



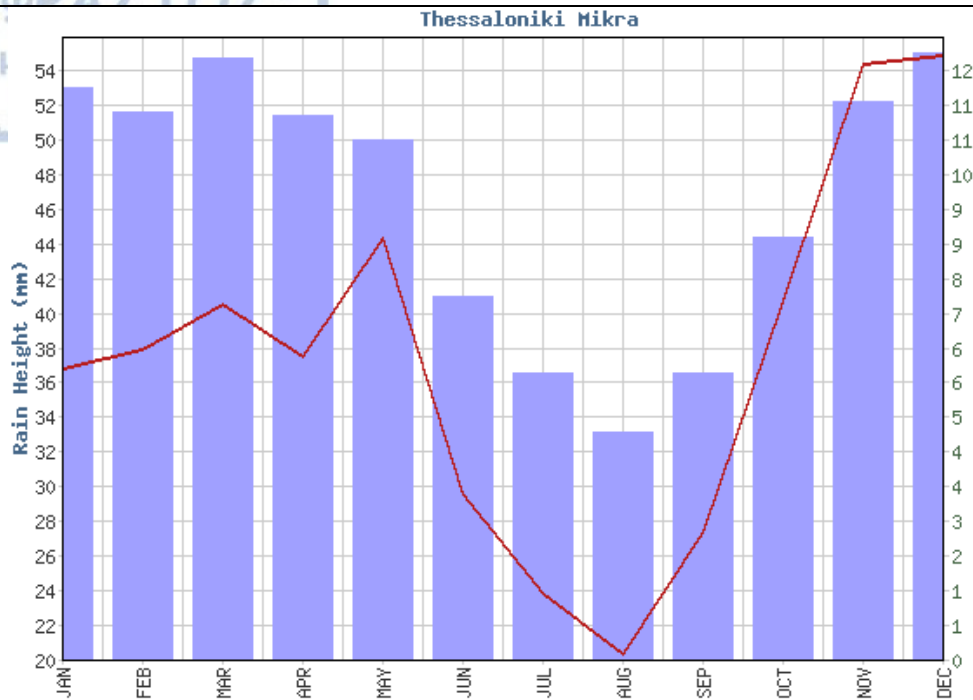
Γράφημα 1. Ετήσια θερμοκρασιακά δεδομένα από τον σταθμό Θεσσαλονίκης/Μίκρα.

Πίνακας 6. Θερμοκρασιακές τιμές ανά μήνα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη Μηνιαία	1.3	2.2	4.5	7.5	12.1	16.3	18.6	18.3	14.9	10.8	5.8	3.0
Μέση Μηνιαία	5.2	6.7	9.7	14.2	19.6	24.4	26.6	26.0	21.8	16.2	11.0	6.9
Μέγιστη Μηνιαία	9.3	10.9	14.2	19.0	24.5	29.2	31.5	31.1	27.2	21.2	15.4	11.0

Οι τιμές της σχετικής υγρασίας, σύμφωνα με την Ε.Μ.Υ., κυμαίνονται από 53,2% για τον μήνα Ιούλιο ως 78,0% για τον Δεκέμβριο. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως βορειοδυτικής διεύθυνσης, ενώ κατά τον Αύγουστο παρατηρούνται άνεμοι νότιας διεύθυνσης.

Οι υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης παρατηρούνται κατά την ψυχρή-υγρή περίοδο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατά την ξηρή-θερμή περίοδο του υδρολογικού έτους. Συγκεκριμένα, τον μήνα Δεκέμβριο καταγράφεται η μέγιστη τιμή βροχόπτωσης στα 54,9 mm, ενώ κατά τον Αύγουστο η ελάχιστη τιμή στα 20,4 mm, όπως παρατηρείται στο Γράφημα 2 και Πίνακα 6.



Γράφημα 2. Μέση μηνιαία βροχόπτωση από τον σταθμό Θεσσαλονίκης/Μίκρα, όπου στον οριζόντιο άξονα παρατηρούμε τους μήνες ενός χρόνου, ενώ στους κατακόρυφους τα χιλιοστά βροχής (mm) και τις συνολικές ημέρες βροχής, στον αριστερό και δεξιό άξονα, αντίστοιχα.

Πίνακας 6. Βροχομετρικές τιμές ανά μήνα.

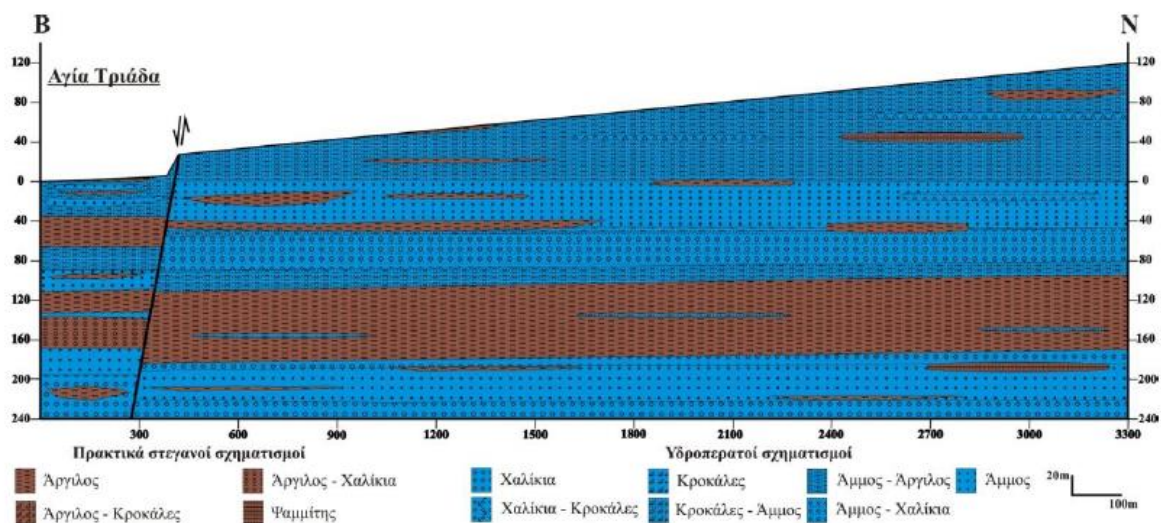
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση	36.8	38.0	40.6	37.5	44.4	29.6	23.9	20.4	27.4	40.8	54.4	54.9
Συνολικές μέρες βροχής	11.8	11.3	12.4	11.2	10.7	7.5	5.9	4.7	5.9	8.7	11.5	12.5

3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1 Υδροφορείς και υδρολιθολογία

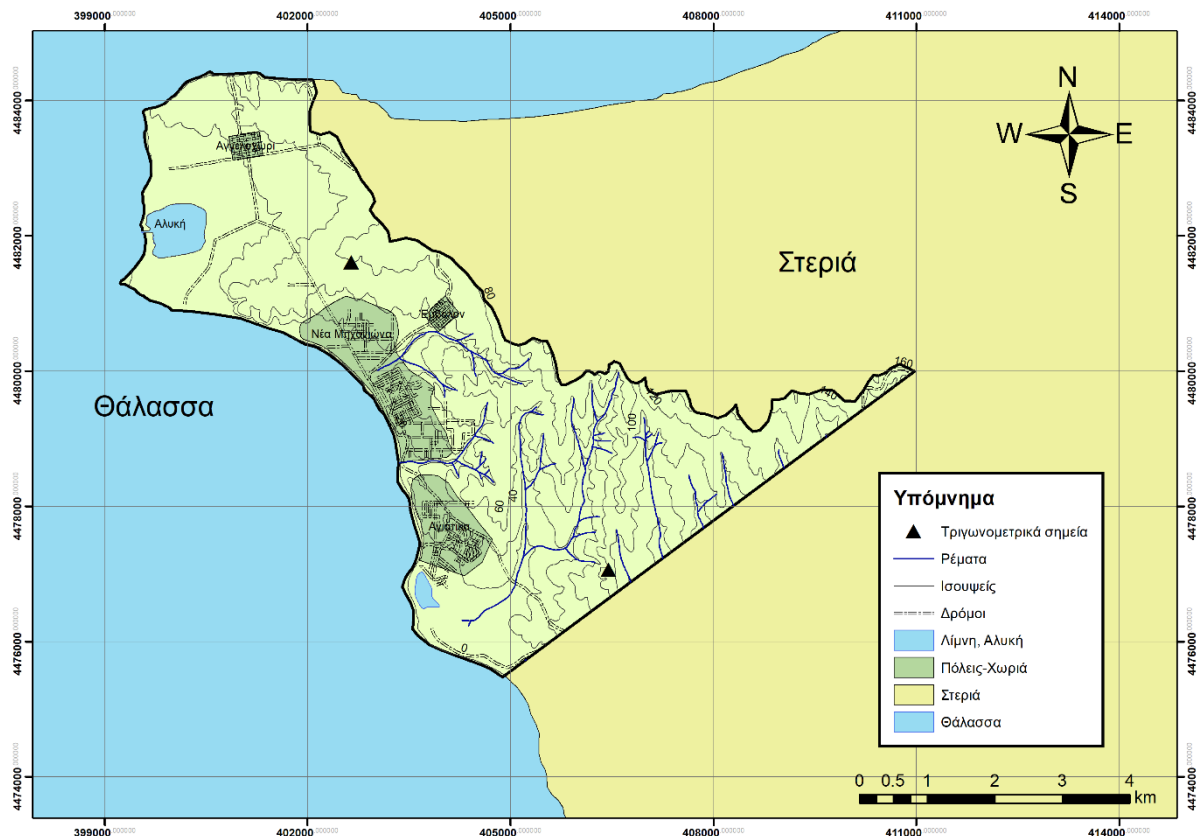
Οι υδροφορείς είναι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις και πηγές (Βουδούρης, 2013). Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπόγειων υδροφορέων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι τέσσερις (4), ο υπό πίεση, ο ελεύθερος, ο ημιεγκλωβισμένος και ο ημιελεύθερος υδροφορέας. Στην περιοχή έρευνάς μας εντοπίζονται δυο τύποι υδροφορέων, ο υπό πίεση υδροφορέας, στον οποίο είναι εγκλωβισμένο το νερό ανάμεσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς που βρίσκονται στο δάπεδο και την οροφή του και είναι αδιαπέρατοι και ο ελεύθερος υδροφορέας, ο οποίος αποτελείται από ένα αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα ως δάπεδο και η οροφή του είναι ελεύθερη, δηλαδή δεν υπάρχει γεωλογικός σχηματισμός.

