



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΗΤΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024





ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 6329

**ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΗΤΗΣ
ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής Υδρογεωλογίας ΑΠΘ

Επικουρία στην Επίβλεψη

Καζάκης Νεραντζής, Επίκουρος Καθηγητής Υδρογεωλογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών.

© Δημοπούλου Μαρία-Ελισσάβετ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΗΤΗΣ
ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ – Διπλωματική Εργασία

© Dimopoulou Maria-Elissavet, School of Geology, Laboratory of Technical Geology and Hydrogeology, 2024

All rights reserved.

HYDROCHEMICAL CONDITIONS OF THE GROUNDWATER IN THE LITI AREA OF
OREOKASTRO MUNICIPALITY – 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	13
1.1 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	13
1.2 Γεωγραφικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά.....	14
1.3 Γεωμορφολογία	15
1.4 Χρήσεις γης	15
2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	18
2.1 Γεωλογικά στοιχεία	18
2.1.1 Σχηματισμοί.....	20
2.2 Τεκτονική και μεταμόρφωση	24
2.3 Σύνοψη	25
3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	26
3.1 Θερμοκρασία.....	27
3.2 Υγρασία	28
3.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	29
4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	32
4.1 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα.....	32
4.2 Υδατικοί Πόροι.....	37
4.3 Λεκάνες απορροής ποταμού (ΛΑΠ)	37

4.4	ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ	39
5	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	43
5.1	Στοιχεία των Γεωτρήσεων-Δειγματοληψία	43
5.2	Φυσικοχημικές παράμετροι υπόγειου νερού	48
5.2.1	Ειδική (Ηλεκτρική) Αγωγιμότητα (EC)	48
5.2.2	Ενεργός Οξύτητα (pH)	49
5.2.3	Θερμοκρασία	51
5.2.4	Διαλυμένο Οξυγόνο (O ₂).....	52
5.2.5	Ολική Σκληρότητα	53
5.3	Κατανομή των κύριων ιόντων	55
5.3.1	Ιόντα Ασβεστίου (Ca ²⁺).....	55
5.3.2	Ιόντα Μαγνησίου (Mg ²⁺).....	56
5.3.3	Ιόντα Καλίου (K ⁺)	58
5.3.4	Ιόντα Νατρίου (Na ⁺).....	59
5.3.5	Νιτρικά ιόντα (NO ₃ ⁻)	60
5.3.6	Θειικά ιόντα (SO ₄ ²⁻)	62
5.3.7	Ιόντα Χλωρίου (Cl ⁻)	64
5.3.8	Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO ₃ ⁻)	65
5.4	Χαμηλές ή μη ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις ιόντων	67
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	75

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση των υδροχημικών συνθηκών και της διαφοροποίησης της ποιότητας του υπόγειου νερού με το βάθος, στην περιοχή της Λητής του Δήμου Ωραιοκάστρου, που ανήκει στη Δημοτική Ενότητα Μυγδονίας. Η έρευνα επικεντρώνεται στη μελέτη των υδροχημικών παραμέτρων και των κυριότερων ιόντων που περιέχονται στο υπόγειο νερό της περιοχής. Η ραγδαία οικιστική και πληθυσμιακή ανάπτυξη της περιοχής τα τελευταία χρόνια έχει αυξήσει τις ανάγκες σε υδάτινους πόρους, καθιστώντας αναγκαίες τέτοιου είδους έρευνες. Στην παρούσα εργασία αναλύονται γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπως γεωγραφικά, κλιματολογικά και κοινωνικά, καθώς και τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά της χαρακτηριστικά, με έμφαση στη σχέση τους με την υδροφορία. Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στην Περιοδοπική ζώνη, με πετρώματα Περμοτριάδικής και Ιουρασικής ηλικίας, ενώ η υδρογεωλογική ανάλυση αποκαλύπτει μια ποικιλία υδροφορέων, που περιλαμβάνουν κοκκώδεις υδροφορείς σε νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς, καρστικούς υδροφορείς σε ανθρακικά πετρώματα και υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων σε Μεσοζωικούς και Παλαιοζωικούς σχηματισμούς. Οι φυσικοχημικές παράμετροι που μελετήθηκαν με το βάθος περιλαμβάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και την ολική σκληρότητα του νερού. Επίσης, αναλύθηκαν οι συγκεντρώσεις βασικών ιόντων όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, το νάτριο, τα νιτρικά, τα θειικά, τα χλωριούχα και τα όξινα ανθρακικά ιόντα. Η έρευνα αποκάλυψε μεταβολές με το βάθος στις περισσότερες υδροχημικές παραμέτρους και μια σαφή συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Τα συμπεράσματα αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις και έγιναν προτάσεις για τη βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής.

Λέξεις κλειδιά: υδροχημικές παράμετροι, υδροφορέας, ρύπανση, περιεκτικότητα ιόντων, γεώτρηση, διακύμανση με το βάθος, ποιότητα υπόγειου νερού

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to evaluate the hydrochemical conditions and the variation in groundwater quality with depth in the Liti area of the Municipality of Oreokastro, within the Municipal Unit of Mygdonia. The research focuses on studying the hydrochemical parameters and the major ions present in the groundwater of the area. The rapid residential and population growth in recent years has increased the demand for water resources, making such studies necessary. This work analyzes the general characteristics of the area, including geographical, climatic, and social aspects, as well as its geological and hydrogeological features, with an emphasis on their relationship to the area's aquifers. Geologically, the area belongs to the Peri-Rhodope zone, with rocks dating from the Permo-Triassic and Jurassic periods. The hydrogeological analysis reveals a variety of aquifers, including granular aquifers in Neogene and Quaternary formations, karstic aquifers in carbonate rocks, and fractured rock aquifers in Mesozoic and Paleozoic formations. The physicochemical parameters studied with depth include electrical conductivity, pH, temperature, dissolved oxygen, and total water hardness. Additionally, the concentrations of key ions such as calcium, magnesium, potassium, sodium, nitrates, sulfates, chlorides, and bicarbonate ions were analyzed. The research revealed variations with depth in most hydrochemical parameters and a clear correlation with the area's characteristics. The conclusions of this analysis were used to assess the water's suitability for various uses and to propose recommendations for the optimal management of the area's water resources.

Keywords: Hydrochemical parameters, Aquifer, Pollution, Ion concentration, Borehole, Variations with depth, Groundwater quality

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί την κατακλείδα των προπτυχιακών μου χρόνων φοίτησης. Επέλεξα αυτό το θέμα καθώς έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο της Υδρογεωλογίας και συγκεκριμένα της Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας και της Ποιότητας του υπόγειου νερού , με το οποίο θα ήθελα να ασχοληθώ και στο μέλλον. Θεωρώ τον συγκεκριμένο κλάδο ιδιαίτερης αξίας για την εποχή μας, καθώς η διαχείριση και η προστασία των αποθεμάτων υπόγειου νερού ,αποτελεί και θα αποτελέσει ακόμα περισσότερο στο μέλλον, κρίσιμο ζήτημα για τη σύγχρονη κοινωνία όπου το καθαρό και κατάλληλο νερό απειλείται .

Η περίοδος συγγραφής αυτής της εργασίας αποτέλεσε μία ενδιαφέρουσα και ιδιαίτερα επιμορφωτική διαδικασία από την οποία απέκτησα περαιτέρω εξοικείωση με το αντικείμενο και την επιστήμη της Υδρογεωλογίας γενικότερα. Ωστόσο, πρόκληση αποτέλεσε η κατάλληλη συγγραφή της σύμφωνα με τα πρότυπα της ακαδημαϊκής κοινότητας , που όμως αποδείχτηκε εξίσου διδακτική.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη , καθηγητή Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για τις πολύτιμες γνώσεις και δεξιότητες που μου μετέδωσε τόσο μέσω των μαθημάτων του κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου , όσο και μέσω της συνεργασίας μας για την συγγραφή αυτής της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Νεραντζή Καζάκη, Επίκουρο Καθηγητή Υδρογεωλογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στο Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, για την εμπιστοσύνη του και την παραχώρηση των δεδομένων, αλλά και για την στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας και τη διεξαγωγή των υπαίθριων μετρήσεων. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. για τις προσπάθειες που κατέβαλλαν να μου μεταδώσουν τις γνώσεις αλλά και την αγάπη τους για το σπουδαίο αντικείμενό μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου , τους γονείς μου και τον σύζυγό μου , για την διαρκή στήριξη τους , τόσο συναισθηματικά όσο και οικονομικά, κατά τη διάρκεια όλων των ετών της φοίτησής, αλλά και για την αμέριστη συμπαράσταση τους την περίοδο υλοποίησης αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία έχει τίτλο «*Υδροχημικές συνθήκες του υπόγειου νερού στην περιοχή Λητής του Δήμου Ωραιοκάστρου*» και ανατέθηκε από το Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.

Η περιοχή έρευνας αφορά τον οικισμό Λητή του Δήμου Ωραιοκάστρου που ανήκει στην Δημοτική Ενότητα Μυγδονίας. Η περιοχή επιλέχθηκε λόγω της υποβαθμισμένης ποιοτικής κατάστασης του υπόγειου νερού της τα τελευταία χρόνια και της έντονης οικιστικής και γεωργικής της ανάπτυξης.

Τα δεδομένα και ορισμένοι πίνακες και σχήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέρχονται από το ερευνητικό έργο με τίτλο: "Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση" με επιστημονικά υπεύθυνο τον κ. Καζάκη Νεραντζή Επίκουρο Καθηγητή Υδρογεωλογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, που εκπονήθηκε εντός του 2023 και ολοκληρώθηκε το 2024.

Επιβλέπων καθηγητής της εργασίας ήταν ο κ. Κωνσταντίνος Βουδούρης, καθηγητής Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και επικουρικά επέβλεπε ο κ. Καζάκης Νεραντζής, Επίκουρος Καθηγητής Υδρογεωλογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Τα κύρια κεφάλαια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι τα εξής:

1. **Περιοχή Έρευνας:** Παρουσιάζει ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως η γεωγραφική θέση, η γεωμορφολογία, οι χρήσεις γης, και η δημογραφία. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην ιστορική ανάπτυξη της περιοχής και στην επίδραση της οικιστικής ανάπτυξης στην ανάγκη για υδάτινους πόρους.
2. **Γεωλογία και Τεκτονική:** Επικεντρώνεται στη γεωλογία της περιοχής, περιγράφοντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις τεκτονικές δομές που της επηρεάζουν. Αναλύονται οι τύποι των πετρωμάτων και περιγράφονται οι φάσεις μεταμόρφωσης που επηρέασαν την περιοχή, καθώς και η σχέση τους με την υδροφορία.

3. **Μετεωρολογικά - Κλιματολογικά στοιχεία:** Εξετάζει τις κλιματολογικές και μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, παρέχοντας δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς και επισημαίνοντας της σύνδεσής τους με την υδρολογία της περιοχής.
4. **Υδρογεωλογία :** Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα υπόγεια υδατικά συστήματα της περιοχής και οι λεκάνες απορροής τους και παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι υδροφορέων (κοκκώδεις, καρστικοί, διερρηγμένοι πετρωμάτων) και οι υδατικοί πόροι της περιοχής, με έμφαση στη διαχείριση και την ποιότητά τους.
5. **Υδροχημικές Αναλύσεις – Συνθήκες Υπόγειου Νερού:** Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων από τις γεωτρήσεις της περιοχής και αναλύονται οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού και η κατανομή των κυρίων ιόντων. Οι αναλύσεις αποκαλύπτουν τις μεταβολές στις παραμέτρους αυτές με το βάθος και τη συσχέτισή τους με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά.
6. **Συμπεράσματα:** Το τελικό κεφάλαιο συνοψίζει τα ευρήματα της εργασίας, αξιολογώντας την ποιότητα του υπόγειου νερού και τη διαφοροποίησή της με το βάθος. Προτείνονται επίσης μέτρα για τη βέλτιστη διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων της περιοχής.

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι ακόλουθες:

- Συλλογή Ελληνικής και ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας σχετικής με την ποιότητα των υπόγειων νερών
- Συλλογή δημοσιεύσεων και εκθέσεων σχετικά με υδρογεωλογικές συνθήκες και παραμέτρους της περιοχής της Δ.Ε. Μυγδονίας
- Εργασίες πεδίου για τη μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων των γεωτρήσεων της περιοχής
- Συγκέντρωση αεροφωτογραφιών της περιοχής με τη θέση των γεωτρήσεων με χρήση του προγράμματος Google Earth Pro
- Επεξεργασία των δειγματοληπτικών δεδομένων από τις γεωτρήσεις
- Κατασκευή διαγραμμάτων των παραμέτρων με το βάθος

- Επεξήγηση των διαγραμμάτων και διεξαγωγή συμπερασμάτων από τη συσχέτιση τους με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής
- Συμβουλευτικές συναντήσεις με τους επιβλέποντες καθηγητές και συγγραφή της εργασίας.

Οι κυριότερες συντομογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν στη Διατριβή αυτή είναι οι εξής:

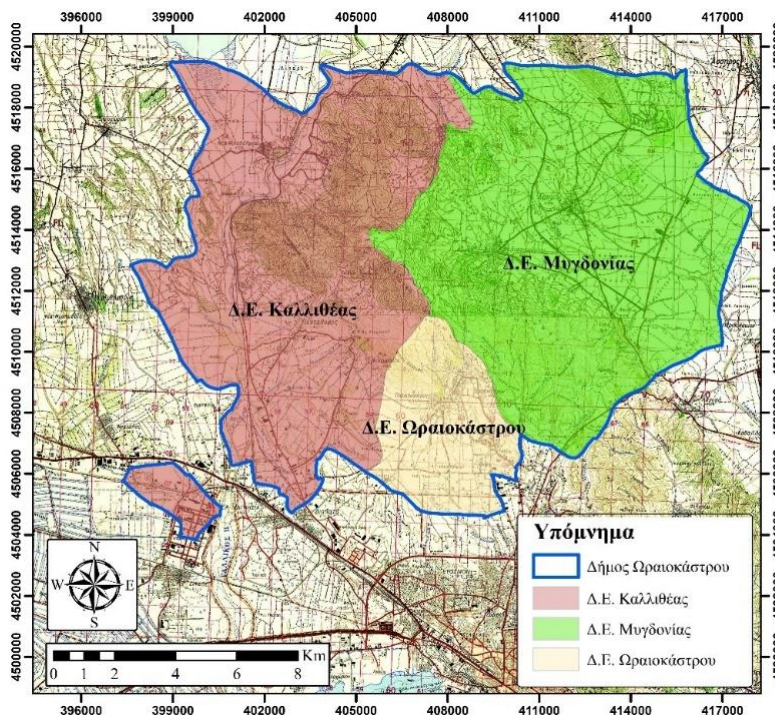
- Λ.ΑΠ. = Λεκάνη Απορροής
- Ι.Γ.Μ.Ε = Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
- Δ.Ε. = Δημοτική Ενότητα
- Β , Ν , Α , Δ = Βορράς , Νότος , Ανατολή, Δύση
- Σ.Μ.Π.Ε. = Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
- Μ.Σ. = Μετεωρολογικός σταθμός
- Ε.Μ.Υ. = Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
- Υ.Δ. = Υδατικό Διαμέρισμα
- Υ.Υ.Σ. = Υπόγειο Υδατικό Σύστημα
- Υ.Υ.Υ. = Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα
- ΥΠΕΚΑ = Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

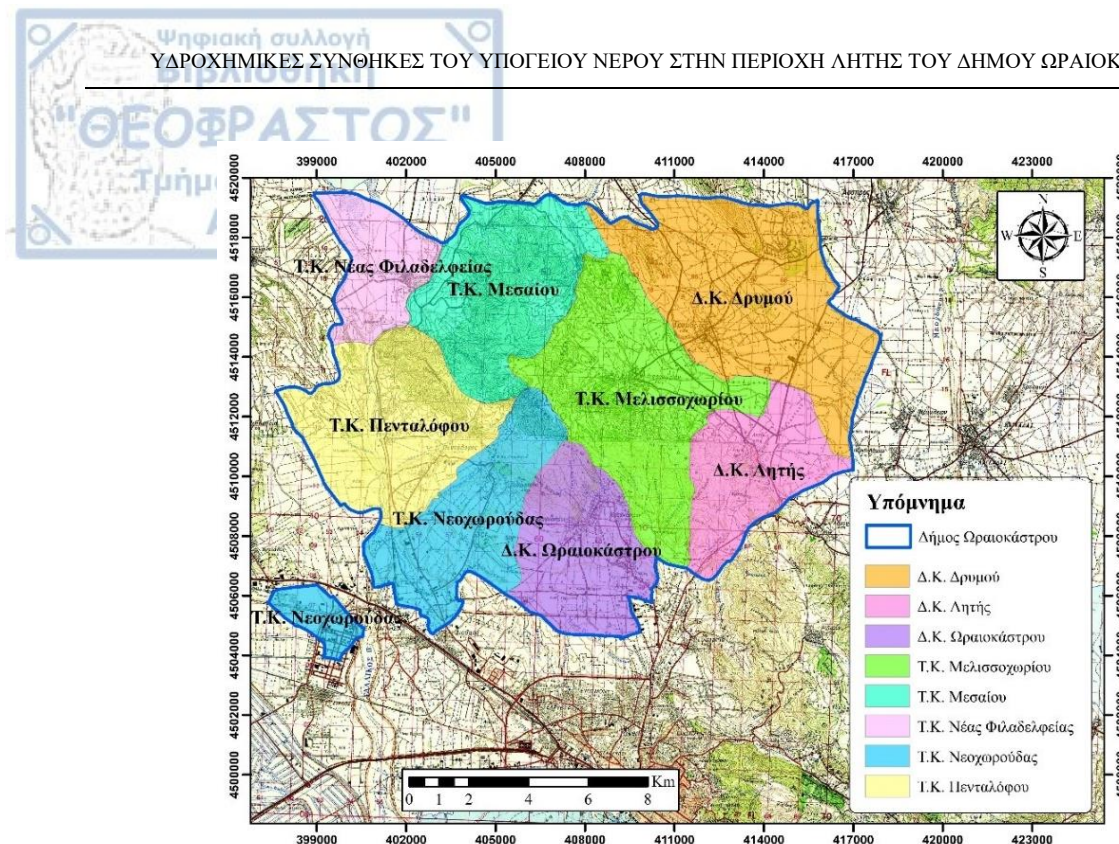
Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τον Δήμο Ωραιοκάστρου που αποτελεί δήμο της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και προέκυψε από τη συνένωση των παλαιών δήμων Ωραιοκάστρου, Μυγδονίας και Καλλιθέας (Σχήμα 1.1). Η παρούσα έρευνα εστιάζεται στην Δημοτική Ενότητα Μυγδονίας και συγκεκριμένα την περιοχή της Λητής.

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Ο δήμος Ωραιοκάστρου περιλαμβάνει τις δημοτικές κοινότητες του Δρυμού, Λητής και Ωραιοκάστρου και τις τοπικές κοινότητες Μελισσοχωρίου, Μεσαίου, Νεοχωρούδας, Νέας Φιλαδέλφειας και Πενταλόφου (Σχήμα 1.2). Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν ίχνη προϊστορικού οικισμού, με αρχαιολογικά ευρήματα όπως το Νεκροταφείο της εποχής του Σιδήρου στην περιοχή Παλαιοκάστρου. Στα νεότερα χρόνια την περίοδο 1922-1930 εγκαταστάθηκαν στην περιοχή Έλληνες πρόσφυγες από τον Πόντο και τον Καύκασο.



Σχήμα 1.1: Χάρτης του Δήμου Ωραιοκάστρου και τα όρια των 3 δημοτικών ενοτήτων (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024)

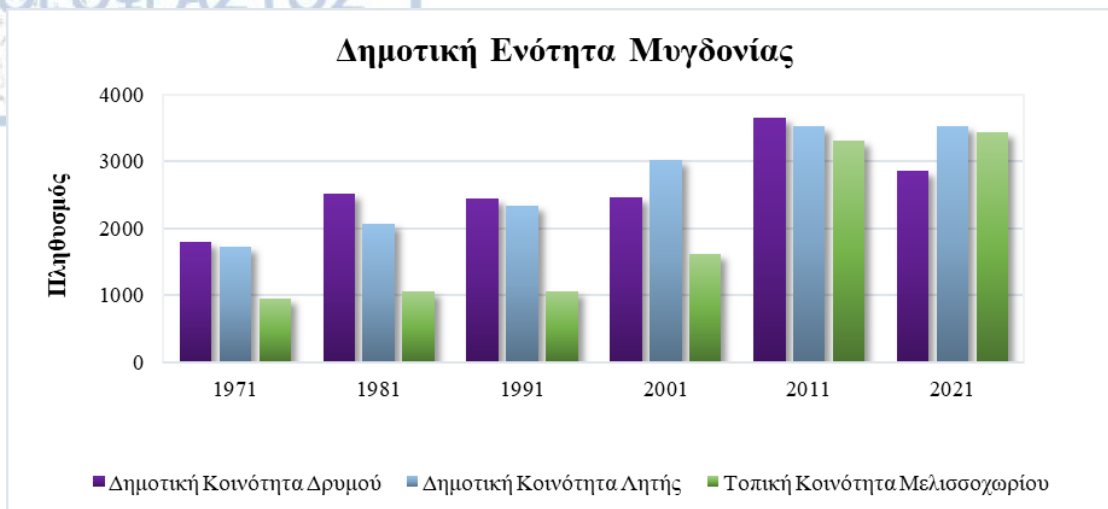


Σχήμα 1.2: Χάρτης του Δήμου Ωραιοκάστρου και όρια των δημοτικών και τοπικών κοινοτήτων του. (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

1.2 Γεωγραφικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά

Το Ωραιόκαστρο βρίσκεται σε απόσταση 12 χιλιομέτρων, βορειοδυτικά από την πόλη της Θεσσαλονίκης, σε ένα μέσο υψόμετρο 250 m. Η περιοχή συνάντησε ραγδαία πληθυσμιακή αύξηση και έντονη οικιστική ανάπτυξη τα τελευταία 30 χρόνια. Ενδεικτικά, στην απογραφή του 2001 (25.188 κάτοικοι) ο πληθυσμός φάνηκε ότι υπερδιπλασιάστηκε σε μόλις 10 χρόνια. Στην περιοχή Μελισσοχωρίου ειδικά, την περίοδο 2001-2011 σημειώθηκε η μεγαλύτερη αύξηση του πληθυσμού (Σχήμα 1.3).

Σήμερα, ο πληθυσμός του Δήμου Ωραιοκάστρου ξεπερνά τους 40.000 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021 (40.114 κάτοικοι). Αυτή η αυξητική τάση του πληθυσμού τα τελευταία χρόνια οδήγησε σε σημαντική αύξηση των υδρευτικών αναγκών της περιοχής. Αντίστοιχα, επεκτείνεται και η οικιστική έκταση του δήμου που σήμερα είναι περίπου 220 km², ενώ με το Νέο Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο εντάχθηκε μία έκταση 4.217 στρεμμάτων.



