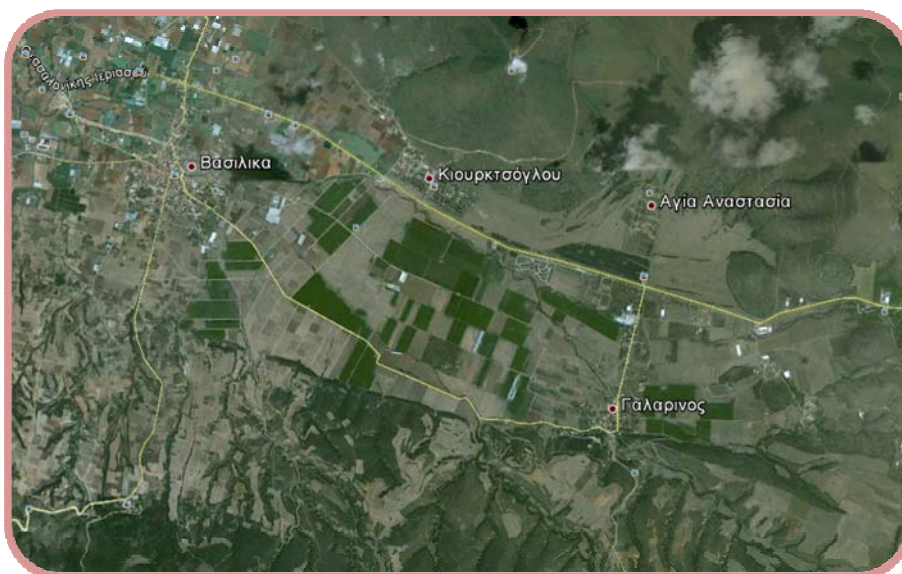




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



*«Σύγκριση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας με
εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές σε τμήμα της ακόρεστης
ζώνης στην περιοχή του Γαλαρινού στη λεκάνη του
Ανθεμούντα»*



Πτυχιακή εργασία: **ΕΥΘΥΜΙΑ ΖΑΒΡΙΔΟΥ**

Επιβλέπων: **Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ**, καθηγητής

Θεσσαλονίκη 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	4
1.1 Γεωγραφική θέση.....	4
1.2 Κλίμα.....	7
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	8
2.1 Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία.....	8
2.2 Λιθοστρωματογραφία και Τεκτονική.....	9
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	12
3.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	12
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ.....	14
4.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα.....	14
4.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	17
4.2 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο.....	17
4.2.1 Περιγραφή διαδικασίας.....	18
4.2.2 Παρουσίαση μετρήσεων.....	19
5 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	20
5.1 Μηχανική σύσταση των δειγμάτων και ταξινόμηση τους κατά USDA.....	31
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	32
6.1 Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (MAAG).....	32
6.2 Επί τόπου δοκιμές στην περιοχή έρευνας.....	33
6.3 Εμπειρικές μέθοδοι-Πεδοσυναρτήσεις.....	36
6.4 Σύγκριση μεθόδων-Συμπεράσματα.....	38
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο προπτυχιακών σπουδών της φοιτήτριας Ζαβρίδου Ευθυμίας με την εποπτεία του κ. Βουδούρη καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Διεξήχθη στην περιοχή Γαλαρινού στη λεκάνη του Ανθεμούντα με σκοπό τον προσδιορισμό του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας με εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

- Δειγματοληψία εδαφικού υλικού από την περιοχή έρευνας
- Ανάλυση του εδαφικού υλικού με εργαστηριακές δοκιμές
- Δοκιμές μεταβλητού φορτίου στην περιοχή έρευνας

Σκοπός της εργασίας είναι να προσδιοριστεί ο εδαφολογικός τύπος της περιοχής και να υπολογιστεί ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας.

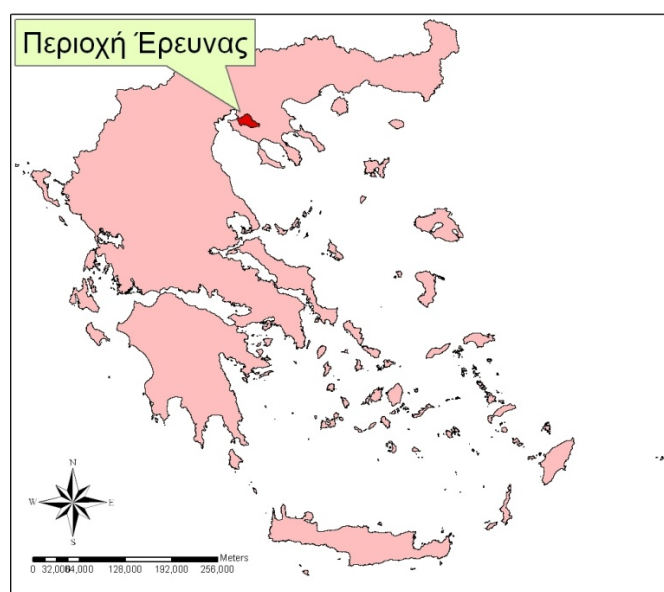
Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Βουδούρη για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο Διδάκτορα Καζάκη Νεράτζη για την πολύτιμη βοήθεια του σε όλα τα στάδια της εργασίας αλλά και την ηθική στήριξη σε όλες τις δύσκολες στιγμές αυτής της διαδρομής. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τον Δρ. Βογιατζή Δημήτρη για τις συμβουλές και τη βοήθειά του στο εργαστηριακό κομμάτι της εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου την αδερφή μου και τους γονείς μου για την στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα γιατί χωρίς αυτούς δεν θα τα είχα καταφέρει.

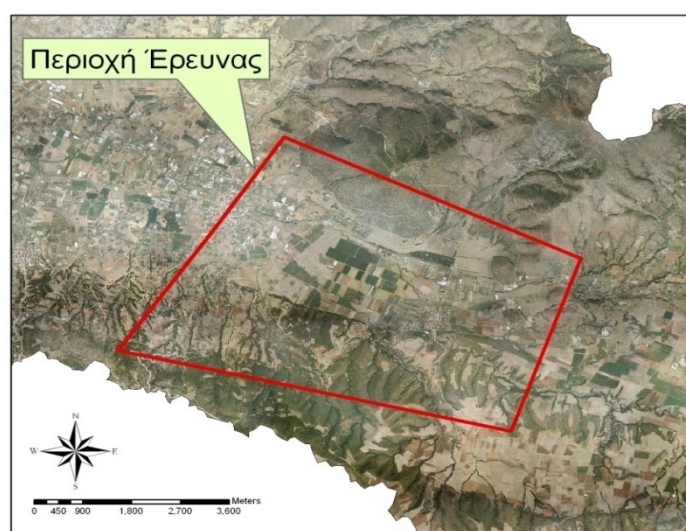
1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1 Γεωγραφική θέση

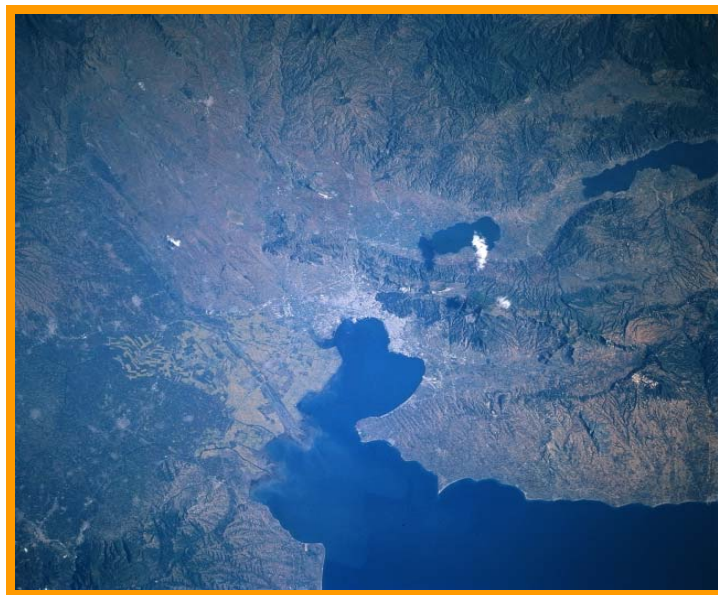
Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στη Βόρειο Ελλάδα (Σχήμα 1.1) στα όρια των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής, πιο συγκεκριμένα στο Δήμο Ανθεμούντα. Αποτελεί τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα και βρίσκεται ανάμεσα στα Βασιλικά και στο Γαλαρινό (Σχήμα 1.2).



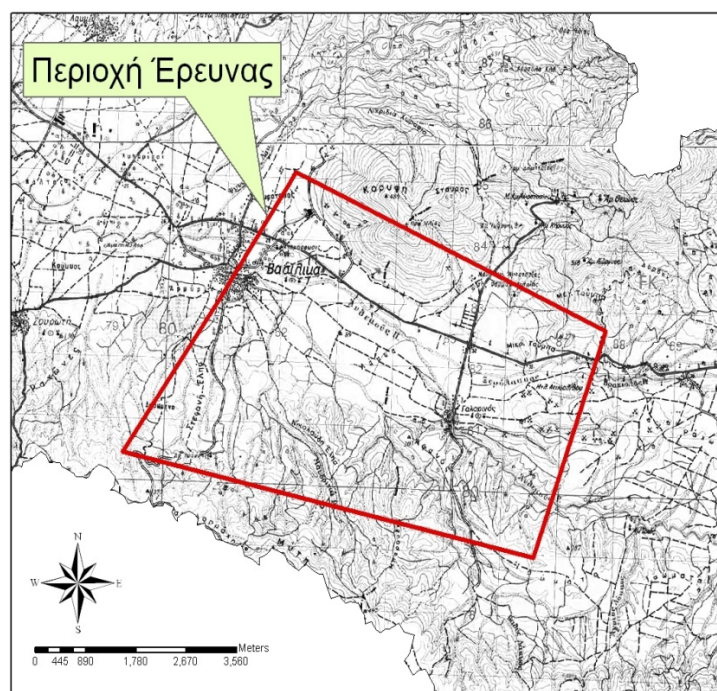
Σχήμα 1.1 Θέση της περιοχής έρευνας στο χάρτη της Ελλάδας



Σχήμα 1.2 Δορυφορική εικόνα της περιοχής έρευνας



Σχήμα 1.3 Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής



Σχήμα 1.4 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας

Η λεκάνη απορροής του Ανθεμούντα ποταμού βρίσκεται νοτιοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης (Εικόνα 1.4). Καταλαμβάνει έκταση 327,36 km² με περίμετρο 104,9 km και το σχήμα αυτής είναι επίμηκες τριγωνικό, με βάση του νοητού τριγώνου την ακτή του Θερμαϊκού κόλπου και κορυφή το χωριό Βάβδος.

Η λεκάνη χωρίζεται σε δύο κύριες υπολεκάνες την ανατολική (Γαλαρινός, Γαλάτιστα, Μεταλλεία Βάβδου) και τη δυτική (από το στόμιο της λεκάνης μέχρι την περιοχή των Βασιλικών). Τη λεκάνη απορροής του Ανθεμούντα, αποστραγγίζει ο ομώνυμος ποταμός Ανθεμούντας, το όνομα του οποίου σημαίνει «ανθοστόλιστος» και προέρχεται από το χωριό Γαλάτιστα, που παλαιότερα ονομαζόταν Ανθεμούντας (Σχήμα 1.5- 1.6). Κατά το μεγαλύτερο τμήμα του χρόνου είναι ξηρός, ενώ το χειμώνα η μεταφορική του δυνατότητα αυξάνεται λόγω των έντονων βροχοπτώσεων, ενδεικτικό του κλίματος της περιοχής.