Οι κύριοι υδροφορείς που υπάρχουν στην παρούσα περιοχή μελέτης αναπτύσσονται στους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους απαρτίζεται η συγκεκριμένη περιοχή, δηλαδή από τις Τεταρτογενείς και Τριτογενείς αποθέσεις. Συγκεκριμένα, στην περιοχή μελέτης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, παρουσιάζονται δυο διαφορετικοί τύποι υπόγειων υδροφόρων (Σχήμα 5), ένας ελεύθερος υδροφορέας, ο οποίος καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και όπως είναι φυσικό βρίσκεται σε μικρότερο βάθος και ένας βαθύτερος υπό πίεση υδροφορέας. Ο ελεύθερος υδροφορέας αναπτύσσεται σε χαλίκια, άμμους και τους ψαμμίτες, που αποτελούν μέλη των Τεταρτογενών αποθέσεων, ενώ ο υπό πίεση υδροφορέας αναπτύσσεται στις Τριτογενείς αποθέσεις της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς με εναλλαγές αργιλικών φακών και υδροπερατών στρωμάτων (Βουδούρης, 2014)



Σχήμα 5. Υδρολιθολογική τομή στην περιοχή της Αγίας Τριάδας (Βουδούρης, 2014).

Το υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύσσεται στην οριοθετημένη περιοχή έρευνας είναι περιορισμένο (Σχήμα 6) και παρατηρείται μόνο στο νότιο τμήμα της. Επίσης, στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής δεν εντοπίζεται κανένα ποτάμι. Το υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως μικρού μήκους με χαμηλό συντελεστή διακλάδωσης και μερικώς αναπτυγμένο δενδριτικής μορφής.



Σχήμα 6. Απλοποιημένος τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

3.2 Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού – Πιεζομετρία

Από τα πιο σημαντικά μέρη μιας υδρογεωλογικής έρευνας είναι οι εργασίες πεδίου που αφορούν στις μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού μέσω των γεωτρήσεων που βρίσκονται στην περιοχή έρευνας. Τα αποτελέσματα, λοιπόν, που προκύπτουν απεικονίζονται σε πιεζομετρικούς χάρτες από τους οποίους εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, τις περιοχές τροφοδοσίας και το είδος των υδρογεωλογικών συνόρων (Βουδούρης, 2013).

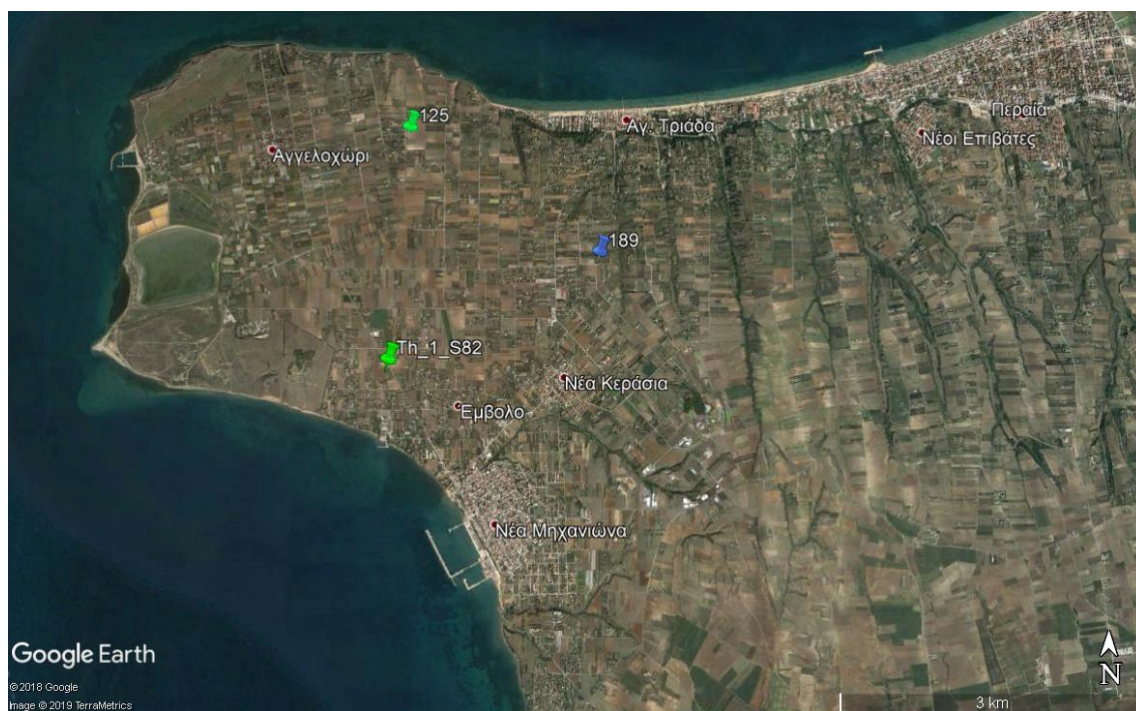
Με βάση μια παλαιότερη έρευνα (Βουδούρης, 2014) για την οποία κατασκευάστηκε ένας πιεζομετρικός χάρτης, στον οποίο περιλαμβάνεται η περιοχή του Αγγελοχωρίου παρατηρείται ότι το νερό κινείται από τη θάλασσα προς την ενδοχώρα. Επομένως η

διεύθυνση ροής είναι ΝΔ-ΒΑ σε όλο το παράκτιο τμήμα της περιοχής του Αγγελοχωρίου, της Μηχανιώνας και της Επανομής (Σχήμα 7). Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων της συγκεκριμένης περιοχής και επομένως στην θαλάσσια διείσδυση.

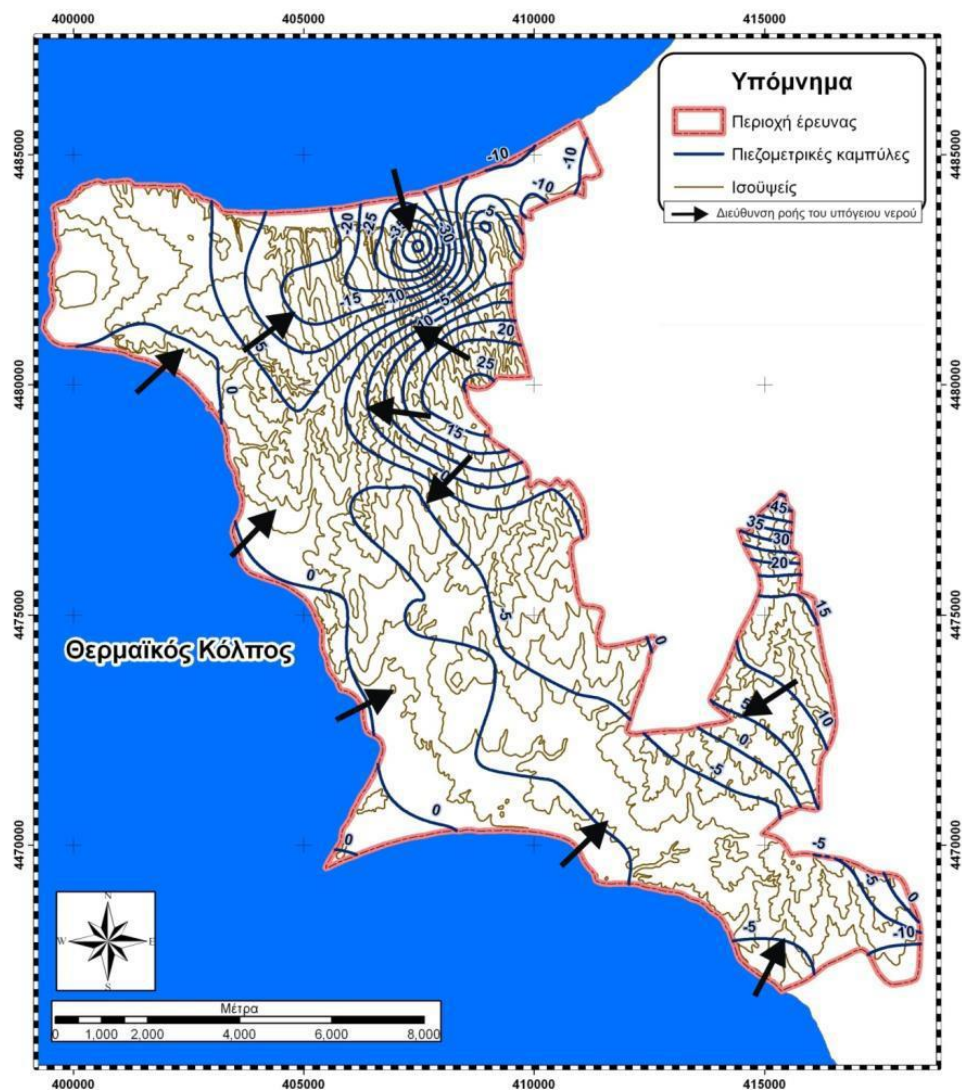
Η έρευνα πεδίου πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2018, ώστε να μετρηθούν οι στάθμες του υπόγειου νερού σε γεωτρήσεις της περιοχής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, και να υπολογιστεί το πιεζομετρικό τους φορτίο. Οι γεωτρήσεις που εντοπίζονται στην περιοχή έρευνας είναι τρεις, η 125, η Th_1_S82 και η 189. Οι στάθμες του υπόγειου νερού που μετρήθηκαν σ' αυτές τις γεωτρήσεις είναι 60.3 m, 31.1 m και 19.9 m, ενώ το πιεζομετρικό φορτίο -1.8 m, -1.6 m και 45.4 m, αντίστοιχα (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Μετρήσεις στάθμης και πιεζομετρικού φορτίου σε γεωτρήσεις στην περιοχή έρευνας τον Μάιο του 2018.

