

**Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας**

Διπλωματική Εργασία

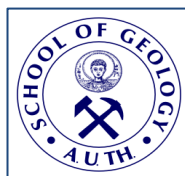
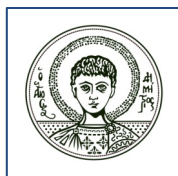
**Θέμα: Υδρογεωλογική μελέτη στην περιοχή
των Ταγαράδων, της λεκάνης του Ανθεμούντα**

Φωτεινή Θέμελη ΑΕΜ: 4556

Μαρία Μαυράκη ΑΕΜ: 4578

Υπεύθυνος καθηγητής: Κ. Βουδούρης

Θεσσαλονίκη 2014



**Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας**

Διπλωματική Εργασία

Θέμα:

**Υδρογεωλογική μελέτη στην περιοχή των Ταγαράδων,
της λεκάνης του Ανθεμούντα**

Φωτεινή Θέμελη ΑΕΜ: 4556

Μαρία Μαυράκη ΑΕΜ: 4578

Υπεύθυνος καθηγητής: Κ. Βουδούρης

Θεσσαλονίκη 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με τον Τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και κατ' επέκταση των προπτυχιακών μας σπουδών, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε μέσα από την καρδιά μας, πρωτίστως τις οικογένειες μας και τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μας, για την αμέριστη αγάπη και στήριξη σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής μας. Επίσης ευχαριστούμε πολύ τον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Βουδούρη, αρχικά για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και για την ευκαιρία που μας έδωσε αλλά και γιατί χωρίς την πολύτιμη καθοδήγηση του δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της εργασίας μας. Κλείνοντας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά για την συμβολή του, την συνεχή στήριξη και τη βοήθεια, που ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωσή της, τον διδάκτορα Νεράντζη Καζάκη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
2.1. Γεωγραφική θέση της ευρύτερης περιοχής.....	9
2.2. Γεωγραφική τοποθέτηση της εξεταζόμενης περιοχής	10
2.3. Μορφολογία της περιοχής	10
2.4. Υδρογραφικό δίκτυο	11
2.5. Κλιματολογικά στοιχεία	12
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί και Παλαιογεωγραφία	13
3.2. Τεκτονική της περιοχής	15
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	
4.1. Γενικά	17
4.2. Υδρογεωτρήσεις	17
4.2.1. Υδρογεώτρηση T1	19
4.2.2. Υδρογεώτρηση T2.....	20
4.2.3. Υδρογεώτρηση T7.....	21
4.2.4. Υδρογεώτρηση T15.....	22
4.2.5. Υδρογεώτρηση T17.....	23
4.2.6. Υδρογεώτρηση T24.....	24
4.2.7. Υδρογεώτρηση T39.....	25
4.2.8. Υδρογεώτρηση T89.....	26
4.2.9. Υδρογεώτρηση T93.....	27
4.3. Πιεζομετρία και διακύμανση στάθμης	28
4.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά των πορωδών υδροφόρων.	32
4.5. Υδροχημικά.....	34
4.6. Ποιότητα Νερών.....	35

4.6.1. Ενεργός Οξύτητα (pH)	35
4.6.2. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	36
4.6.3. Χλωριόντα	37
5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ	
5.1. Εισαγωγή	39
5.2. Τομογραφία.....	39
6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	
6.1. Εισαγωγή	41
6.2. Γεωηλεκτρική δομή και διαμόρφωση του υποβάθρου	41
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	43
8. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	45
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών των φοιτητριών Φωτεινής Θέμελη και Μαρίας Μαυράκη και υπό την εποπτεία του καθηγητή κ. Βουδούρη του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης.

Η εργασία διεξήχθη στην περιοχή Ταγαράδων Θεσσαλονίκης, στη λεκάνη του Ανθεμούντα με αντικείμενο τη μελέτη της υπόγειας υδροφορίας της περιοχής, την ποιότητα των υδάτων και τον καθορισμό της δομής του υποβάθρου με τη βοήθεια ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης.

Το υδρογεωλογικό μέρος της έρευνας πραγματοποιήθηκε με την εποπτεία του κ. Καζάκη και περιλαμβάνει την μελέτη εννιά υδρογεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

Το γεωφυσικό μέρος της έρευνας περιλαμβάνει αντιπροσωπευτική τομογραφία στην περιοχή των Ταγαράδων Θεσσαλονίκης, καταγραφή των δεδομένων, αξιολόγηση και αξιοποίηση τους με σκοπό να χαρτογραφηθεί η γεωηλεκτρική δομή των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν:

- ■ ■ ■ Μελέτη εννιά υδρογεωτρήσεων στην περιοχή των Ταγαράδων.
- ■ ■ ■ Αξιολόγηση των δειγμάτων και δημιουργία της λιθολογικής τομής των γεωτρήσεων.
- ■ ■ ■ Μελέτη της πιεζομετρίας της περιοχής με βάση τις μετρήσεις της στάθμης.
- ■ ■ ■ Δειγματοληψία και υδροχημική ανάλυση των υδάτων της γεώτρησης.
- ■ ■ ■ Αξιολόγηση αντλητικών δεδομένων από μία γεώτρηση.
- ■ ■ ■ Διεξαγωγή τομογραφίας στην περιοχή των Ταγαράδων.
- ■ ■ ■ Ανάλυση των γεωφυσικών δεδομένων και καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υποβάθρου.

Συνδυάζοντας τα υδρογεωλογικά και τα γεωφυσικά δεδομένα συνάγεται η δομή των υδροφόρων στρωμάτων στην περιοχή της μελέτης. Σκοπός της διπλωμα-

τικής αυτής είναι η κατανόηση των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν στην υδρογεωλογική υπόσταση της λεκάνης του Ανθεμούντα και συγκεκριμένα στην περιοχή των Ταγαράδων, καθώς και ο μηχανισμός λειτουργίας τους.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η γεωγραφική της θέση, τα γεωμορφολογικά της χαρακτηριστικά, το κλίμα της και τέλος οι σχέσεις του ανθρώπου με την επιφάνεια αυτής.

2.1. Γεωγραφική θέση ευρύτερης περιοχής

Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στη περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, στο δημοτικό διαμέρισμα των Ταγαράδων που ανήκει στο Δήμο Θέρμης, ενώ γεωγραφικά εντάσσεται στην χερσόνησο της Χαλκιδικής. Ο Δήμος Θέρμης βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης και τοποθετείται στο ανατολικό τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου.

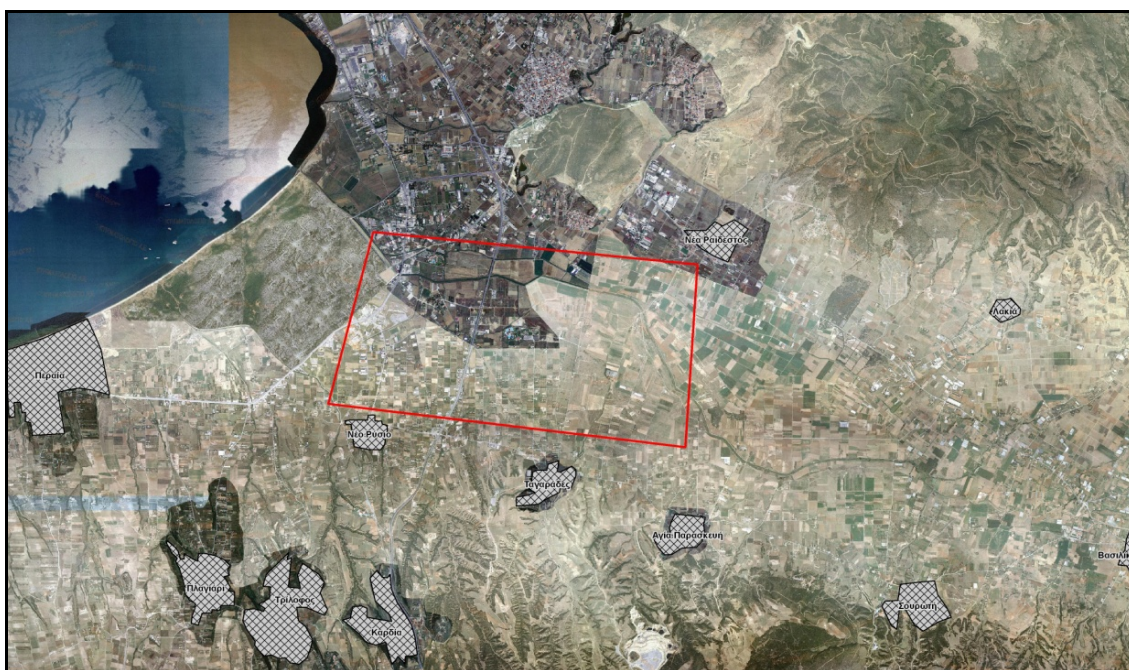
Η περιοχή ανήκει στη λεκάνη του Ανθεμούντα που καλύπτει μια έκταση 318 Km². Το μέγιστο μήκος της είναι 42,5 km με διεύθυνση ΑΔ και το μέγιστο πλάτος της 18,7 km με διεύθυνση ΒΝ. Οι συντεταγμένες του κέντρου της είναι Ε 424485 – Ν 4482420. Το δυτικό όριο της λεκάνης απορροής καλύπτει ο Θερμαϊκός κόλπος, ενώ το εκτεταμένο λοφώδες συγκρότημα της Αγίας Παρασκευής - Σουρωτής - Μονοπήγαδου οριοθετεί την προς νότο προέκτασή της. Βόρεια, φυσικό όριο της λεκάνης συνιστά η οροσειρά Χορτιάτη - Θέρμου μέχρι τις ημιορεινές παρυφές της Γαλάτιστας - Βάβδου οι οποίες οριοθετούν την προς τα Ανατολικά επέκταση της λεκάνης. Σε γενικές γραμμές η λεκάνη του Ανθεμούντα εμφανίζει πολυμορφικές γεωγραφικές ενότητες, καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο, πολυποίκιλα γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα και πολλές και έντονες διαφορές στις χρήσεις γης (Φίκος Η., Ζιάνκας Γ., Παυλίδου Ε., Φάμελλος Σ., 2000).



Σχήμα 1: Μορφολογικός χάρτης, γεωγραφική τοποθέτηση της υδρολογικής λεκάνης Ανθεμούντα κατά Φίκο Η., Ζιάνκα Γ., Παυλίδου Ε., Φάμελλο Σ., 2000).

2.2. Γεωγραφική θέση εξεταζόμενης περιοχής

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η παρούσα εργασία. Όπως φαίνεται, καλύπτει τμήμα της βορειοδυτικής μεριάς της λεκάνης Ανθεμούντα. Η περιοχή μελέτης στα βορειοανατολικά συνορεύει με τη Νέα Ραιδεστό, νοτιοδυτικά με το Νέο Ρύσιο και νοτιοανατολικά με τους Ταγαράδες και την Αγία Παρασκευή. Παρατηρείται ότι η περιοχή έρευνας είναι λοφώδης έως πεδινή και περιλαμβάνει τόσο οικιστικές όσο και καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με επικρατέστερες τις δεύτερες, κάτι που θα απασχολήσει τη μετέπειτα μελέτη της.



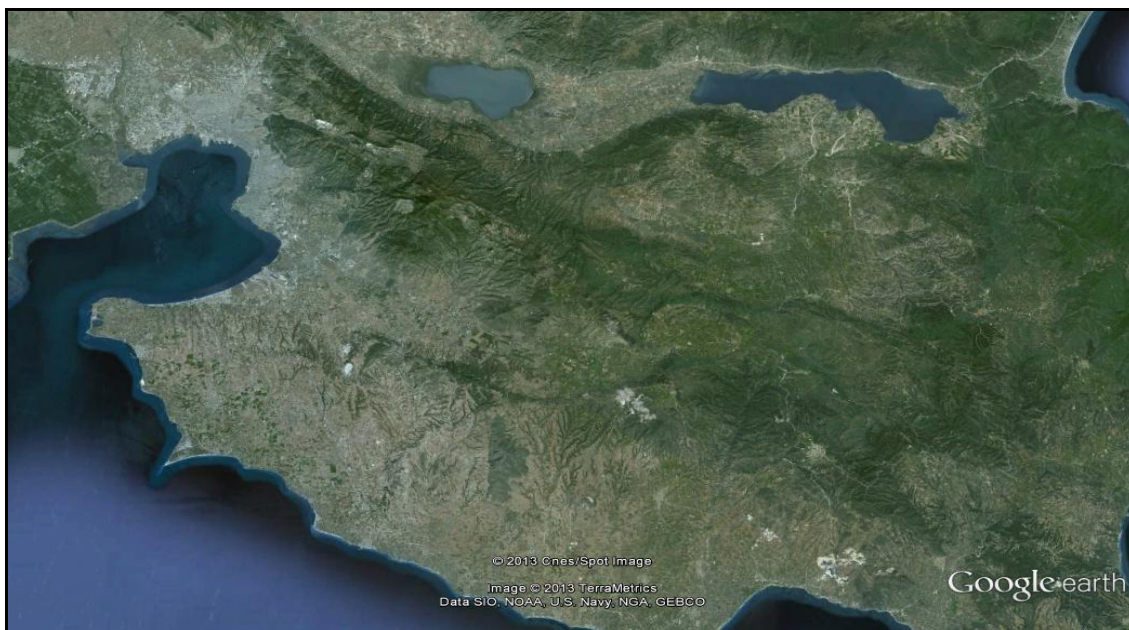
Σχήμα 2: Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης (κόκκινο πλαίσιο) από Google maps.