Σχήμα 1.3: Διακύμανση του πληθυσμού των κοινοτήτων Δρυμού , Λητής , Μελισσοχωρίου της Δ.Ε. Μυγδονίας (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

1.3 Γεωμορφολογία

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι σχετικά ομοιόμορφο και ήπιο. Οι περισσότερες οικιστικές περιοχές έχουν υψόμετρο από 0 έως 200 μέτρα ύψος, ενώ ανατολικά του Δήμου Ωραιοκάστρου που είναι η Δημοτική Ενότητα Μυγδονίας το υψόμετρο φθάνει έως και τα 500 μέτρα. Νότια του δήμου Ωραιοκάστρου το υψόμετρο κυμαίνεται από 110-200 m, ενώ βόρεια από 250-300 m έως 400-450 m στο βορειότερο τμήμα. Η πεδινή ζώνη της περιοχής αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης της λίμνης Κορώνειας. Το ανάγλυφο επηρεάζει άμεσα και σημαντικά το υδρολογικό ισοζύγιο και τις στερεοπαροχές της λεκάνης.

1.4 Χρήσεις γης

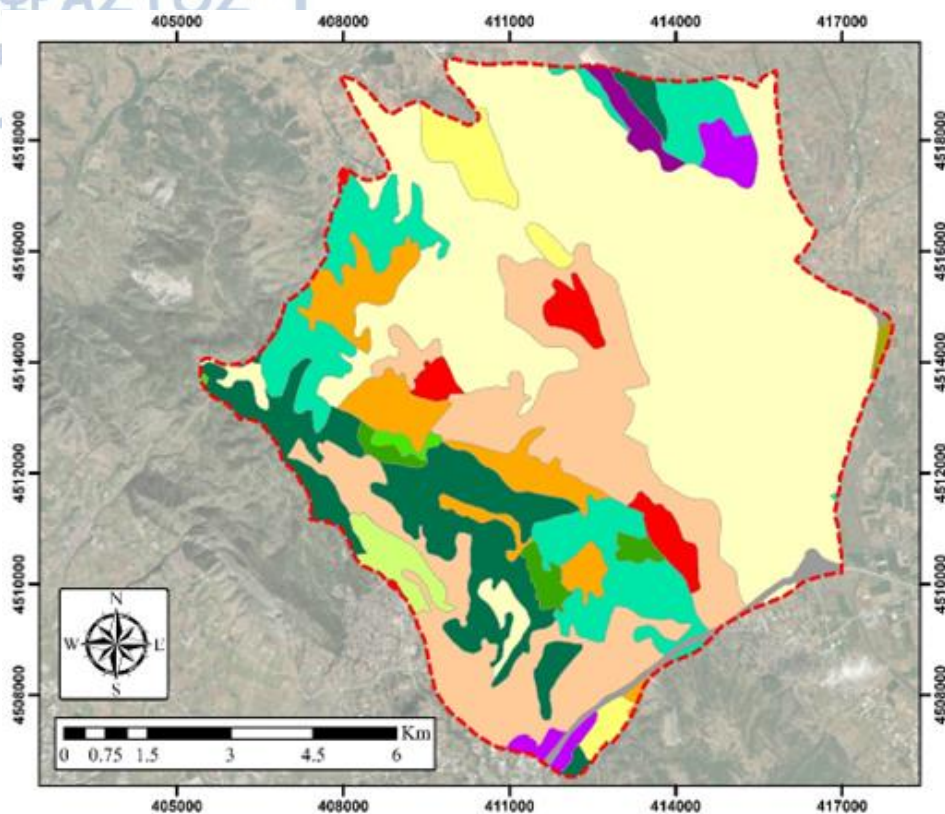
Σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018 που είναι η σειρά δεδομένων κάλυψης γης COPERNICUS της ΕΕ, στην περιοχή έρευνας οι εκτάσεις είναι μη αρδευόμενες κατά 44,5 %. Τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας αποτελούν το 18,7%, ενώ ακολουθούν οι φυσικοί βοσκότοποι με 10,1% και η σκληροφυλλική βλάστηση με ποσοστό 9,6%. Στην περιοχή υπάρχουν επίσης δάση κωνοφόρων, θαμνώδεις εκτάσεις και λιβάδια. Ο αστικός ιστός είναι περιορισμένος και όχι συνεχής και ενιαίος. Το μικρότερο ποσοστό της έκτασης της περιοχής έρευνας καλύπτεται από βιομηχανίες-βιοτεχνίες, χώρους εξόρυξης (λατομεία, ορυχεία κ.λπ) και δάση πλατύφυλλων. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις συναντώνται στις ενότητες Καλλιθέας

και Μυγδονίας ενώ οι βιομηχανίες βρίσκονται κυρίως νότια και βορειοανατολικά του Δήμου Ωραιοκάστρου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διάφορες χρήσεις Γης και η έκταση που καλύπτουν στην περιοχή έρευνας (**Πίνακας 1.1**), ενώ στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται η κατανομή των χρήσεων γης στον χώρο (**Σχήμα 1.4**).

Πίνακας 1.1: Κατάλογος των χρήσεων Γης στην Δ.Ε. Μυγδονίας και εκτάσεις που καλύπτουν (Corine Land Coner 2018).

A/A	Τύπος	Έκταση (km ²)	Έκταση (%)
1	Ασυνεχής αστικός ιστός	2,24	2,3
2	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	1,48	1,5
3	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα	0,92	0,9
4	Χώροι εξόρυξης	0,81	0,8
5	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	43,96	44,5
6	Μόνιμα αρδευόμενη γη	0,19	0,2
7	Λιβάδια	2,65	2,7
8	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	18,44	18,7
9	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	5,71	5,8
10	Δάσος πλατύφυλλων	0,33	0,3
11	Δάσος κωνοφόρων	1,24	1,3
12	Φυσικοί βοσκότοποι	10,02	10,1
13	Σκληροφυλλική βλάστηση	9,54	9,6
14	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	1,32	1,3
	<u>Σύνολο</u>	98,83	100



Υπόμνημα

Περιοχή Έρευνας

Χρήσεις γης

- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος κωνοφόρων
- Δάσος πλατύφυλλων
- Λιβάδια
- Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
- Μη αρδευόμενη αρόσμη γη
- Μόνιμα αρδευόμενη γη
- Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
- Φυσικοί βιοσκότοποι
- Χώροι εξόρυξης ορυκτών

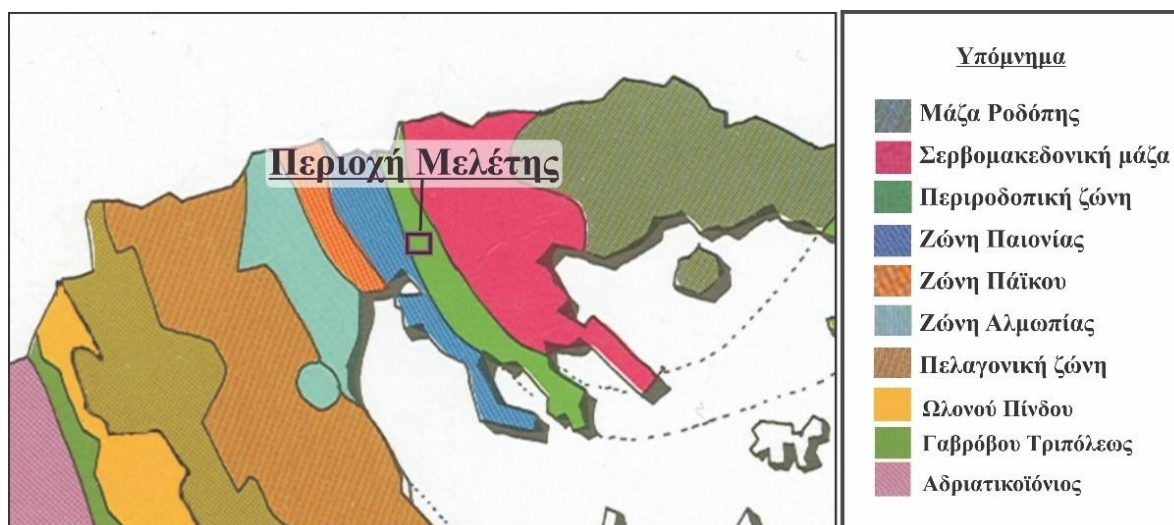
Σχήμα 1.4: Χάρτης χρήσεων Γης στην περιοχή έρευνας. (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία της Γεωλογίας και της Τεκτονικής που επικρατούν στην περιοχή έρευνας και προέκυψαν από τις γεωλογικές χαρτογραφήσεις και τις εργασίες υπαίθρου στην ευρύτερη περιοχή της Δ.Ε. Μυγδονίας.

2.1 Γεωλογικά στοιχεία

Γενικά, η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει στην Περιοδοπική γεωτεκτονική ζώνη, με πετρώματα που εντάσσονται στο πιο εσωτερικό τμήμα του Ελληνικού ορογενούς και περιβάλλουν την Ελληνική ενδοχώρα με γενική διάταξη ΒΔ-ΝΑ. Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) τα Περιοδοπικά και Ιουρασικά μεταζήματα της Περιοδοπικής ζώνης, είναι τοποθετημένα με επίκλυση πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες της μάζας Ροδόπης και Σερβομακεδονικής, ενώ πάνω στα πετρώματα της Περιοδοπικής τοποθετούνται τεκτονικά τεμάχια της Σερβομακεδονικής μάζας με εφίπλευση (**Σχήμα 2.1** Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.).



Σχήμα 2.1 : Γεωλογικός χάρτης (απλοποιημένος) της ευρύτερης περιοχής έρευνας, με τις γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού ορογενούς. (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

Η Περιοδοπική ζώνη αποτελείται από Α προς Δ από τρεις ενότητες : την ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομόντα και την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη. Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει πετρώματα από την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη και την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομόντα.

Η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη αποτελείται από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα στρώματα από :

- μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηρητικά ανθρακικά ιζήματα
- ιζήματα βαθιάς θάλασσας, μαύρους κερατόλιθους, κόκκινους αργιλικούς σχιστόλιθους, μαύρους γραφιτικούς φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακούς σχιστόλιθους. Παρεμβάλλονται οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα αλλά και πετρώματα της «μαγματικής σειράς Χορτιάτη» που αποτελούν μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης , με όξινη μαγματική προέλευση (χαλαζιοδιοριτικά) .

Η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα αποτελείται από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα στρώματα από :

- μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με παρεμβολές γραφιτικών φυλλιτών και σερικιτικών σχιστολίθων , Ηλικίας Μέσου-Άνω Τριαδικού
- τουρβιδικές εναλλαγές μετα-ιζημάτων (μετα-ψαμμίτες, φυλλίτες , ασβεστολιθικές ενστρώσεις κ.λπ.) με μεγάλους ολισθόλιθους Τριαδικών μαρμάρων, σχηματισμός γνωστός με την ονομασία «Φλύσξης της Σβούλας», ηλικίας Κάτω-Μέσου Ιουρασικού.

Στα ανατολικά η Περιοδοπική είναι σε τεκτονική επαφή με την Σερβομακεδονική μάζα που διαιρείται σε δύο ενότητες: την Ενότητα Βερτίσκου (ανώτερη τεκτονοστρωματογραφικά και νεότερη) και την ενότητα Κερδυλλίων (κατώτερη τεκτονοστρωματογραφικά και παλαιότερη). Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται εξ ολοκλήρου από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα, ηλικίας Προκαμβρίου . Στην περιοχή έρευνας εντοπίζονται πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου και συγκεκριμένα διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι .

2.1.1 Σχηματισμοί

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διακρίθηκαν από την γεωλογική χαρτογράφηση και αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας αποτυπώνονται στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 2.2) , είναι από τους νεότερους προς τους παλαιότερους οι ακόλουθοι :

- Αλλουβιακές αποθέσεις, Ολόκαινο.
- Ελούβια: προϊόντα αποσάθρωσης και λατύπες από σχιστολιθικά πετρώματα, Ολόκαινο.
- Προσχώσεις κοιλάδων: άργιλοι, άμμοι, χαλίκια , Ολόκαινο.
- Κατώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων: αμμούχες άργιλοι, άμμοι ή χαλίκια , Ολόκαινο.
- Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων: χαλίκια ή χαλίκια και άμμος κάτω από αργιλώδες κάλυμμα, Πλειστόκαινο.
- Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων: χαλίκια και άμμοι με ογκόλιθους από μεταμορφωμένα πετρώματα, Πλειστόκαινο.
- Ερυθρές άργιλοι με συγκρίματα ασβεστολιθικά: με πολύ μαρμαρυγία, εναλλάσσονται με πολύ συνεκτικούς, ασβεστιτικούς πάγκους συγκριμάτων και χαλίκια σε ορίζοντες, Πλειστόκαινο.
- Πλευρικά κορήματα: από συνεκτικά ασβεστολιθικά πετρώματα, με ερυθρό ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό ,Τεταρτογενές αδιαίρετο.
- Ριπίδια προσχώσεων, Τεταρτογενές αδιαίρετο.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις ιζημάτων, εντοπίζονται στο πεδινό τμήμα της περιοχής και παρουσιάζουν μεγάλη ανισοτροπία λιθολογικά.

Νεογενές

- Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά: Εύθρυπτοι έως πολύ συμπαγείς ψαμμίτες και μικροκοκαλοπαγή τοπικά με διασταυρούμενη στρώση, μαργαϊκοί ορίζοντες κατά θέσεις , Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο
- Σειρά ερυθρών αργίλων: Ιλυώδεις άργιλοι, ερυθρές έως κεραμόχρωμες, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα , Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο.

Ενότητα Ασπρης Βρύσης - Χορτιάτη

- Αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι: πρασινωποί, λεπτόκοκκοι και λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες και σκούροι κόκκινοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, με ενστρώσεις οριζόντων μαύρων, λεπτοστρωματώδων πυριτόλιθων και φακούς σερικιτωμένου, χλωριτωμένου δολερίτη.

Μεταμόρφωση σε: χλωριτικό, επιδοτιτικό χαλαζίτη, χαλαζιακό-σερικιτικό σχιστόλιθο, μετα-αρκόζες, χλωριτικούς σχιστόλιθους, καστανοπράσινους φυλλίτες, μαύρα στρώματα κερατόλιθου και ουραλιτιωμένα, χλωριτιωμένα βασικά πυριγενή πετρώματα,

Ηλικία: Κάτω – Μέσο Ιουρασικό.

- Κρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι: γαλαζωποί ή λευκοί, συμπαγείς ή παχυστρωματώδεις, μεταβαίνουν προς ΝΑ σε μάρμαρα και τέφρους, λεπτοστρωματώδεις και κίτρινους, πλατυκονδυλώδεις ασβεστόλιθους, Μέσο – Άνω Τριαδικό.

Ενότητα Μελισσοχωρίου -Χολομώντα

Σειρά Σβούλας:

- Ασβεστιτικός φλύσχης: ασβεστόλιθοι ή ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι και καστανότεφροι ασβεστιτικοί σιδηρούχοι ψαμμίτες, σε εναλλαγές με κιτρινωπούς έως μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους. Συχνά, παρεμβάλλονται ολισθόλιθοι από ανοιχτόχρωμο τεφρό, στρωματώδη ή συμπαγή ασβεστόλιθο, λατυποπαγή ασβεστόλιθο ή και από θραύσματα ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους. Προς τα ΝΑ η σειρά μεταβαίνει με αυξανόμενη μεταμόρφωση σε: μαύρους φυλλίτες και ασβεστιτικούς χαλαζίτες

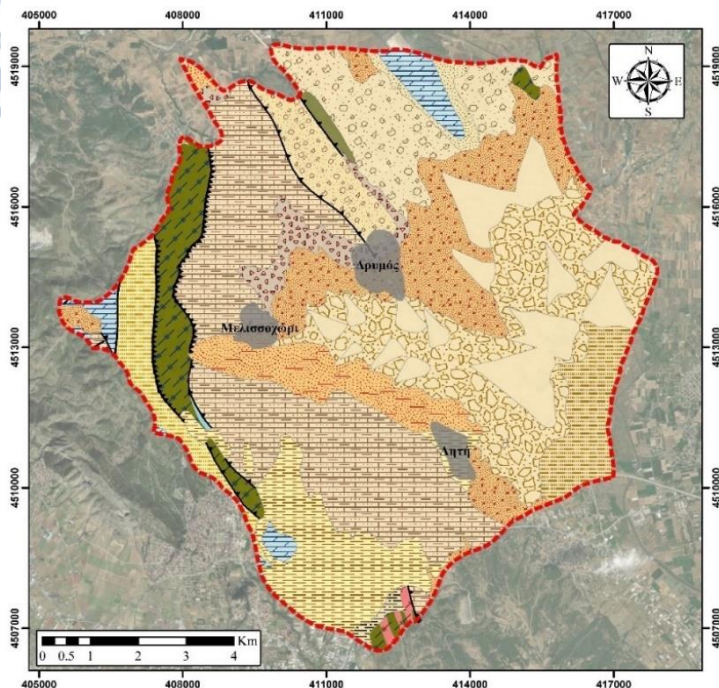
Ηλικία: Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό.

- Φυλλίτες: μαύροι με διάσπαρτες παρεμβολές ασβεστιτικών ψαμμιτών ή ψαμμιτικών ασβεστολίθων, Τριαδικό-Μέσο Ιουρασικό.

- Κροκαλοπαγή: τεφρά έως κεραμόχρωμα, χονδρόκοκκα έως λεπτόκοκκα με στρώματα πάχους έως 1 μέτρο , σε εναλλαγές με ερυθρούς-καστανούς μεσόκοκκους έως λεπτόκοκκους ψαμμίτες και ερυθρούς αργιλικούς σχιστόλιθους. Οι κροκάλες αποτελούνται κυρίως από χαλαζίτη, χαλαζία, γραουβάκη, και σκοτεινότεφρο ασβεστόλιθο, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, οφιόλιθους και σχιστώδη ρυόλιθο του Κάτω Τριαδικού , Ηλικία: Άνω Ιουρασικό.
- Γάββρος: χονδρόκοκος εντελώς ουραλιτιωμένος και σωσσυριτιωμένος (περιέχει διοψιδικό πυρόξενο εξαλλοιωμένο σε βιοτίτη και ακτινόλιθο, κεροστίλβη, πλαγιόκλαστα, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά) , όχι ορατή σχιστότητα. Μικρότερης σημασίας είναι οι λεπτόκοκκοι δολερίτες και ο λατυποπαγής γάββρος, Ηλικία: Άνω Ιουρασικό.

Παλαιοζωικό

- Διμαρμαρυγικοί γενεύσιοι: Σκοτεινοί , τεφροί ή καστανοί, λεπτό- έως μεσό-κοκκοι, που μεταβαίνουν προς οφθαλμογενεύσιους (πλαγιόκλαστα με An 25-30%, χαλαζία, μοσχοβίτη, βιοτίτη, περθιτικούς καλιούχους αστρίους, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά). Συχνά εντοπίζονται πηγματοειδείς φλέβες και παρεμβαλλόμενες κοίτες.
- Πλαγιόκλαστικός – μικροκλινικός γενεύσιος: βλαστογρανιτικός (με πλαγιόκλαστο, περθιτικό καλιούχο άστριο, μικροκλινή, μοσχοβίτη και επουσιώδη ορυκτά).



Υπόμνημα

— Ρήγμα

→ Εφίπνευση

■ Κομποπόλεις

⊞ Περιοχή Έρευνας

Γεωλογικοί Σχηματισμοί

01: Ολόκαινο - Αλλουβιακές αποθέσεις

02: Ολόκαινο - Ελουμενικές μανδύες

03: Ολόκαινο - Προσχωσεις κούτσουρων

04: Ολόκαινο - Κατώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων

05: Πλειστόκαινο - Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων

06: Πλειστόκαινο - Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων

07: Πλειστόκαινο - Ερυθρές άργιλοι με ασβεστολιθικά συγκρίματα

08: Τεταρτογενές αδιαίρετο - Πλευρικά κορήματα

09: Τεταρτογενές αδιαίρετο - Ριπίδια προσχωσεων

10: Α.-Κ.Πλειόκαινο - Ψαμμιτομαργακή σειρά

11: Α. Μειόκαινο-Κ. Πλειόκαινο - Σειρά ερυθρών αργιλών

12: Κ.-Μ. Ιουραϊκό - Αμμούχοι αργιλοί σχιστόλιθοι

13: Α. Ιουραϊκό - Κροκαλοπαγή

14: Α. Ιουραϊκό - Γάββρος

15: Τριαδικό-Μ. Ιουραϊκό - Ασβεστολιθικός φλώσης

16: Τριαδικό-Μ. Ιουραϊκό - Φυλλίτες

17: Μ.-Α. Τριαδικό - Κρυσταλλικοί ασβεστολιθοί

18: Παλαιοζωϊκό - Διμαρμαρυγικοί γενέσιοι

19: Παλαιοζωϊκό - Πλαγκιοκλαστικός μικροκλινικός γενέσιος

Σχήμα 2.2: Γεωλογικός χάρτης (λεπτομερής), με τους σχηματισμούς της περιοχής έρευνας σύμφωνα με το ΓΓΜΕ. (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

2.2 Τεκτονική και μεταμόρφωση

Στην Περιοδοποική ζώνη υπήρξαν 2 κύριες φάσεις μεταμόρφωσης και παραμόρφωσης. Η πρώτη σημαντική φάση τοποθετείται στο Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό και αντιστοιχεί σε πρασινοσχιστολιθικές συνθήκες μεταμόρφωσης (Kauffman et al., 1976, Kockel et al., 1977). Αυτή η παραμορφωτική φάση δημιούργησε πτυχές σχεδόν ισοκλινείς αλλά και την κύρια σχιστότητα των πετρωμάτων της Περιοδοποικής (Tranos et al., 1999). Μία δεύτερη φάση μεταμόρφωσης/ παραμόρφωσης έλαβε χώρα στο Ανώτερο Κρητιδικό-Κάτω Τριτογενές σε συνθήκες χαμηλότερης μεταμόρφωσης και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ασύμμετρων πτυχών με φορά προς ΝΔ και συνμεταμορφικών ανάστροφων ρηγμάτων (Mercier, 1966, Vergely, 1984, Tranos et al., 1993, Burg et al., 1996).