Γεωτρήσεις	Στάθμη (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)
125	60.3	-1.8
Th_1_S82	31.1	-1.6
189	19.9	45.4



Εικόνα 3. Δορυφορική εικόνα με την απεικόνιση των υδρογεωτρήσεων της περιοχής έρευνας (δορυφορική εικόνα από Google Earth Pro).



Σχήμα 7. Πιεζομετρικός χάρτης που περιλαμβάνει και την περιοχή έρευνας (Βουδούρης, 2014).

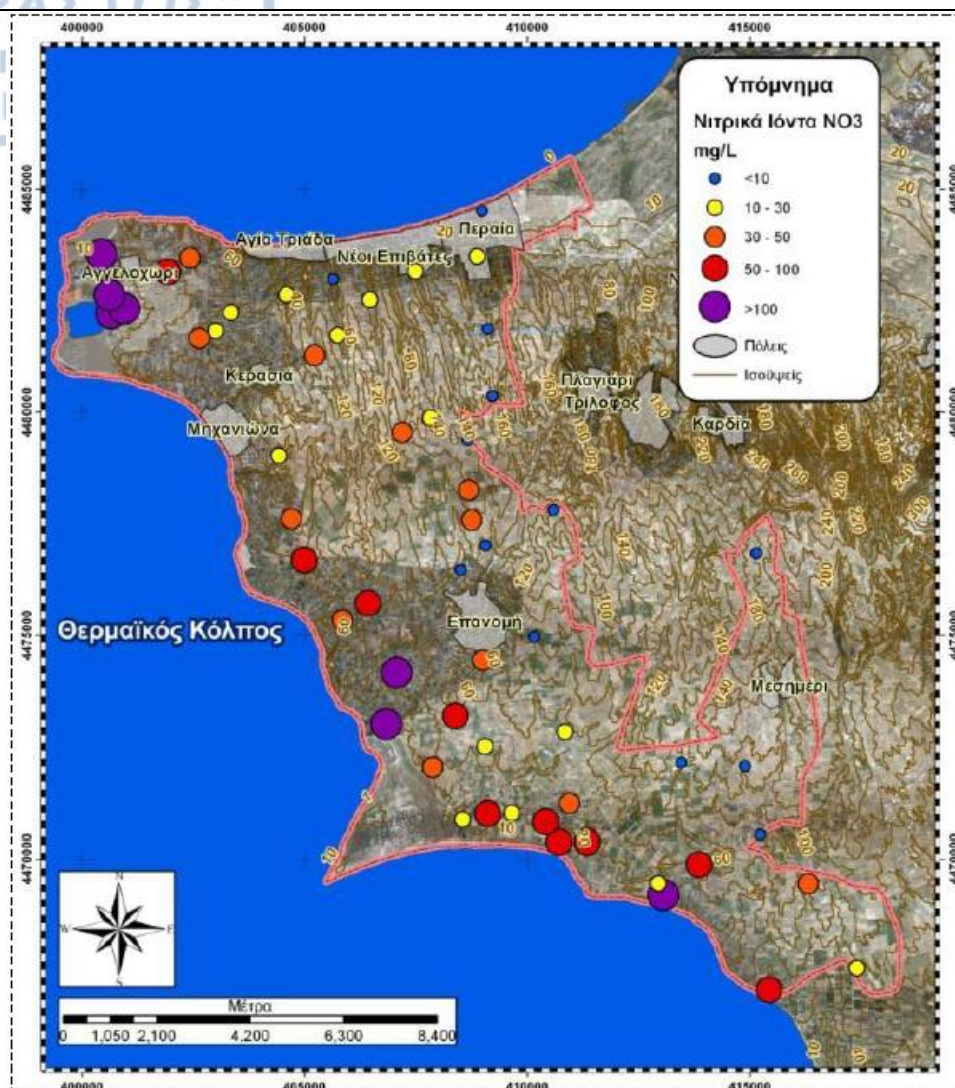
3.3 Υδροχημεία

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ποιότητα του υπόγειου νερού, είναι απαραίτητη η υδροχημική εξέταση αυτού. Με βάση την υδροχημική εξέταση προσδιορίζονται οι παράμετροι του υπόγειου νερού, τόσο οι φυσικοί όσο και οι χημικοί. Μερικοί από τις οποίες είναι η θερμοκρασία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), τα συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S) – Αλατότητα του υπόγειου νερού, κ.ά. Από τις παραμέτρους αυτές, λοιπόν, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με την προέλευση των συγκεκριμένων υδάτων, την καταλληλότητά τους για πόση και τους λόγους πιθανής ρύπανσης αυτών.

Για την εν λόγω περιοχή έρευνας τα υπόγεια ύδατα της χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- , Na^+ και NO_3^- . Οι αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις των δυο πρώτων στοιχείων κυριαρχούν στην παράκτια ζώνη και οφείλονται κυρίως στη θαλάσσια διείσδυση στους παράκτιους υδροφορείς της περιοχής, λόγω της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων, για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

Από την άλλη πλευρά, οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων (NO_3^-) της περιοχής κυριαρχούν, τόσο στο παράκτιο τμήμα της περιοχής με αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις ($>100 \text{ mg/l}$), όσο και στην ενδοχώρα κατά τόπους, κυρίως βόρεια της Επανομής και στην περιοχή της Κερασιάς. Σε αυτές τις περιοχές οι περιεκτικότητες των νιτρικών ιόντων κυμαίνονται από $30\text{-}50 \text{ mg/l}$, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις ($<30 \text{ mg/l}$) εντοπίζονται στο βάθος της ενδοχώρας. Τα λιπάσματα και τα ζωικά υποπροϊόντα ευνοούν τις υψηλές τιμές των νιτρικών ιόντων (NO_3^-). Με βάση το ΚΥΑ Υ2/2600/2001 – ΦΕΚ-892Β'/11-7-01 (τελευταία τροποποίηση 2007) ύδατα με αυξημένες τιμές που ξεπερνούν το όριο των 50 mg/L χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλα για πόση.

Όπως παρατηρείται και στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 8), στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, οι τιμές των νιτρικών είναι υψηλές, με αποτέλεσμα να καθιστούν το νερό της περιοχής ακατάλληλο για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών (Βουδούρης, 2014).



Σχήμα 8. Χάρτης κατανομής των νιτρικών ιόντων στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας (Βουδούρης, 2014).

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Τρωτότητα και μέθοδοι εκτίμησης της

Με τον όρο τρωτότητα (Margat, 1968) αναφερόμαστε στην ευαισθησία των υδροφορέων από τους οποίους αποτελείται μια περιοχή, όταν έρχονται αντιμέτωποι με εξωτερικούς ρύπους. Η τρωτότητα, λοιπόν, διακρίνεται σε γενική και ειδική τρωτότητα.

Η πρώτη δεν έχει σχέση με κάποιο συγκεκριμένο ρυπαντή, αλλά μόνο με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και της ακόρεστης ζώνης και του εδάφους, ενώ ως ειδική τρωτότητα χαρακτηρίζεται η ευαισθησία του υδροφορέα σε κάποιο συγκεκριμένο ρυπαντή (Βουδούρης, 2009). Προκειμένου, λοιπόν, να εκτιμηθεί πόσο ευάλωτη είναι μια περιοχή στη ρύπανση από εξωτερικούς ρυπαντές χρησιμοποιούνται ορισμένες μέθοδοι. Αυτές είναι η μέθοδος βαθμονόμησης, η στατική και η μέθοδος προσομοίωσης. Η μέθοδος DRASTIC με την οποία πρόκειται να επεξεργαστούν τα δεδομένα της περιοχής έρευνας ανήκει στις μεθόδους βαθμονόμησης και θα περιγραφεί παρακάτω.

4.2 Η μέθοδος DRASTIC

Η μεθοδολογία DRASTIC (Aller L., 1987) ανήκει στις μεθόδους δεικτών (βαθμονόμησης) και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών με βάση υδρογεωλογικές παραμέτρους στους πορώδεις υδροφορείς.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, αρχικά κάθε ρύπος εισέρχεται στο εσωτερικό του εδάφους από την επιφάνειά του. Στη συνέχεια, κατεισδύει στα βαθύτερα στρώματά του και στο υπόγειο νερό με τη βοήθεια της βροχόπτωσης και τέλος ο ρύπος αποκτάει την ίδια ταχύτητα με το υπόγειο νερό.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής σε μια περιοχή έρευνας, χρησιμοποιούνται οι υδρογεωλογικές παράμετροι του πορώδους υδροφορέα που βρίσκεται στην αντίστοιχη περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με τον Aller et al. (1987), οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η μέθοδος DRASTIC υποδηλώνονται από τα αρχικά γράμματα της λέξης αυτής που είναι:

DRASTIC (Depth): το βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού

RRASTIC (Recharge): ενεργή κατείσδυση

ARASTIC (Aquifer): υδροφορέας

SRASTIC (Soil): έδαφος

TRASTIC (Topography): κλίση αναγλύφου

IRASTIC (Impact of the vadose zone): επίδραση της ακόρεστης ζώνης

DRASTIC (Hydraulic Conductivity of the aquifer): συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας

Ο δείκτης **Drastic** (DI) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (4.1):

$$DI=DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+IrIw+CrCw \quad (4.1)$$

όπου: ο δείκτης **r** εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και

ο δείκτης **w** τη βαρύτητα της καθεμιάς

Η κάθε παράμετρος έχει δύο τιμές βαρύτητας (Πίνακας 8), τη Γενική και την Ειδική βαρύτητα. Η γενική χρησιμοποιείται όταν η μέθοδος DRASTIC εφαρμόζεται για οικιακούς και βιομηχανικούς ρύπους, ενώ η ειδική όταν εφαρμόζεται για χρήση φυτοφαρμάκων σε περιοχές άρδευσης.