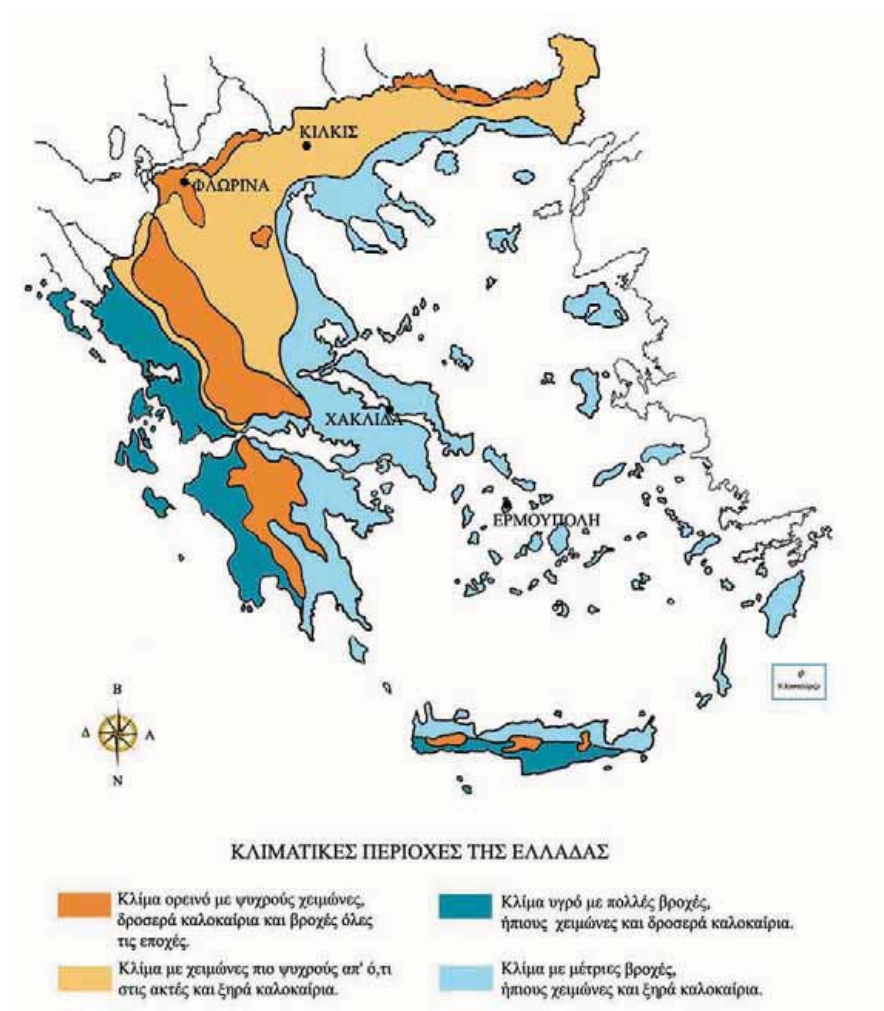
Σχήμα 1.5 Ποταμός Ανθεμούντας στην περιοχή Γαλαρινός



Σχήμα 1.6 Ο ποταμός Ανθεμούντα μέσα στα Βασιλικά.

1.2 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής είναι Μεσογειακού τύπου. Σε αυτού του τύπου κλίματος η μέση ετήσια βροχόπτωση έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης από ξηρό έως υγρό. Η περιοχή ανήκει από κλιματική άποψη σε μια ζώνη μαζί με την Ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, με τη Θάσο, τις Σποράδες και την Εύβοια. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής είναι 400-600 mm. Τους θερινούς μήνες επικρατεί ξηρασία ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα το κλίμα γίνεται πιο υγρό (Σχήμα 1.7). Για το λόγο αυτόν ο ποταμός Ανθεμούντας κατά το καλοκαίρι δεν έχει καθόλου νερό, ενώ το χειμώνα και την άνοιξη μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες.



Σχήμα 1.7 Κλιματικός χάρτης της Ελλάδας

(<http://digitalschool.minedu.gov.gr>)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία

Η περιοχή του Γαλαρίου βρίσκεται μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών της Παιονίας και της Περιροδοπικής. Το όριο των δύο ζωνών παραμένει αδιευκρίνιστο διότι τον ίδιο ρόλο της βαθιάς αύλακας που θεωρούσαμε για τη ζώνη Παιονίας, αποδίδουμε τώρα και στην Περιροδοπική (Σχήμα 2.1). Η κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιροδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα, περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας. Αυτή η περιφερειακή αύλακα ήταν η θέση βύθισης (subduction) της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από την ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα, το περιθώριο της οποίας αποτελούσαν οι μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής. Η ζώνη της Παιονίας αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Οι δύο ζώνες αναδύθηκαν οριστικά στο Τέλος Κρητιδικού – Αρχές Παλαιοκαίνου κατά την τελική ορογενετική διεργασία των Ελληνίδων.

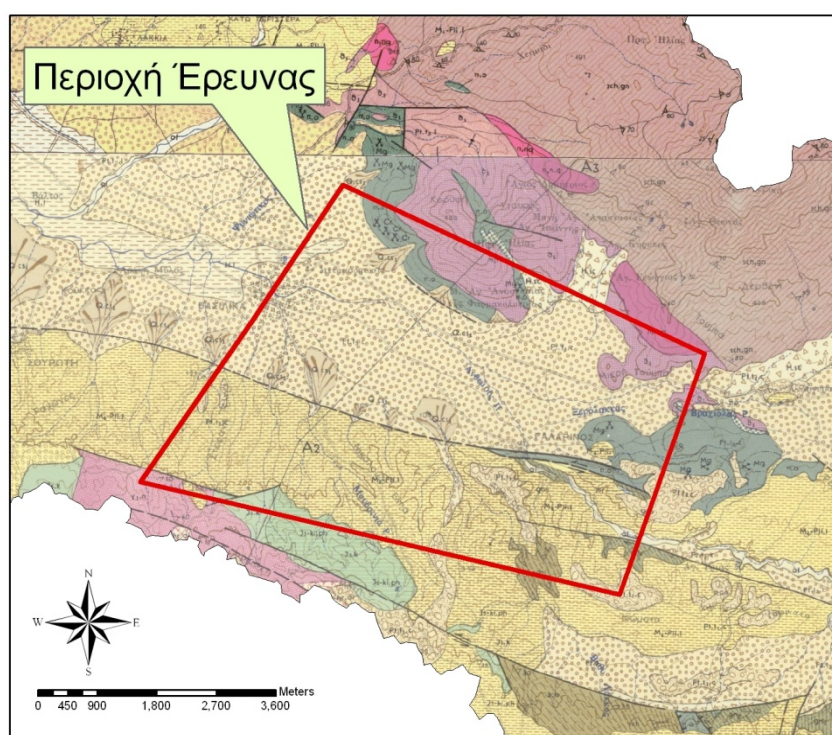


Σχήμα 2.1 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών και η Θέση του Γαλαρινού.

(Κατά Mountrakis et al. 1983).

2.2 Λιθοστρωματογραφία και Τεκτονική

Το γεγονός ότι η περιοχή βρίσκεται μεταξύ των ζωνών της Παιονίας και της Περιοδοπικής δικαιολογεί και το πλήθος των διαφορετικών πετρωμάτων που συναντάμε. Τα πετρώματα είναι: Ιζηματογενή πετρώματα από τη ζώνη της Παιονίας, πυριγενή πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης και πιο συγκεκριμένα της ενότητας Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, τμήματα από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής ζώνης και Τριτογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής

Το τεκτονικό βύθισμα του Ανθεμούντα, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ περιέχει κυρίως Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, καθώς και τους σχηματισμούς του υποβάθρου.

Σχηματισμοί υποβάθρου

Σειρά βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων. Οι σχηματισμοί της σειράς αυτής είναι γάββροι, δουνίτες και περιδοτίτες. Οι γάββροι έχουν ηλικία Μεσοζωική, ενώ οι δουνίτες και περιδοτίτες υπολογίζονται Παλαιοζωικής ηλικίας. Μέσα στη σειρά αυτή παρεμβάλλονται συχνά πηγματιτικές φλέβες.

Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα. Είναι ασβεστόλιθοι της ζώνης Παιονίας. Μερικώς ανακρυσταλλωμένοι, τεφροί έως γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις και περικλείουν απολιθώματα (Cladocoropsis, Psendoicyclammina, Cerithelia). Ηλικία σχηματισμού Άνω Ιουρασική-Κάτω Κρητιδική.

Γρανодиρίτης. Ο γρανодиρίτης είναι τύπου Σιθωνίας, βιοτιτικός και κατά τόπους διμαρμαρυγιακός. Είναι σχηματισμός μεσόκκοκος και σχιστώδης. Ηλικία Κρητιδική. Πάνω σε αυτόν το σχηματισμό αποτέθηκε επικλυσυγενώς το κροκαλοπαγές της βάσης των Νεογενών αποθέσεων.

Νεογενείς αποθέσεις

Κροκαλοπαγές βάση. Είναι ο χαρακτηριστικός σχηματισμός της Μέσο-Άνω Κρητιδικής επίκλυσης. Οι κροκάλες έχουν ποικίλο μέγεθος και η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται με αμμώδη, ιλυοαμμώδη έως αργιλώδη συνδετική μάζα. Οι κροκάλες είναι αποστρογγυλεμένες γρανιτικές ή γνευσιακές, χαλαζιακές, ασβεστολιθικές, γαββρικές και περιδοτιτικές. Ηλικία Άνω Κρητιδικό-Μέσο Μειόκαινο.

Σειρά ερυθρών αργίλων. Η σειρά αυτή αποτελείται από εναλλασσόμενα στρωματά πηλών,ερυθής-καστανέρυθρης αργίλου, αργιλικών ψαμμιτών με παρεμβολές άμμων, μαργών και κροκαλοπαγών στρωμάτων χωρίς συνεκτικότητα. Στους πηλούς και στις αργίλους διακρίνονται φυλλάρια μαρμαρυγία και κόκκοι χαλαζία. Η προέλευση τους είναι λιμναία, χειμαρρώδης έως χερσαία. Ηλικία Άνω Μειοκαινική.

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά. Αποτελείται από εναλλασσόμενα στρωματά ψαμμιτών, άμμων, μαργών (περισσότερο ή λιγότερο αργιλούχων) και αργίλων. Οι άργιλοι ορισμένες φορές είναι ανθρακομιγείς, ιδιαίτερα στους κατώτερους ορίζοντες. Επίσης παρεμβάλλονται ενστρώσεις κροκαλοπαγών και λιμναίων ασβεστόλιθων, ιδιαίτερα στους ανώτερους ορίζοντες. Πρόκειται για αποθέσεις ποτάμιες, λιμναίες και παράκτιες. Η ηλικία της σειράς Ανώτερου Μειόκαινου-Κάτω Πλειόκαινου.

Λιμναίοι ασβεστόλιθοι. Ο σχηματισμός αυτός ορίζει το τέλος του Νεογενούς στη λεκάνη του Ανθεμούντα. Είναι γλυκού νερού λιμναίοι ασβεστόλιθοι, μαργαϊκοί, χρώματος γαλαζότεφρου. Η ηλικία τους υπολογίζεται στο Μέσο-Άνω Πλειόκαινο.

Τεταρτογενείς αποθέσεις

Πλειστοκαινικές αποθέσεις. Αποτελούνται από κροκαλοπαγές βάσης και ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στη συνέχεια έχει αποτεθεί το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων με κροκάλες χαλαζιτών, ασβεστόλιθων, μαρμάρων και μαγματικών πετρωμάτων και το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων με κροκάλες χαλαζιτών, χαλαζία, γνευσίων, κρυσταλλικών σχιστόλιθων.

Επίσης συναντώνται άμμοι, λατύπες, πηλοί και άργιλοι. Αδιαίρετα σε όλο το Τεταρτογενές βρίσκονται τα ριπίδια προσχώσεων.

Ολοκαινικές αποθέσεις. Το Ολόκαινο αντιπροσωπεύεται από σύγχρονους σχηματισμούς, όπως παράκτιες αποθέσεις, αλλουβιακά ριπίδια, αμμώδη αναχώματα και πλευρικά κορήματα. Επίσης περιέχει τις αποθέσεις κοιλάδων που είναι χαλαρά ιζήματα λιμνών με άμμους, κροκάλες, πηλούς, αργίλους και χονδροκλαστικά υλικά, όπως τεμάχια χαλαζιτών, γνευσίων, σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων.