Κατά τις Υστερο-Αλπικές διεργασίες σύγκρουσης της Απούλιας πλάκας με την Ευρασιατική, την περίοδο Άνω Ολιγοκαίνου-Κάτω Μειοκαίνου, έλαβε χώρα ένα πεδίο τάσεων τεκτονικής μεταφοράς της συμπίεσης (transpressional) που εντάσσεται σε ένα γενικό πλαίσιο συμπίεσης διεύθυνσης B-N (Tranos et al., 1999). Τα μετα-Αλπικά χρόνια στην Περιοδοποική ζώνη υπήρξαν δύο εφελκυστικά πεδία τάσεων, ένα με διεύθυνση εφελκυσμού ΒΑ-ΝΔ κατά το Άνω Μειόκαινο-Πλειόκαινο και ένα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ από το Τεταρτογενές μέχρι σήμερα (Mountrakis et al., 2006). Αυτός ο εφελκυσμός δημιούργησε και τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές λεκάνες με ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ διεύθυνση αντίστοιχα.

Στην περιοχή έρευνας αναπτύσσεται η υδρολογική λεκάνη της Μυγδονίας, που αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα με προσανατολισμό Α-Δ, που οριοθετείται από τα όρη Καμήλας, Βερτίσκου, Χολομώντα και Χορτιάτη και από τα όρη των Κερδυλλίων και του Στρατονικίου. Η δημιουργία της τοποθετείται στο κατώτερο Πλειστόκαινο, μετά τη διάρρηξη και βύθιση ενός τμήματος της τότε Προμυγδονίας λεκάνης που σχηματίστηκε στο Παλαιογενές.

Όσον αφορά την Νεοτεκτονική της περιοχής, στη λεκάνη της Μυγδονίας εντοπίζονται 2 κύρια συστήματα ρηγμάτων, ένα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και ένα με ΝΔ-ΒΑ διεύθυνση (Chatzipetros-Pavlidis, 1988). Αυτά τα ενεργά κανονικά ρήγματα, εντοπίζονται περιμετρικά αλλά και εντός της λεκάνης και αυξάνουν σε θέσεις την υδραυλική αγωγιμότητα, ειδικά στους βραχώδεις σχηματισμούς που το πρωτογενές πορώδες είναι

αμελητέο (Ψιλοβίκος, 1977). Σύμφωνα με τον Mercier , τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης είναι αριστερόστροφα και οδήγησαν σε οριζόντιες μετατοπίσεις, ενώ τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης είναι κανονικά και προκάλεσαν την καταβύθιση της λεκάνης και την δημιουργία θερμών πηγών. Στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται επίσης και ρήγματα Β-Ν διεύθυνσης.

Γενικά, στην περιοχή έρευνας συναντώνται τέσσερις τεκτονικές γραμμές (Ψιλοβίκος, 1977):

1. Η τεκτονική γραμμή Μελισσοχωρίου-Ζαγκλιβερίου
2. Η τεκτονική γραμμή Λαγκαδά-Απολλωνίας-Ολυμπιάδος
3. Η τεκτονική γραμμή Βόλβης-Βαμβακιάς-Ασπροβάλτας
4. Η τεκτονική γραμμή που διέρχεται από τη λίμνη Βόλβη και τα στενά της Ρεντίνας.

Οι υπολεκάνες Κορώνειας και Βόλβης χωρίζονται τεκτονικά από ένα τεκτονικό βύθισμα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης , που είναι ενεργό και δραστηριοποιείται μέχρι σήμερα , με τάσεις εφελκυσμού που προκαλούν μετατοπίσεις μερικών εκατοστών ανά έτος (Chatzipetros-Pavlidis 1998) . Οι τάσεις που επιδρούν στην περιοχή μέχρι και σήμερα , προκαλούν σεισμική δραστηριότητα, θερμομεταλλικές πηγές και γεωθερμικά πεδία.

2.3 Σύνοψη

Στο Νότιο και Δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, αναπτύσσεται μία ημιλοφώδης ζώνη που αποτελείται από μεγάλης ηλικίας κρυσταλλικά και μεταμορφωμένα πετρώματα ενώ επίσης εντοπίζονται κανονικά ρήγματα. Κυρίαρχοι σχηματισμοί είναι γνεύσιοι, χαλαζίτες και φυλλίτες. Το πεδινό τμήμα της περιοχής αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης της λίμνης Κορώνειας και διακατέχεται από νεότερους ιζηματογενείς σχηματισμούς. Στο κέντρο της λεκάνης εντοπίζονται σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις από άμμο , χαλίκια και άργιλο, ενώ πλευρικά της πεδιάδας επικρατούν κορήματα και νεογενείς σχηματισμοί. Τέλος, στο βόρειο τμήμα υπάρχει μία ανθρακική έξαρση από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, που εν τούτοις δεν αποτελεί συνέχεια της ημιλοφώδους ζώνης στα νότια.

3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Γενικά, το κλίμα της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται Μεσογειακό και περιλαμβάνει ήπιους χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια μικρής διάρκειας.

Ειδικά για την περιοχή Ωραιοκάστρου, οι χειμώνες είναι έντονοι και δυνατοί, ενώ το καλοκαίρι είναι ιδιαίτερα ξηρό με το ύψος βροχής τον ξηρότερο καλοκαιρινό μήνα να είναι μικρότερο από 30 mm. Παράλληλα, η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι πάνω από 22°C. (ΣΜΠΕ, 2010:130) . Ωστόσο, στην περιοχή δεν παρατηρείται συχνά ξηρασία λόγω ανομβρίας, καθώς τους καλοκαιρινούς μήνες λαβαίνουν χώρα αρκετές ραγδαίες βροχοπτώσεις . Τους χειμερινούς μήνες οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, με τις ψυχρότερες να σημειώνονται τον Ιανουάριο, ενώ λαβαίνουν χώρα και αρκετές βροχοπτώσεις.

Τέλος , στην περιοχή επικρατεί σχετικά υψηλή άπνοια , με τους ανέμους να πνέουν από ΒΔ με χαμηλή μέση ταχύτητα γύρω στα 2,3 km/h.

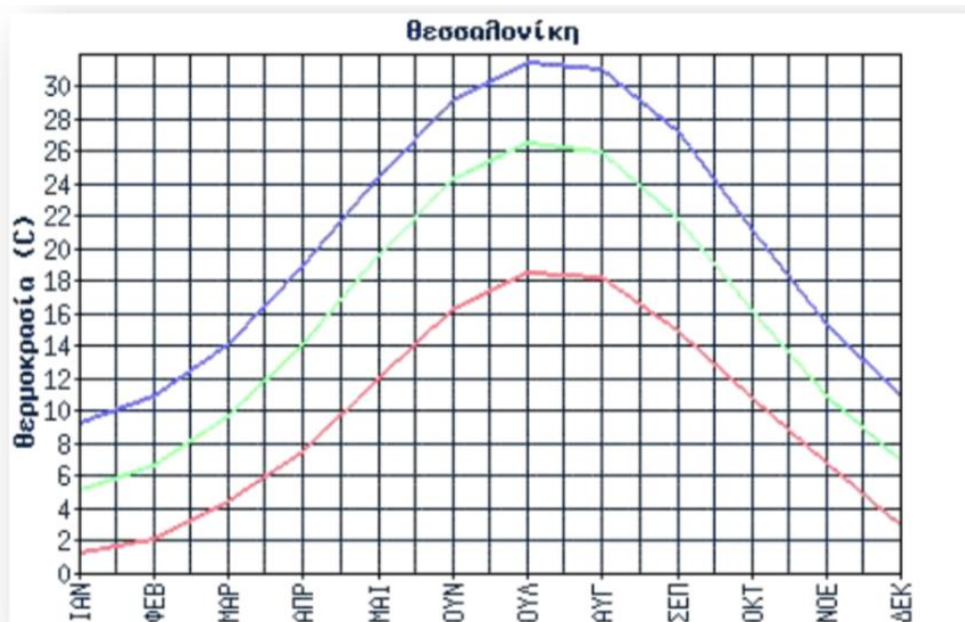
Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία που αφορούν τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση της ευρύτερης περιοχής έρευνας και προέρχονται από το Μετεωρολογικό Σταθμό Λουτρών Θέρμης (Πίνακας 3.1) .

Πίνακας 3.1 : Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας (από τον Μ.Σ. Λουτρών Θέρμης Ε.Μ.Υ.).

Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα	16,1 °C
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα	5,5 °C
Μέση μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα	32,2 °C
Μέση Ετήσια Βροχόπτωση	433 mm
Απόλυτα μέγιστη θερμοκρασία αέρα	45,0 °C
Απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία αέρα	- 12,0 °C
Βιοκλιματικός όροφος	Ημίξηρος με ψυχρούς χειμώνες

3.1 Θερμοκρασία

Παρακάτω, παρουσιάζονται στοιχεία της Ε.Μ.Υ. από τον μετεωρολογικό σταθμό Μίκρας, για την μέση, ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης (ευρύτερη περιοχή της Δ.Ε. Μυγδονίας) για την περίοδο ετών 1959-1997 (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 : Η διακύμανση της θερμοκρασίας στη Μίκρα Θεσσαλονίκης την περίοδο 1959-1997 (μπλε καμπύλη : μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, πράσινη καμπύλη : μέση μηνιαία θερμοκρασία, κόκκινη καμπύλη : ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία). (Πηγή: Ε.Μ.Υ.)

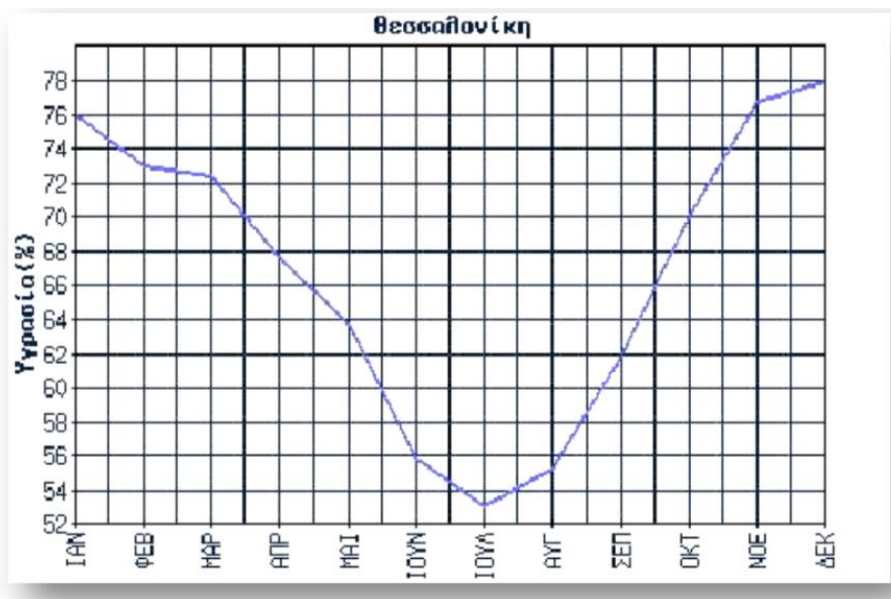
Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, η μέση ετήσια θερμοκρασία της ευρύτερης περιφέρειας Θεσσαλονίκης είναι 15,7°C, ενώ η μέση μηνιαία τον Ιανουάριο είναι 5,2 °C και τον Ιούλιο 26,6 °C. Τέλος, η μέση ελάχιστη θερμοκρασία σημειώνεται τον Ιανουάριο με 1,3°C, ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία σημειώνεται τον Ιούλιο με 31,5°C (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 : Η μέση μηνιαία , μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του έτους για την περίοδο 1959-1997 στον μετεωρολογικό σταθμό Μίκρας (Πηγή : Ε.Μ.Υ.).

ΜΗΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ (°C)	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ (°C)	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ (°C)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	5,2	9,3	1,3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	6,7	10,9	2,2
ΜΑΡΤΙΟΣ	9,7	14,2	4,5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	14,2	19,0	7,5
ΜΑΙΟΣ	19,6	24,5	12,1
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,4	29,2	16,3
ΙΟΥΛΙΟΣ	26,6	31,5	18,6
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26,0	31,1	18,3
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,8	27,2	14,9
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	16,2	21,2	10,8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11,0	15,4	6,8
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	6,9	11,0	3,0
ΕΤΗΣΙΟΣ Μ.Ο.	15,7	20,4	9,7

3.2 Υγρασία

Η παρουσία υδρατμών στον αέρα καλείται υγρασία. Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία για τη μέση μηνιαία υγρασία της ατμόσφαιρας στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 1959-1997 (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα της μέσης μηνιαίας υγρασίας στη Θεσσαλονίκη την περίοδο 1959-1997. (Ε.Μ.Υ.)

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Μ.Υ. από μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Μίκρας, η μέγιστη μέση μηνιαία υγρασία για την περίοδο ετών 1959-1997 ήταν τον Δεκέμβριο με 78% ποσοστό υγρασίας, ενώ η ελάχιστη ήταν τον Ιούλιο με ποσοστό υγρασίας 53,2% (Πίνακας 3.3) .

Πίνακας 3.3: Οι τιμές της μέσης μηνιαίας υγρασίας την περίοδο 1959-1997 (Ε.Μ.Υ.).

Μήνας	Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)
Ιανουάριος	76,1
Φεβρουάριος	73,0
Μάρτιος	72,4
Απρίλιος	67,8
Μάιος	63,8
Ιούνιος	55,9
Ιούλιος	53,2
Αύγουστος	55,3
Σεπτέμβριος	62,0
Οκτώβριος	70,2
Νοέμβριος	76,8
Δεκέμβριος	78,0

3.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

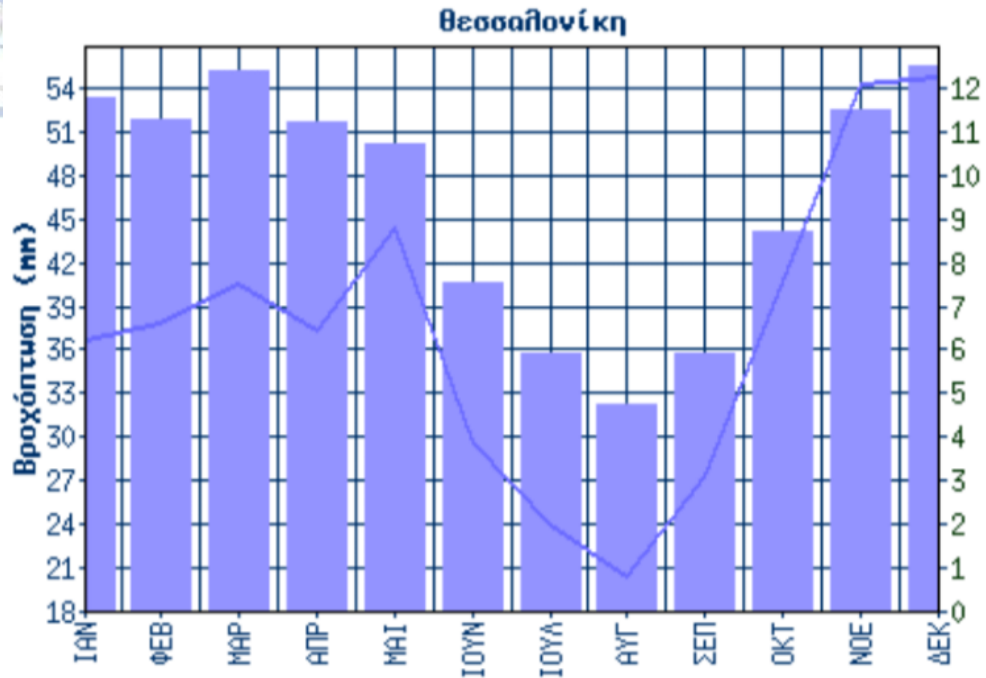
Όσον αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην περιοχή έρευνας , αυτά παρουσιάζονται στην συνέχεια στον παρακάτω πίνακα, με βάση και πάλι τα στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού Μίκρας Θεσσαλονίκης (Πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4 : Η μηνιαία κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο έτος με βάση τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Μίκρας για την περίοδο ετών 1959-1997 (Ε.Μ.Υ.).

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΑ ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΗΜΕΡΕΣ ΠΑΓΕΤΟΥ	ΗΜΕΡΕΣ ΧΙΟΝΙΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	36,8	10,2	76,1	2,8	2,3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	38,0	10,0	73,0	1,4	2,1
ΜΑΡΤΙΟΣ	40,6	12,0	72,4	0,3	0,7
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	37,5	11,0	67,8	–	–
ΜΑΙΟΣ	44,4	10,5	63,8	–	–
ΙΟΥΝΙΟΣ	29,6	7,3	55,9	–	–
ΙΟΥΛΙΟΣ	23,9	5,7	53,2	–	–
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	20,4	4,6	55,3	–	0,1
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	27,4	5,9	62,0	–	–
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	40,8	8,7	70,2	0,1	–
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	54,4	11,3	76,8	0,9	0,2
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	54,9	11,7	78,0	2,9	1,2
ΕΤΟΣ	448,7	108,9	67,0	8,4	6,6

Σύμφωνα με τα στοιχεία παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 3.4**) , περισσότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται τον Δεκέμβριο, τον Νοέμβριο, τον Μάιο και τον Οκτώβριο, ενώ τους μήνες Σεπτέμβριο , Ιούλιο και Αύγουστο οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες. Σε ολόκληρο το έτος σημειώνονται 109 μέρες βροχόπτωσης και από την μηνιαία κατανομή τους, προκύπτει ότι τον Νοέμβριο σημειώνονται οι πιο έντονες βροχοπτώσεις. Στοιχεία για τη μηνιαία βροχόπτωση την περίοδο ετών 1959-1997 παρουσιάζονται και στο παρακάτω ραβδόγραμμα (**Σχήμα 3.3**).

Αντίστοιχα, η μέση σχετική υγρασία είναι 67% , ενώ τον Ιούλιο πέφτει στο 53,2% και τον Δεκέμβριο φτάνει το 78%. Χιονοπτώσεις σημειώνονται μόνο τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο), ενώ συνολικά 9 μέρες τον χρόνο περίπου εμφανίζεται παγετός τους ίδιους μήνες.



Σχήμα 3.3: Ραβδόγραμμα της μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο ετών 1959-1997 (Ε.Μ.Υ.) .

4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή έρευνας (Δ.Ε. Μυγδονίας) ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ10, GR10) με έκταση 10.146 km² και υπάγεται στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα Χολομώντα-Ωραιοκάστρου και Κορώνειας. Στα ανατολικά οριοθετείται από τα όρη Βερτίσκοι, Κερδύλλια, Κρούσια και Μπέλες, στα δυτικά από την Περιφερειακή Τάφρο και το όρος Πάικο, ενώ στα βόρεια από την οροσειρά Κερκίνη και τα σύνορα με την Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας. Συνορεύει με το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (ΥΔ09) στα δυτικά και με το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας (ΥΔ11) στα ανατολικά.

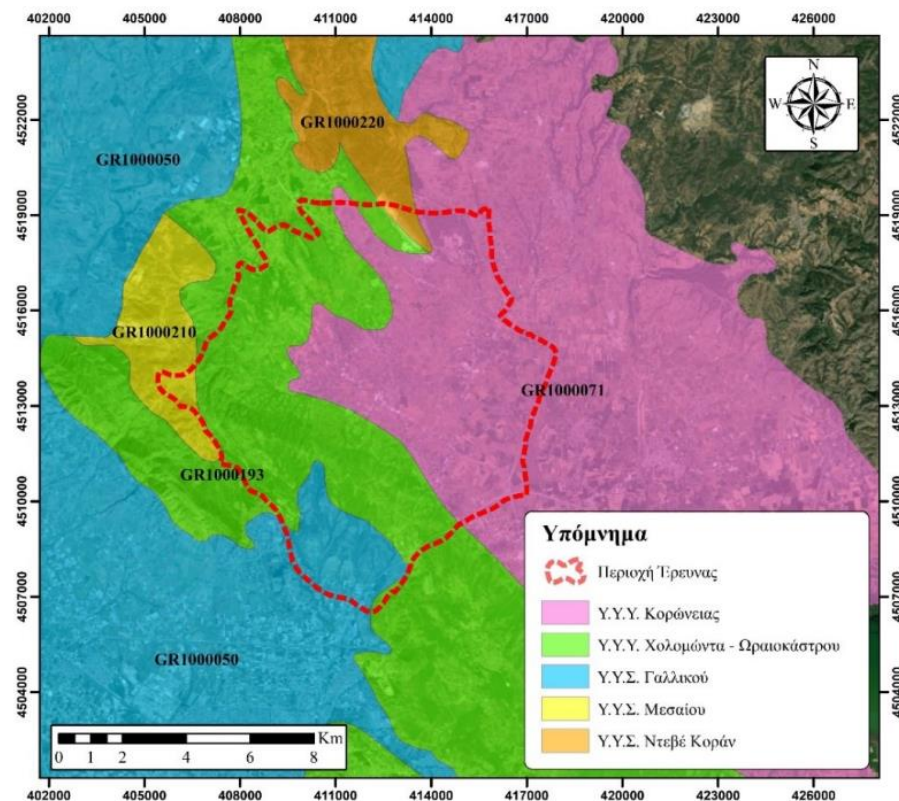
Στην περιοχή έρευνας, υδροφορία σχηματίζεται κυρίως στο πεδινό τμήμα όπου επικρατούν νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, ενώ στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα παρατηρείται μικρότερη υδροφορία. Γενικά, στην περιοχή διακρίνονται 3 είδη υδροφορέων, οι προσχωματικοί (πορώδεις ή κοκκώδεις), καρστικοί υδροφορείς και υδροφορείς διερρηγμένων σκληρών πετρωμάτων, που θα περιγραφούν παρακάτω.

4.1 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

Το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Χολομώντα-Ωραιοκάστρου αποτελείται από τρία υποσυστήματα (Σχήμα 4.1):

- I. Το υποσύστημα Σκουριών (EL1000191),
- II. Το υποσύστημα Ολυμπιάδας (EL1000192),
- III. Το υποσύστημα Χολομώντα-Ωραιοκάστρου (EL1000193)

Το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Μυγδονίας αποτελείται από το υποσύστημα Κορώνειας (GR1000071) και το υποσύστημα Βόλβης (GR1000072).



Σχήμα 4.1 : Υπόγεια υδατικά συστήματα (Υ.Υ.Σ.) και υπόγεια υδατικά υποσυστήματα (Υ.Υ.Υ.) της περιοχής έρευνας (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία κατανομής των Υ.Υ. συστημάτων και υποσυστημάτων. (Πίνακας 4.1)

Πίνακας 4.1: Υπόγεια υδατικά συστήματα (Υ.Υ.Σ.) και υπόγεια υδατικά υποσυστήματα (Υ.Υ.Υ.) της περιοχής έρευνας (Πηγή : Καζάκης κ.α., 2024).