Πίνακας 8. Τιμές βαρύτητας κάθε παραμέτρου.

Παράμετρος	Γενική Βαρύτητα (Typical)	Ειδική Βαρύτητα (Pesticide)
D Βάθος στάθμης 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

4.3 Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα στην περιοχή του Αγγελοχωρίου στην εξωτερική ρύπανση

4.3.1 D- Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού

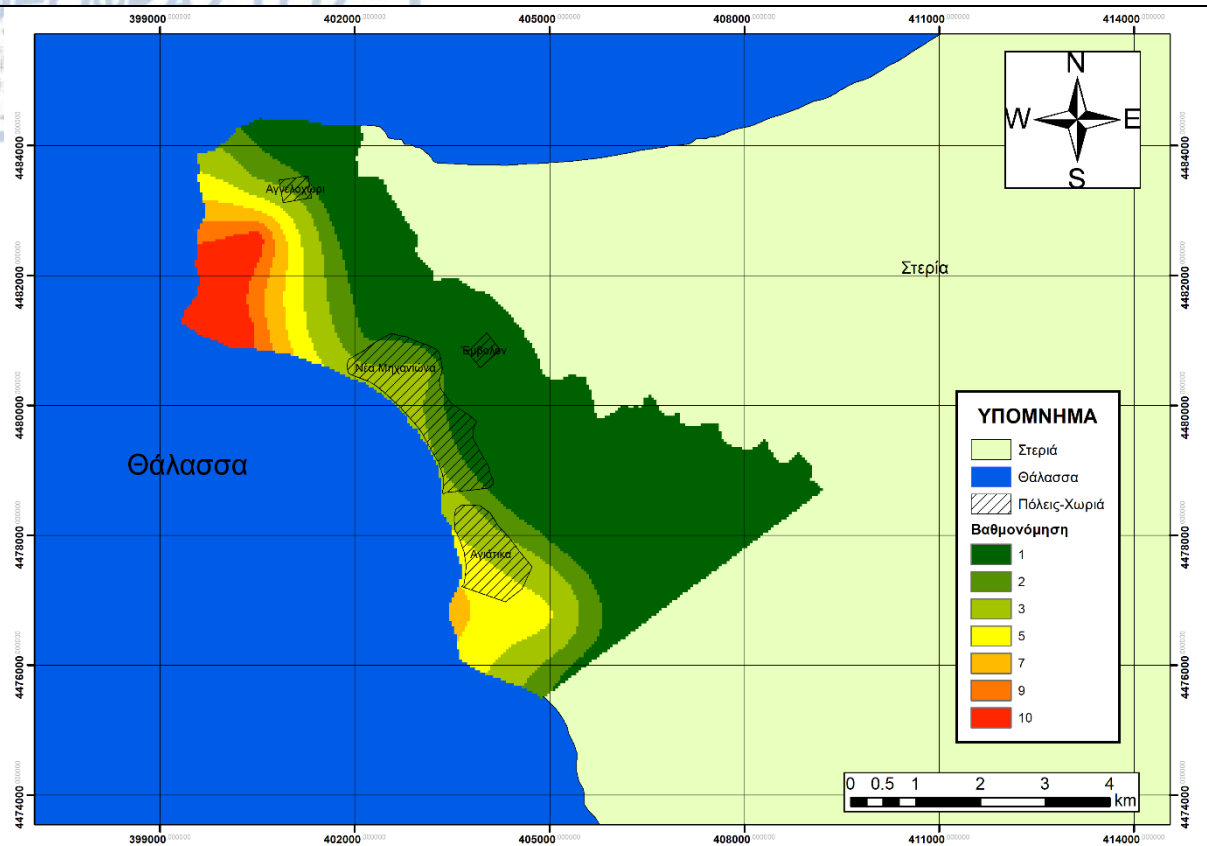
Ως βάθος στάθμης του υπόγειου νερού ορίζεται η απόσταση της επιφάνειας των υπόγειων υδάτων από την επιφάνεια του εδάφους. Η παράμετρος αυτή αποτελεί τη σημαντικότερη της μεθόδου DRASTIC και για τον λόγο αυτόν η βαρύτητά της λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή από όλες τις παραμέτρους, η οποία είναι ίση με 5. Σε περίπτωση που το βάθος στάθμης του υπόγειου νερού σε μια γεώτρηση είναι μεγάλο, τότε η περιοχή αυτή

λαμβάνει μικρή τιμή βαθμονόμησης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι ο ρύπος που εισέρχεται στο έδαφος έχει αρκετό χρόνο να εξασθενήσει μέχρι να φτάσει στο υπόγειο νερό, καθώς περνάει από διάφορες διεργασίες προηγουμένως. Ενώ, όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε μικρό βάθος ή πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τότε ο ρύπος φθάνει ευκολότερα στα υπόγεια ύδατα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μικρότερη προστασία από αυτόν και επομένως υψηλή τρωτότητα. Άρα, βαθμονομείται με τη μεγαλύτερη τιμή ίση με 10.

Πίνακας 9. Βαθμονόμηση της παραμέτρου D.

Βάθος του υπόγειου νερού (m)	Βαθμονόμηση
0-2,5	10
2,5-5	9
5-10	7
10-15	5
15-20	3
20-25	2
>25	1

Στην περιοχή έρευνας, όπως φαίνεται και στον παρακάτω θεματικό χάρτη της παραμέτρου D (Σχήμα 9), παρατηρούνται υψηλές τιμές βαθμονόμησης στο ΒΔ παράκτιο τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης και κυριαρχούν στο εσωτερικό τμήμα της (ΑΒΑ).



Σχήμα 9. Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου D.

4.3.2 R- Ενεργή κατείδυση

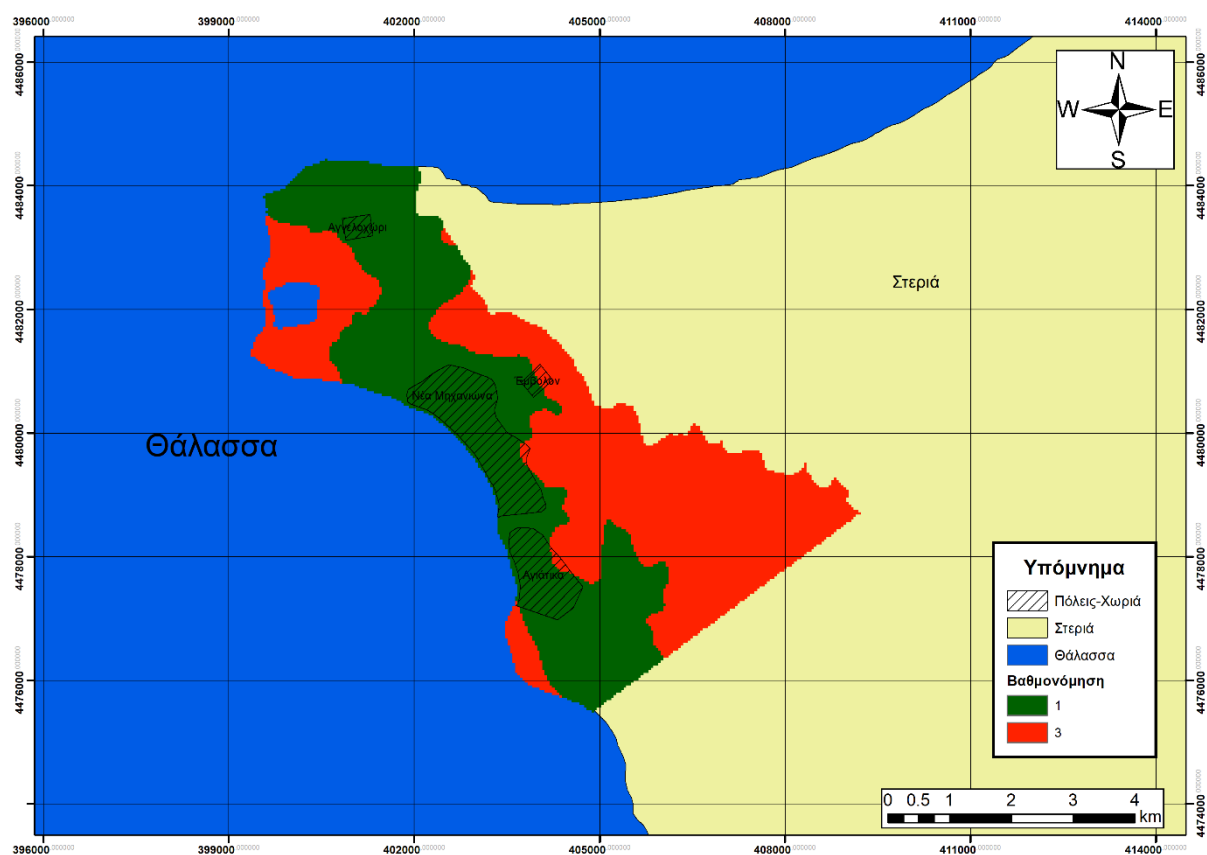
Ως κατείδυση αναφέρεται η ετήσια ποσότητα βροχόπτωσης που διαπερνά το επιφανειακό στρώμα και αρχικά καλύπτει τις ανάγκες υγρασίας του εδάφους και στη συνέχεια φθάνει στα υπόγεια στρώματα αυξάνοντας τα αποθέματα των υπόγειων υδάτων. Αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου. Επιπλέον, η ενεργή κατείδυση αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που προέρχεται από τη βροχόπτωση και φθάνει στη στάθμη του υπόγειου νερού, με σκοπό να εμπλουτίσει αυτά τα υπόγεια στρώματα. Όταν σε μια περιοχή οι τιμές κατείδυσης είναι αυξημένες, τότε η περιοχή παρουσιάζει χαμηλή προστασία ως προς τους ρύπους, καθώς είναι ευκολότερο να διεισδύσουν στους υπόγειους υδροφορείς.