2.3. Μορφολογία της περιοχής

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής καθορίζονται από τα πετρώματα αυτής, την τεκτονική εξέλιξη και το κλίμα της.

Το εμβαδό της περιοχής υπολογίστηκε σε $E=374,69\text{km}^2$ και η περίμετρος $P=127,43\text{km}$. Το μέγιστο μήκος της είναι $42,57\text{km}$, διεύθυνσης ΑΔ και το μέγιστο πλάτος $18,7\text{km}$ με διεύθυνση ΒΝ.

Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής μπορεί να χαρακτηριστεί σχετικά ομαλό, με μικρές ως μεσαίες κλίσεις στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής και μέση κλίση 20%, έτσι η μορφολογία χαρακτηρίζεται ως πεδινή - λοφώδης. Το μέσο υψόμετρο που συναντάται είναι 259,3m, ενώ το εύρος των υψομέτρων κυμαίνεται από 0 έως 1201m που αντιστοιχεί στο ύψος του Χορτιάτη.



Σχήμα 3: Μορφολογικός χάρτης της λεκάνης Ανθεμούντα και της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης από Google earth.

2.4. Υδρογραφικό δίκτυο

Η λοφώδης τοπογραφία της εξεταζόμενης περιοχής, χαρακτηρίζεται και από ένα έντονο υδρογραφικό δίκτυο, καθώς αυτή διαρρέεται τόσο από τον ποταμό Ανθεμούντα, όσο και από κάποιους από τους παραποτάμους του.

Ο ποταμός Ανθεμούντας εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο. Έχει μήκος 38km. Κατά το μεγαλύτερο τμήμα του χρόνου είναι ξηρός, ενώ το χειμώνα η μεταφορική του δυνατότητα αυξάνεται λόγω των έντονων βροχοπτώσεων. Εκτός των άλλων αυτό αποτελεί και ένα ενδεικτικό του μεσογειακού κλίματος της περιοχής.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Ανθεμούντα και το παράκτιο τμήμα Αεροδρομίου «Μακεδονία» - Αγία Τριάδα είναι δενδριτικής μορφής, καλά αναπτυγμένο, με κύριο κλάδο 6ης τάξης κατά Strahler (1952).

2.5. Κλιματολογικά στοιχεία

Επειδή με τον όρο κλίμα δεν μπορούμε να αναφερθούμε σε μία τόσο μικρή για τα κλιματολογικά δεδομένα περιοχή, όπως είναι η εξεταζόμενη περιοχή θα εξετασθεί το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης που την εμπεριέχει. Το κλίμα της περιοχής, όπως προαναφέρθηκε είναι μεσογειακού τύπου. Σε μεσογειακού τύπου κλίμα, η μέση ετήσια βροχόπτωση έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης από ξηρό έως υγρό. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής είναι 400-600mm. Τους θερινούς μήνες επικρατεί ξηρασία, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα το κλίμα γίνεται πιο υγρό. Για το λόγο αυτό ο ποταμός Ανθεμούντας κατά το καλοκαίρι δεν έχει καθόλου νερό, ενώ το χειμώνα και την άνοιξη μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί και Παλαιογεωγραφία

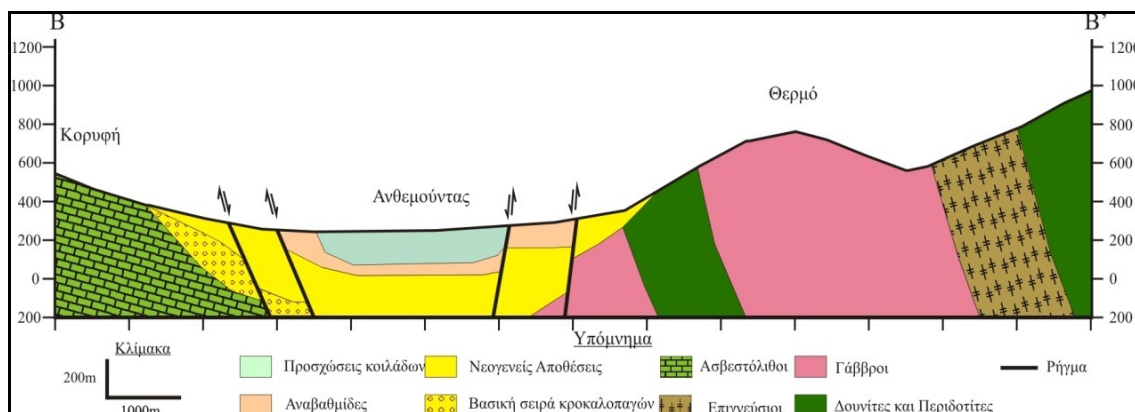
Η περιοχή έρευνας γεωτεκτονικά ανήκει τόσο στη ζώνη Αξιού (υποζώνη Παιονίας) όσο και στην Περιοδοπική ζώνη (ενότητες Μελισσοχωρίου - Χολομώντα και Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη) που εντάσσονται στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Τέλος εμφανίζεται και το υπόβαθρο της ενότητας Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής Μάζας. Στην επιφάνεια της λεκάνης του Ανθεμούντα εμφανίζονται μόνο τα ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές - Τεταρτογενές στην ευρύτερη λεκάνη Αξιού - Θεσσαλονίκης.

Η κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιοδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατώφεια της ηπειρωτικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας που βρίσκεται στα δυτικά και αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Η Περιοδοπική είναι η ανατολικότερη Εσωτερική ζώνη, δηλαδή αποτελεί την εσωτερικότερη Αλπική Ελληνική ζώνη, που περιβάλλει την παλιά κρυσταλλική μάζα της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής Μάζας. Εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10 – 20km, με ΒΔ- ΝΑ διεύθυνση στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης, 1958). Λόγω του χαρακτήρα ηπειρωτικής κατώφειας που προαναφέρθηκε συναντάμε χαρακτηριστικά πετρώματα τύπου φλύσχη και τουρβιδίτες (ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα) αλλά και μαγματικά πετρώματα (ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη) λόγω ηπειρωτικής διάρρηξης (bimodal ηφαιστειότητα), όλα Περμοτριάδικής ηλικίας. Φυσικά η ιζηματογένεση θα παρουσιάζει συνθήκες βάθυνσης όσο προχωράμε προς το χώρο του Αξιού όπου και οι συνθήκες ιζηματογένεσης γίνονται καθαρά πελαγικές.

Η Ζώνη Αξιού είναι ο ωκεάνιος χώρος μεταξύ της Ροδοπικής χέρσου και της Πελαγονικής ράχης. Λόγω της λειτουργίας της στο παρελθόν ως ωκεανού, χαρακτηρίζεται από μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της και συνιστούν στο σύνολό τους την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» της Ελλάδος, γνωστή με το όνομα “ΙΡΟ”. Η υποζώνη της Παιονίας αντιπροσωπεύει τμή-

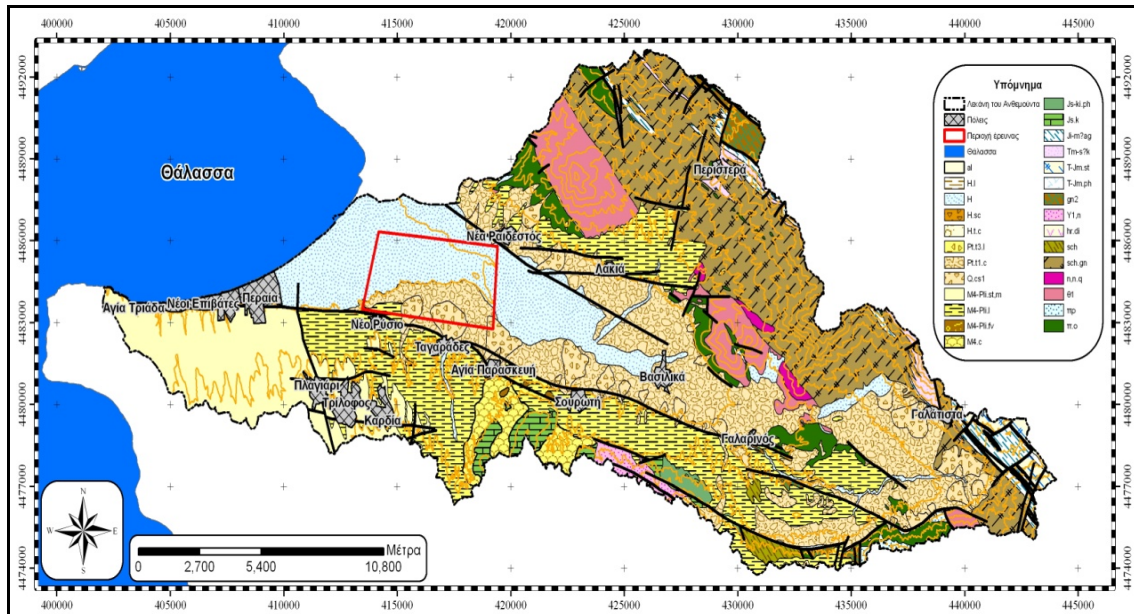
μα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος και συνορεύει στα ανατολικά με την Περιοδοπική. Η υποζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από λεπιοειδή τεκτονική λόγω Τριτογενούς συμπίεσης και αποτελείται από ασβεστόλιθους, μάρμαρα, ηφαιστειοκλαστικά, σχιστόλιθους, οφειόλιθους και γρανίτης που ηλικιακά τοποθετούνται από το Τριαδικό μέχρι το Ιουρασικό (Μουντράκης, 1958).

Όλα τα παραπάνω αφορούν το υπόβαθρο της περιοχής, όπως προαναφέρθηκε όμως, στη επιφάνεια της λεκάνης του Ανθεμούντα εμφανίζονται μόνο τα ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές - Τεταρτογενές στην ευρύτερη λεκάνη Αξιού - Θεσσαλονίκης. Η λεκάνη αυτή έχει μεγάλο πλάτος και διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Καλύπτεται από ποταμοχειμάρια και λιμναία ιζήματα. Σ' όλη την έκταση της λεκάνης συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις, πλευρικά κορήματα, ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων, ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων και σκληρές μάργες, ψαμμιτομαργαϊκή σειρά, σειρά ερυθρών αργίλων, τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι και μια βασική σειρά κροκαλοπαγών (Συρίδης, 1990). Από βαθιές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα υψώματα νότια της κοιλάδας του Ανθεμούντα διαπιστώθηκε η ασύμφωνη τοποθέτηση των νεογενών ιζημάτων της λεκάνης Αξιού - Θεσσαλονίκης πάνω στα μολассικά ιζήματα της «μολασσικής αύλακας Αξιού». Γενικά, οι ιζηματογενείς αποθέσεις της λεκάνης χαρακτηρίζονται από πολύ έντονες πλευρικές μεταβολές κατά τόπους γεγονός που δημιουργεί πολύ έντονες διαφοροποιήσεις στη στρωματογραφία και ουσιαστικά δεν επιτρέπει την δημιουργία ομοιογενούς στρωματογραφίας για μεγάλα τμήματα της λεκάνης. Στη παρούσα μελέτη μας ενδιαφέρουν οι αποθέσεις του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς.



Σχήμα 4: Αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης (Καζάκης, 2013).

Όπως φαίνεται στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη στη περιοχή μελέτης εμφανίζονται τρεις σχηματισμοί, ο Q.cs1 (Τεταρτογενείς κώνοι κορημάτων και αλλουβιακά ριπίδια), ο Pt.t1.c (Πλειστοκαινικές αποθέσεις αναβαθμίδων και κροκαλοπαγή) και ο H (Ολοκαινικές αποθέσεις ανθρωπογενούς προέλευσης).



Σχήμα 5: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Καζάκης, 2013).

3.2. Τεκτονική της περιοχής

Η λεκάνη του Ανθεμούντα αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ. Το κυριότερο ρήγμα της περιοχής έρευνας είναι το ενεργό ρήγμα του Ανθεμούντα με μήκος περίπου 32km και διεύθυνση ανατολή-δύση, που έχει προκαλέσει την βύθιση του υποβάθρου προς το κέντρο της λεκάνης. Είναι ένα κανονικό ρήγμα που δραστηριοποιείται από το Μ.Πλειστόκαινο (Α. Ζερβοπούλου, Σ. Παυλίδης '08). Το ρήγμα εκτείνεται από το Γαλαρηνό μέχρι και τον οικισμό του Αγγελοχωρίου. Είναι ένα από τα περισσότερα μελετημένα ρήγματα στην ανατολική πλευρά της πόλης και το μήκος του φτάνει τα 32km. Ο σεισμός που έδωσε το 1752, αφήνοντας πίσω του και θύματα, αποτελεί και την πρώτη καταγραφή μεγάλου σεισμού στην περιοχή. Το ρήγμα είναι πιο ενεργό στην περιοχή Αγγελοχωρίου - Περαιάς. Το 2005 προκάλεσε καθίζηση στην περιοχή της Περαιάς σε μήκος 450

μέτρων και θεωρείται ότι το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού που μπορεί να προκαλέσει είναι 6,5 Ρίχτερ. Βρίσκεται στο όριο της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς και των πρόσφατων παράκτιων αποθέσεων, στο νότιο μορφολογικό όριο της λεκάνης του Ανθεμούντα.