Σχήμα 2.2.1 Γεωλογική τομή

Γύρω από την περιοχή του Γαλαρινού υπάρχουν θέσεις με σημαντικά κοιτάσματα. Υδρομαγματικό κοιτάσμα Χρωμίτη με εμφανίσεις ορυκτών της ομάδας του Λευκοχρύσου (P.G.M.). στη περιοχή του Τριαδίου και κοιτάσματα Λευκολίθου με μορφή πλέγματος φλεβιδίων (stock work) και φλεβών.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Αλλουβιακές αποθέσεις : άργιλοι, άμμοι, ψηφίδες, ερυθρογή και λοιπά προϊόντα αποσάθρωσης, γενικά των νεογενών σχηματισμών.

Προσχώσεις κοιλάδων : αμμούχες άργιλοι.

Πλευρικά κορήματα : Συνήθως χαλαρά, αποτελούμενα κυρίως από υλικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων : Αποτελείται από χαλίκια και κροκάλες ποικίλης προελεύσεως και σύστασης .

Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων : Κροκάλες κυρίως από χαλαζίτες και μεταμορφωμένα πετρώματα .

Ριπίδια προσχώσεων : Παλαιά .

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

ΑΝ.ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ-ΚΑΤΩ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Σειρά ερυθρών αργίλων : (λιμναία έως χερσαία φάση) Μερικές φορές περιέχουν φακοειδής ενστρώσεις άμμων, μαργών, κροκαλοπαγών κτλ.

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΙΟΝΙΑΣ

ΑΝ.ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ-Κ.ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Στρώμα Πρινοχωρίου : Τεφροί ή πρασινωποί αμμούχοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, με ασβεστολιθικές ταινίες και χαρακτηριστικούς ορίζοντες πυριτολίθων .

ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι : Τεφροί έως γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις, μερικά ανακρυσταλλωμένοι. Επίσης παρεμβάλλονται μερικοί ορίζοντες βωξίτη.

ΜΕΤΑΪΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΙΟΝΙΑΣ

Επιδοτιτικοί-Ακτινολιθικοί Σχιστόλιθοι

ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟ

Διμαρμαρυγιακός γνένσιος και μοσχοβιτικός γνένσιος : Κυρίως είναι εξαλλοιωμένος και παρεμβάλλονται αμφιβολίτες και φακοί από μάρμαρο .

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

ΜΕΣΟΖΩΪΚΟ

Βιοτιτικός και διμαρμαρυγιακός γρανοδιορίτης

ΜΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΧΟΡΤΙΑΤΗ

Επιγενέσιοι : Καστανοί ή πρασινωποί καλοστρωμένοι με γνευσιακό ιστό .

Διορίτης και Χαλαζιακός Διορίτης : Μεσόκοκκος ελάχιστα σχιστώδης .

Γάββρος : Επιπλέον ολιβινικός γάββρος, υπερθενικός γάββρος κτλ .

Πυροξενίτες : Κυρίως βεμπστερίτης, διαλλαγίτης και ολιβινικός διαλλαγίτης.

Δουνίτες και Περιδοτίτες : Κυρίως βερλίτες, μερικά λερζολιθικοί .

Ρήγμα

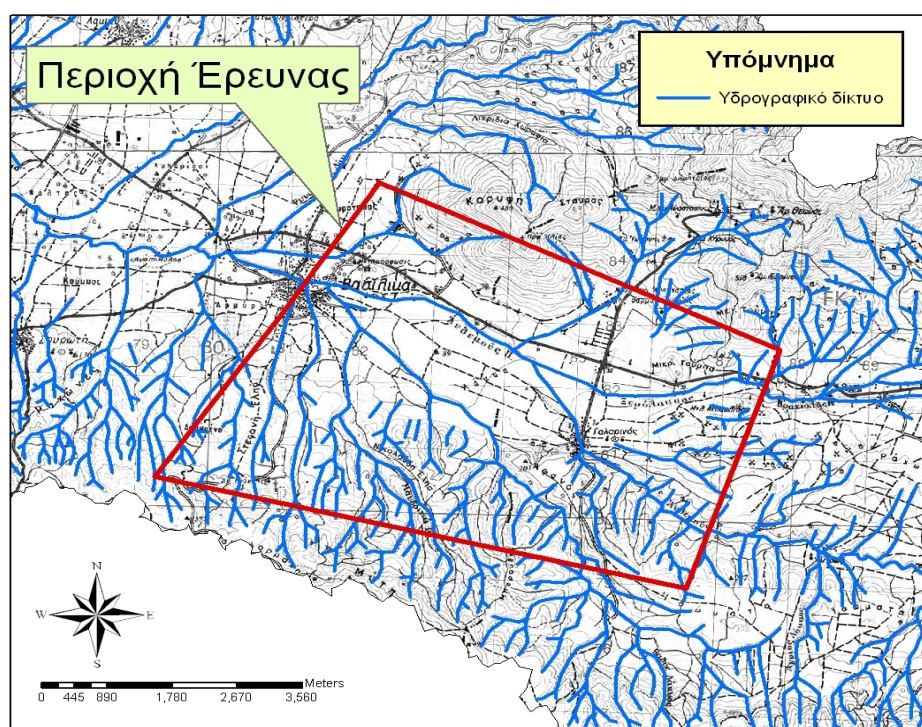


3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η περιοχή του Γαλαρινού παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον αναφορικά με την εκμετάλλευση των υδατικών του πόρων εξαιτίας των αυξημένων απαιτήσεων σε νερό των σύγχρονων αγροτικών καλλιεργειών και των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Στην περιοχή τα επιφανειακά ύδατα είναι περιορισμένα και η άρδευση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιφανειακό σύστημα καναλιών (Σχήμα 3.1). Επίσης απουσιάζει κάποιος μεγάλος ποταμός και το κλίμα είναι τέτοιο όπου επικρατεί μεγάλη ξηρασία κατά τους θερινούς μήνες. Έτσι γίνεται εκμετάλλευση των υπόγειων νερών της περιοχής με πλήθος γεωτρήσεων.

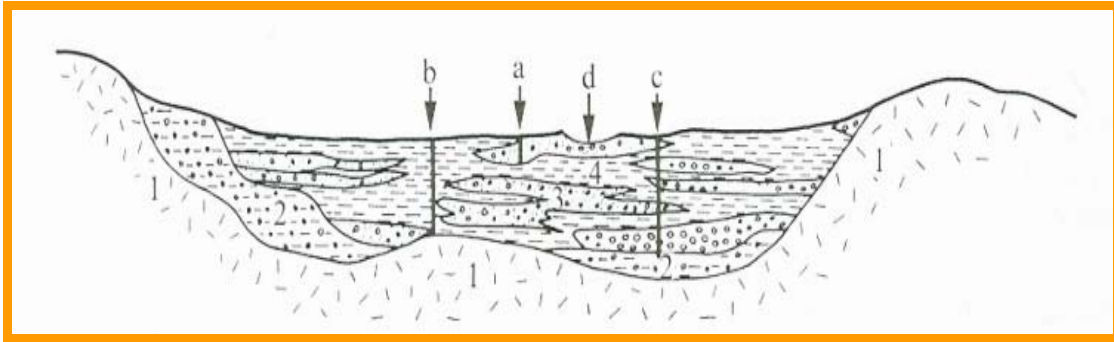
Τεκτονικά είναι τα αίτια γένεσης της περιοχής η οποία έχει πληρωθεί από κλαστικά ιζήματα ως προϊόντα διάβρωσης των γειτονικών βουνών με πάχος που ξεπερνά τα 200m. Αποτελεί αλλουβιακή πεδιάδα με σύμπλεγμα από φακοειδή επιμήκη σώματα ή ασυνεχή στρώματα χαλικιών, άμμου, ιλύος και αργίλου, ανακατεμένων κατά διάφορα ποσοστά. Τα αδρομερή ιζήματα έχουν πολύ υψηλή υδροπερατότητα (αλλουβιακά ριπίδια), ενώ τα λεπτόκοκκα ασήμαντη υδροπερατότητα (λιμναίες άργιλοι).



Σχήμα 3.1 Κατανομή υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή έρευνας

Οι υδροφόροι χαρακτηρίζονται από υψηλή ετερογένεια και ανισορροπία και στις τρεις διευθύνσεις. Έτσι σε πολλές περιοχές της πεδιάδας αναπτύσσονται σημαντικά υδροφόρα στρώματα και σε άλλες φτωχά υδροφόρα.

Οι υδροφόροι είναι υπό πίεση με υπερκείμενο στρώμα αργιλικό. Έχουν μεγαλύτερο πάχος στο κέντρο της πεδιάδας και αποσφηνώνονται πλευρικά αυτής.



Σχήμα 3.2 Τομή σε αλλουβιακή πεδιάδα, 1: υπόβαθρο, 2: παλιές αναβαθμίδες, 3: σύναγμα, 4: άργιλος, a: Ρηχό πηγάδι, d: σημερινή κοίτη υδρορέματος, b: αποτυχημένη βαθειά γεώτρηση, c: επιτυχημένη βαθειά γεώτρηση (Mandel-Shiftan, 1981 με τροποποίηση).

4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

4.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

Η κοκκομετρική ανάλυση θεωρείται και διεθνώς από τις πλέον βασικές μεθόδους κατάταξης των εδαφών. Είναι δηλαδή ο προσδιορισμός της συμμετοχής των διαμέτρων των κόκκων, ως ποσοστών, στο συνολικό όγκο του θεωρούμενου εδάφους. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από την κοκκομετρική ανάλυση μας διευκολύνουν να προβλέψουμε τη συμπεριφορά των εδαφών, όσον αφορά στην αντοχή και στην παραμόρφωση και να συμπεράνουμε τη δυνατότητα κίνησης του υπόγειου νερού (διήθηση) μέσα από τα κενά μεταξύ των κόκκων.

Για την ονομασία και την ταξινόμηση των εδαφικών υλικών εξετάζεται το μέγεθος των κόκκων. Τα μεγέθη αυτά κατανέμονται κατά ομάδες, όπου τα μέρη βάρους καθεμιάς προσδιορίζονται με τη μέθοδο των κόσκινων ή με την ανάλυση ιλύος. Το όριο ανάμεσα στη χρησιμοποίηση αυτών των δύο μεθόδων βρίσκεται στους κόκκους που έχουν διάμετρο 0,075 mm (όριο άμμου-ιλύος). Έτσι αν έχουμε κόκκους με $d > 0,075$ mm χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με τα κόσκινα, ενώ αν έχουμε $d < 0,075$ mm χρησιμοποιούμε την ανάλυση ιλύος.

Τα εδαφικά υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων λαμβάνουν τα παρακάτω ονόματα (ASTM, 1989):

Πίνακας 4.1: Κατηγορίες εδαφικών υλικών – χαρακτηριστικά κόσκινα.

Κροκάλες-Λίθοι	το κόσκινο 76,2 mm χωρίζει το εδαφικό υλικό από τις κροκάλες	-	-
Χαλίκια	Τα χαλίκια είναι η διαβάθμιση μεταξύ του κόσκινου των 76.2 mm και του κόσκινου No4 (4.76 mm)	Χονδρόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 76,2 mm και 19 mm
		Λεπτόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 19 mm και No4 (4.76 mm) .
Άμμος	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.76 mm) και No200 (0.075 mm) .	Χονδρόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.76 mm) και No10 (2 mm)
		Μεσόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No10 (2 mm) και No40 (0.425 mm) .
		Λεπτόκοκκη άμμος	συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No40(0.425 mm) και No200 (0.075 mm) .