A/A	ΛΑΠ	Κωδικός Υ.Υ.Σ.	Κύριο/ Δευτερεύον Υ.Υ.Σ.	Υπόγειο Υδατικό Σύστημα	Κωδικός Υ.Υ.Υ.	Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα	Έκταση (km ²)	Έκταση (%)
1	Γαλλικού	GR1000050	Κ	Γαλλικού (κοκκώδες)	-	-	7,81	7,91
2	Γαλλικού	GR1000220	Δ	Ντεβέ Κοράν (καρστικό)	-	-	1,21	1,23
3	Γαλλικού	GR1000210	Δ	Μεσαίου (καρστικό)	-	-	0,78	0,79
4	Χαλκιδικής	GR1000070	Κ	Μυγδονίας (κοκκώδες)	GR1000071	Κορώνειας	47,15	47,73
5	Χαλκιδικής	GR1000190	Δ	Χολομώντα - Ωραιοκάστρου (ρωγματικό)	GR1000193	Χολομώντα - Ωραιοκάστρου	41,82	42,34

Σύμφωνα με τα Διαχειριστικά Σχέδια της περιοχής, η κατάσταση του συστήματος Χολομώντα - Ωραιοκάστρου από οικολογική και χημική άποψη, χαρακτηρίζεται ως «καλή», σύμφωνα με τα στοιχεία των παρακάτω πινάκων (Πίνακας 4.2, Πίνακας 4.3, Πίνακας 4.4). Ωστόσο η έρευνα του υπόγειου υδατικού συστήματος σε πιο λεπτομερή κλίμακα κρίνεται απαραίτητη, για τον ακριβή προσδιορισμό της ποιότητας του υπόγειου νερού (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3). Όσον αφορά το Υ.Υ.Σ. Κορώνειας, σύμφωνα με τη νέα αναθεώρηση (ΦΕΚ 70Α/17-05-2024) η ποιοτική και ποσοτική κατάσταση του χαρακτηρίζεται ως «κακή».

Πίνακας 4.2 : Χημική και ποσοτική κατάσταση των Υ.Υ.Σ. (Πηγή : Εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης β' αναθεώρησης για το ΥΔ10)

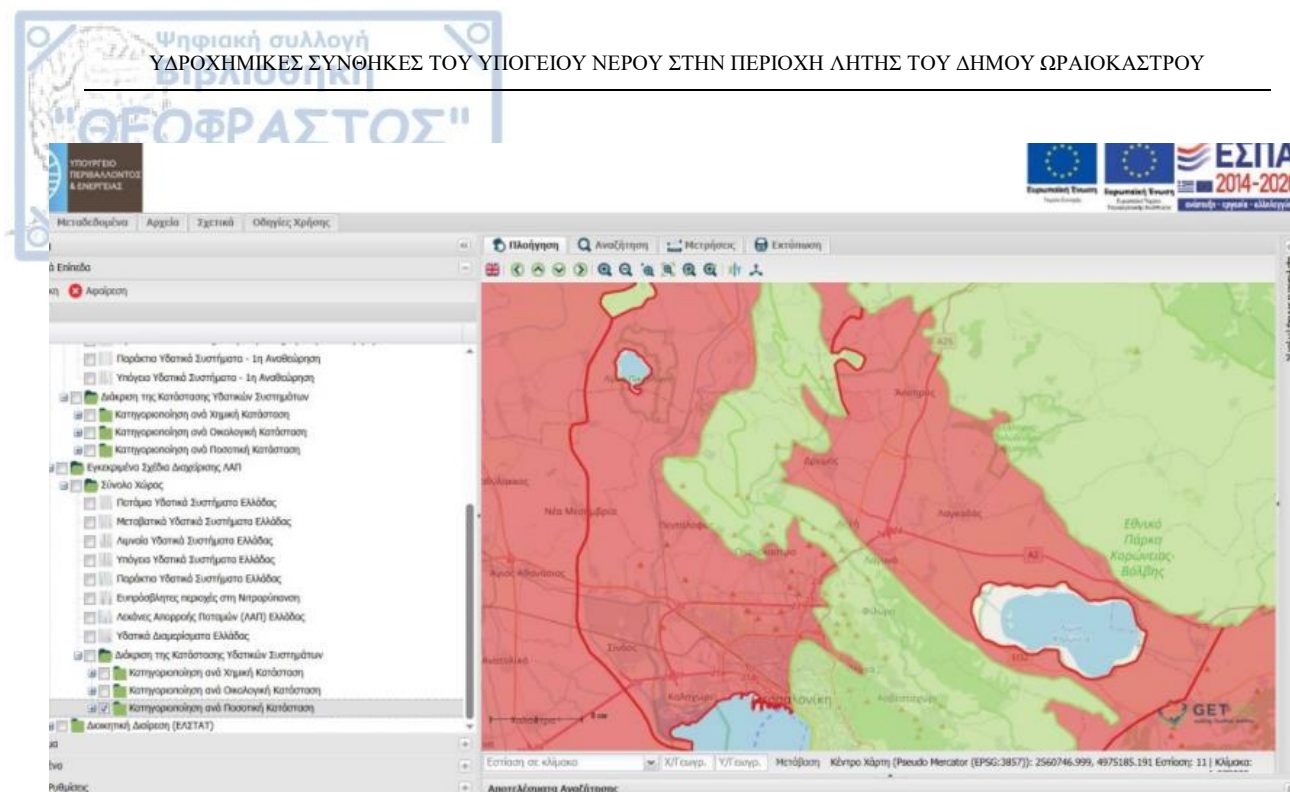
Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία ΥΥΣ	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Αξιοσημείωτα ποιοτικά χαρακτηριστικά ύδατος	Προστατευόμενες περιοχές	Εκτίμηση τρωτότητας με βάση υδρογεωλογικά κριτήρια
EL1000050	Γαλλικού	Καλή	Καλή	E.C., Cl, NO ₃ , SO ₄ , NH ₄ , Ni, As, Mn	Όχι	Μέση προς υψηλή/ Δυσμενείς προς μέτριες συνθήκες προστασίας
EL1000071	Υπ. Κορώνειας	Κακή	Κακή	NO ₃ , SO ₄ , Al, Fe, Mn	Όχι	Μέση/ Μέτριες συνθήκες προστασίας
EL1000193	Υπ. Χολομώντα-Ωραιοκάστρου	Καλή	Καλή	Mn	Όχι	Μέση/ Μέτριες συνθήκες προστασίας
EL1000210	Μεσαίου	Καλή	Καλή	-	Όχι	Υψηλή/ Δυσμενείς συνθήκες προστασίας
EL1000220	Ντεβέ Κοράν	Καλή	Καλή	Όχι	Ναι	Υψηλή/ Δυσμενείς συνθήκες προστασίας

Πίνακας 4.3 : Μέση ετήσια τροφοδοσία και μέσες ετήσιες απολήψεις από τα υπόγεια Υ.Υ.Σ. (Πηγή : Εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης β' αναθεώρησης για το ΥΔ10)

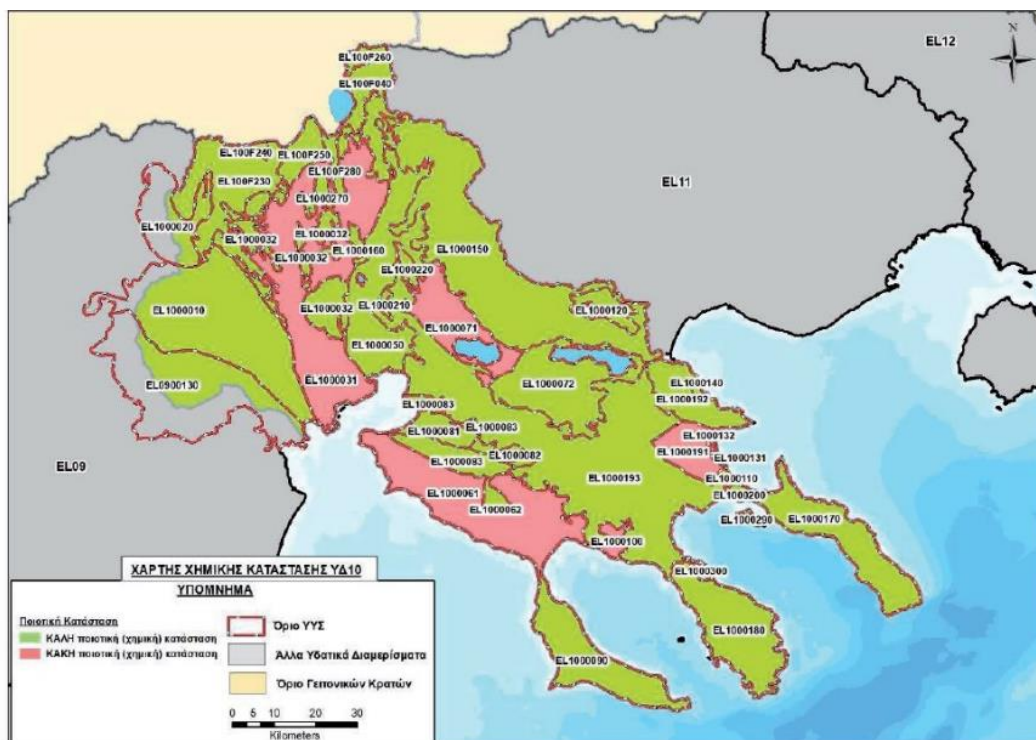
Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία ΥΥΣ	Μέση ετήσια τροφοδοσία (10 ⁶ m ³)	Μέσες ετήσιες απολήψεις (10 ⁶ m ³)	Άρδευση (10 ⁶ m ³)	Υδρευση (10 ⁶ m ³)	Κτηνοτροφία (10 ⁶ m ³)	Βιομηχανία	Ποσοτική κατάσταση ΥΥΣ
EL1000050	Γαλλικού	39,72	21,41	6,03	4,28	0,71	10,38	Καλή
EL1000071	Υπ. Κορώνειας	45,22	35,35	28,03	4,65	0,53	2,13	Κακή
EL1000072	Υπ. Βόλβης	55,77	30,25	26,16	3,77	0,31	0,006	Κακή
EL1000191	Υπ. Σκουριών	5,98	0,01	0,005	-	0,005	-	Καλή
EL1000192	Υπ. Ολυμπιάδας	8,32	0,92	0,003	0,91	0,008	0,002	Καλή
EL1000193	Υπ. Χολομώντα-Ωραιοκάστρου	94,67	19,81	7,43	11,27	0,45	0,66	Καλή
EL1000210	Μεσαίου	2,16	0,006	0,005	-	0,001	-	Καλή
EL1000220	Ντεβέ Κοράν	3,96	0,13	0,02	-	0,002	0,009	Καλή

Πίνακας 4.4 : Επιπτώσεις της ρύπανσης στην ποιότητα των Υ.Υ.Σ. (Πηγή : Εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης β' αναθεώρησης για το ΥΔ10)

Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία ΥΥΣ	Γεωλογία	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος Υδροφόρου	Υπερεκμετάλλευση	Πηγές ρύπανσης		Ανθρωπογενή αίτια ποιοτικής επιβάρυνσης ύδατος
						Διάχυτες	Σημειακές	
EL1000050	Γαλλικού	Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμοί	Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμοί	Κοκκώδης	Ναι	Καλλιέργειες	ΕΕΛ, λατομεία, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές μονάδες	Αστικά απόβλητα, στερεά απόβλητα, νιτρορύπανση από λιπάσματα και κτηνοτροφικά απόβλητα, υπέρβαση ΑΑΤ ΝΟ ₃ σε μικρό αριθμό υδροσημείων
EL1000071	Υπ. Κορώνειας	Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμοί	Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμοί	Κοκκώδης	Ναι	Γεωργία, αστικά λύματα	Κτηνοτροφικές και βιομηχανικές μονάδες, ΕΕΛ, εξορ. δραστηριότητες	Κτηνοτροφία, βιομηχανία, ΕΕΛ, εξορ. Δραστηριότητες, ρυπαντικά φορτία από δίκτυα αποχέτευσης, που δεν καταλήγουν σε ΕΕΛ
EL1000193	Υπ. Χολομώντα-Ωραιοκάστρου	Κρυσταλλοσχιζιστώδη και πυριγενή πετρώματα, μάρμαρα, ελάχιστα χαλαρά ιζημάτα	Κρυσταλλοσχιζιστώδη και πυριγενή πετρώματα, μάρμαρα, ελάχιστα χαλαρά ιζημάτα	Ρωγματικός κοκκώδης	Όχι	Γεωργία, αστικά	Κτηνοτροφία, βιομηχανία, ΕΕΛ, εξορ. Δραστηριότητες, ρυπαντικά φορτία από δίκτυα αποχέτευσης, που δεν καταλήγουν σε ΕΕΛ	Όχι
EL1000210	Μεσαίου	Ασβεστόλιθοι	Ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι	Καρστικός	Όχι	-	Βιομηχανικές μονάδες, λατομεία	-
EL1000220	Ντεβέ Κοράν	Ασβεστόλιθοι, υπέρκεινται αργιλικών σχιστολίθων	Ασβεστόλιθοι καρστικοποιημένοι	Καρστικός	Όχι	Καλλιέργειες	Βιομηχανικές μονάδες, λατομεία	Όχι



Σχήμα 4.2: Χάρτης της ποσοτικής κατάστασης των Υ.Υ.Σ. στην περιοχή έρευνας. (Πηγή: <http://wfdgis.ypeka.gr/>)



Σχήμα 4.3: Χάρτης της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων στην περιοχή έρευνας. (Πηγή : <http://wfdgis.ypeka.gr/>)

4.2 Υδατικοί Πόροι

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας η μέση ετήσια προσφορά νερού ανέρχεται σε $5,3 \times 10^9 \text{ m}^3$. Από αυτήν την ποσότητα $1,7 \times 10^9 \text{ m}^3$ (32%) προέρχονται από πόρους του ίδιου του διαμερίσματος, ενώ $3,6 \times 10^9 \text{ m}^3$ (68%) προέρχονται από την εισροή νερού από τον ποταμό Αξιό μέρος του οποίου βρίσκεται στην Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας. Επιπλέον, στο ΥΔ10 μεταφέρεται ποσότητα νερού ίση με $356 \times 10^6 \text{ m}^3$ από τον ποταμό Αλιάκμονα του ΥΔ09, με τη χρήση της ενωτικής διώρυγας Αλιάκμονα-Αξιού. Αυτή η ποσότητα χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) Πεδιάδων Θεσσαλονίκης-Λαγκαδά αλλά και των υδρευτικών αναγκών του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.

4.3 Λεκάνες απορροής ποταμού (ΛΑΠ)

Σύμφωνα με την υπ' αριθμόν 706/16.7.2010 απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ Β/1383), το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από τέσσερεις Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ). Αυτές περιλαμβάνουν την λεκάνη Αξιού (GR03) με έκταση 3.327 km^2 , τη λεκάνη Γαλλικού (GR04) με έκταση 1.051 km^2 , τη λεκάνη Χαλκιδικής (GR05) με έκταση 5.546 km^2 και τη λεκάνη Άθω (GR43) με έκταση 239 km^2 . Τα όρια των γειτονικών λεκανών απορροής φαίνονται στον παρακάτω χάρτη (**Σχήμα 4.4**) .



Σχήμα 4.4: Γεωμορφολογικός χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (GR10) και όρια των Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) του (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Σχέδιο Διαχείρισης ΛΑΠ του ΥΔ10) .

Η περιοχή έρευνας ανήκει στην ΛΑΠ Χαλκιδικής (GR05) , η οποία υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελεί την μεγαλύτερη λεκάνη απορροής του ΥΔ10 . Η ΛΑΠ Χαλκιδικής αποτελείται από τις λεκάνες απορροής της λίμνης Βόλβης και της λίμνης Λαγκαδά (Κορώνεια), της τεχνητής λίμνης Μαυρούδας , του ποταμού Ανθεμούντα , του ποταμού Χαβρία καθώς και από τις υδρολογικές λεκάνες της πόλης της Θεσσαλονίκης και γύρω από αυτή αλλά και άλλες μικρότερες υπολεκάνες της Περιφερειακής Ενότητας Χαλκιδικής. Εκτείνεται από το κέντρο του Υδατικού Διαμερίσματος έως το ΝΑ τμήμα του (δυτικό και κεντρικό ακρωτήριο Χαλκιδικής). Στα βόρεια βρίσκεται ο ορεινός όγκος του Βερτίσκου, ενώ στο κέντρο συναντώνται οι ορεινοί όγκοι του Χορτιάτη και του Χολομώντα. Μεταξύ αυτών των ορεινών όγκων αλλά και νοτιότερα μέχρι τα ακρωτήρια της Χαλκιδικής εκτείνονται πεδινές εκτάσεις.

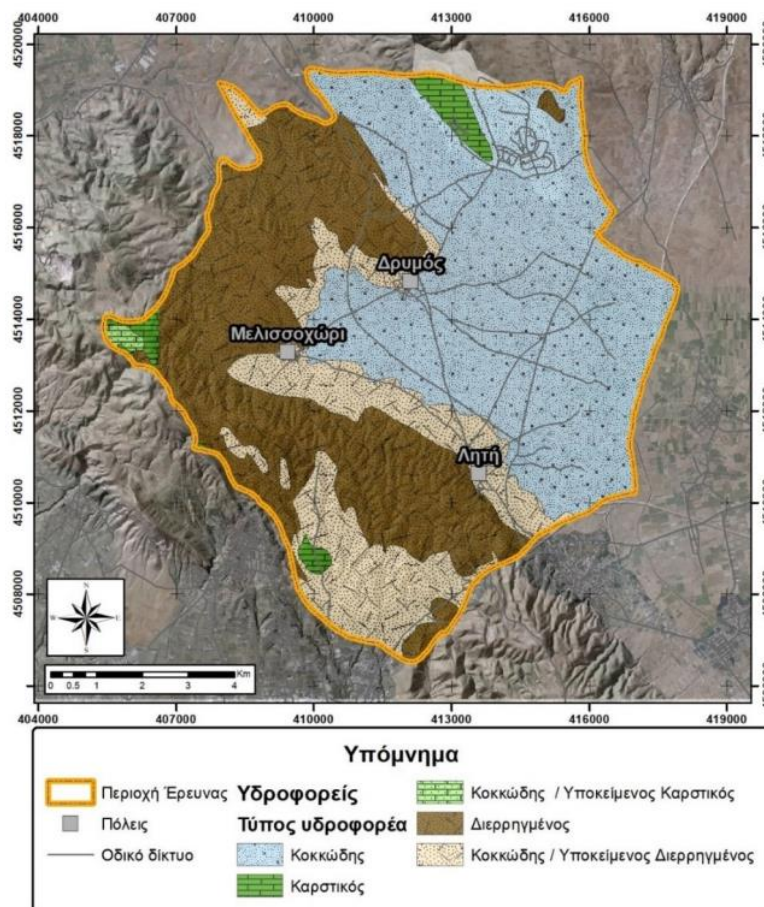
Η ΛΑΠ Χαλκιδικής συνορεύει με την ΛΑΠ Γαλλικού (GR04) που περιλαμβάνει τη λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού και τη φυσική λίμνη Πικρολίμνη ως μοναδικό λιμναίο Υδατικό Σύστημα. Η ΛΑΠ Γαλλικού βρίσκεται περίπου στο κέντρο του ΥΔ10, ενώ εκτείνεται από τα ΒΑ όρια της Περιφερειακής ενότητας Κιλκίς μέχρι το Θερμαϊκό κόλπο (Καζάκης κ.α., 2024). Χαρακτηρίζεται από επίμηκες σχήμα και υψόμετρα έως και πάνω από 1000 m στα βόρεια, που μειώνονται σταδιακά ως το κέντρο, καταλήγοντας σε καθαρά πεδινές εκτάσεις, εκτός από μία έξαρση αναγλύφου στα ΝΑ όρια της ΛΑΠ (Καζάκης κ.α., 2024). Η ΛΑΠ Γαλλικού εντάσσεται συνολικά στην ευπρόσβλητη στη νιτρορύπανση ζώνη Θεσσαλονίκης-Ημαθίας-Πέλλας, με αποτέλεσμα τα επιφανειακά και υπόγεια ΥΣ της λεκάνης απορροής να εντάσσονται στο μητρώο ζωνών ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση (Καζάκης κ.α., 2024).

4.4 ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

Στην περιοχή έρευνας συναντώνται όλα τα είδη των υδροφορέων (Καζάκης κ.α., 2024):

- I. Κοκκώδεις ή πορώδεις υδροφορείς (ελεύθεροι ή υπό πίεση) στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς,
- II. Καρστικοί στα ανθρακικά πετρώματα
- III. Υδροφορείς διερρηγμένων (σκληρών) πετρωμάτων στους Μεσοζωικούς και Παλαιοζωικούς σχηματισμούς.

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται η κατανομή των υδροφορέων στην περιοχή έρευνας (**Σχήμα 4.5**) και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η έκταση που καταλαμβάνουν (**Πίνακας 4.5**).



Σχήμα 4.5: Χάρτης των υδροφορέων στην περιοχή έρευνας (Πηγή: «Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση», Καζάκης κ.α., 2024).

Πίνακας 4.5 : Τύποι υδροφορέων και έκταση που καταλαμβάνουν (Καζάκης κ.ά., 2024)

Τύπος Υδροφορέα	Έκταση (Κm ²)	Έκταση (%)
Κοκκώδης	44,31	44,86
Κοκκώδης / Υποκείμενος Καρστικός	0,36	0,36
Κοκκώδης / Υποκείμενος Διερρηγμένος	18,09	18,32
Καρστικός	2,34	2,37
Διερρηγμένος	33,67	34,09
Σύνολο	98,77	100,00

Οι υδροφορείς που σχηματίζονται στην περιοχή έρευνας έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

I. Πορώδεις ή Κοκκώδεις υδροφορείς:

Στους σχηματισμούς του πεδινού τμήματος της περιοχής, που αποτελούνται από Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα, σχηματίζονται υδρολογικά σημαντικά, υπόγεια υδατικά συστήματα, όπου αναπτύσσεται η κύρια υδροφορία της περιοχής έρευνας και το σύνολο των οποίων αποτελεί το Κοκκώδες Σύστημα Μυγδονίας (GR1000070). Από λιθολογικής άποψης οι υδροφορείς αποτελούνται από άμμους, χαλίκια και κροκάλες συνήθως αναμειγμένα μεταξύ τους ή και με αργιλικό υλικό.

Σε αυτά τα ιζήματα αναπτύσσονται πολλές και ακανόνιστες υδροφορίες, είτε υπό πίεση, είτε ελεύθερες, ή και μερικώς υπό πίεση και πολλές φορές οι υδροφόροι ορίζοντες είναι επάλληλοι (Καζάκης κ.ά., 2024). Παρουσιάζουν μεγάλη ανισοτροπία κατά θέσεις, όσον αφορά το πάχος τους, τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά, καθώς και την απόδοσή τους (k , T , S παράμετροι), λόγω της έντονης και γρήγορης εναλλαγής της κοκκομετρίας, της επικράτησης κατά θέσεις μίας λιθολογίας και της παρουσίας φακών, διασταυρούμενης στρώσης κ.λπ. (Δεβλιώτη, 2016).