Το νεοτεκτονικό ρήγμα του Ανθεμούντα επηρεάζει σημαντικά το υδρογεωλογικό καθεστώς της λεκάνης και ειδικότερα στην υδραυλική επικοινωνία των δύο υπολεκανών που δημιουργεί η αναθόλωση του υποβάθρου στο Γαλαρινό αλλά και άλλα ζητήματα σημαντικά για την υδρογεωλογία της περιοχής. Τέτοια ζητήματα είναι η εμφάνιση αυξημένης γεωθερμικής βαθμίδας σε μεγάλη έκταση στη λεκάνη και ο ρόλος του ρήγματος ως δρόμου ανόδου των θερμών νερών προς μικρότερα βάθη. Ανοικτό επίσης ζήτημα είναι το κατά πόσο το ρήγμα διευκολύνει (ή διευκόλυνε στο παρελθόν) την είσοδο υφάλμυρου νερού από την θάλασσα προς την ενδοχώρα υποβαθμίζοντας ποιοτικά το νερό της λεκάνης (Φίκος Η., Ζιάνκας Γ., Παυλίδου Ε., Φάμελλος Σ., 2000).



Σχήμα 6: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Δ.Δ. Περαίας (Παυλίδης κ.ά, 2007) που παρουσιάζει το ρήγμα του Ανθεμούντα.

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

4.1. Γενικά

Η περιοχή μελέτης της λεκάνης του Ανθεμούντα παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με την εκμετάλλευση των υδατικών της πόρων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον αγροτικό χαρακτήρα της περιοχής, τις αυξημένες απαιτήσεις σε νερό των σύγχρονων αγροτικών καλλιεργειών και των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Στην περιοχή η άρδευση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιφανειακό σύστημα καναλιών καθώς τα επιφανειακά ύδατα είναι περιορισμένα, απουσιάζει κάποιος μεγάλος ποταμός και το κλίμα είναι τέτοιο όπου επικρατεί μεγάλη ξηρασία κατά τους θερινούς μήνες. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στην εκμετάλλευση των υπόγειων νερών της περιοχής με πλήθος γεωτρήσεων, τα οποία πρέπει να καλύψουν τις αγροτικές, αστικές, βιομηχανικές και κτηνοτροφικές ανάγκες της περιοχής.

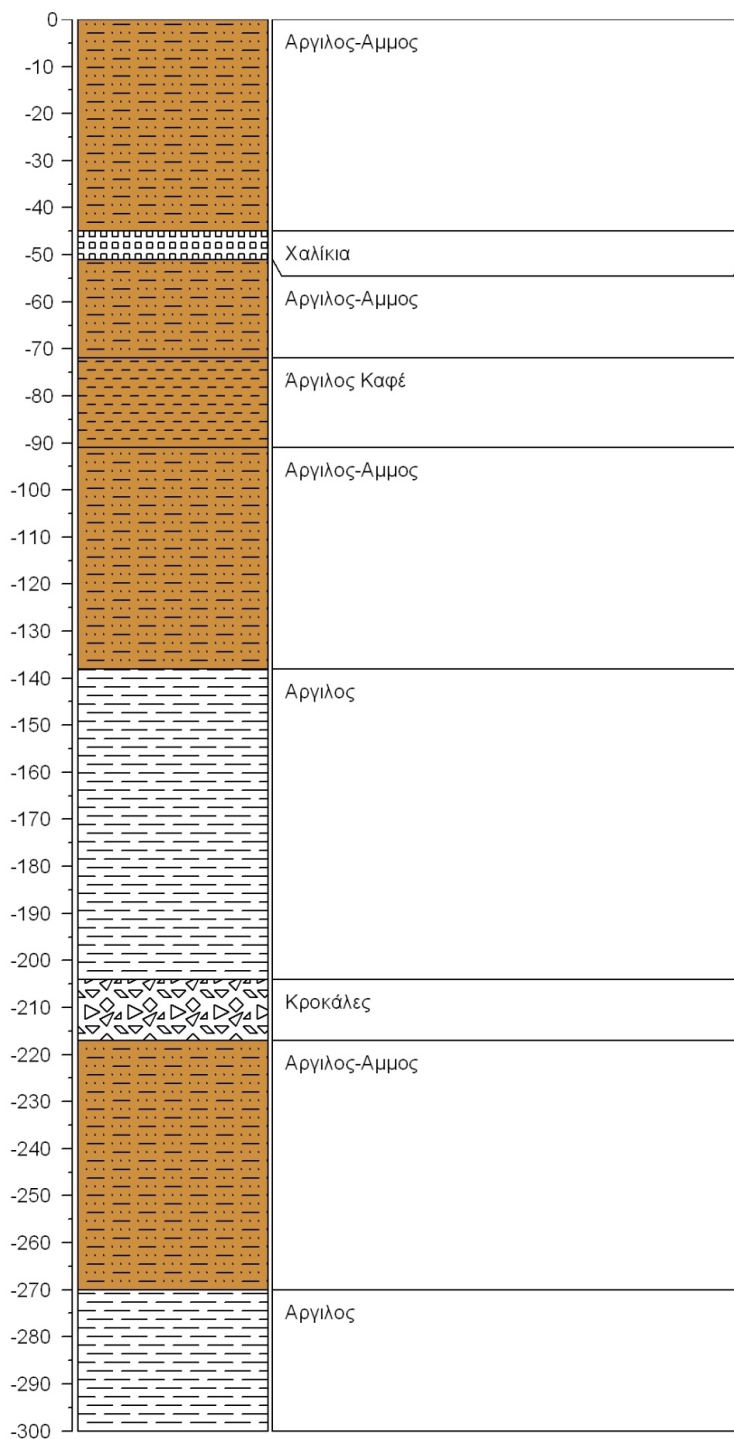
4.2. Υδρογεωτρήσεις

Όπως προαναφέρθηκε, θα εξεταστούν εννιά υδρογεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην εξεταζόμενη περιοχή από τις οποίες θα λάβουμε πληροφορίες για τα ιζήματα, για το υδρολογικό καθεστώς, τη πιεζομετρία της περιοχής αλλά και την ποιότητα των νερών της. Από αυτές (σχήμα 16) θα προκύψει η υδρογεωλογική δομή του υποβάθρου η οποία στη συνέχεια θα μελετηθεί και με γεωφυσικές μεθόδους.



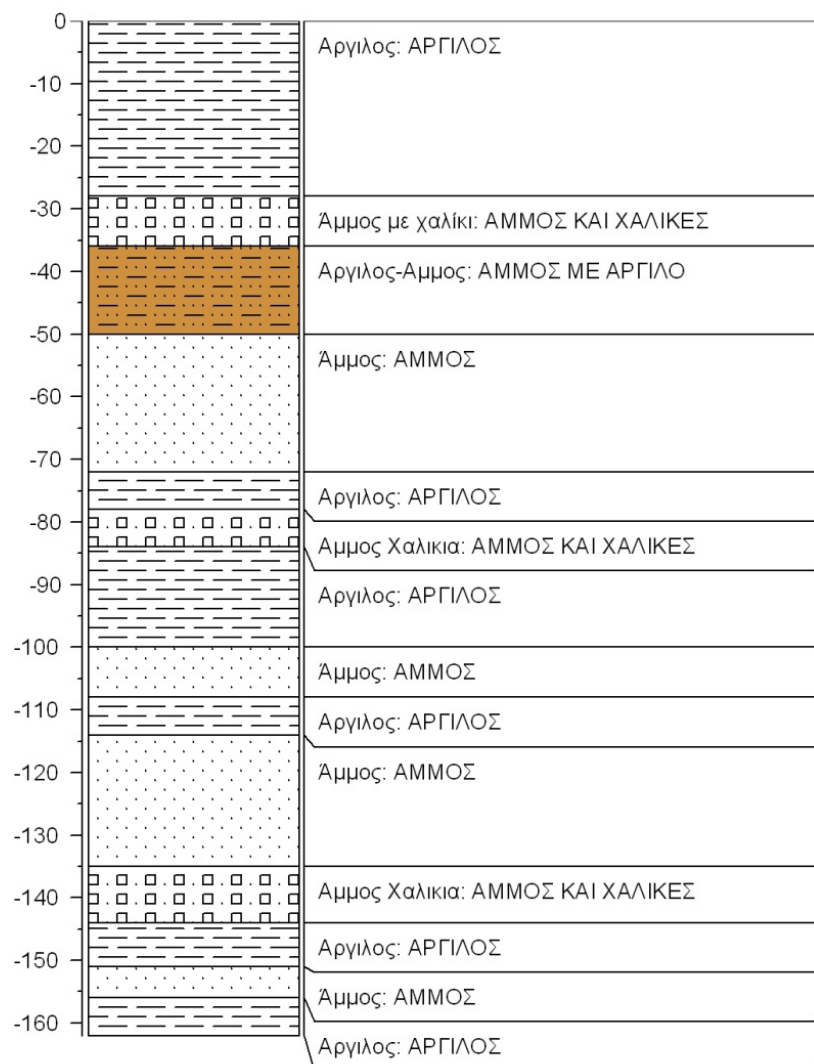
Σχήμα 7: Χάρτης με τη θέση των υδρογεωτρήσεων.

4.2.1. Υδρογεώτρηση T1



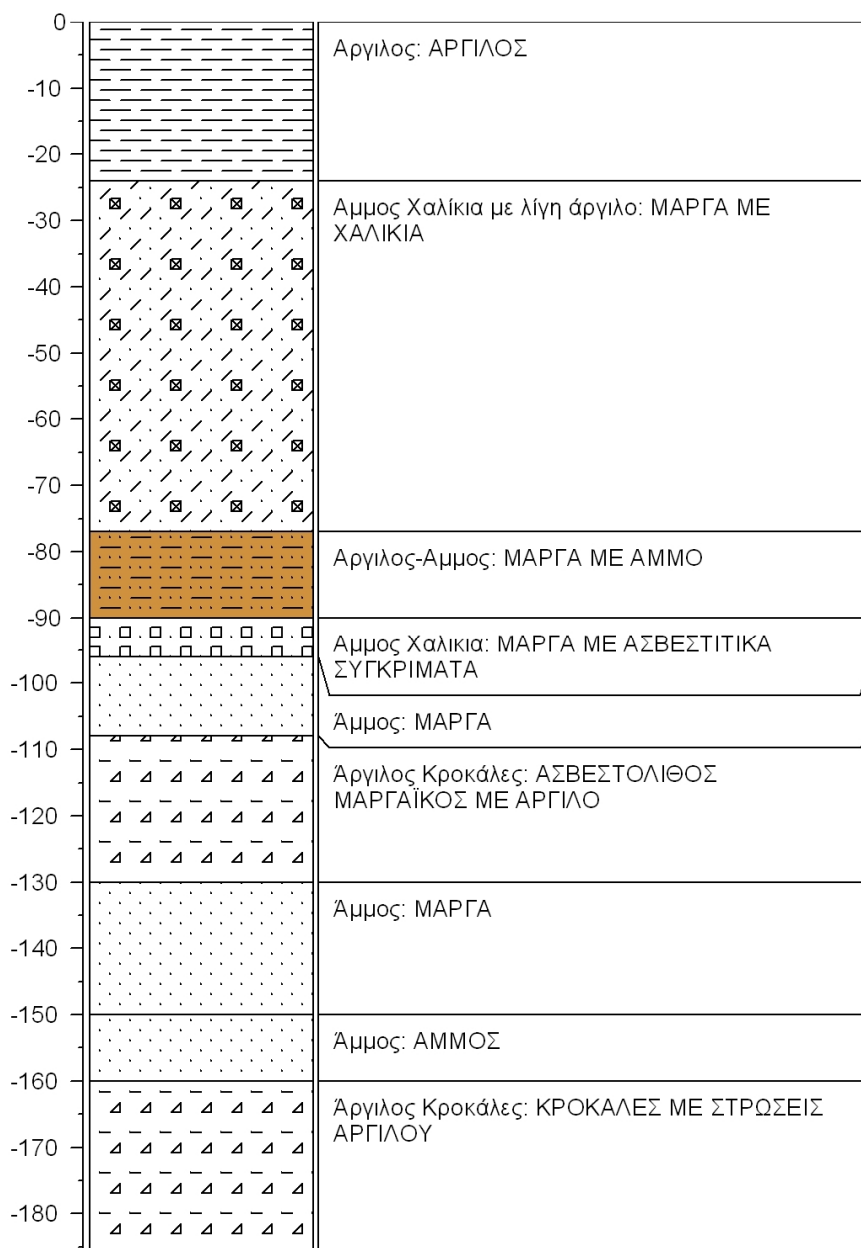
Στην T1 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 10,5m. Παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, όπως **χαλίκια** (45-50m) και **κροκάλες** (205-215m), εναλλαγές αργίλων και άμμων (0-45m, 51-72m, 92-138m και 217-270m) με μικρή υδροφορία και αδιαπέρατοι άργιλοι (72-91m, 139-204m και 271-300m).