Ιλύς – Άργιλος	Η ιλύς και η άργιλος είναι το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο200 (0.075 mm)	Ιλύς (0.075 -0.002 mm)	Γίνεται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου
		Άργιλος (έως 0.002 mm)	

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

1. Συσκευή κοσκινίσματος (σχήμα 4.1.1)

Το δείγμα που θέλουμε να εξετάσουμε τοποθετείται στο κόσκινο με τη μεγαλύτερη οπή, από το οποίο, ανάλογα με το είδος του δείγματος, να διέρχεται όλη η ποσότητα. Στη συνέχεια με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανατινάξεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού. Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο συλλέγεται σε κατάλληλες πλατύστομες λεκάνες. Η διαδικασία του κοσκινίσματος, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκινίσματος (sieve shaker). Στις συσκευές αυτές τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος.



Σχήμα 4.1.1 Συσκευή κοσκινίσματος και κόσκινα

2. Σειρά κοσκίνων

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,075mm έως 25.0mm.

Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω: 0.075 (No. 200), 0.15 (No. 100), 0.30 (No. 50), 0.425 (No. 40), 2.0 (No. 10), 4.75 (No. 4), 6.30 (1/4"), 12.50 (1/2"), 19.0 (3/4"), 25.0 (1")

3. Γουδί και γουδοχέρι

Χρησιμοποιείται για τη σύνθλιψη του εδαφικού υλικού.



Σχήμα 4.1.2. Γουδί και γουδοχέρι

4. Ζυγαριά με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων.

Χρησιμοποιείται για το ζύγισμα του εδαφικού υλικού πριν και μετά από την ξήρανσή του.



Σχήμα 4.1.3 Ζυγαριά ακριβείας(αριστερά)και εργαστηριακός φούρνος(δεξιά)

Η διαδικασία που ακολουθείτε είναι η εξής:

- Το δείγμα θερμαίνεται στους 105°C και αφού ξηρανθεί ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας.
- Αδειάζουμε το υλικό του δείγματος μέσα σε μια σειρά κοσκίνων με διαφορετική διάμετρο. Το τελευταίο κόσκινο με $d = 0.075\text{mm}$ (No. 200) αντιπροσωπεύει το τελευταίο κλάσμα της άμμου.
- Μεταφέρουμε ολόκληρη τη στήλη σε αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος και κοσκινίζουμε για 15' περίπου.
- Το υλικό που έχει μείνει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνολικού βάρους του δείγματος.
- Στο τέλος ζυγίζουμε και το περιεχόμενο του δίσκου που βρίσκεται κάτω από το τελευταίο κόσκινο και περιέχει τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος). Η διαφορά βάρους ανάμεσα στο αρχικό ζύγισμα και στο σύνολο των

συγκρατούμενων υλικών των διαφορετικών κόσκινων δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% του αρχικού βάρους.

4.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης περιγράφονται: (α) με τα % ποσοστά που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο και (β) με τα % ποσοστά που διέρχονται από κάθε κόσκινο. Τα ποσοστά υπολογίζονται με βάση το ολικό βάρος του δείγματος συμπεριλαμβανομένου και του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου Νο 200. Η κοκκομετρική διαβάθμιση παριστάνεται με την κοκκομετρική καμπύλη που είναι μια αθροιστική καμπύλη των μερών εκείνων που παίρνουμε με τη μέθοδο των κοσκίνων εκφρασμένα σε ποσοστά % αθροιστικά επί του συνόλου του δείγματος. Τα αθροιστικά αυτά ποσοστά μεταφέρονται μαζί με τις αντίστοιχες διαμέτρους των κόκκων σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (η διάμετρος στη λογαριθμική κλίμακα). Η καμπύλη αυτή κινείται πάντοτε από κάτω αριστερά προς τα πάνω δεξιά και αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για να χαρακτηρίσουμε ένα έδαφος.

Από την κοκκομετρική καμπύλη μπορούμε να διακρίνουμε τον κύριο τύπο του εδάφους και τις υπάρχουσες προσμίξεις. Ως κύριο έδαφος χαρακτηρίζεται το έδαφος εκείνο στο οποίο κυριαρχεί το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους.

4.2 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείτε για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Για την ανάλυση αυτή χρειάζεται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152^H (Σχήμα 4.2.1). Η κλίμακά του έχει υποδιαίρεσεις από 0-60 gr/lit και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20° C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65 gr/cm³.

Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του εν αιώρηση στερεού υλικού μέσα σ' ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Το στέλεχος έχει υποδιαίρεσεις που οι τιμές τους αυξάνονται από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του στελέχους. Όταν η συγκέντρωση του εν αιώρηση υλικού είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιόμετρου συναντά την επιφάνεια του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα όταν η συγκέντρωση είναι μικρή τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα και αυτό μας δείχνει μικρές τιμές πυκνότητας.

Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου εξαρτάται από το μέγεθός τους. Οι μεγάλοι κόκκοι θα καθιζάνουν στο πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους.



Σχήμα 4.2.1 Αραιόμετρο και ογκομετρικοί κύλινδροι

4.2.1 Περιγραφή διαδικασίας:

- Το δείγμα που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή αυτή περιλαμβάνει όλο το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No. 10 (2 mm). Η ποσότητά του ανέρχεται περίπου στα 50 gr για τα περισσότερα εδάφη ή 100 gr για τα αμμόδη εδάφη.
- Μια μικρή ποσότητα δείγματος, περίπου 50 gr, από το κλάσμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 10, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φυσικής του υγρασίας.
- Έπειτα το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι των 250 ml και καλύπτεται με 125 ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς που έχει επιλεγεί (πολυφωσφορικό νάτριο $\text{Na}_2\text{P}_{10}\text{O}_{31}$, 21.6 gr/ltr). Αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για 12 τουλάχιστον ώρες για την αποσυσσωμάτωση των κόκκων.
- Το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται αποσταγμένο νερό και αναδεύεται με μηχανική συσκευή ανακίνησης (mixer) για 1 min για να επιτευχθεί η διασπορά.
- Το ομογενές αιώρημα μεταφέρεται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι την ογκομετρική χαραγή των 1000 ml και αναταράσσεται με τα χέρια επί 1 min.
- Με το τέλος της αναταράξεως τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και διαβάζονται οι ενδείξεις στην βαθμονομημένη κλίμακα του αραιόμετρου με προσέγγιση 0,5 gr/ltr των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min από την έναρξη της κατακάθισης. Αμέσως μετά κάθε ανάγνωσης του αραιόμετρου μετρείται η

θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου (Σχήμα 4.2.2).

- Μετά το τέλος κάθε ανάγνωσης, το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το αραιόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ακινητοποίησή του πριν από τον καθορισμένο χρόνο αναγνώσεως.
- Μετά την τελική ανάγνωση του αραιομέτρου, το αιώρημα πλένεται επάνω σε κόσκινο No. 200. Το κλάσμα που συγκρατείται στο κόσκινο No. 200 ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με τα κόσκινα : No. 40, No. 100 και No. 200.



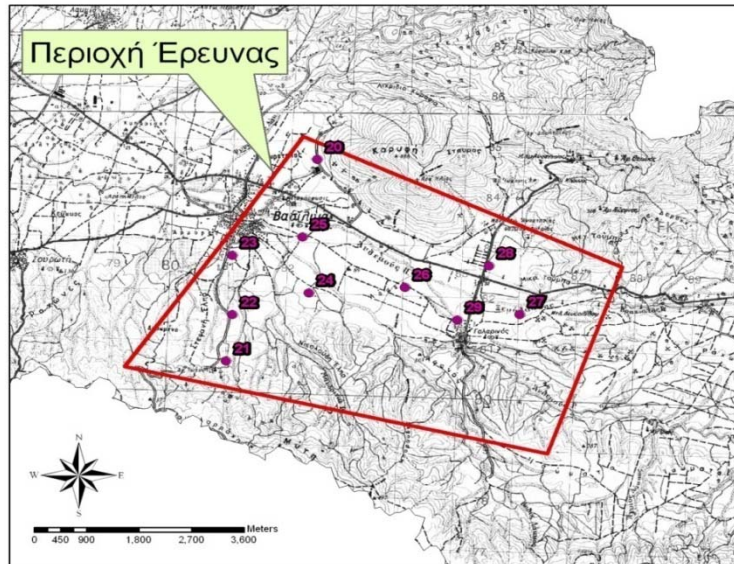
Σχήμα 4.2.2 Φωτογραφία κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μας δοκιμών

4.2.2. Παρουσίαση μετρήσεων

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού που πλύθηκε στο κόσκινο No. 200, τα ποσοστά % του δείγματος που συγκρατούνται πάνω σε κάθε κόσκινο, υπολογίζονται δια διαιρέσεως του βάρους αυτών με το βάρος του εδάφους που υποβλήθηκε σε διασπορά και έχει ξηρανθεί σε κλίβανο και πολ/σμού επί 100. Τα ποσοστά επί του συνολικού δείγματος δοκιμής που περιλαμβάνει και το συγκρατούμενο κόσκινο No. 10 κλάσμα υπολογίζονται δια του πολ/σμού των πιο πάνω τιμών με την έκφραση: $(100 - \text{ποσοστό συγκρατούμενο στο κόσκινο No. 10}) / 100$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μορφή κοκκομετρικής καμπύλης.

5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από την περιοχή έρευνας τα δείγματα συλλέχθηκαν το έτος 2010 από 10 διαφορετικά σημεία (Σχήμα 5.1) εντός Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών σε βάθος 75 cm και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για τις εργαστηριακές δοκιμές.



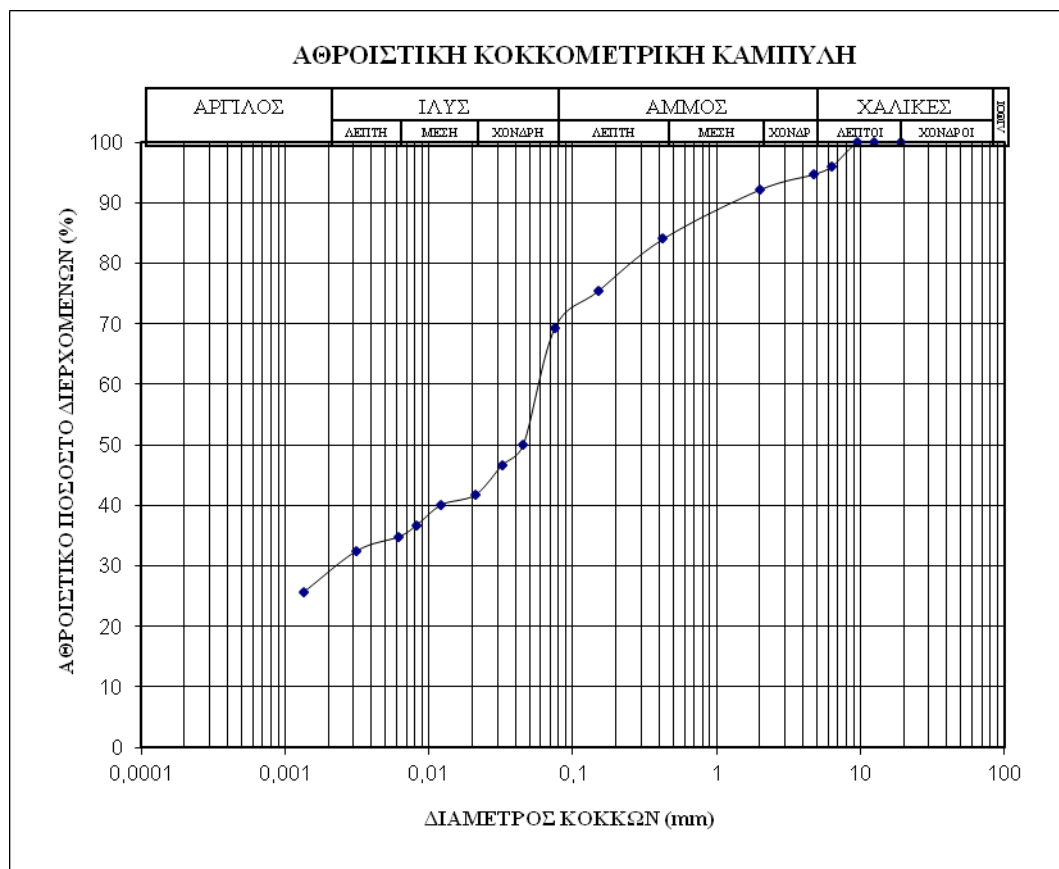
Σχήμα 5.1 Σημεία λήψης δειγμάτων



Σχήμα 5.2 Φωτογραφία από τη συλλογή δειγμάτων στο ύπαιθρο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για κάθε σημείο χωριστά, με την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη και τον πίνακα κατανομής των ποσοστών του υλικού.