Η τροφοδοσία των υδροφορέων πραγματοποιείται από την κατείσδυση των κατακρημνισμάτων, τη διήθηση των χειμάρρων και των ρεμάτων αλλά και από την πλευρική τροφοδοσία από τους γειτονικούς, καρστικούς και διερρηγμένους υδροφορείς. Οι κοκκώδεις υδροφορείς καταλαμβάνουν το 44% της έκτασης της περιοχής έρευνας (**Πίνακας 4.5**).

Η στάθμη του υπόγειου νερού στους υδροφορείς της περιοχής έχει μειωθεί σημαντικά (σύμφωνα με τον Τζιμόπουλο κ.ά., 2009 έως και 12 m) λόγω των ανεξέλεγκτων αντλήσεων. Στην ευρύτερη περιοχή, η πλεοψηφία των υδρευτικών γεωτρήσεων βρίσκεται στους κοκκώδεις υδροφορείς που φτάνουν τις 3500 (ρηχές και βαθιές) (Δεβλιώτη, 2016).

II. Καρστικοί υδροφορείς :

Υδροφορείς που σχηματίζονται λόγω της καρστικοποίησης (διάλυσης) των ανθρακικών πετρωμάτων. Η υδροφορία περιορίζεται σε ζώνες διάρρηξης ή καρστικές δομές.

Εντοπίζονται στα νότια, βόρεια και δυτικά της περιοχής έρευνας και καταλαμβάνουν μικρή έκταση (Πίνακας 4.5).

III. Υδροφορείς διαρρηγμένων σκληρών πετρωμάτων:

Στο υπόβαθρο της περιοχής έρευνας, που αποτελείται από κρυσταλλικά και ανθρακικά πετρώματα, σχηματίζονται υδροφορείς μέσα στα δίκτυα των ασυνεχειών τους και τις ζώνες έντονου κερματισμού (τεκτονικές δομές). Μέσα σε αυτές τις ασυνέχειες αλλά και στη διεπιφάνεια μεταξύ της επιφανειακής ζώνης χαλάρωσης και του βραχώδους υποβάθρου, το νερό κυκλοφορεί σχηματίζοντας υδροφορείς. Στους υδροφορείς διαρρηγμένων πετρωμάτων η εκφόρτιση του νερού γίνεται μέσω πηγών ή με πλευρική διήθηση προς τους εκατέρωθεν σχηματισμούς. Το είδος του σχηματισμού και η παρουσία ή μη λεπτόκοκκου εδαφικού καλύμματος που μειώνει την κατείσδυση και δεσμεύει τους ρύπους, καθορίζουν την τρωτότητα των υδροφορέων.

Οι υδροφορείς των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων έχουν μία δυναμικότητα της τάξης των 10-25 m³/h (Nimforoulos, 2002) και το νερό σε αυτούς κυκλοφορεί σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m και εκφορτίζεται στους πορώδεις υδροφορείς τροφοδοτώντας τους πλευρικά.

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας σε κατακερματισμένους γνευσίους κυμαίνεται από $2,3 \times 10^{-6}$ μέχρι και 7×10^{-7} m/s, ενώ ο συντελεστής κατείσδυσης από 3-10% του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης (Nimforoulos, 2002). Καταλαμβάνουν σημαντική έκταση (34%) της περιοχής έρευνας κυρίως σε μεγάλα υψόμετρα, ενώ καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό (18%) από ιζήματα (Πίνακας 4.5).

5 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το υπόγειο νερό περιέχει διαλυμένα ιόντα και αιωρούμενα σωματίδια που του προσδίδουν ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες, καθορίζοντας τελικά την ποιότητά του. Η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού στα διάφορα στοιχεία εξαρτάται από το γεωλογικό περιβάλλον στο οποίο κινείται και αποθηκεύεται (Καζάκης, 2013). Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της ποιότητας του υπόγειου νερού σε δύο γεωτρήσεις της περιοχής, εστιάζοντας στη διαφοροποίηση της με το βάθος.

5.1 Στοιχεία των Γεωτρήσεων-Δειγματοληψία

Για τον προσδιορισμό των υδροχημικών συνθηκών του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στο πλαίσιο ερευνητικού έργου σε δύο γεωτρήσεις της περιοχής (Βλάχος_1 και Βλάχος_4), οι θέσεις των οποίων παρουσιάζονται στην παρακάτω δορυφορική εικόνα (Σχήμα 5.1). Η δειγματοληψία της γεώτρησης Βλάχος_4 (συντεταγμένες: X:23,0050280540,Y:74578258) έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου (2024) με τίτλο: "Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση" με επιστημονικά υπεύθυνο τον κ. Καζάκη Νεραντζή Επίκουρο Καθηγητή Υδρογεωλογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών την περίοδο Μαΐου 2023. Τα υδροχημικά δεδομένα που θα αναλυθούν προέρχονται από τα αποτελέσματα αυτού του ερευνητικού έργου και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5.1, Πίνακας 5.2, Πίνακας 5.3, Πίνακας 5.4).

Στην γεώτρηση Βλάχος_1 πραγματοποίησα εργασία υπαίθρου με την επίβλεψη του καθηγητή κ. Καζάκη Νεραντζή, όπου έγιναν μετρήσεις κατά βάθος των φυσικοχημικών παραμέτρων του υδροφορέα, την περίοδο Οκτωβρίου 2023 και αφορούσαν την ειδική αγωγιμότητα και τη θερμοκρασία με τη χρήση οργάνου (Σχήμα 5.2, Σχήμα 5.2).



Πίνακας 5.1 : Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων στην γεώτρηση Βλάχος 4 , την περίοδο Μαΐου 2023 (Πηγή: Καζάκης κ.ά., 2023)

Βάθος m	EC μS/cm	Eh mV	Ph	O ² mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Fe μg/L	Mn μg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl mg/L	Total hardness d°	HCO ₃ ⁻ mg/L	P mgPO ₄ /L
46	1297	30,6	7,36	6,78	164	33,3	0,79	44,8	<10	<10	114	<0.03	<0.06	78,8	74,5	30,5	439	<1.53
57	1127	55,2	7,5	8,58	142	33,5	1	42,8	<10	<10	82,5	<0.03	<0.06	69,6	66,4	27,4	426	<1.53
70	1121	19,6	7,7	8,45	142	34,1	1	44,1	<10	<10	84,7	<0.03	<0.06	69,5	63,9	27,6	422	<1.53
81	1136	52,6	7,56	6,94	140	33,6	1	43,2	<10	<10	84,6	<0.03	<0.06	69,4	64	27,2	418	<1.53
99	1091	19,3	8,23	7,18	114	34	1,1	44,9	<10	<10	83,3	<0.03	<0.06	67,8	62,1	27,8	431	<1.53
114	1083	78,5	8,09	6,58	140	33,9	1,3	45,6	12	<10	85,7	<0.03	<0.06	68,3	54,6	27,3	415	<1.53
129	1066	20,1	7,82	8,99	137	33,6	1,4	44,9	12	10	82,3	<0.03	<0.06	68	59	26,8	422	<1.53
145	1064	55,4	7,77	6,57	132	33,6	1,3	44,2	<10	<10	82,7	<0.03	<0.06	68,8	62,6	26,1	417	<1.53

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων στην γεώτρηση Βλάχος 4 , την περίοδο Μαΐου 2023 (Συνέχεια) (Πηγή: Καζάκης κ.ά., 2023)

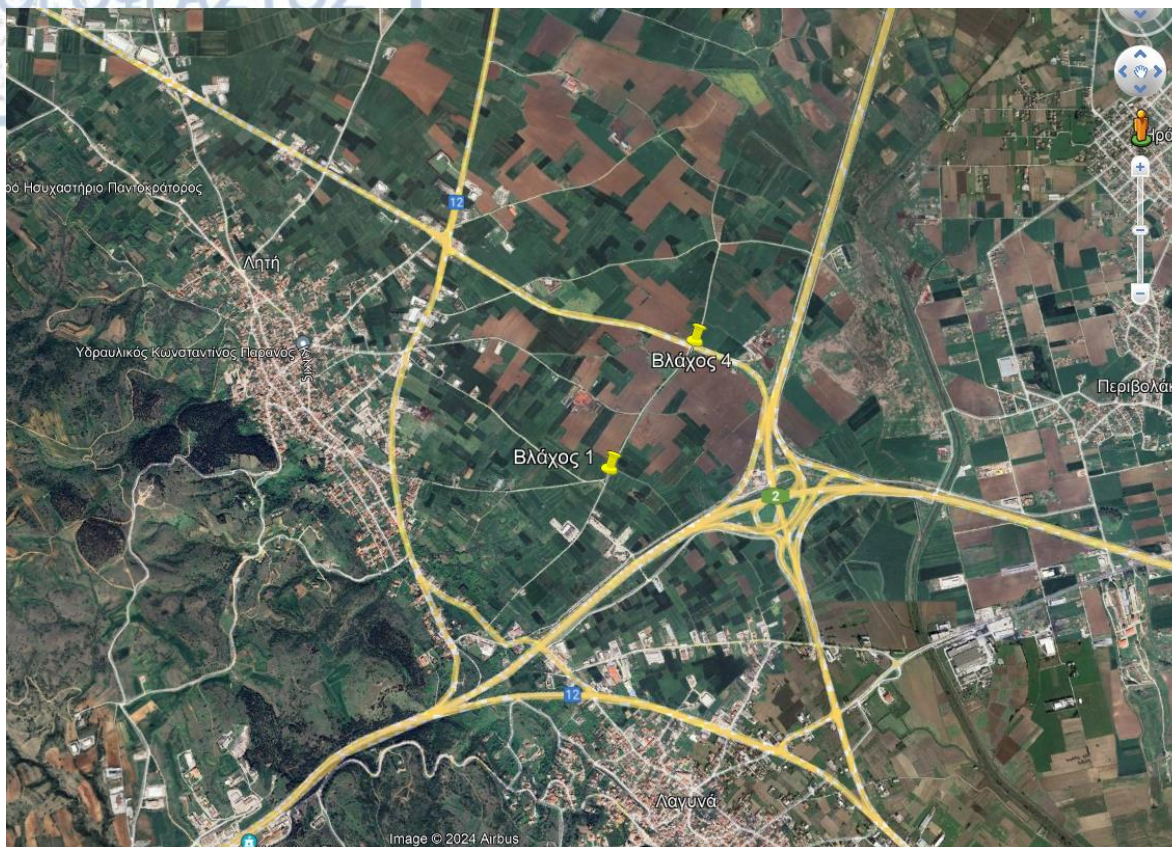
Βάθος m	Li (ppb)	Be (ppb)	B (ppb)	Al (ppb)	Ti (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Rb (ppb)	Sr (ppb)
46	9,91	0,00	120,0	8,50	365,68	2,38	6,4	0,50	7,04	8,11	35,19	1,55	4,67	0,06	1143,96
57	9,15	0,00	113,3	13,91	313,97	2,11	7,2	0,46	6,96	8,72	33,87	1,65	5,61	0,11	1234,60
70	9,46	0,00	122,7	8,04	323,35	2,19	5,4	0,44	5,24	6,60	39,13	1,57	5,74	0,06	1273,60
81	9,48	0,00	125,7	8,12	320,03	2,34	5,4	0,46	4,94	5,63	27,50	1,62	5,55	0,07	1277,47
99	9,63	0,00	91,5	8,61	313,92	2,23	4,6	0,39	5,18	6,91	33,92	2,44	9,65	0,10	1273,46
114	9,04	0,00	89,9	10,33	297,41	2,22	6,5	0,40	6,27	5,49	23,67	1,81	6,13	0,08	1221,48
129	9,68	0,00	93,4	16,25	307,66	1,81	3,8	0,41	7,76	5,13	32,46	1,63	6,15	0,17	1280,31
145	9,98	0,00	98,1	8,77	326,83	2,29	3,3	0,36	5,04	3,97	21,18	1,56	6,14	0,07	1308,35

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων στην γεώτρηση Βλάχος 4 , την περίοδο Μαΐου 2023 (Συνέχεια) (Πηγή: Καζάκης κ.ά., 2023)

Βάθος m	Nb (ppb)	Mo (ppb)	Ag (ppb)	Cd (ppb)	In (ppb)	Sn (ppb)	Sb (ppb)	Cs (ppb)	Ba (ppb)	Pb (ppb)	Bi (ppb)	U (ppb)
46	0,00	0,65	0,00	0,03	0,00	0,24	0,20	0,00	145,39	0,18	0,00	3,48
57	0,00	0,78	0,00	0,04	0,00	0,25	0,24	0,00	165,81	0,62	0,00	4,65
70	0,00	0,65	0,00	0,03	0,00	0,16	0,18	0,00	171,45	0,38	0,00	4,73
81	0,00	0,69	0,00	0,03	0,00	0,17	0,20	0,00	175,75	0,21	0,00	4,68
99	0,00	1,14	0,13	0,05	0,00	0,16	0,27	0,00	168,87	0,30	0,00	4,59
114	0,00	1,06	0,00	0,04	0,00	0,21	0,21	0,00	173,90	0,29	0,00	4,48
129	0,00	0,80	0,00	0,05	0,00	0,15	0,19	0,00	177,82	0,37	0,00	4,65
145	0,00	0,68	0,00	0,03	0,00	0,11	0,15	0,00	178,21	0,18	0,00	4,60

Πίνακας 5.4: Επί τόπου μετρήσεις της ειδικής αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας με το βάθος στη γεώτρηση Βλάχος 1, τον Οκτώβριο 2023.

Βάθος (m)	EC (μS/cm)	T (°C)
10,28	963	16,3
19,5	1105	16,3
24,5	1145	16,2
31	1085	16,2
35	1033	16,2
40	954	16,3
45	950	16,3
50	950	16,3
55	947	16,3
60	947	16,3
63,5	1058	16,6
65	1098	16,6
70	1107	16,7
75	1107	16,7
80	1104	16,7



Σχήμα 5.1 : Δορυφορική εικόνα της περιοχής έρευνας και αποτύπωση των θέσεων των γεωτρήσεων Βλάχος_1 και Βλάχος_4 που αντιπροσωπεύουν την ευρύτερη περιοχή του οικισμού Λητής του Δήμου Ωραιοκάστρου.

Για την μέτρηση των παραμέτρων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), της θερμοκρασίας ($T^{\circ}\text{C}$) και του pH επί τόπου και κατά βάθος, χρησιμοποιήθηκε ειδικό πολυπαραμετρικό αγωγιμόμετρο. Κατά την υδροχημική ανάλυση του υπόγειου νερού μετρήθηκαν οι περιεκτικότητες των κύριων ιόντων: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , HCO_3^{-} κ.λπ., του διαλυμένου οξυγόνου και ιχνοστοιχείων όπως το As και το Cr, καθώς και η ολική σκληρότητα (Total Hardness).

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι μεταβολές με το βάθος της κάθε παραμέτρου-περιεκτικότητας με τη μορφή διαγραμμάτων XY (X: παράμετρος, Y: βάθος, ανεστραμμένο).



Σχήμα 5.2 και Σχήμα 5.3: Μέτρηση μεταβολής σε βάθος της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υπόγειου νερού στη γεώτρηση Βλάχος 1 τον Οκτώβριο του 2023.

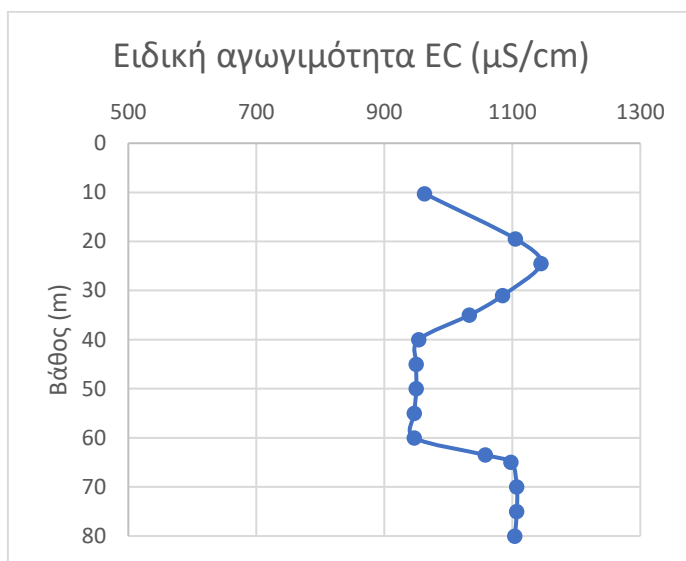
5.2 Φυσικοχημικές παράμετροι υπόγειου νερού

Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα δεδομένα για ορισμένες παραμέτρους του υπόγειου νερού, είτε φυσικές όπως η θερμοκρασία ($T^{\circ}\text{C}$), είτε χημικές όπως η ειδική αγωγιμότητα (EC), η ενεργός οξύτητα (pH), η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο και η σκληρότητα του νερού.

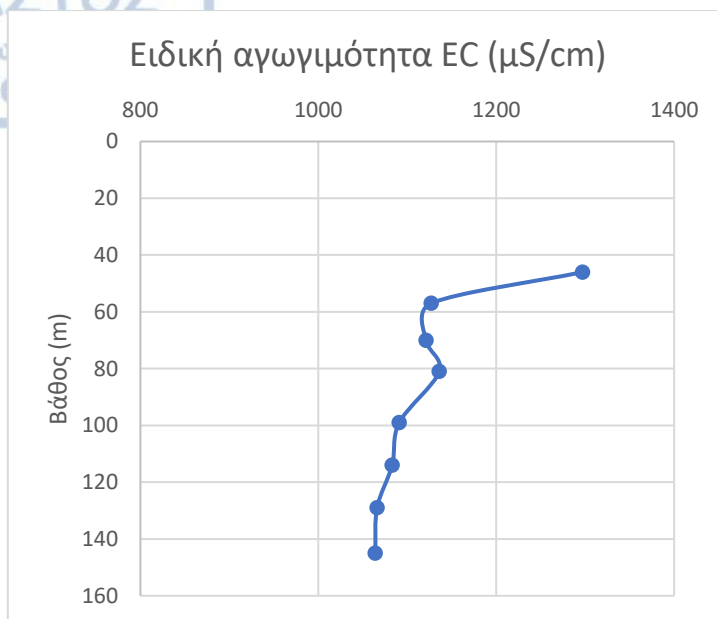
5.2.1 Ειδική (Ηλεκτρική) Αγωγιμότητα (EC)

Η ειδική (ηλεκτρική) αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός μέσου να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα ανεξάρτητα από τις διαστάσεις του. Ο συντελεστής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) συνδέεται με το πλήθος των διαλυμένων αλάτων στο νερό (T.D.S.) αλλά και την θερμοκρασία του. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του EC, τόσο περισσότερα είναι και τα διαλυμένα άλατα (στερεά) στο νερό, κάτι που υποδηλώνει πιθανή ρύπανση, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει επίσης την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Οι οριακές τιμές της ειδικής αγωγιμότητας είναι: $\text{EC} < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ όταν η περιεκτικότητα σε άλατα είναι χαμηλή, $\text{EC} > 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ όταν η περιεκτικότητα σε άλατα είναι υψηλή και $1500 < \text{EC} < 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$, όταν η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα είναι μέτρια. Η ενδεικτική αγωγιμότητα για το πόσιμο νερό είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές με το βάθος της EC για τις δύο γεωτρήσεις (Σχήμα 5.4, Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.4 : Η διακύμανση της EC με το βάθος στη γεώτρηση Βλάχος 1 τον Οκτώβριο 2023.



Σχήμα 5.5: Η διακύμανση της EC με το βάθος στη γεώτρηση Βλάχος 4 τον Μάιο του 2023.

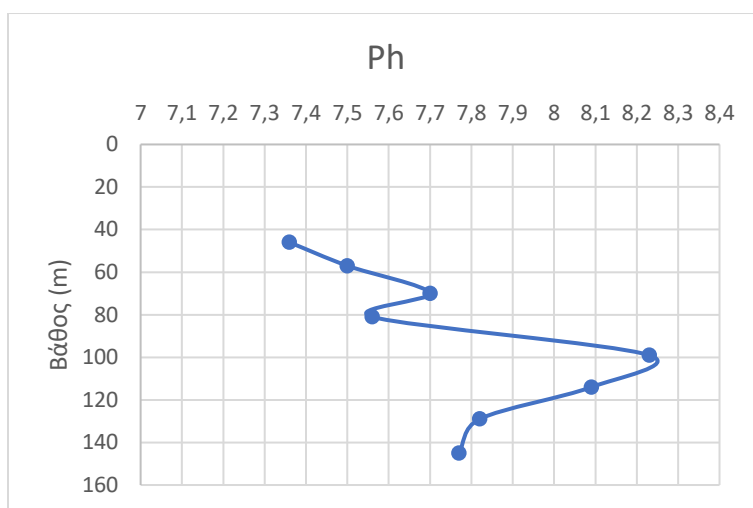
Η ειδική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 950-1150 $\mu\text{S/cm}$ την περίοδο Οκτωβρίου και από 1050-1300 $\mu\text{S/cm}$ την περίοδο του Μαΐου. Στη γεώτρηση Βλάχος 4 έγιναν και κάποιες μεμονωμένες μετρήσεις τον Ιούνιο και Σεπτέμβριο 2023, όπου η EC μετρήθηκε 895-897 $\mu\text{S/cm}$ (Καζάκης κ.ά, 2024). Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα μικρότερα βάθη μέχρι τα 40 m κάτι που υποδηλώνει μεγαλύτερη ρύπανση στην ανώτερη επιφάνεια του υδροφορέα. Ωστόσο, η ειδική αγωγιμότητα είναι γενικά $\text{EC} < 1500 \mu\text{S/cm}$ κάτι που δείχνει χαμηλό εμπλουτισμό σε άλατα, ωστόσο το νερό δεν είναι πόσιμο.

5.2.2 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Η ενεργός οξύτητα (pH) εκφράζει την συγκέντρωση των κατιόντων υδροξωνίου (H_3O^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Το pH είναι καθοριστικός παράγοντας για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων νερών και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα πετρώματα στα οποία βρίσκεται το νερό. Το νερό στη φύση είναι ουδέτερο διάλυμα όταν έχει $\text{pH}=7$, ενώ για $\text{pH} < 7$ το υδατικό διάλυμα είναι όξινο και για $\text{pH} > 7$ το υδατικό διάλυμα είναι αλκαλικό. Γενικά, όξινα νερά εντοπίζονται σε ανθρακικά πετρώματα και αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ αλκαλικά εντοπίζονται σε οφιολιθικά πετρώματα (Σούλιος, 2006).