4.2.2. Υδρογεώτρηση T2



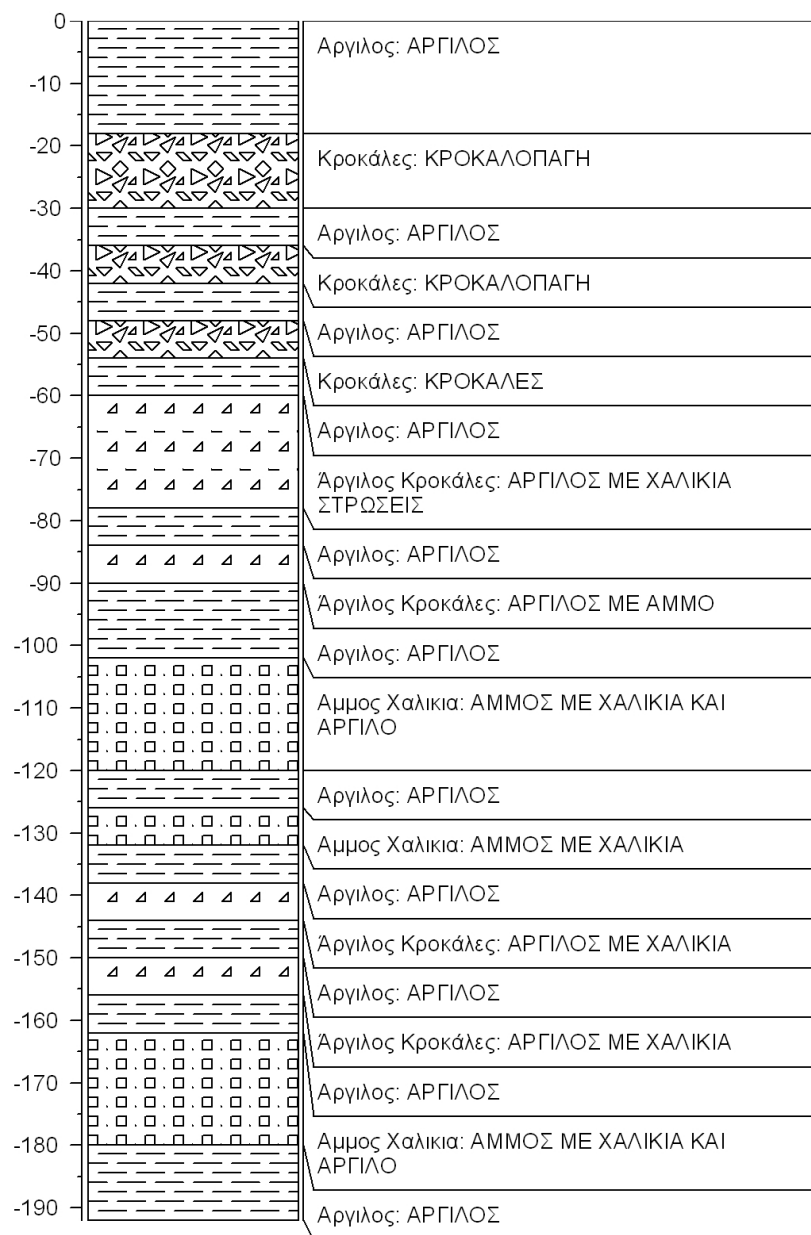
Στην T2 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 10,6m. Παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, όπως **άμμοι με χαλίκια** (27-36m, 77-84m και 135-144m) και **άμμοι** (50-72m, 100-107m, 114-134m και 151-156m), εναλλαγές αργίλων και άμμων (37-49m) με μικρή υδροφορία και τέλος αδιαπέρατοι άργιλοι (0-26m, 73-76m, 85-99m, 108-113m, 145-150m και 157-163m).

4.2.3. Υδρογεώτρηση T7



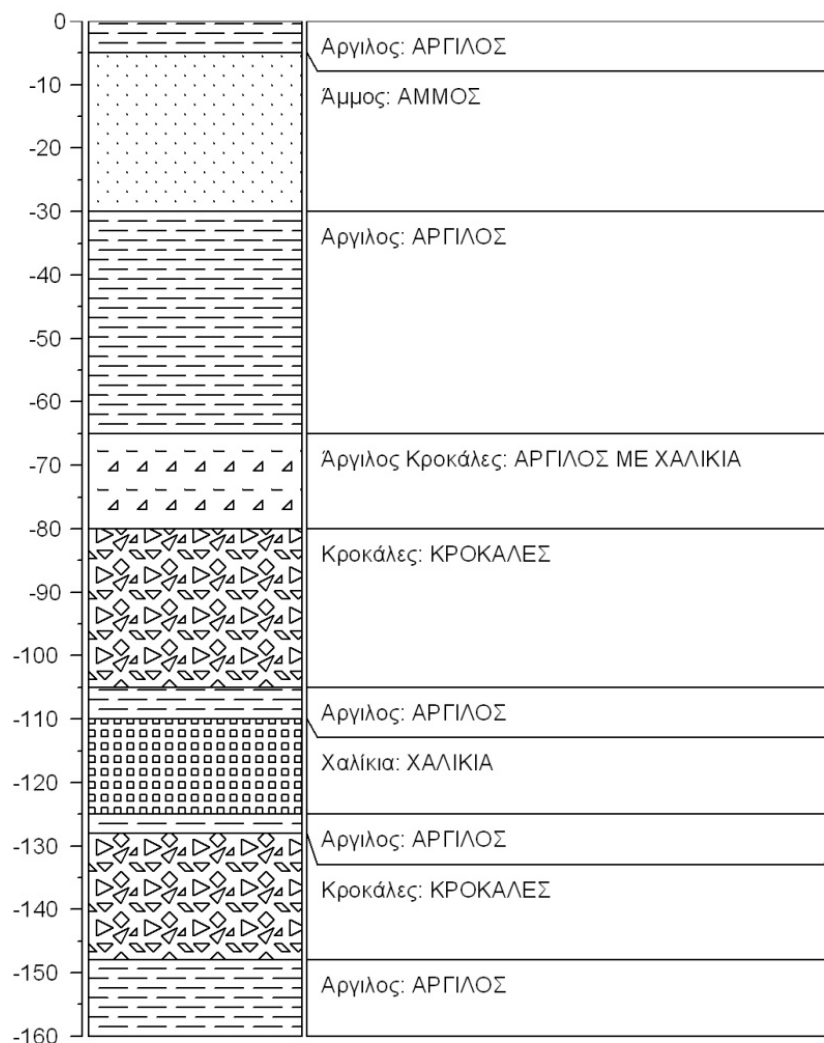
Στην T7 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 15m. Παρατηρούνται **άμμοι** (150-160m) με μεγάλη υδροφορία, εναλλαγές σχηματισμών από μαργαϊκά υλικά (24-149m και 161-186m) με μικρή υδροφορία και σε μικρό βάθος (0-23m) ένα αδιαπέρατο αργιλικό κάλυμμα.

4.2.4. Υδρογεώτρηση T15



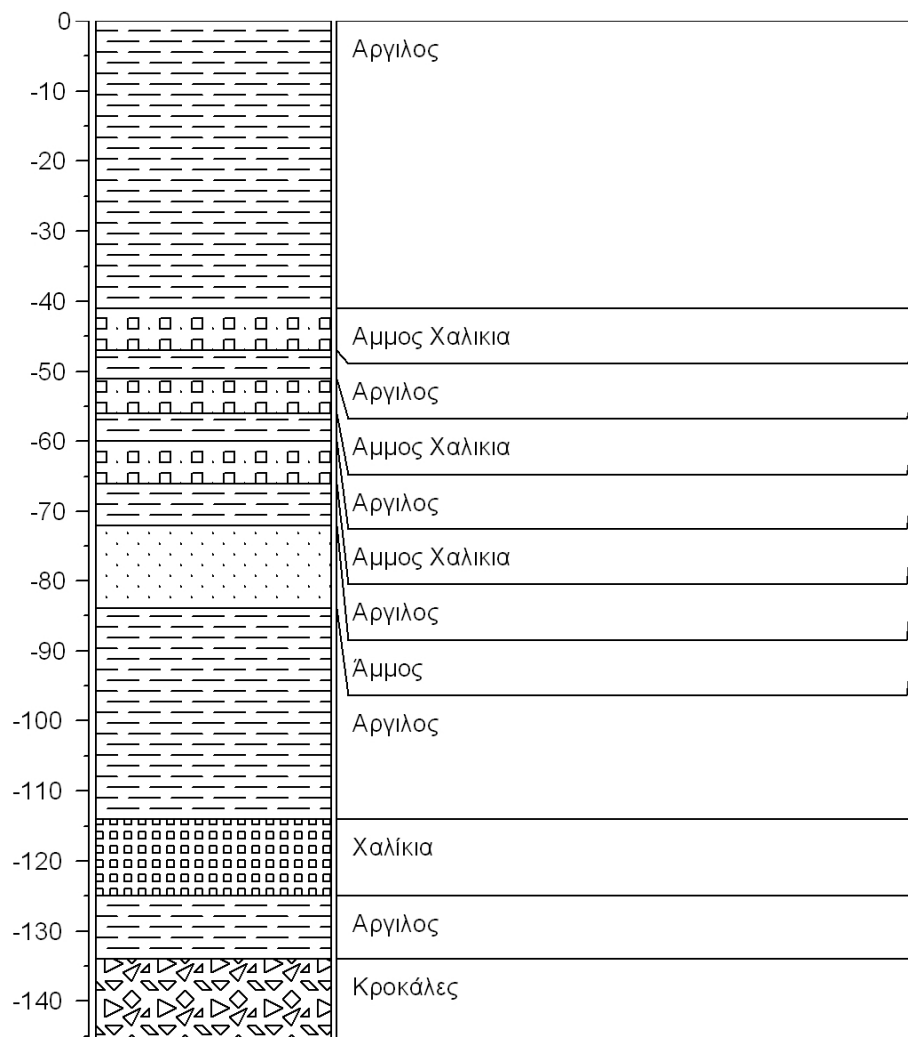
Στην T15 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 22,5m. Παρατηρούνται **κροκάλες** (47-54m) και **άμμοι με χαλίκια** (126-131m) με μεγάλη υδροφορία, εναλλαγές αργίλων, άμμων και χαλικιών (18-30m, 36-42m, 60-77m, 84-90m, 103-120m, 138-144m, 150-156m και 162-180m) με μικρή υδροφορία και τέλος αδιάπερατοι άργιλοι (0-17m, 31-35m, 43-46m, 55-59m, 78-83m, 91-102m, 121-125m, 132-137m, 145-149m, 157-161m και 181-192m).

4.2.5. Υδρογεώτρηση T17



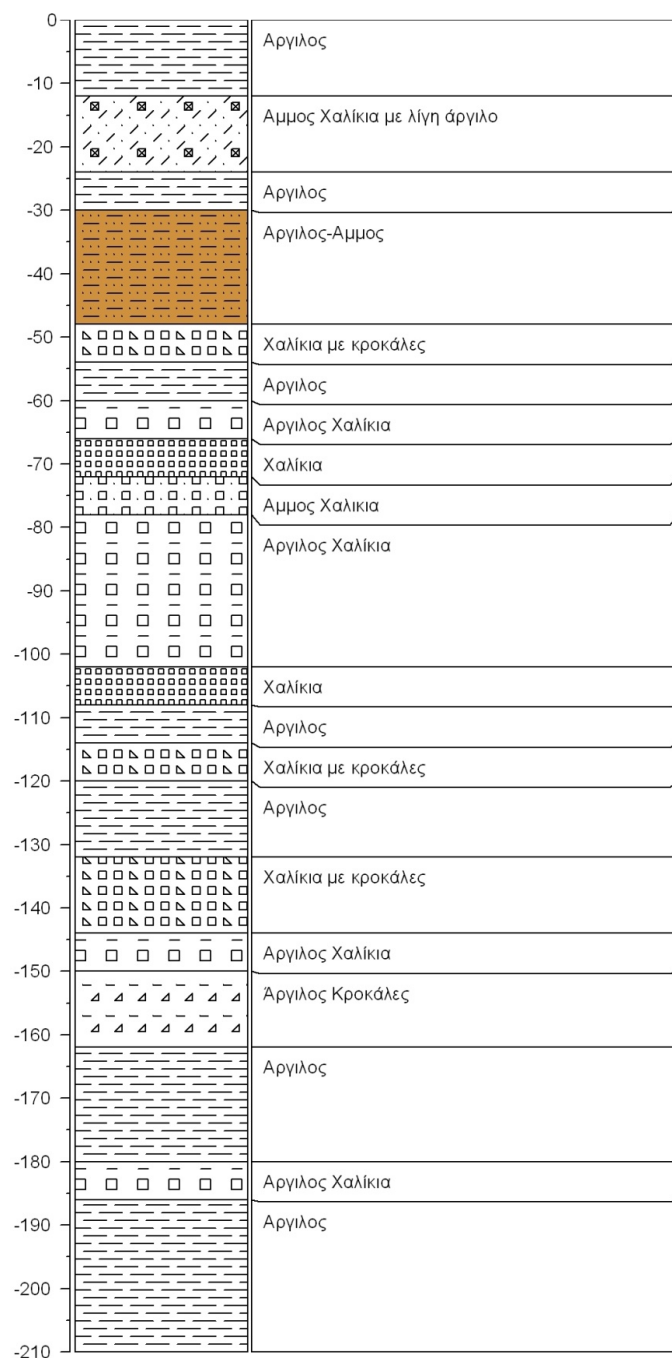
Στην T17 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 20m. Παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, όπως **άμμοι** (5-30m), **κροκάλες** (80-105m και 128-148m) και **χαλίκια** (110-125m), εναλλαγές αργίλων με χαλίκια (66-80m) με μικρή υδροφορία και αδιαπέρατοι άργιλοι τόσο σε μικρό όσο και σε μεγάλο βάθος (0-4m, 31-65m, 106-109m, 126-127m και 149-160m).