Δείγμα 20

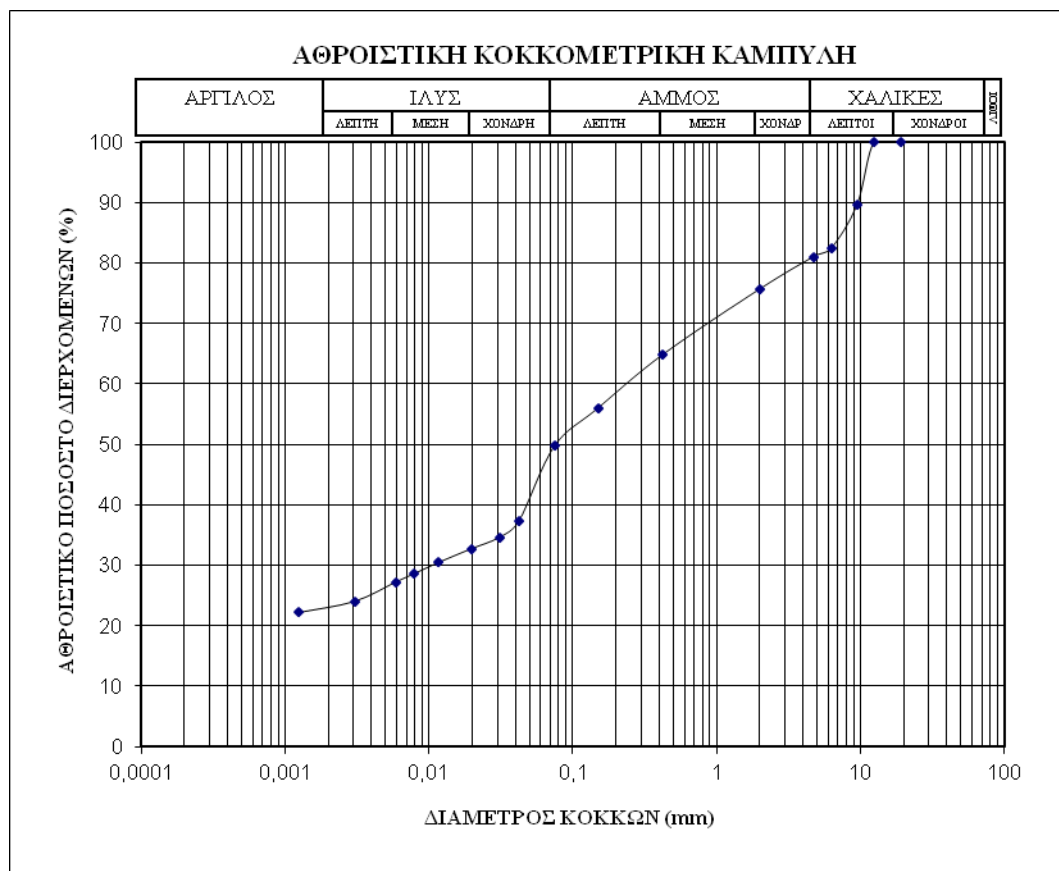


Σχήμα 5.3 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 20

Πίνακας 1. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
5.23	25.45	41.24	28.09

Δείγμα 21

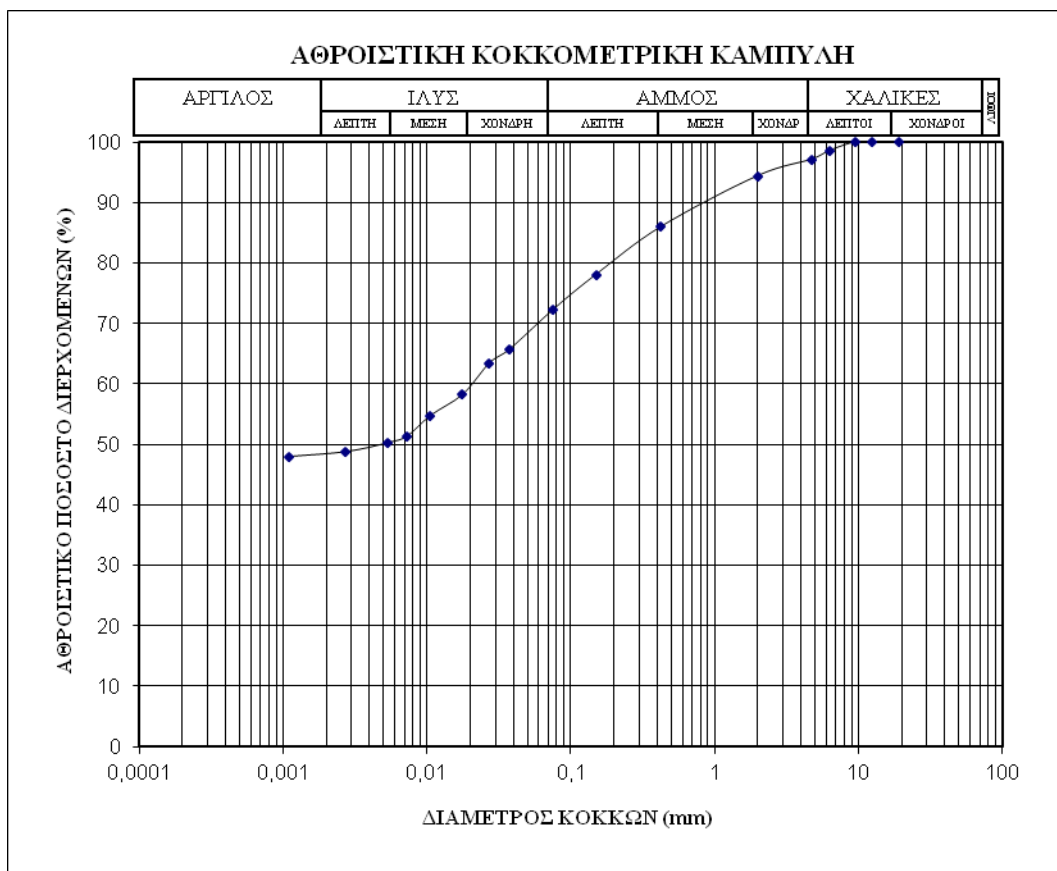


Σχήμα 5.4 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 21

Πίνακας 2. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
8,54	31,32	26,76	22,94

Δείγμα 22

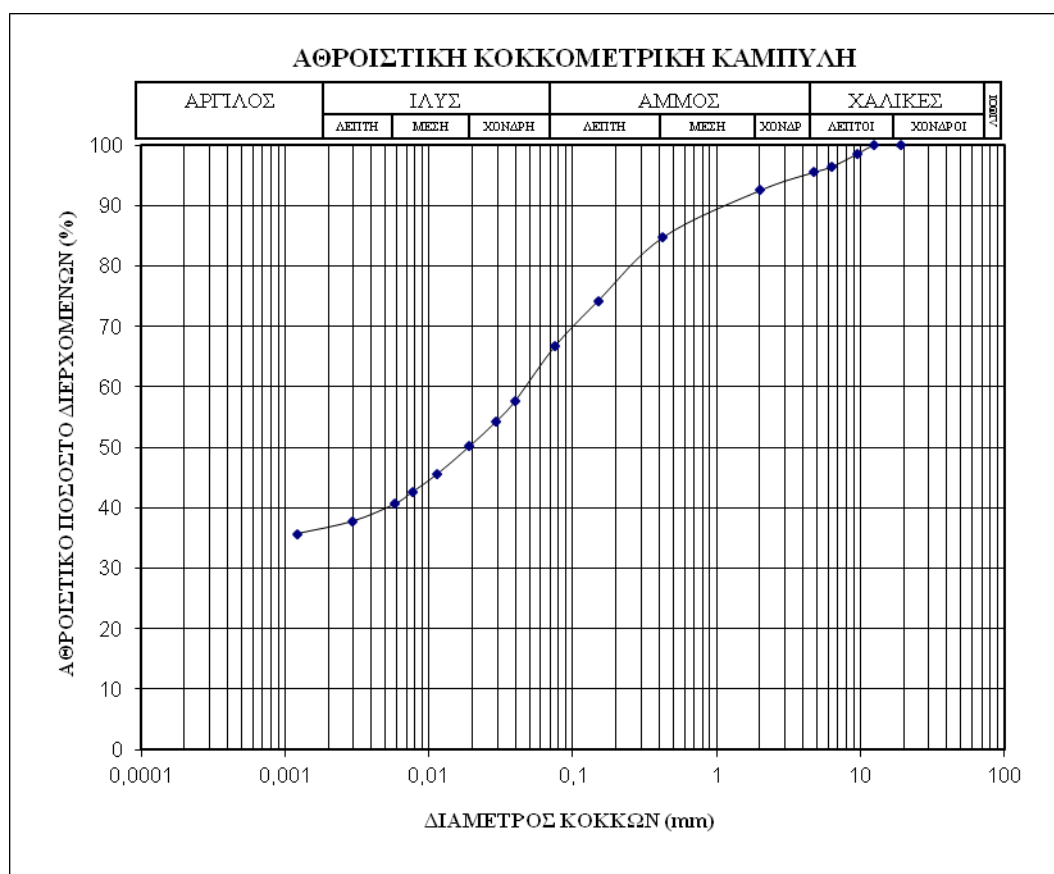


Σχήμα 5.5 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 22

Πίνακας 3. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
2,88	24,90	23,88	48,35

Δείγμα 23

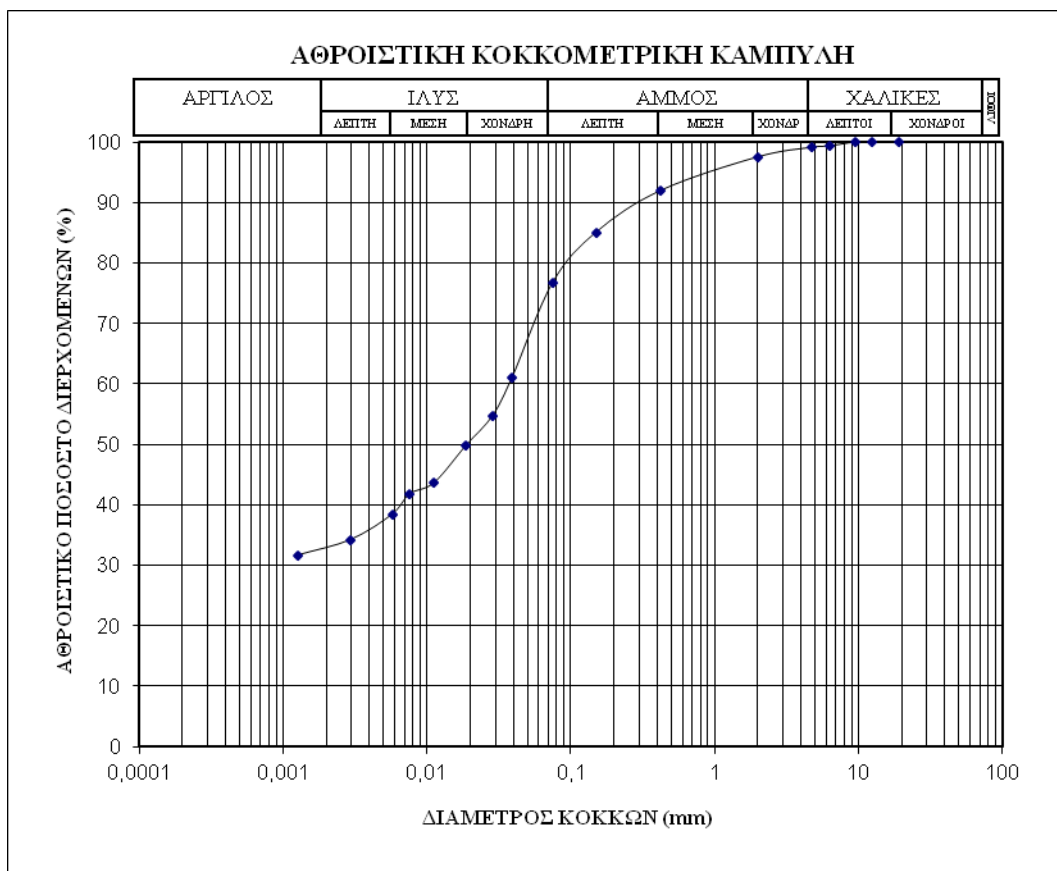


Σχήμα 5.6 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 23

Πίνακας 4. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
3,02	28,87	30,07	36,65