Το pH μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία μιας υδάτινης μάζας. Δηλαδή όταν πρωτοσχηματίζεται μία μάζα νερού είναι αλκαλική και σταδιακά γίνεται πιο όξινη, λόγω της αύξησης του οργανικού υλικού που αποσυντίθεται και εκλύει CO₂ (Βουδούρης, 2016). Επίσης, η χρήση λιπασμάτων εμπλουτίζει τα υπόγεια νερά με αμμωνία που οξειδώνεται και μειώνει το pH, ενώ επίσης οξίνιση προκαλεί και η οξείδωση των πυριτών (FeS₂). Τέλος, η αποσάθρωση των πετρωμάτων επηρεάζεται σημαντικά από το pH του νερού. Όταν το νερό είναι όξινο, ευνοείται η απομάκρυνση Fe και Al, αλλά και η συγκέντρωση SiO₂ από τα ορυκτά του πετρώματος (Βουδούρης, 2016).

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η διακύμανση του pH με το βάθος στην γεώτρηση Βλάχος 4 την περίοδο Μαΐου 2023 (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6: Η διακύμανση του pH με το βάθος την περίοδο Μαΐου 2023.

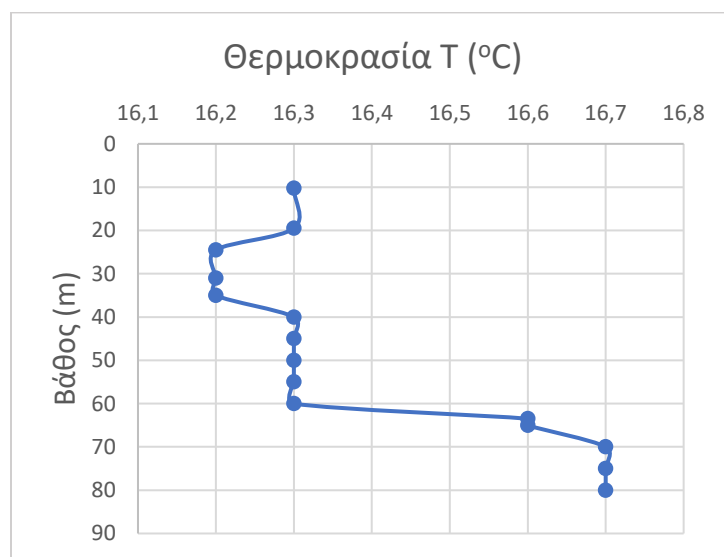
Το pH στην περιοχή έρευνας την περίοδο Μαΐου 2023, κυμαινόταν από 7,35-8,25 και χαρακτηρίζεται από σχεδόν ουδέτερο-ελαφρώς αλκαλικό έως αλκαλικό. Η μέση τιμή του pH είναι 7,75. Τις περιόδους Ιουνίου και Σεπτεμβρίου το pH ήταν επίσης 7,7-7,8 (Καζάκης κ.ά., 2024).

Γενικά, παρατηρείται μία σταθερή αύξηση του pH με το βάθος, ωστόσο από το διάγραμμα 4.3 φαίνεται μία απότομη αύξηση του pH κατά 0,67 μονάδες από τα 80 m (pH=7,56) στα 100 m βάθος (pH=8,23), ενώ το pH άρχισε πάλι να μειώνεται βαθύτερα των 120 m (pH=7,82).

5.2.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι σημαντική φυσικοχημική παράμετρος για το υπόγειο νερό, καθώς επηρεάζει διάφορες άλλες παραμέτρους όπως την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μέσα στα οποία φιλοξενείται (Βουδούρης, 2009) και συνήθως κυμαίνεται από 10-20°C (Σούλιος, 2006). Επιπλέον, η θερμοκρασία του υπόγειου νερού καθορίζεται από τα γεωθερμικά πεδία εφόσον υπάρχουν σε κάποια περιοχή γεωθερμικά πεδία. Τέλος, οι μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας επηρεάζουν επίσης την θερμοκρασία, ενώ σε βαθιές γεωτρήσεις το νερό είναι πιο ζεστό από ότι στις αβαθείς γεωτρήσεις (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.7) παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας με το βάθος στην περιοχή έρευνας, την περίοδο Οκτωβρίου 2023, από μετρήσεις στη γεώτρηση Βλάχος 1.



Σχήμα 5.7: Η διακύμανση της θερμοκρασίας με το βάθος τον Οκτώβριο 2023.

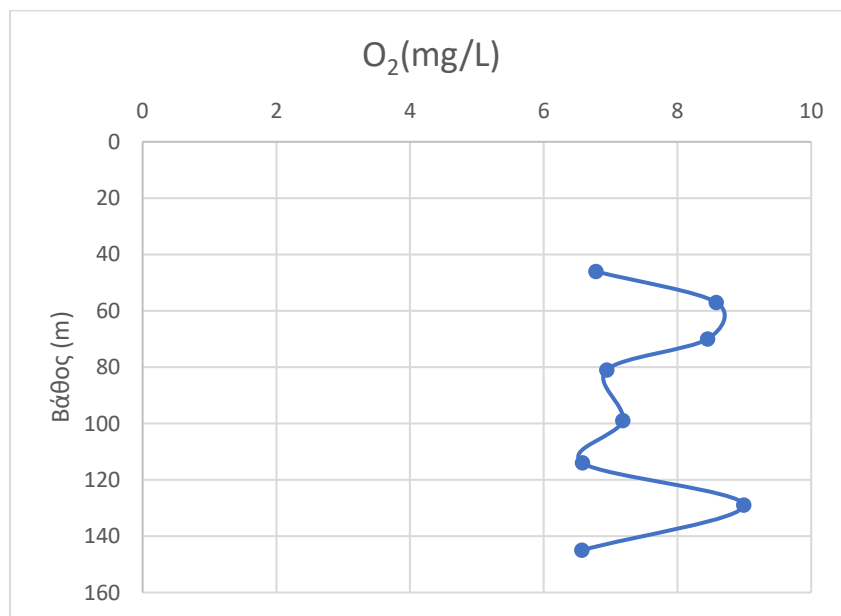
Οι τιμές της θερμοκρασίας στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται από 16,2 έως 16,7°C με μέση τιμή 16,4°C. Η θερμοκρασία είναι γενικά σταθερή από την επιφάνεια μέχρι τα 60 m βάθος στους 16,2-16,3°C, ενώ αυξάνεται απότομα κατά 0,4 μονάδες σε βάθος μεγαλύτερο των 60 m φτάνοντας τους 16,7°C όπου σταθεροποιείται και πάλι (70-90 m βάθος). Την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2023 η μέση θερμοκρασία του υπόγειου νερού ήταν 18,5°C (Καζάκης κ.ά., 2024).

5.2.4 Διαλυμένο Οξυγόνο (O₂)

Η έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη οξυγόνου στο υπόγειο νερό, το οποίο έχει μικρή διαλυτότητα. Σε νερά που δεν ανανεώνονται αλλά είναι παλαιά, παρατηρούνται μικρές περιεκτικότητες οξυγόνου, ενώ σε νερά που ανανεώνονται συχνά παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις οξυγόνου (Βουδούρης, 2009). Επιπλέον, μικρές περιεκτικότητες οξυγόνου δείχνουν έντονη ρύπανση με οργανικές ουσίες στο υπόγειο νερό επειδή καταναλώνεται για την οξείδωσή τους, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις σε επίπεδο κορεσμού, δείχνουν καθαρό νερό.

Γενικά, το διαλυμένο οξυγόνο στο υπόγειο νερό εξαρτάται από την θερμοκρασία (όσο υψηλότερη θερμοκρασία, τόσο λιγότερο το οξυγόνο), την οργανική ύλη, την ύπαρξη ή μη φυτών που φωτοσυνθέτουν και τη διείσδυση του φωτός (Βουδούρης, 2009). Η μέση συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε καθαρό νερό είναι 9-10 mg/L, με συγκέντρωση 5-6 mg/L να είναι το όριο για την συντήρηση της ζωής, ενώ για διαλυμένο οξυγόνο < 4 mg/L επικρατούν ανοξικές συνθήκες.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.8) παρουσιάζεται η διακύμανση της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε διαλυμένο οξυγόνο με το βάθος, από μετρήσεις στη γεώτρηση Βλάχος 4 τον Μάιο 2023.



Σχήμα 5.8: Η διακύμανση με το βάθος του διαλυμένου οξυγόνου στην περιοχή έρευνας την περίοδο Μαΐου 2023.

Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται από 6,6 έως 9 mg/L για τον Μάιο 2023. Επίσης, δύο μετρήσεις αργότερα μέσα στον Μάιο και τον Ιούνιο δείχνουν ότι η συγκέντρωση αυξήθηκε στα 10-11 mg/L κάτι που δείχνει βελτίωση της ποιότητας (Καζάκης κ.ά., 2024).

5.2.5 Ολική Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού σχετίζεται με την ύπαρξη διασθενών μεταλλικών κατιόντων στο νερό, κυρίως του Ca^{2+} και του Mg^{2+} , τα οποία διαλύονται και καθιζάνουν ως άλατα ασβεστίτη. Για αυτόν τον λόγο, η σκληρότητα αποτελεί σημαντικό κριτήριο καταλληλότητας για διάφορες χρήσεις του νερού ή και για την ανθρώπινη κατανάλωση.

Υπάρχουν 3 είδη σκληρότητας (Βουδούρης, 2009):

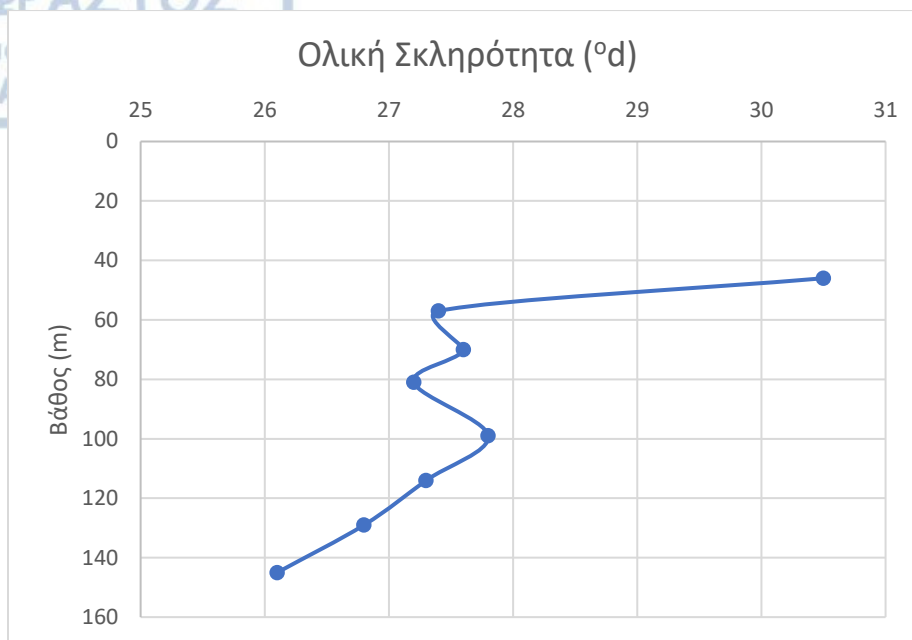
- Η **παροδική ή ανθρακική** σκληρότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα του Ca^{2+} και του Mg^{2+} , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.
- Η **μόνιμη ή μη ανθρακική** σκληρότητα που οφείλεται στην ένωση αλκαλικών γαιών με το θεικό ιόν (SO_4^{2-}) (από οξείδωση σιδηροπυρίτη), το ιόν χλωρίου (Cl^-) και το νιτρικό ιόν (NO_3^-).
- Η **ολική σκληρότητα** που αποτελεί το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας και εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mgr/L) ή σε βαθμούς σκληρότητας (Γαλλικούς ή Γερμανικούς).

Το νερό με βάση την ολική σκληρότητα διακρίνεται σε (Βουδούρης, 2009):

- Μαλακό: 4-8 °d
- Ελαφρώς σκληρό: 8-14 °d
- Μέτρια σκληρό: 14-18 °d
- Σκληρό: 18-24 °d.

Το θαλασσινό νερό θεωρείται πολύ σκληρό νερό.

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Σχήμα 5.9**) παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος της ολικής σκληρότητας του νερού στην περιοχή έρευνας σε Γερμανικούς βαθμούς °d (1 °d= 17,86 mg/L $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) την περίοδο Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.9: Οι μεταβολές της ολικής σκληρότητας με το βάθος στην περιοχή έρευνας.

Όπως παρατηρείται από το διάγραμμα, η ολική σκληρότητα στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 26,1 έως 30,5 °d, κάτι που καθιστά το νερό ιδιαίτερα σκληρό. Ειδικά στα πρώτα 50 μέτρα βάθος συναντάται η μεγαλύτερη σκληρότητα ενώ σχεδόν σταθεροποιείται σε βάθος 60-110 μέτρα στους 27,5 περίπου βαθμούς και μειώνεται βαθύτερα των 120 m. Τους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο 2023 η ολική σκληρότητα μειώθηκε στους 22-23 °d (απλώς σκληρό νερό) (Καζάκης κ.ά., 2024) .

5.3 Κατανομή των κύριων ιόντων

Οι διαλυμένες ουσίες, τα ιόντα και τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στο νερό, επηρεάζουν και καθορίζουν μαζί με τις υπόλοιπες φυσικοχημικές παραμέτρους την ποιότητα του υπόγειου νερού (Σούλιος, 2006). Ωστόσο, στο υπόγειο νερό τα ιόντα δεν εμφανίζονται με τις ίδιες συγκεντρώσεις σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας ακόμα και εντός του ίδιου υδροφορέα.

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού επηρεάζεται από την παραμονή του στο υπέδαφος λόγω της φόρτισης του με ιόντα και μεταβάλλεται στον χώρο και στον χρόνο λόγω ανάμειξης του με γειτονικούς υδροφορείς. Επίσης, η χημική σύσταση του υπόγειου νερού μεταβάλλεται σημαντικά καθώς κινείται και αποθηκεύεται μέσα σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα που το εμπλουτίζουν σε διαφορετικά ιόντα (Panagopoulos, 1995). Τέλος, η ποιότητα του νερού επηρεάζεται σημαντικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες λόγω της απόθεσης αποβλήτων και λιπασμάτων που κατεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα και τον εμπλουτίζουν σε ιόντα (Καζάκης, 2013) .

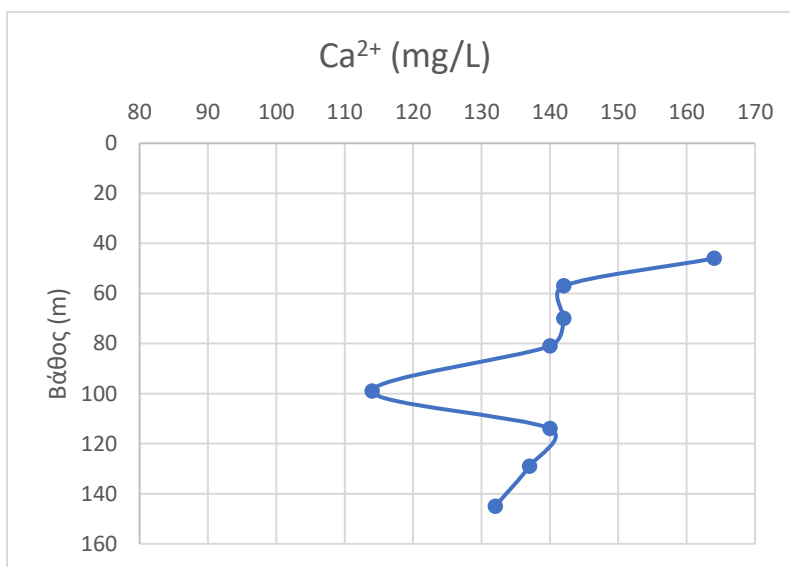
5.3.1 Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{2+})

Τα ιόντα ασβεστίου που περιέχονται στο νερό συνδέονται άμεσα με το γεωλογικό περιβάλλον που κινείται το υπόγειο νερό και για αυτό αποτελούν κάποια από τα σημαντικότερα ιόντα που είναι διαλυμένα σε αυτό (Καλλέργης, 2000). Το ασβέστιο στο νερό προέρχεται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα και από μάρμαρα καθώς βρίσκεται στα ορυκτά του ασβεστίτη, του αραγονίτη, και του δολομίτη. Επίσης ασβέστιο βρίσκεται σε ορυκτά όπως οι άστριοι, η γύψος, ο φθορίτης, οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι και τα ορυκτά του επιδότου. (Βουδούρης, 2009). Τέλος, σε περιπτώσεις υφαλμύρινσης σε παράκτιους υδροφορείς, γίνεται ανταλλαγή κατιόντων και απελευθερώνονται ιόντα Ca^{2+} , ενώ απορροφόντα κατιόντα από το θαλασσίνο νερό (Na^+ , K^+ , Mg^{2+}) (Walraevens et al., 1993) .

Το ασβέστιο στο υπόγειο νερό βρίσκεται συνήθως σε συγκεντρώσεις μεταξύ των 10 mg/L και 100 mg/L (Σούλιος, 2006). Ωστόσο, η ποσότητα των ιόντων ασβεστίου στο νερό επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως: το pH, τα ασβεσταλκαλιούχα ορυκτά και τις διεργασίες της ιοντανταλλαγής και της καθίζησης και διάλυσης (Morse & Mackenzie, 1990/

Πανίλας, 1998 / Morgantini et al., 2008 / Ketrane et al., 2010). Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο καθορίζει μαζί με το μαγνήσιο την σκληρότητα του νερού.

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Σχήμα 5.10**) παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος, της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε Ca^{2+} για την περίοδο του Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.10: Η διακύμανση της περιεκτικότητας του νερού σε Ca^{2+} τον Μάιο του 2023.

Η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού της περιοχής σε Ca^{+} κυμαίνεται από 114-164 mg/L, δηλαδή γενικά >100 mg/L. Η μεγαλύτερη τιμή (164 mg/L) παρατηρείται κοντά στην επιφάνεια μέχρι τα πρώτα 50 m, ενώ η μικρότερη (114 mg/L) σε βάθος 100 m. Στα υπόλοιπα βάθη η τιμή της περιεκτικότητας του νερού σε Ca^{+} είναι περίπου σταθερή στα 132-142 mg/L. Τους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο, 2023 η περιεκτικότητα σε Ca^{2+} μειώνεται σε 105-110 mg/L (Καζάκης κ.ά., 2024), ενώ η μέση τιμή σε Ca^{2+} για την περιοχή έρευνας είναι 130,73 mg/L.

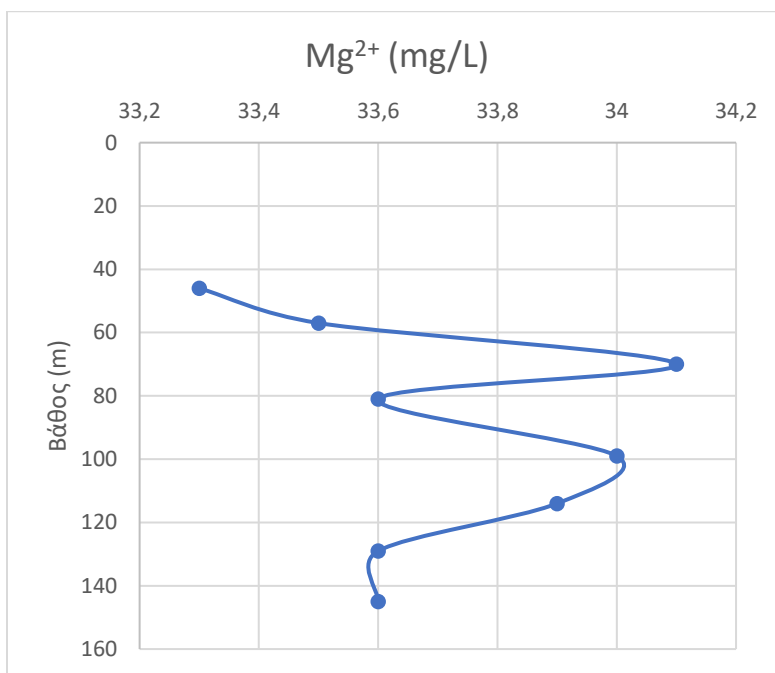
5.3.2 Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})

Τα ιόντα μαγνησίου προέρχονται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα, ενώ υψηλή συγκέντρωση σε Mg^{2+} δείχνει ότι το πέτρωμα περιέχει δολομίτη και μαγνησίτη (Βουδούρης, 2009). Το μαγνήσιο συναντάται στον ολιβίνη $(\text{MgFe})\text{SiO}_4$, τον μαγνησίτη (MgCO_3) και τον δολομίτη $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$. Επίσης, το μαγνήσιο μπορεί να προέρχεται από τη διάλυση των

αργιλοπυριτικών ορυκτών (βιοτίτη, χλωρίτη) στα μεταμορφωμένα πετρώματα, καθώς είναι προσροφημένο στο πλέγμα τους (Βουδούρης, 2009)

Το Mg^{2+} εμφανίζεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις από το Ca^{2+} και ο λόγος Ca^{2+}/Mg^{2+} δείχνει αν το νερό είναι θαλασσινό ($Ca^{2+}/Mg^{2+}=0,25$) ή υφάλμυρο ($Ca^{2+}/Mg^{2+}=1,5-3,7$) και ασβεστολιθικό ($Ca^{2+}/Mg^{2+}=1,6$) ή δολομιτικό ($Ca^{2+}/Mg^{2+}=1,25$) (Βουδούρης, 2009). Το Ca και το Mg αποτελούν τα κύρια ιόντα που καθορίζουν τη σκληρότητα του νερού. Η περιεκτικότητα των ιόντων Mg^{2+} στο υπόγειο νερό, είναι συνήθως $< 50 \text{ mg/L}$ (Καλλέργης, 2000), ενώ μεγάλες συγκεντρώσεις δείχνουν συσχέτιση με οφιολιθικά νερά.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.11), παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος, της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας σε Mg^{2+} την περίοδο Μαΐου 2023.



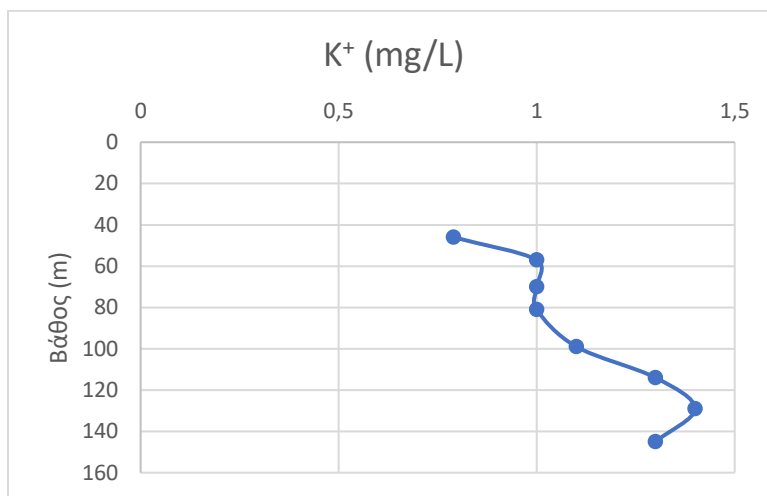
Σχήμα 5.11: Οι μεταβολές του Mg^{2+} με το βάθος στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας τον Μάιο 2023.