4.2.6. Υδρογεώτρηση T24



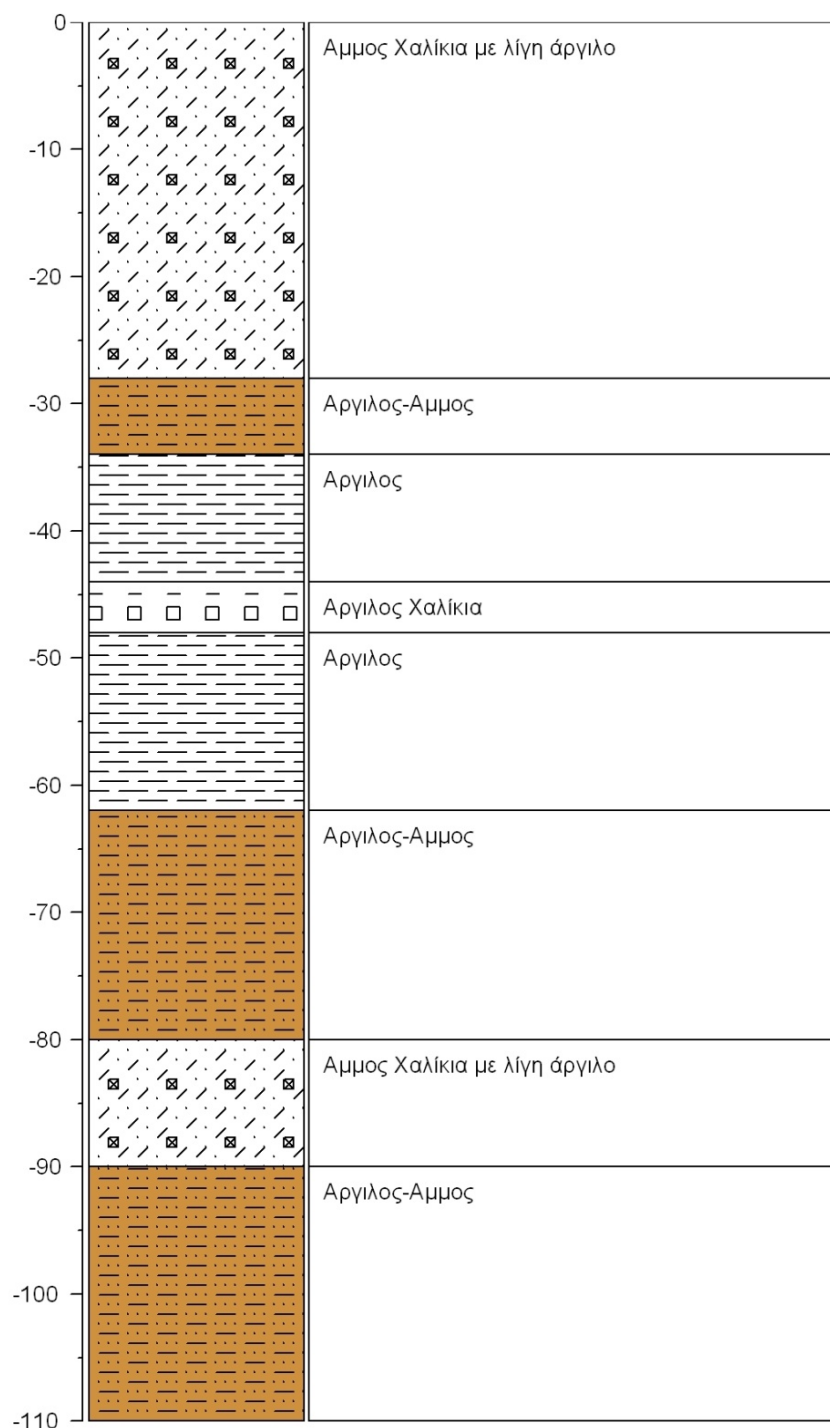
Στην T24 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 28,7m. Παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, όπως **άμμοι με χαλίκια** (42-46m, 51-56m, 60-66m και 114-125m), **άμμοι** (73-84m) και **κροκάλες** (134-146m) και αδιαπέρατοι αργιλικά στρώματα τόσο σε μικρό όσο και σε μεγάλο βάθος (0-41m, 47-50m, 47-49m, 67-72m, 85-113m και 126-133m).

4.2.7. Υδρογεώτρηση T39



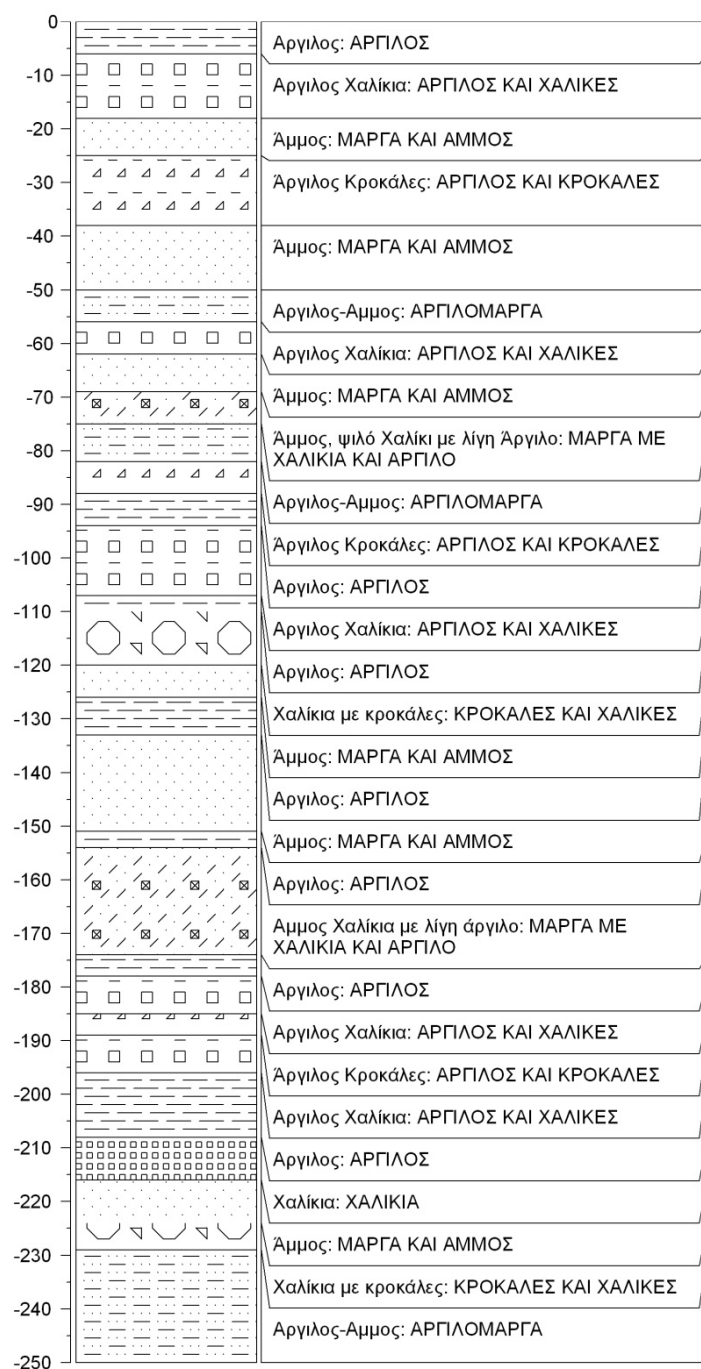
Στην T39 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 20,2m. Παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, όπως **χαλίκια με κροκάλες** (48-54m, 114-120m και 132-144), **χαλίκια** (66-72m και 102-107m) και **άμμοι με χαλίκια** (73-78m), εναλλαγές αργίλων με χαλίκια και άμμους (12-14m, 30-47m, 61-64m, 79-101m και 145-162m) με μικρή υδροφορία και αδιαπέρατοι άργιλοι (0-11m, 13-29m, 53-59m, 108-114m, 121-131m, 163-179m και 185-210m).

4.2.8. Υδρογεώτρηση T89



Στην T89 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 27,49m. Στη γεώτρηση αυτή δεν παρατηρούνται σχηματισμοί με μεγάλη υδροφορία, ωστόσο υπάρχουν εναλλαγές άμμων με χαλίκια και λίγη άργιλο (0-18m και 80-90m), άργιλοι με άμμους (29-34m, 62-79m και 91-110m) και άργιλοι με χαλίκια (44-47m) που έχουν μικρή υδροφορία όπως και αδιαπέρατοι άργιλοι (35-43m και 48-61m).

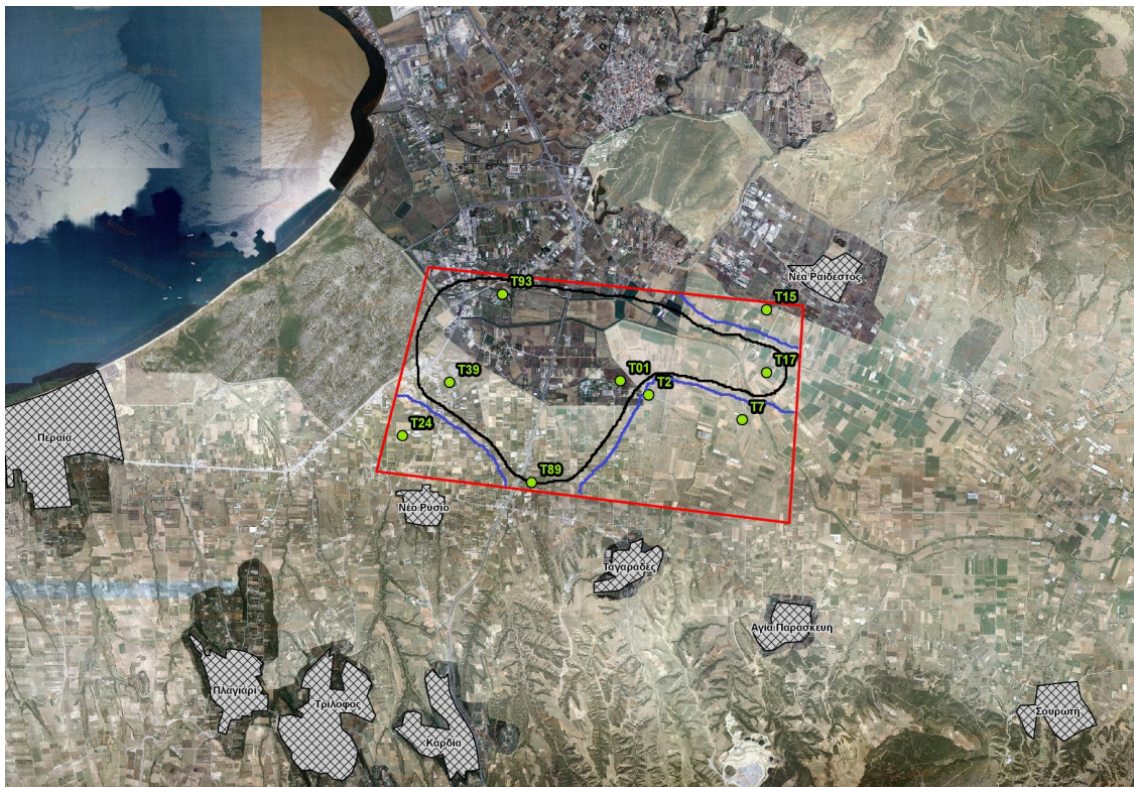
4.2.9. Υδρογεώτρηση T93



Στην T93 η υδροστατική στάθμη βρίσκεται στα 11,3m. Παρατηρούνται **χαλίκια** (208-216m) με μεγάλη υδροφορία, εναλλαγές μαργαϊκών υλικών με αργίλους που συνοδεύονται από χαλίκια ή κροκάλες (7-87m, 95-125m, 134-150m, 155-173m, 178-195m και 217-250m) με μικρή υδροφορία και αδιαπέρατοι άργιλοι μικρού πάχους τόσο σε μικρό όσο και σε μεγάλο βάθος (0-6m, 88-94m, 126-133m, 151-154m, 174-177m και 196-207m).