Δείγμα 24



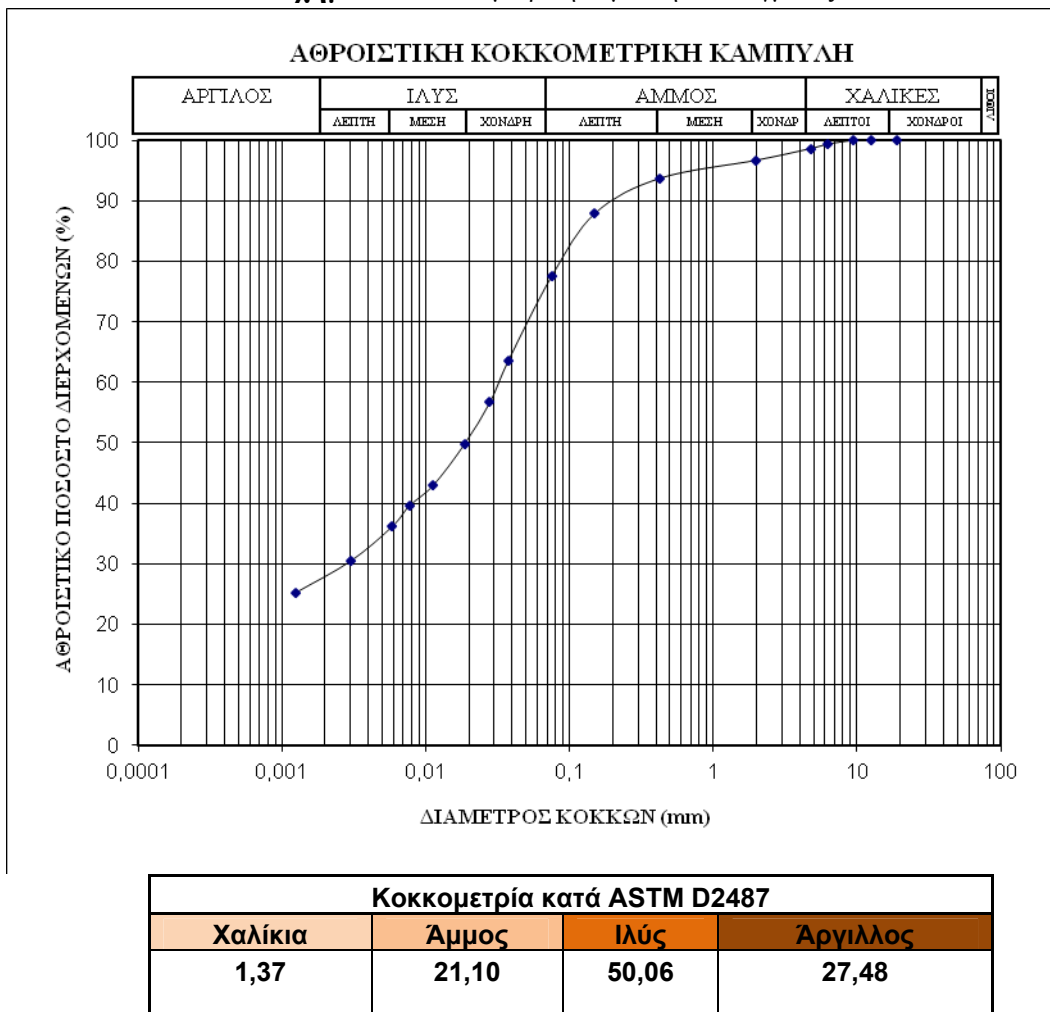
Σχήμα 5.7 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 24

Πίνακας 5. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
0,85	22,42	44,02	32,71

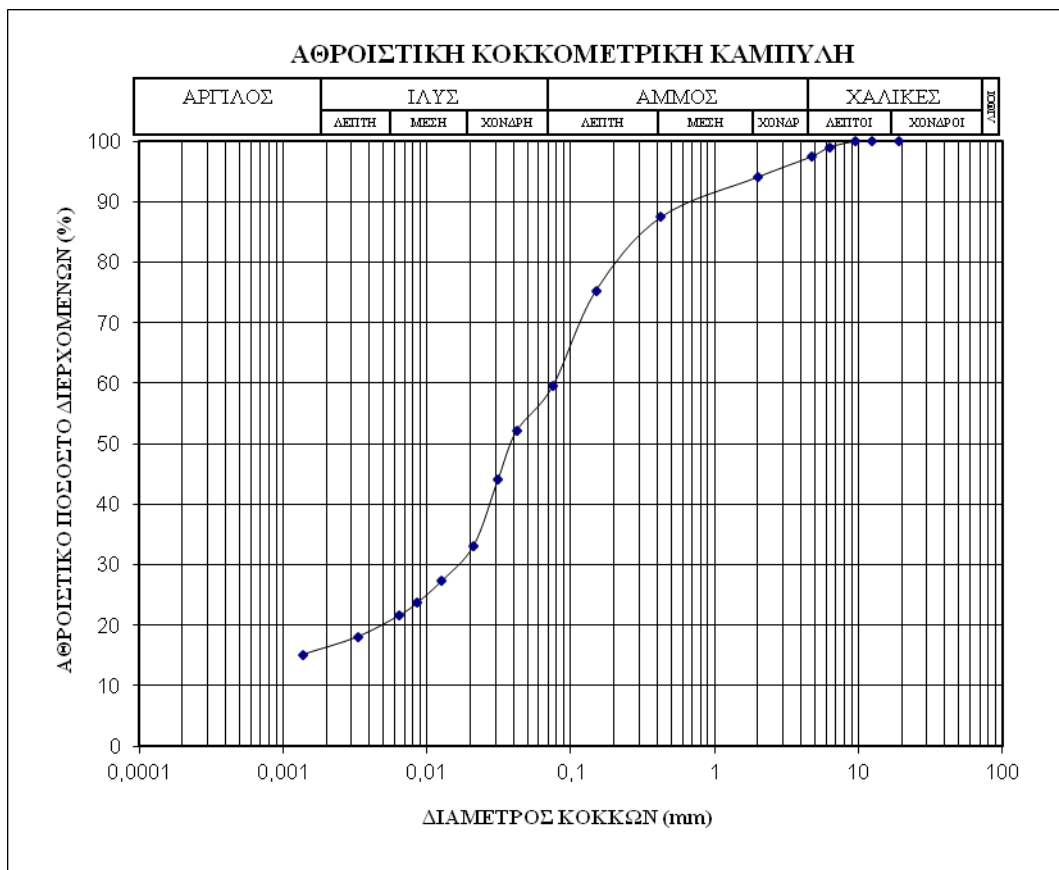
Δείγμα 25

Σχήμα 5.8 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 25



Πίν
ακα
ς 6.
Κατ
ανο
μή
του
υλικ
ού
σε
ποσ
οστ
ά

Δείγμα 26

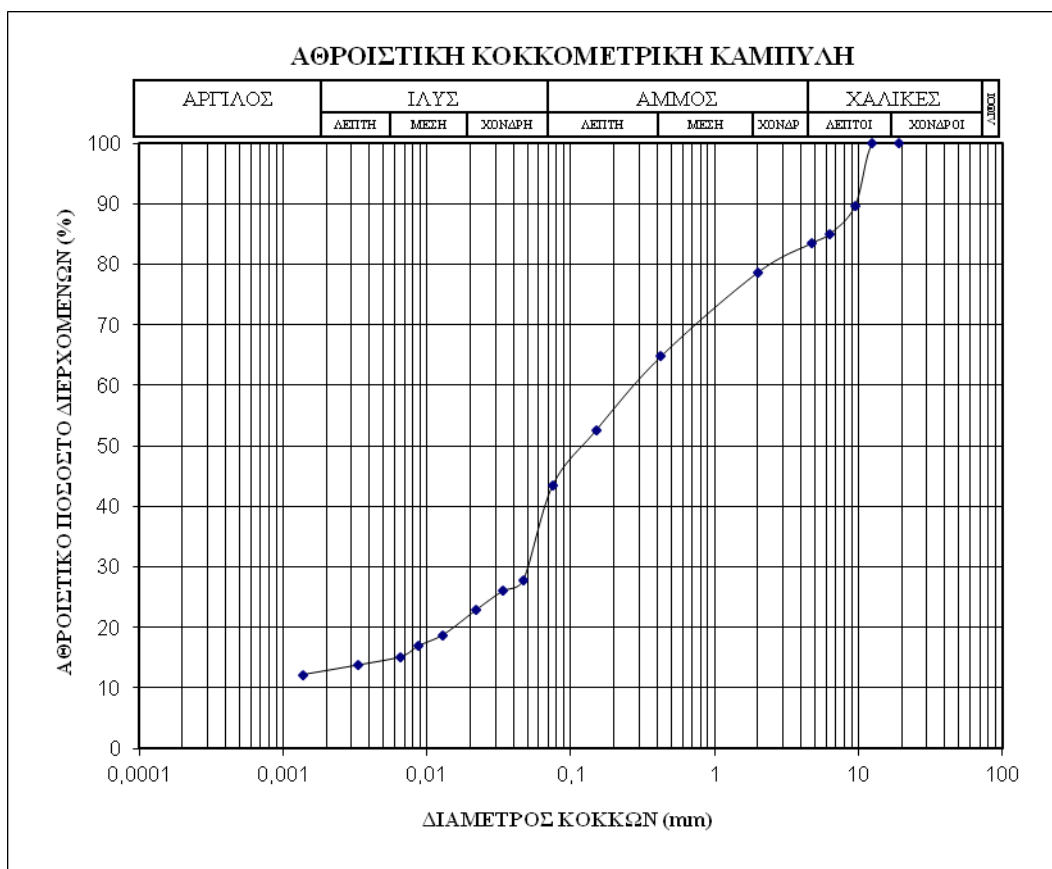


Σχήμα 5.9 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 26

Πίνακας 7. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
2,49	38,05	43,40	16,07