Επομένως, οι υψηλές τιμές κατείδυσης ευνοούν τις συνθήκες τρωτότητας μιας περιοχής, με αποτέλεσμα να βαθμονομείται με μεγάλες τιμές τρωτότητας. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό παρατηρώντας τον Πίνακα 10, όπου περιοχές με τιμές κατείδυσης μεγαλύτερες από 50 mm/year έχουν μεγαλύτερη τιμή βαθμονόμησης από αυτές με τιμές μικρότερες από 50 mm/year.

Πίνακας 10. Βαθμονόμηση της παραμέτρου R.

Ενεργή κατείσδυση (mm/year)	Βαθμονόμηση
50-102	3
<50	1

Στην περιοχή έρευνας, όπως φαίνεται και από τον παρακάτω θεματικό χάρτη (Σχήμα 10), παρατηρούνται δυο κλάσεις βαθμονόμησης της παραμέτρου R. Το κομμάτι της περιοχής που βαθμονομείται με τιμή 1 αντιστοιχεί στην ποσότητα βροχόπτωσης που κατεισδύει μέχρι 50 mm/year και εντοπίζεται στο ΒΒΔ τμήμα της περιοχής και στο Δ και ΝΔ τμήμα της καταλαμβάνοντας ορισμένα από τα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου Θερμαϊκού (Αγγελοχώρι, Νέα Μηχανιώνα και Αγιάτικα). Ωστόσο, η δεύτερη κλάση βαθμονομείται με τιμή 3 και σε αυτό το τμήμα της περιοχής η ποσότητα βροχόπτωσης που κατεισδύει είναι 50-102 mm/year και συναντάται κυρίως στο ΒΔ τμήμα της περιοχής γύρω από την Αλυκή του Αγγελοχωρίου και στο Α και ΝΑ τμήμα της περιοχής, καταλαμβάνοντας σχεδόν το μισό τμήμα της περιοχής του Εμβόλου.



Σχήμα 10. Θεματικός χάρτης της παραμέτρου R.

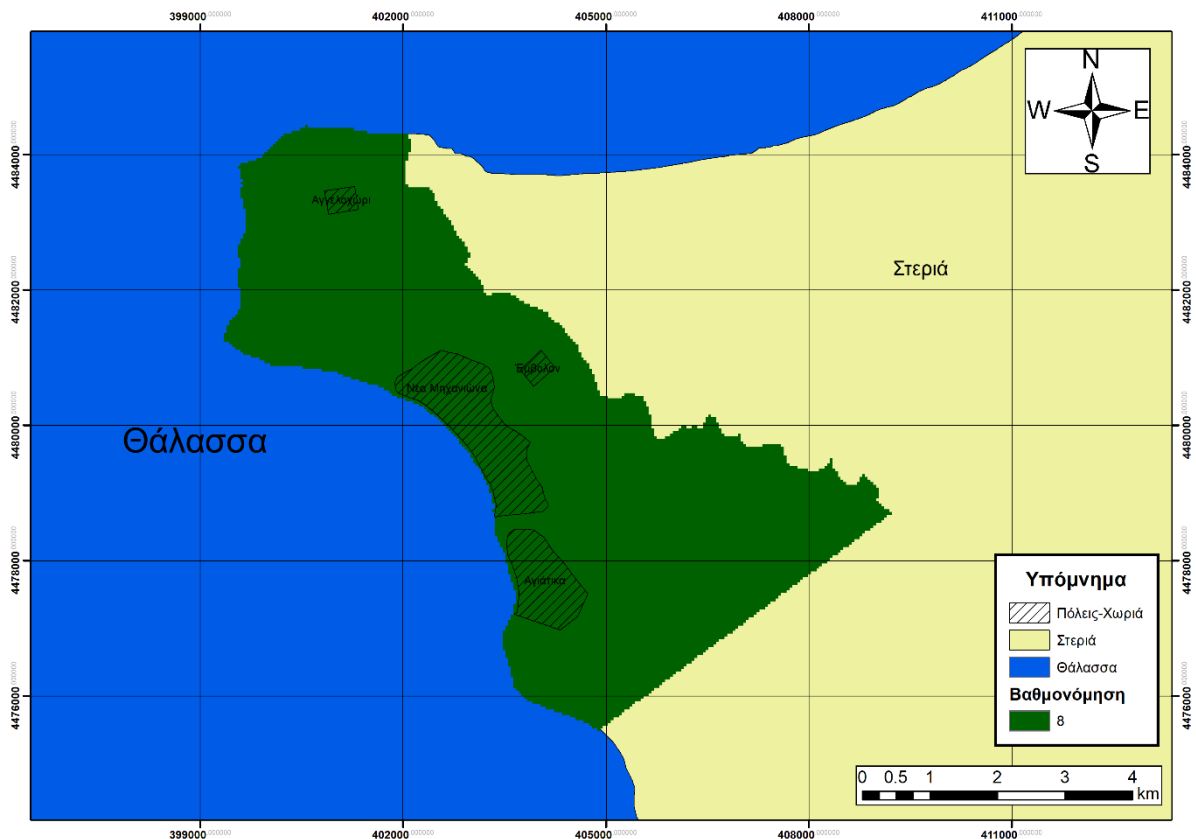
4.3.3 Α- Υδροφορέας

Η τρίτη παράμετρος της μεθόδου DRASTIC είναι αυτή του υδροφορέα και αυτό που εξετάζει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι το υλικό από το οποίο αποτελείται ο υδροφορέας που βρίσκεται στην περιοχή όπου γίνεται η εκάστοτε μελέτη. Η βαρύτητα αυτής της παραμέτρου βαθμονομείται με 3 όπως μπορεί να παρατηρηθεί στον Πίνακα 8. Σε περιοχές όπου το υλικό του υδροφορέα είναι αδρόκοκκο ο χρόνος κίνησης του ρύπου μέσα σε αυτόν είναι μικρός, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εξασθένηση αυτού. Για αυτό τον λόγο, ο συγκεκριμένος τύπος υδροφορέα λαμβάνει υψηλές τιμές βαθμονόμησης, ενώ, σε περίπτωση που οι υδροφορείς αποτελούνται από λεπτόκοκκο υλικό, αυξάνεται ο χρόνος κίνησης του ρύπου μέσα σε αυτούς και αυτή η κατάσταση οδηγεί στην εξασθένηση του ρύπου. Για αυτό, λοιπόν, τον λόγο βαθμονομείται με χαμηλές τιμές, κάτι που μπορούμε να διαπιστώσουμε παρατηρώντας τον παρακάτω Πίνακα 11.

Πίνακας 11. 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

Παρατηρώντας τον παρακάτω θεματικό χάρτη (Σχήμα 11) όπου φαίνεται η βαθμονόμηση της παραμέτρου Α στην περιοχή έρευνας, διαπιστώνεται ότι η συνολική έκτασή της βαθμονομείται με 8. Οι υδροφορείς της περιοχής λιθολογικά αποτελούνται από αδρόκοκκα υλικά, κυρίως άμμους, ψαμμίτες και οι ρύποι που εισέρχονται στους υδροφορείς αυτούς έχουν μικρό χρόνο κίνησης και επομένως είναι δύσκολη η εξασθένησή τους.



Σχήμα 11. Θεματικός χάρτης της παραμέτρου Α.

4.3.4 S- Έδαφος

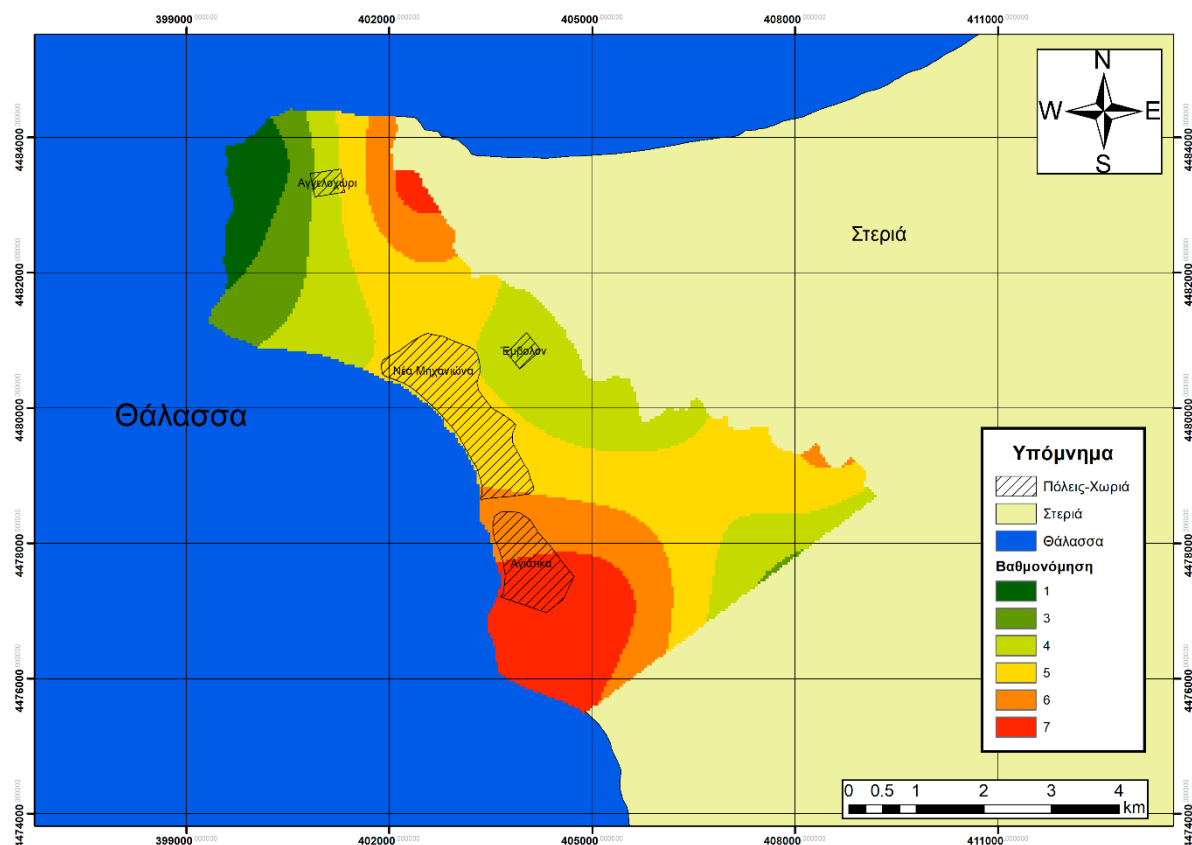
Η παράμετρος του εδάφους στη μέθοδο DRASTIC αναφέρεται στη λιθολογία των επιφανειακών πρώτων στρωμάτων από τα οποία διέρχονται τα ύδατα που προέρχονται από βροχοπτώσεις και γενικά στις ποσότητες νερού που διέρχονται από το στρώμα αυτό ώστε να φτάσουν στα υπόγεια ύδατα. Στην περίπτωση που το έδαφος αποτελείται από αδρομερή υλικά, τότε βαθμονομείται με υψηλές τιμές. Αυτό συμβαίνει γιατί ο χρόνος κίνησης του ρύπου στα στρώματα αυτά είναι μικρός και η εξασθένηση του δύσκολη, με αποτέλεσμα να κατεισδύει στα βαθύτερα στρώματα. Ενώ, όταν το έδαφος αποτελείται από λεπτόκοκκα υλικά, ο χρόνος παραμονής του ρύπου σε αυτόν είναι μεγάλος. Επομένως, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εξασθένησης του ρύπου στα στρώματα αυτά και για αυτό τον λόγο βαθμονομείται με χαμηλές τιμές.