Η περιεκτικότητα σε Mg^{2+} του νερού της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 33,3 mg/L έως 34,1 mg/L που είναι εντός των φυσιολογικών ορίων. Η μέση τιμή σε Mg^{2+} για την περιοχή έρευνας είναι 33,85 mg/L, τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριος 2023 (Καζάκης κ.ά., 2024). Συνεπώς, ο λόγος Ca^{2+}/Mg^{2+} για την περιοχή έρευνας, ισούται με 3,86 κάτι που καθιστά το υπόγειο νερό γενικά γλυκό.

5.3.3 Ιόντα Καλίου (K^+)

Τα ιόντα Καλίου προέρχονται κυρίως από τη χρήση καλιούχων λιπασμάτων στη γεωργία. Παράλληλα, το K^+ σχετίζεται και με διάφορα ορυκτά όπως οι K-ούχοι άστριοι (ορθόκλαστο, μικροκλινής), ο σιλβίνης (KCl) και ο μαρμαρυγίας ($KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)^2$) (Βουδούρης, 2009). Τέλος, μεγάλες συγκεντρώσεις σε K^+ σημειώνονται και σε νερά που βρίσκονται σε μεταλλεία ή θερμές πηγές (Richter and Kreitler, 1993).

Οι περιεκτικότητες του K^+ είναι συνήθως $< 10 \text{ mg/L}$, ενώ στις θερμές πηγές μπορεί να φτάσουν μέχρι και 100 mg/L (Καλλέργης, 2000). Μικρές περιεκτικότητες K είναι ωφέλιμες (συμμετέχει στην ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου), αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί σαπωνοποίηση που έχει διαβρωτική δράση (Βουδούρης, 2009). Από γεωχημικής άποψης, το κάλιο έχει παρόμοια συμπεριφορά με το νάτριο αλλά με μικρότερη κινητικότητα (Καζάκης, 2013). Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.12), παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος της συγκέντρωσης του υπόγειου νερού σε K^+ για την περιοχή έρευνας την περίοδο Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.12: Οι μεταβολές με το βάθος της συγκέντρωσης σε ιόντα καλίου τον Μάιο 2023.

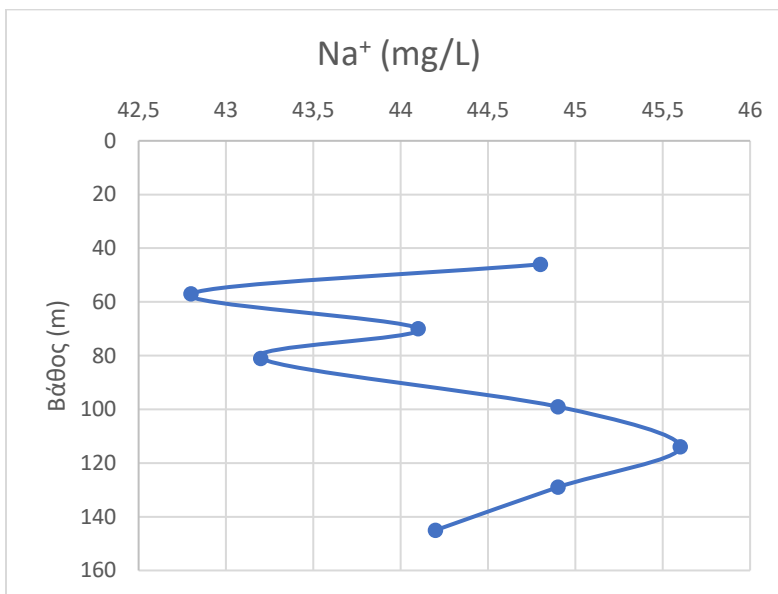
Η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας σε K^+ κυμαίνεται από $0,79 \text{ Mg/L}$ έως $1,4 \text{ mg/L}$, δηλαδή $< 10 \text{ mg/L}$. Τα ιόντα καλίου αυξάνονται με το βάθος στη γεώτρηση μέχρι τα 130 m βάθος, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος η συγκέντρωση φαίνεται σταθεροποιείται περίπου στα $1,2\text{-}1,3 \text{ mg/L}$, σύμφωνα και με τις μετρήσεις του Ιουνίου και Σεπτεμβρίου 2023 (Καζάκης κ.ά., 2024). Η μέση τιμή της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε K^+ είναι $1,14 \text{ mg/L}$.

5.3.4 Ιόντα Νατρίου (Na^+)

Τα ιόντα Νατρίου προέρχονται από τους Na-ούχους άστριους όπως ο αλβίτης ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), τους Na-ούχους αμφίβολους όπως ο γλαυκοφανής, τα αργιλικά ορυκτά και τους εβαπορίτες όπως ο αλίτης (NaCl) (Βουδούρης, 2009). Επιπλέον, τα βιομηχανικά απόβλητα αποτελούν πιθανή προέλευση των ιόντων Na^+ (Καλλέργης, 2000) καθώς και η ανάμειξη με γεωθερμικά νερά (Διαμαντής, 2006). Τέλος, στους παράκτιους υδροφορείς η παρουσία του Na^+ σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια θαλασσινού νερού (Βουδούρης, 2009).

Για το πόσιμο νερό το όριο τιμών καταλληλότητας για τα ιόντα Na^+ είναι μέχρι 50 mg/L (Βουδούρης, 2009). Μεγαλύτερες τιμές έχουν πιθανώς ανθρωπογενή προέλευση ή οφείλονται στην υφαλμύριση (Σούλιος, 2006) και προκαλούν σαπωνοποίηση που δρα διαβρωτικά στους λέβητες, ενώ η πόση του νερού επιφέρει προβλήματα υγείας (Βουδούρης, 2009). Στα υπόγεια νερά, η ενδεικτική συγκέντρωση σε Na^+ είναι περίπου 20 mg/L, ενώ στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται στα 10.000 mg/L (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.13) παρουσιάζεται η διακύμανση της περιεκτικότητας σε Na^+ του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας με το βάθος, για την περίοδο του μήνα Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.13: Οι μεταβολές με το βάθος της συγκέντρωσης του νερού σε Na^+ τον Μάιο 2023.

Η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας σε ιόντα νατρίου (Na^+) κυμαίνεται από 42,8 έως 45,6 mg/L. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στην επιφάνεια του υδροφορέα στα 45 m βάθος αλλά και σε βάθος 115 m. Βαθύτερα των 40 μέτρων η συγκέντρωση των ιόντων Na^+ φαίνεται γενικά με αυξάνεται, ενώ σε βάθος μεγαλύτερο των 115 μέτρων φαίνεται να αρχίζει να μειώνεται. Ωστόσο, οι μετρήσεις για αργότερα μέσα στον Μάιο του 2023 αλλά και τον Ιούνιο και Σεπτέμβριο (Καζάκης κ.ά., 2024), δείχνουν ξανά αύξηση των ιόντων νατρίου με τιμές από 46,3-49,4 mg/L. Γενικά όμως, οι τιμές είναι κάτω από 50 mg/L που είναι το αποδεκτό όριο τιμών αλλά όχι το ενδεικτικό για το υπόγειο νερό (20 mg/L). Η μέση τιμή για την περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Na^+ τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο είναι 45,21 mg/L.

5.3.5 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα προέρχονται από οργανικές, αζωτούχες ενώσεις και παράγονται στο τελικό στάδιο της φυσικής τους αποσύνθεσης. Τέτοιες οργανικές ενώσεις μπορεί να προέρχονται από την ατμόσφαιρα, τα ζωικά περιττώματα, τη χρήση λιπασμάτων, αλλά και από προηγούμενες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο (Βουδούρης, 2009).

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν την πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στη φύση και διαλύονται εύκολα (Αντωνόπουλος, 2010). Η διαδικασία της δημιουργίας τους ονομάζεται νιτροποίηση και αποτελεί μία βιολογική οξείδωση που γίνεται από βακτήρια σε 2 στάδια και σε αερόβιες συνθήκες (Καζάκης, 2013). Τα προϊόντα του πρώτου σταδίου της οξείδωσης είναι τα νιτρώδη ανιόντα (NO_2^-). Η νιτροποίηση οφείλεται σε βιολογικές αντιδράσεις, έτσι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και θερμοκρασίες υψηλότερες των 10°C (Αντωνόπουλος, 2010).

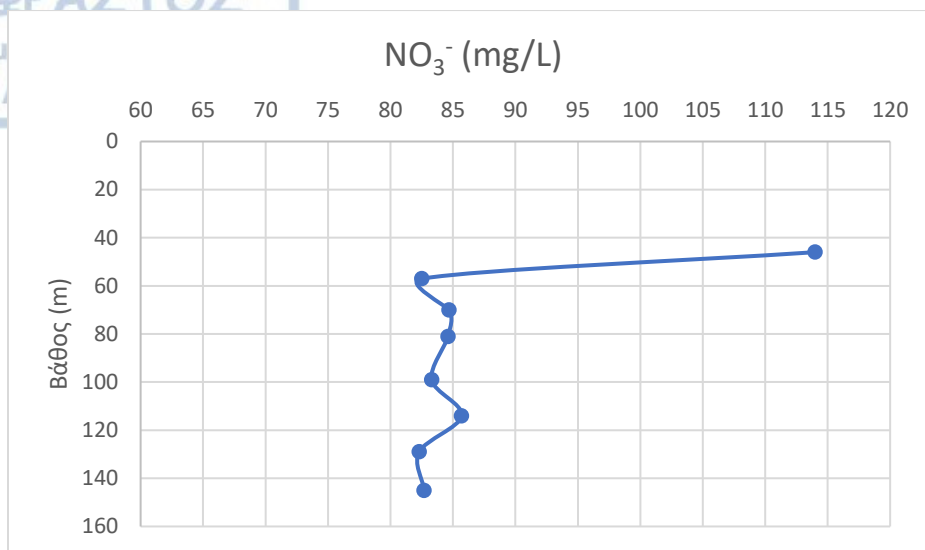
Η βασική διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών ιόντων είναι η αναγωγή τους μέσω της διαδικασίας της απονιτροποίησης, κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε αέριο άζωτο (N_2) ή οξείδια του αζώτου (N_2O , NO) και επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα. Η απονιτροποίηση λαβαίνει χώρα σε αναερόβιες συνθήκες, παρουσία οργανικής ύλης και βακτηρίων (συνθήκες που επικρατούν συνήθως σε έλη, αργιλικά-βαριά εδάφη ή και σε βαθιά νερά) και έχει τελικό προϊόν την αμμωνία (Βουδούρης, 2009).

Η νιτρορρύπανση οφείλεται πρωτίστως στις ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα στην έντονη αγροτική δραστηριότητα και την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Έτσι, η περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα αποτελεί σημαντικό δείκτη για αυτή τη ρύπανση τόσο των υπόγειων όσο και των επιφανειακών νερών. Επιπλέον, η αλόγιστη χρήση οικιακών λυμάτων, η αποστράγγιση αστικών βόθρων και οι διαφυγές των στραγγισμάτων από τους Χ.Υ.Τ.Α. αυξάνουν επίσης την περιεκτικότητα των νιτρικών στο υπόγειο νερό (Καζάκης, 2013).

Τα νιτρικά ιόντα είναι σαν ρύποι πολύ ευκίνητα και λόγω του αρνητικού τους φορτίου δεν είναι εύκολη η δέσμευσή τους από την άργιλο. Έτσι, η διάδοσή τους σχετίζεται με το είδος του εδαφικού σχηματισμού στην ακόρεστη ζώνη. Σε αβαθείς υδροφορείς και σε πετρώματα μεγάλης περατότητας και μη συνεκτικά εδάφη, εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- , επειδή είναι πλούσιοι σε διαλυμένο οξυγόνο και το νερό κινείται με γρήγορο ρυθμό στην ακόρεστη ζώνη (Βουδούρης, 2009). Αντίθετα, στους βαθύτερους υδροφορείς που βρίσκονται κάτω από αργιλικά στρώματα της ακόρεστης ζώνης οι συγκεντρώσεις των NO_3^- είναι μικρές. Τα αργιλικά μόρια συγκρατούν το άζωτο που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και αποτρέπουν την εισχώρηση της αμμωνίας βαθύτερα, αλλά δεν συγκρατούν τα νιτρικά ιόντα (αρνητικό φορτίο).

Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 50 mg/L, ενώ το ιδανικό είναι 25 mg/L. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα προκαλεί σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως διάφορες μορφές καρκινογένεσης (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Σχήμα 5.14**), παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος, της περιεκτικότητας των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας, κατά την περίοδο του Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.14: Οι μεταβολές της περιεκτικότητας των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό με το βάθος, τον Μάιο του 2023.

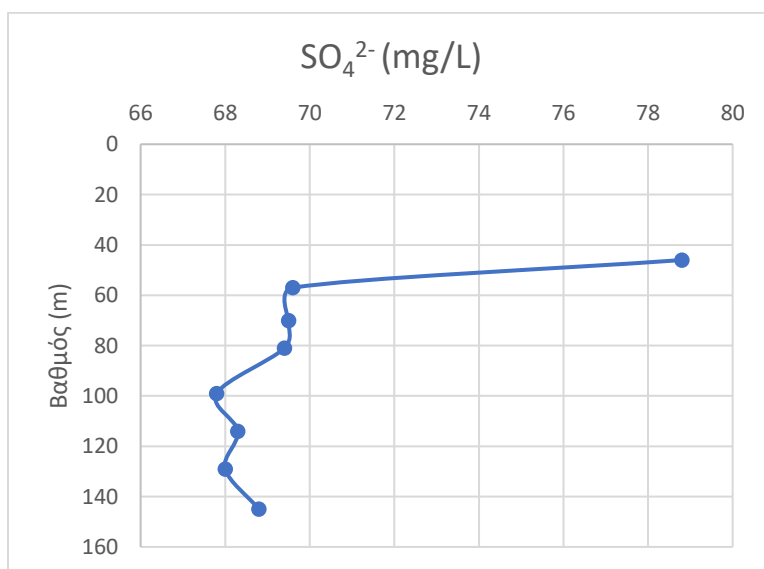
Η περιεκτικότητα των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) στο υπόγειο νερό τον Μάιο του 2023 ήταν σχεδόν σταθερή μεταξύ 83 και 86 mg/L για βάθη από 60 m και βαθύτερα. Αρκετά μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν στα επιφανειακά στρώματα του υδροφορέα στα 40 m βάθος όπου φτάνουν τα 114 mg/L, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική νιτρορύπανση στον υδροφόρο ορίζοντα. Στο τέλος του Μαΐου και τον Ιούνιο και Σεπτέμβριο του 2023 η εικόνα ήταν λίγο πιο ενθαρρυντική με τις τιμές των νιτρικών να πέφτουν στα 58-69,5 mg/L (Καζάκης κ.ά., 2024), τιμές ωστόσο που και πάλι δεν καθιστούν το νερό πόσιμο σε καμία περίπτωση. Γενικά, η μέση τιμή της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε νιτρικά ιόντα είναι 81,41 mg/L για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο 2023.

5.3.6 Θεϊκά ιόντα (SO_4^{2-})

Τα θεϊκά ανιόντα προέρχονται κυρίως από την διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, την χρήση θεϊκών λιπασμάτων τύπου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, από την οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτικών) στα αργιλικά πετρώματα, αλλά και από την γειτνίαση των περιοχών με γεωθερμικά ρευστά, οργανικές αποθέσεις, λιγνίτες κ.λπ. (Βουδούρης, 2009). Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις σε θεϊκά ανιόντα εντοπίζονται σε οφιολιθικά νερά (Σούλιος, 2006) και πολύ υψηλές συγκεντρώσεις πιθανόν να οφείλονται σε όξινα απόβλητα μεταλλείων και σε βιομηχανικά απόβλητα (Καλλέργης, 2000).

Στο υπόγειο νερό, η συγκέντρωση των θεικών ιόντων είναι κάτω από 300 mg/L , εκτός και αν η γεώτρηση επηρεάζεται από τα απόβλητα μεταλλείων (Καλλέργης, 2000). Στο πόσιμο νερό, το μέγιστο όριο για την συγκέντρωση ιόντων SO_4^{2-} είναι τα 250 mg/L. Ενώ το νερό με μεγάλες περιεκτικότητες θεικών ιόντων δρα ως καθαρτικό, για περιεκτικότητες μεγαλύτερες των 250 mg/L, το νερό καθίσταται ακατάλληλο για βιομηχανική χρήση και πόση καθώς αποκτά δυσάρεστη οσμή και γεύση και γίνεται διαβρωτικό (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.15) παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος, της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) για την περίοδο του Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.15: Οι μεταβολές στην περιεκτικότητα των θεικών ιόντων στο υπόγειο νερό, τον Μάιο 2023.

Η περιεκτικότητα των θεικών ιόντων στο υπόγειο νερό τον Μάιο του 2023, κυμαίνεται με το βάθος από 67,8-69,6 mg/L για βάθος άνω των 60 m. Στην επιφάνεια του νερού στα 46 m βάθος η περιεκτικότητα των SO_4^{2-} ανέρχεται στα 78,8 mg/L, ενώ αργότερα τον ίδιο μήνα η τιμή ανήλθε στα 123 mg/L (Καζάκης κ.ά., 2024), τιμή αισθητά μεγαλύτερη που δείχνει επιφανειακή ρύπανση. Ωστόσο, οι τιμές γενικά είναι κάτω από 250 mg/L που είναι το ανώτερο όριο. Ειδικά, επόμενες μετρήσεις τον Ιούνιο και Σεπτέμβριο του 2023 δείχνουν μικρότερες τιμές από 50,4 έως 53,2 mg/L (Καζάκης κ.ά., 2024). Η μέση τιμή της περιεκτικότητας θεικών ιόντων για την περιοχή έρευνας είναι 72,28 mg/L για την περίοδο Μαΐου, Ιουνίου, Σεπτεμβρίου 2023.

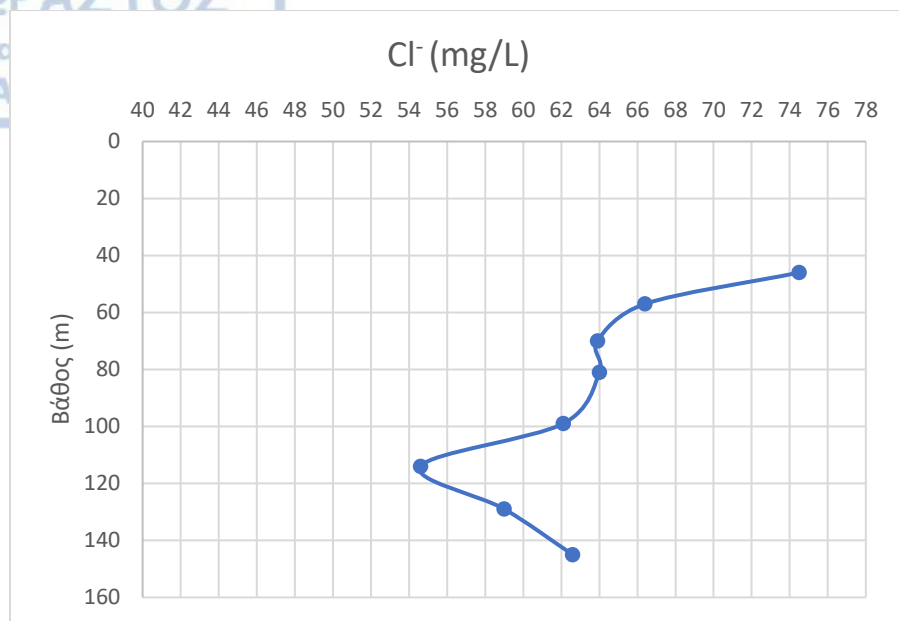
5.3.7 Ιόντα Χλωρίου (Cl^-)

Τα ιόντα χλωρίου προέρχονται από τα ιζηματογενή πετρώματα με αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας προέλευσης και ειδικά από τους εβαπορίτες και δευτερευόντως από μαγματικά πετρώματα (Βουδούρης, 2009). Επίσης, ιόντα χλωρίου μπορούν να προέλθουν από θερμές πηγές ή και τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς, ενώ μεγάλη συγκέντρωση χλωρίου μπορεί να δηλώνει την παρουσία παλιού εγκλωβισμένου θαλασσινού νερού (Δεβλιώτη, 2016). Τέλος, ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η χρήση αλάτων για το οδόστρωμα, βιομηχανικά απόβλητα, η καύση πλαστικών στις βιομηχανικές περιοχές και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια αποτελούν επίσης σημαντικές πηγές Cl^- (Βουδούρης, 2009).

Επειδή τα ιόντα χλωρίου (Cl^-) βρίσκονται συνεχώς σε διάλυση, δεν αντιδρούν εύκολα με στερεά σωματίδια και κινούνται με την ταχύτητα του νερού, ο υπολογισμός της συγκέντρωσής τους μπορεί να συμβάλλει στον υπολογισμό της τροφοδοσίας του υδροφορέα από το ισοζύγιο της μάζας του, εφόσον προέρχεται μόνο από τη βροχή (Σούλιος, 2006). Επιπλέον, τα ιόντα Cl^- αποτελούν ιδανικό ιχνηθέτη για τον υπολογισμό της θαλάσσιας διείσδυσης, με οριακή συγκέντρωση τα 100 mg/L (Βουδούρης, 2009).

Ιδανικό όριο συγκέντρωσης χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι τα 25 mg/L και ανώτερο όριο τα 250 mg/L, ενώ είναι αποδεκτές τιμές άνω των 10 mg/L (Βουδούρης, 2009). Ενώ το χλώριο χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού, μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων Cl^- κάνουν το νερό γλυφό και μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας (καρδιαγγειακά) (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.16), παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος της περιεκτικότητας των ιόντων χλωρίου στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας, την περίοδο Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.16: Οι μεταβολές με το βάθος της συγκέντρωσης σε χλωριόντα στο υπόγειο νερό τον Μάιο 2023.