Δείγμα 27

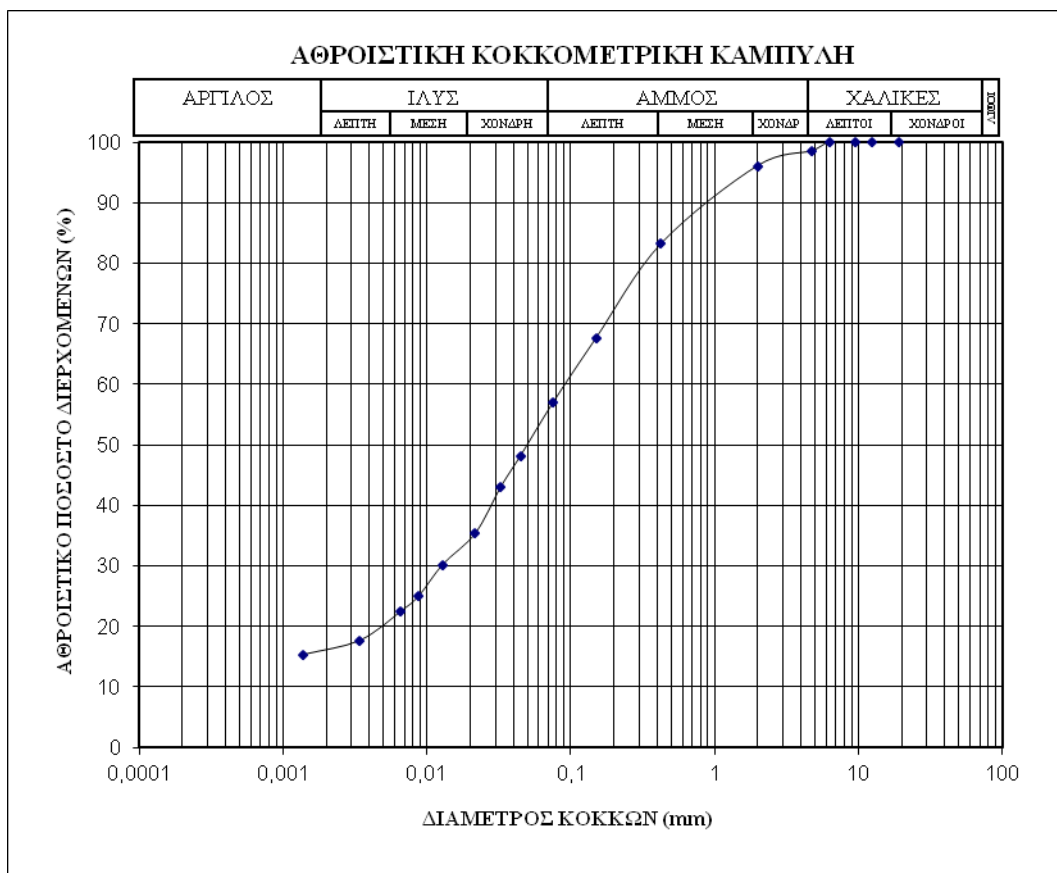


Σχήμα 5.10 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 27

Πίνακας 8. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
6,15	40,12	30,78	12,65

Σημείο 28

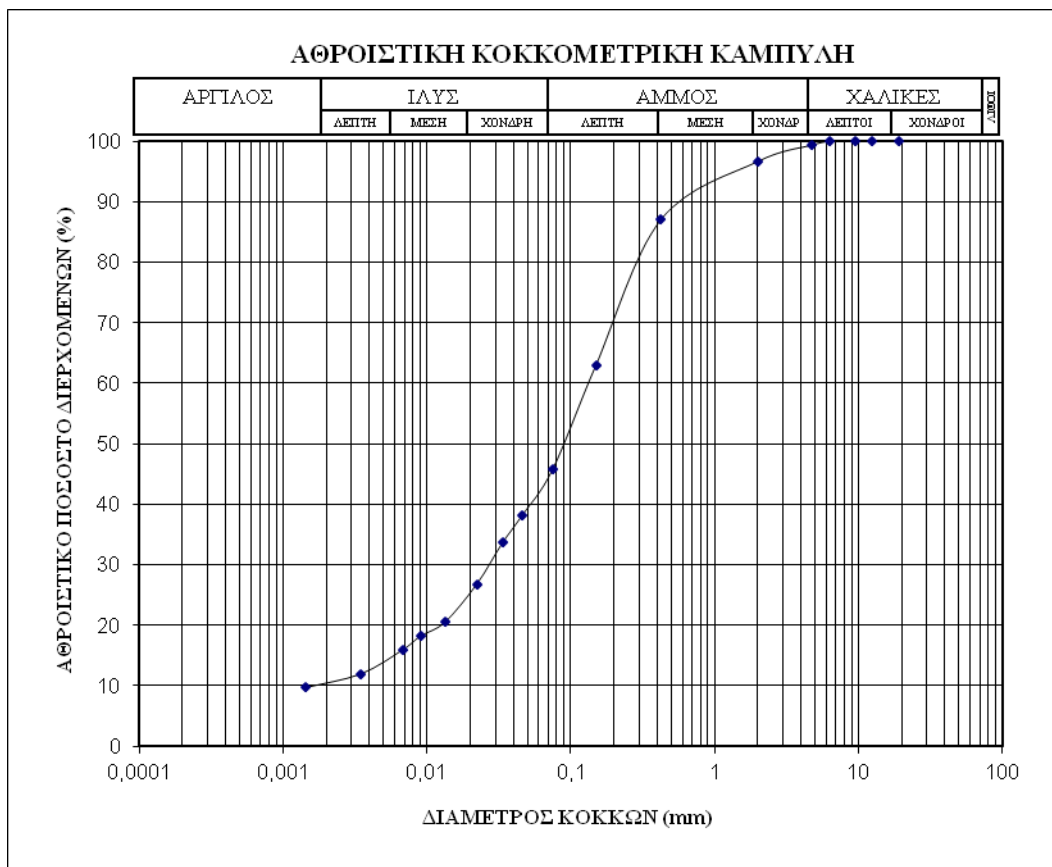


Σχήμα 5.11 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 28

Πίνακας 9. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
1,45	41,63	40,92	16,00

Δείγμα 29



Σχήμα 5.12 Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 29

Πίνακας 10. Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Αργίλλος
0,65	53,60	35,43	10,33

5.1 Μηχανική σύσταση των δειγμάτων και ταξινόμηση τους κατά USDA

Η μηχανική σύσταση του εδάφους αναφέρεται στις σχετικές αναλογίες των συστατικών της αργίλου (C), της ιλύος (Si) και της άμμου (S) από τις οποίες προκύπτει

ο εδαφικός τύπος. Το πιο διαδεδομένο σύστημα προσδιορισμού του εδαφικού τύπου είναι το αμερικάνικο (USDA) σύστημα και περιλαμβάνει 12 κλάσεις για το έδαφος οι οποίες είναι : **Αργιλώδες έδαφος:** Αργιλώδες (Clay - C), αργιλοαμμώδες (Sandy clay - SC), ιλυοαργιλώδες (Silty clay – SiC), αργιλοπηλώδες (Clay loam - CL). **Πηλώδες έδαφος:** Πηλοαμμώδες (Loamy sand - LS), αμμοαργιλοπηλώδες (Sand clay loam - SCL), πηλώδες (Loam - L), ιλυοπηλώδες (Silty loam - SiL), ιλυοαργιλοπηλώδες (Silty clay loam - SiCL), Ιλυώδες (Silt - Si). **Αμμώδες έδαφος:** Αμμώδες (Sandy - S), αμμοπηλώδες (Sandy loam - SL). Το ποσοστό της αργίλου σε ένα έδαφος παίζει σημαντικό ρόλο καθώς όσο αυξάνεται το ποσοστό της τόσο αυξάνει και η ενεργός επιφάνεια της στερεής φάσης του εδάφους που έρχεται σε επαφή με την υγρή του φάση (Μήτσιος 1999).

Πίνακας 11 Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων Όπου G: Χαλίκια, S: Άμμος, Si: Ιλύς, C: Άργιλος

A/A	Ποσοστά στο σύνολο του δείγματος των G, S, Si, C				Ποσοστά των S, Si, C			Εδαφικός τύπος (USDA)
	G	S	Si	C	S	Si	C	
20	5.23	25.45	41.24	28.09	26.85	43.51	29.64	CL
21	8.54	31.32	26.76	22.94	38.66	33.03	28.31	CL
22	2.88	24.90	23.88	48.35	25.63	24.58	49.78	C
23	3.02	28.87	30.07	36.65	30.20	31.46	38.34	CL
24	0.85	22.42	44.02	32.71	22.62	44.40	32.99	CL
25	1.37	21.10	50.06	27.48	21.39	50.76	27.86	CL
26	2.49	38.05	43.40	16.07	39.02	44.51	16.48	L
27	6.15	40.12	30.78	12.65	48.02	36.84	15.15	L
28	1.45	41.63	40.92	16.00	42.24	41.52	16.24	L
29	0.65	53.60	35.43	10.33	53.94	35.66	10.39	SL
Μέγιστο	19.73	82.19	65.21	61.46	84.85	65.21	61.46	-
Ελάχιστο	0.00	10.25	7.54	2.65	10.25	7.79	3.54	-

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

6.1 Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (MAAG)

Η δοκιμή μεταβλητού φορτίου χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα. Παροχετεύεται νερό στη γεώτρηση ώστε η στάθμη του νερού σ' αυτήν να ανέβει σε επιθυμητό επίπεδο και μετριέται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει η νέα στάθμη που δημιουργήθηκε σε μια πιο χαμηλή θέση. Η δοκιμή γίνεται κατά την εξέλιξη της διάτρησης της γεώτρησης.

$$k = \ln \frac{h_1}{h_2}$$

όπου:

k = ο συντελεστής υδροπερατότητας σε **cm/sec**,

s = η διατομή της στήλης του νερού μέσα στη γεώτρηση (πr^2 , σε cm^2),

t = ο χρόνος πτώσης της στάθμης του νερού σε **sec**,

h₁ = η αρχική στάθμη του νερού πάνω από τη στάθμη αναφοράς

h₂ = η τελική στάθμη του νερού πάνω από τη στάθμη αναφοράς

c = Συντελεστής που εξαρτάται από τη μορφή του δοκιμαζόμενου τμήματος, και είναι:

$c = 2,75d$, όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι η κυκλική επιφάνεια του πυθμένα (d είναι η διάμετρος της προσωρινής σωλήνωσης σε **cm**).

Για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και μείωση σφαλμάτων συνήθως εκτελούνται τρεις δοκιμές για το ίδιο τμήμα με διαφορετικές υδροστατικές στάθμες και διαφορετικές παροχές. Τα σημεία των ζευγών θα πρέπει να βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία στους άξονες $\ln(h_1/h_2)$ -t. Αν δεν συμβαίνει αυτό τότε μπορεί να υπάρχουν σφάλματα που μπορεί να οφείλονται σε απώλειες φορτίου ή σε μη γραμμική ροή νερού μέσα στο γεωλογικό σχηματισμό.

6.2 Επί τόπου δοκιμές στην περιοχή έρευνας

Για τις επί τόπου δοκιμές χρησιμοποιήθηκε στην ύπαιθρο ένας δειγματολήπτης για τη διάνοιξη της οπής, πλαστικός σωλήνας για την απομόνωση των πλευρικών στρωμάτων, χρονόμετρο για τις μετρήσει, μπουκάλια με νερό για την πραγματοποίηση των δοκιμών.

- Αρχικά περιστρέφουμε και πιέζουμε το δειγματολήπτη στο έδαφος ώστε να ανοίξουμε μια οπή (Σχήμα 7.1.1).