Στην περιοχή έρευνας, με βάση τον θεματικό χάρτη (Σχήμα 12), εντοπίζονται κυρίως δύο θέσεις υψηλής βαθμονόμησης, η πρώτη ανατολικά του Αγγελοχωρίου και η δεύτερη ΝΝΔ της συνολικής έκτασης της περιοχής. Αντίθετα, χαμηλή βαθμονόμηση παρατηρείται στο ΒΒΔ τμήμα της. Στην υπόλοιπη έκταση της περιοχής παρατηρούνται ενδιάμεσες τιμές. Συγκεκριμένα, επικρατεί η τιμή 5 όσον αφορά τη βαθμονόμηση της παραμέτρου του

εδάφους (S) υποδηλώνοντας ότι τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα αποτελούνται κυρίως από πηλό.

Πίνακας 12. Βαθμονόμηση 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



Σχήμα 12. Θεματικός χάρτης παραμέτρου S.

4.3.5 T- Κλίση αναγλύφου

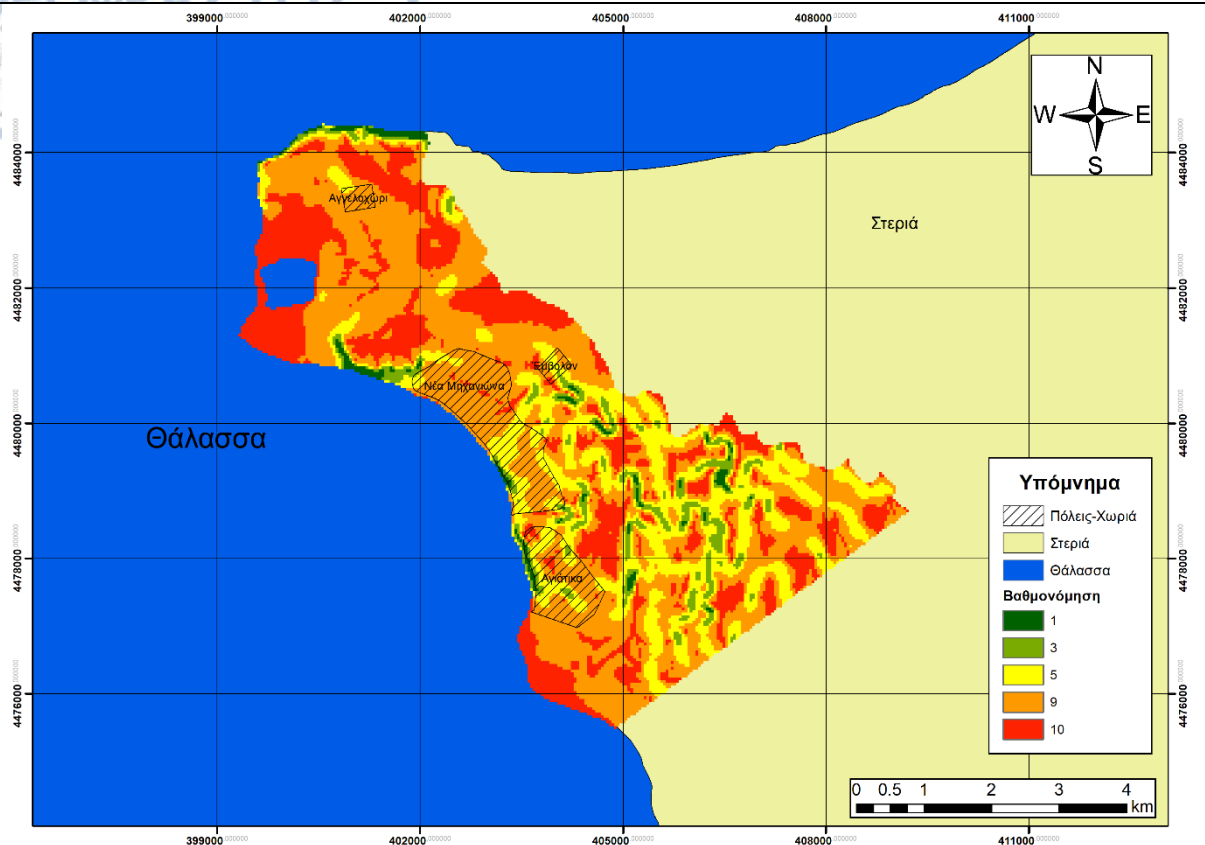
Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στην κλίση της επιφάνειας του εδάφους της εκάστοτε περιοχής προς μελέτη με τη μέθοδο DRASTIC. Ουσιαστικά, όταν σε μια περιοχή έρευνας εντοπίζονται μεγάλες τιμές κλίσης αναγλύφου, αυτό συνεπάγεται ότι στην περιοχή κυριαρχεί η διεργασία της επιφανειακής απορροής σε αντίθεση με αυτή της κατείσδυσης. Έτσι, λοιπόν, ο χρόνος παραμονής του ρύπου είναι μικρός, άρα και η πιθανότητα διείσδυσης του στα κατώτερα στρώματα. Αντίθετα, σε περιοχές με μικρές τιμές κλίσης αναγλύφου κυριαρχεί η διεργασία της κατείσδυσης. Σε αυτές τις περιοχές ο χρόνος παραμονής του ρύπου αυξάνεται και επομένως και η πιθανότητα διείσδυσης του στα υπόγεια ύδατα. Λογικό, λοιπόν, είναι υψηλές τιμές βαθμονόμησης να επικρατούν σε περιοχές με μικρές γωνίες κλίσης αναγλύφου, ενώ χαμηλές τιμές βαθμονόμησης σε περιοχές με μεγάλες γωνίες κλίσης.

Πίνακας 13. Βαθμονόμηση παραμέτρου T.

Κλίση %	Βαθμονόμηση
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Για τη συγκεκριμένη περιοχή έρευνας, σύμφωνα με το θεματικό χάρτη (Σχήμα 13), όπου βαθμονομείται η παράμετρος της τοπογραφίας διαπιστώνεται ότι σχεδόν ολόκληρη η έκταση της περιοχής αντιπροσωπεύεται από υψηλές τιμές βαθμονόμησης. Συγκεκριμένα, βαθμονομείται με τιμές 9 και 10, οπότε διαπιστώνεται ότι στην περιοχή αυτή κυριαρχούν κυρίως μικρές κλίσεις αναγλύφου.

Βάσει των παραπάνω ευννοείται η διεργασία της κατείσδυσης και της διείσδυσης των ρύπων. Ενώ τα τμήματα της περιοχής με χαμηλές τιμές βαθμονόμησης είναι ελάχιστα, παρουσιάζονται στο κεντρικό τμήμα της συνολικής έκτασης, δυτικά των οικισμών Νέας Μηχανιώνας και Αγιάτικα.



Σχήμα 13. Θεματικός χάρτης παραμέτρου Τ.