Από τις παραπάνω λιθολογικές τομές, των γεωτρήσεων που εξετάστηκαν, παρατηρούμε ότι στο μεγαλύτερο μέρος τους οι γεωλογικοί σχηματισμοί υδροφορούν, άλλοι με μεγαλύτερη και άλλοι με μικρότερη παροχή. Επίσης, διαπιστώνεται ότι στην περιοχή αναπτύσσονται δύο υδροφόροι, ένας επιφανειακός ελεύθερος υδροφορέας, που εμφανίζεται στις γεωτρήσεις T1, T17, T39, T89 και T93 και ένας άλλος βαθύτερος, υπό πίεση, που εμφανίζεται στις γεωτρήσεις T2, T7, T15 και T24.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί η μεταξύ τους σχέση, τα υδραυλικά και τα υδροχημικά χαρακτηριστικά τους ώστε να δοθεί μια πιο σαφής εικόνα της υδρογεωλογίας της περιοχής των Ταγαράδων.



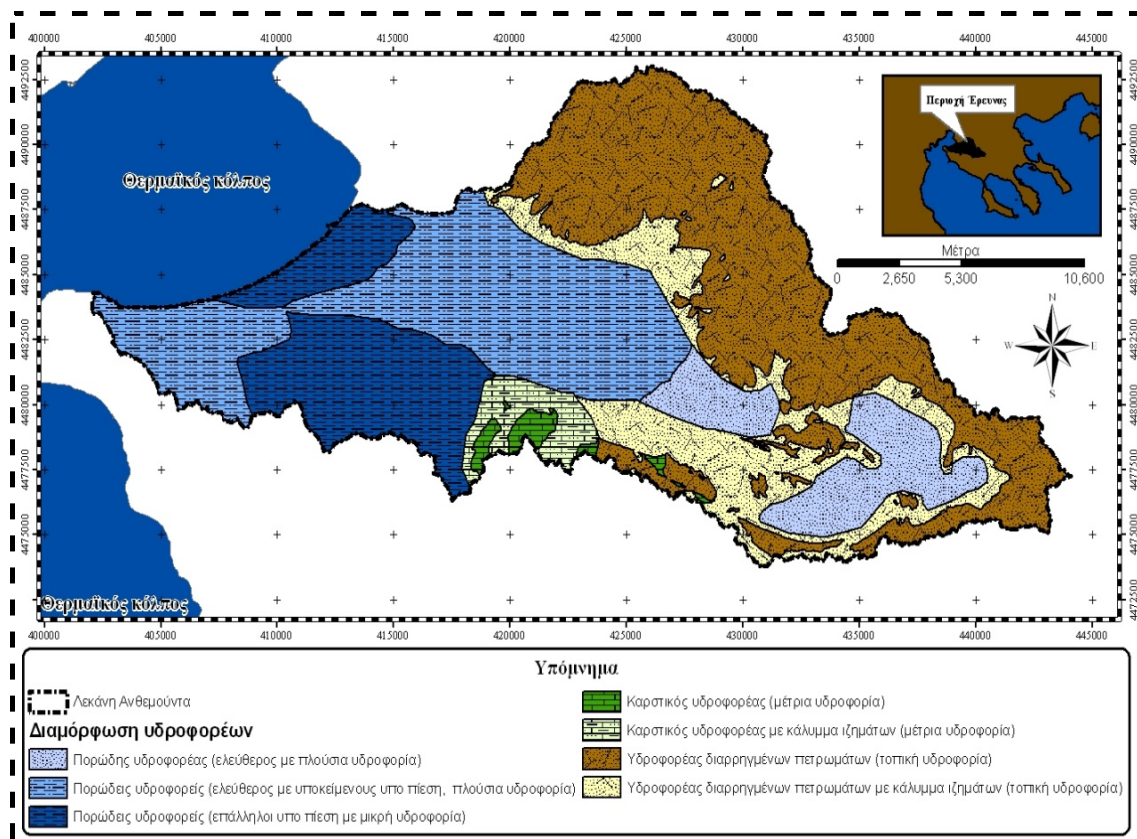
Σχήμα 8: Στη μαύρη καμπύλη περικλείεται ο ελεύθερος υδροφόρος ενώ στις μπλε καμπύλες ο υπό πίεση.

4.3. Πιεζομετρία και διακύμανση στάθμης

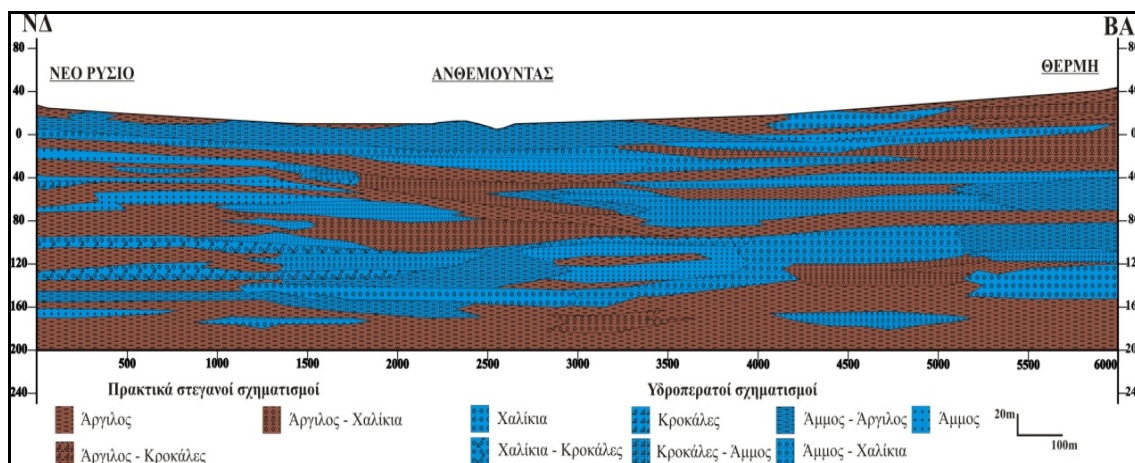
Όσο αφορά το υδροφόρο σύστημα της περιοχής, αυτό ανήκει στο υποσύστημα Βασιλικών - Ρυσίου - Θέρμης (C) (Καζάκης, 2013). Πρόκειται για ένα σύστημα με έκταση 70km² που αποτελείται από δύο υδροφορείς, ένα ελεύθερο και ένα

υπό πίεση. Η περιοχή αποτελείται από τεταρτογενή ιζήματα και νεογενείς σχηματισμούς στα κατώτερα στρώματα. Ο ελεύθερος υδροφόρος αποτελείται από αμμούχους άργιλους και φακούς χαλικιών. Το αργιλικό κάλυμμα που υπάρχει πλευρικά του τον μετατρέπει σε υπό πίεση υδροφορέα. Από μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν διαφορές στη στάθμη μεταξύ των δύο υδροφορέων καθώς και μια μικρή υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους.

Η τροφοδοσία του ελεύθερου υδροφορέα πραγματοποιείται από την κατεύθυνση των κατακρημνισμάτων, τη διήθηση από τα ρέματα και τον Ανθεμόντα καθώς και από πλευρική τροφοδοσία από τους καρστικούς (στα βόρεια) και τους διερρηγμένους οφιολιθικούς υδροφορείς (στα νότια). Ο υπό πίεση υδροφόρος τροφοδοτείται κατά τόπους από τον ελεύθερο και πλευρικά από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.



Σχήμα 9: Διαμόρφωση υδροφόρων στη λεκάνη του Ανθεμόντα κατά Καζάκη Αθ. Νεράντζη (2013), «Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμόντα», Διδ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 10: Υδρολιθολογική τομή της περιοχής μελέτης κατά Καζάκη Αθ. Νεράντζη (2013), «Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα», Διδ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εννιά γεωτρήσεις προσδιορίστηκε ο πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής (σχήμα 12). Σύμφωνα με τον πιεζομετρικό χάρτη που ακολουθεί παρατηρούμε 2 είδη διευθύνσεων ροής των υδάτων. Η μία είναι ΝΔ-ΒΑ και η δεύτερη είναι σχεδόν Α-Δ. Οι πυκνές καμπύλες σε ορισμένες περιοχές φανερώνουν μεγάλη υδραυλική κλίση και ίσως κάποια τεκτονική ανωμαλία (ζώνη διάρρηξης, ρήγμα).



Σχήμα 11: Χάρτης των υδρογεωτρήσεων.



Σχήμα 12: Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 1: Πιεζομετρικά στοιχεία των υδρογεωτρήσεων της περιοχής μελέτης (Μάιος 2010).

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Στάθμη (m)	Πιεζομετρική επιφάνεια (m)
T12	5,3	11,3	-6
T17	19	28,7	-9,7
T18	26	27,49	-1,49
T20	13,9	10,06	3,84
T31	23	6	17
T114	11,8	18,3	-6,5
T124	9	20,2	-11,2
T168	30	20	10
T170	20,3	22,5	-2,2

4.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά των πορωδών υδροφόρων

Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων συστημάτων δίνουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τη δυναμική τους αλλά και για τη διαχείριση και την εκμετάλλευσή τους. Ο υπολογισμός τους γίνεται άμεσα από δοκιμαστικές αντλήσεις σε γεωτρήσεις ή έμμεσα με εμπειρικούς τύπους και νομοδιαγράμματα. Οι κυριότερες υδραυλικές παράμετροι των υδροφορέων είναι:

- ▣ ο **συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας** ή υδροπερατότητας **k** (Hydraulic conductivity), που έχει διαστάσεις ταχύτητας και εκφράζει την ευκολία με την οποία κινείται το νερό σε ένα γεωλογικό σχηματισμό,
- ▣ η **μεταβιβαστικότητα** **T** (Transmissivity), η οποία ισούται με $T=k*d$ (όπου d το πάχος του υδροφορέα) και εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο το νερό μεταβιβάζεται μέσω της μονάδας της διατομής του υδροφόρου στρώματος με υδραυλική κλίση μονάδα και επικράτηση του κινηματικού ιξώδους,
- ▣ η **αποθηκευτικότητα** **S** (Storativity), που είναι καθαρός αριθμός και εκφράζει την ποσότητα του νερού που θα αποδώσει ο υδροφορέας όταν εκκενωθεί συγκεκριμένος όγκος, με τιμή 0,01-0,3 για ελεύθερους υδροφορείς και 0,005-0,00005 για υπό πίεση (Καλλέργης 1999) και
- ▣ η **ειδική ικανότητα** **Sc** (specific capacity) που είναι το πηλίκο της παροχής σε μία υδρογεώτρηση προς την αντίστοιχη πτώση στάθμης και αποτελεί ένα μέγεθος που αποτυπώνει τη δυναμικότητα της υδρογεώτρησης με τη σχέση $T=a*Sc$, όπου $a \sim 1,6$ για υπό πίεση και $\sim 1,2$ για ελεύθερους υδροφορείς (Καλλέργης 1999, Βουδούρης 2009).

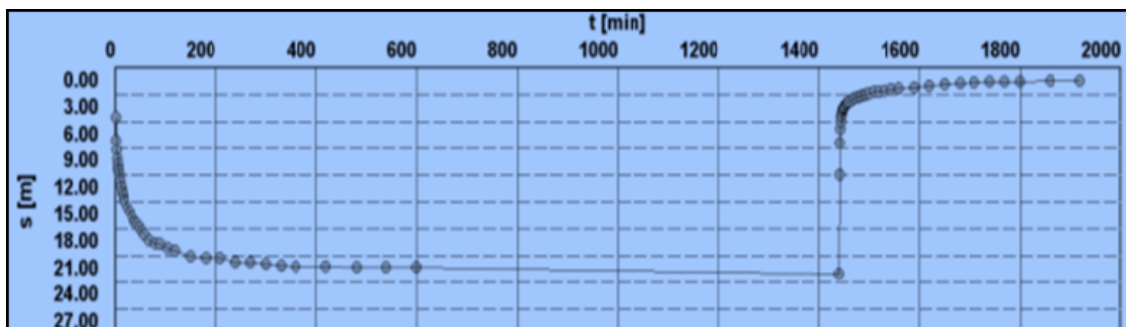
Για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι των Theis, Jacob-Cooper και η μέθοδος επαναφοράς στάθμης (Theis Recovery). Τα στοιχεία λήφθηκαν από την, αντιπροσωπευτική της περιοχής έρευνας, γεώτρηση T124 το Μάιο του 2010. Η παροχή άντλησης ήταν $40\text{m}^3/\text{h}$. Η άντληση διήρκεσε 24 ώρες.

Με βάση τα παρακάτω δεδομένα διαπιστώνεται ότι ο εν λόγω υδροφορέας παρουσιάζει μεγάλη υδροπερατότητα, μεταβιβαστικότητα και αποθηκευτικότητα.

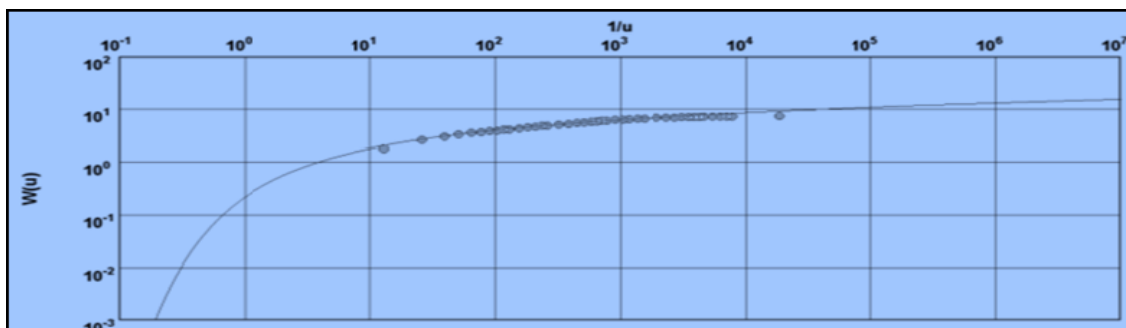
Πίνακας 2: Υδραυλικές παράμετροι της γεώτρησης T 124 (περιοχή Θέρμης).