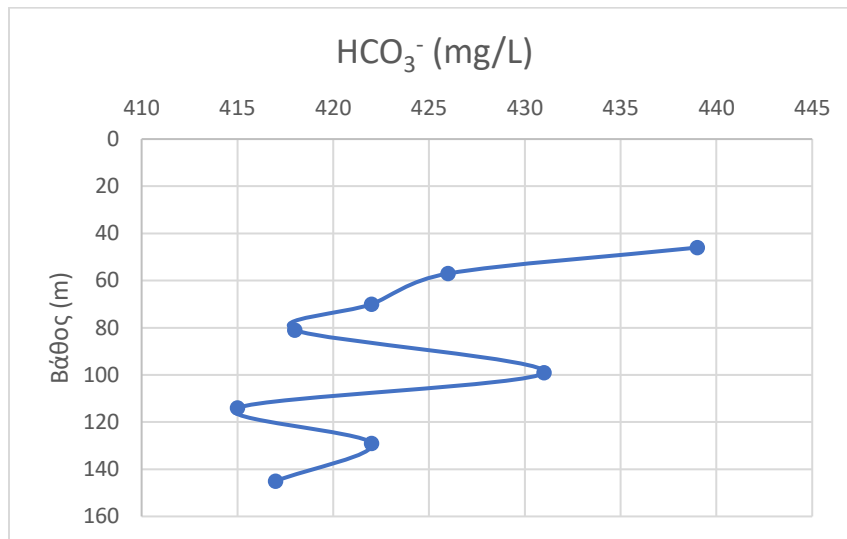
Η περιεκτικότητα σε ιόντα Cl^- την περίοδο του Μαΐου 2023 κυμαινόταν από 54,6 έως 74,5 mg/L, ενώ φαίνεται μία σταδιακή μείωση με το βάθος εντός της γεώτρησης. Μετά τα 115 m βάθος, η περιεκτικότητα αρχίζει να αυξάνεται ελαφρώς, ωστόσο επόμενες μετρήσεις τον Ιούνιο και αργότερα δείχνουν και πάλι μειωμένες τιμές 50-53 mg/L. Μέση τιμή του υπόγειου νερού για την περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου είναι τα 60,2 mg/L για την περίοδο Μαΐου, Ιουνίου 2023. Συνεπώς, οι τιμές είναι <250 mg/L αλλά >25 mg/L που είναι η επιθυμητή περιεκτικότητα για το πόσιμο νερό.

5.3.8 Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Τα όξινα ανθρακικά ανιόντα είναι τα επικρατέστερα ιόντα στο γλυκό υπόγειο νερό. Προέρχονται κυρίως από την διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό, δηλαδή τους ασβεστόλιθους και τους δολομίτες αλλά και από το CO_2 της ατμόσφαιρας και του εδάφους που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση (Βουδούρης, 2009).

Ιδανική συγκέντρωση των ιόντων HCO_3^- είναι τα 500 mg/L (Καλλέργης, 2000). Τα όξινα ανθρακικά ιόντα όταν βρίσκονται σε κατάλληλες περιεκτικότητες ωφελούν την ανθρώπινη υγεία (ρυθμίζουν το pH του οργανισμού), ενώ το CO_2 προσφέρει στο νερό ευχάριστες ιδιότητες (φυσικά ανθρακούχα νερά και σόδες (Βουδούρης, 2009).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.17), παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος, της συγκέντρωσης σε όξινα ανθρακικά ιόντα του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας την περίοδο Μαΐου 2023.



Σχήμα 5.17: Οι μεταβολές με το βάθος, της συγκέντρωσης των HCO_3^- ιόντων τον Μάιο 2023.

Η περιεκτικότητα των ιόντων HCO_3^- κυμαίνεται με το βάθος από 415 έως 439 mg/L, τιμές σχετικά υψηλές αλλά <500 mg/L. Επόμενες μετρήσεις τον Μάιο και τον Ιούνιο 2023 δείχνουν παρόμοιες συγκεντρώσεις 375-410 mg/L (Καζάκης κ.ά., 2024). Γενικά, φαίνεται μία μείωση της περιεκτικότητας με το βάθος εντός της γεώτρησης με ανώτερη τιμή στην επιφάνεια του νερού 40-50 m. Η μέση τιμή της περιεκτικότητας σε HCO_3^- ιόντα είναι 416,45 mg/L για την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2023.

5.4 Χαμηλές ή μη ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις ιόντων

Από τις αναλύσεις που έγιναν διαπιστώθηκαν ορισμένες πολύ μικρές ή μη ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις κύριων ιόντων σε όλα τα βάθη εντός της γεώτρησης. Αυτές ήταν οι περιεκτικότητες:

- ιόντων μαγγανίου (Mn^{2+}) που μετρήθηκε $<10 \mu g/L$ ή δεν ανιχνεύθηκε,
- νιτρωδών ανιόντων (NO_2^-) που μετρήθηκε $<0,03 \text{ mg/L}$ ή δεν ανιχνεύθηκαν, με ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση τα $0,1 \text{ mg/L}$ (όχι ρύπανση από λύματα),
- ιόντων αμμωνίου (NH_4^+) που μετρήθηκε $<0,06 \text{ mg/L}$ ή δεν ανιχνεύθηκε,
- φωσφορικών ιόντων (P) που μετρήθηκαν $<1,53 \text{ mgPO}_4/L$ ή δεν ανιχνεύθηκαν, με ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 5 mg/L (όχι επίδραση φωσφορικών λιπασμάτων και φαινομένων ευτροφισμού) και ,
- ολικού σιδήρου Fe (Fe^{2+} , Fe^{3+}) που μετρήθηκε γενικά $<10 \mu g/L$, εκτός από μία μέτρηση τον Ιούνιο 2023 που ανήλθε στα $38 \mu g/L$ (πιθανά να οφείλεται σε σκουριές από τη σωλήνωση της γεώτρησης). Ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης ολικού σιδήρου είναι τα $20 \mu g/L$.

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθούν οι συγκεντρώσεις του ολικού χρωμίου (Cr) και του ολικού αρσενικού (As) καθώς έχουν σημαντικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ενώ το χρώμιο (Cr) απαντάται στη φύση ως τρισθενές (οξείδια, υδροξείδια και διαλυτά κατιόντα χρωμίου) και ως εξασθενές (ανιόντα χρωμίου, χρωμικό βάριο και διχρωμικό νάτριο), στην Ελλάδα έχει διαπιστωθεί ότι το 90% των συγκεντρώσεων των νερών με ολικό Cr, αποτελούνται από εξασθενές χρώμιο (Mitrakas et al., 2012). Ωστόσο, το εξασθενές χρώμιο είναι πολύ τοξικό για τους οργανισμούς και θεωρείται καρκινογόνο.

Γενικά, το εξασθενές χρώμιο στα υπόγεια νερά έχει φυσική προέλευση και σχετίζεται με την αλληλεπίδραση του νερού με οφιολιθικά πετρώματα (οξείδωση τρισθενούς χρωμίου σε υπερβασικά πετρώματα ή εδάφη), σύμφωνα με σύγχρονες μελέτες (Cooper, 2002, Fantoni et al., 2002, Morisson et al., 2009, Moraetis et al. 2012, Mitrakas et al., 2012). Πιθανή ανθρώπινη προέλευση του χρωμίου είναι τα βυρσοδεψεία, οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, η παραγωγή χρωμάτων και χρωστικών ουσιών, η παραγωγή τσιμέντου, η καύση

γαιανθράκων, η απόθεση τέφρας και η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων με χρώμιο (Καζάκης, 2013).

Στην περιοχή έρευνας τον Μάιο 2023, οι τιμές του ολικού χλωρίου κυμάνθηκαν με τη μορφή ιχνοστοιχείου στα 3,3-11,8 ppb ή $\mu\text{g/L}$, με μέση τιμή τα 6,1 ppb, τιμές σχετικά μικρές και όχι ανησυχητικές. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης ολικού χρωμίου στο πόσιμο νερό έχει καθοριστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στα 50 $\mu\text{g/L}$.

Το αρσενικό (As) θεωρείται ένα από τα πιο τοξικά, καρκινογόνα χημικά στοιχεία (U.S.G.S. fact sheet 063-00, 2000) που εντοπίζονται στο υπόγειο νερό. Στη φύση, συναντάται με τη μορφή τρισθενούς και πενταθενούς αρσενικού. Η παρουσία του αρσενικού σχετίζεται με την αλληλεπίδραση του νερού με ηφαιστειακά πετρώματα και προέρχεται κυρίως από τα θειούχα ορυκτά (κόκκινη σανδαράχη, κοβαλτίτης) και τα οξείδια αρσενικού (αρσενολίτης) (Καζάκης, 2013). Πιθανή ανθρώπινη επιβάρυνση με As είναι η χρήση γεωργικών φαρμάκων με αρσενικό, η καύση άνθρακα ή πετρελαίου και η επεξεργασία μεταλλευμάτων με αρσενικό. Τέλος, υψηλές συγκεντρώσεις σε αρσενικό μπορεί να οφείλονται σε ρύπανση από ανάμειξη με γεωθερμικά ρευστά (Καζάκης, 2013).

Στην περιοχή έρευνας τον Μάιο 2023, η περιεκτικότητα σε ολικό αρσενικό ,του υπόγειου νερού με το βάθος κυμάνθηκε από 1,34 έως 2,44 ppb ή $\mu\text{g/L}$, με μέση τιμή 1,67 ppb, τιμές αρκετά χαμηλές και όχι ανησυχητικές. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης ολικού αρσενικού στο πόσιμο νερό είναι τα 10 $\mu\text{g/L}$ (Καζάκης κ.ά., 2024).

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικότερα συμπεράσματα αυτής της εργασίας αφορούν τόσο τη γεωλογία όσο και την υδρογεωλογία και υδροχημεία της περιοχής έρευνας. Αναλυτικά:

— Οι κυριότεροι **γεωλογικοί σχηματισμοί** της περιοχής είναι:

- Κρυσταλλικά και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως γνεύσιοι, φυλλίτες και χαλαζίτες, με παρουσία κανονικών ρηγμάτων, που βρίσκονται στο ορεινό τμήμα της περιοχής έρευνας
- Ανθρακικά πετρώματα, που βρίσκονται στο βόρειο και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας
- Ιζηματογενή και νεότερα πετρώματα, που βρίσκονται στο πεδινό τμήμα της περιοχής έρευνας

— Οι **υδροφορείς** της περιοχής είναι :

- Κοκκώδεις υδροφορείς, ανισότροποι με ακανόνιστες υδροφορίες και επάλληλοι, που σχηματίζονται σε νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς
- Καρστικοί υδροφορείς, που σχηματίζονται σε ανθρακικά πετρώματα, καθώς και
- Υδροφορείς διερρηγμένων σκληρών πετρωμάτων, που σχηματίζονται σε Μεσοζωικούς και Παλαιοζωικούς σχηματισμούς.

— Όσον αφορά τον **χημισμό του υδροφορέα με το βάθος**, η δειγματοληψία βάθους έδειξε:

- Διαφοροποίηση της **Ειδικής αγωγιμότητας** με το βάθος, με υψηλές τιμές στα πρώτα 30-50 m (έως και 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και χαμηλότερες σε μεγαλύτερα βάθη (μέχρι 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Διαφοροποίηση του **pH** με το βάθος, γενικά αυξάνεται με το βάθος μέχρι οριακά τα 100 m όπου και πάλι μειώνεται βαθύτερα.
- Σταθερή **θερμοκρασία** μέχρι 60 m βάθος (16,3 °C) και αύξηση βαθύτερα μέχρι τους 16,7 °C (70-90 m) .
- Σταθερές τιμές **διαλυμένου οξυγόνου** με μικρές μεταβολές με το βάθος (6,6 έως 9 mg/L).

- Διαφοροποίηση της **σκληρότητας** με το βάθος, με υψηλότερες τιμές στην επιφάνεια (30,5 °d) που μειώνονται με το βάθος (μέχρι 26,1 °d).
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **ιόντα ασβεστίου** με το βάθος, με μεγαλύτερες τιμές στην επιφάνεια (40-50 m) που γενικά μειώνονται με το βάθος
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **ιόντα μαγνησίου** με το βάθος, με μικρότερες τιμές στην επιφάνεια (40-50 m) και επάλληλες αυξομειώσεις με το βάθος (οριακές τιμές 33,3 mg/L έως 34,1 mg/L).
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **ιόντα καλίου** με το βάθος, με μικρότερες τιμές (0,79 mg/L) στη επιφάνεια που αυξάνονται με το βάθος (μέχρι 1,4 mg/L).
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **ιόντα νατρίου** με το βάθος , με γενικά αύξηση με το βάθος μέχρι τα 115 m όπου αρχίζει και πάλι να μειώνεται. Στον υδροφόρο ορίζοντα (40-50 m) η τιμές είναι υψηλές (45 mg/L) και μειώνονται μέχρι τα 60 m όπου αρχίζουν να αυξάνονται.
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **νιτρικά ιόντα** με το βάθος, με ιδιαίτερα υψηλές τιμές (115 mg/L) στην επιφάνεια (45-55 m), αλλά σταθεροποίηση σε βάθη μεγαλύτερα των 60 m (83-86 mg/L) (πιθανή αιτία η αλόγιστη χρήση συνθετικών λιπασμάτων και οργανικής ύλης για την υπερβολική λίπανση των καλλιεργειών στην περιοχή έρευνας).
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **θειικά ιόντα** με το βάθος, με υψηλές τιμές (79 mg/L) στην επιφάνεια (45-55 m), αλλά σταθεροποίηση σε βάθη μεγαλύτερα των 60 m (68-70 mg/L)
- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **ιόντα χλωρίου** με το βάθος, με υψηλές τιμές (74,5 mg/L) στην επιφάνεια (45-55 m) που μειώνονται με το βάθος μέχρι τα 115 m βάθος, όπου βαθύτερα φαίνεται σταδιακά να αυξάνονται.

- Διαφοροποίηση της περιεκτικότητας σε **όξινα ανθρακικά ιόντα** με το βάθος, με υψηλές τιμές (439 mg/L) στην επιφάνεια (45-55 m) που γενικά μειώνονται με το βάθος. Παρουσιάζεται μία σημειακή αύξηση στα 100 m βάθος (431 mg/L).
- Δεν υπάρχουν υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων όσων αφορά τις περιεκτικότητες σε αρσενικό (<10 μg/L) και χρώμιο (<50 μg/L) στο υπόγειο νερό.

Ορισμένες **προτάσεις για την επίλυση των ζητημάτων** που αφορούν την ποιότητα και την διαχείριση του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας είναι οι ακόλουθες :

- Βελτίωση και συντήρηση του δικτύου διανομής και εντοπισμός και επισκευή χαλασμένων υδρομέτρων.
- Μείωση της υπέρμετρης κατανάλωσης νερού των πολιτών και των αγροτών και ενθάρρυνση της αποταμίευσης βρόχινου νερού, με κοινωνικές δράσεις ευαισθητοποίησης και την θέσπιση οικονομικών κινήτρων.
- Διακοπή ή μείωση της υπέρμετρης λίπανσης, εφαρμόζοντας τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (ΚΥΑ 16190/1335/97, ΦΕΚ 519Β/25-6-1997) και κατάρτιση σχεδίων λίπανσης ανά αγρόκτημα.
- Μέτρα ορθής γεωργικής πρακτικής και περιορισμός των αντλήσεων ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υφαλμύρισης.
- Διαρκής παρακολούθηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων της περιοχής με την εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης και καθορισμός της διακινδύνευσης και ενός αξιόπιστου ισοζυγίου υπόγειων νερών.
- Καθορισμός ζωνών προστασίας των έργων υδροληψίας της περιοχής έρευνας.
- Επεξεργασία του υπόγειου νερού στις υφιστάμενες γεωτρήσεις και επεμβάσεις στην ποιότητα και ποσότητα νερού του υδροφορέα (π.χ. τεχνητός εμπλουτισμός, απονιτροποίηση με χρήση βακτηρίων κ.λπ.).
- Έρευνα για τον εντοπισμό εναλλακτικών πηγών νερού, με την αξιοποίηση ή την κατασκευή νέων υδρογεωτρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης Κ. (2021). *Τεχνική Υδρογεωλογία, Υπόγεια Νερά*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ. (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ. (2022). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειων νερών*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Δεβλιώτη Κ. (2023). *Υδρογεωλογική Έρευνα και Ποιότητα υπόγειων νερών της λεκάνης της Μυγδονίας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Ζαμπούλη, Α. (2023). *Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Ωραιοκάστρου*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Α.Π.Θ.
- Καζάκης, Ν. (2013). *Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα*. Διδακτορική διατριβή. Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Καλλέργης, Γ., 1986. *Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία*, Τόμος Α, Β». Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Καζάκης, Ν. κ.α. (2024). *Διερεύνηση του υδατικού δυναμικού των υπόγειων υδατικών συστημάτων Δ.Ε. Μυγδονίας με έμφαση στη νιτρορύπανση*. Τεχνική Έκθεση, σελ.182.
- Καλλέργης, Γ. (1999). *Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. 2^η έκδοση, τόμος Α, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., (2000). *Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. 2^η έκδοση, τόμος Β, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., (2001). *Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. 2^η έκδοση, τόμος Γ, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Μουντράκης Δ. (2010). *Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις University Studio Press

Σούλιος, Γ., (1986). *Γενική Υδρογεωλογία*, Πρώτος και Δεύτερος Τόμος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος, Γ., (2004). *Γενική Υδρογεωλογία*, Τρίτος Τόμος. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος, Γ., (2006). *Γενική Υδρογεωλογία*, Τέταρτος Τόμος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σταυρούσης Α. (2014). *Διερεύνηση της νιτρορύπανσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής του Δ.Δ. Δρυμού του Δήμου Ωραιοκάστρου Νομού Θεσσαλονίκης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 327/1, Luxembourg.

Διαχειριστικό Σχέδιο ΛΑΠ Κεντρικής Μακεδονίας (ΕΛ 10), 2017. 1η Αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας. Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων. Ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α/09.12.2003), Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Διαχειριστικό Σχέδιο ΛΑΠ Κεντρικής Μακεδονίας (ΕΛ 10), 2024. 2^η Αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας. Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (ΦΕΚ 70Α/17.5.2024), Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου, Δ.Ε. Ωραιοκάστρου Π.Ε. Θεσσαλονίκης

Ξενόγλωσση

Daskalaki, P., Voudouris, K., (2008). *Groundwater quality of porous aquifers in Greece: a synoptic review*. Environ. Geol. 54, 505–513.

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*. Environ. Earth Sci. 74 (7), 6199– 6209.

Nimfopoulos, M. K., Mylopoulos, N., Katirtzoglou, K.G. (2002). *A qualitative-quantitative study of water and environmental pollution at the broader area of the Mygdonia basin, Thessaloniki*.

Διαδίκτυο

<http://www.google.com/earth/index.html>

<http://geodata.gov.gr/maps/?locale=el>

<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>

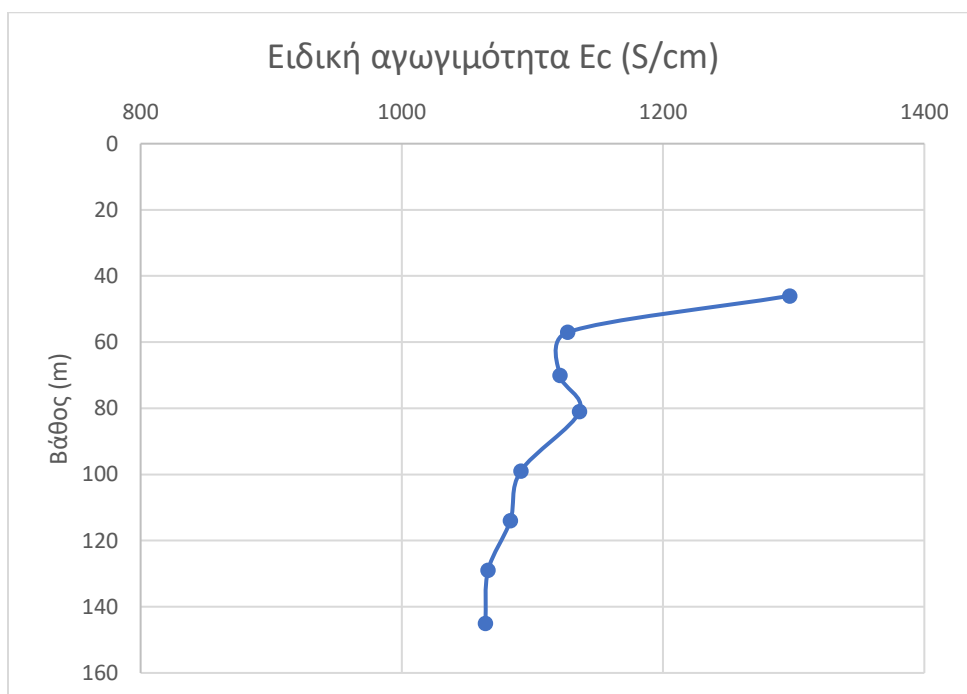
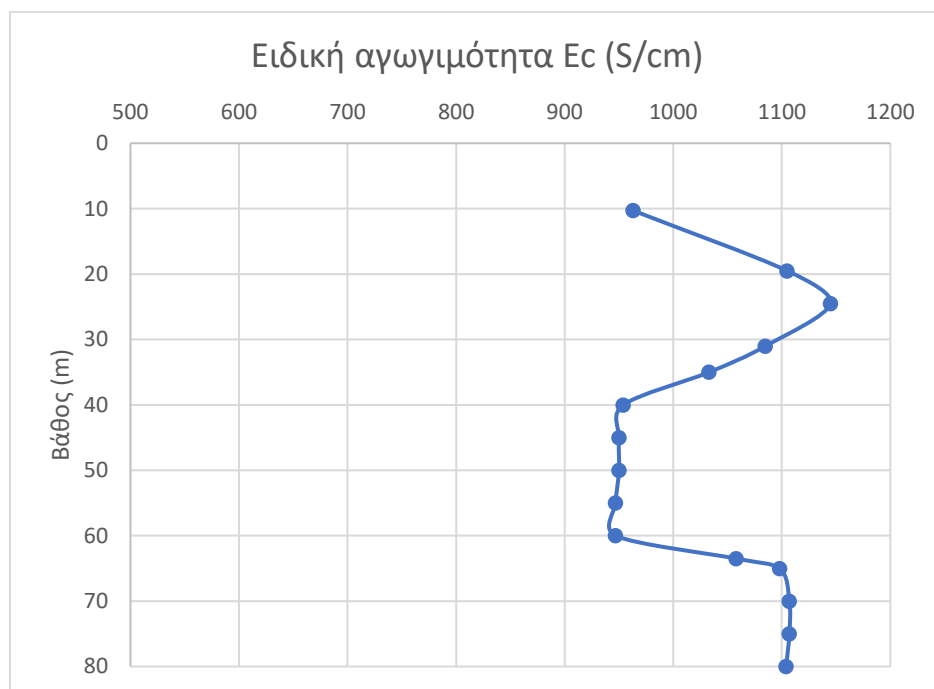
<https://www.e-demography.gr>

<http://wfdgis.ypeka.gr/>

<http://www.emy.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Διαγράμματα κατανομής φυσικοχημικών παραμέτρων με το βάθος :



"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Τμήμα
Α.