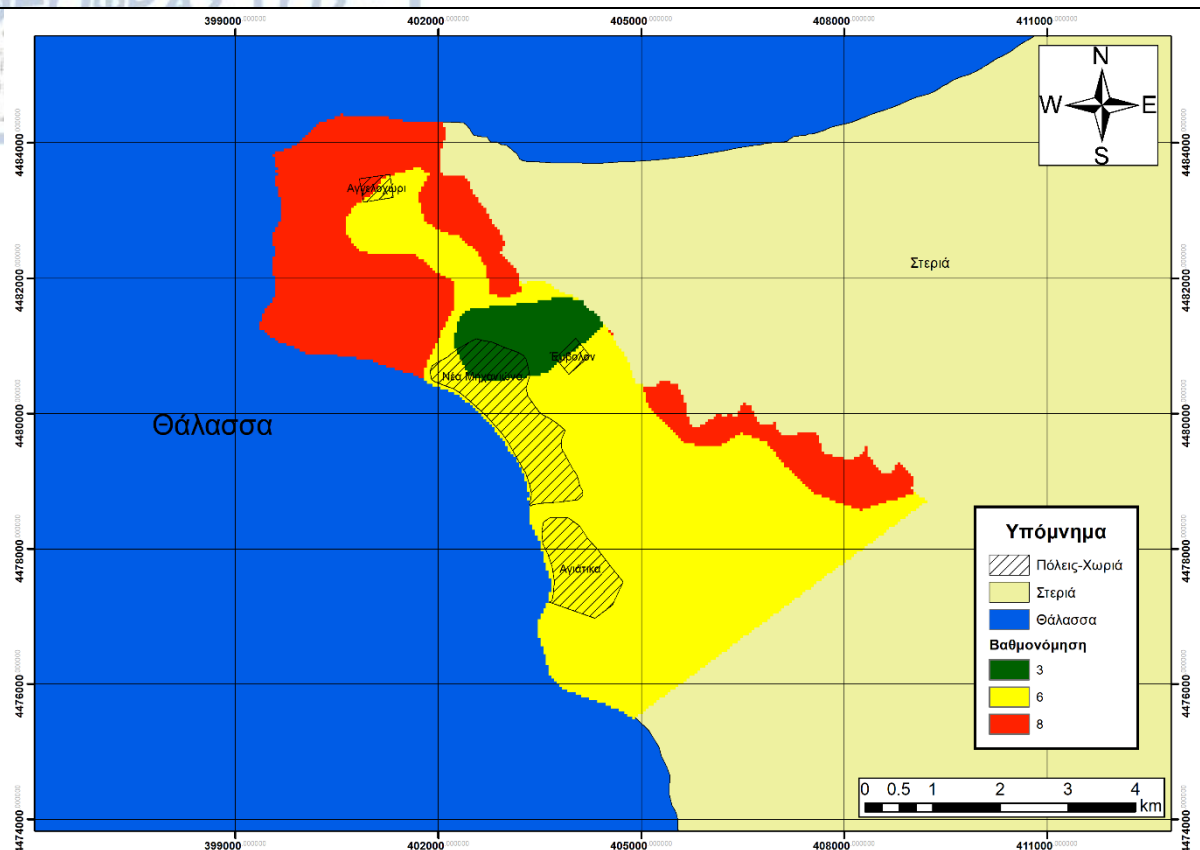
4.3.6 I- Επίδραση της ακόρεστης ζώνης

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 επίδραση της ακόρεστης ζώνης είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους, με τιμή βαρύτητας 5. Από τη λιθολογία της ακόρεστης ζώνης εξαρτάται ο χρόνος κίνησης των ρύπων. Όταν λιθολογικά κυριαρχούν λεπτόκοκκα υλικά, όπως άργιλος, ο χρόνος κίνησης πιθανόν ρύπων που έχουν εισέλθει στην ακόρεστη ζώνη είναι μεγαλύτερος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή εξασθένησή τους. Αντίθετα, όταν κυριαρχούν αδρομερή υλικά στη ζώνη αυτή, ο χρόνος κίνησης των ρύπων είναι μικρότερος και για αυτό τον λόγο η εξασθένησή τους είναι δυσκολότερη.

Πίνακας 14. Βαθμονόμηση 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
Στρωματώδης ασβεστόλιθος, ψαμμίτης,σχιστή άργιλος	6
Ψαμμίτης	6
Ασβεστόλιθος	6
Σχιστή άργιλος	3
Ιλύς/ άργιλος	3
Υπό πίεση υδροφορέας	1

Για τη συγκεκριμένη περιοχή έρευνας για την οποία διεξάγεται η μέθοδος αυτή, διαπιστώνεται από τον παρακάτω θεματικό χάρτη (Σχήμα 14), στον οποίο φαίνεται η βαθμονόμηση της παραμέτρου I, ότι υπάρχουν τρεις κλάσεις βαθμονόμησης. Η χαμηλότερη βαθμονόμηση, η τιμή της οποίας είναι ίση με 3, εντοπίζεται ΒΑ του οικισμού Νέας Μηχανιώνας καταλαμβάνοντας ένα τμήμα της. Αυτό σημαίνει ότι το μέρος αυτό αποτελείται από αργιλικό υλικό και επομένως ο χρόνος κίνησης των ρύπων είναι αυξημένος και οδηγεί στην εξασθένησή τους. Το τμήμα της περιοχής που έχει βαθμονομηθεί με τη μεγαλύτερη τιμή βρίσκεται κυρίως στο Β κομμάτι της περιοχής έρευνας, αλλά και στα ανατολικά όρια της. Συνεπώς, τα τμήματα αυτά αποτελούνται από άμμο και χαλίκια, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, και επομένως ο χρόνος κίνησης των ρύπων είναι μικρός. Ωστόσο, το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας βαθμονομείται με τιμή 6, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι στο τμήμα αυτό κυριαρχούν άμμοι και χαλίκια με σημαντικό ποσοστό αργίλου.



Σχήμα 14. Θεματικός χάρτης παραμέτρου I.

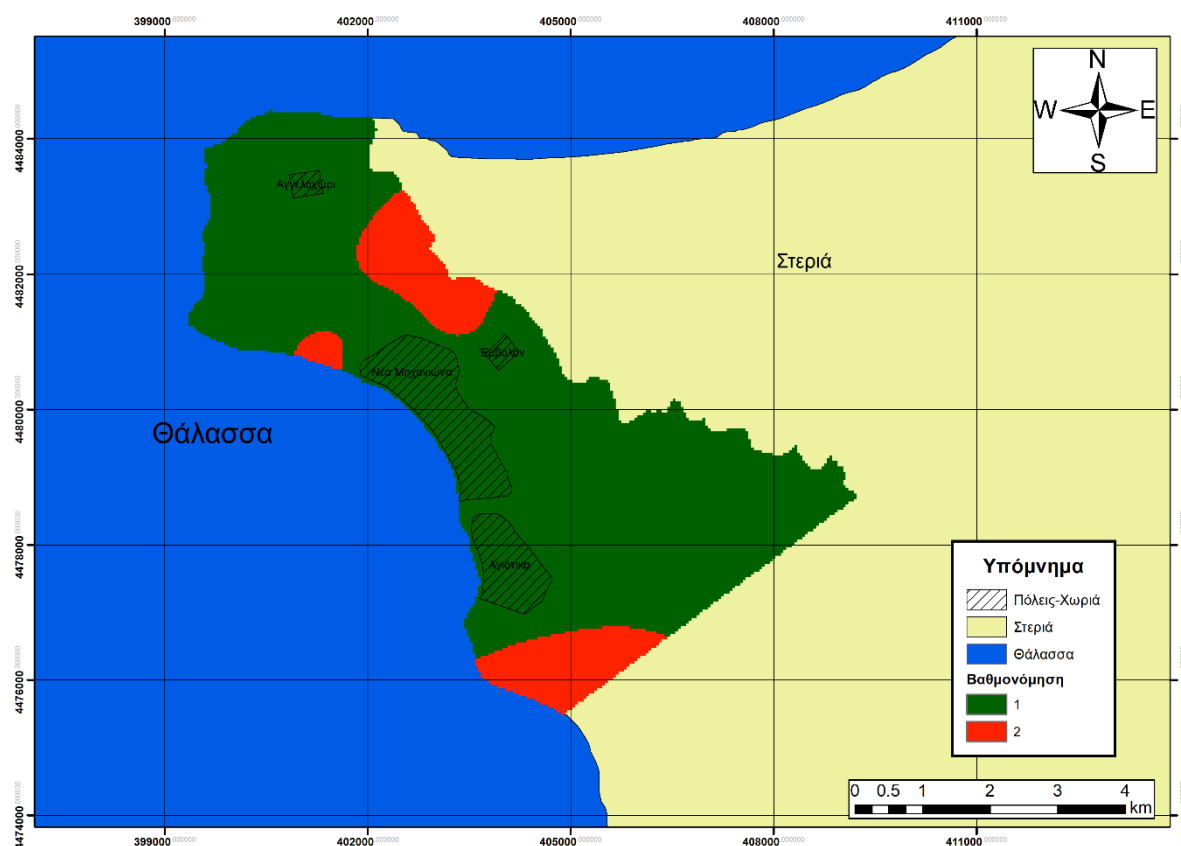
4.3.7 C- Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας

Η υδραυλική αγωγιμότητα ή κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα ή συντελεστής υδροπερατότητας (hydraulic conductivity) (k) ενός μέσου είναι ένα μέτρο που εκφράζει πόσο εύκολα μπορεί να κινηθεί το νερό μέσα σε αυτό (Βουδούρης, 2015). Όταν σε μια περιοχή συναντώνται υψηλές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα των υπόγειων υδάτων στην κορεσμένη ζώνη είναι μεγάλη. Επομένως, ο ρύπος μπορεί εύκολα να μεταναστεύει στις γύρω περιοχές, ενώ, όταν η παράμετρος αυτή έχει μικρές τιμές, η ταχύτητα του υπόγειου νερού είναι μικρή και άρα υπάρχει μικρότερη πιθανότητα μετανάστευσης του ρύπου.

Πίνακας 15. Βαθμονόμηση παραμέτρου 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

Στον παρακάτω θεματικό χάρτη (Σχήμα 15) που βαθμονομείται ο συντελεστής της υδραυλικής αγωγιμότητας διαπιστώνεται ότι στην περιοχή έρευνας κυριαρχούν μικρές τιμές αυτής της παραμέτρου. Ωστόσο, σε ορισμένα σημεία εντοπίζονται και υψηλότερες τιμές, όπως στο ΝΔ μέρος ολόκληρης της περιοχής και ΒΔ του οικισμού Έμβολο.