THEIS			COOPER-JACOB			THEIS Recovery	
T (m ² /d)	k (m/s)	S	T (m ² /d)	k (m/s)	S	T (m ² /d)	k (m/s)
350	$5,3 \times 10^{-5}$	52×10^{-4}	370	8×10^{-5}	45×10^{-4}	375	-

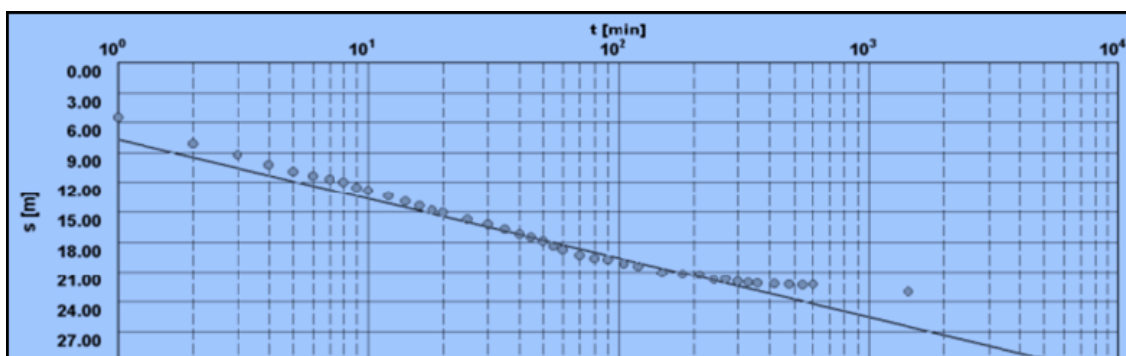
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα πτώση στάθμης σε συνάρτηση με το χρόνο T124.



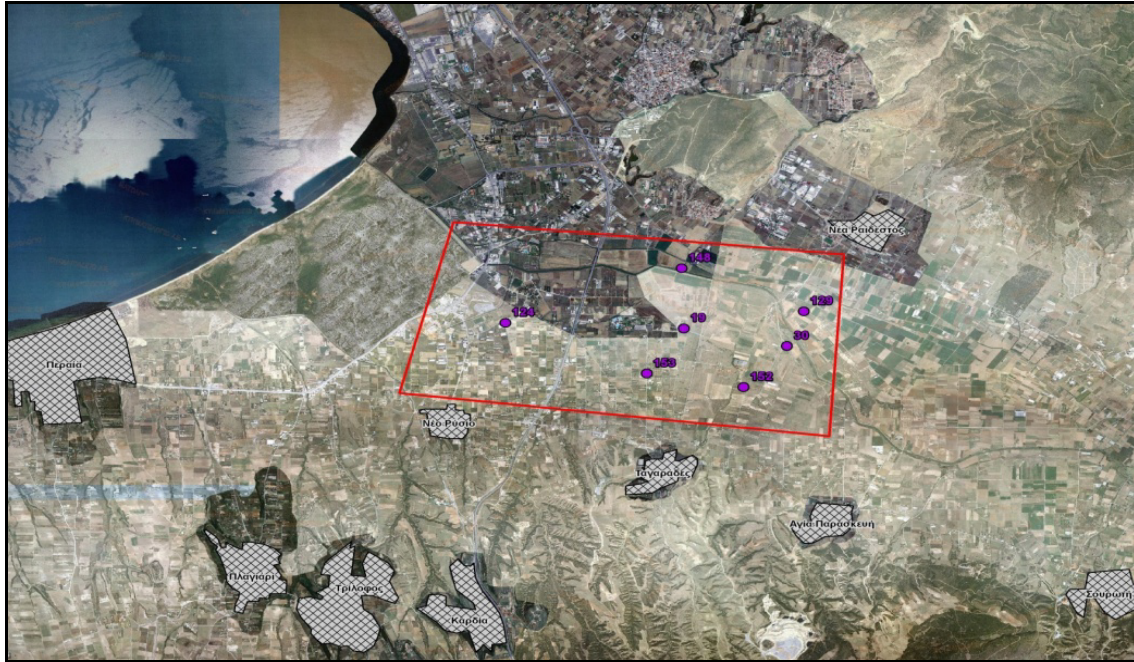
Διάγραμμα 2: Πρότυπη και πειραματική καμπύλη της μεθόδου Theis στη T124.



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα της μεθόδου Cooper-Jacob στη T124.



- οι θρεπτικές ενώσεις του N, P,
- οι πρωτεΐνες,
- οι οργανικές ενώσεις
- καθώς και αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4).



Σχήμα 13: Γεωτρήσεις στις οποίες έγινε η υδροχημική μελέτη.

4.6. Ποιότητα νερών

Στη παρούσα μελέτη οι παράμετροι των υπόγειων νερών που μελετήθηκαν, ήταν η Ενεργός Οξύτητα (pH), η Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τα χλωρίοντα.

4.6.1. Ενεργός Οξύτητα (pH)

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλαδή με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά (Βουδούρης, 2009).

Με βάση το χάρτη (σχήμα 14) που προέκυψε από τη χημική ανάλυση, διαπιστώνουμε ότι η τιμή του pH παίρνει τιμές από 7,6 έως 7,9 και είναι αυξημένη προς τα νότια, προς την περιοχή των Ταγαράδων.

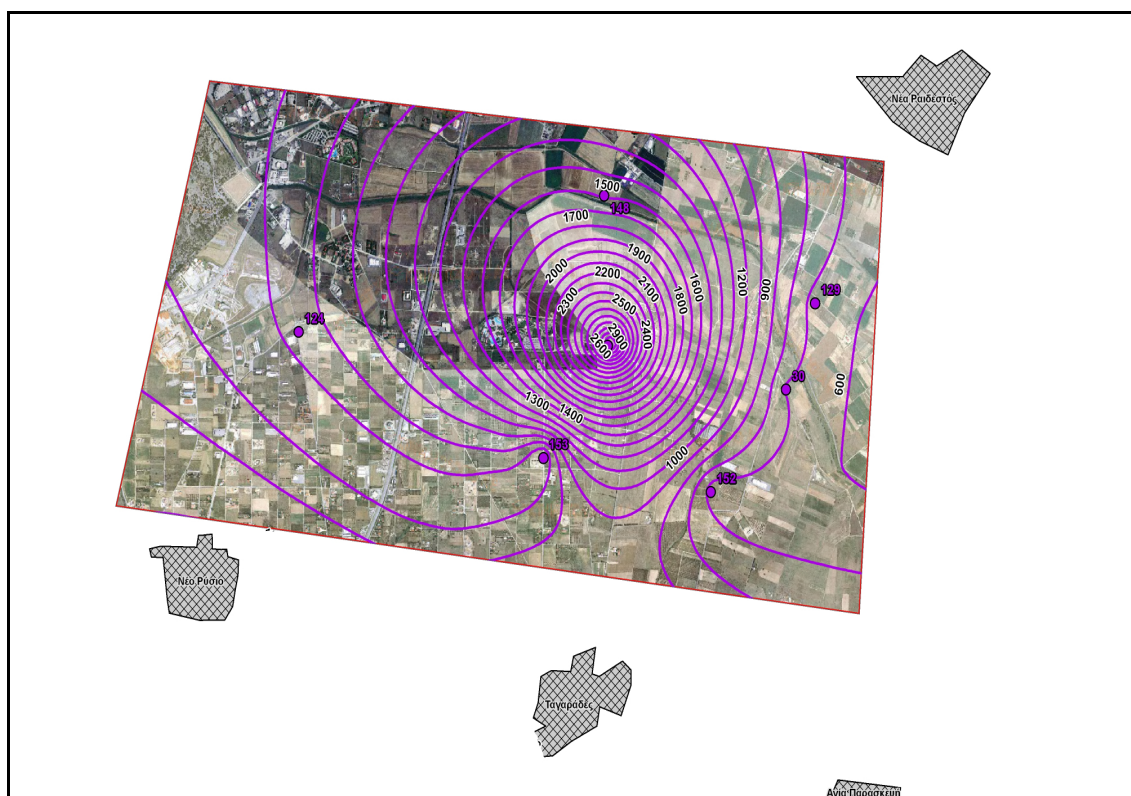


Σχήμα 14: Χάρτης κατανομής των τιμών pH στην περιοχή μελέτης.

4.6.2. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Το EC εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Συνεπώς, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας οφείλεται σε ρύπανση από ανόργανα λιπάσματα (χλωριούχα, νατριούχα κλπ) ή σε διείσδυση θαλασσινού νερού. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η αυξημένη αγωγιμότητα είναι δυνατό, να δημιουργήσει προβλήματα υγείας, ανάλογα με τη φύση και τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων (Βουδούρης, 2009).

Στην περιοχή οι τιμές κυμαίνονται από 600 έως 2900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Υψηλές τιμές EC παρουσιάζονται στο κέντρο της λεκάνης Ανθεμούντα, βόρεια των Ταγαράδων με μέγιστη τιμή στη γεώτρηση T19 (σχήμα 15). Οι τιμές αυτές οφείλονται ή σε υπολειμματικό νερό από παλαιότερες εισχωρήσεις της θάλασσας, ή σε διαλύματα ορυκτών ή αλάτων, ή σε ανάμειξη του μετεωρικού νερού με υδροθερμικά ρευστά προερχόμενα κοντινό ρήγμα ή και από επίδραση της χωματερής Ταγαράδων λόγω διαρροής στραγγισμάτων από αυτή.



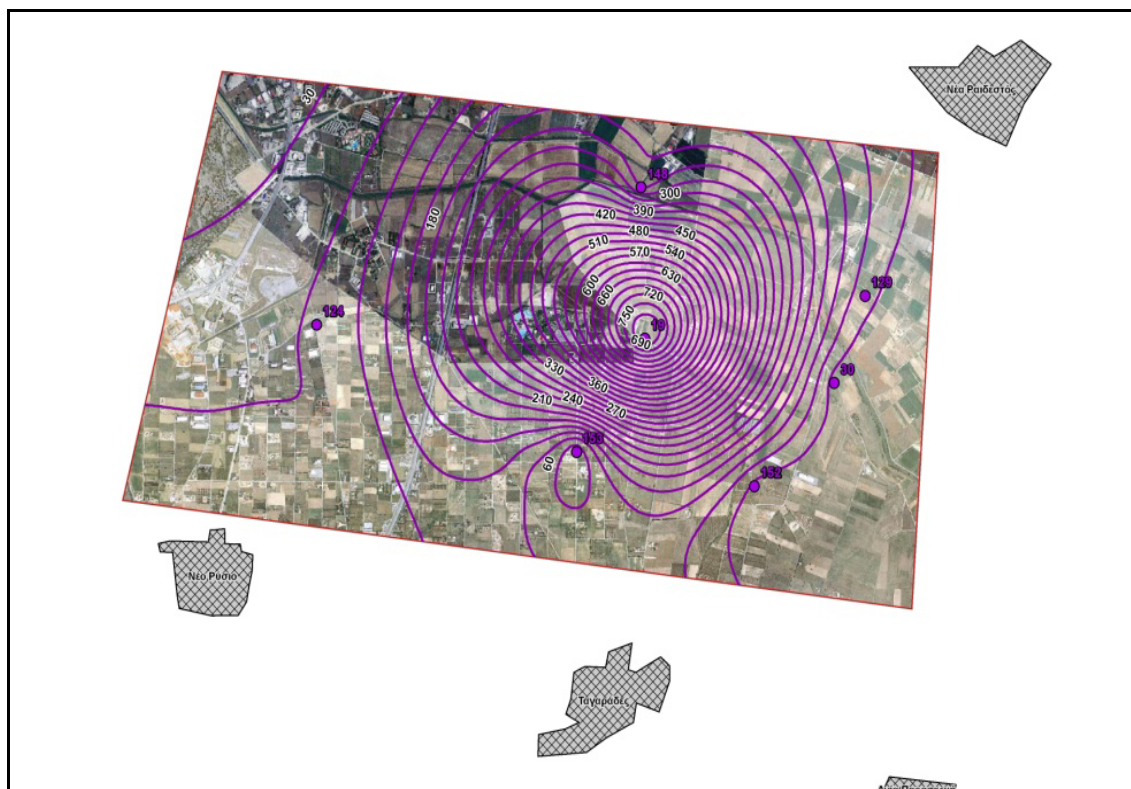
Σχήμα 15: Χάρτης κατανομής των τιμών EC στην περιοχή μελέτης.

4.6.3. Χλωριόντα

Κύρια προέλευση των χλωριούχων ιόντων είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, οι εβαπορίτες, καθώς και οι θερμές πηγές. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς. Στις βιομηχανικές περιοχές αύξηση του χλωρίου οφείλεται στην καύση των πλαστικών και στα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Το επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25mg/l και το ανώτατο 250 mg/l.

Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση (Βουδούρης, 2009).

Με βάση τον χάρτη (σχήμα 16) παρατηρείται μέγιστη συγκέντρωση χλωριόντων γύρω από την υδρογεώτρηση T19, βόρεια των Ταγαράδων, όπου η περιεκτικότητά τους ξεπερνά τα 100mg/L. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται τόσο στην ύπαρξη γεωθερμικής εστίας όσο και στην ανάμειξη των ρευστών της με επιφανειακά γλυκά νερά.



Σχήμα 16: Χάρτης κατανομής των χλωριόντων στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.

Υδρογεώτρηση	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Χλωριόντα (mg/L)
T19	7,5	2900	690
T30	7,7	700	120
T124	7,5	700	60
T129	7,7	700	90
T148	7,8	1600	240
T152	7,6	700	120
T153	7,9	700	60

5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

5.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται οι γεωφυσικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη περιοχή. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών πετρωμάτων καταγράφοντας ηλεκτρικές ποσότητες στην επιφάνεια της γης (Καζάκης, 2013). Πιο συγκεκριμένα αυτές θα βοηθήσουν στο να χαρτογραφήσουμε τη γεωηλεκτρική δομή του υποβάθρου της περιοχής μελέτης και από αυτή να βγάλουμε συμπεράσματα για το υδρογεωλογικό καθεστώς.

5.2. Τομογραφία

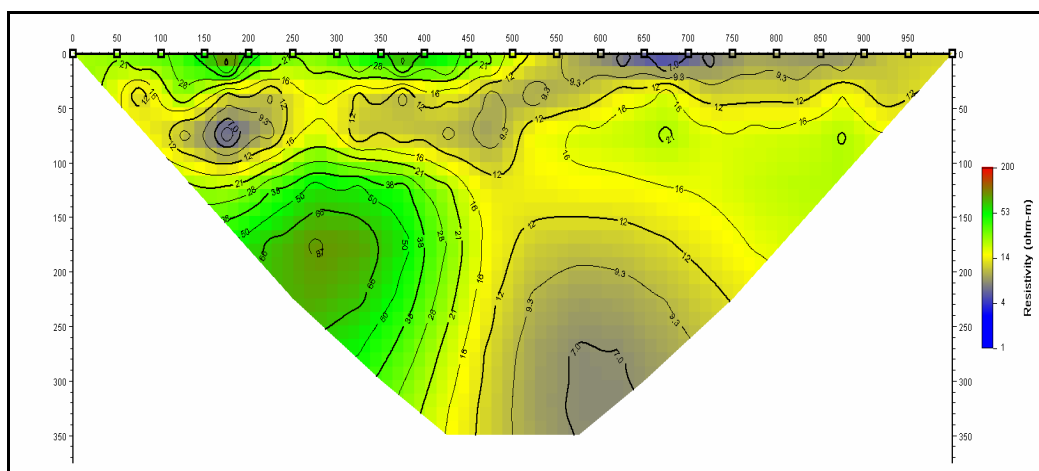
Ο όρος της **ηλεκτρικής τομογραφίας (ΗΤ)** περιγράφει γενικά ένα τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο παραδοσιακών τεχνικών μέτρησης, της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μια σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη εικόνα του υπεδάφους.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΗΤ είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στην αγορά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της ΗΤ. Βέβαια το κόστος αυξάνει με την εφαρμογή της μεθόδου.

Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της «ψευδοτομής» που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al.1990). Στην διαδικασία της «ψευδοτομής» μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η HT όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.

Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των δίπολων ρεύματος και δυναμικού, η τιμή της διαφοράς δυναμικού που μετράται επηρεάζεται από βαθύτερα στρώματα. Έτσι, στην περίπτωση της διάταξης δίπολου-δίπολου κάθε μέτρηση της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται, κατά προσέγγιση, στο σημείο τομής των δύο ευθειών που ξεκινάνε με γωνία 45 μοιρών από το μέσο της απόστασης AB από το μέσο της απόστασης MN. Η ερμηνεία όμως με τη μέθοδο της ψευδοτομής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας.

Στην τομογραφία (σχήμα 17) που πραγματοποιήθηκε στη περιοχή μελέτης εντοπίζεται μια ζώνη διάρρηξης στα όρια Ολοκαινικών προσχώσεων με τις Πλειστοκαινικές αναβαθμίδες όπου η ειδική αντίσταση είναι 4-80 Ohm-m. Παρατηρείται ασυνέχεια στο κέντρο της τομογραφίας με πολύ μικρές τιμές ειδικής αντίστασης 4-12 Ohm-m.



Σχήμα 17: Ηλεκτρική τομογραφία της περιοχής.

6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

6.1. Εισαγωγή

Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με το βάθος, θα πρέπει να αξιολογηθούν και να ερμηνευτούν καταλλήλως, έτσι ώστε να μπορέσει τελικά η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους να δώσει μια καθαρά γεωλογική δομή. Αυτό γίνεται διότι, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί ένα συνδυασμό πολλών παραγόντων οι οποίοι αλλάζουν διαρκώς. Αυτοί οι παράγοντες είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και τη σύσταση του νερού στους διαφόρους γεωλογικούς σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτώνται από:

1. Τις υδρολογικές- υδρογεωλογικές συνθήκες
2. Τη χημική σύσταση του νερού
3. Το μέγεθος των πόρων του σχηματισμού, δηλαδή το πορώδες του
4. Τις πιθανές διακλάσεις, διαρρήξεις, ρήγματα που μπορεί να υπάρχουν στο εσωτερικό των γεωλογικών σχηματισμών, δηλαδή το δευτερογενές πορώδες τους
5. Τη θερμοκρασία

6.2. Γεωηλεκτρική δομή και διαμόρφωση του υποβάθρου

Η τομογραφία που πραγματοποιήθηκε στη περιοχή των Ταγαράδων είχε στόχο τον εντοπισμό ζώνης διάρρηξης, καθώς από τις χημικές αναλύσεις που έγιναν σε δείγματα υπόγειου νερού διαπιστώθηκαν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και άλλων στοιχείων (Cl και Na) στις γεωτρήσεις T148 και T19, ενώ οι γειτονικές παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές. Μέσω αυτής της ζώνης διάρρηξης, στα όρια Ολοκαινικών προσχώσεων με τις Πλειστοκαινικές αναβαθμίδες, διαπιστώθηκε επικοινωνία των επιφανειακών και των κατώτερων υδροφόρων στρωμά-

των. Οι υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και άλλων στοιχείων συσχετίστηκαν με τη ζώνη διάρρηξης και αποδόθηκαν στην άνοδο γεωθερμικών ρευστών μέσω αυτής. Με βάση τις χημικές αναλύσεις αποκλείεται η διείσδυση θαλασσινού νερού ως παράγοντας αυτής της ανωμαλίας. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν πιθανότητες επίδρασης της χωματερής των Ταγαράδων στα υπόγεια ύδατα λόγω διαφυγών των στραγγισμάτων της, όπως διαπιστώθηκε από άλλη σχετική μελέτη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στη περιοχή των Ταγαράδων, της υδρολογικής λεκάνης του Ανθεμούντα και στηρίχτηκε στην υδρογεωλογική και γεωφυσική έρευνα, αλλά κυρίως στη συσχέτιση αυτών, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η ευρύτερη περιοχή των Ταγαράδων, από μορφολογική άποψη, αποτελεί ένα λοφώδες τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα.
2. Γεωλογικά το υδροφόρο σύστημα της λεκάνης του Ανθεμούντα, στην περιοχή της μελέτης, αποτελείται από Τεταρτογενή ιζήματα, που συνίστανται από εναλλαγές άμμων, κροκάλων, χαλικιών και αργίλων.
3. Το υπόβαθρο της περιοχής παρουσιάζει μία τάση βύθισης προς το κέντρο της λεκάνης, αλλά και προς το δυτικό τμήμα αυτής, λόγω τεκτονικών αιτιών.
4. Στην περιοχή αναπτύσσονται δύο υδροφορείς, ένας επιφανειακός ελεύθερος που αποτελείται από άμμους, αργίλους και φακούς χαλικιών και έναν βαθύτερο υπό πίεση που αποτελείται από αργίλους που καλύπτουν πλευρικά τον ελεύθερο υδροφορέα.
5. Η τροφοδοσία του ελεύθερου υδροφορέα πραγματοποιείται από την κατείσδυση των κατακρημνισμάτων, τη διήθηση από τα ρέματα καθώς και από πλευρική τροφοδοσία από τους καρστικούς και τους διερρηγμένους υδροφορείς.
6. Ο ελεύθερος υδροφορέας παρουσιάζει μεγάλη υδροπερατότητα ($k=5,3 \times 10^{-5}$ m/s), μεταβιβαστικότητα ($T=350$ m²/d) και αποθηκευτικότητα ($S=5, \times 10^{-3}$).
7. Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7,5 έως 7,9, με τις τιμές να αυξάνονται νότια των Ταγαράδων.

8. Οι τιμές των χλωριόντων κυμαίνονται από 60 έως 690mg/l, με τις μεγαλύτερες τιμές να συγκεντρώνονται βόρεια των Ταγαράδων.
9. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 700 έως 2900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με τις μεγαλύτερες τιμές να συγκεντρώνονται στο κέντρο της λεκάνης των Ταγαράδων.
10. Από την υδροχημική ανάλυση των υδάτων της γεώτρησης οι αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και άλλων στοιχείων σε δύο υδρογεωτρήσεις οδήγησε στην ανάγκη πραγματοποίησης γεωφυσικής μελέτης για τον προσδιορισμό του φαινομένου.
11. Από την ηλεκτρική τομογραφία που πραγματοποιήθηκε εντοπίστηκε ζώνη διάρρηξης στα όρια των Ολοκαινικών προσχώσεων με τις Πλειστοκαινικές αναβαθμίδες όπου η ειδική αντίσταση είναι 4-80 Ohm-m.
12. Συνδυάζοντας τα υδρογεωλογικά και τα γεωφυσικά δεδομένα ορίστηκε η μορφή του υποβάθρου της περιοχής των Ταγαράδων. Οι υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και άλλων στοιχείων συσχετίστηκαν με τη ζώνη διάρρηξης και αποδόθηκαν στην άνοδο γεωθερμικών ρευστών μέσω αυτής. Με βάσει τις χημικές αναλύσεις αποκλείεται η διείσδυση θαλασσινού νερού ως παράγοντας της ανωμαλίας αυτής.

8. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτογραφία 1: Εικόνα από τα κροκαλοπαγή της περιοχής όπως εξορύχτηκαν από μία υδρογεώτρηση.



Φωτογραφία 2: Εικόνα από τα αργιλικά πετρώματα της περιοχής όπως εξορύχτηκαν από μία υδρογεώτρηση.



Φωτογραφία 3: Εικόνα από την μέτρηση πτώσης στάθμης.



Φωτογραφία 4: Εικόνα από μία υδρογεώτρηση μελέτης.



Φωτογραφία 5: Εικόνα από τη μέτρηση πτώσης στάθμης και συλλογή δείγματος νερού.



Φωτογραφία 6: Εικόνα από μία υδρογεώτρηση μελέτης.



Φωτογραφία 7: Εικόνα από μία υδρογεώτρηση μελέτης.



Φωτογραφία 8: Εικόνα από μία υδρογεώτρηση μελέτης.

9. BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Edwards L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. Geophysics, 42, 1020-1036.
- Griffiths D., Turnbull, J., and Olyianka A. , 1990. 2-dimentional resistivity mapping with a computer controlled array. First Break, 8, 121-129.
- Βουβαλίδης Κ. (2004): Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ.
- Βουδούρης Κ. (2009): Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Δημόπουλος Γ. (2007): Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων- Υδρογεωλογικές Μελέτες. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη.
- Ζερβοπούλου Α. (2010): Νεοτεκτονικά ρήγματα ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Καζάκης Ν. (2006): Προσδιορισμός Των Υδροφόρων Στρωμάτων, Προπτυχιακή Πτυχιακή του Α.Π.Θ..
- Καζάκης Αθ. Νεράντζης (2013): Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα, Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ..
- Μουντράκης Δ. (2010): Γεωλογία Και Γεωτεκτονική Εξέλιξη Της Ελλάδας, University Studio Press.
- Παπαζάχος Β. (1996): Εισαγωγή Στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ.
- Σούλιος Γ. (1996): Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος Τόμος, University Studio Press.
- Σούλιος Γ. (1996): Γενική Υδρογεωλογία, Δεύτερος Τόμος, University Studio Press.
- Σούλιος Γ. (2004): Γενική Υδρογεωλογία, Τρίτος Τόμος, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη.
- Σούλιος Γ. (2006): Γενική Υδρογεωλογία, Τέταρτος Τόμος, University Studio Press.

Συρίδης Γ.Ε. (1990): Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών - Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής. Διδ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Φίκος Η., Ζιάνκας Γ., Παυλίδου Ε., Φάμελλος Σ.: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικού Δυναμικού Λεκάνης Ανθεμούντα, 2005

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ:

Google Earth (<http://www.google.com/earth>)

el.wikipedia.org

www.google.gr

www.makthes.gr

www.geo.auth.gr

www.lifewateragenda.org