Σχήμα 7.1.1 Φωτογραφίες κατά τη δημιουργία της οπής

- Στη συνέχεια τοποθετούμε τον πλαστικό σωλήνα στο έδαφος (Σχήμα 7.1.2)



Σχήμα 7.1.2 Φωτογραφίες με την είσοδο του σωλήνα στο έδαφος

- Έπειτα ρίχνουμε νερό στο σωλήνα και με το χρονόμετρο μετράμε το χρόνο που θα κάνει το νερό να κατέβει σε χαμηλότερο επίπεδο (Σχήμα 7.1.3)



Σχήμα 7.1.3 Φωτογραφίες κατά τις επιτόπου δοκιμές

- Τέλος αφαιρούμε το σωλήνα και μεταφερόμαστε σε επόμενη θέση αφού επαναλάβουμε τη διαδικασία 3 φορές (Σχήμα 7.1.4)



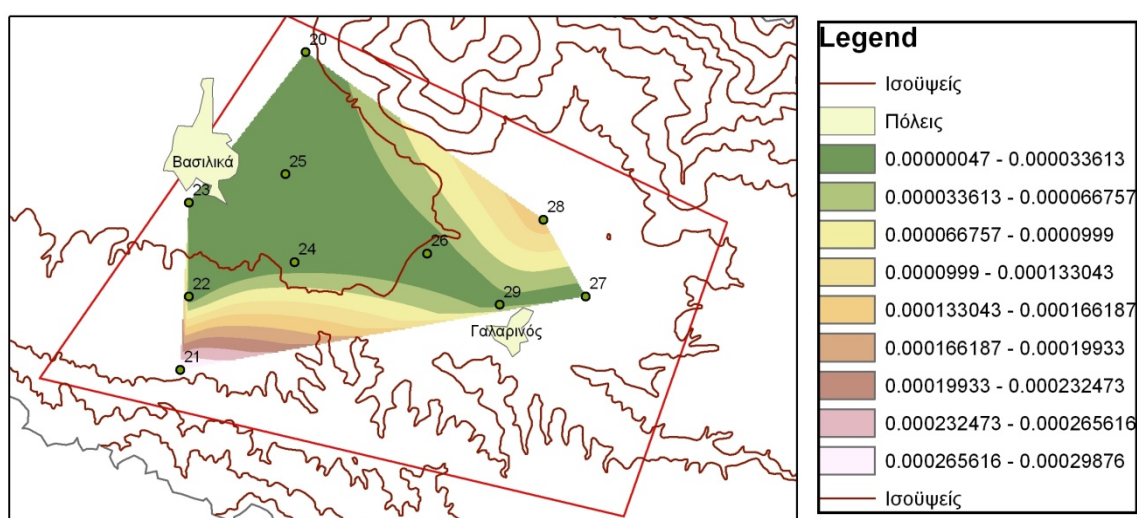
Σχήμα 7.1.4 Φωτογραφίες κατά τις επιτόπου δοκιμές

Από τις επί τόπου δοκιμές στο ύπαιθρο και σύμφωνα με τον τύπο δοκιμής μεταβλητού φορτίου προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 12) με την υδραυλικά αγωγιμότητα για

κάθε δείγμα χωριστά και συντάχθηκε ο χάρτης με την κατανομή της στην περιοχή έρευνας (Σχήμα 7.1.5).

Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμής μεταβλητού φορτίου

Δείγμα	s	c	t(sec)	h1	h2	k(cm/sec)
20	18,84	33	20400	40	32	6,24E-06
21	18,84	33	252	40	35	3,03E-04
22	18,84	33	300	40	39,88	5,72E-06
23	18,84	33	300	40	39,91	4,29E-06
24	18,84	33	300	40	39,85	7,15E-06
25	18,84	33	300	40	39,99	4,76E-07
26	18,84	33	480	40	39,99	2,97E-07
27	18,84	33	600	40	39,7	7,16E-06
28	18,84	33	211,2	40	37,7	1,60E-04
29	18,84	33	240	40	39,7	1,79E-05



Σχήμα 7.1.5 Κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας σε cm/s στην περιοχή έρευνας.

6.3 Εμπειρικές μέθοδοι-πεδοσυναρτήσεις

Ο όρος πεδοσυνάρτηση εισήχθη από τον Johan Buma το 1989 για να περιγράψει τη μαθηματική εκείνη συνάρτηση που μετασχηματίζει δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα στο πεδίο, σε δεδομένα που χρειαζόμαστε. Μια μαθηματική σχέση που έχει τη δυνατότητα υπολογισμού φυσικών, χημικών ή υδραυλικών ιδιοτήτων βασισμένη σε άλλα ευκόλως μετρήσιμα χαρακτηριστικά αναφέρεται ως μια συνάρτηση απεικόνισης πεδίου ή πεδοσυνάρτηση (PTF). Οι πεδοσυναρτήσεις αυξάνουν τη σπουδαιότητα των βασικών πληροφοριών αφού ελαχιστοποιούν το χρόνο που απαιτούν οι επίπονες και δαπανηρές μέθοδοι υπολογισμού προσδιορισμού των δαπανηρών παραμέτρων. Φυσικά όσο περισσότερα δεδομένα υπάρχουν, τόσο αυξάνει και η αξιοπιστία της πεδοσυνάρτησης.

Για τις δικές μας μετρήσεις χρησιμοποιήσαμε την πεδοσυνάρτηση που πρότειναν οι Ferrer-Julia, (2004), οι Dane and Puckett, (1994), Cosby(1984) και Campbell and Shiozawa(1992) που περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$K_s(\text{mm/h}) = 0.920 \cdot \exp(0.0491 \cdot S\%) \quad \textbf{(Ferrer-Julia, 2004) (1)}$$

$$K_s(\text{mm/h}) = 303.84 \cdot \exp(-0.144 \cdot C\%) \quad \textbf{(Dane and Puckett, 1994) (2)}$$

$$K_s(\text{mm/s}) = 25,4 + 10^{(-0,6+0,012 \cdot S\%-0,0064 \cdot C\%)} \quad \textbf{(Cosby 1984)(3)}$$

$$K_s(\text{mm/h}) = 54 \cdot \exp(-0,07 \cdot S\% - 0,167 \cdot C\%) \quad \textbf{(Campbell and Shiozawa, 1992) (4)}$$

όπου S(Sand)=άμμος και C(clay)=άργιλος

Για την πεδοσυνάρτηση (1) προέκυψε ο παρακάτω πίνακας τιμών:

Πίνακας 13 Υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκε από την πεδοσυνάρτηση των Ferrer-Julia (2004).

Δείγμα	clay	Ks (mm/h)	Ks (cm/s)
20	28,09	3,20	8,92E-05
21	22,94	4,28	1,19E-04
22	48,35	3,12	8,68E-05
23	36,65	3,80	1,05E-04
24	32,71	2,77	7,68E-05
25	27,48	2,59	7,20E-05
26	16,07	5,96	1,66E-04
27	12,65	6,60	1,83E-04
28	16,00	7,10	1,97E-04
29	10,33	12,79	3,55E-04

Για την πεδοσυνάρτηση (2) προέκυψε ο επόμενος πίνακας:

Πίνακας 13: Υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκε από την πεδοσυνάρτηση των **Dane and Puckett (1994)**.

Δείγμα	Sand	Ks (mm/h)	Ks (cm/s)
20	25,45	5,32	1,48E-04
21	31,32	11,17	3,10E-04
22	24,90	0,29	7,99E-06
23	28,87	1,55	4,31E-05
24	22,42	2,74	7,60E-05
25	21,10	5,81	1,61E-04
26	38,05	30,05	8,35E-04
27	40,12	49,12	1,36E-03
28	41,63	30,33	8,43E-04
29	53,60	68,68	1,91E-03

Για την πεδοσυνάρτηση (3) προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 14: Υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκε από την πεδοσυνάρτηση **Cosby (1984)**

Δείγμα	Sand	clay	Ks (mm/h)	Ks (cm/s)
20	25,45	28,09	25,74	7,15E-04
21	31,32	22,94	25,83	7,17E-04
22	24,90	48,35	25,65	7,12E-04
23	28,87	36,65	25,73	7,15E-04
24	22,42	32,71	25,69	7,14E-04
25	21,10	27,48	25,70	7,14E-04
26	38,05	16,07	25,97	7,21E-04
27	40,12	12,65	26,03	7,23E-04
28	41,63	16,00	26,03	7,23E-04
29	53,60	10,33	26,35	7,32E-04

Για την πεδοσυνάρτηση (4) προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 15: Υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκε από την πεδοσυνάρτηση Campbell and Shiozawa (1992)

Δείγμα	Sand	clay	Ks (mm/h)	Ks (cm/h)
20	25,45	28,09	0,08	2,32E-06
21	31,32	22,94	0,13	3,63E-06
22	24,90	48,35	0,00	8,17E-08
23	28,87	36,65	0,02	4,37E-07
24	22,42	32,71	0,05	1,33E-06
25	21,10	27,48	0,13	3,48E-06
26	38,05	16,07	0,26	7,15E-06
27	40,12	12,65	0,39	1,09E-05
28	41,63	16,00	0,20	5,62E-06
29	53,60	10,33	0,23	6,28E-06

6.4 Σύγκριση μεθόδων – Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τους παραπάνω υπολογισμούς της υδραυλικής αγωγιμότητας με την χρήση πεδοσυναρτήσεων και με τις δοκιμές μεταβλητού φορτίου προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 16: Υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκε από τις πεδοσυναρτήσεις και τις επιτόπου δοκιμές.

Δείγμα	Ferrer-Julia	Dane and Puckett	Cosby	Campbell and Shiozawa	Δοκιμές μεταβλητού φορτίου
	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h
20	3,21	5,32	25,74	0,08	0,22
21	4,28	11,17	25,83	0,13	10,89
22	3,12	0,29	25,65	0,00	0,21
23	3,80	1,55	25,73	0,02	0,15
24	2,77	2,74	25,69	0,05	0,26
25	2,59	5,81	25,70	0,13	0,02
26	5,96	30,05	25,97	0,26	0,01
27	6,60	49,12	26,03	0,39	0,26
28	7,10	30,33	26,03	0,20	5,76
29	12,79	68,69	26,35	0,23	0,64

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις υπαίθρου σε τμήμα της λεκάνης Ανθεμούντα προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην περιοχή Γαλαρινού που αποτελεί τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα.
- Γεωλογικά καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα όπως χαλίκια, κροκάλες και μια σειρά ερυθρών αργίλων με φακοειδής ενστρώσεις άμμων, μαργών και κροκαλοπαγών.
- Από τις κοκκομετρικές καμπύλες προκύπτουν οι εδαφικοί τύποι της περιοχής με 50% των δειγμάτων να χαρακτηρίζονται ως αργιλοπηλώδη εδάφη, το 30% πηλώδη, το 10% αμμοπηλώδη ενώ αργιλώδη επίσης το 10%.
- Η τιμή της υδροπερατότητας ή υδραυλικής αγωγιμότητας k με βάση τη δοκιμή μεταβλητού φορτίου κυμαίνεται από 0,01mm/h έως 10,89 mm/h
- Από την εφαρμογή των πεδοσυναρτήσεων προκύπτει η τιμή του k :
 - από 2, 59mm/h έως 12,79mm/h (Ferrer-Julia)
 - από 0,29 mm/h έως 68,69 mm/h (Dane and Puckett)
 - από 25,65 mm/h έως 26,35 mm/h (Cosby)
 - από 0,00 mm/h έως 0,39 mm/h (Campbell and Shiozawa)
- Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι:
 - δεν υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων τύπων που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας.
 - τα αποτελέσματα της πεδοσυνάρτησης των Campbell & Shiozawa προσεγγίζει περισσότερο τις επιτόπου δοκιμές και για αυτό θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην περιοχή για τον υπολογισμό της υδροπερατότητας.
 - ο μεγαλύτερος αριθμός των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά λεπτόκοκκων υλικών αργίλου και ιλύος.
 - οι χαμηλές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας σχετίζονται με υψηλά ποσοστά λεπτόκοκκων υλικών και εντοπίζονται στο κέντρο της περιοχής μελέτης.
 - η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και ο προσδιορισμός της μόνο με εμπειρικούς τύπους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουβαλίδης Κ., (2004): Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., σελ 145
- Βουδούρης Κ. (2008) ‘Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος’. Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, σελ. 248.
- Δημόπουλος Γ.:ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ, εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη σελ.197
- Καλλέργης Γ., (2001),: Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Γ΄, σελ. 421.
- Μουντράκης Δ., (1985): ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, University Studio Press, σελ. 204
- Μουντράκης Δ., (1988): ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΕΥΡΥΤΕΡΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., σελ 130
- Σούλιος Γ., (1986),: Γενική Υδρογεωλογία Τόμος 1, University Studio Press, σελ. 292
- Σούλιος Γ., (1986),: Γενική Υδρογεωλογία Τόμος 2 University Studio Press, σελ. 237
- Σούλιος Γ., (2004),: Γενική Υδρογεωλογία Τόμος 3, Εκδόσεις Κυριακίδη, σελ. 249
- Χρηστάρας Β,(2006): Εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας σελ,25
- Ferrer-Julia M., Estrela Monrealb T., Sanchez del Corral Jimenez A., Garcia Melendez E. 2004 . Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. Geoderma 123: 257–277.