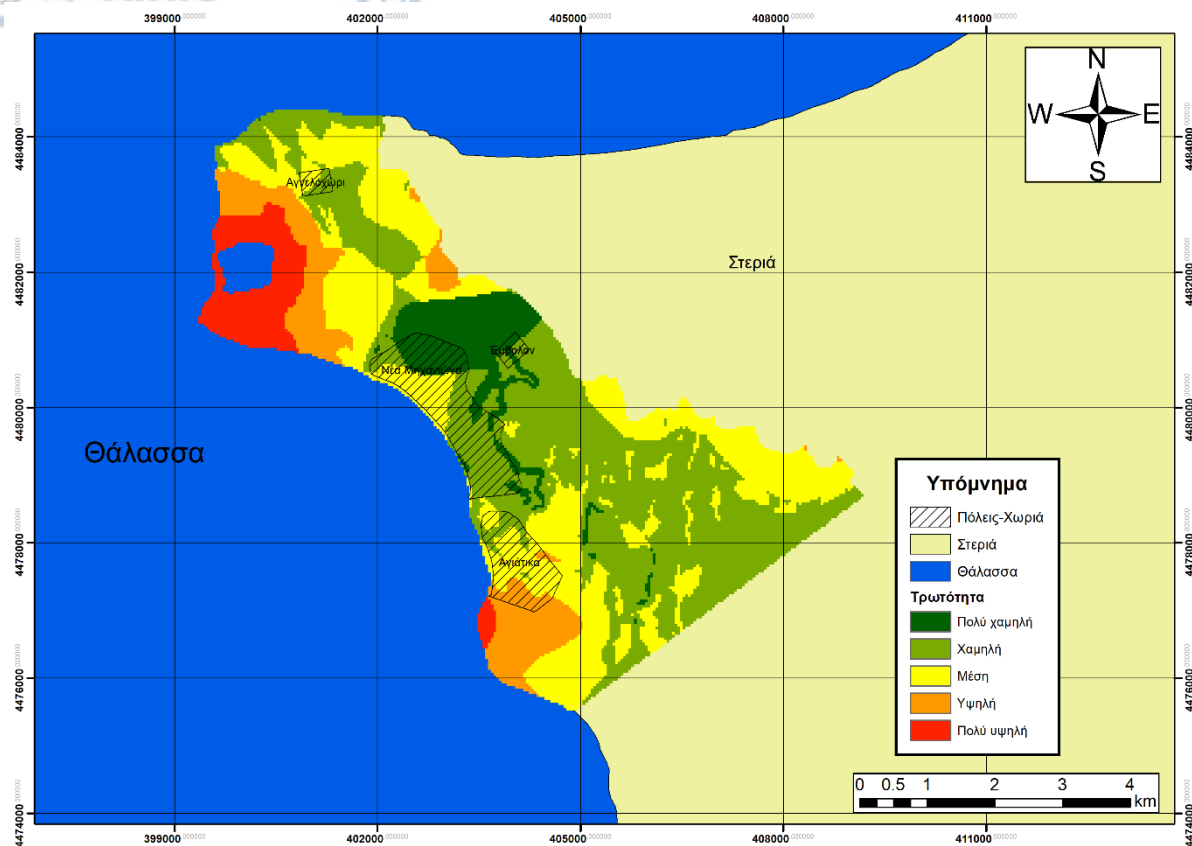
Σχήμα 15. Θεματικός χάρτης παραμέτρου C.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, προκύπτουν μερικά συμπεράσματα με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια, καθώς και την υδρογεωλογική έρευνα που έγινε για την περιοχή του Αγγελοχωρίου. Τα συμπεράσματα αυτά απαριθμούνται παρακάτω:

- Η περιοχή έρευνας του Αγγελοχωρίου καλύπτεται από δυο γεωλογικούς σχηματισμούς, τις παράκτιες αποθέσεις και, κυρίως, την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά. Λόγω της παρουσίας αλυκής στην περιοχή αυτή σημαντικό μέρος των κατοίκων της ασχολούνται με την παραγωγή αλατιού, αλλά και γεωργικές εργασίες.
- Σύμφωνα με τους πιεζομετρικούς χάρτες, η διεύθυνση ροής του νερού στο παράκτιο τμήμα της ευρύτερης περιοχής είναι ΝΔ-ΒΑ, λόγω της υπερεκμετάλλευσης του παράκτιου υδροφορέα.
- Τα υπόγεια ύδατα της περιοχής χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- , Na^+ και NO_3^- . Οι υψηλές τιμές των δυο πρώτων, κυριαρχούν στην παράκτια περιοχή και οφείλονται στην θαλάσσια διείσδυση. Ενώ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών κυριαρχούν τόσο στο παράκτιο τμήμα της περιοχής όσο και στην ενδοχώρα.
- Με βάση τον χάρτη κατανομής των νιτρικών διαπιστώνεται ότι στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, λόγω υψηλών τιμών, το νερό καθίσταται ακατάλληλο για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών.
- Προκειμένου να υπολογιστεί η τρωτότητα του υδροφορέα στην εξωτερική ρύπανση στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DRASTIC. Με βάση τις επτά παραμέτρους της μεθόδου αυτής (DRASTIC) και τους θεματικούς χάρτες αυτών των παραμέτρων, συντάχθηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση. Ο υπολογισμός αυτός, του δείκτη Drastic, έγινε με βάση το δείκτη DRASTIC (DI) και το πρόγραμμα G.I.S ArcMap 10.3.
- Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 16) φαίνεται η βαθμονόμηση της τρωτότητας της περιοχής. Με βάση, λοιπόν, αυτόν τον χάρτη παρατηρείται ότι πολύ υψηλή τρωτότητα εντοπίζεται μόνο στην περιοχή γύρω από την Αλυκή του Αγγελοχωρίου και ένα μικρό κομμάτι ΝΔ του οικισμού Αγιάτικα. Επιπλέον, υψηλή τρωτότητα παρατηρείται γύρω από την Αλυκή και σε μεγαλύτερη ακτίνα από αυτή και νότια του οικισμού Αγιάτικα. Πολύ χαμηλή τρωτότητα εντοπίζεται ΒΔ της δημοτικής ενότητας Νέας Μηχανιώνας και στο βόρειο τμήμα του

οικισμού Έμβολον, ενώ η μέση και χαμηλή τρωτότητα καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 16. Χάρτης τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση της περιοχής με τη μέθοδο DRASTIC.

6 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αρκετά είναι τα μέτρα τα οποία μπορούν και πρέπει να ληφθούν, προκειμένου να προστατευτεί η ποιότητα των υπόγειων νερών από ρύπους που προέρχονται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως κτηνοτροφικές, γεωργικές, βιομηχανικές δραστηριότητες.

Μερικά από τα μέτρα αυτά αναφέρονται στη συνέχεια:

1. Κατασκευή δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας των υπόγειων νερών (monitoring). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατός ο άμεσος έλεγχος πιθανής ρύπανσης ή γενικότερα των αλλαγών που συμβαίνουν στην ποιότητα του νερού μέσα στο χρόνο.
2. Επέκταση του δικτύου συλλογής λυμάτων και σύνδεση με το βιολογικό καθαρισμό. Επειδή η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε παράκτια θέση, τους θερινούς μήνες είναι αυξημένη η παραγωγή οικιακών λυμάτων από κατοικίες εκτός σχεδίου πόλεως. Επομένως, ένα μέτρο προστασίας της ποιότητας των υπόγειων υδάτων είναι η συγκέντρωση και η μεταφορά αυτών των λυμάτων σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, ώστε να επεξεργαστούν κατάλληλα για να είναι δυνατή η διάθεσή τους στα υπόγεια νερά.
3. Περιορισμός φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Τα αρδευόμενα νερά έχουν ως αποτέλεσμα να μεταφέρουν τα συστατικά των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων στα υπόγεια ύδατα, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η ποιότητά τους. Συνεπώς, η ορθολογική διαχείρισή τους είναι ένα σημαντικό μέτρο προστασίας.
4. Κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων. Τα συγκεκριμένα απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες νιτρικών ιόντων τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μείωση της ποιότητας των υπόγειων νερών.
5. Καθορισμός ζωνών προστασίας γύρω από κάθε υδροληπτικό έργο (γεωτρήσεις, πηγάδια, πηγές). Σκοπός των ζωνών αυτών είναι η προστασία του υπόγειου υδροφορέα που βρίσκεται υπό εκμετάλλευση.
6. Περιορισμός αντλήσεων. Με αυτό τον τρόπο προστατεύεται ο υδροφορέας από την υπερεκμετάλλευση του και τη διείσδυση του θαλασσινού νερού που έχει ως αποτέλεσμα να υποβαθμίσει την ποιότητα του υπόγειου νερού.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aller, L.T., Bennet, J., Lehr, R., Petty, G., & Hackett. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting. *US Environmental Protection Agency*, 163.
- Kazakis, N. & Voudouris, K. (2011). *Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece*. p.359-366.
- 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*, p.13-25
- Margat, J. (1968). *Groundwater vulnerability maps, conception-estimation-mapping (in French)*. EEC Institut Europeen de l' Eau, Paris, France.
- Patrikaki, O., Kazakis, N. & Voudouris, K. (2012). *Vulnerability Map: A useful tool for groundwater protection: an example from Mouriki basin, North Greece*, *Fresenius Environmental Bulletin*, p. 2516-2521.
- Venetsanou, P., Voudouris, K. & Kazakis, N. *Impacts of Urbanization, Agriculture and Touristic Development on Groundwater Resources in the Eastern Part of Thermaikos Gulf, North Greece*.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βουδούρης, Κ. (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ. (2013). *Τεχνική Υδρογεωλογία-Υπόγεια Νερά*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ. (2014). *Έρευνα υδατικού δυναμικού Δήμου Θερμαϊκού, Νομού Θεσσαλονίκης*. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης, Κ. (2015). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειων νερών*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Καζάκης, Ν. (2008). *Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στη λεκάνη της Φλώρινας*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Καζάκης, Ν. (2013). *Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούνρτα*. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Καζάκης, Ν., Φυτιλής, Β., Βουδούρης, Κ. (2015). *Εκτίμηση της ιδιοτροπότητας του εδαφικού καλύμματος στις απώλειες αζώτου με την χρήση δεικτών: Εφαρμογή στην περιοχή της Επανομής, Βόρεια Ελλάδα*. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, p. 191-198.

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

Μπάμπος, Δ. (2011). *Αλυκή Αγγελοχωρίου*. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Π. Φάληρο.

Τσιώκος, Λ. (2007). *Γεωλογική και Μορφοτεκτονική του ρήγματος Περαίας, δήμου Θερμαϊκού*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Διαδικτυακές πηγές

<https://buk.gr/el/poli-perioxi/aggelohori/>

www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city

<http://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφίες: Μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας και της ευρύτερης περιοχής.



